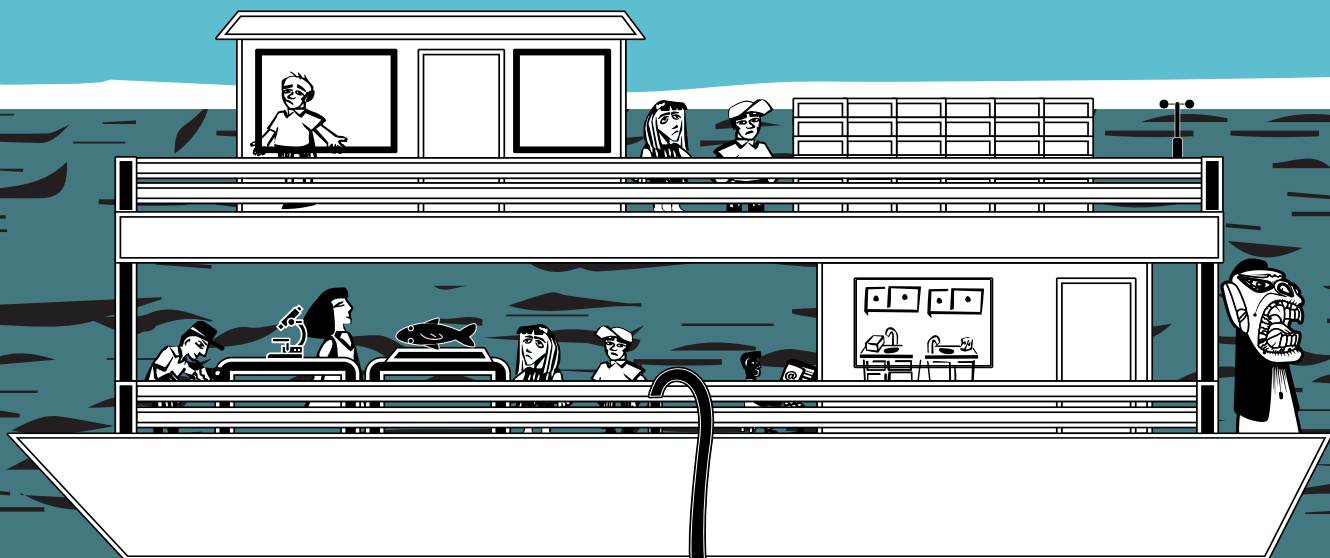
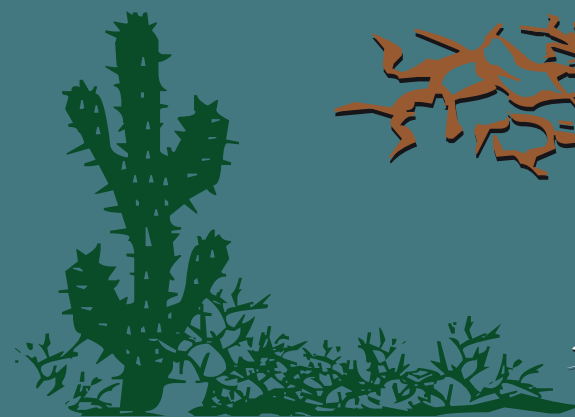


Emerson Carlos Soares  
José Vieira Silva  
Rafael Navas  
(Organizadores)



# O Baixo São Francisco

Características Ambientais e Sociais



Edufal



Emerson Carlos Soares  
José Vieira Silva  
Rafael Navas  
(Organizadores)

**O BAIXO SÃO FRANCISCO:  
CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS E  
SOCIAIS**



Maceió-AL

2020





UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

**Reitor**

Josealdo Tonholo

**Vice-reitora**

Eliane Aparecida Holanda Cavalcanti

**Diretor da Edufal**

Elder Patrick Maia Alves

**Conselho Editorial Edufal**

Elder Patrick Maia Alves (Presidente)

Fernanda Lins de Lima (Secretária)

Adriana Nunes de Souza

Bruno Cesar Cavalcanti

Cicero Péricles de Oliveira Carvalho

Elaine Cristina Pimentel Costa

Gauss Silvestre Andrade Lima

Maria Helena Mendes Lessa

João Xavier de Araújo Junior

Jorge Eduardo de Oliveira

Maria Alice Araújo Oliveira

Maria Amélia Jundurian Corá

Michelle Reis de Macedo

Rachel Rocha de Almeida Barros

Thiago Trindade Matias

Walter Matias Lima

**Coordenação Editorial**

Fernanda Lins

**Revisão ortográfica, normalização, projeto gráfico (diagramação, produção de capa)**

Janielly Almeida

**Apoio de Produção**

Agência Peixo Vivo

**Catálogo na Fonte**

Universidade Federal de Alagoas

Biblioteca Central

Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

B164 O Baixo São Francisco [recurso eletrônico] : características ambientais e sociais / Emerson Carlos Soares, José Vieira Silva, Rafael Navas, organizadores. – Maceió, AL: EDUFAL; 2020.  
401 p. : il.

*E-book.*

Inclui bibliografias.

ISBN: 978-65-5624-009-1

1. São Francisco, Rio. 2. Meio ambiente. 3. Expedições científicas.  
I. Soares, Emerson Carlos. II. Silva, José Vieira. III. Navas, Rafael.

CDU: 910.4

## AGRADECIMENTOS

A equipe das Expedições Científicas do São Francisco aproveita a oportunidade para agradecer às comunidades do Baixo São Francisco, pela receptividade e pelo apoio aos trabalhos desenvolvidos durante estes dois anos. Sem dúvida, este trabalho não poderia ter sido realizado sem o apoio de: Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF), Agência Peixe Vivo, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), Secretaria de Ciência Tecnologia e Inovação (SECTI-AL), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL), Embrapa – Tabuleiros Costeiros, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Estadual do Ceará (UECE), Centro de Pesquisa Renato Archer (CTI-Renato Archer), Instituto Espanhol de Oceanografia (Centro de Vigo- Galícia/Espanha), EMATER-AL, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), Elder e Fernanda da (EDUFAL), Universidade Federal do Amazonas (Ufam), Marinha do Brasil (Agência Penedo) e prefeituras de Piranhas-AL, Pão de Açúcar-AL, Traipu-AL e Piaçabuçu-AL.

Agradecimentos especiais à equipe do CBHSF e à Agência Peixe Vivo, nas pessoas de Anivaldo Miranda, Maciel, Melchior Carlos, Manoel, Daniela, Ohany Vasconcelos e Rubia Mansur. À senhora Rita (EMATER-AL), ao professor João Vicente (FAPEAL), ao professor José Milton Barbosa (UFS), aos professores das escolas públicas na região do baixo curso do rio, aos secretários de Meio Ambiente e Turismo dos municípios do Baixo. Aos pescadores Márcio e José Rodrigo, integrantes da equipe de apoio, e à tripulação das barcas A Magnífica e A Maravilhosa, nas pessoas de Gicelmo e Ancelmo. À equipe da TV Gazeta, afiliada da Rede Globo, aos repórteres Amorim Neto e Aldo. Ao laboratório de fitopatologia dos professores Gaus e Iraildes. Ao apoio incondicional de Ana Katarina e Marcelo, ambos do CBHSF. Ao nosso encantado mestre do rio, senhor Jackson Borges, pela luta incansável, por mais de 50 anos, em prol do rio São Francisco.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuem com a causa ambiental, em especial, na luta pelo “Velho Chico”.

“A pureza de um pingo d’água do ‘Velho Chico’, hoje,  
nunca poderá ser igual a de uma lágrima tardia,  
mesmo sincera”.

**(Antônio Jackson Borges Lima)**



# SUMÁRIO

PALAVRA DO REITOR.....	07
PREFÁCIO .....	08
PREFÁCIO .....	10
APRESENTAÇÃO.....	11
CAPÍTULO 1 - <i>Assoreamento e matas ciliares no Baixo São Francisco</i> .....	18
CAPÍTULO 2 - <i>Salinidade da água na região</i> .....	45
CAPÍTULO 3 - <i>Ocorrência de coliformes totais e Escherichia coli em diferentes pontos do Baixo São Francisco</i> .....	55
CAPÍTULO 4 - <i>Estuário do rio São Francisco – delineamento do perfil longitudinal e vertical</i> .....	64
CAPÍTULO 5 - <i>Estrutura e dinâmica do fitoplâncton do Baixo São Francisco (Alagoas e Sergipe)</i> .....	83
CAPÍTULO 6 - <i>Avaliação do potencial de eutrofização e da qualidade de água no Baixo São Francisco</i> .....	107
CAPÍTULO 7 - <i>A ictiofauna do Baixo São Francisco</i> .....	116
CAPÍTULO 8 - <i>Caracterização morfológica do intestino, fígado e brânquias de peixes do Baixo São Francisco: estudo histopatológico e histoquímico</i> .....	141
CAPÍTULO 9 - <i>Diversidade genética da ictiofauna do Baixo São Francisco</i> .....	169
CAPÍTULO 10 - <i>Níveis de mercúrio, cádmio, chumbo, zinco, cobre, cromo, ferro, manganês e arsênio em importantes espécies de peixes do Baixo São Francisco</i> .....	184
CAPÍTULO 11 - <i>Peixes como bioindicadores para o monitoramento ambiental do Baixo São Francisco</i> .....	196
CAPÍTULO 12 - <i>Avaliação da paisagem acústica na região do Baixo São Francisco</i> ..	213

CAPÍTULO 13 - <i>Situação atual da pesca no Baixo São Francisco: uma análise prospectiva.....</i>	227
CAPÍTULO 14 - <i>Do cânion à foz: o estado da arte da pesca ao longo do Baixo São Francisco.....</i>	245
CAPÍTULO 15 - <i>Aspectos higiênico-sanitários da comercialização de pescado em sete municípios de Alagoas.....</i>	262
CAPÍTULO 16 - <i>A agricultura familiar no Baixo São Francisco: perfil socioproductivo e segurança alimentar.....</i>	283
CAPÍTULO 17 - <i>Segurança alimentar dos pescadores da subregião do Baixo São Francisco: ensaio do nexa água-energia-alimentos.....</i>	306
CAPÍTULO 18 - <i>Percepção dos pescadores sobre as mudanças no Baixo São Francisco.....</i>	324
CAPÍTULO 19 - <i>Estudos sobre a saúde mental de agricultores familiares ribeirinhos do Baixo São Francisco em Alagoas, Brasil.....</i>	338
CAPÍTULO 20 - <i>Meteorologia e energia fotovoltaica na ii expedição científica do Baixo São Francisco.....</i>	349
CAPÍTULO 21 - <i>Educação ambiental em escolas ribeirinhas do Baixo São Francisco.....</i>	365
SOBRE OS AUTORES .....	390

## PALAVRA DO REITOR

Em um ano marcado por tantas contingências, dificuldades e desafios científicos, a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), por meio da Editora da Universidade Federal de Alagoas (Edufal), brinda a comunidade acadêmica internacional, em geral, e a sociedade alagoana, em particular, com uma grande conquista científica e editorial.

Trata-se do livro acerca das duas primeiras expedições sobre a região do Baixo rio São Francisco, ocorridas nos anos de 2018 e 2019. O livro é resultado de dois grandes processos que, muito oportunamente, encontraram-se. De um lado, o compromisso científico, ambiental e institucional de um vasto conjunto de pesquisadores e pesquisadoras, pertencentes à UFAL e a outras instituições científicas brasileiras, comprometidos com o ensino, a pesquisa e a extensão; de outro lado, a mobilização de três instituições locais, regionais e nacionais comprometidas com a causa ambiental, o desenvolvimento sustentável e a proteção do patrimônio natural que compreende a região do Baixo rio São Francisco. Por meio deste livro, a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) e o Instituto de Inovação para o Desenvolvimento Rural Sustentável de Alagoas dão um exemplo incontestado de uma exitosa parceria institucional, marcada pela cooperação, a transparência e a valorização do conhecimento científico.

Em nome da UFAL, parablenizo a todos/as os/as envolvidos/as, especialmente os nossos pesquisadores/as e professores/as, que, movidos pelo compromisso com o ensino, a pesquisa e a extensão e pelo mais nobre e mobilizador ideal de defesa do meio ambiente e do patrimônio ambiental, entregam a Alagoas, ao Nordeste, ao Brasil e ao mundo um denso, diversificado e rico material acadêmico e científico, que já nasce como uma referência bibliográfica acerca dos estudos envolvendo biodiversidade, limnologia, ecologia, poluentes, metais pesados, tecnologia do pescado, assoreamento, pesca, ictiofauna, geologia aquática, educação ambiental, fisiologia de peixes, genotoxicidade, genética de peixes, intrusão salina, saúde coletiva, microbiologia, histopatologia de peixes, meteorologia, tecnologia aplicada ao semiárido, desmatamento e hidrologia.

O que o leitor e a leitora têm nas mãos ou nas telas de seus dispositivos digitais é o resultado raro do encontro entre o conhecimento científico, a dedicação a uma causa e o cumprimento da nossa missão institucional. Que este seja o primeiro livro de uma sucessão de trabalhos científicos, acadêmicos e culturais resultantes das expedições ao vale do Baixo São Francisco!

**Professor Josealdo Tonholo**

**Reitor da Universidade Federal de Alagoas (UFAL)**

# PREFÁCIO

## Palavra do Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco

### O imprescindível papel da Ciência

Anivaldo Miranda<sup>1\*</sup>

Os seres humanos, desde os tempos imemoriais, sempre nutriram um compreensível temor pelo desconhecido. Felizmente, isso foi sempre compensado pela irresistível curiosidade que nos move, na maioria das vezes, por razões de ordem prática ou simplesmente de satisfação intelectual ou, ainda, impulsos de criatividade. O certo é que, fruto desse processo contraditório, a ciência evoluiu e tornou-se uma insubstituível ferramenta na produção e reprodução das condições de existência da vida humana.

Ocorre que isso nem sempre é compreendido em seu alcance maior pelo conjunto da população e de suas instituições. Seja pelo velho temor ao que não se conhece ou pela inércia do conservadorismo, que é também uma característica do nosso comportamento, o fato é que a ciência, muitas vezes, é relegada a um segundo plano, quando não demonizada ali onde persiste a ignorância.

No Brasil, país onde a ciência, historicamente, ainda não conseguiu ocupar o grau de prioridade necessário para quem almeja um futuro de bem-estar e desenvolvimento sustentável avançado, ainda será preciso travar uma grande batalha cultural para mudar atitudes no conjunto da sociedade, aqui compreendidos o povo e os poderes públicos, na direção de um esforço contínuo em defesa da ciência e de investimentos significativos na produção de conhecimentos em escala muito maior do que aquilo que se faz atualmente.

Compreendendo esse contexto, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) procura priorizar cada vez mais a promoção de estudos e projetos de pesquisas essenciais para que a gestão dos recursos hídricos nos domínios do Velho Chico e de seus afluentes faça-se sustentada pela mais ampla gama de dados e análises, robustos o bastante para influenciar políticas, ações, obras e intervenções cada vez mais eficientes, seja com recursos apenas do próprio CBHSF, seja através de parcerias formadas para chegar a objetivos comuns de maior alcance.

Aliás, como os recursos do CBHSF são de escala modesta, confrontados com o tamanho dos desafios que sua bacia hidrográfica apresenta, seus projetos procuram, sempre que possível, resolver problemas concretos, mas também guardar um caráter demonstrativo capaz de facilitar aquilo que é o objetivo maior nesse sentido, ou seja, replicar esses projetos através de parcerias cada vez mais amplas e capazes de mobilizar recursos cada vez maiores, de forma a tirar do papel as grandes metas do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

Expedições científicas, portanto, já fazem parte da política de apoios que o Comitê executa em todas as regiões fisiográficas do Velho Chico e de seus afluentes. Mas é preciso dizer que, pela sua inventividade e resultados práticos, as expedições científicas realizadas no

---

<sup>1\*</sup> Anivaldo Miranda é jornalista, mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e presidente reeleito do CBHSF.

Baixo São Francisco, sob a coordenação da Universidade Federal de Alagoas e participação de várias instituições de peso, representam um marco, pela gama de resultados que proporcionam e que, de longe, justificam o apoio financeiro e institucional do Comitê, que saberá fazer da presente publicação o melhor uso possível, na busca incessante pela melhoria da qualidade e da quantidade das águas franciscanas.

# PREFÁCIO

Palavra da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

A CODEVASF, as expedições e o São Francisco

Ricardo Alexandre Lisboa Vieira<sup>2\*</sup>

A CODEVASF como conhecemos hoje foi criada em 16 de julho de 1974, com o objetivo de desenvolver o Vale do Rio São Francisco. Desde sua fundação, vem aplicando esforços para trazer o desenvolvimento, em todas as suas formas, para sua área de atuação. O sucesso de sua trajetória pode ser avaliado na contínua expansão de sua área de atuação, que iniciou, em 2000, com a inclusão da bacia do rio Parnaíba. Esse tipo de ampliação vem sendo realizada sucessivamente ao longo dos anos, o que fez sua área de atuação mais que duplicar na última década, e ainda há projetos em tramitação no Congresso Nacional para novas áreas.

Com esse ganho de atribuição, podemos imaginar que o rio São Francisco deixou de ser o centro de gravidade da empresa. Muito pelo contrário: enquanto a CODEVASF diligencia esforços para replicar tudo o que funcionou no São Francisco, nas novas bacias hidrográficas atendidas, vem catalogando demandas e estudando problemas ainda presentes na bacia do São Francisco, para que possa propor políticas e ações de desenvolvimento econômico sustentável.

É com essa visão de vanguarda que a CODEVASF aposta na Expedição do São Francisco como uma oportunidade ímpar de ampliar seus conhecimentos e descobrir novas oportunidades de desenvolvimento nunca antes prospectadas, trazendo luz sobre horizontes desconhecidos.

Este livro é um feito de ciência, mas repleto de ousadia, coragem e abnegação de todos os que participaram deste trabalho.

---

<sup>2\*</sup> Superintendente Regional da CODEVASF. 5ª Superintendência Regional Alagoas.



# APRESENTAÇÃO

## O Rio São Francisco, o baixo curso e as expedições científicas

Emerson Carlos Soares<sup>3</sup>

José Vieira Silva<sup>4</sup>

Rafael Navas<sup>5</sup>

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHRSF) abrange aproximadamente 640 mil km<sup>2</sup> e 2.800 km de extensão, compreendendo os Estados de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Está dividida em quatro unidades fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco; estando a sua foz e a planície fluviomarinha localizadas nessa região, que divide os Estados de Alagoas e Sergipe (MEDEIROS et al., 2014).

O São Francisco é estratégico para o Nordeste, pois responde por 70% da disponibilidade hídrica superficial na região. Possui vazão média de 2.900 m<sup>3</sup>/s, que se enquadra na tipologia de rio de médio a grande porte; apresenta relevância ecológica, econômica e social, sendo utilizado para a geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento de água, aquicultura e pesca. Seu uso intensivo por vários tipos de atividades antrópicas resultou em diversos impactos ambientais, que geraram algumas políticas públicas relacionadas à sua revitalização e preservação, entretanto, aquém de alcançar os efeitos desejados (MEDEIROS et al., 2015; CASTRO; PEREIRA, 2019).

Para efeito de modificação na hidrologia do rio São Francisco e seus efeitos para a biota aquática, as represas instaladas em seu curso geram praticamente 100% da energia utilizada no Nordeste. Por outro lado, essas estruturas trazem profundos impactos ambientais e sociais, com alteração do sistema lótico para lântico, resultando no processo de deterioração do rio.

O Baixo São Francisco (BSF) é uma das regiões mais conflitantes do Nordeste, devido a localizar-se em ambiente árido, onde a água é a principal força motriz das comunidades rurais. Assim, fatores ligados a pesca e aquicultura, geração de energia elétrica, poluição oriunda dos esgotos das cidades, assoreamento, uso de agrotóxicos em culturas às margens do rio, desmatamento da vegetação marginal, avanço da cunha salina, alterações de vazão, endemismo de espécies, dentre outras atividades, refletem diretamente na vida social, econômica e ambiental dessa mesorregião que compreende os Estados de Sergipe e Alagoas, cobrindo uma área de 25.500 quilômetros quadrados, onde vive uma população de cerca de 1,5 milhão de habitantes, dos quais 440.000 residem em áreas ao longo do rio São Francisco. O BSF apresenta os piores indicadores socioeconômicos, com um PIB de 9% do PIB da bacia inteira e os Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios classificados como médios (entre 0,600 e 0,699), como Japarutuba e Propriá, no Estado de Sergipe, Arapiraca e Penedo em Alagoas.

<sup>3</sup> Professor Associado, *Campus* de Engenharias e de Ciências Agrárias (CECA), Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), Universidade Federal de Alagoas. E-mail: soaemerson@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor Associado e Coordenador-Geral do CRAD/Ufal – *Campus* Arapiraca. E-mail: jovisi@yahoo.com.br.

<sup>5</sup> Professor Adjunto, *Campus* de Engenharias e de Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas. E-mail: rafael.navas@ceca.ufal.br.

Os outros 11 municípios são classificados com o IDH baixo (0,5 a 0,599) a muito baixo (menos de 0,499). Apesar da proximidade com a maior fonte de água superficial na região Nordeste, apenas 78% da população dos municípios de Alagoas tem acesso a água para beber, enquanto em Sergipe esse número é de 91%. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em cerca de 50% dos municípios ribeirinhos, a renda *per capita* da população não ultrapassa R\$ 140,00, caracterizando-se dentro da “linha de pobreza”.

Os municípios localizados no entorno do Baixo São Francisco produzem, principalmente, cana-de-açúcar (34.000 ha) e arroz (1.590 ha) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014). Por outro lado, Nascimento e Oliveira (2016) observaram que as áreas dedicadas às pastagens predominaram, com cerca de 58,37% do total, enquanto a classe agrícola ocupa 15,77%. Quanto à vegetação nativa, a área corresponde a 10,96%, sendo dispersa por toda a região, em pequenos fragmentos, e concentrada na bacia do rio Moxotó. Sabe-se que parte dessas culturas utilizam pesticidas como base para o manejo; entretanto, não existem informações a respeito dos principais princípios ativos utilizados e dos impactos na qualidade da água e suas consequências para a vida aquática.

O regime de vazões do rio São Francisco, nessa região, é regido pelos reservatórios localizados nas partes mais altas da bacia, como as barragens de Sobradinho, Itaparica e Xingó, cujas afluições foram reduzidas nos últimos anos, devido ao uso inadequado da terra, com redução da produção de água na bacia e aumento da erosão do solo, bem como sucessivos períodos de seca (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2017). Como consequência, há uma redução gradual dos fluxos mínimos no rio, com impactos significativos, dentre os quais o avanço da cunha salina na região da foz.

O avanço da cunha salina sobre o rio trouxe impactos significativos para os ecossistemas e para a população local, com provável aumento da concentração de poluentes, interferência negativa em atividades econômicas, como a pesca e a rizicultura, e pode inviabilizar, em último caso, a utilização das águas para fins de abastecimento humano. Possivelmente, os efeitos dessa salinização estão promovendo alterações na biota local, com aumento da competição entre espécies, diminuição dos estoques pesqueiros, desaparecimento de algumas espécies de peixes e crustáceos e o surgimento de outros efeitos a ambientes salinizados (SOARES *et al.*, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2016; BARBOSA; SOARES, 2011; BARBOSA *et al.*, 2017; BARBOSA *et al.*, 2018; SOARES *et al.*, 2020).

Associada a essa questão, a menor capacidade depurativa do rio, resultado de vazões mais baixas ao longo de períodos mais longos, contribui significativamente para a manutenção de poluentes em concentrações prejudiciais à biota, consumo e irrigação de culturas (MEDEIROS *et al.*, 2016). Para se ter uma ideia, a vazão do rio São Francisco foi reduzida drasticamente nos últimos anos, de 1.300 m<sup>3</sup>/s, em 2012, para 550 m<sup>3</sup>/s em 2017 (Resolução ANA nº 1.291/2017). Como efeito imediato, foi detectado o aumento da salinidade na foz do São Francisco, onde Santana *et al.* (2017) observaram concentração média de salinidade entre 0,17‰ e 28,87‰. Em 2018, Soares *et al.* (2020) constataram que a intrusão salina encontrava-se a 16 km do estuário onde as águas superficiais e do fundo foram classificadas como água salobra (com salinidade acima de 0,5‰ e abaixo de 30‰).

Esse cenário tem mostrado sinais de piora nos últimos anos e pode ser acelerado à exploração excessiva de recursos naturais, como a remoção de mata ciliar em rios tributários e o baixo nível de tratamento de esgoto urbano nos municípios da região, com impactos agravados pela ocorrência de longos períodos de seca, levando a decisões gerenciais que não

promoveram adequadamente os usos múltiplos da água do rio (CUNHA, 2015). A supressão da vegetação nas margens do rio contribuiu para o aumento do assoreamento e de processos erosivos do solo, influenciando na diminuição de organismos, por serem importantes redutos de biodiversidade e indicadores de preservação ambiental (CHABARIBERY *et al.*, 2008; APARECIDO *et al.*, 2016).

No Estado de Alagoas, ao longo dos tempos, as áreas de caatinga têm sido negligenciadas do ponto de vista ambiental, de forma que a devastação atinge proporções alarmantes. Esse fato agrava-se, devido ao elevado grau de degradação nas áreas de preservação permanentes (APPs), tanto dos afluentes como do próprio rio São Francisco.

A construção de barragens e estradas e a expansão urbana e da agropecuária provocaram uma redução severa da vegetação ciliar do rio São Francisco e seus afluentes, apresentando, hoje, uma fisionomia bastante modificada. Face à severa supressão, muitas espécies nativas estão extintas e, na grande maioria dos ambientes ciliares remanescentes, não há resiliência que permita à vegetação se restabelecer por mecanismos naturais de regeneração.

Em decorrência da ausência de vegetação e da redução da vazão do rio, em consequência das secas na bacia, verifica-se um acelerado processo de erosão das margens do rio. Isso traz como consequências imediatas o assoreamento do leito principal, com perdas de recursos da flora e da fauna locais, redução dos pescados, redução das terras produtivas e empobrecimento das comunidades que residem às margens do rio.

Já a atividade da pesca do Baixo São Francisco tem acompanhado as mudanças no regime hidrológico do rio e, devido às alterações causadas pelas barragens e hidroelétricas, estas contribuíram para a redução das áreas de captura e destruição de habitats, como as lagoas marginais, consideradas berçários de muitas espécies aquáticas, e, conjuntamente com métodos de capturas não permitidos, vêm ocasionando o declínio da biodiversidade de organismos aquáticos (LORENÇO, 2016; SOARES *et al.*, 2020).

Dados do início da década de 2010 indicavam a curimatã pacu *Prochilodus argenteus* (Characiformes, Prochilodontidae) e o piaú *Megaleporinus obtusidens* (Anostomidae, Characiformes) como espécies mais abundantes (BARBOSA; SOARES, 2009; SOARES *et al.*, 2011); entretanto, relatos de pescadores locais sugerem que, desde 2015, essas populações vêm declinando e esses indivíduos que, juntos, chegaram a representar cerca de 55% das capturas na microrregião de Penedo, possivelmente não estejam entre as cinco principais espécies comercializadas (SOARES *et al.*, 2011; BARBOSA *et al.*, 2017).

Tratando-se de outras atividades agropecuárias na região, verifica-se uma diminuição da capacidade produtiva dos setores econômicos que dependem da flutuação dos níveis de água para o seu desenvolvimento adequado, como o cultivo de arroz e a piscicultura, por exemplo; e, logicamente, uma diminuição nos índices de desenvolvimento humano da população da região (CUNHA, 2015). Contudo, a rizicultura vem sendo substituída gradativamente, nos últimos anos, pela carnicultura, utilizando os mesmos viveiros antes usados no cultivo de arroz, com pequenas obras de adequação, reforço dos taludes e adequação das comportas de abastecimento d'água (BARBOSA *et al.*, 2018).

## O programa das expedições científicas do São Francisco

O programa surgiu com o pretexto de bioprospectar, conhecer e divulgar a situação do Baixo São Francisco quanto aos aspectos sociais das comunidades ribeirinhas, comunidade de pescadores, situação da pesca, identificar os impactos e a qualidade da água do rio, a

ictiofauna, problemas ocasionados pelo represamento, assoreamento, desmatamento, avaliar os poluentes presentes no ambiente aquático e o uso de agrotóxicos, os efeitos da cunha salina sobre as comunidades ribeirinhas e o ambiente e propor ações mitigadoras, através de programas de educação ambiental.

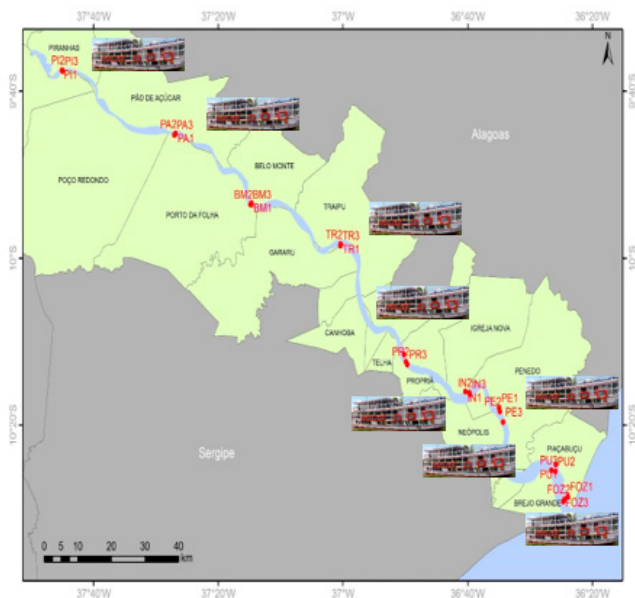
O intuito do projeto é alavancar, na região, uma nova atividade participativa, por intermédio do conhecimento, através do monitoramento dos principais indicadores sociais, econômicos e dos impactos ambientais, assegurando a qualidade e a segurança alimentar. Tem o enfoque de chamar a atenção para a situação do rio e seus problemas e divulgar para os principais órgãos de fomento e governantes, propondo ações para mitigar os impactos e a degradação da qualidade ambiental.

Avaliando a necessidade de gerar políticas públicas embasadas em dados científicos, as expedições científicas propõem a elaboração de grande diagnóstico participativo e multidisciplinar sobre a situação econômica, social e ambiental da região do Baixo São Francisco, avaliando os impactos da pesca, poluição aquática, desmatamento e assoreamento, patologias e parasitologia de peixes e crustáceos e índices de metais pesados e pesticidas e sua influência na qualidade do pescado, determinando o perfil socioeconômico e a situação da saúde das populações ribeirinhas, adotando medidas de educação ambiental efetivas e qualificando o efeito das diversas culturas intensivas sobre a qualidade de água, para, com isso, efetivar um programa de biomonitoramento ambiental da calha principal do rio São Francisco, utilizando tecnologias de ponta para a determinação de um padrão ambiental, com o intuito de propor ações mitigadoras para os ecossistemas existentes na região de estudo.

As Expedições Científicas no Baixo São Francisco iniciaram em 2018, quando, durante cinco dias, cerca de 40 pesquisadores trabalharam em várias temáticas, como: educação ambiental, pesca, socioeconomia, ictiofauna, análise de água e de metais pesados, assoreamento, dentre outras, em cinco municípios do Baixo São Francisco (Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu), culminando na publicação de um diagnóstico referente a 2018 e, em junho de 2019, a publicação de um artigo científico sobre os dados desta primeira edição.

Em 2019, foi realizada a II Expedição Científica, com 50 pesquisadores e técnicos de 16 instituições que, durante 10 dias, trabalharam nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Propriá, Igreja Nova, Penedo, Neópolis, Piaçabuçu e foz do São Francisco (Figura 1). Essa expedição teve por objetivo principal estudar todo o Baixo São Francisco, coletando informações e dados, para, de posse dos resultados, propor ações para mitigar os problemas no rio.

Figura 1 - Municípios onde foram realizadas coletas nos anos de 2018 e 2019: Piranhas-AL, Pão de Açúcar-AL, Traipu-AL, Porto Real do Colégio-AL, Propriá-SE, Igreja Nova-AL, Penedo-AL, Neópolis-SE e Piaçabuçu-AL.



Fonte: Marcus Cruz (2020).

Dessa forma, esta obra reúne informações de mais de 10 anos de monitoramento no Baixo São Francisco, com o reforço de dois anos de expedições científicas. São análises *in loco* e laboratoriais, oriundas de esforços, fomento, apoio e ações de instituições como a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Comitê de Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), Embrapa – Tabuleiros Costeiros, Universidade Federal de Sergipe (UFS), EMATER-AL, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI-AL), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Instituto de Pesquisa Renato Archer, Instituto Oceanográfico de Vigo (Espanha), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Marinha do Brasil e Instituto Federal do Ceará (IFCE).

## REFERÊNCIAS

- APARECIDO, C.F.F. *et al.* Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 239-256, maio - junho, 2016.
- BARBOSA, J. M.; SOARES, E. C. S. Perfil da ictiofauna do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 4, n. 1, p. 155-172, 2009.
- BARBOSA, J.M. *et al.* Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco. **ActaFish**, v. 5, n. 1, p. 70-90, 2017.
- BARBOSA, J.M. *et al.* Evolução da atividade agrossilvipastoril na região e Brejo Grande, Estado de Sergipe: Carcinicultura. **Agroflorestalis News**, v. 3, n.1, p. 52-60, 2018.
- CASTRO, C.N.; PEREIRA, C.N. **Revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco:**



histórico, diagnóstico e desafios. Brasília: IPEA. 2019.

CHABARIBERY, D. *et al.* Recuperação de matas ciliares: sistemas de formação de floresta nativa em propriedades familiares. **Informações Econômicas**, v.38, n.6, jun. 2008.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. Redução temporária da vazão mínima do Rio São Francisco para 550 m<sup>3</sup>/s, a partir da UHE Sobradinho. **Relatório Mensal de Acompanhamento**, 45, dez. 2017.

CUNHA, C.J. **Regularização da vazão e sustentabilidade de agroecossistemas no estuário do Rio São Francisco**. 231 f. 2015. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 04 fev. 2019. 2014.

LORENÇO, L. **Impasse adia decisão sobre redução da vazão do Rio São Francisco**. 2016. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/g>. Acesso em: 13 out. 2016.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.15, n.1, p. 42-53. 2011

MEDEIROS, P.R.P. Influência das oscilações das marés na concentração de nutrientes e do plâncton no estuário do rio São Francisco. **Programa de Pesquisa e Desenvolvimento P&D para o ciclo 2003/2004**. Maceió: editora, 2006.

MEDEIROS, P.R.P. *et al.* Inter-annual variability on the water quality in the Lower São Francisco River (NE-Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 28, n.5, 2016.

MEDEIROS, P.R.P. *et al.* Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 1, p. 65-78, 2014.

MEDEIROS, P.R.P., SEGUNDO, G.H.C.; MAGALHÃES, E.M.M. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v.29, n. 1, p. 35-44, 2015.

MENEZES, N.A.; FIGUEIREDO, J.L. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, 1985.

NASCIMENTO, M.C.; OLIVEIRA, A.L.A. Uso da terra no baixo São Francisco alagoano: um olhar sob o ponto de vista da sustentabilidade geoambiental. *In*: SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, 1, 2016. **Anais ... Juazeiro**. 2016.

SANTANA, N. R. F.; AGUIAR NETTO, A. N.; GARCIA, C. A. B. Qualidade da água da foz do Rio São Francisco. *In*: CONGRESSO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 14. **Anais...**Poços de Caldas, BA, 2017

SOARES, E. C. *et al.* Ictiofauna e pesca no entorno de Penedo, Baixo São Francisco, Alagoas. **Biotemas**, v. 24, p. 61-67, 2011.

SOARES, E.C. *et al.* Expedition on the Lower São Francisco: An X-ray of fisheries and agriculture, pollution, silting and saline intrusion. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 3047-3064. 2020.

# SILTATION AND CILIARY FORESTS IN THE LOWER SÃO FRANCISCO

José Vieira Silva  
Anderson dos Santos

Siltation and the suppression of ciliary forests in the Lower São Francisco are problems that have been potentiated by the process of flow regularization and aggravated by water reduction volumes poured at the hydroelectric plant of Xingó, in Piranhas, AL. This chapter describes the São Francisco Hydrographic Basin and its peculiarities regarding the division and production of water and sediments. It analyses the origin of sediments in the Old Chico watershed, their deposition, and silting problems originated in the São Francisco as a whole. The ciliary forests' importance and conditions in the LSF, the perception of environmental problems by the riverine population, the basin land occupation, and silting in the LSF were addressed. The LSF sediments were analyzed, and the discussion of the possibility of controlled extraction of sand from the margins and sediment banks was raised.

The situation of environmental degradation due to anthropogenic causes throughout the São Francisco River is a concern due to the public administration's lack of effective mitigating actions. Furthermore, it is also possible to observe that there have been natural changes in the water regime, intensifying the system flow regularization consequences in the basin. It is urgent to consider alternatives in future plans to attenuate, supplant, or even mitigate the Old Chico's main problems, especially concerning siltation and water pollution. It is salutary and recommended that the Lower San Francisco public agents act forcefully to reverse other significant problems encountered, in addition to siltation and water pollution, such as the occurrence of a saline wedge, the recomposition of ciliary forests and vegetation cover of the basin, and the recovery of springs and tributary paths. There are alternative projects to increase and regularize the volume of water in the Old Chico basin, such as water diversion from the Tocantins Basin and the construction of new large dams in the largest tributaries of the Upper and Middle São Francisco. Also, environmental education actions and severe interventions are needed to contain siltation and increase bed volume to ensure navigation conditions and environmental balance.

# CAPÍTULO 1

## ASSOREAMENTO E MATAS CILIARES NO BAIXO SÃO FRANCISCO

José Vieira Silva<sup>6</sup>

Anderson dos Santos<sup>7</sup>

### INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos em águas fluviais é um processo natural que ocorre no mundo todo e é variável, de acordo com cada cenário estudado. De maneira geral, esses sedimentos são resultantes dos processos erosivos naturais e dos manejos antrópicos realizados dentro das bacias hidrográficas. Dada a variabilidade de tamanho, o peso e a densidade dos sedimentos, estes vão sendo depositados nos leitos de corpos e cursos hídricos, de forma natural, e acabam por provocar o assoreamento (CARVALHO *et al.*, 2000a; IMESON; CURFS, 2012; BARBOSA; PINTO; CASTRO, 2014; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

O assoreamento dos corpos e cursos hídricos é um processo resultante diretamente da erosão geológica e do manejo dos solos das bacias hidrográficas. Isso tem preocupado gestores, comunidades ribeirinhas e entornos que dependem destas águas. O tema reveste-se de extrema importância, devido ao uso destas águas, que é o mais diverso possível, uma vez que elas servem como vias de deslocamentos/navegação, recreação, dessedentação humana e de animais, alimentação e serviços ambientais, no caso das bacias hidrográficas que têm construções de barragens de contenção, para diferentes finalidades (CABRAL, 2005; HOLANDA *et al.*, 2011; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

O Brasil, dada a sua extensão territorial e os inúmeros rios perenes e temporários, grandes e pequenos, tem um histórico de poucos levantamentos científicos e estudos técnicos e permanentes sobre as ocorrências de assoreamento, bem como das causas e dos problemas decorridos deste (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014). Aliado a isso, ressalta-se, também, que são escassos e limitados os estudos sobre a importância das matas ciliares para a preservação das margens destes corpos e cursos hídricos maiores, como também das suas nascentes (CARVALHO *et al.*, 2000b; MARTINS, 2007).

Estudos e levantamentos como os realizados durante as expedições científicas no Baixo São Francisco (BSF), ocorridas nos anos de 2018 e 2019, são fundamentais para o entendimento da dinâmica do rio (SOARES *et al.*, 2020). É importante entender a dinâmica natural das águas, para que se possa superar os problemas decorrentes das atividades antrópicas e variações climáticas sazonais, como a redução da intensidade de chuvas e do volume caudal do rio. Vazão essa que, no BSF, devido ao sistema de regularização de vazões e contenção

<sup>6</sup> Professor Associado e Coordenador-Geral do Crad/Ufal – *Campus* Arapiraca.

<sup>7</sup> Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Agricultura e Ambiente. Doutorando da UFRPE.



de cheias, gerido pela CHESF, tem sofrido grandes reduções, principalmente nas duas últimas décadas (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014; CASTRO; PEREIRA, 2017).

## **A Bacia Hidrográfica do São Francisco**

Dos grandes rios do Brasil, com 100% da bacia hidrográfica no território nacional, o São Francisco é o que apresenta os maiores desafios e problemas de preservação, conservação e proteção do seu manancial ao longo de todo o seu percurso, da nascente à foz. O Velho Chico, ao longo dos seus quase 2.800 km de extensão, mais de 500 municípios e com uma bacia hidrográfica de cerca de 640 mil km<sup>2</sup>, recebe uma carga gigantesca de todos os tipos de materiais e sedimentos, de diferentes origens e natureza. Essa carga toda de sedimentos e materiais tem sido dispersada e depositada ao longo da calha principal do rio e de seus reservatórios de barramento, sem que se tenha a real dimensão dos impactos ambientais e humanos causados (POPP, 1988; SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2004; BRASIL, 2006; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

No caso do rio São Francisco, sua bacia contempla fragmentos de vários biomas, com maior predominância do cerrado e caatinga, que cobrem grande parte dos Estados de Minas Gerais e da Bahia. Nesses dois biomas, as condições climáticas e os relevos são mais adversos e severos e impactam de forma decisiva nos processos de erosão e produção de sedimentos que chegam até a calha do rio. Há, ainda, um pequeno percentual de área de Mata Atlântica, Tabuleiros Costeiros e Insulares. A área da Mata Atlântica, devastada pelo uso agrícola e pelas pastagens, ocorre no Alto São Francisco, principalmente nas cabeceiras. Margeando os rios, onde a umidade é mais elevada, observam-se regiões de Mata Seca (LOU; COSTA, 1994; CARVALHO *et al.*, 2000b; RAMOS; PEDROZA, 2014; CASTRO; PEREIRA, 2017).

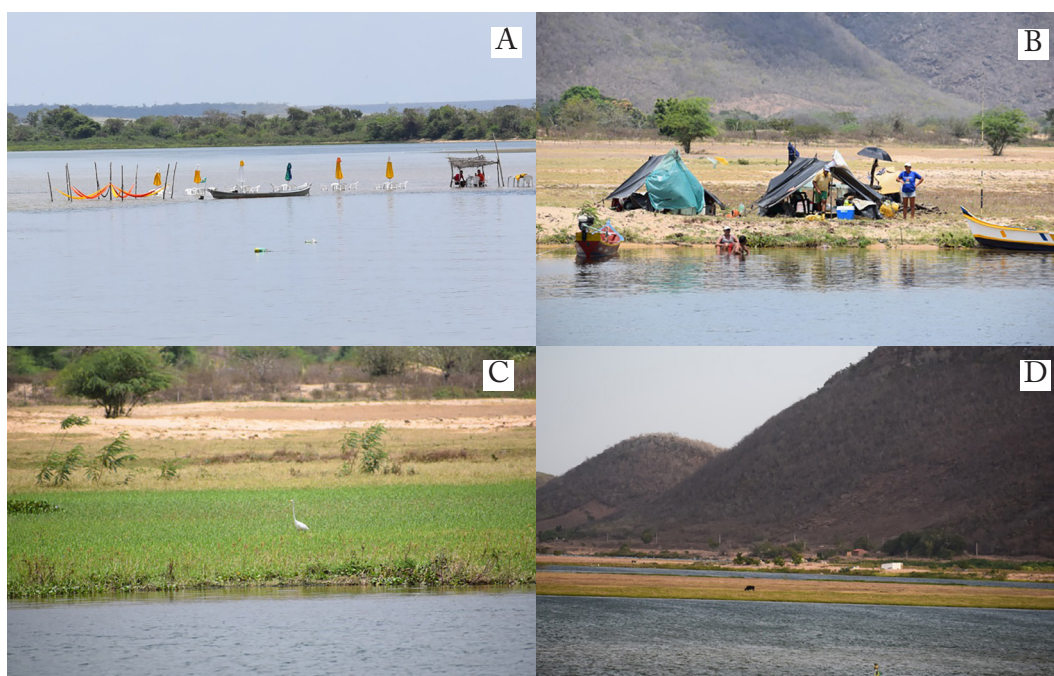
No período compreendido de 2012 a 2019, o BSF teve as menores vazões caudais da sua história, sendo a vazão instantânea mais crítica observada no ano de 2019, com 523 m<sup>3</sup>/s. Em termos ambientais, muito provavelmente, este é o período mais crítico de todos, ao longo de toda a história recente do Velho Chico, desde seu descobrimento (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2019; SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020). Isso levou ao agravamento de problemas, como a intrusão ou cunha salina na foz do rio (CAVALCANTE *et al.*, 2020), juntamente com o elevado grau de erosão das margens e de assoreamento da sua calha principal, formação de novas ilhas, redução da qualidade de água e danos à fauna piscosa do rio (Figura 2) (SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020).

A redução das vazões impacta diretamente na dinâmica das águas e altera substancialmente o transporte de sedimentos de todas as origens e tipos. Associado ao desmatamento, esse quadro pode se agravar, em função da retirada da cobertura vegetal nativa e de um solo estruturalmente frágil, e o conseqüente arraste e transporte de sedimentos para o leito principal dos afluentes e a calha principal do Velho Chico (MATIAS *et al.*, 2020; SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020).

Os dados de vazões, com todas as suas variações, são extremamente importantes e usados nos modelos matemáticos para fazer as predições de assoreamento de lagos, barragens e do próprio rio. São vários os fatores considerados e que levam à formação de ilhas e depósitos de areia no leito, dentre eles a diminuição de suas vazões, processos erosivos em suas margens, a devastação de suas matas ciliares, o declínio de seus rios afluentes, a superexploração dos

aquíferos que garantem o seu escoamento de base nos períodos secos e assim por diante (BRASIL, 2006; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014; COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2019). E todos esses fatores estão, hoje, presentes e se agravaram no São Francisco, principalmente no BSF. Além disso, quando as chuvas finalmente chegam, ainda carregam excesso de sedimentos e outros materiais, fenômeno típico de qualquer bacia hidrográfica degradada.

Figura 2 - Assoreamento e formações de ilhas na calha principal do rio no BSF, em 2018, quando a vazão nominal na Hidroelétrica de Xingó chegou a 550 m<sup>3</sup>/s. A – Estrutura temporária de lazer na calha principal do rio; B – Barracas improvisadas para abrigar pescadores nas ilhas formadas; C e D – Vegetação e banco de areia na calha assoreada.



Fonte: José Vieira Silva (2018)

### A origem dos sedimentos do Velho Chico

As produções de água e de sedimentos na Bacia do São Francisco estão concentradas nas cabeceiras do rio e seus principais afluentes nas regiões do Alto e Médio São Francisco, onde o relevo é mais montanhoso e com maiores declividades. E é justamente nessas duas regiões da BHSF onde ocorrem os maiores níveis de atividades relacionadas com agropecuária, mineração, indústrias e construção civil. A ação antrópica nas diferentes áreas da BHSF desencadeia uma série de outras consequências, em efeito cascata. Juntamente com o desmatamento e o manejo inadequado dos solos da bacia toda, principalmente nas áreas degradadas já estabelecidas, as áreas onde são desenvolvidas essas atividades constituem-se como as principais fontes de origens dos sedimentos (ANDRADE, 2002; HOLANDA *et al.*, 2011; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

Como exemplo, a taxa de erosão e a produção de sedimentos levam em consideração os dados relativos a tipos de solos, uso e ocupação de terrenos, topografia (declividade), clima (volume de chuva, temperatura, umidade relativa, radiação solar e vento) e vazão dos rios da bacia. Dessa forma, é preciso fazer uma análise mais complexa para se compreender a real situação dos diferentes cenários pelos quais passam o Velho Chico (ANDRADE, 2002; HOLANDA *et al.*, 2011).

De acordo com estudo realizado pela CODEVASF e pelo Exército dos Estados Unidos (USACE), o leito do rio recebe, por ano, nada menos do que 23 milhões de toneladas de sedimentos. E essa produção de sedimentos é muito maior nas regiões do Alto e Médio, que compreende a bacia hidrográfica nos Estados de Minas Gerais e da Bahia. Destes dois Estados, brotam 90% das águas da bacia e, conseqüentemente, a maior carga de sedimentos lançados na calha do Velho Chico. Essa produção de sedimentos deve-se, basicamente, ao tipo de relevo mais íngreme e também aos processos antrópicos de desmatamento, mineração, agricultura e outras atividades correlatas (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

Após a construção das barragens e hidroelétricas no São Francisco, para produção de energia e regularização das vazões, o volume caudal no BSF foi reduzido drasticamente. Essa redução das águas produziu, concomitantemente, uma baixa taxa de transporte e de carga de sedimentos que chegam até o oceano, estimada em  $2,62 \times 10^5$  toneladas/ano (SILVA; MEDEIROS; VIANA, 2010). Mesmo ainda sendo uma carga considerável de sedimentos, essa pode ser considerada baixa quando comparada com outros rios do mundo, de porte similar, ou mesmo com as estimativas para o Velho Chico de antes da regularização de vazões.

Portanto, as vazões do São Francisco acabaram perdendo a variabilidade sazonal e interanual e isso implicou na diminuição do aporte de material em suspensão. Essa variabilidade sazonal depende da pluviosidade da bacia, que tem uma média anual histórica de 1.036 mm, sendo que os valores mais altos de precipitação, da ordem de 1.400 mm, ocorrem na região das nascentes do rio em Minas Gerais, e os mais baixos, cerca de 350 mm, entre os municípios de Sento Sé e Paulo Afonso, na Bahia (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2020).

De acordo com a CODEVASF (2014), verificar e descobrir a origem do maior aporte de sedimentos no sistema é extremamente importante para o planejamento das políticas públicas. No contexto ambiental, essas informações ajudam no desenvolvimento de ações que visem à redução dos impactos destes sedimentos em toda a BHSF. Através da parceria com o USACE, descobriu-se que a origem e o aporte maiores de sedimentos são provenientes das áreas produtivas, mais íngremes e distantes da calha principal, nas regiões do Alto e do Médio São Francisco. Em outras palavras, nestas regiões, os afluentes contribuem de maneira proporcional ao aporte de água, carregando 23 milhões de toneladas por ano de sedimentos para o canal principal do São Francisco. Constatou-se, ainda, que uma pequena fração desses sedimentos (<<10%) foi oriunda ou resultante do processo de desmoronamento ou erosão de margens do São Francisco e de seus afluentes/tributários.

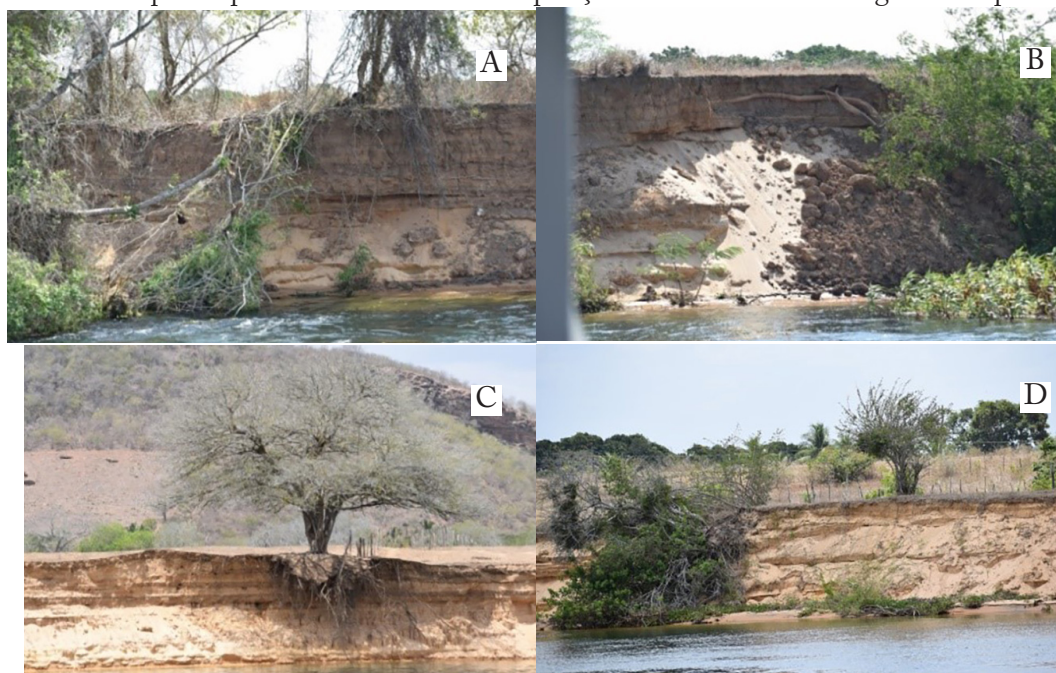
Nas regiões com maiores níveis de desmatamento e de precipitação pluviométrica, as taxas de erosão, arraste, deposição e carregamento de partículas sólidas também foram maiores. Isso resulta no assoreamento mais intenso dos corpos e cursos hídricos, com a formação dos bancos de sedimentos, permanentes (ilhotas e ilhas vegetadas) e/ou temporários. A mineralogia e a granulometria desses sedimentos indicam a hidrodinâmica do sistema e



das condições ambientais de deposição. Também são fatores importantes para o controle da distribuição natural dos diferentes tipos de sedimentos (ANDRADE; FELCHAK, 2009).

Além disso, há também o aumento da erosão marginal e o arraste destes sedimentos para a calha principal do rio, provocando assoreamento e formando novos bancos de areia e ilhas que também impactam na biota aquática (SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020). O efeito de “*águas esfomeadas*” consiste numa intensa abrasão no leito e também nas margens do rio desprotegidas pela ausência de matas ciliares e por uma vazão constante vertida, independente do volume (Figura 3). Estas águas em menor volume, velocidade e força de arraste carregam somente sedimentos finos e leves, e quase nada de sedimentos mais grossos e pesados. E, por outro lado, a vazão constante maior ou superior ao regime natural também provoca erosão e desestabilização das barrancas e dos leitos dos rios e afluentes e é responsável pelo assoreamento à jusante (ANDRADE, 2002; HOLANDA *et al.*, 2011).

Figura 3 - Ocorrências de erosão hídrica nas margens do rio São Francisco, no trecho entre Traipu e Porto Real do Colégio-AL. Detalhes dos perfis de erosão com ênfase para o padrão das camadas de deposição de sedimentos ao longo do tempo.



Fonte: José Vieira Silva (2018)

Em 2002, em estudo realizado pela própria CODEVASF, em parceria com a Agência Nacional de Águas, cerca de 80% dos trechos do São Francisco que foram avaliados apresentaram assoreamento. No BSF, com as reduções das vazões no período compreendido entre 2012 e 2019, esse cenário só se tornou mais crítico. Porém, no ano de 2020, o BSF voltou a receber, momentaneamente, um volume maior de águas e vazões superiores a 1.000 m<sup>3</sup>/s, o que, de certa forma, atenuou todos esses problemas.

## Deposição de sedimentos e assoreamento do São Francisco

O assoreamento de rios, lagos, barragens e outros corpos hídricos é uma ocorrência natural, verificada no mundo todo. Decorre basicamente do arraste ou carreamento de

partículas minerais e orgânicas, oriundas de diferentes origens e locais, situadas dentro das bacias hidrográficas destes corpos e cursos hídricos, para acúmulo no seu leito principal. Em termos geológicos, os sedimentos encontrados nos leitos de rios e cursos d'água são detritos rochosos resultantes dos processos naturais de erosão e intemperização física, química e biológica. E, conforme suas características, esses sedimentos são classificados quanto à composição química e mineral do material de origem, diversidade granulométrica, textura e grau de arredondamento ou desgaste e trabalho ou plano de fissura (FILIZOLA *et al.*, 2006; QUEIROZ *et al.*, 2011; CRUZ *et al.*, 2013).

Uma vez no leito dos rios e cursos d'água, essas partículas sólidas são transportadas a distâncias variadas, podendo ser depositadas conforme seu tamanho (peso), a velocidade e a energia cinética do meio de transporte, resultante do volume caudal ou vazão do rio (PEIXOTO, 2019). Como exemplo dessa variabilidade de taxa de transporte de sedimentos no Velho Chico, os valores em Pirapora (MG) foram de  $8,3 \times 10^6$  ton./ano, em uma área de cerca de 62.000 km<sup>2</sup>; em Morpará (BA), foram de  $21,5 \times 10^6$  ton./ano, em uma área de cerca de 345.000 km<sup>2</sup>; em Juazeiro (BA), foram de  $12,9 \times 10^6$  ton./ano, em uma área de cerca de 510.000 km<sup>2</sup> e, em Propriá (SE), foram de  $0,41 \times 10^6$  ton./ano, em uma área de cerca de 620.000 km<sup>2</sup> (CARVALHO *et al.*, 2000b).

A carga total de sedimentos é frequentemente dividida em dois grupos, representados pela carga de leito (arrasto e saltante) e carga suspensa (suspensão) (BHOWMIK; MISGANAW, 2001). Já a chamada taxa de carga ou quantidade de sedimentos em suspensão, bem como o carregamento desses pelos rios, depende essencialmente da rugosidade do leito do rio, do estancamento do fluxo do rio, da existência de barreiras físicas de atenuação ou dos barramentos construídos nos trajetos dos rios, como açudes, barragens e hidrelétricas. Por outro lado, a existência dessas barreiras pode ou não ajudar na regularização de vazões e para a deposição destes sedimentos, conforme sua taxa de dispersão, através dos volumes caudais liberados destes reservatórios (MAIA, 2006; MORAIS FILHO, 2014).

Em um acordo de cooperação técnica iniciado em 2012, entre CODEVASF e USACE, foi possível demonstrar que há uma forte retenção ou deposição dos sedimentos nos cinco principais reservatórios da BHSF. Os reservatórios de Três Marias e Paulo Afonso têm as menores taxas de retenção, com 37% e 55,5%, respectivamente. Enquanto isso, os reservatórios de Luiz Gonzaga, Sobradinho e Xingó retêm 94,1%, 98,3% e 98,4%, respectivamente, da carga de sedimentos que recebem (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

As medidas feitas no medidor em Propriá (SE) dão conta de que essa entrega de sedimentos poderia ser ainda maior no BSF. Após o estabelecimento do sistema de barramentos para a regularização de vazões, pôde-se verificar que a carga de sedimentos em suspensão foi reduzida em cerca de 33% e a taxa de fluxo em 16,1%. Além disso, a regularização de vazões em Xingó também reduziu em 18,2% a carga de sedimentos em suspensão nas águas vertidas e que chegam até a foz do Velho Chico. De alguma forma, pode-se constatar que as águas vertidas em Xingó apresentam uma carga de sedimentos menor; porém, isso não garante uma melhor qualidade de água para o BSF.

Ainda assim, mesmo com os fatores de retenção do reservatório de Xingó chegando a 98,4%, a previsão da carga de sedimentos entregue ao mar pelo rio São Francisco na sua foz está próxima de 3,2 milhões de toneladas por ano. Essa estimativa representa somente o percentual de 1,6% de toda a carga de sedimentos produzida e movimentada anualmente

pelas águas em toda a bacia do São Francisco, desde suas nascentes em Minas Gerais (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

Em valores absolutos, em toda a bacia hidrográfica do rio, esse volume anual de sedimentos representa  $1,44 \times 10^8$  toneladas, sendo que a maior parte fica depositada no próprio leito do rio (51,3%) e em reservatórios (46,9%). Desse total, como 1,6% é entregue ao mar na sua foz, restam somente 0,2% de sedimentos em suspensão nas águas que correm em toda a extensão do rio.

Analisando a taxa de degradação da bacia do São Francisco como um todo, pelo volume líquido de sedimentos aportados e movimentados anualmente, é possível verificar que há uma forte degradação em todo o curso do rio, uma vez que 64,8% da carga líquida desses sedimentos sofre movimentação constante. Em outras palavras, isto quer dizer que 35,2% dos sedimentos aportados anualmente ao rio são depositados permanentemente e provocam o assoreamento do canal principal do Velho Chico (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

## **A importância e as condições das matas ciliares no BSF**

Em relação à cobertura vegetal, o principal fator a se abordar acerca de bacias hidrográficas é a presença ou manutenção das matas ciliares, que são de fundamental importância na criação e na manutenção da vida em todos os cursos e corpos d'água. Dentre outras funções, além de manter a proteção da área circundante ao corpo aquoso, evita ou atenua a erosão hídrica das margens, bem como o desbarrancamento. Essas matas também funcionam como um importante reduto de biodiversidade das áreas e um bom indicador de equilíbrio ambiental (CHABARIBERY *et al.*, 2008; MORAIS FILHO, 2014; APARECIDO *et al.*, 2016).

As matas ciliares têm sido apontadas como peças-chave e grande divisor de águas para mitigar os problemas e as causas que levam ao agravamento do assoreamento de corpos e cursos hídricos. Geralmente, a taxa de transporte dos sedimentos, dos seus locais de origem até o leito dos rios e cursos d'água, é diretamente proporcional à intensidade do regime pluviométrico, traduzido como energia cinética necessária para o carreamento das partículas para os leitos dos rios e cursos d'água. Uma maior taxa de cobertura vegetal funciona como barreira física de contenção, principalmente nas regiões com maiores índices de pluviosidade e de erodibilidade dos solos (CHABARIBERY *et al.*, 2008).

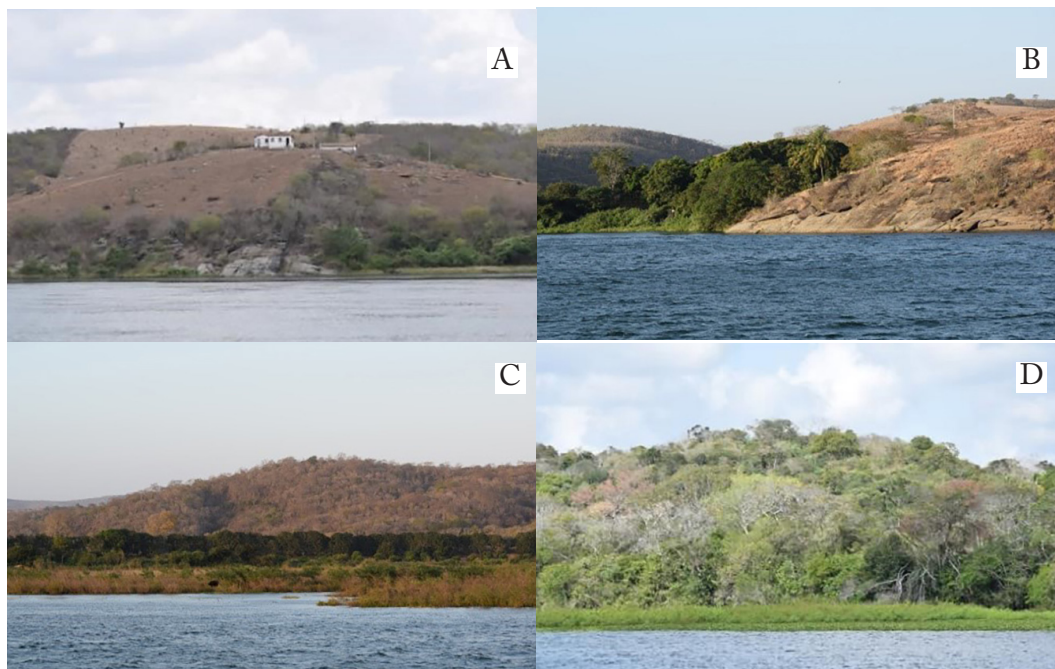
A maior consequência da supressão e falta de matas ciliares é que as partículas sólidas resultantes do processo de intemperização são carreadas e depositadas no leito dos rios, em maior volume e intensidade. Pela própria dinâmica dos rios e cursos d'água, dos reservatórios e da configuração dos leitos e de suas margens é possível obter-se indícios sobre sua origem e o grau de desgaste e de movimentação dos sedimentos. Além disso, é possível inferir também sobre como e o quanto esses materiais sólidos foram trabalhados por rolamento, atrito, arraste e deslocamento dos sedimentos pelas águas nos trajetos percorridos (QUEIROZ *et al.*, 2011; CRUZ *et al.*, 2013; MORAIS FILHO, 2014; APARECIDO *et al.*, 2016).

De maneira geral, o assoreamento tem sido atenuado pela existência de vegetação ou mata ciliar ao longo das margens dos corpos e dos cursos hídricos, que funciona como uma barreira física natural. Mesmo as matas ciliares sendo áreas sensíveis a perturbações por ações



antrópicas e naturais (GOMES; PINHO, 2018), no BSF são vistas condições extremas de completa supressão delas e uns pequenos fragmentos de áreas preservadas (Figura 4). Essa vegetação mitiga o grau de desestruturação do solo, reduz a velocidade de arraste das partículas e do escoamento superficial das águas. Isso permite uma maior retenção e infiltração das águas das chuvas, principalmente em chuvas de mais intensidade, evitando, dessa forma, que ocorra desestruturação acentuada das camadas superficiais e erosão dos solos.

Figura 4 - Registros das margens do rio na região do BSF, com forte supressão das matas ciliares (A e B) e fragmentos de áreas preservadas e áreas de proteção permanentes (APPs) (C e D).



Fonte: José Vieira Silva (2018)

A legislação brasileira é tida como uma das mais avançadas do mundo em relação à proteção e aos crimes ambientais. As leis tratam das matas ciliares e também da questão das Áreas de Preservação Permanente (APP) e reservas particulares do patrimônio natural (RPPN). Tudo isso foi institucionalizado com a aprovação do *Código Florestal* de 1965 (Lei nº 4.771/65) e ambas também estão regularmente abrangidas de forma bem clara na Lei das Águas ou *Código Florestal*, Lei nº 12.651, de 2012.

Quanto às condições atuais das matas ciliares no BSF, foram realizadas algumas coletas de informações primárias, além da coleta de amostras de sedimentos. Foi possível constatar *in loco* o grau de degradação ambiental no que diz respeito à supressão de matas ciliares e vegetação das áreas de proteção permanentes que margeiam o rio São Francisco. No trajeto entre Piranhas e Piaçabuçu, em ambas as margens e em muitos trechos, é flagrante a supressão total da vegetação ciliar (Figura 5).

Figura 5 - Trechos do BSF compreendidos entre Piranhas e Piaçabuçu. Vista do rio em Traipu-AL (A), Porto Real do Colégio-AL/Propriá-SE (B), Povoado Chinaré, em Igreja Nova-AL (C) e Piaçabuçu-AL (D). Em destaque, a formação de bancos de sedimentos, supressão das matas ciliares e substituição por atividades agrícolas.



Fonte: Google Earth, 2020.

Às margens do rio São Francisco, no trecho correspondente ao trajeto entre Piranhas e Penedo, é preciso registrar que o lado de Sergipe apresenta-se visível e sensivelmente mais preservado do que o lado de Alagoas, onde uns poucos resquícios isolados de matas ciliares são registrados. No entanto, vale ressaltar que os fragmentos de matas ciliares do lado de Sergipe não protegem, efetivamente, o curso do rio e estão longe de atender à legislação ambiental para um rio nacional do porte e da envergadura do São Francisco.

Nas duas margens do trecho percorrido, as matas ciliares e as áreas de proteção permanentes (APPs) intactas são praticamente inexistentes. Nos poucos casos de presença de matas ciliares, no lado referente a Sergipe, pode-se registrar, ainda, que há uma pequena diversidade de espécies nativas do bioma correspondente, dispersas em pequenos fragmentos ou árvores isoladas. No trecho final do rio, entre Penedo e Piaçabuçu (foz), também é perceptível que há um aumento substancial dos sinais de antropização das matas ciliares e um maior nível de degradação nas margens do Estado de Sergipe. Há um processo inverso de preservação das matas ciliares das margens próximas à foz, onde as margens do rio, no Estado de Alagoas, apresentam uma maior presença de vegetação ciliar e nativa em relação às áreas antropizadas, porém com inúmeros registros de total ausência e supressão da mata ciliar, para instalação de grandes empreendimentos (SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020).

Além da degradação das matas ciliares nas duas margens do rio, também é perceptível que as áreas de proteção permanentes (APPs) das serras e encostas apresentam uma forte degradação ambiental, com desmatamento ou supressão total da vegetação nativa até as margens do rio. Neste cenário de degradação da vegetação ciliar, é possível verificar também



a ausência de registro de ação efetiva de preservação, recuperação ou atenuação/mitigação das áreas degradadas que seja de curto, médio ou longo prazo.

A redução da vazão, juntamente com o assoreamento, reduziu a largura efetiva do rio, principalmente no trecho entre Traipu e a foz, de modo que, em alguns lugares, essa largura corresponde tão somente a  $\frac{1}{4}$  (25%) da largura média original do rio. Nas ilhas resultantes dos bancos de assoreamento, também há registro de intenso uso recreativo e disputa entre pescadores, população ribeirinha e criadores de animais (bovinos, bubalinos, muares, asininos e equinos) para ocupação e apropriação temporária das mesmas.

As políticas ambientais de preservação e de revitalização do rio no BSF, no âmbito das esferas federal, estadual e municipal, assim como das ações de agências públicas e privadas, não apresentam capilaridade e efetividade ou mesmo acolhida no âmbito das comunidades ribeirinhas, apesar de todos os problemas existentes. Em relação à vegetação das matas ciliares e das APPs, não existem ações efetivas ou possíveis soluções para recuperar ou atenuar o atual estado de degradação do rio São Francisco. É perceptível que há esforços de uns poucos ativistas e defensores do Velho Chico, porém a extensão dos problemas ambientais em muito suplanta as ações desenvolvidas.

## Percepção dos problemas ambientais

Durante a primeira expedição, em outubro de 2018, conforme a CHESF, o Baixo São Francisco foi submetido a uma vazão nominal de somente 550 m<sup>3</sup>/s, a partir de Xingó. Esse volume de defluência também se repetiu no ano de 2019, chegando a 523 m<sup>3</sup>/s em algum momento, e expôs inúmeros problemas. Tanto no que diz respeito à qualidade da água para consumo humano e à facilidade de captação de água para abastecimento em geral quanto ao assoreamento e à redução das condições de navegabilidade do próprio rio.

De maneira geral, esses problemas ambientais do rio São Francisco decorrem desde suas nascentes, em Minas Gerais, até sua foz, na divisa entre Alagoas e Sergipe. Para conhecer melhor a situação *in loco* no BSF e cruzar as informações obtidas com os dados levantados durante as expedições, foram realizadas reuniões com secretários de Agricultura e do Meio Ambiente e órgãos públicos dos municípios visitados e situados no lado de Alagoas (Figura 6).

Figura 6 - Reuniões realizadas no barco durante a expedição com os secretários de Agricultura e Meio Ambiente dos diferentes municípios visitados durante a primeira expedição no Baixo São Francisco, em 2018.



Fonte: José Vieira Silva (2018)

A partir dos relatos dos secretários e das equipes de apoio dos municípios visitados, foi possível levantar e constatar que os problemas de assoreamento e degradação ambiental não têm como origem e causa principal somente a degradação que ocorre no próprio BSF. O sistema de barramento gerido pela CHESF, para fins de produção de energia e regularização de vazões, tem sido apontado como um dos principais causadores dos problemas ambientais e das reduções das vazões. Além disso, as águas vertidas pela Hidroelétrica de Xingó não passam por nenhum tratamento hidrossanitário em especial, seja para reduzir a carga de sedimentos ou mesmo de agentes contaminantes, metais pesados e outros poluentes (SOARES *et al.*, 2020).

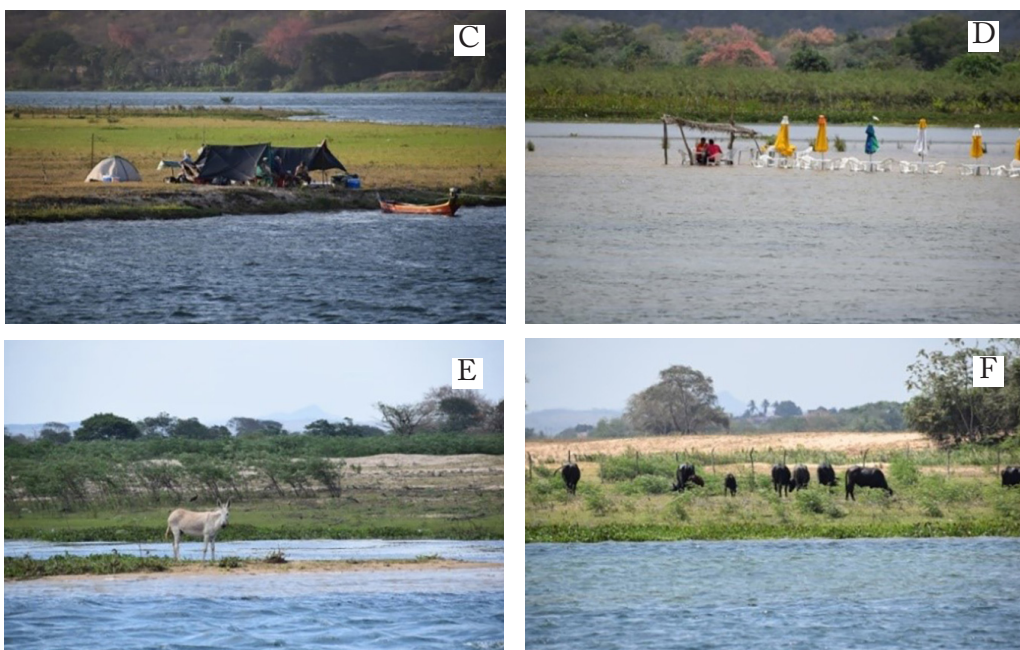
Para entender a dinâmica e compreender melhor os pontos de vista dos secretários das cidades ribeirinhas no BSF, algumas constatações foram levantadas por praticamente todos eles em relação à origem dos problemas de degradação ambiental no BSF (SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020), conforme especificadas a seguir:

A – Ao longo de toda a sua extensão, o rio São Francisco recebe uma carga muito grande de sedimentos e matérias particuladas de diferentes origens e naturezas. Esses materiais todos são transportados e depositados e redistribuídos ao longo dos corpos e do curso hídrico do rio, até chegar à sua foz. Com a implantação do sistema de barramento promovido pela CHESF, através da construção de hidroelétricas, os reservatórios formados passaram a acumular a maior parte desses sedimentos carreados ao longo da bacia hidrográfica do rio. Por outro lado, a regularização e a manutenção do volume caudal constante e as reduções das vazões nominais do rio aumentaram a deposição dos sedimentos carreados ao longo de todo o seu percurso, promovendo o assoreamento da sua calha principal e o surgimento de bancos de sedimentos e ilhas fluviais vegetadas (Figura 7).

B – Com o advento do projeto de transposição do São Francisco e as promessas de recursos para revitalização pelo Governo Federal, através dos então Ministérios da Integração Nacional e do Meio Ambiente, era de se esperar por ações efetivas para mitigação dos danos e problemas hidrossanitários encontrados atualmente em toda a extensão do rio. Desde o início das obras do projeto de transposição, em 2007, ainda não há um histórico, indícios ou registros de obras ou financiamento direto de atividades de revitalização de grande envergadura, de caráter parcial ou global, em toda a extensão da bacia do São Francisco. As experiências exitosas que possam servir de modelos ou mesmo como incentivo ao desenvolvimento de novos projetos para mitigar os impactos negativos da degradação ambiental são inexistentes ou muito tímidas e ineficazes no seu alcance.

Figura 7 - Registros da formação dos bancos de sedimentos (A) no leito principal do rio e a ocupação por pessoas (B, C e D) e animais (E e F) no BSF.





Fonte: José Vieira Silva (2018)

C – No trecho percorrido pelas expedições no Baixo São Francisco, com cerca de 200 km, há uma forte e acentuada degradação das matas ciliares e áreas de preservação permanentes (APPs), ambas às margens do rio, e das áreas do seu entorno. Isso reflete a ausência de políticas públicas integradas das diferentes esferas de governos ao longo dos tempos. Por outro lado, e de maneira geral, é quase unânime entre a população e gestores que há uma associação da degradação ambiental do rio às atividades que decorrem das iniciativas de desenvolvimento atribuídas às agências governamentais de desenvolvimento, que traçaram e fomentaram as políticas de desenvolvimento regional. A princípio, a percepção geral da população e dos gestores é de que essas agências estão preocupadas tão somente com a implantação e o funcionamento dos empreendimentos que financiaram, sem que fossem observadas contrapartidas, mitigações e compensações dos danos ambientais provocados.

D – O Comitê da BHSF foi criado em 1997 e tem por base legal o código das águas de 1934, cujo objetivo principal é fomentar o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. No entanto, o relato atual é de que o presente Comitê tem se mostrado tímido em atuar como promotor e fomentador de iniciativas efetivas locais, voltadas à preservação e superação dos problemas atuais. Nesse contexto, também está inserido o fomento à produção de água através da recuperação e preservação de nascentes. Assim como a recuperação e a preservação das matas ciliares, essa também é uma necessidade urgente levantada por todos, que possa estabelecer um plano de recuperação das nascentes, principalmente nas cabeceiras do rio São Francisco e de seus principais afluentes nos Estados de Minas Gerais (rios Samburá, Serra Canastra, Paracatu, Paraopeba, Abaeté e das Velhas) e Bahia (rios Grande, Salitre, Carinhanha e Corrente), Pernambuco (rios Ipanema, Moxotó e Pajeú), Alagoas (rios Traipu e Piauí) e Sergipe (rios Jacaré e Capivara).

E – Dentre as iniciativas de combate à degradação ambiental e à redução da erosão dos solos e arraste de sedimentos para o leito dos rios, em Alagoas, há um plano inicial do CBHSF para a recuperação de nascentes dos principais afluentes do rio São Francisco, dentre eles, o rio Piauí, com 355 nascentes identificadas, e o rio Boacica, com 154 nascentes em

recuperação. Este plano também tem previsão para abranger os rios Itiúba, Tibiri, Batinga e Perucaba. Na região de Betume, no Estado de Sergipe, existem 144 nascentes identificadas nas bacias dos rios Jacaré e Japarutuba, também com previsão de recuperação.

F – No BSF, os casos mais conhecidos de assoreamentos dentre seus afluentes diz respeito aos rios Traipu e Ipanema, que nascem em Pernambuco, nos municípios de Bom Conselho e Pesqueira, respectivamente. Apesar de terem regimes hídricos temporários e com profundidade média entre 4 e 5 metros, há registros de formação de grandes bancos de areia em seus leitos e calhas principais, ao longo de toda a suas extensão.

Como causa, tem sido atribuído ao elevado índice de supressão das matas ciliares e à falta de proteção e preservação das APPs das respectivas bacias. E isso tem causado um elevado grau de erosão hídrica/laminar, principalmente nos anos de chuvas mais intensas e cheias, quando esses sedimentos são carreados em grandes quantidades para o leito do Velho Chico.

G – Assim como o assoreamento, a escassez hídrica no período de 2013 a 2019 e a redução da vazão nominal do rio contribuíram para agravar o problema de salinização e o avanço da cunha salina na foz do rio São Francisco. Contribuiu de maneira direta também a execução do plano de regularização de vazão do rio, pelo gestor nacional de águas, a Agência Nacional de Águas (ANA), e de energia elétrica, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Esse conjunto de eventos aumentou a ocorrência, a magnitude e o alcance da “cunha salina” no Baixo São Francisco. Com a redução do volume caudal do rio e o surgimento dos bancos de areia e ilhas, também foram registrados problemas com a captação e o abastecimento de água de alguns municípios e povoados. Para amenizar o problema, nos municípios mais próximos à foz, foram necessárias as intervenções tanto do CBHSF como do poder público constituído. No caso do povoado de Resina (SE), como medida paliativa, foi necessária a construção de 900 m de estrada, financiada pelo próprio comitê, para facilitar o acesso à água. Além disso, outros municípios tiveram que deslocar seus pontos de captação de água para consumo humano, seja pela dificuldade física de acesso devido ao assoreamento, seja pela presença da cunha salina.

H – Outro agravante levantando diz respeito aos interesses econômicos e políticos regionais, que se sobrepõem aos interesses ambientais e das comunidades, bem como aos próprios problemas identificados em toda a bacia do rio São Francisco. Isso pode ser percebido através do relato dos secretários, que apontam para o aumento do número de outorgas legais concedidas pela ANA ao longo de todo o curso do rio, para atender a demandas de toda natureza, sem levar em consideração os prejuízos e danos ambientais provocados.

## **Ocupação dos solos da bacia e assoreamento no BSF**

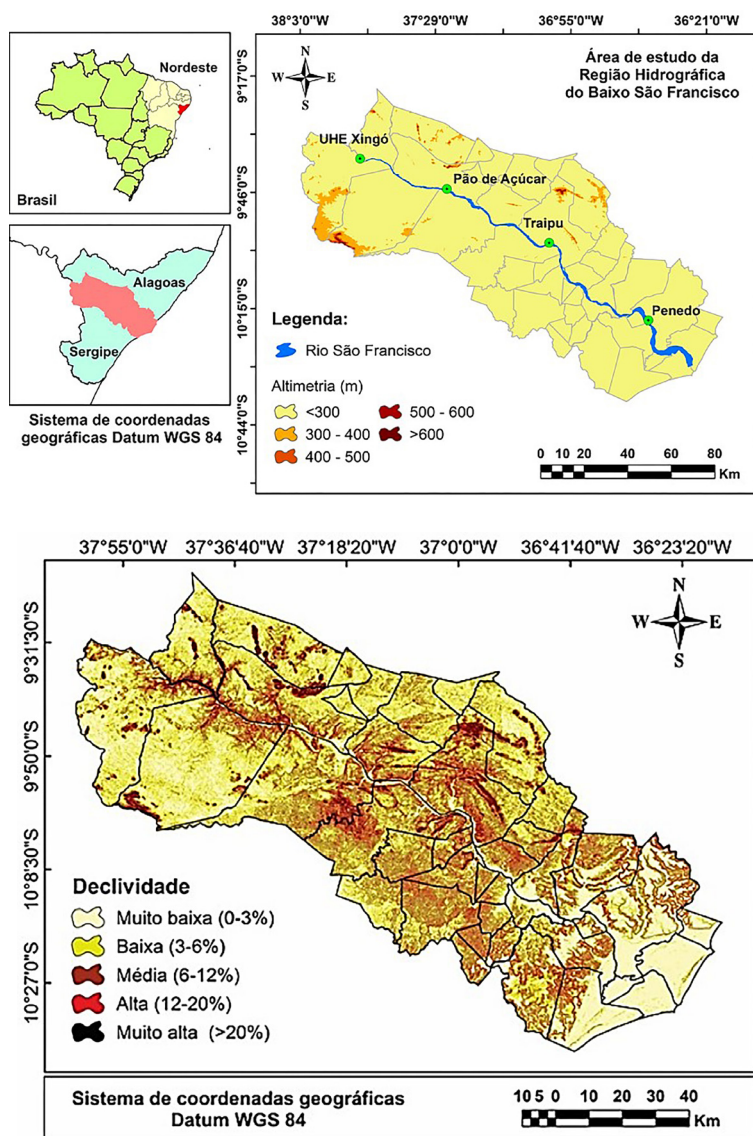
A região do BSF, no trecho entre Xingó e a foz, apresenta uma variação muito grande de relevo e de paisagens, em torno da calha principal do rio, porém com altitude predominante inferior a 300 m (Figura 8A). A variação de relevo e, conseqüentemente, da sua declividade fizeram com que, ao longo dos tempos, ocorressem impactos distintos decorrentes das ações antrópicas que alteraram as características da vegetação e da ocupação dos solos nos mais de 200 km de extensão do rio, entre Piranhas e a foz. A relação é direta entre o relevo e a declividade, o grau e o tipo de exploração por uma atividade econômica e os problemas de erosão e os níveis de degradação das áreas.

Diferentemente das regiões do Alto e Médio São Francisco, o relevo do BSF é menos acidentado e com baixa declividade, desde Xingó até a foz (Figura 8B). Em alguns poucos



lugares, a declividade no BSF supera os 10% e, dificilmente os 20%. Isso implica em menor poder de arraste de sedimentos da bacia, por ocasião da ocorrência das chuvas, em relação às regiões de maiores declividades, como as observadas nas nascentes do Velho Chico.

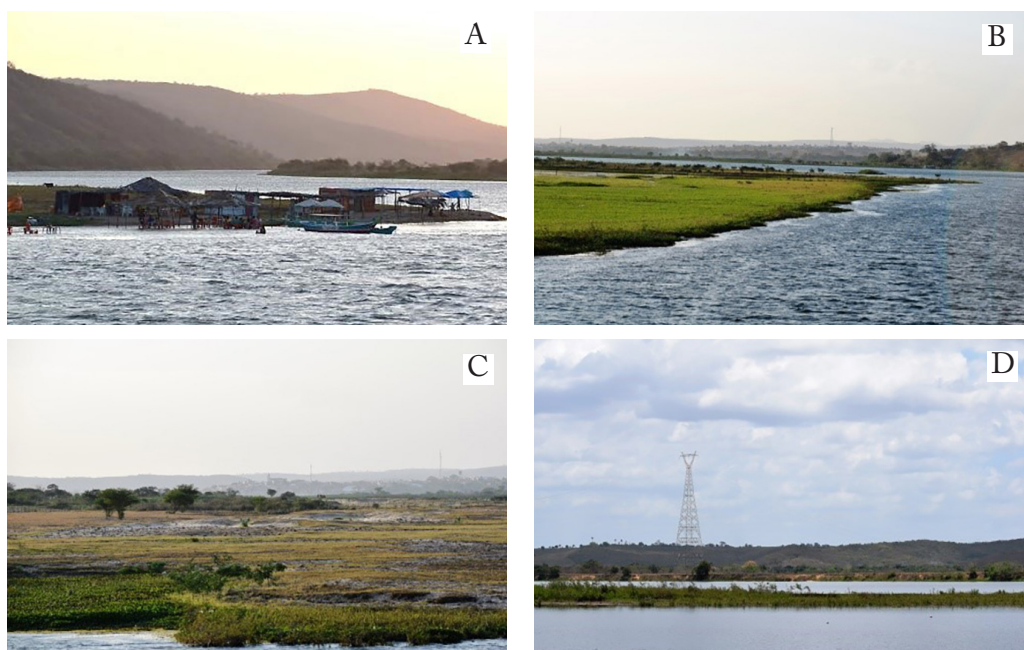
Figura 8A e 8B - Mapas de altimetria (A) e declividade (B) da área do BSF, de Xingó até a foz.



Fonte: Anderson dos Santos (2020).

Porém, também é perceptível que, mesmo sendo áreas mais planas, o grau de degradação dos solos e a supressão da vegetação são muito elevados, assim como também o grau de erodibilidade vista nos solos expostos da região do BSF. Isso torna a velocidade de deslocamento e o escoamento das águas e sedimentos mais lentos e, quando há redução das vazões vertidas, o assoreamento do leito do rio torna-se mais visível (Figura 9).

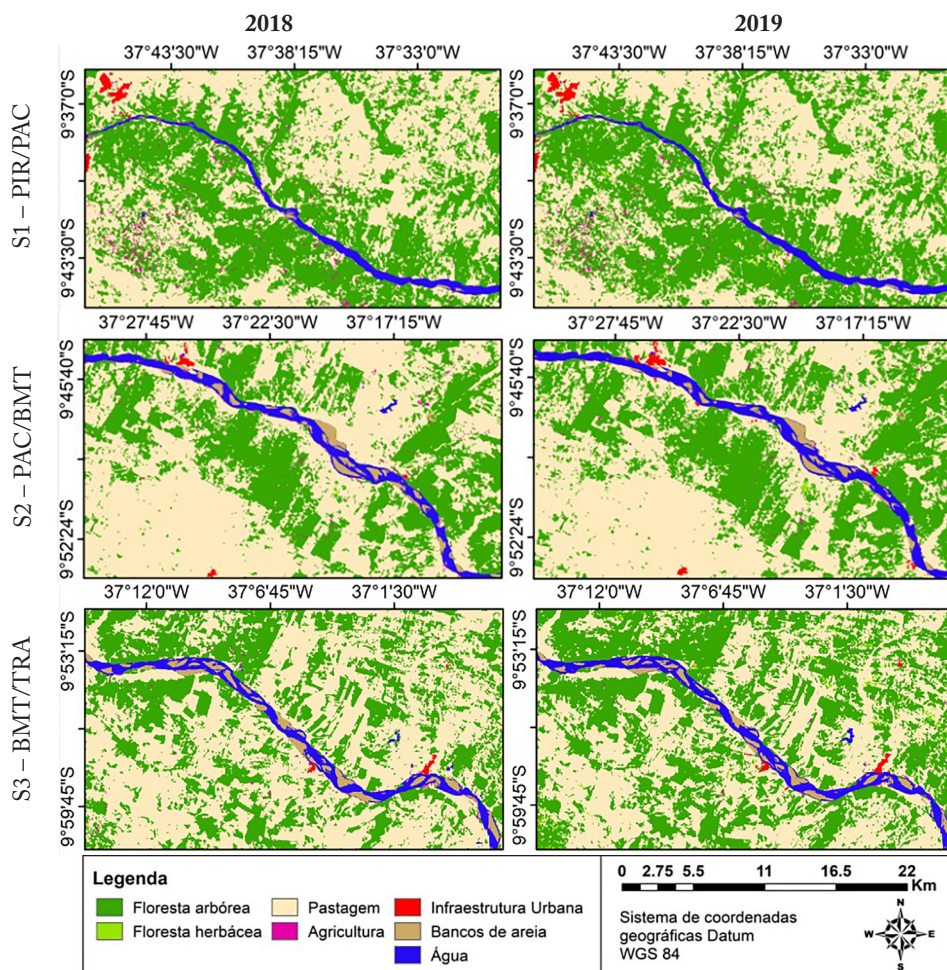
Figura 9 - Ocupação (A) e assoreamento (B, C e D) do leito do rio na região do BSF, em consequência da redução das vazões no ano de 2018 e 2019.



Fonte: José Vieira Silva (2018)

No total de 11.936,4 km<sup>2</sup> analisados na região do BSF cortada pelo Velho Chico, de Piranhas até seu encontro com o mar, é possível verificar que o trecho compreendido entre Piranhas (PIR) e Traipu (TRA), separado em três setores (S1, S2 e S3), é o que apresenta os maiores percentuais de vegetação nativa preservada, classificada como floresta arbórea, com valores variando de 24% a 36% (Figura 10).

Figura 10 - Mapas de ocupação de solos e de incidência de assoreamento no Baixo São Francisco, nos trechos compreendidos pelos municípios de Piranhas (PIR), Pão de Açúcar (PAC), Belo Monte (BMT) e Traipu (TRA), para os anos de 2018 e 2019. Área S1 = 3123,5 km<sup>2</sup> (26,2%); Área S2 = 1614,2 km<sup>2</sup> (13,5%); Área S3 = 2505,9 km<sup>2</sup> (21%).



Fonte: Anderson dos Santos (2020).

Essa maior taxa de preservação da vegetação nativa em relação aos demais trechos até a foz pode ser atribuída ao relevo mais acidentado, porém de baixa declividade ( $<< 20\%$ ), no entorno da calha principal do rio. Mas vale ressaltar também que, no decorrer de todos esses três primeiros trechos, as áreas apresentam sinais visíveis de antropização, permeadas por áreas de pastagens.

A ocupação por pastagens é maior no trecho de Piranhas e vai decrescendo até a foz, ao contrário do que é observado com a ocupação pela atividade agrícola, que é menor em Piranhas e vai crescendo até a foz. A área total ocupada pela a agricultura no trecho de entre Piranhas e Traipu é muito pequena, chega a somente 1,35% da área total. Porém, a partir de Traipu até a foz, a atividade agrícola cresce consideravelmente, com ocupação dos solos variando de 6,4% a 28,5%, respectivamente (Figura 11).

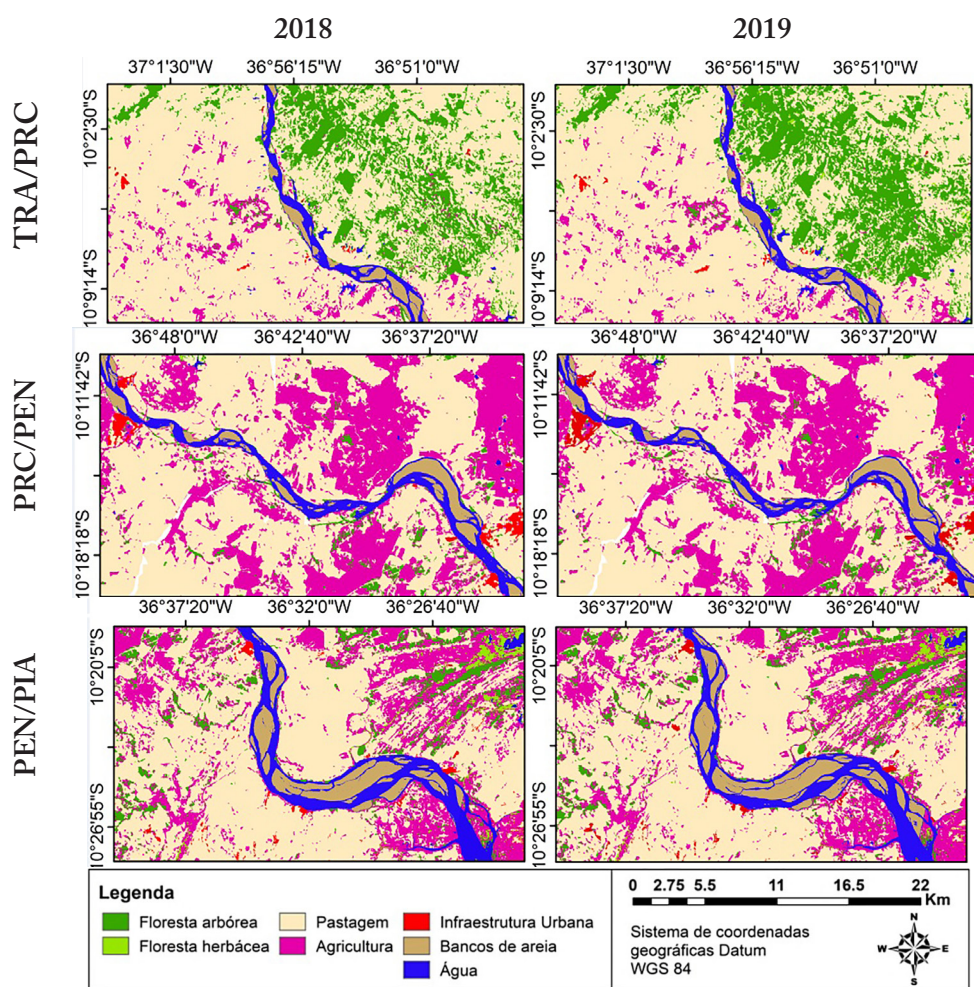
A antropização no trecho de Piranhas a Traipu (S1, S2 e S3) fica ainda mais evidente quando se constata que a extensão das áreas ocupadas com pastagens é de duas a três vezes maior do que a ocupada pelas florestas arbóreas. Esses valores de ocupação das pastagens



corresponderam de 60% a 75% da ocupação dos solos. O comparativo entre os anos de 2018 e 2019, na extensão do rio entre Piranhas e Piaçabuçu, chama a atenção para o aumento das áreas com floresta arbórea e herbácea e a redução das pastagens. Também foi verificada redução das áreas com agricultura, porém só nos trechos entre Piranhas e Traipu.

Agora, o aumento que mais chama a atenção, de Piranhas a Piaçabuçu, é a deposição de sedimentos ou o surgimento de bancos de areia no leito do rio, com aumentos percentuais que variaram de 42,1% a 66,6% (Figura 12).

Figura 11 - Mapas de ocupação de solos e de incidência de assoreamento no Baixo São Francisco, no trecho compreendido pelos municípios de Traipu (TRA), Porto Real do Colégio (PRC), Penedo (PEN) e Piaçabuçu (PIA), para os anos de 2018 e 2019. Área S4 = 1536,6 km<sup>2</sup> (12,9%); Área S5 = 1538,1 km<sup>2</sup> (12,9%); Área S6 = 1618,2 km<sup>2</sup> (13,6%).

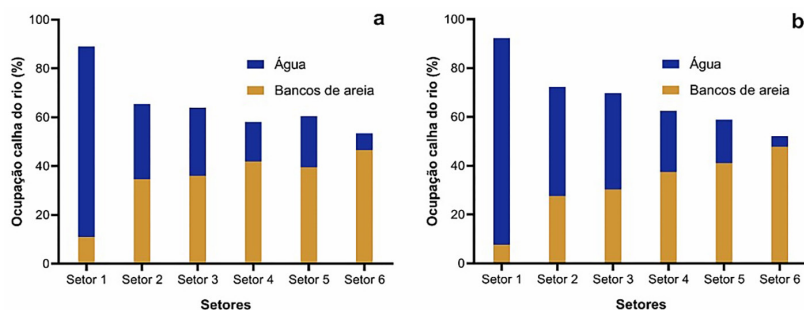


Fonte: Anderson dos Santos (2020).

As reduções das vazões e, conseqüentemente, do nível da lâmina e do espelho d'água do rio implicam em maior exposição da calha e do fundo do rio. Esses sedimentos arrastados são deixados à mostra e depositados ao longo do seu percurso, formando bancos de areia e ilhas, que são traduzidos, em termos gerais, como assoreamento.



Figura 12 - Ocupação (%) da calha principal do rio São Francisco na região do BSF, para os meses de outubro de 2018 (a) e dezembro de 2019 (b), de acordo com os setores analisados. S1 (PIR/PAC); S2 (PAC/BMT); S3 (BMT/TRA); S4 (TRA/PRC); S5 (PRC/PEN) e S6 (PEN/PIA).



Fonte: Anderson dos Santos (2020).

Em consulta e análise dos boletins da CHESF, para os anos de 2018 e 2019, as vazões nominais praticadas em Xingó atingiram seus menores volumes históricos, resultando em inúmeros transtornos no BSF – o assoreamento foi somente um deles. Há locais em que essa variação depende da largura da calha principal; os locais mais estreitos e profundos quase não apresentam assoreamento aparente. No entanto, nos setores S5 e S6, por estarem mais próximos da foz, a mobilidade dos sedimentos depende essencialmente da ocorrência de vazões maiores como meio para arrastar os bancos de areia formados recentemente e entregá-los ao mar. Nos meses analisados, nestes dois últimos setores, S5 e S6, antes de o rio encontrar o mar, as proporções médias de água/sedimentos na calha principal foram de 60%/40% e 52%/48%, respectivamente.

### Análises dos sedimentos no BSF

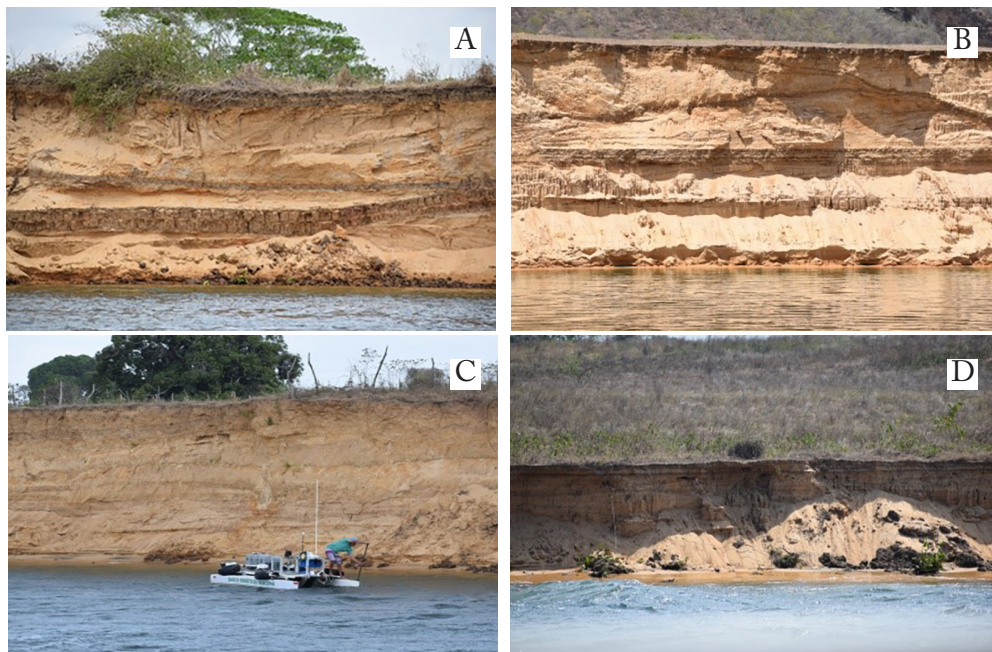
Ao longo do trajeto percorrido no BSF, na primeira expedição, foi possível verificar uma forte ação erosiva das águas sobre as margens do rio. Mesmo com baixa vazão, e constante, as águas provocaram desbarrancamento e arraste das matas ciliares e dos sedimentos para o leito do rio. A exposição destes perfis visualizados pelas barreiras erodidas, com 3, 4 e até 5 metros de altura, contam uma história sobre a dinâmica do transporte de sedimentos ao longo dos tempos (Figura 13). A existência de camadas laminares de deposição e composição diferentes aponta para grandes variações no regime hídrico do rio, ano a ano, porém sem uma datação específica (SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020).

Para se conhecer melhor as características dos sedimentos do BSF, durante a expedição científica de 2018, foram realizadas coletas aleatórias de amostras de material das margens de Alagoas e Sergipe, da calha principal e das ilhas e bancos de areia formados no leito do rio (Figura 14).

Após fracionamento de cada uma das amostras por tamisação, na análise granulométrica foi verificada uma grande variabilidade de tamanho granulométrico e tipos de sedimentos e materiais orgânicos depositados ou presentes. Os processos visíveis de erosão hídrica e assoreamento apresentam uma dinâmica de arraste e deposição de material muito variável com a vazão do rio. Além de reduzir a profundidade média do rio, a deposição promove o surgimento de novos afloramentos de sedimentos acima do espelho d'água. Em termos de composição granulométrica, os novos bancos de sedimentos (com até três anos de formação)

são constituídos de areias (fina e média) e silte, com material bastante retrabalhado pelas águas, enquanto que, nos bancos mais antigos, há presença visível e em maiores proporções de silte e argilas (Figura 15).

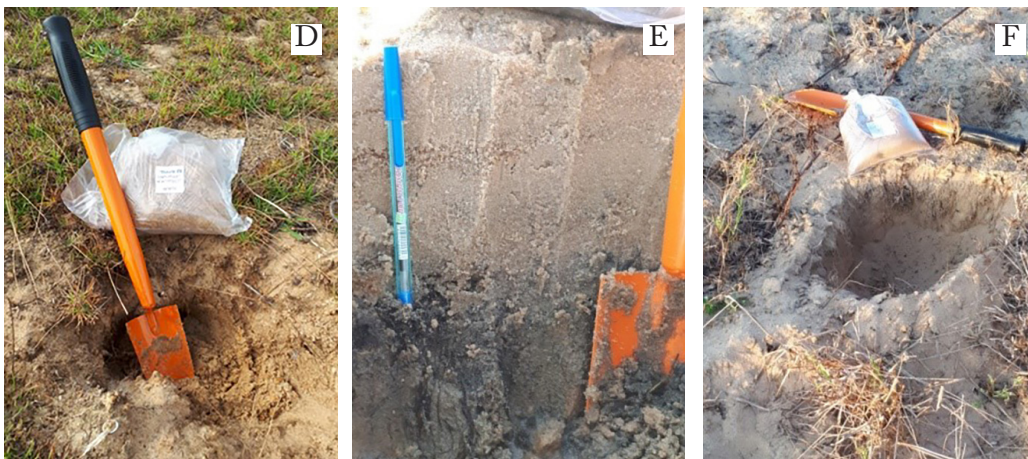
Figura 13 - Barreiras erodidas pelas águas na região do BSF, no ano de 2018.



Fonte: José Vieira Silva (2018).

Figura 14 - Detalhes das coletas de amostras de solos/sedimentos nas margens (A, B e C) e ilhas (D, E e F) na região baixa do rio São Francisco, em 2018.





Fonte: José Vieira Silva (2018).

Os sedimentos encontrados nos locais de coletas das amostras, entre margens, o banco de sedimentos e o leito da calha principal, são predominantemente constituídos de areia (média e fina), silte e argila, com granulometria variando de 0,001 mm a 0,60 mm, possuindo, ainda, alguns agregados suportados por lama e fragmentos líticos. Porém, nas amostras da calha principal do rio, foi encontrada uma pequena fração com granulometria acima de 0,6 mm (caracterizada como areias média e grossa) (Figura 15).

Os sedimentos possuem esfericidade variável (baixa, média e alta), com diferentes graus de retrabalho e rolamento, com grande variação de forma e plano de fragmentação variando de muito angulosos e subangulosos a subarredondados e arredondados. Minerologicamente, os sedimentos são compostos predominantemente por quartzo, feldspato, argilominerais e outros minerais máficos (minoria).

Todas as amostras de solos coletados foram constituídas basicamente de areia, nas três escalas de granulometria (grossa, média e fina) e uma fração considerável de silte e argila nas amostras coletadas nas margens preservadas do rio e nos locais de águas paradas. Nas margens, tanto de Alagoas quanto de Sergipe, é possível verificar, nos solos das áreas preservadas, que suas constituições granulométricas apresentam uma predominância de fração argila e silte, completamente distinta dos sedimentos encontrados no leito principal do rio.



Figura 15 - Caracterização e análise granulométrica dos sedimentos e amostras de solos das margens, do banco de assoreamento e do leito do rio São Francisco, em Penedo-AL, realizadas em 2018.

Coordenadas	10°16'19,8" 36°39'38,3"	10°16'02,1" 36°40'15,7"	10°16'15,0" 36°40'24,2"	10°15'58,2" 36°40'36,1"	10°15'54,2" 36°40'34,0"
Foto Geral					
Foto 1					
>2000 μm	1,10	0,00	0,00	2,26	1,30
>600 μm	29,99	0,14	0,48	15,84	44,65
>500 μm	1,78	0,10	0,53	3,87	2,42
>425 μm	3,27	0,82	5,60	11,70	4,69
>250 μm	12,01	47,36	58,03	44,66	7,78
>212 μm	7,62	33,79	24,22	14,24	6,23
<212 μm	44,24	17,78	11,14	7,43	32,94
Obs	Área Preservada SE	Calha rio SE – água parada	Ilha Central mais de 5 anos	Calha do Rio AL Água corrente	Margem AL – Barreira erodida

Fonte: José Vieira Silva (2018).

Os sedimentos de águas correntes apresentaram uma granulometria maior quando confrontados com os sedimentos de águas paradas, cuja granulometria é menor e constituída basicamente de areia fina e da fração silte + argila. É possível constatar, ainda, que os sedimentos de águas correntes apresentam um grau de desgaste e rolamento mais acentuado do que aqueles encontrados nos locais de águas de menores correntezas ou mesmo paradas.

A granulometria dos sedimentos das ilhas ou dos bancos encontrados na calha principal do rio, formados há mais de cinco anos e com vegetação arbórea estabelecida, é predominantemente pequena, constituída de materiais à base de silte e argilas. Já nos bancos recém-formados (menos de três anos) e com característica arenosa, há a predominância de sedimentos classificados como areia média e fina e poucos sedimentos classificados como silte e argila.

Em Piaçabuçu, foi verificada uma redução no tamanho das partículas dos sedimentos, tanto nas águas paradas como nas ilhas e margens. Por outro lado, na calha principal, com água corrente, ainda é possível verificar sedimentos com composição granulométrica predominante de areia média misturada com uma fração constituída de limo e material organoargiloso (lama). Há que se enfatizar que, em todos os locais de coletas no leito do rio em Piaçabuçu, há um aumento substancial da salinidade da água em relação aos demais locais de coleta, com condutividade elétrica da água ( $CE_{\text{Água}}$ ) que variou de 8 a 15  $\text{dS.m}^{-1}$ , de acordo com a hora do dia e com a profundidade do rio.

Com a redução do volume da vazão e a redução da velocidade da água na calha do rio, aumentou a deposição de sedimentos de menor tamanho, como areia fina, silte e argila. Muito provavelmente, essa tenha sido a dinâmica de formação e consolidação dos bancos de

sedimentos encontrados no leito do rio. Apesar de existirem vários estudos visando estabelecer uma fórmula padrão para estimativas das cargas de sedimentos e sua deposição, nenhum deles encontrou, ainda, uma maneira de fazê-los (MELO *et al.*, 2020).

Os sedimentos depositados e em movimento nas águas dos rios e reservatórios apresentam diversas granulometrias e são transportados de acordo com a dinâmica e as condições locais do escoamento. As forças cinéticas que atuarão sobre as partículas poderão mantê-las em suspensão ou no fundo do rio. Essas condições são em função do tipo de escoamento, do tamanho, da forma e do peso das partículas, da velocidade/força da correnteza e de outros fatores interrelacionados, como forma do canal, temperatura da água e declividade do leito, dentre outros (CARVALHO *et al.*, 2000a).

O transporte de sedimentos por fluxo de água depende do material, das condições de fluxo e do tamanho das partículas. Geralmente, os movimentos das partículas dão-se por rolamento, deslizamento e saltos no leito ou através do movimento de partículas suspensas (CARVALHO *et al.*, 2000b). Os diversos meios de transporte devem-se ao fato de que os sedimentos apresentam diferentes tipos e características. Sedimentos com granulometria mais grosseira movimentam-se como carga de fundo, enquanto as partículas mais finas são transportadas como carga suspensa no curso hídrico (BHOWMIK; MISGANAW, 2001).

### **Extração de areias das margens e dos bancos de sedimentos**

O que hoje é considerado um crime ambiental previsto em lei pode se constituir em uma fonte de renda para bancar projetos futuros de recuperação e educação ambiental. Em alguns pontos específicos do BSF e em função das altas taxas de deposição de sedimentos, formados, na sua grande maioria, por areias, o assoreamento poderia servir como fonte ordenada para a extração de areias. De forma não oficializada, essa atividade já ocorre de modo rotineiro e sem ordenamento para suprir as demandas da construção civil (Figura 16).

Com a devida autorização e fiscalização, a dragagem em determinados pontos na calha principal do rio poderia vir a ser uma grande alternativa para a arrecadação de fundos, sem implicar em danos ambientais maiores do que os já causados pelo próprio assoreamento. Como ainda há uma pequena variabilidade de vazões, consequentemente, esses locais de extração de areia teriam novas cargas de sedimentos a cada novo ciclo de cheias. Como as cheias proporcionam escoamentos muito velozes e turbulentos, possuem grande capacidade de carregamento, deslocando partículas finas e grossas. Por outro lado, vazões reduzidas também diminuem a velocidade e o transporte de sedimentos torna-se mais seletivo. Assim, os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos são dependentes da granulometria do material particulado presente na bacia e dos ciclos das cheias (BHOWMIK; MISGANAW, 2001; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014).

Figura 16 - Atividades e ocorrências frequentes às margens do rio, no BSF, que são classificadas como irregulares, conforme as leis ambientais. A – Areia usada para construção civil e B – extração de areia.



Fonte: José Vieira Silva (2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A situação de degradação ambiental por causas antrópicas em toda a extensão do rio São Francisco preocupa, devido à falta de ações mitigadoras efetivas por parte dos poderes constituídos. Aliado a isso, é possível também constatar que ocorreram mudanças naturais do regime hídrico na bacia, tornando ainda mais intensos os efeitos do sistema de regularização de vazões da bacia. É urgente que, nos planejamentos futuros, sejam pensadas alternativas que possibilitem atenuar, suplantar ou mesmo mitigar os principais problemas enfrentados pelo Velho Chico, principalmente no que diz respeito ao assoreamento e à poluição das águas.

É salutar e recomendado que os agentes públicos do Baixo São Francisco possam atuar fortemente para reverter outros importantes problemas encontrados, além do assoreamento e da poluição das águas, como é o caso da ocorrência de cunha salina e da recomposição de matas ciliares e cobertura vegetal da bacia e recuperação de nascentes e veredas dos afluentes. Existem alternativas de projetos para aumentar e regularizar o volume de água na bacia do Velho Chico, como o desvio de águas da bacia do Tocantins e a construção de novas grandes barragens nos maiores afluentes do Alto e do Médio São Francisco. Além disso, são necessárias ações de educação ambiental e também intervenções severas para conter o assoreamento e aumentar o volume do leito de forma que possa garantir as condições de navegação e o equilíbrio ambiental.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.R.; FELCHAK, I.M. A poluição urbana e o impacto na qualidade da água do rio das Antas - Irati/PR. **Geoambiente On-Line**, n.12, jan./jun., p. 108-132, 2009.

ANDRADE, R.M.T. Águas para a vida! Assim gritam as vozes que vivem na bacia do Velho Chico. **Fórum permanente de defesa do São Francisco**. International Rivers Network - Coalizão rios vivos. Agosto de 2002.

APARECIDO, C.F.F. *et al.* Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 239-256, maio/jun. 2016.

BARBOSA, J.M.C.; PINTO, M.R.; CASTRO, M.A.H. Erosão e Assoreamento em

Reservatórios. **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 12, 04 a 07 de novembro de 2014, Natal-RN.

BHOWMIK, N.; MISGANAW, D. River Geometry, Bank Erosion, and Sand Bars within the Main Stem of the Kankakee River in Illinois and Indiana. Illinois State Water Survey. **Contract Report 2001-09**. Champaign, IL, 2001.

CABRAL, J.B.P. Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 6, n.14, p. 62-69, fev. 2005.

CARVALHO, N.O. *et al.* **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000a.

CARVALHO, N.O. *et al.* **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000b.

CASTRO, C.N.; PEREIRA, C.N. Revitalização do Rio São Francisco. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, IPEA, v. 17, p. 69 – 76, jul./dez. 2017.

CAVALCANTE, G. *et al.* Temporal streamflow reduction and impact on the salt dynamics of the São Francisco River Estuary and adjacent coastal zone (NE/Brazil). **Regional Studies in Marine Science**, v. 38, July 2020.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO. 2020. **A Bacia**. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em: 10 ago. 2020

CHABARIBERY, D. *et al.* Recuperação de matas ciliares: sistemas de formação de floresta nativa em propriedades familiares. **Informações Econômicas**, v.38, n.6, jun. 2008.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **Redução temporária da vazão mínima do rio São Francisco para 550 m<sup>3</sup>/s, a partir da UHE Sobradinho**. 2019. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/SistemaCHESF/Documents/RT-DOOH%20008%20-%202019-IBAMA.pdf>. Acesso em: 20 jul.2020

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Relatório Final: CODEVASF/Usace**. 2014. Disponível em: [https://issuu.com/canoadocs/docs/p06\\_sao\\_francisco\\_river\\_watershed\\_model\\_final\\_repo](https://issuu.com/canoadocs/docs/p06_sao_francisco_river_watershed_model_final_repo). Acesso em: 20 jul. 2020.

CRUZ, M.A.S. *et al.* Caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos como suporte para análise de contaminação ambiental em nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA). **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 49-62, 2013.

FILIZOLA, H.F.; GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa, 2006.

GOMES, E.A.H.; PINHO, E.F.M. **Avaliação de Impactos Ambientais em um Trecho do Rio São Francisco em Pirapora-MG**. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 03, n. 07, ano 03, p.113-127, 2018.

HOLANDA, F. *et al.* Percepção dos ribeirinhos sobre a erosão marginal e a retirada da mata ciliar do rio São Francisco no seu baixo curso. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 22, p. 219-237, 2011.

IMESON, A; CURFS, M. **Erosão do solo**. 2012. Disponível em: <http://geografia.fcsh.unl.pt/>



lucinda/Leaflets/B1\_Leaflet\_PT.pdf. Acesso em: 23 jul. 2014

LOU, E.A.V.; COSTA, N.L. **Diagnóstico da qualidade ambiental da bacia do rio São Francisco: sub-bacias do Oeste Baiano e Sobradinho**. Estudo e pesquisas em geociências. Rio de Janeiro: Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, 1994.

MAIA, A.G. **As consequências do assoreamento na operação de reservatórios formados por barragens**. 271 f. 2006. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2006.

MARTINS, S.V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2007.

MATIAS, L. *et al.* Ecologia da Paisagem Aplicada à Análise Ambiental e Temporal da Vegetação Remanescente em Penedo, Alagoas. **Geoambiente On-Line**, v. 37, p. 322-342, 2020.

MELLO-THÉRY, N.A. Perspectivas ambientais 2019: retrocessos na política governamental. **Confins** [En ligne], v. 501, 2019. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/21182>. Acesso em: 10 Sept. 2019.

MELO, S.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, R.M.C.M.O. Curvas-chave de descargas de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 03, p. 1248-1262, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília – DF: MMA, 2006.

MORAIS FILHO, J.Z. **O Assoreamento nos Lagos Igapó I e II na cidade de Londrina - PR**. 78 f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

PEIXOTO, R.A.O. **Estudo do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jordão**. 146 f. 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. 2019.

OPP, J. H. **Geologia Geral**. Rio de Janeiro; São Paulo: LTC, 1988.

QUEIROZ, M.M.A.; HORBE, A.M.C.; MOURA, C.A.V. Mineralogia e química dos sedimentos de fundo do médio e baixo Madeira e de seus principais tributários – Amazonas – Brasil. **Acta Amazonica**, v. 41, n.4, p. 453- 464, 2011.

RAMOS, Y.S.; PEDROZA, J.P. Áreas degradadas por erosão próximas ao reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga – PE. **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 12, 04 a 07 de novembro de 2014. Natal – RN.

SILVA, A.M; SCHULZ, H.E; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: Rima Editora, 2004.

SILVA, J. V.; VIEIRA, J.V.; RIAL, E.P. Matas ciliares, assoreamento e educação ambiental no baixo São Francisco. **Relatório da I Expedição do Baixo São Francisco**. 2020.

SILVA, J.V.; CÂMPELO, M.J.R.; RIAL, E.P. Educação ambiental nas escolas ribeirinhas do baixo São Francisco. **Relatório da II Expedição do Baixo São Francisco**. 2020.



SILVA, W.F.; MEDEIROS, P.R.P.; VIANA, F.G.B. Quantificação preliminar do aporte de sedimentos no baixo São Francisco e seus principais impactos. **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 10, 16 e 19 de novembro de 2010, Fortaleza – CE.

SOARES, E.C. *et al.* **Relatório da II Expedição do Baixo São Francisco**. Relatório Técnico. 2020.

# WATER SALINITY IN THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER

Marcus A. S. Cruz;  
Carlos A. da Silva;  
Robson D. Viana;  
Carlos A. B. Garcia;  
Petrônio A. Coelho Filho;  
Marco Y. A. V. Praxedes;  
Silvânio S. L. da Costa

## SUMMARY

In recent years, the region of the São Francisco River's estuary has presented severe problems resulting from the advancement of the salt wedge. Thus, a decrease in the productive capacity of the economic sectors in the region has been identified. In 2018 and 2019, two scientific expeditions were carried out that sought to contribute to understanding the variation of salt content in the waters of the São Francisco River. Surface and bottom water samples collected between the municipality of Traipu-AL and the municipality of Penedo-AL were defined as "fresh waters," with an average salinity of  $0.025 \pm 0.007$  ‰ in this stretch of the river. At sampling points in the municipality of Piaçabuçu-AL, with a mean surface salinity of  $3.55 \pm 1.35$  ‰ to  $2.71 \pm 1.54$  ‰, and at Brejo Grande, with a mean salinity of  $6.49 \pm 4.39$  ‰ in the surface and  $10.05 \pm 1.06$  ‰ at the bottom, the collected surface and bottom waters were defined as "brackish waters".

## CAPÍTULO 2

# SALINIDADE DA ÁGUA NA REGIÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Marcus A. S. Cruz<sup>8</sup>

Carlos A. da Silva<sup>9</sup>

Robson D. Viana<sup>10</sup>

Carlos A. B. Garcia<sup>11</sup>

Petrônio A. Coelho Filho<sup>12</sup>

Marco Y. A. V. Praxedes<sup>13</sup>

Silvânio S. L. da Costa<sup>14</sup>

### INTRODUÇÃO

Os estuários são regiões de encontro do rio com o mar em que a terra e o oceano contribuem para a formação de um ecossistema de características únicas, onde as águas marinhas salinas são diluídas pela presença de água doce (NATIONAL ESTUARINE RESEARCH RESERVE, 1997). Regiões estuarinas são caracterizadas pela influência de diversos fatores determinantes de suas características físicas, químicas e biológicas, como as vazões dos rios, a intensidade das marés, a salinidade, as obras humanas e os depósitos sedimentares, além de elementos climáticos (SALOMONI *et al.*, 2007). A região conhecida como Baixo São Francisco, que contém a foz do rio de mesmo nome, vem apresentando, nos últimos anos, sérios problemas decorrentes do avanço da cunha salina, afetando negativamente as atividades econômicas da região, podendo vir a inviabilizar, em último caso, a utilização das águas para fins de abastecimento humano, com prejuízos não restritos apenas aos municípios ribeirinhos à calha do rio São Francisco (GONÇALVES, 2016; MEDEIROS *et al.*, 2016), mas a todos os municípios que utilizam essas águas para fins de abastecimento, como é o caso de 70% da população de Aracaju, capital do Estado de Sergipe.

O regime de vazões do rio São Francisco nessa região é regido pelos reservatórios localizados nas partes mais altas da bacia, como as barragens de Sobradinho, Itaparica e Xingó, cujas afluições foram reduzidas nos últimos anos, devido ao uso inadequado da terra, com redução da produção de água na bacia e aumento da erosão do solo, bem como sucessivos

<sup>8</sup> Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Sergipe, Brasil. Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>9</sup> Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Sergipe, Brasil.

<sup>10</sup> Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Sergipe, Brasil.

<sup>11</sup> Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>12</sup> Universidade Federal de Alagoas, Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação dos Trópicos, Penedo, Alagoas, Brasil.

<sup>13</sup> Universidade Federal de Alagoas, Departamento de Engenharia de Pesca, Penedo, Alagoas, Brasil.

<sup>14</sup> Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

períodos de seca (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2017). Como consequência da redução gradual dos fluxos mínimos no rio, o avanço da salinização das suas águas tem provocado alterações na biota local e diminuição dos estoques pesqueiros, resultando no desaparecimento de algumas espécies de peixes e crustáceos e no surgimento de outros afeitos a ambientes salinizados. Assim, tem-se verificado uma diminuição da capacidade produtiva dos setores econômicos na região, que dependem da flutuação dos níveis de água doce para o seu desenvolvimento adequado, como o cultivo de arroz e a piscicultura, por exemplo; e, logicamente, uma diminuição nos índices de desenvolvimento humano da população da região (CUNHA, 2015).

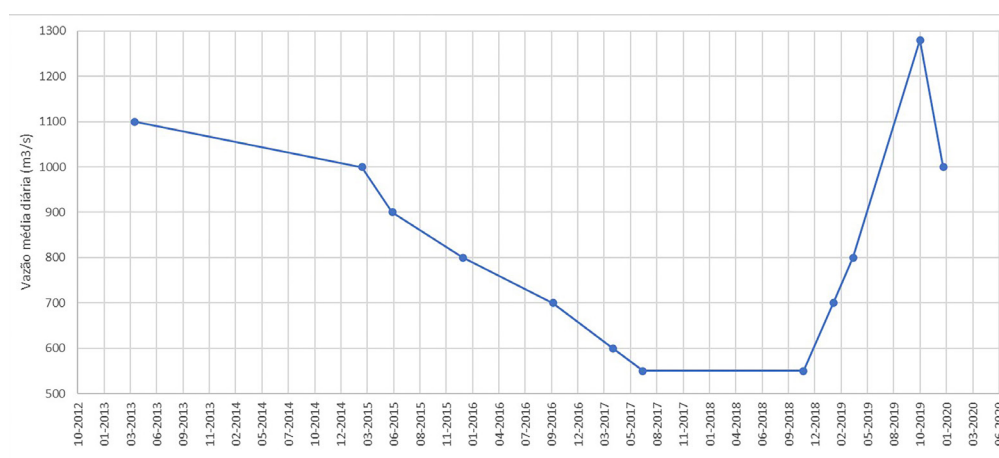
Ao longo dos anos de 2018 e 2019, foram realizadas duas expedições científicas que buscaram contribuir para o entendimento da variação dos teores de sais nas águas do rio São Francisco, por meio de análises de amostras coletadas ao longo de pontos localizados em diferentes municípios sob a condição de maré alta.

### Variação das vazões no Baixo São Francisco

A implantação de barragens ao longo do curso do rio São Francisco, com o objetivo de geração de energia hidroelétrica, intensificada a partir da década de 1970, associada à gestão inadequada do uso e da cobertura da terra na bacia, vem provocando reduções significativas nas vazões do rio em sua foz, reduzindo sua capacidade de escoamento em mais de 50%, com amortecimento de picos de cheias e manutenção de vazões mais altas em períodos de estiagens e chuvas, alterando o equilíbrio dos ecossistemas estuarinos (CAVALCANTE *et al.*, 2017).

A partir de 2012, sucessivos anos com chuvas abaixo da média anual vêm levando os órgãos gestores de recursos hídricos, neste caso, a Agência Nacional de Águas (ANA) e de produção de eletricidade, Operador Nacional do Sistema (ONS), a aumentar a condição de armazenamento dos reservatórios do sistema, por meio da redução de vazões afluentes diárias máximas, principalmente nas barragens de Três Marias e Sobradinho, que determinam o funcionamento de todo o sistema, tendo em vista que Xingó não possui capacidade de amortecimento. Na Figura 17, pode ser observado o comportamento das vazões afluentes no reservatório de Xingó desde 2012.

Figura 17 - Alterações nas vazões médias diárias liberadas no reservatório de Xingó entre os anos de 2012 e 2019.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em Ana, 2020.

Observa-se que, ao final de 2012, a vazão liberada era de 1.100 m<sup>3</sup>/s, sendo reduzida para 1.000 m<sup>3</sup>/s em março de 2015, e gradativamente atingindo o menor valor em julho de 2017 – 550 m<sup>3</sup>/s. Esse valor baixo manteve-se até janeiro de 2019, quando foi autorizado o valor de 700 m<sup>3</sup>/s em Xingó. Os valores foram, então, sendo aumentados até atingir 1.300 m<sup>3</sup>/s, em outubro de 2019, decorrência de que os anos de 2018 e 2019 já se mostraram melhores em volumes de chuvas nas cabeceiras da bacia, levando o volume do sistema a uma recuperação.

A manutenção das vazões em valores tão baixos durante períodos tão significativos contribui para o aumento da capacidade de avanço das águas marinhas no leito do rio na sua foz, bem como a redução da condição diluidora e depurativa das águas, aumentando as concentrações de sais e poluentes (BERNARDES *et al.*, 2012). O aumento das vazões após longos períodos de baixo escoamento promove o revolvimento e a ressuspensão dos sedimentos depositados no fundo, fontes de cargas poluidoras com alto grau de toxicidade, como elementos potencialmente tóxicos e agroquímicos (MEDEIROS *et al.*, 2016).

### **Avaliação da salinidade da água**

A área de estudo localiza-se na região do Baixo São Francisco (BSF), entre os Estados de Sergipe e Alagoas, cobrindo uma área de 25.500 quilômetros quadrados, onde vive uma população de cerca de 1,5 milhão de habitantes, dos quais 440.000 residem em áreas ao longo do rio São Francisco.

Nos anos de 2018 e 2019, respectivamente nos meses de outubro e novembro, foram realizadas duas expedições científicas no BSF, onde foram feitas medições de parâmetros relacionados à salinidade. Assim, foram realizadas coletas próximas às duas margens e em um ponto intermediário, priorizando os horários de maré. As amostras de água foram coletadas na superfície e no fundo, utilizando-se garrafa de Van Dorn. A água foi transferida a bordo para garrafas de polietileno de 500 mL previamente limpas com detergente neutro e, em seguida, em banho ácido de HNO<sub>3</sub> 10% v/v por 24 horas e enxaguadas com água Mili-Q (18 μΩ), devidamente identificadas, transportadas refrigeradas em caixas térmicas até o laboratório e estocadas em temperaturas abaixo de -15 °C em freezer até o momento da análise. As análises dos íons Sódio (Na<sup>+</sup>), Cálcio (Ca<sup>2+</sup>), Magnésio (Mg<sup>2+</sup>) na água foram feitas por espectrometria de absorção atômica com chama (Faas) (modelo Varian Spectr 55B AA) no Laboratório de Estudos Ambientais (Labeia) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Aracaju, SE. As curvas de calibração foram preparadas com soluções padrões multielementares SpecSol<sup>®</sup>. Os parâmetros físico-químicos, condutividade elétrica e salinidade, foram medidos *in situ* por meio da utilização de uma sonda multiparâmetro (modelo Aquaread AP 2000). A análise estatística dos dados foi realizada por meio do programa R e foram produzidos mapas utilizando o software livre QGIS<sup>®</sup>.

Neste capítulo, estão apresentados apenas os resultados que incluíram locais monitorados nas duas expedições, além da foz. Assim, os municípios monitorados foram Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo, Neópolis e Piaçabuçu, usando o lado alagoano como referência, conforme apresentado na Figura 18.

A avaliação da condição ambiental e de usos múltiplos das águas foi realizada por meio da comparação aos limites estabelecidos pela Resolução Conama n° 357, de 17 de março de 2005; pela Portaria de Consolidação n° 5, de 28/09/2017, do Ministério da Saúde

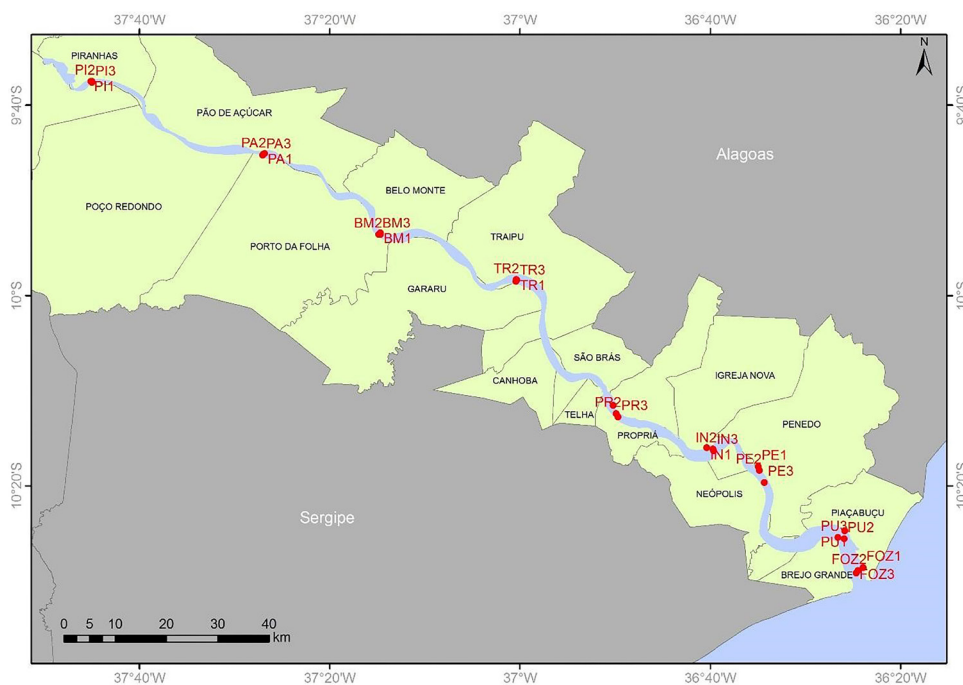
sobre padrões de potabilidade e limites estabelecidos pelo documento da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) relacionados ao uso para irrigação (AYERS; WESTCOT, 1994). Os valores limites utilizados, bem como as respectivas fontes de consulta, estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites comparativos para avaliação ambiental e de usos múltiplos para os parâmetros medidos nas amostras de água coletadas no Baixo São Francisco.

Parâmetro	Limite	Fonte
Salinidade	Águas doces < 0,5 ‰ 0,5 ‰ < Águas salobras < 30,0‰ 30,0‰ > Águas salinas	CONAMA 357/05
CE (dS.m <sup>-1</sup> ) Restrição para irrigação	Nenhuma < 0,7 0,7 < Moderada < 3,0 Severa > 3,0	FAO (AYERS; WESTCOT, 1994)
Na <sup>+</sup>	900,0 mg/L	FAO (AYERS; WESTCOT, 1994)
	200,0 mg/L	Portaria 05/2017 MS
Ca <sup>2+</sup>	400,0 mg/L	FAO (AYERS; WESTCOT, 1994)
Mg <sup>2+</sup>	60,0 mg/L	FAO (AYERS; WESTCOT, 1994)

Fonte: elaborado pelo autor, com base em BRASIL (2005), Ayers & Westcot (1994) e BRASIL (2017).

Figura 18 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água na região do Baixo São Francisco.



Fonte: Marcus Cruz (2020).

## Resultados e discussão

As águas coletadas em ambas as expedições, tanto em superfície quanto no fundo, na extensão do município de Traipu-AL até o município de Penedo-AL, foram enquadradas como “águas doces”, águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰, segundo a Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005 (Tabela 1). A salinidade média, considerando as duas expedições, foi de  $0,025‰ \pm 0,007‰$  nesse trecho do rio (Figura 19 A1 e A2). Os valores de condutividade elétrica (CE) apresentaram média de  $0,061 \text{ dS/cm} \pm 0,0015 \text{ dS/cm}$  (Figura 19 B1 e B2), estando as águas classificadas como de nenhuma restrição ao seu uso para fins de irrigação de culturas segundo a FAO (Tabela 1).

Os níveis de Sódio ( $\text{Na}^+$ ) das águas superficiais e de fundo dos pontos no trecho em questão apresentaram concentração média de  $3,74 \text{ mg/L} \pm 0,19 \text{ mg/L}$ , sem mudanças significativas entre as duas expedições (Figura 19 C1 e C2). Esses valores da concentração de Sódio na água encontram-se abaixo do limite de potabilidade de  $200 \text{ mg/L}$  definido para esse parâmetro pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28/09/2017, do Ministério da Saúde, sendo viável para o consumo humano e, portanto, sem possíveis implicações também para o uso em irrigação de culturas (Tabela 1). Da mesma forma, as concentrações médias de Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ( $2,02 \text{ mg/L} \pm 0,21 \text{ mg/L}$ ) (Figura 19 D1 e D2) e Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) ( $5,70 \text{ mg/L} \pm 0,22 \text{ mg/L}$ ) (Figura 19 E1 e E2) não sofreram alterações significativas entre as expedições e se mostraram inferiores aos limites relativos ao uso para irrigação.

Apesar dos valores encontrados indicarem boa qualidade da água em relação ao parâmetro salinidade, é possível destacar que o uso não racional da água para fins de navegação e irrigação, por exemplo, além do despejo inadequado de efluentes domésticos, pode tornar esse corpo hídrico com águas impróprias para consumo (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Considerando tais aspectos, tem se destacado o uso da água para fins de irrigação e aquicultura na região do Baixo São Francisco. Essas atividades apresentam potencial de provocar alterações nos recursos hídricos, devido ao uso em excesso de água na área irrigada, provocando escoamento superficial e, também, pelo uso de sais solúveis, fertilizantes e agroquímicos, arrastando seus componentes para o corpo d'água (OLIVEIRA *et al.*, 2017), podendo favorecer o processo de degradação da qualidade da água.

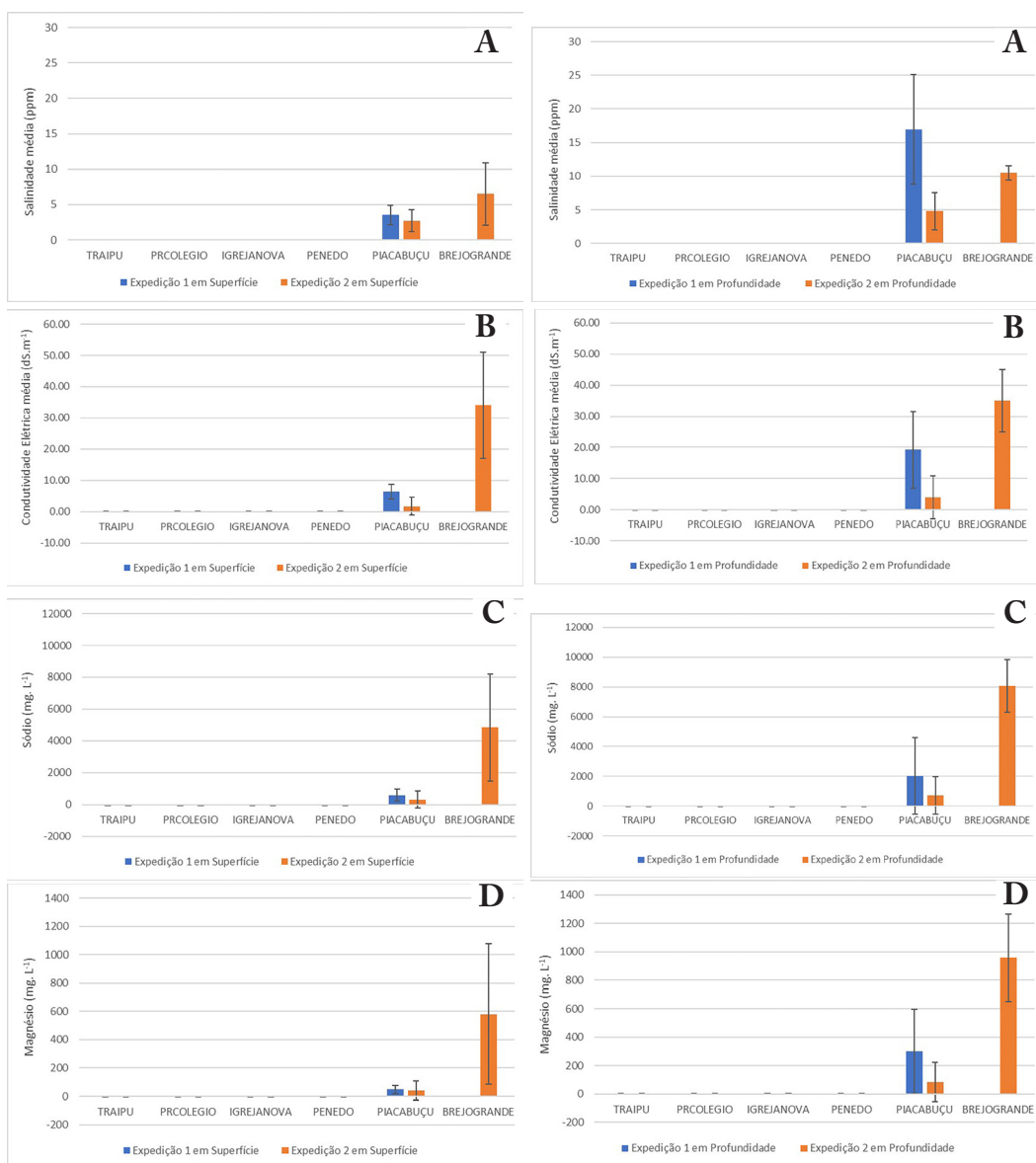
Nos pontos de amostragem no rio São Francisco, nos municípios de Piaçabuçu-AL e Brejo Grande-SE, as águas coletadas em superfície e em profundidade foram enquadradas como “águas salobras”, águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰, conforme a Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005 (Tabela 1). Em virtude da diferença de comportamento entre os dois locais, por conta da distância ao oceano e das diferentes condições de escoamento do rio verificadas entre as duas expedições, além do fato de que não foram coletadas amostras na foz (Brejo Grande-SE) na primeira expedição, as análises serão apresentadas de forma separada, para Piaçabuçu-AL e para Brejo Grande-SE.

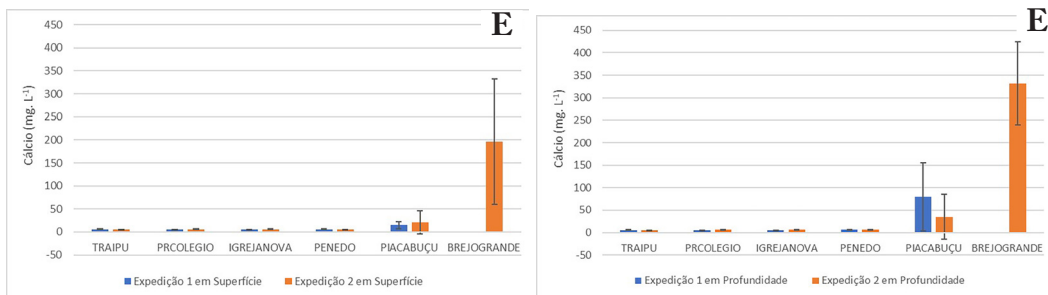
Em Piaçabuçu-AL, a salinidade superficial média variou de  $3,55‰ \pm 1,35‰$  na primeira expedição e a  $2,71‰ \pm 1,54‰$  na expedição de 2019 (Figura 19 A1). Pode-se afirmar que não se verifica diferença significativa entre os valores, principalmente levando-se em consideração os desvios padrão presentes em ambos os períodos. O que não pode ser afirmado para as águas coletadas em profundidade, uma vez que, na primeira expedição, a salinidade média obtida nos pontos em Piaçabuçu-AL foi de  $16,98‰ \pm 8,13‰$  e, na segunda expedição, foi de  $4,80‰ \pm 2,75‰$ , indicando mudança significativa, com aumento de concentração de sais decorrente do avanço da cunha salina, que apresenta maior densidade



nas camadas inferiores de água. Tal diferença pode estar diretamente relacionada à condição de menor vazão efluente no rio São Francisco quando da realização da primeira expedição (vazão média diária em Xingó de 550 m<sup>3</sup>/s – Figura 19), em comparação com a vazão presente nesse trecho do rio no período da segunda expedição (1.100 m<sup>3</sup>/s – Figura 19), sendo o dobro da capacidade de escoamento do rio e, conseqüentemente, da sua condição de manutenção de menores teores de sais em suas águas mais profundas. Segundo Cavalcante et al. (2017), em seus estudos na foz do rio São Francisco, a cunha salina mostrou-se com alcance menor em condições de maior vazão do rio São Francisco, com uma diferença de aproximadamente 1,2 km em uma variação de vazão de 1.100 m<sup>3</sup>/s para 900 m<sup>3</sup>/s.

Figura 19 - Valores médios e de desvios padrão de Salinidade, Condutividade Elétrica, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup> de amostras de água coletadas em superfície e em profundidades durante as duas expedições científicas do Baixo Rio São Francisco, em 2018 e 2019.





Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O comportamento observado para a salinidade, com diferenças significativas apenas nas águas coletadas em profundidade entre as duas expedições, foi corroborado pelos resultados das análises de condutividade elétrica (Figura 19 B1 e B2), Sódio (Figura 19 C1 e C2), Magnésio (Figura 19 D1 e D2) e Cálcio (Figura 19 E1 e E2), sempre mantendo as mais altas concentrações desses parâmetros nas amostras coletadas na primeira expedição em baixa condição de escoamento do rio.

A condutividade elétrica (CE) média das águas superficiais em Piaçabuçu-AL medida na primeira expedição classifica-as como de severa restrição para uso em irrigação de culturas agrícolas ( $6,47 \text{ dS.m}^{-1} \pm 2,45 \text{ dS.m}^{-1}$  para um limite de  $3,0 \text{ dS.m}^{-1}$ ) (Tabela 1). Já nas condições da segunda expedição, a CE média obtida foi de  $1,77 \text{ dS.m}^{-1} \pm 2,85 \text{ dS.m}^{-1}$ , o que classifica as águas como de restrição moderada ao uso em irrigação (limite superior de  $3,0 \text{ dS.m}^{-1}$  e inferior de  $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Ressalte-se que as amostras apresentaram alta variação, denotada pelo elevado valor do desvio padrão, sendo superior ao valor da média. Para águas profundas, em ambas as coletas, as águas mostraram-se de restrição severa ao uso para irrigação agrícola para esta variável, com valores de  $19,23 \text{ dS.m}^{-1} \pm 12,32 \text{ dS.m}^{-1}$  na primeira expedição e de  $4,04 \text{ dS.m}^{-1} \pm 6,89 \text{ dS.m}^{-1}$  na segunda expedição, novamente ressaltando as elevadas variações no parâmetro entre as amostras coletadas.

Com relação às concentrações de Sódio, os valores obtidos nas amostras de água coletadas na superfície em Piaçabuçu-AL indicam impossibilidade de uso para abastecimento humano, segundo a Portaria nº 05/2017 de Potabilidade do Ministério da Saúde, para ambas as campanhas de coleta ( $593,00 \text{ mg.L}^{-1} \pm 365,57 \text{ mg.L}^{-1}$  na primeira expedição e  $309,00 \text{ mg.L}^{-1} \pm 525,23 \text{ mg.L}^{-1}$  na segunda expedição). No entanto, os valores ainda estão abaixo do limite estabelecido pela FAO como prejudicial ao uso em irrigação de culturas (Tabela 1). Nas águas em profundidade, os valores foram  $2.033,00 \text{ mg.L}^{-1} \pm 2.566,80 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $723,00 \text{ mg.L}^{-1} \pm 1.244,12 \text{ mg.L}^{-1}$ , considerando a primeira e a segunda expedições, respectivamente. Estes valores inviabilizam os usos múltiplos dessas águas, conforme os limites da Tabela 1. O elevado grau de variação ao redor das médias reflete a dependência que as variáveis guardam com outros fatores, principalmente associados à localização da coleta, como proximidade de córregos e canais de drenagem, profundidades de leito variáveis, valores de vazões do rio, correntes diferenciadas, além da própria dinâmica de escoamento influenciada pelas marés.

Para Magnésio, as águas coletadas em superfície em Piaçabuçu-AL mostraram-se viáveis para o uso em atividades agrícolas (limite de  $60 \text{ mg.L}^{-1}$  – Tabela 1), com valores de  $47,64 \text{ mg.L}^{-1} \pm 28,73 \text{ mg.L}^{-1}$  na primeira expedição e de  $40,28 \text{ mg.L}^{-1} \pm 65,79 \text{ mg.L}^{-1}$  na segunda expedição. Já para águas em profundidade, em ambas campanhas, as águas estariam impróprias para uso em irrigação, sendo que, na primeira expedição, a concentração foi de

300,38 mg.L<sup>-1</sup> ± 295,60 mg.L<sup>-1</sup>, bem superior ao valor obtido na segunda expedição, que foi de 82,68 mg.L<sup>-1</sup> ± 139,27 mg.L<sup>-1</sup>.

As águas medidas nas amostras de Piaçabuçu-AL não mostraram restrição ao seu uso para irrigação de culturas em decorrência das concentrações de Cálcio, mesmo para aquelas coletadas em profundidade, com valores médios de 79,62 mg.L<sup>-1</sup> ± 75,77 mg.L<sup>-1</sup> nas amostras da primeira expedição e de 34,75 mg.L<sup>-1</sup> ± 49,58 mg.L<sup>-1</sup> na segunda expedição, bem abaixo do limite definido pela FAO (400 mg.L<sup>-1</sup>) na Tabela 1. Assim, a predominância de Na<sup>+</sup> sobre os sais, decorrente da cunha salina, aparentemente está definindo o comportamento da salinidade nessa região, bem como dos usos múltiplos das águas do rio São Francisco.

A influência das marés em Brejo Grande-SE sobre a salinidade da água do rio São Francisco é conhecida e relatada na literatura (CAVALCANTE *et al.*, 2017; MEDEIROS *et al.*, 2015). Assim, na segunda expedição, foram realizadas coletas de amostras na foz do rio São Francisco, indicando valores de salinidade média de 6,49‰ ± 4,39‰ nas amostras de superfície e de 10,05‰ ± 1,06‰ em profundidade. Estes valores corroboram os resultados apresentados por Cavalcante *et al.* (2017), que obtiveram, em campanhas realizadas em fevereiro de 2014, em pontos de coleta semelhantes, salinidades entre 5,0‰ e 15,0‰ durante a maré alta.

Quanto à CE, os valores médios obtidos em Brejo Grande-SE foram de 34,00 dS.m<sup>-1</sup> ± 16,97 dS.m<sup>-1</sup> e 35,00 dS.m<sup>-1</sup> ± 10,02 dS.m<sup>-1</sup>, para amostras de superfície e em profundidade, indicando grau de restrição severa ao uso da água em atividades de irrigação de culturas (Tabela 1). O mesmo verificou-se para as variáveis Na<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> que, tanto para águas superficiais quanto para profundas, ultrapassaram os limites definidos para restrição ao uso em irrigação, bem como para abastecimento, no caso do Sódio. Apenas o Ca<sup>2+</sup> não se mostrou como variável impeditiva do uso das águas para atividades agrícolas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a variação da vazão das águas na região do Baixo São Francisco, a qualidade das águas também é afetada. Com isso, observou-se que as águas do rio São Francisco, nos municípios de Piaçabuçu-AL e Brejo Grande-SE, já se encontram em processo de salinização. Essa mudança de água doce para água salobra interfere nas atividades socioeconômicas dos ribeirinhos e provoca mudanças também na biodiversidade, com impactos nos recursos pesqueiros.

Faz-se de extrema relevância o estabelecimento de uma rede de monitoramento da qualidade das águas, relativa aos teores de sais, de forma a um melhor entendimento das relações entre as vazões do rio, regidas pelas liberações dos reservatórios e o alcance da cunha salina ao longo de seu curso.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sala de Situação do rio São Francisco**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sao-francisco/sao-francisco-saiba-mais>. Acesso em: jul. 2020.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: UFPB: FAO, 1994.

BASSOI, L.J.; GUAZELLI, M.R. Controle Ambiental da Água. *In*: PHILIPPI JR., A.; ROMÉRIO, M.A.; BRUNA, G.C. **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.

BERNARDES, M. C. *et al.* Land-sea interface features of four estuaries on the South America Atlantic coast. **Brazilian Journal of Biology = Revista Brasileira de Biologia**, v. 72, n. 3, p. 761-774, 2012. Supplement.

BRASIL. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. **Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Publicado no D.O.U. 2005.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde**. Diário Oficial da União. 2017.

CAVALCANTE, G.; MIRANDA, L. B.; MEDEIROS, P. R. P. Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). **RBRH**, v. 22, 2017.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. Redução temporária da vazão mínima do Rio São Francisco para 550 m<sup>3</sup>/s, a partir da UHE Sobradinho. **Relatório Mensal de Acompanhamento**, 45, dez. 2017.

CUNHA, C.J. **Regularização da vazão e sustentabilidade de agroecossistemas no estuário do Rio São Francisco**. 231 f. 2015. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 2015.

DA SILVA, D. F. *et al.* Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do Rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v.9, n.3, p. 1-17, 2010.

GONÇALVES, M.J.S. Avaliação do impacto ambiental da redução de vazão na foz do Rio São Francisco. **Anais...Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**, 1, Juazeiro-BA, 2016.

KEMKER, C. **“Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids.”** Fundamentals of Environmental Measurements. Fondriest Environmental. 2014. Disponível em: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>. Acesso em: 04 fev. 2019.

MEDEIROS, P.R.P. *et al.* Inter-annual variability on the water quality in the Lower São Francisco River (NE-Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, n. 5, 2016

NATIONAL ESTUARINE RESEARCH RESERVE. **Estuary-Net: A Water Quality Monitoring Project**. National Estuarine Research Reserve. Washington, DC: NOAA, 1997.

OLIVEIRA, S.C.*et al.* Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba. **Eng Sanit Ambient**, v.22, p. 711-721. 2017.

SALOMONI, S. E.; ROCHA, O.; LEITE, E. H. Limnological characterization of Gravataí River, Rio Grande do Sul. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 19, p. 1-14, 2007.

# THE OCCURRENCE OF TOTAL COLIFORMS AND *Escherichia coli* IN DIFFERENT LOCATIONS OF THE LOWER SÃO FRANCISCO

Vivian Costa Vasconcelos;  
Anita Neves Santisteban;  
Themis de Jesus da Silva;  
Elton Lima Santos;  
Emerson Carlos Soares

## SUMMARY

The Lower São Francisco has about 238km; it runs from Piranhas/AL to its mouth located in the Atlantic Ocean. Urbanization is close to the watercourses and generates several problems for the aquatic environment, such as the disposal of raw domestic sewage derived from the absence of basic sanitation. The microbiological study was performed in 5 distinct locations during the 1st Scientific Expedition, in 2018, and 8 distinct points during the 2nd Scientific Expedition, in 2019. The results indicated the presence of coliforms in all sampled locations and *Escherichia coli* at higher levels in Propriá/SE, Penedo/AL (4.6 MPN/100 mL), and Piaçabuçu/AL (>8.0 MPN/100 mL). These results disagree with the Health Ministry's ordinances because they present levels well above what is recommended by the legislation. Therefore, it is imperative to perform continuous monitoring, including microbiological analyses to verify the influence of anthropic activity in the aquatic environment and the main points presenting problems with the release of in natura sewage in the studied municipalities.



## CAPÍTULO 3

# OCORRÊNCIA DE COLIFORMES TOTAIS E *Escherichia coli* EM DIFERENTES PONTOS DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Vivian Costa Vasconcelos<sup>15</sup>

Anita Neves Santisteban<sup>16</sup>

Themis de Jesus da Silva<sup>17</sup>

Elton Lima Santos<sup>18</sup>

Emerson Carlos Soares<sup>19</sup>

### INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 33 milhões (16,7%) de pessoas, considerando a população estimada de 200 milhões de habitantes, não têm acesso a água tratada nem saneamento básico; menos da metade das pessoas que têm acesso a este serviço (41%) tem seu esgoto tratado. Isso significa que um grande volume é despejado *in natura* nos ambientes aquáticos, poluindo rios, mares e lagos (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2017).

A qualidade da água dos rios é proveniente principalmente das ações antrópicas, como despejo de efluentes domésticos, dejetos industriais, grandes quantidades de poluentes derivados das áreas urbanas e agrícolas – esses são os principais responsáveis pelos maiores impactos nos ambientes aquáticos (VASCOS, 2011), uma vez que a água é considerada uma das substâncias mais presentes na natureza, havendo a necessidade do uso racional em relação a quantidade e qualidade. Em virtude da sua abundância, pode haver a impressão de que é um recurso inesgotável, mas, na realidade, atualmente apenas 2,5% do planeta Terra é composto por água doce e com potencial para o consumo humano (ALVES, 2018).

Considerada um elemento essencial, a água é um composto inorgânico indispensável para todos os seres vivos. Quando não consumida de forma potável, torna-se o principal meio de contaminação, pois agentes patogênicos veiculados pela mesma são causadores de doenças infecciosas, como: febre tifoide, cólera, hepatite, poliomielite, gastroenterites e quadros diarreicos, entre outras (ALMEIDA, 2017).

De certa forma, é necessário o monitoramento da água, em que são investigados alguns indicadores biológicos específicos, tais como os coliformes, bastonetes gram-negativos que pertencem à família *Enterobacteraceae*, amplamente distribuídos na natureza e que se propagam com maior frequência na água, obtendo maior atenção da saúde pública, pois são suspeitos de causarem a maioria das infecções intestinais humanas (NASCIMENTO;

<sup>15</sup> Mestre em Zootecnia, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências agrárias, Laboratório de Aquicultura e Análise de Águas (Laqua).

<sup>16</sup> Estudante de Graduação em Zootecnia, Laboratório de Aquicultura e Análise de Águas (Laqua).

<sup>17</sup> Professora Doutora, Laboratório de Aquicultura e Análise de Águas (Laqua), Universidade Federal de Alagoas.

<sup>18</sup> Professor Doutor, Laboratório de Aquicultura e Análise de Águas (Laqua), Universidade Federal de Alagoas.

<sup>19</sup> Professor Doutor, Laboratório de Aquicultura e Análise de Águas (Laqua), Universidade Federal de Alagoas.

ARAÚJO, 2013). Segundo Brasil (2011), como opção para a determinação do grupo de bactérias coliformes como indicador de contaminação da água destaca-se a presença nas fezes de animais endotérmicos, indicando o grau de contaminação fecal, devido a possuir metodologia de fácil detecção, economicamente viável para a análise quantitativa em qualquer tipo de água, não se multiplicam em ambientes aquáticos e possuem maior tempo de vida na água do que as bactérias patogênicas.

A presença de coliformes e *Escherichia coli* em corpos hídricos indica a existência de micro-organismos patogênicos. Esse grupo de bactérias atua como indicadores de poluição fecal, por estar naturalmente presente no trato intestinal de animais e ser eliminado nas fezes (SILVA, 2006). Segundo Souto (2015), os principais fatores para que as bactérias patogênicas sejam consideradas indicadores de poluição de origem fecal são: quando encontradas no trato gastrointestinal dos animais homeotérmicos, estejam em grandes concentrações em fezes humanas e de animais, devem estar presentes em esgotos e ausentes em águas potáveis, ser apenas de origem fecal e reveladas por metodologias simples.

Existem algumas bactérias da categoria coliformes que são utilizadas como parâmetros de contaminação bacteriológica da água. Estas podem ser encontradas no trato gastrointestinal do homem e de outros animais, em ambientes não fecais, no solo e em vegetais, tendo também relativa capacidade de se multiplicar na água. Além disso, os coliformes fecais ou coliformes termotolerantes são bactérias de um subgrupo de coliformes totais (FRANCO *et al.*, 2008).

De acordo com a descrição de Alves (2018), coliformes totais são uma classe de bactérias, onde o principal atributo é a fermentação de lactose e a produção de ácidos, aldeídos e gás a 35 °C, entre 24 e 48 horas. Estas bactérias pertencem aos gêneros: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Citrobacter*; os coliformes fecais ou termotolerantes são bactérias que pertencem a um subgrupo de coliformes totais, com a capacidade de fermentar a lactose a 44-45 °C ( $\pm 0,2$ ) em 24 horas. Neste grupo, a *Escherichia coli* é considerada a principal espécie de origem exclusivamente fecal (PUÑO-SARMIENTO, 2014).

Em virtude da presença dessas bactérias, faz-se necessário investigar a qualidade microbiológica da água, extremamente importante para fornecer informações em relação às condições do manancial, além de cooperar com elementos que podem influenciar futuras estratégias no gerenciamento dos recursos hídricos (FIGUEIRÊDO, 2008).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), aproximadamente 80% das doenças detectadas em países em desenvolvimento são transmitidas através da água contaminada, que, uma vez tratada, deixa de ser um veículo transmissor de agentes patológicos, garantindo a saúde pública. Ainda dados da OMS demonstram que 80% das doenças que ocorrem nos países em desenvolvimento são ocasionadas pela contaminação da água e, a cada ano, cinco milhões de pessoas – entre elas, dois milhões crianças entre 0 a 5 anos – morrem direta ou indiretamente pela falta ou deficiência dos sistemas de abastecimento de águas e esgotos (ANDRAUS, 2006).

Dentre as legislações vigentes do Ministério da Saúde, que regulamenta a qualidade da água e seu abastecimento, destacam-se as Portarias de nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, que estabelece os procedimentos e as responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O documento estabelece a quantidade de amostras de acordo com o número de habitantes no artigo 11 (Tabela 2). O padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano é a ausência de coliformes e *E. coli* em 100 mL de água. Outra Portaria é a de nº 2.914, de 12

de dezembro de 2011, que dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade com ausência de coliformes e *E.coli* em 100 mL de amostragem.

Portanto, dados dessas Portarias foram utilizados como referência para os resultados das análises deste trabalho, que objetivou analisar os níveis de coliformes totais e *E. coli* ao longo dos municípios que margeiam a calha principal do baixo curso do rio São Francisco.

## Desenvolvimento

As coletas ocorreram em outubro de 2018 (I Expedição Científica) e, no período de 19 a 28 de novembro/2019 (II Expedição Científica do São Francisco), foram determinados pontos de coleta ao longo do Baixo São Francisco (1 ponto, 250 metros antes da área de captação da cidade; 1 ponto na área de captação de água do município e um terceiro ponto, a 250 metros após a área de captação de água do município), sendo estes nos municípios de Piranhas-AL (PI), Traipu-AL (TR), Pão de Açúcar-AL (PA), Igreja Nova-AL (IN), Propriá-SE (PR), Penedo-AL (PE), Piaçabuçu-AL (PU) e foz do São Francisco, com o intuito de detectar a presença de coliformes totais e *E.coli*. As amostras foram coletadas em recipientes estéreis e armazenadas a 8 °C e, posteriormente, foram analisadas no Laboratório de Aquicultura e Análises de Água (Laqua), UFAL/CECA.

Para o ensaio de coliformes totais e *E. coli*, foi utilizada a técnica do substrato enzimático Aquateste Coli®-ONPG MUG (Registro na Anvisa: 100.970.10.149), de acordo com a metodologia de Bianchin *et al.* (2012). Este procedimento faz uso de ONPG (orto-nitro-fenolgalactopiranosídeo) e MUG (umbeliferol-glucuronidase), dois nutrientes referentes utilizados como fonte de carbono e metabolizados pelos coliformes totais através da enzima  $\beta$ -galactosidase e para *E. coli* pela enzima  $\beta$ -glucuronidase. Essa técnica pode ser modelo qualitativo, que determina ausência e presença, e quantitativo, utilizando tubos múltiplos. Os resultados das análises quantitativas são expressos como Número Mais Provável (NMP) (Tabela 2) e os de coliformes em 100 mL da amostra. As tabelas para obtenção do NMP de coliformes são baseadas na aplicação da distribuição de Poisson e correspondem a uma estimativa estatística de concentração. Para determinação de *E.coli*, a enzima  $\beta$ -glucuronidase metaboliza o 4-methyl-umbelipheril- $\beta$ -D-glucuronide (MUG) e desenvolve fluorescência (Figura 20). Esta enzima hidrolisa o substrato, emitindo fluorescente sob luz ultravioleta (UV) de comprimento de onda 365 nm. A fluorescência indica um teste positivo para *E. coli*.

Tabela 2 - Número mais provável NMP para 5 porções de 20 mL.

Tubos positivos	NMP/100mL
0	<1,1
1	1,1
2	2,6
3	4,6
4	8
5	>8,0

Fonte: Vivian Vasconcelos (2020).

Figura 20 - Amostras em alíquotas iguais de 20 mL com emissão de fluorescência azul esverdeada, indicando a presença de *E. coli*.



Fonte: Vivian Vasconcelos (2020).

De acordo com as análises microbiológicas realizadas, foi possível verificar, em todos os pontos de coleta, a presença de coliformes totais em valores acima do limite indicado pela resolução Conama nº 357, de 17 de maio de 2005; ainda de acordo com esses resultados, apresentados na Tabela 3, foi possível atestar a alta presença de *E. coli* nas regiões de Propriá-SE, Penedo-AL, Igreja Nova-AL, Piaçabuçu-AL > 8,0 NMP/100mL.

Nestes municípios, foram verificados problemas com efluentes e alta carência de saneamento básico, com despejo de esgotos *in natura* em vários pontos das margens do rio. Este estudo corrobora com Rodrigues *et al.* (2009), que relata que ambientes aquáticos com derrame de esgoto doméstico ou presença de animais próximos às margens dos rios evidenciam condições higiênico-sanitárias não satisfatórias, sendo considerados um risco para a saúde pública.

Tabela 3 - Resultados das análises microbiológicas de coliformes totais e *E.coli* da água, referentes às coletas realizadas em oito pontos distintos do Baixo São Francisco: ponto 1: PI (Piranhas AL); ponto 2: TR (Traipu-AL); ponto 3: PA (Pão de Açúcar-AL); ponto 4: IN (Igreja Nova-AL); ponto 5: PR (Propriá-SE), ponto 6: PE (Penedo-AL), Ponto 7: PU (Piaçabuçu-AL) e ponto 8: foz do São Francisco.

TABELA NMP (Número mais provável)			
PONTOS	TUBOS POSITIVOS /100mL		NMP/100mL (nº mais provável)
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	
(PI 1) Piranhas-AL	2	0	< 1,1
(PI 2) Piranhas-AL	2	0	< 1,1
(TR 1) Traipu-AL	5	0	< 1,1

(TR 2) Traipu-AL	5	0	< 1,1
(TR 3)Traipu-AL	5	0	< 1,1
(PA 1) Pão de Açúcar-AL	2	0	< 1,1
(PA 2) Pão de Açúcar-AL	5	0	< 1,1
(PA 3) Pão de Açúcar-AL	5	1	1,1
(IN 1) Igreja Nova-AL	5	0	< 1,1
(IN 2) Igreja Nova-AL	5	0	< 1,1
(PR 1) Propriá-SE	4	3	4,6
(PR 2) Propriá-SE	5	3	4,6
(PR 3) Propriá-SE	5	3	4,6
(PE 1) Penedo-AL	5	3	4,6
(PE 2) Penedo-AL	5	3	4,6
(PE 3)Penedo-AL	5	3	4,6
(PU 1) Piaçabuçu-AL	5	2	2,6
(PU 2) Piaçabuçu-AL	5	5	> 8,0
(PU 3) Piaçabuçu/AL	5	5	> 8,0
FOZ 1-AL	5	2	2,6
FOZ 2-AL	5	2	2,0
FOZ 3-AL	5	0	< 1,1

Fonte: Vivian Vasconcelos (2020).

Esses resultados são semelhantes aos apresentados pela Expedição Científica do Baixo São Francisco realizada em 2018, que também evidenciou a presença de coliformes totais e *E.coli* em 95% das amostras de água coletadas nos mesmos pontos amostrais, com um detalhe que, no ano 2019, a vazão do rio São Francisco foi o dobro da relatada em 2018.

Os níveis de coliformes totais foram significativos ( $p < 0,05$ ) em Piranhas, onde foram encontradas concentrações mais baixas de coliformes totais em relação às outras localidades. Dessa forma, este município pode ser considerado, com relação a este parâmetro, o de melhor qualidade ambiental no Baixo São Francisco.

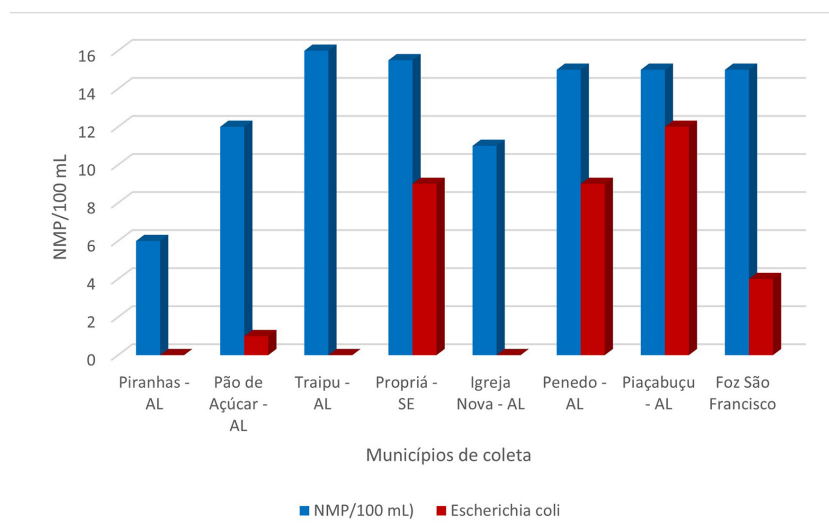
Quanto à *E.coli*, os pontos de coleta de Igreja Nova, Piranhas e Traipu apresentaram menores índices bacteriológicos (Figura 21).

O crescimento populacional desordenado às margens dos rios causa o desmatamento da vegetação e o comprometimento da qualidade da água, em virtude do despejo de esgotos sanitários e do descarte de lixo impróprio, que contamina as águas com a presença de coliformes e contaminantes procedentes dos resíduos urbanos e industriais (ANDREOLI,



2000). De acordo com a Anvisa (2000), a água de consumo não deve apresentar riscos à saúde humana e deve possuir ausência de microbiológicos em 100 mL das amostras.

Figura 21 - Número mais provável de coliformes total e *Escherichia coli* em amostras de água, por município.



Fonte: Emerson Soares (2020).

Entretanto, a ausência de estações de tratamento de efluentes adequadas, políticas fiscalizatórias incipientes para coibir construções irregulares, políticas de educação ambiental frágeis e ausência de projetos com tratamento de efluentes e resíduos corroboram para o aumento dos níveis de coliformes totais e *E. coli*, acima dos índices preconizados, indicando um risco para a saúde pública dos ribeirinhos e para o ecossistema aquático. Uma vez contaminado o rio, a probabilidade de pacientes que acessam o sistema de saúde, muitas vezes precários, aumenta significativamente, por causas que poderiam já ter sido solucionadas, como investimentos na rede de tratamento de água e de esgotos.

Em um estudo realizado por Drummond *et al.* (2018) na bacia hidrográfica do rio Xopotó-MG, em 2015, com intensas atividades antrópicas, analisaram-se 13 pontos de coleta de água. Neste estudo, a bacia hidrográfica apresentou presença de *E. coli* em todos os pontos de amostragem, além de diversificados genótipos de *E. coli* diarréiogênica, que são responsáveis por causar doenças renais graves, sendo considerados como potencial risco de doenças para a população que utiliza esse recurso hídrico; isso também evidencia o comprometimento da qualidade microbiológica desta bacia, decorrente especialmente da carência de estações de tratamento de esgoto (ETEs). Essa informação reforça a necessidade de políticas públicas urgentes, pelos três elos da esfera governamental, em investimentos tecnológicos coordenados para alcançar índices de qualidade ambiental satisfatórios no baixo curso do rio.

Souza (2017), estudando a sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, em Sergipe, observou, neste ambiente, intensa degradação antrópica. Ao analisar os níveis de coliformes totais e termotolerantes-fecais ao longo do rio, detectou contaminação em todos os pontos de coleta, desde a nascente até a foz. Esses resultados colaboram para o entendimento da realidade atual do rio e para o incremento de ações futuras de saneamento básico não só na calha principal do rio São Francisco, mas também em seus afluentes, com vistas à conservação do ecossistema.

O alto nível de poluição antrópica nos rios torna-se preocupante, pois a água é considerada um meio de transição de doenças e enfermidades (ZORZIN *et al.*, 2011). O valor máximo de coliformes termotolerantes-fecais permitido em águas de classe 1 é de 200 NMP, segundo Resolução do Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Contudo, os valores encontrados no presente trabalho atestam que estamos longes de atingir tal patamar.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises microbiológicas realizadas neste trabalho, os resultados demonstraram que a água coletada em todos os pontos de coleta está fora dos padrões de potabilidade para consumo humano estabelecidos e recomendados pelas Portarias vigentes. O trecho de Traipu a Propriá possuiu maiores níveis de coliformes totais; todavia, na região de coleta em Propriá, Penedo e Piaçabuçu, foram observados os maiores níveis de *E. coli*.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. G. et al. Análise Microbiológica e físico-química da água de bebedouros em unidades de ensino no município de Ilhéus-BA. **Saúde e Biologia**, v. 12, n. 2, p. 20-26, 2017.

ALVES, S. G. S.; ATAIDE C. D. G.; SILVA, J. X. Microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília. **Científica Sena Aires**. v. 7, n.1, p. 712, 2018.

ANDRAUS, S. **Aspectos microbiológicos da qualidade sanitária das águas do mar e areias das praias de Matinhos, Caiobá e Guaratuba-PR**. 124 f. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, 2006.

ANDREOLI, C. V. Limites ao Desenvolvimento da Região Metropolitana de Curitiba, impostos pela Escassez de Água. **Simpósio brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**. v. 9, p. 185-195, 2000.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2020. Disponível em: Acesso em: 01 julho 2020. DISPONÍVEL EM: [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2000/prt1469\\_29\\_12\\_2000.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2000/prt1469_29_12_2000.html)

BIANCHIN, E. Verificação da Eficiência de Remoção de Contaminantes Microbiológicos nas Principais Operações Unitárias de um Sistema de Tratamento de Água Destinada ao Consumo Humano. **Perspectiva, Erechim**, v. 36, n. 135, p. 75-83, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília – DF: Conama, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 25 jun. 2020.

BRASIL. **Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Governo Federal, 2011. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/>. Acesso em: 02 abr. 2020.

CARLOS, A. S. *et al.* Análise microbiológica da água do Rio Bacacheri, em Curitiba (PR),

**Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, 2018.

DRUMOND, S. N. *et al.* Molecular identification of diarrheagenic *Escherichia coli* in the watershed of Xopotó River, in Alto do Rio Doce. **Brazil Engineering Sanitary Environmental**, vol.23, n.3, 579-590, 2018. ISSN 1809-4457. Disponível em <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018165696>.

FIGUEIRÊDO, A. C. Avaliação e diagnóstico da qualidade da água do açude de Apipucos. **Ciência e Natura**, v.40, 2008.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF M. Microbiologia dos Alimentos. **Atheneu**, v. 2003, p. 182, 2008.

NASCIMENTO, V. F. S.; ARAÚJO M. F. F. Ocorrência de bactérias patogênicas oportunistas em um Reservatório do Semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Ciências Ambientais**, v.7, n.1, , p. 91-104, 2013.

PUÑO-SARMIENTO, J. *et al.* Identification of diarrheagenic *Escherichia coli* strains from avian organic fertilizers. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.9, n. 11, p. 8924-8939, 2014.

RODRIGUES, J. R. D. D.; JORGE A. O. C.; UENO, M. Avaliação da qualidade das águas de duas áreas utilizadas para recreação do rio Piracuama-SP. **Biociências**, v. 15, n. 2, , p. 88-94, 2009.

SILVA, M. P.; CAVALLI D. R.; OLIVEIRA T. C.R. M. Avaliação do padrão coliformes a 45°C e comparação da eficiência das técnicas dos tubos múltiplos e petrifilm EC na detecção de coliformes totais e *Escherichia coli* em Alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, , p. 352-359, 2006.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. P. 226. 2017.

SOUTO, J. P. *et al.* Poluição fecal da água: microorganismos indicadores. **Instituto Porto Alegre**, v. 226, n. 23, p. 1-6, 2015.

SOUZA, Q. S. E. *et al.* Análise de coliformes totais e termotolerantes-fecais em diferentes pontos da sub-bacia do Rio Poxim Sergipe, **Brasil Agroflorestal.**, v.3, n. 1, p. 1-21, 2017.

VASCO, A. N. **Monitoramento, análise e modelagem da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim**. 158 f. 2011. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

ZORNIN, F. M. *et al.* Análise da qualidade da água do Ribeirão Sobradinho. **Contaminação Ambiental e Qualidade de Vida**, v.5, n.4, p. 107-118, 2011.

# SÃO FRANCISCO RIVER ESTUARY - DESIGN OF THE VERTICAL AND LONGITUDINAL PROFILE

Ana Lúcia Eufrázio Romão

Aristides Pavani Filho

Carlucio Roberto Alves

## SUMMARY

The fluviomarine and alluvial plain of the São Francisco River stretches from Penedo (AL) to the coast. This region, formed by recent sediments, alluvial, eolian, and beaches, is composed of flat surfaces, unconsolidated soil, and high salinity. Anthropogenic factors can also influence estuary dynamics. The estuary of the river São Francisco, for example, suffers impacts from engineering works. The São Francisco River estuary's dynamic profile was evaluated through temperature analysis, pH, electrical conductivity, salinity, climate change, and river flow. We evaluated 04 locations from Penedo to the river mouth. The sampling points were chosen considering the area influenced by the tidal regime and determined by geoprocessing. Physicochemical parameters (electrical conductivity, resistivity, density, total dissolved solids, pH, salinity, and water temperature) were determined in situ through the use of an Aqual Troll 400 multiparameter probe, In-Situ Inc. 221 East Lincoln Avenue, Fort Collins, CO 80524 USA. The data allowed us to observe that in the Penedo region, the tide does not influence salinity; the water is classified as sweet and the region as a Tidal Zone of the river. In Piaçabuçu, the tide influences salinity and conductivity; the flood tide changes the salinity of freshwater on the surface to brackish in the bottom layer, characteristic of the estuary with stratification in salt wedge and Mixture Zone. At the mouth, downstream, the waters are classified as saline and the region as a Coastal Zone. The temperature is constant longitudinally, and a vertical gradient elevation occurs from the bottom to the surface. The pH underwent horizontal and vertical variation signaling the strong influence of tides and salt stratification in the water column and the presence of organic matter in some analyzed regions.

## CAPÍTULO 4

# ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO: DELINEAMENTO DO PERFIL LONGITUDINAL E VERTICAL

Ana Lúcia Eufrázio Romão<sup>20</sup>

Aristides Pavani Filho<sup>21</sup>

Carlucio Roberto Alves<sup>22</sup>

### O Estuário do São Francisco

Regiões de estuários são importantes nichos ecológicos, pois são compostas por rica diversidade de espécies animais, especialmente peixes: cerca de 99% das espécies neotônicas. Esses nichos são utilizados como áreas de berçário, bem como de reprodução, alimentação, crescimento e abrigo para diversas espécies de animais marinhos. A composição, a abundância e a diversidade da ictiofauna é diretamente influenciada por fenômenos naturais que ocorrem na região e no entorno do complexo estuarino e pelas ações antrópicas que concorrem para alteração do equilíbrio do complexo (BASILIO; GODINHO, 2008).

A elevada produtividade desses nichos é responsável pela subsistência de parte das populações ribeirinhas. A despeito da sua importância, tanto para o ecossistema quanto para as populações humanas, esses ambientes têm sido alvo de inúmeros impactos antrópicos, principalmente através do despejo de efluentes domésticos e industriais. Esse fenômeno tem alterado, sobremaneira, as condições ambientais destas regiões (SANTOS; BEZERRA-JUNIOR; COSTA, 2009).

A alta produtividade e o fluxo de maré dos estuários são as principais vias de transferência de água, sedimento, nutrientes e poluentes dos continentes para os oceanos (COUCEIRO; SCHETTINI, 2010). Esses ambientes são os grandes responsáveis pela fertilização das águas costeiras ou funcionam como verdadeiras estações depuradoras naturais de esgotos antes do seu lançamento ao mar, evitando ou retardando a poluição marinha. Além disso, a presença de produtores primários e de diversas populações de seres vivos, muitos dos quais de alto valor econômico, confere a essas regiões elevada importância, não somente econômica, mas, principalmente, ecológica (GREGO; DA SILVA; MONTES, 2017).

A hidrodinâmica, a topografia do estuário, a descarga fluvial, as correntes de maré e o cisalhamento do vento constituem as principais forças que atuam na constituição do perfil hidrodinâmico de um estuário, sendo esses os principais fatores que definem os processos de mistura, circulação e estratificação em ambientes estuarinos (KJERFVE B, 1988).

As descargas fluviais têm importante influência na circulação hidrodinâmica dos

<sup>20</sup> Mestre em Ciências Naturais. Doutoranda em Ciência Naturais pela Universidade Estadual do Ceará, *Campus Itaperi*.

<sup>21</sup> Diretor do Departamento de Tecnologias Estratégicas e de Produção (Detep) da Secretaria de Tecnologias Aplicadas (Setap) do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações.

<sup>22</sup> Professor Associado do Departamento de Química da Universidade Estadual do Ceará. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais. Professor Permanente no Programa de Pós-Graduações da Rede Nordeste de Biotecnologia.



estuários. É através da interação entre os regimes de chuva, a hidrodinâmica desses ambientes e a componente marinha que se estabelecem condições para o enriquecimento biológico desses nichos (MOLISANI; CRUZ; MAIA, 2006).

A dinâmica dos estuários também pode sofrer influência de fatores antrópicos. O estuário do rio São Francisco, por exemplo, sofre impactos decorrentes de obras de engenharia. Ao longo do rio, é possível observar obras direcionadas à geração de energia elétrica, ao abastecimento d'água, à navegação e à proteção contra enchentes.

Destacam-se, entre elas, as barragens, que alteram o regime hidrológico, modificando a vazão líquida e sólida à jusante, por reterem grande parte dos sedimentos. O controle da vazão do rio provocou modificações no seu padrão de descarga, ocasionando alterações nas condições hidrodinâmicas características da área. As alterações hidrodinâmicas das correntes promovem modificações no regime biológico da região, causando alterações no ecossistema do estuário do São Francisco (SOUZA, 2015).

A planície flúvio-marinha e aluvial do rio São Francisco estende-se desde Penedo (AL) até o litoral. Essa região, formada por sedimentos recentes, aluviais, eólicos e praias, é constituída de superfícies planas, solo inconsolidado e elevada salinidade. Praticamente toda a porção externa da planície costeira do rio São Francisco é margeada por dunas eólicas e, à margem direita, no Estado de Sergipe, são registradas expressivas áreas de mangue. O delta e a base dos tabuleiros são formados de terraços marinhos pleistocênicos e, a norte e nordeste, de tabuleiros terciários de formação de barreiras. Outra característica importante é que o estuário do rio São Francisco é dominado por movimentos oscilatórios da maré (SANTOS *et al.*, 2012; MEDEIROS; CAVALCANTE SEGUNDO; MAGALHÃES, 2015).

Os corpos hídricos ou mananciais são enquadrados em classes, em função dos usos a que se destinam, respeitando-se os requisitos estabelecidos. De acordo a Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, as águas são distribuídas em 9 classes: 05 delas enquadradas como águas doces (com salinidade igual ou inferior a 0,5%); 02 classificadas como águas salobras (salinidade entre 0,5% e 30%) e as outras 02 na categoria de águas salinas (salinidade igual ou superior a 30%).

A qualidade e os usos das águas de estuários, bem como de qualquer outro recurso hídrico, é regulamentada através de legislação específica. A Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005 e suas modificações, nas Resoluções nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011, dispõem sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Além desta, outra legislação importante é a Resolução Conama nº 274, de 29 de novembro de 2000, que determina os parâmetros e indicadores biológicos que asseguram as condições de balneabilidade dos ecossistemas aquáticos.

O perfil dinâmico do estuário do rio São Francisco foi avaliado a partir da investigação dos parâmetros físico-químicos, observando as variáveis climáticas e as alterações na dinâmica do rio provocadas pelas interferências na variação nos fluxos pelo sistema de barragens e a qualidade das águas com base nas resoluções pertinentes. O perfil dinâmico do estuário foi determinado a partir dos parâmetros de temperatura, pH, condutividade elétrica e salinidade.

## **Processo de coleta de dados**

Os pontos para amostragem foram determinados considerando a área que sofre influência do regime de marés e através de geoprocessamento. Foram selecionados 04 pontos ao longo do estuário do rio São Francisco, compreendendo um percurso de 28 km

estendido de Penedo à foz. Foi realizada uma incursão a cada ponto entre os dias 24, 25 e 26 de novembro de 2019. A Tabela 4 apresenta a localização, a data e os horários de coleta.

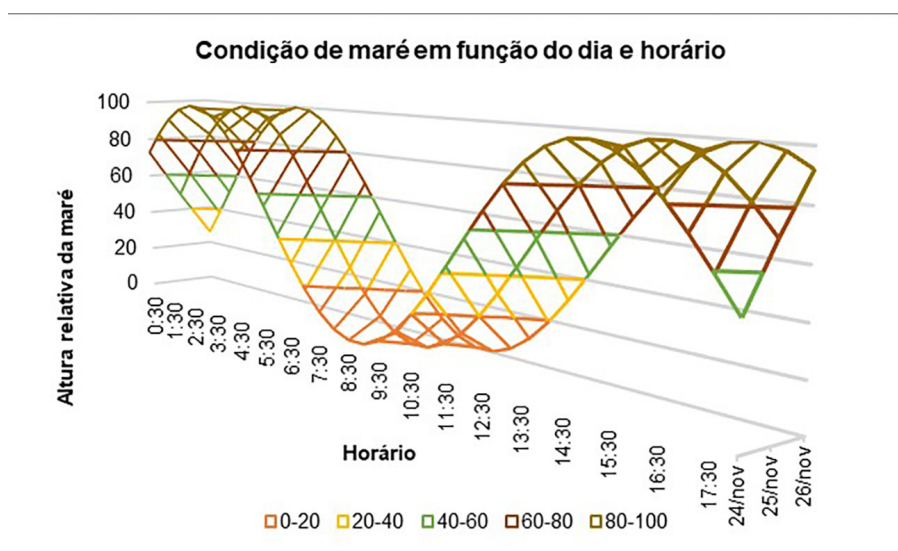
Tabela 4 - Pontos de coleta conforme coordenada geográficas.

Ponto de Coleta	Ponto	Latitude	Longitude	Data	Início (h)
Penedo	P1	10°17'37.86"S	36°35'20.05"O	24/11/19	14:00
Piaçabuçu	P2	10°24'39.30"S	36°26'2.89"O	25/11/19	15:00
Foz montante	P3	10°26'23.72"S	36°25'35.48"O	26/11/19	08:30
Foz jusante	P4	10°27'48.57"S	36°24'21.91"O	26/11/19	14:30

Fonte:elaborado pelos autores (2019).

Ao longo da coluna d'água, entre a superfície e o fundo do rio, foi efetuada uma sequência de medições, com distância de, no máximo, 50 cm entre elas, intercaladas entre 20 min, 30 min ou 60 min. A determinação dos parâmetros foi realizada durante os ciclos de maré enchente e vazante, conforme pode ser observado partir do Gráfico 1.

Gráfico 1 - Simulação gráfica das condições de maré durante as coletas realizadas entre os dias 24, 25 e 26.



Fonte:elaborado pelos autores (2019).

A determinação dos parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica, resistividade, densidade, sólidos totais dissolvidos, pH, salinidade e temperatura da água) foi realizada *in situ*, através da utilização de sonda multiparamétrica Aqual Troll 400 da In-Situ Inc. 221 East Lincoln Avenue, Fort Collins, CO 80524 USA.

Foram utilizados temperatura, pH, condutividade elétrica e salinidade para discutir a qualidade da água do estuário. A sistematização dos dados obtidos foi feita a partir da estatística descritiva, tabulando as medianas e os desvios padrão. O tratamento estatístico para a comparação dos dados foi realizado pelo teste de Análise da Variância (Anova). Realizou-se, para cada parâmetro físico-químico, análise Anova de 1 fator a vários níveis, a

fim de verificar influência da profundidade e da condição de maré (de vazante a cheia) nos parâmetros físico-químicos dos pontos estudados.

A região do estuário avaliada no presente estudo está localizada entre os paralelos 10°17' e 10°31' de latitude Sul e os meridianos 36°35' e 36°25' de longitude Oeste e estende-se desde a desembocadura do rio até a cidade de Penedo.

## Condições identificadas no estuário

### Penedo (P1)

Em Penedo, as tomadas de dados foram realizadas às 14:00, 15:00 e 16:00 horas, em momentos de topo de maré (Gráfico 2).



Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Os dados foram tratados estatisticamente e os resumos apresentados na Tabela 5. A altura máxima da coluna d'água no ponto avaliado atingiu 3,40 m.

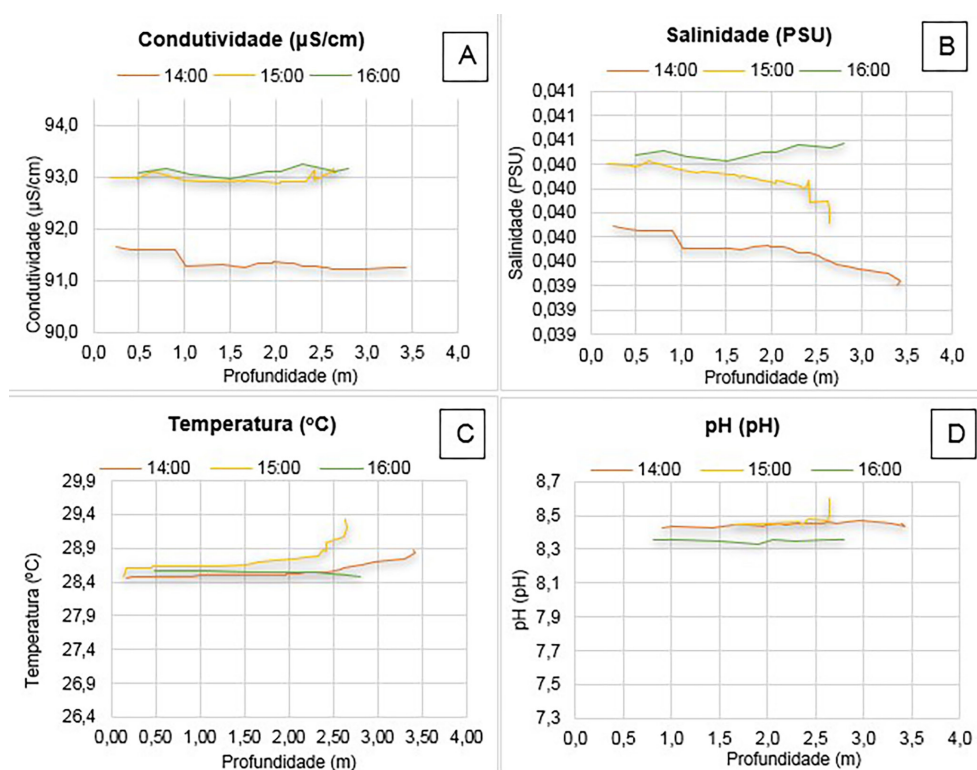
Tabela 5 - Variação dos parâmetros relacionados condutividade, salinidade, temperatura e pH em Penedo.

Penedo												
Funções Estatísticas	Propriedades 14:00 h				Propriedades 15:00 h				Propriedades 16:00 h			
	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)
Média	91,28	0,04	28,53	8,44	92,95	0,04	28,7	8,45	93,11	0,041	28,55	8,36
Desvio padrão	0,133	-	0,111	0,021	0,091	-	0,231	0,045	0,08	-	0,026	0,01
Máximo	91,66	0,04	28,88	8,47	93,17	0,04	29,34	8,6	93,25	0,041	28,56	8,36
Mínimo	91,22	0,039	28,48	8,38	92,87	0,04	28,6	8,39	92,96	0,04	28,49	8,33
N	24	24	24	24	24	25	25	24	9	9	9	9
Limite de decisão	-	-	-	-	-	-	-	-	041	0,00	0,024	0,04

Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Os valores relativos aos parâmetros de condutividade, salinidade, temperatura e pH, obtidos em Penedo, encontram-se plotados em função da profundidade nos Gráficos A, B, C e D da Figura 22.

Figura 22 - Gráficos dos parâmetros físico-químicos coletados em Penedo, plotados em função da profundidade.

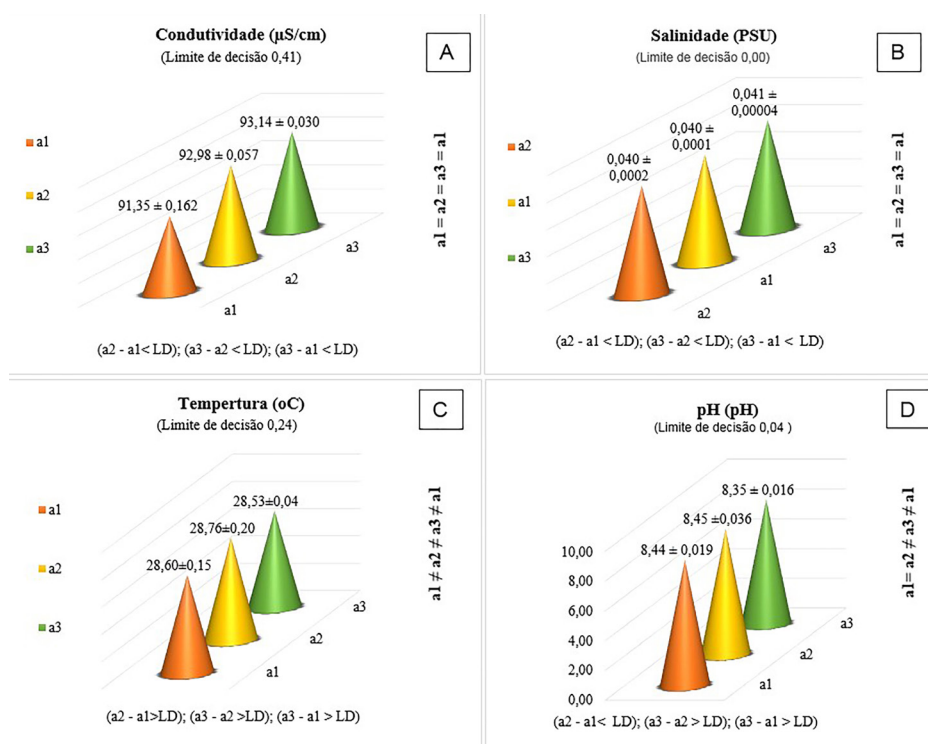


Fonte:elaborado pelos autores (2019).

As linhas referentes às medidas do Gráfico A (Figura 22) evidenciam que a condutividade, nesse ponto, varia de forma pouco expressiva. Esse fenômeno deve estar relacionado à pouca influência do volume de água do mar que chega até o ponto avaliado ou em função da pouca variação dos íons (poluentes) despejados ou que chegam na área trazidos pela corrente do rio.

As análises estatísticas demonstraram que, no decorrer do tempo de avaliação, os parâmetros de condutividade e salinidade não sofreram alterações significativas (Figura 23, Gráficos A e B).

Figura 23 - Gráficos dos resultados das análises estatísticas da condutividade, salinidade, temperatura e pressão em função da evolução da maré em Penedo. Legenda: a1, a2 e a3 referentes às médias dos parâmetros obtidos às 14:00, 15:00 e 16:00 horas, respectivamente.



Fonte:elaborado pelos autores (2019).

As alterações nos parâmetros, ao longo do tempo avaliado, relativas à temperatura e pH (Gráficos C e D) foram consideradas significativas. O aumento da temperatura pode estar relacionado ao acúmulo de energia referente à incidência de radiação solar, tendo influência, inclusive, na conservação de calor na região de fundo. A alteração de pH no ponto avaliado pode estar relacionada à concentração de matéria orgânica em decomposição.

Durante a I Expedição Científica no Rio São Francisco, a equipe responsável pela Qualidade da Água determinou que a salinidade média na região inscrita entre Traipu e Penedo apresentou salinidade média de 0,02‰  $\pm$  0,004‰ e valores mínimos de 0,02‰ e máximos de 0,03‰.

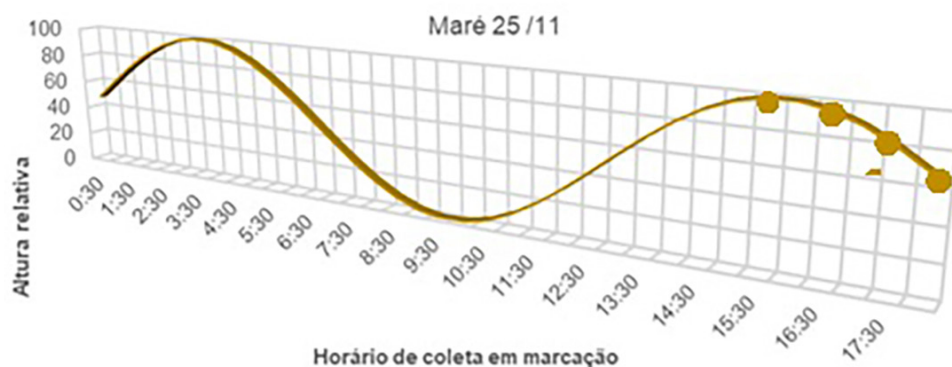
No ponto avaliado, de acordo com os dados coletados e a Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, do Conama, as águas estão enquadradas como águas doces, com salinidade igual ou inferior a 0,5‰.

## Piaçabuçu (P2)

Em Piaçabuçu, P2 – Lat 10°24'39.30"S e Long 36°26'2.89"O, distante 11,3 km da foz, foram realizadas 4 medidas sob condição de maré alta, às 15:00, 16:00, 17:00 e 18:00 horas, conforme Gráfico 3.



Gráfico 3 - Simulação da condição de maré durante realização das medidas em Piaçabuçu.



Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Na Tabela 6, encontram-se os dados referentes às análises estatísticas ao longo da evolução da maré, exibindo, inclusive, os valores mínimos e máximos de cada parâmetro avaliado em Piaçabuçu. No ponto avaliado, a profundidade do rio foi determinada em 14,37 m.

Tabela 6 - Variação dos parâmetros relacionados à condutividade, salinidade, temperatura e pH no trecho de Piaçabuçu.

Piaçabuçu																
Funções estatísticas	Propriedades (15:00)				Propriedades (16:00)				Propriedades (17:00)				Propriedades (18:00)			
	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)
Média	1122,5	0,52	28,9	7,7	3943,6	1,96	28,8	7,6	9221,2	5,02	28,7	7,6	5210,2	2,77	28,6	7,9
Desvio padrão	-	-	0,04	0,12	-	-	0,03	0,08	-	-	0,1	0,06	-	-	0,05	0,26
Mínimo	415,7	0,19	28,9	7,6	2251,9	1,08	28,8	7,5	607,4	0,28	28,5	7,4	120,1	0,05	28,5	7,6
Máximo	1671,7	0,79	29	7,9	5129,1	2,59	28,9	7,7	18878,6	10,59	28,8	7,7	15622,4	8,62	28,7	8,4
N	22	22	22	22	19	19	19	19	33	33	33	33	20	20	20	20
Limite de Decisão	-	-	0,034	0,17	3943,6	1,96	28,8	7,6	-	-	0,03	0,03	5210,2	2,77	28,6	7,9

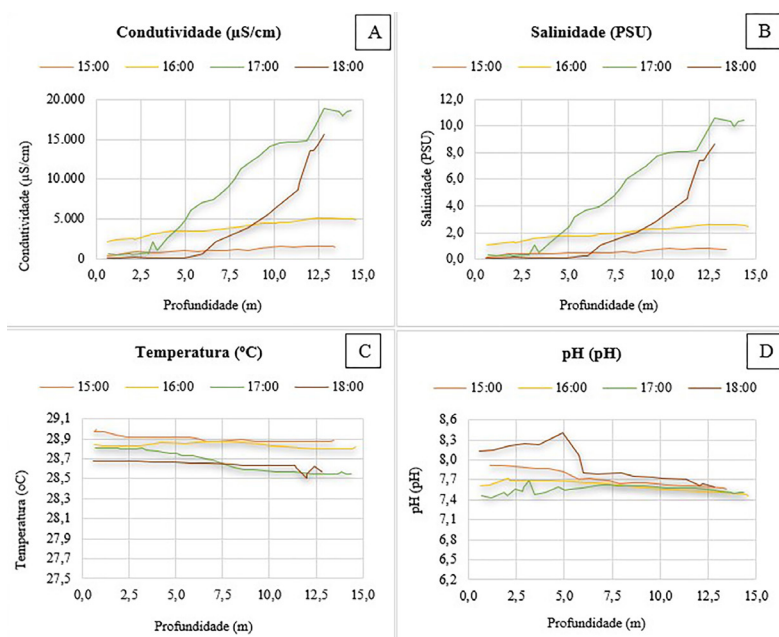
Fonte: elaborado pelos autores (2019).

A partir do ponto 2 (Piaçabuçu), é possível perceber a forte influência da maré sobre os parâmetros físico-químicos no estuário. Nesse ponto, o avanço da cunha salina é evidente, observável a partir das leituras expostas no Gráfico B da Figura 24.

Em relação à profundidade, a oscilação de pH mais significativa ocorreu às 18:00 horas (Gráfico D da Figura 24), apresentando variação de quase um ponto entre superfície e meio do rio, indicando que o pH tende à alcalinidade do fundo à superfície.

Já a oscilação de temperatura mais importante ocorreu às 17:00 horas (Gráfico C da Figura 24), coincidindo com a inversão de direção do movimento da cunha salina. A temperatura mais branda em profundidade pode estar relacionada ao avanço da cunha salina em direção ao continente, trazendo massa de água mais fria do oceano ao ponto avaliado.

Figura 24 - Gráficos dos parâmetros físico-químicos coletados em Piaçabuçu, em função da profundidade.

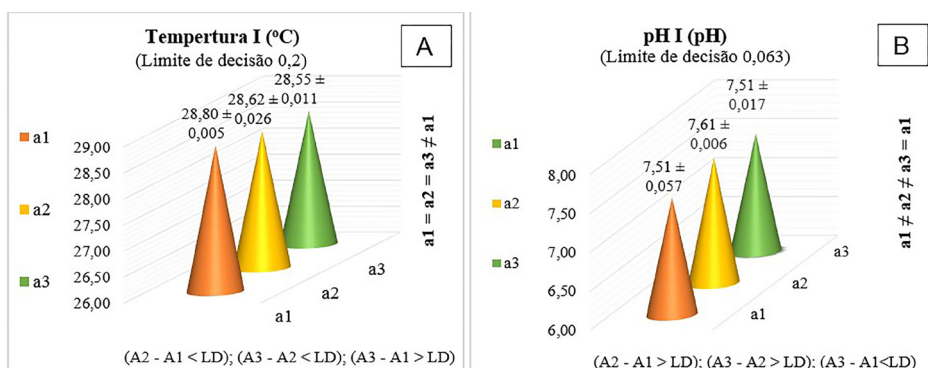


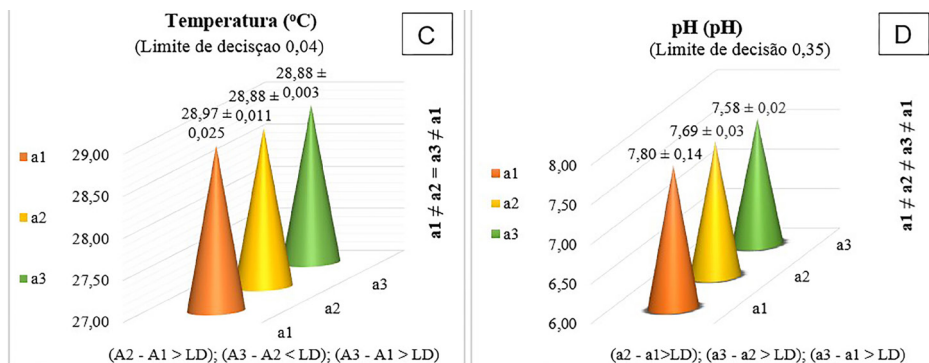
Fonte: elaborado pelos autores (2019).

As leituras realizadas às 17:00h revelam o aumento progressivo e substancial da salinidade e da condutividade, com o aumento da profundidade, deixando bem claro o comportamento da cunha. Nessa região, sob maré alta, a água é enquadrada como salobra.

Durante o intervalo observado, foi possível registrar oscilações de pH de 7,43 a 8,41 e temperaturas que variaram de 28,5 °C a 29,0 °C (Gráficos A e B da Figura 24). Os valores registrados para temperatura e pH variaram estatisticamente, em razão da profundidade de coleta e em função da evolução da maré (Gráficos A, B, C e D, Figura 25).

Figura 25 - Gráficos dos resultados das análises estatísticas da condutividade, salinidade, temperatura e pressão em função da evolução da profundidade em Piaçabuçu.





Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Legenda: a1, a2 e a3 referente às médias dos parâmetros medidos à superfície, meio e fundo respectivamente, as 15:00h – Gráficos A e B, às 18:00h – Gráficos C e D.

O estuário do rio São Francisco comporta-se apresentando salinidade mais alta próximo à foz e no fundo do rio, sendo, portanto, caracterizado como do tipo estratificado, em forma de cunha salina. Próximo da foz, a variação de salinidade é bastante significativa, oscilando entre 0,03‰ e 35‰, podendo chegar a 39‰. Áreas apresentando esse tipo de oscilações são enquadradas como zona de mistura. Sua ocorrência pode ser atribuída à variabilidade da descarga fluvial, aos ciclos de marés e à ação dos ventos (FONSECA, 2018).

### Foz a montante (P3)

Na região da foz a montante, distante 7,9 km da costa, as coletas de dados ocorreram no período da manhã, sob condição de baixa-mar, tendo sido realizado o conjunto de seis amostragens, de 08:30 h às 11:00 h, intercaladas por 30 min cada tomada, conforme Gráfico 4.

Gráfico 4 - Simulação da condição de maré durante a realização das medidas na foz a montante



Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Os dados tratados estatisticamente e sumarizados a partir das coletas realizadas na foz a montante foram organizados na Tabela 7. No período avaliado, o leito do rio encontrava-se a 7,80 m de profundidade.

Na região, a influência da maré tem significativa importância. Nessa zona, é possível

observar a alteração da salinidade e condutividade em função da variação da profundidade e da maré, mesmo sob condição de maré vazante. Contudo, sob baixa-mar, as águas superficiais de fundo e meio seriam classificadas como doces. No entanto, com o avanço da maré, a cunha salina tende a alcançar o ponto avaliado, deixando a zona de fundo salobra. No ponto, foi possível registrar oscilação de salinidade entre 0,04 PSU a 0,64 PSU.

Tabela 7 - Variação dos parâmetros relacionados condutividade, salinidade, temperatura e pH no trecho da foz a montante.

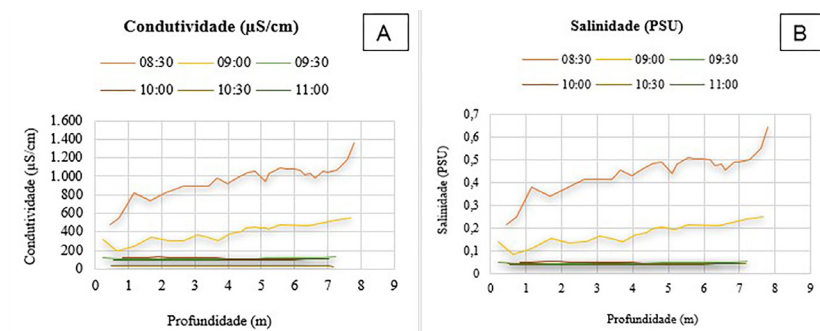
Foz montante													
Funções estatísticas	Propriedades (08:30)				Propriedades (09:00)				Propriedades (09:30)				
	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	
<b>Média</b>	967,5	0,5	28,58	7,4	386,9	0,2	28,6	7,9	113,2	0,5	28,7	7,5	
<b>Desvio padrão</b>	178,2	0,1	0,0	0,1	91,7	0,0	0,0	0,1	7,1	0,0	0,0	0,0	
<b>Mínimo</b>	474,5	0,2	28,6	7,3	193,7	0,1	28,6	7,7	105,9	0,0	28,7	7,4	
<b>Máximo</b>	1360,7	0,6	28,6	7,8	550,2	0,3	28,6	8,0	127,5	0,1	28,9	7,6	
<b>N</b>	27	27	27	27	19	19	19	19	15	15	15	15	
<b>Limite de Decisão</b>	-	-	0,002	0,193	-	-	-	-	-	-	-	-	
Funções estatísticas	Propriedades (10:00)				Propriedades (10:30)				Propriedades (11:00)				
	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	
<b>Média</b>	114,5	0,1	28,8	7,8	28,9	0,0	28,9	7,9	100,4	0,0	29,0	7,9	
<b>Desvio padrão</b>	5,9	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,1	
<b>Mínimo</b>	107,3	0,0	28,8	7,6	28,9	0,0	28,9	7,7	99,2	0,0	28,9	7,8	
<b>Máximo</b>	128,5	0,1	28,8	8,1	28,9	0,0	28,9	8,1	102,4	0,0	29,0	8,1	
<b>N</b>	19	20	20	20	18	18	18	18	17	17	17	17	
<b>Limite de Decisão</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0096	0,052	

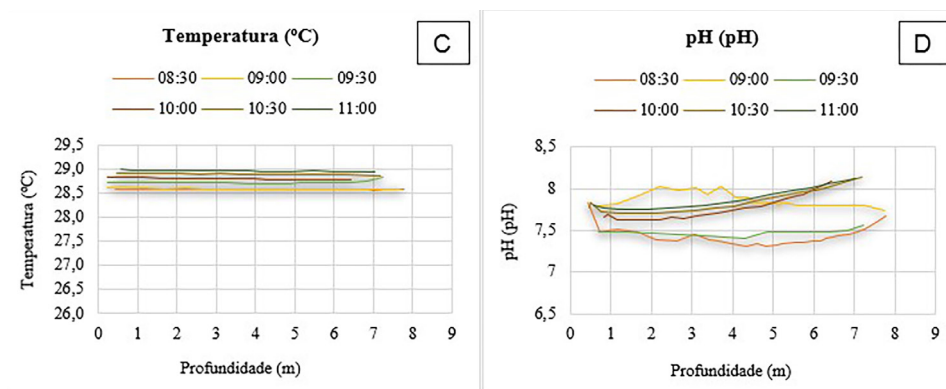
Fonte:elaborado pelos autores (2019).

O pH na área variou com a profundidade e com o avanço da maré, conforme mostra o Gráfico D da Figura 26. No ponto avaliado, apesar das linhas apresentarem comportamento semelhantes, a aferição realizada às 8:30 h apresentou evolução de comportamento anômalo. Enquanto o pH tende a ser mais elevado no fundo e/ou na superfície nas demais medições, durante a realizada às 8:30 h, o pH mostra-se mais elevado no meio.

O comportamento discretamente anômalo, durante a medição supracitada, pode estar relacionado a algum pico de liberação de gás carbônico na água, decorrente do processo de oxidação do excesso de matéria orgânica pelos microrganismos aeróbicos no intervalo referente à aferição, ocasião em que era possível observar a presença massiva de plantas aquáticas na superfície do rio.

Figura 26 - Gráficos dos parâmetros físico-químicos coletados na foz a montante em função da profundidade.

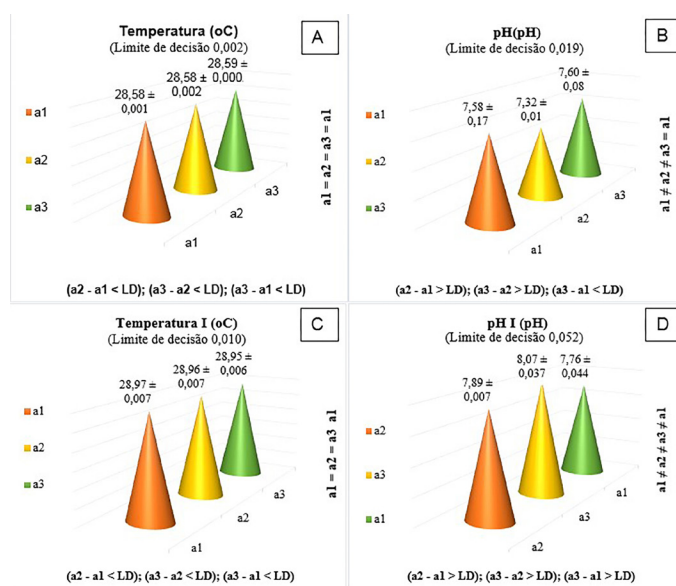




Fonte: elaborado pelos autores (2019).

As análises da temperatura permitiram concluir que a variação observada não foi estatisticamente significativa. Durante o intervalo avaliado e conforme variou-se a profundidade, observou-se que este parâmetro manteve-se constante, podendo ser observado nos Gráficos A e C da Figura 27.

Figura 27 - Gráficos dos resultados das análises estatísticas da condutividade, salinidade, temperatura e pressão em função da evolução da profundidade na foz a montante.



Fonte: Próprios autores (2019).

Legenda: a1, a2 e a3 referentes às médias dos parâmetros medidos à superfície, meio e fundo, respectivamente, às 08:30h – gráficos A e B; às 11:00h – Gráficos C e D

## Foz jusante (P4)

Na última região avaliada, no trecho da foz à jusante, distante 4,8 km da costa, as coletas de dados foram processadas sob a condição de maré enchente (Gráfico 5), tendo sido realizadas 4 tomadas de dados, intercaladas por intervalos de 30 min entre elas. Os dados coletados revelam a intensa influência que a maré tem sobre a região.



Gráfico 5 - Simulação da condição de maré durante realização das medidas na foz a jusante



Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Os dados coletados na foz a jusante, às 14:30, 15:00, 15:30 e 16:00 horas, foram tratados estatisticamente e os resumos estão apresentados na Tabela 28. Na região, a altura máxima da coluna d'água, ou do leito do rio, atingiu 7,70 m.

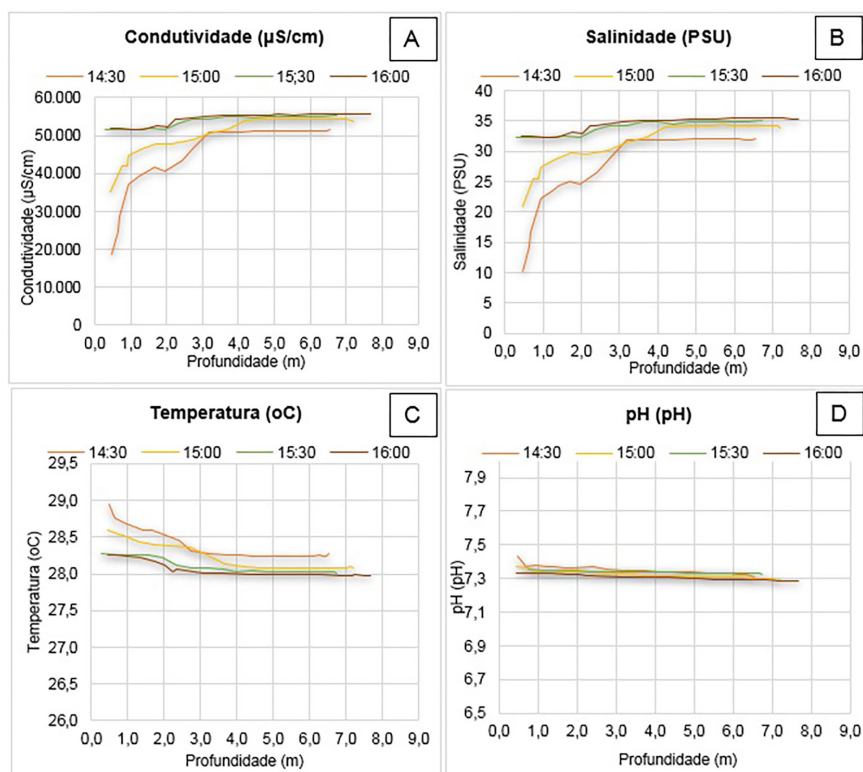
Tabela 28 - Variação dos parâmetros relacionados condutividade, salinidade, temperatura e pH no trecho da foz à jusante.

Fozjusante																
Funções estatísticas	Propriedades 14:30				Propriedades 15:00				Propriedades 15:30				Propriedades 16:00			
	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)	Cond. (µS/cm)	Sal. (PSU)	Temp. (°C)	pH (pH)
<b>Média</b>	44653,8	27,5	28,4	7,4	50830,9	31,8	28,2	7,3	53891,8	34,0	28,1	7,3	52010,1	34,5	28,1	7,3
<b>Desvio padrão</b>	9587,7	6,5	0,2	0,0	5225,6	3,7	0,2	0,0	1511,3	1,1	0,1	0,0	11725,2	1,2	0,1	0,0
<b>Mínimo</b>	18525,2	10,3	28,2	7,3	35122,9	20,9	28,1	7,3	51654,5	32,3	28,0	7,3	0,7	32,4	28,0	7,3
<b>Máximo</b>	51494,2	32,2	29,0	7,4	54426,1	34,4	28,6	7,4	55291,5	35,0	28,3	7,4	55876,6	35,5	28,3	7,3
<b>N</b>	23	23	23	23	25	25	25	25	17	17	17	16	21	21	21	21
<b>Limite de Decisão</b>	-	-	0,002	0,019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,052

Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Conforme pode ser observado a partir dos Gráficos A e B da Figura 29, tanto a subida da maré quanto o aumento da profundidade no trecho avaliado contribuem para a elevação expressiva da salinidade e da condutividade ao longo do tempo e em profundidade.

Figura 29 - Gráficos dos parâmetros físico-químicos coletados na foz a jusante em função da profundidade.

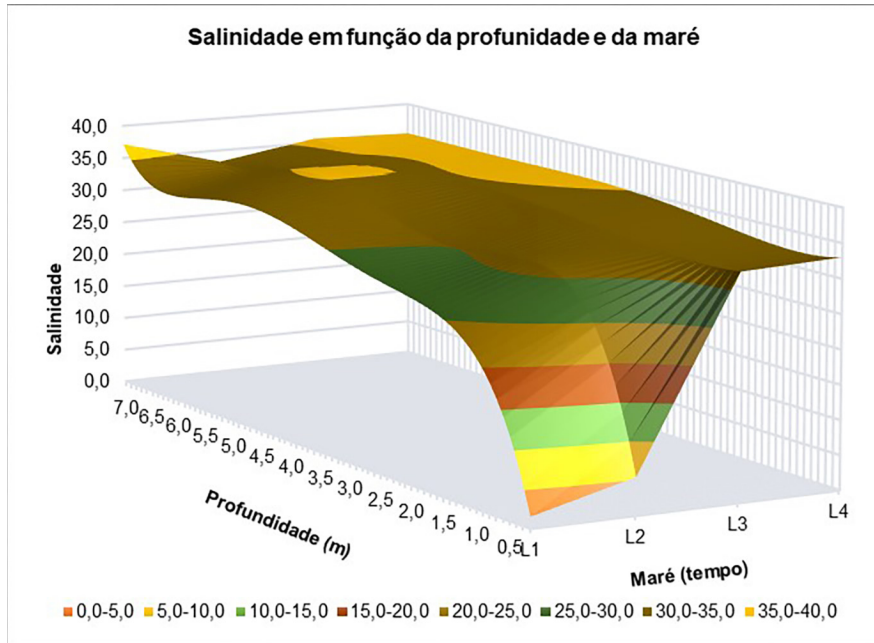


Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Nessa região, os gradientes podem ser bem representados pelas linhas íngremes observadas a partir das leituras realizadas às 14:30 e 15:00 horas, ocasiões em que a maré ainda avançava em direção ao continente. Conforme a maré avança, a água salina tende a subir, ocupando as zonas superficiais.

A partir dos dados coletados, foi possível observar (Gráfico 6) que às 16:00 h (L4) ocorre a inversão do fluxo natural do rio, a força da maré vence a força da descarga do rio, tornando a água do estuário completamente salina desde a superfície ao fundo. Nesse instante, a salinidade registrada, entre 32 e 35 PSU, varia muito pouco entre fundo e superfície.

Gráfico 6 - Salinidade em função da profundidade e da maré (simulação) em perspectiva



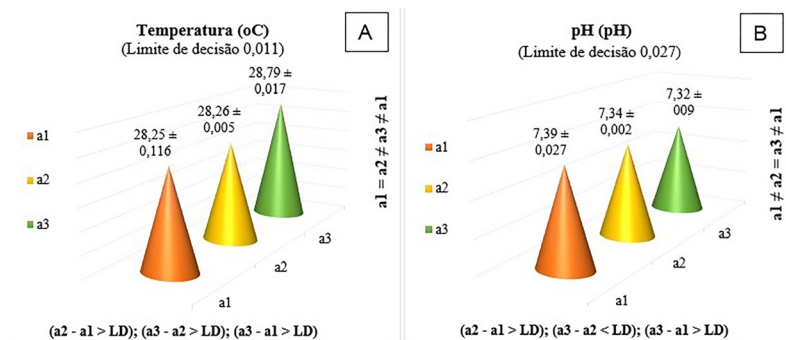
\* Fonte: Próprios autores (2019).

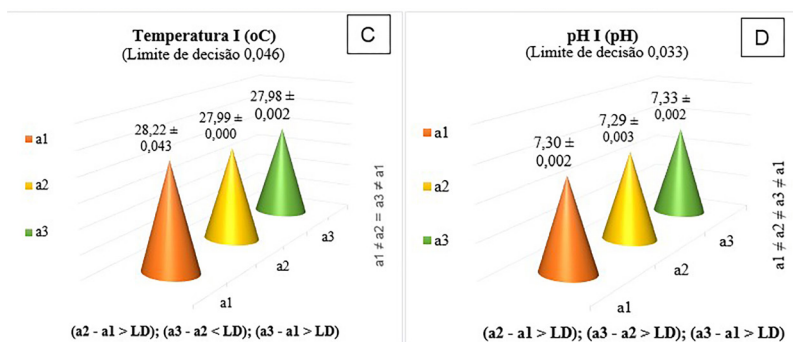
Souza (2015), durante o mês de fevereiro de 2014, em condições de maré de sizígia e enchente (altura em torno de 2,0 metros), observou que, na região, ocorre forte estratificação salina do tipo cunha salina. O autor registou salinidade superficial oscilando entre 4 a 18 g/kg, atingindo valores de até 35 g/kg em apenas 2 metros de profundidade.

O autor relatou que a estratificação do tipo cunha salina manteve-se durante o intervalo avaliado. Entretanto, ocorreu alteração no grau de intensidade e posição ao longo da coluna d'água. Durante os picos de maré vazante, o fluxo da corrente do rio predomina sobre a força da maré e empurra água doce em direção à foz, forçando a estratificação de salinidade para as camadas mais profundas do canal principal.

Análises estatísticas revelaram que temperatura e pH sofrem alterações ao longo da coluna d'água (Figura 30, Gráficos A, B, C e D).

Figura 8 - Gráficos dos resultados das análises estatísticas da condutividade, salinidade, temperatura e pressão em função da evolução da profundidade em Piaçabuçu a montante foz a jusante.





Fonte: elaborado pelos autores (2019).

Legenda: a1, a2 e a3 referentes às médias dos parâmetros medidos à superfície, meio e fundo, respectivamente, às 14:30 h – Gráficos A e B; às 16:00 h – Gráficos C e D.

## Características do estuário

De acordo com Kjerfve (1987), regiões estuarinas são zoneadas tendo como base os processos de mistura, circulação e estratificação da salinidade, sendo divididas em três sessões:

- ✓ Zona de Maré do rio (ZR): caracterizada como porção fluvial sujeita à influência da ação da maré, contudo, apresentando salinidade praticamente zero;
- ✓ Zona de Mistura (ZM): região de acentuada variação longitudinal e vertical da salinidade, provocada pela mistura da água doce da drenagem continental com a água salgada do mar;
- ✓ Zona Costeira (ZC): porção costeira adjacente, que se estende até a frente da pluma estuarina que delimita a Camada Limite Costeira (CLC).

A região costeira do São Francisco é dominada pelo regime de ondas de alta energia e por mesomares do tipo semi-diurno, com marés de sizígia atingindo 2,6 m. As Águas Tropicais de Superfície (ATS) da Corrente Sul Equatorial (CSE) predominam sobre a plataforma continental e influenciam diretamente as águas costeiras. Na região, a profundidade do rio varia, podendo atingir aproximadamente 14 m próximo à foz (MEDEIROS; KNOPPERS; SOUZA, 2007).

A área do estuário está delimitada a 10°17' – 10°31'S e 36°25' – 36°36'W. Seu clima é classificado como quente e úmido, com precipitação acumulada anual variando entre 1.250 mm e 1.500 mm, cuja estação chuvosa ocorre entre os meses de maio a julho (COTOVICZ JR. *et al.*, 2016).

No mês anterior à expedição, por determinação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e concordância da Agência Nacional de Águas (ANA), a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), no dia 22 de outubro de 2019, elevou a vazão no rio São Francisco. O aumento da vazão, que passou do patamar médio diário, em dias úteis, de 950m<sup>3</sup>/s (metro cúbicos por segundo) para 1.280m<sup>3</sup>/s, ocorreu a partir do reservatório de Xingó, na divisa de Alagoas e Sergipe. Além de ter como objetivo atender às necessidades eletroenergéticas dos meses de outubro e novembro, quando se registra menor geração de energia eólica na região Nordeste, esperava-se que o aumento das correntes no rio impedisse que o óleo, oriundo do derramamento de petróleo nas praias do Nordeste, adentrasse o estuário (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2019; UOL, 2019).

Dentre os parâmetros utilizados para indicar a qualidade de um corpo hídrico está o pH. De acordo com Vanzela, Hernandez e Francom (2010), vários são os fatores que podem concorrer para a alteração do pH de um corpo hídrico. A redução do pH pode estar

relacionada, por exemplo, com a presença de áreas agricultadas, matas degradadas, moradias no entorno do corpo hídrico, em função do maior escoamento superficial provocado por carreamento de sólidos ou em decorrência do processo de oxidação do excesso de matéria orgânica pelos microrganismos aeróbicos, com conseqüente liberação de gás carbônico na água.

Conforme Silva e colaboradores (2009), as alterações de pH nos corpos hídricos também podem ser provocados pela presença de água da chuva. O aumento no volume de água dos rios pode fazer com que a acidez da água diminua, provocando a elevação do pH e fazendo com que ele se aproxime da neutralidade, em função da maior diluição dos compostos dissolvidos e do escoamento mais rápido.

Segundo Piratoba (2017), um dos parâmetros que sofre alteração, de acordo com a qualidade da água, é a condutividade elétrica. Esse importante parâmetro pode revelar modificações na composição dos corpos d'água sem, contudo, determinar quantidades e componentes. A condutividade da água está, estatisticamente, correlacionada com a concentração de íons e de diversos elementos; já nas regiões tropicais, está relacionada com a periodicidade de precipitações, bem como com as características geoquímicas da região.

Na avaliação da qualidade da água, a temperatura é parâmetro importante não apenas por sofrer alterações sazonais e locais, mas também porque alterações bruscas ou significativas impactam diretamente na velocidade de reações químicas e biológicas, na taxa de solubilidade do Oxigênio dissolvido e na densidade da água. Além disso, temperaturas mais elevadas podem tornar alguns compostos mais tóxicos para os organismos aquáticos ou afetar a sobrevivência de alguns organismos estenotérmicos. Alterações nesse parâmetro podem ser provocadas por causas naturais, como incidência de energia solar, ou por fatores antropogênicos, como despejos de efluentes industriais (MANZOLLI; PAIVA, 2011).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises dos dados permitiram observar que, na região de Penedo, a maré não tem influência sobre a salinidade do rio, podendo a água, no ponto avaliado, ser classificada como doce e a região como Zona de Maré do rio. Em Piaçabuçu, a maré passa a ter influência significativa na salinidade e na condutividade. No trecho, a entrada da cunha salina, proporcionada pela maré enchente, altera a salinidade da água, podendo torná-la salobra na camada de fundo, contudo, mantendo a água das camadas superficiais doce. Nessa região, é possível observar claramente o gradiente de salinidade proporcionado pelo seu avanço em cunha, característica do estuário com estratificação em cunha salina. Em baixa-mar, as águas de superfície e de fundo encontram-se enquadradas como água doces e/ou salobras. De acordo com os dados coletados, essa região pode ser caracterizada como Zona de Mistura. Na região de foz a jusante, sob condição de topo de maré, a salinidade é significativamente marcante desde a superfície ao fundo, apresentado salinidade equivalente à água do mar, acima de 30 PSU, sendo classificada como água salina. As análises dos dados permitem classificar a região como Zona Costeira.

Durantes os intervalos avaliados, a temperatura mostrou-se constante longitudinalmente, não apresentando variação expressiva a ser considerada entre os pontos avaliados. Contudo, verticalmente, foi possível observar discreta tendência de elevação em gradiente do fundo em relação à superfície, que pode ser ocasionada tanto pela influência da incidência da radiação solar sobre as águas superficiais como também pelo avanço da cunha salina, trazendo massa de água mais fria diretamente do oceano. O pH foi um dos



parâmetros que mais sofreu variação horizontal e vertical, sinalizando a forte influência da maré e da estratificação salina da coluna da d'água e/ou da presença de matéria orgânica em algumas regiões analisadas.

Apesar dos resultados apontarem para as condições acima descritas, é necessário considerar a influência que a elevação do fluxo do rio teve sobre os parâmetros avaliados, sendo essencial a continuidade dos estudos para futuras comparações, tendo em vista as possíveis modificações provocadas na dinâmica do rio sob a ação desse interferente.

## REFERÊNCIAS

BASILIO, T.; GODINHO, W. Ictiofauna do estuário do Rio Curu, Ceará, Brasil. **Arq. Ciên. Mar**, v. 42, n. 2, p. 81–88, 2008.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **CHESF aumenta vazão no Rio São Francisco em Xingó**. 2019. Disponível em: <https://www.sertaonahora.com.br/noticia/26286/chesf-aumenta-vazao-no-rio-sao-francisco-em-xingo.html>. Acesso em: 9 abr. 2020.

COTOVICZ L. C. JR. *et al.* Comparações entre medições em tempo real da PCO<sub>2</sub> aquática com estimativas indiretas em dois estuários tropicais contrastantes: o estuário eutrofizado da Baía de Guanabara (RJ) e o estuário oligotrófico do Rio São Francisco (AL). **Quím. Nova**, v. 39, n. 10, p. 1206–1214, 2016.

COUCEIRO, M. A. A.; SCHETTINI, C. A. F. Estudo da dinâmica dos sedimentos em suspensão do estuário do Rio Rarangua (SC): Possíveis efeitos da drenagem ácida da atividade de mineração de carvão. **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 251–266, 2010.

FONSECA, S. L. M. **Efeito da redução da vazão de restrição defluente da barragem de Xingó na salinidade da água no baixo trecho do Rio São Francisco**. [s.l.]: Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2018.

GREGO C. K. S.; FEITOSA, F. A. N.; DA SILVA M. H.; MONTES M. J. F. Distribuição espacial e sazonal da Clorofila a fitoplancônica e hidrologia do estuário do Rio Timbó (Paulista – PE). **Tropical Oceanography**, v. 32, n. 2, p. 181–199, 2017.

KJERFVE, B.. Hydrodynamics of Estuaries. Volume II Estuarine Case Studies. Boca Raton: CRC Press, 1988. 133 p. <https://doi.org/10.1201/9781351073264>

MANZOLLI, R. P.; PAIVA, L. P. M. Oceanografia Química. In: **Estudos oceanográficos: do instrumental a prático**. Capítulo 6. p130 – 155. Editora Textos. 2011.

MEDEIROS, P. R. P.; CAVALCANTE SEGUNDO, G. H.; MAGALHÃES, E. M. M.; Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v. 29, n. 1, p. 34–44, 2015.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p. 212–231, 2007.

MOLISANI, M. M.; CRUZ, A. L. V.; MAIA, L. P. Estimativa da descarga fluvial para os

estuários do Estado do Ceará, Brasil, Estimation of the freshwater river discharge to estuaries. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 39, p. 53–60, 2006.

PIRATOBA, A. R. A. *et al.* Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 3, p. 435–456, 2017.

SANTOS, T. G. D. *et al.* Dinâmica da biomassa fitoplancônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). **Rev. Bras. Enga. Pesca**, v. 4, n. 1, p. 95–109, 2009.

SANTOS, T. O. *et al.* Caracterização estrutural de bosques de mangue: Estuário do São Francisco. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 1–7, 2012.

SILVA, A. E. P. *et al.* Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733–742, 2009.

SOUZA, R. M. G. **Caracterização hidrodinâmica e estimativa do transporte de sal no estuário do Rio São Francisco – AL/SE**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2015.

UOL. **ANA ampliará vazão de Xingó se houver risco de contaminação do São Francisco por petróleo**. 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2019/10/11/ana-ampliara-vazao-de-xingo-se-houver-risco-de-contaminacao-do-sao-francisco-por-petroleo.htm>. Acesso em: 20 set. 2012.

VANZELA, L. T.; FERNANDO B. T.; HERNANDEZ, R. A. F. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55–64, 2010.

# STRUCTURE AND DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON FROM THE LOWER SÃO FRANCISCO (ALAGOAS AND SERGIPE)

Élica Amara Cecília Guedes  
Manoel Messias da Silva Costa  
Ana Karolina Lopes da Silva  
Mariana Melo Fireman

## SUMMARY

The study of lacustrine phytoplankton constitutes fundamental information on the structure of an aquatic environment's biological production. It is of utmost importance to understand the environment since, within each environment, there is a set of phytoplanktonic forms whose variety, abundance, and distribution are exclusive and depend on adaptation to abiotic characteristics. Forty-six samples were analyzed, collected from 11/19 to 11/28 of 2019, the collection points were determined along the Lower São Francisco. The samples were obtained using horizontal surface trawls, with a plankton net (20  $\mu\text{M}$  mesh), and deep trawling with a Van Dorn bottle. The samples were packed in vials and preserved in 4% formaldehyde, adequately labeled. Aliquots of 1 mL were examined by direct analysis under a binocular optical microscope, and the identification was based on relevant bibliography on the subject. The following analyses were performed, species richness, relative abundance, frequency of occurrence, Shannon diversity ( $H'$ ), equitability ( $J$ ), Simpson dominance ( $\lambda$ ) and density ( $\text{cel.mL}^{-1}$ ), and statistical tests. The divisions with the highest representativeness of species richness were Chlorophyta (60 spp.), Bacillariophyta (39 spp.), and Cyanobacteria (24 spp.) in Traipu/Al. Dominant species that contributed to cell density were observed, among them, chlorophyciae *Monoraphidium griffithii* (97.2%), *M. komarkovae* (89.3%), *Closterium moniliferum* (77.8%), *Monoraphidium intermedium* (69%), and *Eudorina elegans* (60%); and diatoms *Terpsinoë musica* (94.1%), *Cyclotella meneghiniana* (88.2%), and *Coscinodiscus radiatus* (80,4%). Chlorophyciae and diatoms were the dominant groups regarding cell richness, abundance, and density, thus contributing to the ecological indices that presented specific diversity values from medium to a high diversity, and equitable distribution of the species. Also, low values of cyanobacteria density were observed. Thus, the river water quality will not pose risks to public health and high investments in the implementation of a Water Treatment Plant (WTP) and the various multiple uses (navigation, recreation, supply, irrigation, and the like).

# CAPÍTULO 5

## ESTRUTURA E DINÂMICA DO FITOPLÂNCTON DO BAIXO SÃO FRANCISCO (ALAGOAS E SERGIPE)

Élica Amara Cecília Guedes<sup>23</sup>

Manoel Messias da Silva Costa<sup>24</sup>

Ana Karolina Lopes da Silva<sup>25</sup>

Mariana Melo Fireman<sup>26</sup>

### INTRODUÇÃO

O ambiente aquático é essencial na manutenção dos ecossistemas do planeta e na existência humana, pois a água possui importância primordial para a vida, uma vez que nenhum processo metabólico ocorre sem a sua ação direta ou indireta (ESTEVEES, 2011). Dentre os inúmeros organismos que habitam os ambientes aquáticos, a comunidade fitoplanctônica é constituída por microalgas de diferentes grupos taxonômicos capazes de realizar fotossíntese e que apresentam um conjunto de formas cuja variedade, abundância e distribuição são próprias e dependem da adaptação às características abióticas, sendo de extrema importância para a compreensão do meio (REVIERS, 2006; REYNOLDS, 2006; RAVEN *et al.*, 2014). Estes organismos, predominantemente autotróficos, são a base da cadeia alimentar em ecossistemas aquáticos e apresentam extrema importância para toda a comunidade aquática, visto que a abundância, a riqueza e a biomassa impulsionam a produtividade para os demais níveis tróficos (PEREIRA; SOARES-GOMES, 2002).

Sua alta taxa de reprodução, essencial para a manutenção da vida nos ambientes lacustres, em estado de desequilíbrio, pode atingir grandes concentrações, alterando a coloração da água, gerando impactos negativos para a comunidade aquática e a saúde humana, em consequência das alterações dos fatores abióticos (disponibilidade de nutrientes, mudanças climáticas) e bióticos (competição, predação, atividades antropogênicas), acarretando florações algais, comprometendo a integridade da biota e intensificando o processo de eutrofização (ZANATA; ESPÍNDOLA, 2002; CECY; SILVA, 2004).

O aumento da eutrofização em ambientes lóticos advindos de múltiplos usos, como abastecimento público, lazer, aquicultura e pesca, além de se modificar rapidamente, tanto no tempo como no espaço, tem permitido um rápido crescimento de algumas espécies de fitoplâncton, principalmente aquelas pertencentes às cianobactérias (*Nostocales*, *Chroococcales*) diatomáceas (bacilariofíceas cêntricas) e clorofíceas (*Desmidiiales*), que estão se tornando

<sup>23</sup> Professora Doutora, Chefe do Laboratório de Ficologia (Labofic), Setor de Botânica, Universidade Federal de Alagoas (Ufal).

<sup>24</sup> Professor Doutor, Setor de Biologia, Instituto Federal de Alagoas (Ifal).

<sup>25</sup> Estudante de Graduação em Biologia, estagiária do Laboratório de Ficologia (Labofic), Setor de Botânica, Universidade Federal de Alagoas (Ufal).

<sup>26</sup> Graduação em Biologia, estagiária do Laboratório de Ficologia (Labofic), Setor de Botânica, Universidade Federal de Alagoas (Ufal).

cada vez mais comuns e dominantes nesses ambientes, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, implicando em potenciais danos à saúde da população (PANOSSO *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2009).

Tais estudos com o fitoplâncton contribuem preponderantemente para a compreensão do funcionamento do sistema como um todo, devido à sua contribuição essencial na elaboração da matéria orgânica necessária à sobrevivência dos organismos herbívoros desses ambientes (ESTEVEZ; SANT'ANNA, 2006; CÂMARA *et al.*, 2007).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar a estrutura da comunidade fitoplanctônica e dos índices ecológicos, proporcionando importantes informações sobre os ecossistemas que estão em estudo como bioindicadores da qualidade da água.

## METODOLOGIA

### Área de estudo e coleta das amostras

Foram coletadas 46 amostras no período de 19 a 28/11/2019, quando foram determinados pontos de coleta ao longo do trecho do Baixo São Francisco, entre os Estados de Alagoas e Sergipe, sendo definidos três pontos de coletas: Ponto 1 (região próxima à margem do rio, lado de Alagoas), Ponto 2 (região mediana do rio, entre Alagoas e Sergipe) e Ponto 3 (região próxima à margem do rio, lado de Sergipe), tendo como referência os municípios de Piranhas-AL (PI), Traipu-AL (TR), Pão de Açúcar-AL (PA), Igreja Nova-AL (IN), Propriá-SE (PR), Penedo-AL (PE), Piaçabuçu-AL (PU); e dois pontos de coletas para a foz do São Francisco: Ponto 1 (região próxima ao Estado de Alagoas) e Ponto 2 (região próxima ao Estado de Sergipe).

As amostras foram obtidas de duas formas: a primeira através de arrastos horizontais e subsuperficiais, utilizando-se rede de plâncton com abertura de malha de 20 µm (superfície), e a segunda através de coletas nas regiões mais profundas de cada ponto, sendo realizada com auxílio de uma garrafa coletora do tipo “Van Dorn”, com capacidade de 1 litro. Após as coletas, as amostras foram acondicionadas em frascos de plástico de aproximadamente 100 mL, devidamente etiquetados e preservadas em formalina a 4%, sendo posteriormente transportados ao Laboratório de Ficologia do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

### Análise das amostras

A composição do microfitoplâncton foi determinada a partir da análise de montagens lâmina-lamínulas (lâminas temporárias), visualizadas sob um microscópio óptico binocular Zeiss (Axioscop 40). Para o estudo quantitativo, foram analisadas alíquotas de 1 mL, de acordo com o método de método de Sedgwick-Rafter (S-R) (APHA; AWWA; WEF, 2005; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

Para a identificação taxonômica de gêneros e/ou espécies, foram consultados trabalhos específicos na área: Bourrelly (1970), Streble e Krauter (1987), Anagnostidis e Komarek (1990), Parra e Bicudo (1995), Moreno *et al.* (1996) e Komarek & Anagnostidis (1998). Foi utilizado o Sistema de Classificação de Round *et al.* (1990) para enquadramento taxonômico das diatomáceas, o de Anagnostidis e Komarek (1988) e Komarek e Anagnostidis (2005) para Cyanobacteria, Buchheim *et al.* (2001) para Chlorophyta e o Sistema de Van den Hoek *et al.* (1995) para os demais grupos taxonômicos. Todos os nomes científicos de espécies foram



checados junto ao banco de dados internacional ITIS (Integrated Taxonomic Information System) e Algaebase (GUIRY; GUIRY, 2014).

## Índices ecológicos

Após a identificação, foram realizadas contagens dos organismos e calculada a abundância relativa de cada táxon, utilizando a fórmula:  $A = N \times 100 / n$  onde,  $N = n^\circ$  de espécies na amostra;  $n = n^\circ$  total de espécies, sendo estabelecidos os seguintes critérios: dominante – ocorrência maior do que 50%; abundante – ocorrência entre 50% e 30%; pouco abundante – ocorrência entre 30% e 10%; rara – menor de 10% (LOBO; LEIGHTON, 1986).

A frequência de ocorrência (%) foi calculada a partir do número de vezes em que cada táxon ocorreu nas porções do talo dos hospedeiros, por intermédio da fórmula:  $F = P \times 100 / p$ , onde,  $P =$  número de amostras contendo a espécie;  $p =$  número total de amostras, sendo estabelecidas as seguintes categorias: muito frequente – ocorrência em mais de 70% das amostras; frequente – ocorrência entre 70% e 40% das amostras; pouco frequente – ocorrência entre < 40% e 20% das amostras e esporádica < 20% (MATEUCCI; COLMA, 1982).

A riqueza correspondeu ao número de espécies encontrado em cada amostra. O índice de diversidade específica foi calculado segundo Shannon ( $H'$ ) ( $-\sum p_i \log_2$ ) (SHANNON, 1963), cujos valores foram enquadrados nas seguintes categorias: alta diversidade =  $\geq 3,0$  bits.cel<sup>-1</sup>; média diversidade =  $< 3,0 \geq 2,0$  bits.cel<sup>-1</sup>; baixa diversidade =  $< 2 > 1,0$  bits.cel<sup>-1</sup>; muito baixa diversidade =  $< 1,0$  bits.cel<sup>-1</sup> (VALENTIN, 2000). A Equitabilidade (J) foi calculada segundo Pielou (1977), apresentando valores entre 0 e 1, sendo considerado alto ou equitativo os valores superiores a 0.50, que representa uma distribuição uniforme dos táxons na amostra analisada e dominância de Simpson ( $\lambda$ ) (MAGURRAN, 1988). Para esses cálculos, foi utilizado o programa estatístico Past (HAMMER *et al.*, 2001).

## Tratamento estatístico

O Teste de Levene's foi utilizado para avaliar a normalidade e a homogeneidade de variância. Análises de variância (Anova unifatorial) foram usadas para testar a riqueza de espécies e densidade de células das amostras coletadas. Teste de comparações múltiplas de Tukey (*Tukey's pairwise*) para riqueza e teste Wilcoxon (*Wilcoxon pairwise*) foram aplicados quando ocorreram diferenças significativas ( $P < 0.05$ ). Para todos os procedimentos estatísticos, foram utilizados os programas estatísticos Past (HAMMER *et al.*, 2001).

## Resultados e discussão

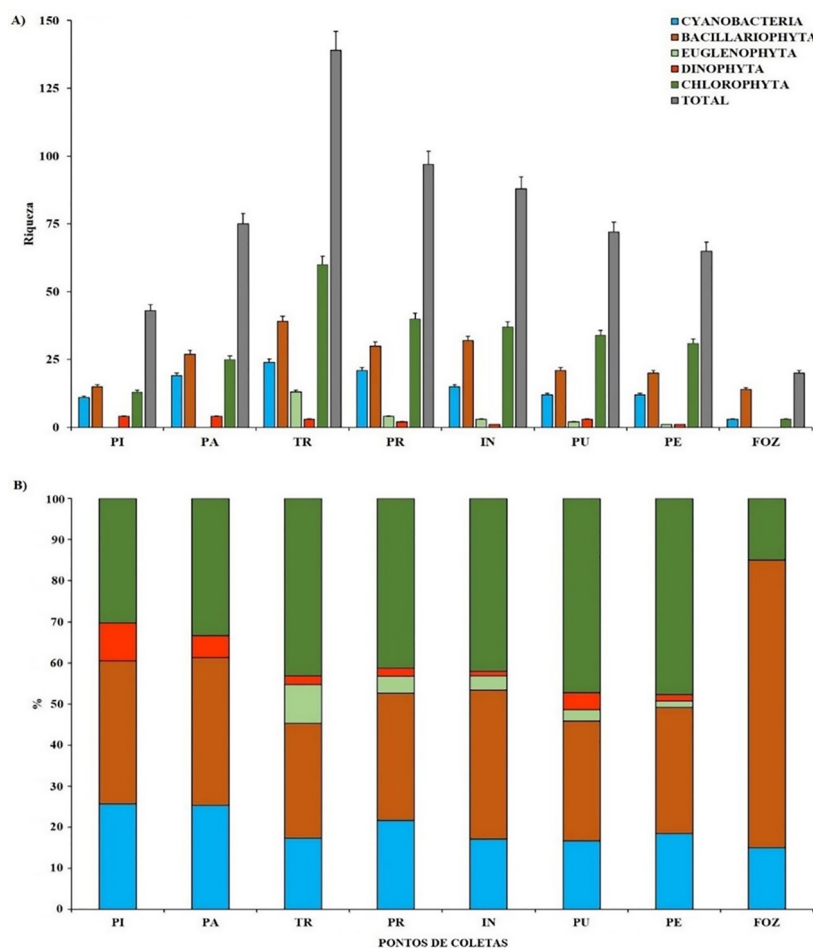
A comunidade fitoplanctônica do presente estudo esteve distribuída nas divisões Cyanobacteria, Bacillariophyta, Euglenophyta, Dinophyta e Chlorophyta. As divisões com maior representatividade de riqueza de espécies foram Chlorophyta (60 spp.), Bacillariophyta (39 spp.) e Cyanobacteria (24 spp), no município de Traipu-AL (Figura 31 e Tabela 8). Foram observadas diferenças significativas na riqueza de espécies entre os pontos de coletas analisados ( $F = 4,891$ ;  $P < 0.05$ ) (Tabela 8).

Tabela 8 - Riqueza de espécies do fitoplâncton do Baixo São Francisco (Alagoas e Sergipe). (PI) Piranhas-AL, (PA) Pão de Açúcar-AL, (TR) Traipu-AL, (IN) Igreja Nova-AL, (PR) Propriá-SE, (PU) Piaçabuçu-AL, (PE) Penedo-AL, FOZ (Foz do São Francisco), (-) dados não existentes. \*diferenças significativas pelo Tukey's (Tukey's pairwise) ( $P < 0.05$ ).

DIVISÃO	PI	PA	TR	PR	IN	PU	PE	FOZ
CYANOBACTERIA	11	19	24	21	15	12	12	3
BACILLARIOPHYTA	15	27	39	30	32	21	20	14
EUGLENOPHYTA	-	-	13	4	3	2	1	-
DINOPHYTA	4	4	3	2	1	3	1	-
CHLOROPHYTA	13	25	60	40	37	34	31	3
TOTAL	43	75	139	97	88	72	65	20
ANOVA	Sum of sqrs			df	Mean square	F	P	
	1781,38			7	254,482	4,891	*	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Figura 31. (A) Riqueza de espécies e (B) Distribuição percentual do fitoplâncton do Baixo São Francisco (Alagoas e Sergipe). (PI) Piranhas-AL, (PA) Pão de Açúcar-AL, (TR) Traipu-AL, (IN) Igreja Nova-AL, (PR) Propriá-SE, (PU) Piaçabuçu-AL, (PE) Penedo-AL, FOZ (Foz do São Francisco).



Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Em todos os pontos amostrados, as Chlorophyta e Bacillariophyta ocorreram com o maior número de de táxons. Alguns estudos referentes à comunidade fitoplanctônica em ambientes lacustres demonstram que esses organismos constituem um grupo importante e bastante comum dentro desse ecossistema, sendo, muitas vezes, os grupos dominantes (OLIVEIRA; CALHEIROS, 2000; KOMAREK *et al.*, 2003; SHUBERT, 2003; NABOUT *et al.*, 2006).

O grupo das algas verdes pertencentes às Desmidiaceae (*Closterium*, *Cosmarium*, *Desmidium*, *Euastrum*, *Micrasterias*, *Staurastrum*, *Xanthidium*) destaca-se entre os grupos algais, principalmente pela riqueza específica, que se distribui de forma cosmopolita em águas não contaminadas, sendo abundantes em ambientes lacustres (rios, lagos, lagoas) oligotróficos e mesotróficos, condições estas que favorecem o desenvolvimento desses organismos (FELISBERTO; RODRIGUES, 2002; WEHR; SHEAT, 2003; DI BERNARDO *et al.*, 2010) (Figura 31).

Diante da predominância das algas verdes e diatomáceas no presente estudo, foi observada uma boa representatividade das cianobactérias, principalmente nas amostras coletadas no trecho do município de Traipu-AL (24 spp.) e Propriá-SE (21 spp.) (Tabela 8). Apesar da riqueza de cianobactérias presentes nas amostras coletadas, elas não contribuíram significativamente na densidade fitoplanctônica (Tabela 9 e Figura 32).

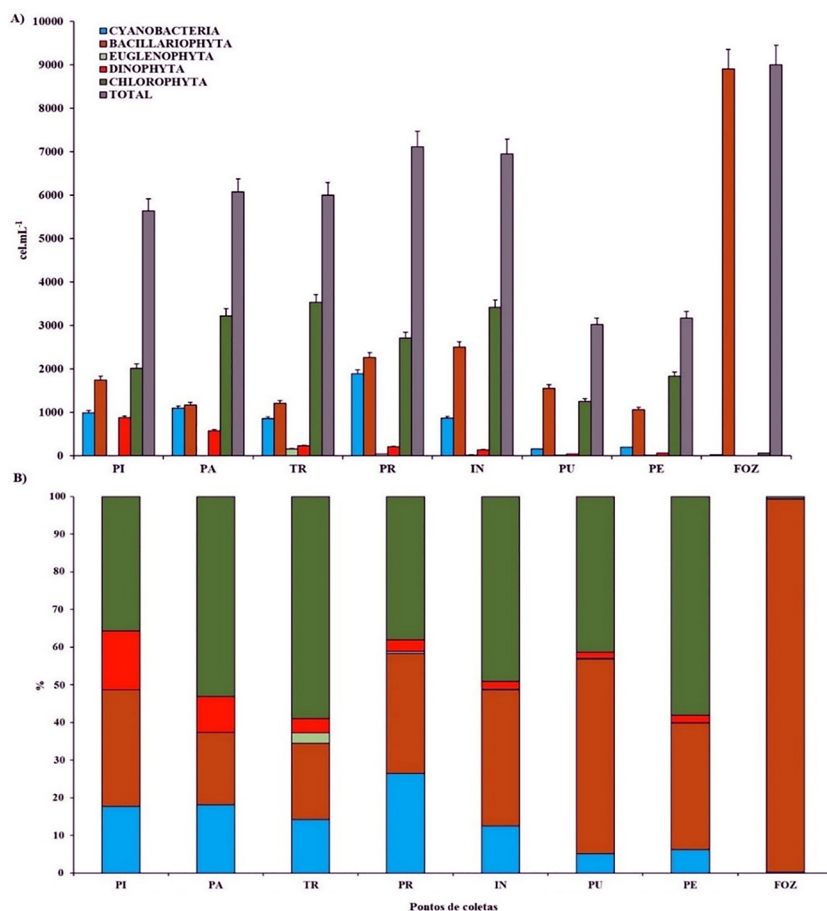
Com relação à densidade de células, observou-se, no presente estudo, uma variação de de 3 cel.mL<sup>-1</sup>, para as Euglenophyta (Penedo-AL) a 3534 cel.mL<sup>-1</sup> para as Chlorophyta (Traipu-AL), sendo observadas diferenças significativas no número de células entre os pontos de coletas analisados (F = 1,319; P < 0.05) (Tabela 9 e Figura 32).

Tabela 9 - Densidade de células (cel.mL<sup>-1</sup>) do fitoplâncton do Baixo São Francisco (Alagoas e Sergipe). (PI) Piranhas-AL, (PA) Pão de Açúcar-AL, (TR) Traipu-AL, (IN) Igreja Nova-AL, (PR) Propriá-SE, (PU) Piaçabuçu-AL, (PE) Penedo-AL, FOZ (Foz do São Francisco), (-) dados não existentes. \*diferenças significativas pelo Wilcoxon (Wilcoxon pairwise) (P < 0.05).

DIVISÃO	PI	PA	TR	PR	IN	PU	PE	FOZ
CYANOBACTERIA	995	1099	858	1884	871	156	197	28
BACILLARIOPHYTA	1747	1172	1212	2265	2506	1560	1065	8912
EUGLENOPHYTA	-	-	164	45	19	7	3	-
DINOPHYTA	879	579	232	212	138	48	63	-
CHLOROPHYTA	2013	3227	3534	2712	3418	1250	1841	65
TOTAL	5635	6077	6000	7117	6952	3021	3170	9005
ANOVA	Sum of sqrs		df	Mean square		F	P	
	1,87199E07		7	2,67427E06		1,319	*	

Fonte: Guedes et al., 2020.

Figura 32. (A) Densidade de células (cel.mL<sup>-1</sup>) (B) distribuição percentual do fitoplâncton do Baixo São Francisco (Alagoas e Sergipe). PI Piranhas-AL, (PA) Pão de Açúcar-AL, (TR) Traipu-AL, (IN) Igreja Nova-AL, (PR) Propriá-SE, (PU) Piaçabuçu-AL, (PE) Penedo-AL, FOZ (Foz do São Francisco).



Fonte: Guedes et al., 2020.

De maneira geral, a clorófitas e diatomáceas contribuíram com as maiores densidades em todas as amostras analisadas, com exceção da foz do São Francisco, onde se observou uma dominância das diatomáceas, devido ao aumento da salinidade e à elevada energia hidrodinâmica influenciarem diretamente o desenvolvimento desses organismos (SOUSA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2011). Apesar da presença de várias espécies de cianobactérias, não foram observados valores elevados na densidade. A maior densidade foi registrada em Propriá-SE (1.884 cel.mL<sup>-1</sup>).

Em relação ao fitoplâncton, a Portaria nº 578 exige monitoramento mensal do número de células de cianobactérias presentes nos mananciais de até 10.000 céls.mL<sup>-1</sup>. Para valores elevados de cianobactérias, o monitoramento deverá ser realizado semanalmente, devido à possível presença de cianotoxinas, trazendo riscos à população local, não sendo viável sua utilização em abastecimento público, recreação e irrigação, além do risco de bioacumulação em peixes e moluscos bivalves (BRASIL, 2004).

Estudos referentes à comunidade fitoplanctônica em ambientes lacustres tropicais demonstram que clorófitas e diatomáceas constituem um grupo importante dentro desse ecossistema, por apresentarem altas taxas de reprodução e capacidade de adaptação em

diversos nichos ecológicos, principalmente sob os aspectos físico-químicos da água. De acordo com a CETESB (2005), quando ocorre uma dominância e abundância de Clorofíceas (desmidiáceas) e/ou diatomáceas, com valores entre  $> 1000$  e  $< 5000$  cel.mL<sup>-1</sup>, a qualidade da água é classificada de razoável a boa, demonstrando que o ambiente está em equilíbrio e a água considerada própria para o consumo e lazer humano.

Durante o período estudado, foram observadas espécies dominantes que contribuíram na densidade de células nas amostras analisadas, pertencentes aos grupos das clorofíceas e diatomáceas. Dentre elas, podemos destacar as clorofíceas *Monoraphidium griffithii* (97,2%), *M. komarkovae* (89,3%, 73,5% e 55,9%), em referência às amostras coletadas nos municípios de Piranhas, Traipu e Pão de Açúcar, respectivamente, *Closterium moniliferum* (77,8%), *Monoraphidium intermedium* (69%) (Traipu-AL) e *Eudorina elegans* (60%) (Igreja Nova-AL), seguidos pelas diatomáceas *Terpsinoë musica* (94,1%), (Piranhas/AL), com *Cyclotella meneghiniana* (88,2%) e *Coscinodiscus radiatus* (80,4%) na foz do São Francisco (ver Tabelas 10, 11, 12 e 17 e Figura 31), influenciando os índices de diversidade específica, que variaram entre 0,45 bits.cel<sup>-1</sup> no ponto 1, na foz do São Francisco (profundidade), influenciada abundância da diatomácea *Cyclotella meneghiniana* e 3,91 bits.cel<sup>-1</sup> no ponto 2 (Traipu-AL), na região mediana entre os Estados de Alagoas e Sergipe (superfície), onde foi observada uma maior diversidade de espécies. As amostras, de uma forma geral, apresentaram valores de equitabilidade acima de 0,50, mostrando uma distribuição equitativa e uniforme das espécies.

A presença de espécies pertencentes ao gênero *Monoraphidium* Komárková-Legnerová, que se distribuem em ambientes aquáticos tropicais e temperados continentais, contribuiu significativamente para a abundância e densidade de células, sendo um indicador de ambientes com alto teor de nutrientes, devido à sua alta resistência em ambientes lacustres eutrofizados (EL-SHEEKH *et al.*, 2003; REYNOLDS, 2006).

Quando a diversidade específica de Shannon e equitabilidade são considerados de baixos valores, de acordo com seus índices estabelecidos, refletirá em um desequilíbrio populacional fitoplanctônico, ao qual está ligado diretamente na abundância de células e na dominância de poucas espécies.

O sumário completo dos dados de riqueza, abundância relativa (%), frequência de ocorrência (%) e dos índices ecológicos (Diversidade de Shannon, Equitabilidade e Dominância) encontra-se nas tabelas em anexo.

Dentre as espécies do fitoplâncton identificadas durante o período de estudo consideradas muito frequentes (MF) e frequentes (F), por estarem presentes em mais de 50% das amostras analisadas, foram as clorofíceas: *Actinastrum hantzschii*, *Closterium diana*, *Coelastrum astroideum*, *Desmidium grevillei*, *Eudorina elegans*, *Gloecystis vesiculosa*, *G. polydermatica*, *Pediastrum duplex*, *Scenedesmus bijugus*, *S. ellipticus*, *Spirogyra pratensis*, *Staurastrum aculeatum*, *S. sebaldi*, *S. leptoclaum*, *Stauridium tetras* e *Volvox aureus*. As espécies que mais se destacaram no grupo das diatomáceas foram: *Aulacoseira ambigua*, *Coscinodiscus radiatus*, *Cyclotella meneghiniana*, *Epithemia argus*, *Eunotia monodon*, *Fragilaria crotonensis*, *F. virescens*, *Gomphonema olivaceum*, *Melosira granulata*, *Meridion circulare*, *Nitzschia hungarica*, *N. scalaris*, *Terpsinoë musica* e *Ulnaria ulna*. Entre as cianobactérias, podemos destacar: *Anabaena solitaria*, *A. spiroides*, *Aphanizomenon gracile*, *A. flos-aquae*, *Aphanocapsa grevillei*, *Cylindropermopsis raciborskii*, *Geitlerinema unigranulatum* e *Oscillatoria limosa*, e pelos dinoflagelados *Ceratium kofoidii* e *C. lineatum* (ver tabelas em anexo).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da importância ecológica da comunidade fitoplanctônica em ambientes lóticos, estudos da dinâmica dos ecossistemas aquáticos tornam-se essenciais para o manejo e gerenciamento dos sistemas hídricos, visando à proteção do manancial, e requer conhecimentos sobre a atuação desses organismos que influenciam diretamente na qualidade da água.

O fitoplâncton é considerado um dos indicadores de qualidade biológica utilizados na classificação do estado ecológico de massas d'água, principalmente quando são avaliadas a abundância fitoplanctônica, a riqueza e dominância e a intensidade e frequência de florescências fitoplanctônicas (*blooms*).

Através dos resultados obtidos, foi possível observar que as Chlorophyta (algas verdes) e Bacillariophyta (diatomáceas) ocorreram com maior riqueza de espécies e abundância e dominaram o período de estudo e os pontos de amostragem, principalmente no trecho entre os municípios de Pão de Açúcar a Piaçabuçu, fazendo com que houvesse um maior incremento na densidade de células.

No presente estudo, foram observados baixos valores de densidade de cianobactérias quando ocorreu um aumento elevado de poucas espécies de cianofíceas em ambientes aquáticos, intimamente associado às condições eutróficas. Assim, a qualidade da água do manancial, dentre os diversos usos múltiplos (navegação, recreação, abastecimento, irrigação etc.) oferecerá riscos à saúde pública e investimentos elevados na implantação de Estação de Tratamento de Água (ETA), para abastecimento público.

Com o aumento da salinidade, principalmente na foz do São Francisco, houve um crescimento significativo na abundância das diatomáceas – fato comum observado nesse grupo, que suporta grandes variações de salinidade e é considerado grande produtor primário em ecossistemas aquáticos de transição (estuários), demonstrando a grande importância desses organismos na manutenção dos demais níveis tróficos.

Tabela 10 - Percentual de distribuição do microfitoplâncton na região do município de Piranhas (Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARS) Abundância relativa de profundidade (%), (PI 1) região de Alagoas, (PI 2) região entre Alagoas e Sergipe, (PI 3) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (F) frequente, (PF) pouco frequente, (E) esporádico, (-) dados não existentes.

TÁXONS	PI 1		PI 2		PI 3		F.O
	ARS	ARP	ARS	ARP	ARS	ARP	
<b>CYANOBACTERIA</b>							
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn	-	0,6	-	-	-	-	E
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (Agardh ex Gomont) Strunecský,	-	0,6	-	-	-	-	E
Bohunická, Johansen & Komárek							
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	8,8	-	3,4	-	-	-	PF
<i>Aphanocapsa koordesii</i> Strøm	8,8	-	2,2	-	-	-	PF
<i>Aphanothece</i> sp.	12,1	-	5,6	-	-	-	PF
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba	-	0,6	-	-	-	-	E
Raju							
<i>Geitlerinema unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	-	-	1,7	-	-	-	E
<i>Gloeocapsa gigas</i> West & West	13,2	-	23,6	-	-	-	PF
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	-	-	2,2	-	-	-	E
<i>Oscillatoria rubescens</i> De Candolle ex Gomont	2,2	-	2,2	-	-	-	PF
<i>O. tenuis</i> Agardh ex Gomont	-	11,7	-	-	-	-	E
<b>BACILLARIOPHYTA</b>							
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	-	-	2,8	-	-	-	E

<i>Diatoma vulgare</i> Bory	-	-	1,1	-	-	-	E
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	1,7	-	-	-	E
<i>E. zebra</i> (Ehrenberg) Kützing	2,2	-	0,6	-	-	-	P
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	-	-	1,7	-	-	-	E
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	-	0,6	-	-	-	-	E
BACILLARIOPHYTA							
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Ehrenberg	-	0,6	-	-	-	-	E
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	1,1	-	-	-	-	1,0	PF
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	-	-	10,1	-	-	-	E
<i>Navicula integra</i> (Smith) Ralfs	1,1	-	-	-	-	-	E
<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow	-	-	2,2	-	-	-	E
<i>N. linearis</i> Smith	2,2	-	0,6	-	-	-	PF
<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	-	2,2	0,6	-	-	-	PF
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg	3,3	-	0,6	-	-	<b>94,1</b>	PF
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	4,4	-	2,8	-	-	-	PF
DINOPHYTA							
<i>Ceratium kofoidii</i> Jørgensen	-	-	5,6	-	-	-	E
<i>C. lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve	28,6	-	17,4	1,4	-	1,0	F
<i>C. geniculatum</i> (Lemmermann) Cleve	-	-	4,5	-	-	-	E
<i>Gymnodinium aureolum</i> (Hulburt) Gert Hansen	3,3	-	-	-	-	-	E
CHLOROPHYTA							
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda	-	1,1	-	-	-	-	E
<i>Asterococcus limneticus</i> Smith	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	-	1,7	-	-	-	1,0	PF
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli	-	-	3,4	-	-	-	E
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	8,8	-	0,6	-	-	-	PF
<i>Gloeocystis polydermatica</i> Kützing	-	-	-	-	-	3,0	E
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	-	22,9	-	-	-	-	E
CHLOROPHYTA							
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	-	-	-	<b>97,2</b>	-	-	E
<i>M. komarkovae</i> Nygaard	-	<b>55,9</b>	-	-	-	-	E
<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory	-	-	1,1	-	-	-	E
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	-	1,1	-	-	-	-	E
<i>Staurastrum johnsonii</i> West & West	-	0,6	0,6	1,4	-	-	F
Diversidade de Shannon (H')	2,23	1,34	2,65	0,15	-	0,29	
Equitabilidade (J)	0,84	0,52	0,81	0,13	-	0,18	
Dominância de Simpson ( $\gamma$ )	0,14	0,38	0,11	0,94	-	0,88	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Tabela 11 - Percentual de distribuição do microfitoplâncton na região do município de Pão de Açúcar (Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARF) Abundância relativa de profundidade (%), (PA 1) região de Alagoas, (PA 2) região entre Alagoas e Sergipe, (PA 3) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (MF) muito frequente, (F) frequente, (PF) pouco frequente, (E) esporádico, (-) dados não existentes.

TÁXONS	PA 1		PA 2		PA 3		F.O
	ARS	ARF	ARS	ARF	ARS	ARF	
CYANOBACTERIA							
<i>Anabaena solitaria</i> Klebahn	0,2	-	0,2	0,5	-	-	F
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn	3,5	-	1,5	0,5	4,1	-	F
<i>Anagnostidinium amphibium</i> (Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, Johansen & Komárek	-	-	-	0,5	-	0,7	PF
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	1,0	-	1,1	-	0,3	-	F
<i>A. koordesii</i> Strøm	-	-	1,1	-	-	-	E
<i>A. delicatissima</i> West & West	-	0,9	-	-	-	-	E

<i>A. incerta</i> (Lemmermann) Cronberg & Komárek	-	-	-	-	0,9	-	E
<i>Aphanothece castagnei</i> (Kützing) Rabenhorst	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann	-	-	0,2	0,5	-	-	PF
<i>C. limneticus</i> Lemmermann	1,4	-	-	-	0,3	-	PF
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju	0,2	-	-	24,3	-	17,5	F
<i>Geitlerinema splendidum</i> (Greville ex Gomont) Anagnostidis	-	-	-	-	-	1,4	E
<i>G. unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	10,3	-	16,3	-	6,3	-	F
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	3,1	-	-	-	3,1	-	PF
<i>M. protocystis</i> Crow	0,6	-	0,6	-	-	-	PF
<i>M. wesenbergii</i> (Komárek) Komárek ex Komárek	0,6	-	-	-	-	-	E
<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>O. sancta</i> Kützing ex Gomont	-	-	-	-	1,9	-	E
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg	0,4	-	3,2	-	-	-	PF
BACILLARIOPHYTA							
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	1,7	-	0,4	-	0,9	-	F
<i>Cymbella ventricosa</i> (Agardh) Agardh	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	0,4	-	0,2	-	-	-	PF
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>E. sorex</i> Kützing	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>E. turgida</i> (Ehrenberg) Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	0,6	-	18,9	-	2,5	-	F
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	0,2	-	1,7	6,3	2,5	-	F
<i>F. virescens</i> Ralfs	0,8	-	1,1	-	-	1,4	F
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Ehrenberg	-	-	-	1,1	-	0,7	PF
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	3,7	0,9	-	0,5	8,1	-	F
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	1,2	-	-	0,5	-	-	PF
<i>Navicula integra</i> (Smith) Ralfs	-	-	-	-	4,1	-	E
<i>N. cryptocephala</i> Kützing	0,2	-	1,3	-	-	-	PF
<i>N. placenta</i> Ehrenberg	-	-	-	-	0,3	-	E
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) Smith	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>N. dubia</i> Smith	0,2	-	-	-	0,9	-	PF
<i>N. hungarica</i> Grunow	0,4	0,9	6,2	-	-	-	F
<i>N. longissima</i> (Brébisson) Ralfs	0,6	-	2,5	-	-	-	PF
<i>N. obtusa</i> Smith	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	9,5	0,9	5,3	2,6	8,1	-	MF
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	-	-	1,7	-	-	-	E
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	-	-	0,2	-	-	-	E
<i>Surirella elegans</i> Ehrenberg	-	-	0,2	-	0,3	-	PF
<i>S. ovata</i> Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg	0,6	-	1,3	-	1,3	-	F
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	1,4	0,9	0,4	-	-	1,4	F
DINOPHYTA							
<i>Ceratium kofoidii</i> Jørgensen	13,4	-	13,8	-	24,1	-	F
<i>C. lineatum</i> (Ehrenberg)	0,4	1,8	-	-	-	-	PF
<i>C. fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	1,0	-	-	-	2,5	-	PF
<i>Gonyaulax apiculata</i> Entz	1,0	-	-	-	-	-	E
CHLOROPHYTA							
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	-	0,9	0,2	1,6	-	2,8	E
<i>C. ehrenbergii</i> Meneghini ex Ralfs	0,6	-	-	-	-	-	E
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	4,7	-	-	-	-	-	E
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	0,8	-	2,1	-	6,6	-	F
<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli	1,2	-	-	-	0,3	-	PF
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius	-	-	0,4	-	-	-	E
<i>Micrasterias alata</i> Wallich	-	-	0,2	-	-	-	E
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	-	-	-	5,8	-	0,7	PF
<i>M. intermedium</i> Hindák	-	-	-	-	-	69,9	E
<i>M. komarkovae</i> Nygaard	-	89,3	-	52,9	-	-	PF
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	0,2	-	-	-	-	-	E

<i>P. duplex</i> var. <i>reticulatum</i> Lagerheim	-	-	0,2	-	-	-	E
<i>Pleodorina indica</i> (Lyengar) Nozaki	1,0	-	-	-	-	-	E
<i>Spirogyra pratensis</i> Transeau	11,8	2,7	6,8	0,5	1,9	-	MF
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	-	-	-	1,1	0,3	-	PF
<i>S. ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	-	-	-	-	0,6	-	E
<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	0,2	-	-	-	0,3	-	PF
<i>Staurastrum hexacerum</i> Wittrock	-	-	0,2	-	-	-	E
<i>S. johnsonii</i> West & West	14,4	0,9	9,1	-	17,2	2,8	MF
<i>S. manfeldtii</i> Delponte	-	-	-	-	-	0,7	E
<i>S. sebaldi</i> Reinsch	-	-	0,6	-	0,3	-	PF
<i>S. setigerum</i> Cleve	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>S. tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) Hegewald	-	-	-	0,5	-	-	E
<i>Volvox</i> sp.	4,5	-	0,4	-	-	-	PF
Diversidade de Shannon (H')	2,93	0,56	2,64	1,50	2,56	1,07	
Equitabilidade (J)	0,76	0,25	0,74	0,54	0,77	0,45	
Dominância de Simpson ( $\gamma$ )	0,08	0,79	0,10	0,35	0,11	0,52	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Tabela 12 - Percentual de distribuição do microfiteoplâncton na região do município de Traipu (Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARS) Abundância relativa de profundidade (%), (TR 1) região de Alagoas, (TR 2) região entre Alagoas e Sergipe, (TR 3) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (MF) muito frequente, (F) frequente, (PF) pouco frequente, (E) esporádico, (-) dados não existentes.

TÁXONS	TR 1		TR 2		TR 3		FO
	ARS	ARP	ARS	ARP	ARS	ARP	
<b>CYANOBACTERIA</b>							
<i>Anabaena solitaria</i> Klebahn	-	-	1,6	-	-	-	E
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn	2,9	-	0,3	-	1,6	-	F
<i>Aphanizomenon gracile</i> Lemmermann	1,2	-	0,4	-	5,7	-	F
<i>Aphanocapsa koordeesii</i> Strøm	-	-	2,1	-	-	-	E
<i>A. delicatissima</i> West & West	-	-	-	1,4	-	-	E
<i>A. grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	-	-	4,4	-	-	-	E
<i>Aphanothece clatbrata</i> West & West	-	-	-	-	2,5	-	E
<i>Arthrospira platensis</i> Gomont	-	-	-	-	-	0,7	E
<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann	-	-	-	2,1	-	3,7	PF
<i>C. limneticus</i> Lemmermann	-	-	3,7	-	-	-	E
<i>C. pallidus</i> Nägeli	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>Coelosphaeriopsis halophila</i> Lemmermann	-	-	1,1	-	-	-	E
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju	-	-	-	2,1	-	0,7	PF
<i>Geitlerinema splendidum</i> (Greville ex Gomont)	-	-	-	-	-	5,1	E
<b>Anagnostidis</b>							
<i>G. unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	1,0	-	4,5	4,1	7,4	-	F
<i>Gloeocapsa conglomerata</i> Kützing	4,1	-	4,5	-	-	-	PF
<i>G. gigas</i> West & West	-	-	3,3	-	-	-	E
<i>Lyngbya birgei</i> Smith	0,2	-	0,1	-	-	-	PF
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>M. protocystis</i> Crow	0,2	-	0,5	-	-	-	PF
<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont	5,3	-	0,8	-	0,8	-	F
<i>O. terebriformis</i> Agardh ex Gomont	-	-	-	-	1,6	-	E
<i>Planktolynghya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-	-	-	1,1	-	-	-	E
<b>Legnerová &amp; Cronberg</b>							
<i>Spirulina subsalsa</i> Oersted ex Gomont	-	-	-	-	2,5	-	E
<b>BACILLARIOPHYTA</b>							
<i>Amphiprora alata</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>A. paludosa</i> Smith	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	0,7	-	0,7	-	-	-	PF
<i>Caloneis schumanniana</i> (Grunow) Cleve	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>Cymbella lacustris</i> (Agardh) Cleve	0,2	-	0,1	-	-	-	PF
<i>C. turgida</i> Gregory	-	-	0,4	-	-	-	E
<i>C. ventricosa</i> (Agardh) Agardh	-	-	-	-	-	0,7	E
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve	0,5	-	0,5	-	-	-	PF
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	2,2	2,1	-	0,7	F

<i>E. zebra</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	1,9	-	-	-	E
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	-	-	-	-	4,1	-	E
<i>E. monodon</i> Ehrenberg	5,1	-	1,6	-	0,8	0,7	F
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	4,6	-	5,6	0,7	0,8	-	F
<i>F. virescens</i> Ralfs	2,2	-	1,1	-	-	0,7	F
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	0,5	-	0,9	-	-	-	PF
<i>Gomphonema constrictum</i> Ehrenberg	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Ehrenberg	3,9	-	2,0	-	0,8	0,7	F
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	-	-	0,8	-	-	-	E
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	-	-	-	1,4	13,9	-	PF
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	3,6	-	1,4	-	1,6	-	F
<i>Navicula integra</i> (Smith) Ralfs	1,2	-	-	-	-	-	E
<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing	1,2	-	1,0	-	-	-	PF
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) Smith	-	-	0,2	-	-	-	E
<i>N. acuminata</i> (Smith) Grunow	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>N. amphibia</i> Grunow	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>N. bilobata</i> Smith	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>N. brevissima</i> Grunow	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>N. hungarica</i> Grunow	0,2	5,6	1,0	1,4	3,3	0,7	MF
<i>N. longissima</i> (Brébisson) Ralfs	3,6	-	4,5	-	-	-	PF
<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	-	-	0,1	2,1	1,6	1,5	F
<i>N. sigma</i> (Kützing) Smith	6,5	-	4,5	-	-	-	PF
<i>Pinnularia lata</i> (Brébisson) Smith	1,0	-	0,1	-	-	-	PF
<i>P. mesolepta</i> (Ehrenberg) Smith	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Surirella guatemalensis</i> Ehrenberg	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>S. robusta</i> Ehrenberg	-	-	0,4	-	-	-	E
<i>Synedra tabulata</i> (Agardh) Kützing	-	-	0,2	-	-	-	E
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg	-	-	1,3	-	-	-	E
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	-	-	1,8	1,4	0,8	0,7	F
EUGLENOPHYTA							
<i>Euglena acus</i> (Müller) Ehrenberg	7,5	-	4,5	-	-	-	PF
<i>E. caudata</i> Hübner	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>E. deses</i> Ehrenberg	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>E. fusca</i> (Klebs) Lemmermann	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>E. gracilis</i> Klebs	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>E. hemichromata</i> Skuja	0,2	-	-	-	1,6	-	PF
<i>E. oblonga</i> Schmitz	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>E. proxima</i> Dangeard	-	-	-	-	0,8	-	E
<i>E. pusilla</i> Playfair	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Phacus gigas</i> Cunha	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>P. onix</i> Pochmann	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>P. orbicularis</i> Hübner	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>Trachelomonas acanthophora</i> Stokes	-	-	-	-	0,8	-	E
DINOPHYTA							
<i>Ceratium kofoidii</i> Jørgensen	7,0	-	3,1	-	-	-	PF
<i>C. fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	0,2	-	0,4	-	4,1	-	F
<i>C. lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve	1,5	-	0,5	0,7	5,7	-	F
CHLOROPHYTA							
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	1,7	-	1,4	0,7	1,6	-	F
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda	-	-	-	-	-	0,7	E
<i>Asterococcus superbus</i> (Cienkowski) Scherffel	0,7	-	-	-	2,5	-	PF
<i>Closterium decorum</i> Brébisson	-	-	0,2	0,7	-	-	PF
<i>C. diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	1,5	-	1,2	1,4	-	1,5	F
<i>Closterium moniliferum</i> Ehrenberg ex Ralfs	-	77,8	-	-	-	-	E
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	-	-	-	-	8,2	-	E
<i>C. microporum</i> Nägeli	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>C. goetzii</i> Schmidle	0,5	-	2,6	-	-	-	PF
<i>Cosmarium logiense</i> Bisset	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>C. margaritatum</i> (Lundell) Roy & Bisset	-	-	-	-	0,8	-	E
<i>C. ralfsii</i> Brébisson ex Ralfs	-	-	-	-	1,6	-	E
<i>C. reniforme</i> (Ralfs) Archer	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>C. subcostatum</i> Nordstedt	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Desmidium aptogonum</i> Brébisson ex Kützing	-	-	-	-	0,8	-	E
<i>D. grevillei</i> (Kützing ex Ralfs) de Bary	-	-	0,4	-	0,8	0,7	F
<i>Dimorphococcus lunatus</i> Braun	1,0	-	0,5	-	-	-	PF
<i>Euastrum ampullaceum</i> Ralfs	-	-	0,8	-	-	-	E
<i>E. turgidum</i> Wallich	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>E. verrucosum</i> Ehrenberg ex Ralfs	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	-	-	1,8	-	2,5	-	PF
<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli	1,5	5,6	-	-	0,8	-	F
<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohlin	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>K. diana</i> (Bohlin) Comas	-	5,6	-	-	-	-	E
<i>K. lunaris</i> (Kirchner) Möbius	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>Micrasterias alata</i> Wallich	0,7	-	0,5	-	-	-	PF
<i>M. decemdentata</i> (Nägeli) Archer	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>M. laticeps</i> Nordstedt	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Micrasterias radians</i> Turner	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>M. rotata</i> Ralfs	0,1	-	-	-	-	-	E
<i>M. truncata</i> Brébisson ex Ralfs	0,2	-	-	-	-	-	E



<i>Microspora flocosa</i> (Vaucher) Thuret	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	-	-	-	3,4	-	1,5	PF
<i>M. griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	-	5,6	-	-	-	-	E
<i>M. intermedium</i> Hindák	-	-	-	69,0	-	-	E
<i>M. komarkovae</i> Nygaard	-	-	-	-	-	73,5	E
<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory	-	-	0,4	-	-	-	E
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	-	-	0,1	0,7	-	-	PF
<i>Pleodorina indica</i> (Lyengar) Nozaki	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>P. sp.</i>	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	-	-	1,3	2,1	0,8	2,2	F
<i>S. dimorphus</i> (Turpin) Kützing	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>S. ellipsoideus</i> Chodat	2,7	-	2,0	-	-	-	PF
<i>S. ellipticus</i> Corda	-	-	0,1	1,4	-	-	PF
<i>S. obliquus</i> (Turpin) Kützing	-	-	-	-	2,5	-	E
<i>Spirogyra pratensis</i> Transeau	6,5	-	2,2	-	1,6	1,5	F
<i>Staurastrum aculeatum</i> Meneghini ex Ralfs	1,5	-	0,3	-	2,5	-	F
<i>S. arcticon</i> (Ehrenberg ex Ralfs) Lundell	-	-	0,4	-	-	-	E
<i>S. brasiliense</i> Nordstedt	-	-	0,1	-	-	-	E
<i>S. gracile</i> Ralfs ex Ralfs	-	-	-	-	4,9	-	E
<i>S. hexacerum</i> Wittrock	-	-	0,1	-	1,6	-	PF
<i>Staurastrum johnsonii</i> West & West	-	-	1,2	-	1,6	-	PF
<i>S. manfeldtii</i> Delponte	8,2	-	0,4	-	-	-	PF
<i>S. mucronatum</i> Ralfs	4,1	-	4,1	-	-	-	PF
<i>S. ophiura</i> Lundell	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>S. rotula</i> Nordstedt	-	-	0,2	-	-	-	E
<i>S. sebaldi</i> Reinsch	0,2	-	0,5	-	0,8	-	F
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) Hegewald	-	-	0,2	0,7	-	0,7	F
<i>Volvox aureus</i> Ehrenberg	-	-	0,2	0,7	-	0,7	F
<i>Xanthidium fasciculatum</i> Ehrenberg ex Ralfs	0,2	-	0,3	-	-	-	PF
Diversidade de Shannon (H')	3,36	0,83	3,91	1,50	3,29	1,30	
Equitabilidade (J)	0,85	0,52	0,84	0,49	0,89	0,42	
Dominância de Simpson ( $\Delta$ )	0,05	0,62	0,03	0,48	0,06	0,55	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Tabela 13 - Percentual de distribuição do microfiteoplâncton na região do município de Propriá (Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARS) Abundância relativa de profundidade (%), (PR 1) região de Alagoas, (PR 2) região entre Alagoas e Sergipe, (PR 3) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (MF) muito frequente, (F) frequente, (PF) pouco frequente, (E) esporádico, (-) dados não existentes.

TÁXONS	PR 1		PR 2		PR 3		FO
	ARS	ARP	ARS	ARP	ARS	ARP	
<b>CYANOBACTERIA</b>							
<i>Anabaena planctonica</i> Brunthaler	0,6	-	-	-	-	-	E
<i>A. solitaria</i> Klebahn	0,6	-	-	-	-	-	E
<i>A. spiroides</i> Klebahn	-	-	0,7	-	-	6,3	PF
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (Agardh ex Gomont)	-	-	-	5,3	-	-	E
Struncký, Bohunická, Johansen & Komárek							
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	-	-	4,3	-	2,6	-	PF
<i>A. klebahnii</i> Elenkin ex. Pechar	-	-	-	5,3	-	-	E
<i>Aphanocapsa koordeesii</i> Ström	1,0	-	-	-	-	-	E
<i>A. grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	2,5	-	-	-	-	-	E
<i>Arthrospira platensis</i> Gomont	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	2,1	-	-	-	-	-	E
<i>Coelosphaeriopsis halophila</i> Lemmermann	5,0	-	-	-	-	-	E
<i>Geitlerinema unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	11,1	13,7	12,1	-	22,4	12,5	MF
<i>Gloeocapsa conglomerata</i> Kützing	7,1	-	-	-	-	-	E
<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kützing	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Lyngbya martensiana</i> Meneghini ex Gomont	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Microcystis protocystis</i> Crow	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>Oscillatoria brevis</i> Kützing ex Gomont	-	-	1,4	-	1,7	-	PF
<i>O. limosa</i> Agardh ex Gomont	0,4	-	2,1	31,6	-	-	FO
<i>Oscillatoria simplicissima</i> Gomont	0,8	-	-	-	-	-	E

<i>O. tenuis</i> Agardh ex Gomont	-	-	2,8	-	-	-	E
<i>Phormidium ambiguum</i> Gomont	-	-	0,7	-	-	-	E
<b>BACILLARIOPHYTA</b>							
<i>Amphiprora alata</i> (Ehrenberg) Kützing	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	0,6	-	-	-	0,9	-	PF
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	6,3	E
<i>Cymbella ventricosa</i> (Agardh) Agardh	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	7,5	2,7	-	-	-	18,8	F.O
<i>E. zebra</i> (Ehrenberg) Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	-	-	2,8	-	6,9	-	PF
<i>E. monodon</i> Ehrenberg	4,8	-	-	-	-	6,3	PF
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	1,5	-	1,4	-	-	-	PF
<i>F. virescens</i> Ralfs	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Ehrenberg	2,7	-	-	-	-	-	E
<i>Gyrosigma strigilis</i> (Smith) Griffin & Henfrey	-	-	-	-	-	6,3	E
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	2,7	-	-	-	12,9	-	PF
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	1,0	-	0,7	-	4,3	6,3	F
<i>Navicula annulata</i> Grunow	-	-	-	10,5	-	-	E
<i>N. cuspidata</i> (Kützing) Kützing	-	-	1,4	-	0,9	-	PF
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>N. filiformis</i> (Smith) Van Heurck	-	-	-	5,3	-	-	E
<i>N. hungarica</i> Grunow	-	-	0,7	-	4,3	-	PF
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs	1,3	-	-	-	-	-	E
<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	2,3	-	-	26,3	-	-	PF
<i>Pinnularia brebissonii</i> (Kützing) Rabenhorst	-	-	6,4	-	-	-	E
<i>P. gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>P. platycephala</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	1,4	-	-	-	E
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Surirella guatemalensis</i> Ehrenberg	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>S. linearis</i> var. <i>constricta</i> Grunow	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>S. robusta</i> Ehrenberg	0,8	-	-	-	-	-	E
<i>Synedra gouldarii</i> Brébisson ex Cleve & Grunow	4,4	-	-	-	-	-	E
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	3,3	1,4	-	5,3	14,7	-	F
<b>EUGLENOPHYTA</b>							
<i>Euglena gracilis</i> Klebs	-	-	2,1	-	-	-	E
<i>E. limnophila</i> Lemmermann	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>E. pusilla</i> Playfair	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Phacus pleuronectes</i> (Müller) Nitzsch ex Dujardin	-	-	0,7	-	-	-	E
<b>DINOPHYTA</b>							
<i>Ceratium lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve	6,5	-	3,5	-	2,6	-	F
<i>C. fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	-	-	3,5	-	1,7	-	PF
<b>CHLOROPHYTA</b>							
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	3,3	1,4	0,7	-	1,7	-	F
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Arthrodesmus convergens</i> Ehrenberg ex Ralfs	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Asterococcus superbus</i> (Cienkowski) Scherffel	-	-	-	5,3	-	-	E
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>C. parvulum</i> Nägeli	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>C. ralfsii</i> Brébisson ex Ralfs	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	-	-	2,8	-	-	-	E
<i>C. reticulatum</i> (Dangeard) Senn	-	-	5,0	-	-	-	E
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>C. staurastroides</i> Eichler & Gutwinski	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Desmidium baileyi</i> (Ralfs) Nordstedt	-	-	2,8	-	-	6,3	PF
<i>D. grevillei</i> (Kützing ex Ralfs) De Bary	0,6	-	-	-	-	-	E
<i>Desmodesmus granulatus</i> (Oeste & West) Tsarenko	-	6,8	-	-	-	12,5	E
<i>Euastrum turgidum</i> Wallich	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	2,9	-	0,7	-	0,9	12,5	F
<i>Gloeocystis polydermatica</i> (Kützing) Hindák	-	6,8	-	-	1,7	6,3	F

<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius	-	-	-	5,3	-	-	E
<i>K. obesa</i> (Oeste) Oeste & West	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>Microsterias decemdentata</i> (Nägeli) Archer	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	-	11,0	-	-	-	-	E
<i>M. komarkovae</i> Nygaard	-	52,1	-	-	-	-	E
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Pleodorina californica</i> Shaw	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	2,1	1,4	-	-	-	-	PF
<i>S. ellipticus</i> Corda	-	2,7	16,3	-	15,5	-	F
<i>Scenedesmus obtusus</i> Meyen	0,4	-	-	-	-	-	E
<i>Selenastrum bibraianum</i> Reinsch	0,2	-	1,4	-	-	-	PF
<i>Sphaeroszoma granulatum</i> Roy & Bisset	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Spirogyra pratensis</i> Transeau	2,3	-	-	-	0,9	-	PF
<i>Spondylium planum</i> (Wolle) West & West	-	-	1,4	-	-	-	E
<i>Staurastrum arctiscon</i> (Ehrenberg ex Ralfs) Lundell	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>S. johnsonii</i> West & West	7,1	-	5,0	-	3,4	-	F
<i>S. manfeldtii</i> Delponte	1,3	-	-	-	-	-	E
<i>S. ophiura</i> Lundell	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>S. sebaldi</i> Reinsch	2,3	-	3,5	-	-	-	PF
<i>S. trifidum</i> Nordstedt	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Staurodesmus convergens</i> (Ehrenberg ex Ralfs) Lillieroth	-	-	0,7	-	-	-	E
<i>Westella botryoides</i> (Oeste) De Wildeman	-	-	3,5	-	-	-	E
<i>Xanthidium regulare</i> Nordstedt	-	-	0,7	-	-	-	E
Diversidade de Shannon (H')	3,37	1,56	3,19	1,88	2,37	2,31	
Equitabilidade (J)	0,84	0,69	0,87	0,86	0,83	0,87	
Dominância de Simpson ( $\lambda$ )	0,05	0,32	0,06	0,19	0,13	0,11	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Tabela 14 - Percentual de distribuição do microfítoplâncton na região do município de Igreja Nova (Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARS) Abundância relativa de profundidade (%), (IN 1) região de Alagoas, (IN 2) região entre Alagoas e Sergipe, (IN 3) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (MF) muito frequente, (F) frequente, (PF) pouco frequente, (E) esporádico, (-) dados não existentes.

TÁXONS	IN 1		IN 2		IN 3		F.O
	ARS	ARP	ARS	ARP	ARS	ARP	
<b>CYANOBACTERIA</b>							
<i>Anabaena solitaria</i> Klebahn	0,3	-	0,3	2,9	-	-	F
<i>A. spiroides</i> Klebahn	0,6	-	-	-	2,2	-	PF
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	1,0	-	0,5	-	2,2	-	F
<i>Aphanocapsa koordersii</i> Strøm	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>A. annulata</i> McGregor	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>A. grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	1,6	-	2,1	-	-	-	PF
<i>Arthrospira platensis</i> Gomont	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	2,6	-	2,6	-	-	-	PF
<i>Geitlerinema unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	16,1	-	25,9	-	-	-	PF
<i>Microcystis protocystis</i> Crow	0,3	-	-	-	-	-	E
<i>Oscillatoria anguina</i> Bory ex Gomont	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>O. limosa</i> Agardh ex Gomont	-	-	-	1,4	2,2	4,8	F
<i>O. tenuis</i> Agardh ex Gomont	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>Phormidium ambiguum</i> Gomont	1,3	-	1,8	-	-	-	PF
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg	1,1	-	6,2	-	-	-	PF
<b>BACILLARIOPHYTA</b>							
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> Pfitzer	0,2	-	-	-	-	-	E

<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	0,6	-	1,3	-	-	-	PF
<i>Biddulphia pulchella</i> Gray	-	-	-	1,4	-	-	E
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	-	-	-	21,4	-	-	E
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	-	20,0	-	21,4	-	-	PF
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>C. excisiformis</i> Krammer	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>C. heteropleura</i> (Ehrenberg) Kützing	0,2	-	0,8	-	-	-	PF
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	10,5	-	9,3	10,0	-	33,3	F
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	-	-	-	-	4,4	-	E
<i>E. monodon</i> Ehrenberg	3,2	-	4,7	2,9	-	4,8	F
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	-	-	0,5	-	2,2	-	PF
<i>F. virescens</i> Ralfs	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Ehrenberg	1,3	-	0,3	-	-	-	PF
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	6,3	-	2,6	2,9	-	-	F
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	1,4	-	-	-	-	-	E
<i>Navicula americana</i> Ehrenberg	-	-	-	2,9	-	-	E
<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>N. pupula</i> Kützing	0,8	-	-	-	-	-	E
<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow	3,4	-	2,1	1,4	2,2	4,8	MF
<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	8,5	-	3,1	-	-	-	PF
<i>Pinnularia dactylus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	4,8	E
<i>P. platycephala</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>Pleurosigma angulatum</i> (Quekett) Smith	-	-	-	-	-	4,8	E
<i>Surirella elegans</i> Ehrenberg	-	-	-	-	4,4	-	E
<i>S. guatemalensis</i> Ehrenberg	0,6	-	-	-	-	-	E
<i>S. linearis</i> Smith	1,1	-	1,6	-	-	-	PF
<i>S. spiralis</i> Kützing	0,3	-	-	-	-	-	E
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg	0,5	-	0,8	-	-	-	PF
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	8,5	-	7,0	-	11,1	4,8	F
EUGLENOPHYTA							
<i>Euglena agilis</i> Carter	-	-	-	1,4	-	-	E
<i>E. splendens</i> Dangeard	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Phacus triqueter</i> (Ehrenberg) Perty	0,3	-	-	-	-	-	E
DINOPHYTA							
<i>Ceratium lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	9,3	-	4,4	-	PF
CHLOROPHYTA							
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	2,4	-	1,6	1,4	4,4	-	F
<i>Arthrodesmus convergens</i> Ehrenberg ex Ralfs	0,6	-	-	-	-	-	E
<i>Asterococcus superbus</i> (Cienkowski) Scherffel	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	1,3	-	1,6	-	-	-	PF
<i>C. parvulum</i> Nägeli	0,3	-	0,3	-	-	-	PF
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	0,2	-	-	-	11,1	-	PF
<i>Cosmarium margaritatum</i> (Lundell) Roy & Bisset	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>Cylindrocystis brebissonii</i> (Ralfs) De Bary	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>Desmidium grevillei</i> (Kützing ex Ralfs) De Bary	0,2	-	0,3	-	-	-	PF
<i>Desmodesmus granulatus</i> (West & West) Tsarenko	-	20,0	-	2,9	-	-	PF
<i>Euastrum subhypochondrum</i> Fritsch & Rich	0,3	-	-	-	-	-	E
<i>E. turgidum</i> Wallich	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	2,1	<b>60,0</b>	1,3	2,9	-	-	F
<i>Gloeocystis polydermatica</i> (Kützing) Hindák	-	-	-	4,3	8,9	9,5	F
<i>Kirchneriella diana</i> (Bohlin) Comas	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>K. obesa</i> (West) West & West	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>Micrasterias rotata</i> Ralfs	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>M. alata</i> Wallich	-	-	-	-	2,2	-	E
<i>M. decemdentata</i> (Nägeli) Archer	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	-	-	-	5,7	-	28,6	PF
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	0,3	-	-	5,7	-	-	PF
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (Korshikov) Hindák	0,2	-	-	-	-	-	E

<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	1,9	-	1,0	-	-	-	PF
<i>S. dimorphus</i> (Turpin) Kützing	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>S. ellipticus</i> Corda	3,7	-	3,6	-	-	-	PF
<i>Selenastrum westii</i> Smith	-	-	1,3	-	-	-	E
<i>Spirogyra pratensis</i> Transeau	5,0	-	1,3	-	2,2	-	F
<i>Staurastrum arcticon</i> (Ehrenberg ex Ralfs) Lundell	-	-	-	1,4	-	-	E
<i>S. johnsonii</i> West & West	5,5	-	1,8	4,3	6,7	-	F
<i>S. manfeldtii</i> Delponte	0,5	-	-	-	-	-	E
<i>S. margaritaceum</i> Meneghini ex Ralfs	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>S. ophiura</i> Lundell	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Staurastrum sagittarium</i> Nordstedt	-	-	-	1,4	-	-	E
<i>S. sebaldi</i> Reinsch	1,1	-	1,6	-	-	-	PF
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) Hegewald	0,2	-	0,3	-	-	-	E
<i>Volvox aureus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	6,7	-	E
<i>Westella botryoides</i> (Oeste) De Wildeman	-	-	-	-	2,2	-	E
Diversidade de Shannon (H')	3,13	0,95	2,85	2,52	3,05	1,82	
Equitabilidade (J)	0,78	0,86	0,78	0,85	0,94	0,83	
Dominância de Simpson ( $\lambda$ )	0,07	0,44	0,11	0,12	0,06	0,22	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Tabela 15 - Percentual de distribuição do microfitoplâncton na região do município de Piaçabuçu (Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARS) Abundância relativa de profundidade (%), (PU 1) região de Alagoas, (PU 2) região entre Alagoas e Sergipe, (PU 3) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (F) frequente, (PF) pouco frequente, (E) esporádico, (-) dados não existentes.

TÁXONS	PU 1		PU 2		PU 3		FO
	ARS	ARP	ARS	ARP	ARS	ARP	
<b>CYANOBACTERIA</b>							
<i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst ex Bornet & Flahault	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>A. solitaria</i> Klebahn	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>A. spiroides</i> Klebahn	0,2	-	0,3	-	-	-	PF
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Aphanocapsa koordeii</i> Strøm	0,5	-	-	-	-	-	E
<i>Arthrospira platensis</i> Gomont	-	-	1,2	-	1,8	-	PF
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	1,6	-	-	-	0,1	-	PF
<i>Geitlerinema unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	0,7	-	-	-	3,5	-	PF
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Microcystis brasiliensis</i> (De Azevedo & Sant' Anna)	-	-	0,9	-	-	-	E
Rigonato et al.							
<i>M. protocystis</i> Crow	1,1	-	-	-	-	-	E
<i>Oscillatoria tenuis</i> Agardh ex Gomont	-	-	1,5	-	0,4	-	PF
<b>BACILLARIOPHYTA</b>							
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory ex Greville) Hustedt	-	-	0,9	-	-	-	E
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	25,3	-	19,1	-	14,5	-	F
<i>Cyclotella</i> sp.	-	-	3,9	-	7,0	-	PF
<i>Diploneis didymus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	4,6	-	4,5	-	7,0	-	F
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	-	-	2,4	-	-	-	E
<i>E. monodon</i> Ehrenberg	3,0	-	-	-	4,4	-	PF
<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs	0,5	-	-	-	-	-	E
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	0,2	-	0,3	-	-	-	PF
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	9,9	-	6,7	-	9,6	-	F
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	0,2	-	-	-	0,4	-	PF
<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing	-	-	0,9	-	-	-	E
<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow	0,9	-	-	-	-	-	E



<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	3,4	-	1,2	-	-	-	PF
<i>Pinnularia lata</i> (Brébisson) Smith	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>P. platycephala</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	1,8	-	-	-	E
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	0,5	-	-	-	-	-	E
<i>Surirella elegans</i> Ehrenberg	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>S. linearis</i> Smith	0,7	-	-	-	-	-	E
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	5,7	-	6,4	-	7,0	-	F
EUGLENOPHYTA							
<i>Euglena caudata</i> Hübner	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>E. megalithos</i> Skuja	-	-	-	-	0,4	-	E
DINOPHYTA							
<i>Ceratium lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve	2,1	-	1,2	-	0,4	-	F
<i>C. fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	-	-	0,3	-	0,4	-	PF
<i>Peridinium</i> sp.	-	-	0,3	-	-	-	E
CHLOROPHYTA							
<i>Actinastrum aciculare</i> Playfair	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	16,8	-	8,2	-	16,2	-	F
<i>Asterococcus superbus</i> (Cienkowski) Scherffel	-	-	3,3	-	1,8	-	PF
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli	0,2	-	-	-	-	-	E
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris 1867	0,5	-	9,1	-	5,3	-	F
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	-	-	0,6	-	1,8	-	PF
<i>Cosmarium moniliforme</i> Ralfs	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Cosmarium quadrum</i> Lundell	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>Cosmarium reniforme</i> (Ralfs) Archer	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) Hegewald	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Desmodesmus maximus</i> (West & West) Hegewald	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	3,0	-	0,9	-	-	-	PF
<i>Gloeocystis polydermatica</i> (Kützing) Hindák	-	-	5,5	-	2,2	-	PF
<i>Kirchneriella diana</i> (Bohlin) Comas	-	-	0,6	-	0,4	-	PF
<i>Kirchneriella obesa</i> (West) West & West	1,4	-	-	-	-	-	E
<i>Micrasterias decemdentata</i> (Nägeli) Archer	-	-	0,3	-	-	-	E
<i>Pectinodesmus pectinatus</i> (Meyen) Hegewald, Wolf, Keller, Friedl & Krienitz	-	-	0,9	-	-	-	E
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	0,7	-	0,6	-	1,8	-	F
<i>Pleodorina californica</i> Shaw	0,9	-	-	-	-	-	E
<i>Pleodorina indica</i> (Lyengar) Nozaki	-	-	0,6	-	1,3	-	PF
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	0,2	-	0,6	-	-	-	PF
<i>S. bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	1,8	-	-	-	-	-	E
<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda	-	-	-	-	1,3	-	E
<i>S. maximus</i> (Oeste & West) Chodat	0,7	-	-	-	-	-	E
<i>S. obtusus</i> Meyen	-	-	5,2	-	-	-	E
<i>Selenastrum minutum</i> (Nägeli) Collins	0,7	-	-	-	-	-	E
<i>Spirogyra pratensis</i> Transeau	1,1	-	0,3	-	0,9	-	F
<i>Staurastrum johnsonii</i> West & West	7,8	-	5,5	-	5,7	-	F
<i>S. manfeldtii</i> Delponte	1,4	-	-	-	-	-	E
<i>S. rotula</i> Nordstedt	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>S. sebaldi</i> Reinsch	1,1	-	0,9	-	-	-	PF
<i>Tetrademus bernardii</i> (Smith) Wynne	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Volvox aureus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	0,4	-	E
Diversidade de Shannon (H')	2,65	-	3,01	-	2,84	-	
Equitabilidade (J)	0,75	-	0,82	-	0,81	-	
Dominância de Simpson ( $\Delta$ )	0,12	-	0,07	-	0,08	-	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Tabela 16 - Percentual de distribuição do microfítotoplâncton na região do município de Penedo (Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARS) Abundância relativa de profundidade (%), (PU 1) região de Alagoas, (PU 2) região entre Alagoas e Sergipe, (PU 3) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (PF) pouco frequente, (E) esporádico, (-) dados não existentes.

TÁXONS	PE 1		PE 2		PE 3		F.O
	ARS	ARP	ARS	ARP	ARS	ARP	
<b>CYANOBACTERIA</b>							
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn	-	-	1,3	-	0,8	-	PF
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>A. delicatissima</i> West & West	-	-	-	-	0,6	-	E
<i>Aphanothece elabens</i> (Brébisson ex Meneghini) Elenkin	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Arthrospira platensis</i> Gomont	-	-	1,3	-	-	-	E
<i>Geitlerinema unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	-	-	0,6	-	1,9	-	PF
<i>Gloeocapsa conglomerata</i> Kützing	-	-	-	-	0,8	-	E
<i>Lynghya wollei</i> (Farlow ex Gomont) Speziale & Dyck	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	-	-	1,9	-	-	-	E
<i>M. protocystis</i> Crow	-	-	-	-	0,8	-	E
<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>O. platensis</i> (Gomont) Bourrelly	-	-	0,6	-	-	-	E
<b>BACILLARIOPHYTA</b>							
<i>Amphiprora alata</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	0,6	-	1,1	-	PF
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	-	-	1,3	-	-	-	E
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	-	-	1,9	-	-	-	E
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	-	5,1	-	E
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	-	-	1,3	-	4,5	-	PF
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Ehrenberg	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	-	-	12,5	-	21,2	-	PF
<i>Navicula elegans</i> Smith	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow	-	-	1,3	-	0,2	-	PF
<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	-	-	-	-	4,5	-	E
<i>Pleurosigma angulatum</i> (Quekett) Smith	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Rhizosolenia longiseta</i> Zacharias	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	-	-	-	-	0,6	-	E
<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Synedra goulardii</i> Brébisson ex Cleve & Grunow	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	-	-	4,4	-	2,3	-	PF
<b>EUGLENOPHYTA</b>							
<i>Strombomonas bonariensis</i> (Seckt) Huber-Pestalozzi	-	-	-	-	0,2	-	E
<b>DINOPHYTA</b>							
<i>Ceratium lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	2,5	-	1,5	-	PF
<b>CHLOROPHYTA</b>							
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	-	-	0,6	-	1,1	-	PF
<i>Closterium diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>C. parvulum</i> Nägeli	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	-	-	8,8	-	21,2	-	PF
<i>Coelastrum reticulatum</i> (Dangeard) Senn	-	-	-	-	7,0	-	E
<i>Cosmarium margaritatum</i> (Lundell) Roy & Bisset	-	-	-	-	0,8	-	E
<i>Desmidium grevillei</i> (Kützing ex Ralfs) De Bary	-	-	5,6	-	0,6	-	PF
<i>Desmodesmus granulatus</i> (West & West) Tsarenko	-	-	3,8	-	-	-	E
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	-	-	1,3	-	4,0	-	PF
<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli	-	-	7,5	-	-	-	E
<i>Kirchneriella diana</i> (Bohlin) Comas	-	-	0,6	-	-	-	E

<i>K. lunaris</i> (Kirchner) Möbius	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>K. obesa</i> (Oeste) Oeste & West	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Microsterias decemdentata</i> (Nägeli) Archer	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>M. griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	-	-	11,3	-	-	-	E
<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory	-	-	15,6	-	-	-	E
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	-	-	0,6	-	0,4	-	PF
<i>Pleodorina californica</i> Shaw	-	-	-	-	3,4	-	E
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	-	-	-	-	1,5	-	E
<i>S. ellipsoideus</i> Chodat	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>S. ellipticus</i> Corda	-	-	-	-	2,3	-	E
<i>Sphaeroszoma laeve</i> (Nordstedt) Thomassom	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Spirogyra pratensis</i> Transeau	-	-	1,3	-	0,4	-	PF
<i>Staurastrum crenulatum</i> (Nägeli) Delponte	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>S. johnsonii</i> West & West	-	-	6,3	-	5,7	-	PF
<i>S. sebaldi</i> Reinsch	-	-	-	-	0,4	-	E
<i>Staurastrum senarium</i> Ralfs	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>S. spinosum</i> Ralfs	-	-	-	-	0,2	-	E
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) Hegewald	-	-	0,6	-	-	-	E
<i>Westella botryoides</i> (West) De Wildeman	-	-	0,6	-	-	-	E
Diversidade de Shannon (H')	-	-	2,89	-	2,78	-	
Equitabilidade (J)	-	-	0,82	-	0,73	-	
Dominância de Simpson ( $\lambda$ )	-	-	0,08	-	0,11	-	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

Tabela 17 - Percentual de distribuição do microfítoplâncton na região da Foz do Baixo São Francisco). (ARS) Abundância relativa da superfície (%), (ARP) Abundância relativa de profundidade (%), (FOZ 1) região de Alagoas, (FOZ 2) região de Sergipe, (FO) categorias de frequência de ocorrência, (PF) muito frequente, (F) frequente, (P) pouco frequente, (-) dados não existentes.

TÁXONS	FOZ 1		FOZ 2		F.O
	ARS	ARP	ARS	ARP	
<b>CYANOBACTERIA</b>					
<i>Oscillatoria brevis</i> Kützing ex Gomont	0,8	-	-	-	PF
<i>O. limosa</i> Agardh ex Gomont	-	-	-	1,2	PF
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	-	-	-	1,2	PF
<b>BACILLARIOPHYTA</b>					
<i>Amphiprora alata</i> (Ehrenberg) Kützing	3,0	-	-	-	PF
<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round	3,0	-	-	-	PF
<i>Biddulphia pulchella</i> Gray	2,3	-	-	-	PF
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	4,5	5,9	23,1	<b>80,4</b>	MF
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	<b>72,0</b>	<b>88,2</b>	<b>76,9</b>	-	MF
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	3,7	PF
<i>Euastrum attenuatum</i> Wolle	0,8	-	-	-	PF
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	1,5	5,9	-	1,2	PF
<i>Gyrosigma strigilis</i> (Smith) Griffin & Henfrey	1,5	-	-	-	PF
<i>Melosira arenaria</i> Moore ex Ralfs	2,3	-	-	-	PF
<i>Navicula elegans</i> Smith	0,8	-	-	-	PF
<i>Nitzschia scalaris</i> (Ehrenberg) Smith	-	-	-	4,3	PF
<i>Stephanodiscus astraea</i> (Kützing) Grunow	4,5	-	-	-	PF
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	0,8	-	-	7,4	F
<b>CHLOROPHYTA</b>					
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	1,5	-	-	-	F
<i>Staurastrum johnsonii</i> West & West	0,8	-	-	-	PF
<i>S. orbiculare</i> Meneghini ex Ralfs	-	-	-	0,6	PF
Diversidade de Shannon (H')	1,28	0,45	0,54	0,82	
Equitabilidade (J)	0,47	0,41	0,78	0,39	
Dominância de Simpson ( $\gamma$ )	0,53	0,78	0,65	0,66	

Fonte: Guedes *et al.*, 2020.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (APHA; AWWA; WEF). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington: APHA, AWWA, WEF, 2015.

ANAGNOSTIDIS, K.; KOMAREK, J. Modern approach to the classification system of Cyanophyta, 3: Oscillatoriales. **Algological Studies**, v. 80, n. 1/4, p. 327-472, 1988.

ANAGNOSTIDIS, K.; KOMAREK, J. Modern approach to the classification system of Cyanophyta, 5: Stigonematales. **Algological Studies**, v. 59, p. 1-73. 1990.

BOURRELLY, P. **Lês Algues d' Eau Douce: Initiation à la Systématique.** v.3: Les et rouges Les Euglenies, Peidiniens et Cryptomonodines. Paris: N. Boubée, 1970.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004:** estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2004.

BUCCHEIM, M. A.; MICHALOPULOS, E. A.; BUCHHEIM, J. A. Phylogeny of the Chlorophyceae with special reference to the Sphaeropleales: a study of 18S and 26S rDNA data. **Journal of Phycology**, v. 37, p. 819-935, 2001.

CÂMARA, F. R. A.; LIMA, A. K. A.; CHELLAPPA, N. T. Diversidade da comunidade fitoplanctônica do canal do Pataxo, Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 21-22, 2007.

CECY, I. I. T.; SILVA, S. R. V. Desmídias (Zygnemaphyceae da área de abrangência da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, Paraná, Brasil, I: Gênero Cosmarium. **Iheringia – Série. Botânica**, v. 59, n. 1, p. 13-26, 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras.** Brasília: CETESB, 2011

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Norma Técnica L5.303:** Fitoplâncton de Água Doce - Métodos Qualitativo e Quantitativo (Método de Ensaio). São Paulo: CETESB, 2005.

COSTA, I. A. S. et al. M. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semiárido do Rio Grande do Norte. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 2, p. 382-401, 2009.

COSTA, V. B. et al. Effects of a high energy coastal environment on the structure and dynamics of phytoplankton communities (Brazilian Amazon littoral). **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 354-358, 2011.

DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A. D. **Florações de algas e de cianobactérias:** suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento. São Carlos: Editora LDiBe, 2010.

EL-SHEEKH M. M. et al. Efeito do cobalto no crescimento, pigmentos e transporte de

elétrons na fotossíntese em *Monoraphidium minutum* e *Nitzschia perminuta*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15, p. 159-166, 2003.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESTEVEES, K. E.; SANT'ANNA, C. L. **Pesquiseros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo**. São Carlos: RiMa, 2006.

FELISBERTO, S. A.; RODRIGUES, L. Desmidiales (exceto o gênero *Cosmarium*) perifíticas no reservatório de Corumbá, Goiás, Brasil. **Iheringia – Série Botânica**, v. 57, p. 75-97, 2002.

GUIRY, M. D.; G. M. GUIRY. **Algae Base**: Worldwide electronic publication. 2014. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em: 3 jul. 2020.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, 2001.

KOMAREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprokaryota** 1. Teil: Chroococcales. Pp. 1-548. In: Ettl, H.; Gartner, G.; Heynigh, H. & Mollenhauer, D. (Eds.). *Susswasserfl ora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lubeck-Ulm. 1998.

KOMAREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprokaryota** 2. Oscillatoriales. Pp. 1-759. In: Bridel, B.; Krienitz, L.; Gartner, G.; Schargerl, M. (Eds.), *Oscillatoriales. Subwasserfl ora von Mitteleuropa*. Munchen: Elsevier GmbH. 2005.

KOMAREK, J.; KLING, H.; KOMARKOVA, J. Filamentous Cyanobacteria. In: Wehr, J. D. & Sheath, R. G. (Eds.). **Freshwater algae of North America: ecology and classification**. New York: Academic Press, 2003.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estruturas comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Biologia Marina**, v. 22, p. 1-29. 1986.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 1988.

MATEUCCI, S.; COLMA, A. La metodologia para El estudio de La vegetacion. Coleccion de monografias cientificas. **Serie Biologia**, v. 22, p. 1-168, 1982.

MORENO, J. L.; LICEA, S.; SANTOYO, H. **Diatomeas del Golfo de Califórnia**. Mexico: Universidad Autonoma de Baja California Sur, SEP-FOMES, PROMARCO. 1996.

NABOUT, J. C.; NOGUEIRA, I. S.; OLIVEIRA, L. G. Phytoplankton Community of floodplain lakes of the Araguaia River, Brazil, in the rainy and dry seasons. **Journal of Plankton Research**, v. 28, n. 2, p. 181-193, 2006.

OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F. Flood pulse influence on phytoplankton communities of the south Pantanal floodplain, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 427, p. 101-112, 2000.

PANOSSO, R. F.; COSTA, I. A. S.; SOUZA, N. R.; ATTAYDE, J. L.; CUNHA, S. R. S.; GOMES, F. C. F. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 433-449, 2007.



- PARRA, O. O.; BICUDO, C. E. M. **Introducción a la Biología y Sistemática de las Algas de Aguas Continentales**. Santiago: Andes, 1995.
- PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002
- PIELOU, E. C. **Mathematical Ecology**. New York: John Wiley & Sons Incorporated, 1977.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan. 2014.
- REVIERS, B. **Biologia e filogenia das algas**. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- REYNOLDS, C. S. **Ecology of phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D. G. **The diatoms: biology and morphology of the genera**. New York: Cambridge University Press, 1990.
- SHANNON, C. E.; Weaver, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- SHUBERT, E. Nonmotile coccoid and colonial green algae. In: WEHR, J.D.; SHEATH, R.G. (Eds.). **Freshwater algae of North America: ecology and classification**. New York: Academic Press, 2003.
- SOUSA, E. B. et al. Variação temporal do fitoplâncton e dos parâmetros hidrológicos da zona de arrebentação da Ilha Canela (Bragança, PA, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 1084-1095, 2009.
- STREBLE, H.; KRAUTER, D. **Atlas de los microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua**. Barcelona: Omega, 1987.
- VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.
- VAN DEN HOEK, C.; MANN, D.G.; JAHNS, H.M.. **Algae: An introduction to phycology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- WEHR, J. D.; SHEATH, R. G. **Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification**. New York: Academic Press, 2003.
- ZANATA, L. H.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Longitudinal processes in Salto Grande reservoir (Americana, SP, Brazil) and its influence in the formation of compartment system. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, p. 347-361, 2002.

# EUTROPHICATION POTENTIAL EVALUATION AND WATER QUALITY IN THE LOWER SÃO FRANCISCO

Petrônio Alves Coelho Filho  
Silvânio Silvério Lopes da Costa  
Vivian Costa Vasconcelos  
Marcus Aurélio Soares Cruz  
Carlos Alberto da Silva  
Emerson Carlos Soares

## SUMMARY

The eutrophication potential and water quality of the Lower São Francisco, during the II Expedition to the São Francisco River, were evaluated through 21 samples collected near water sources for public supply between Piranhas (Alagoas) and the river estuary. Samples were collected and packaged according to NBR 9.898, total phosphorus concentration was determined by colorimetry, and the eutrophication potential by applying the Carlson Trophic State Index (TSI), based on total phosphorus. Total P concentrations were similarly low in all areas analyzed ( $p>0.05$ ), with a total mean of  $24.64\pm 4.16$   $\mu\text{g/L}$ , and the mean TSI was  $42.78\pm 2.15$ . This indicated that the Lower São Francisco was potentially oligotrophic, with a tendency to mesotrophic, and showed presenting higher eutrophication rates close to the urban nuclei, but compromising the quality and multiple water uses.

## CAPÍTULO 6

# AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO E DA QUALIDADE DE ÁGUA NO BAIXO SÃO FRANCISCO

Petrônio Alves Coelho Filho<sup>27</sup>

Silvânio Silvério Lopes da Costa<sup>28</sup>

Vivian Costa Vasconcelos<sup>29</sup>

Marcus Aurélio Soares Cruz<sup>30</sup>

Carlos Alberto da Silva<sup>31</sup>

Emerson Carlos Soares<sup>32</sup>

### INTRODUÇÃO

Especificamente no Baixo São Francisco, alterações ambientais decorrentes do uso e da ocupação desordenada das margens das bacias hidrológicas brasileiras, seja por atividades agrícolas, aquícolas ou outras ocupações urbanas, têm aumentado gradativamente (ARRUDA, 2015). As práticas inadequadas de irrigação e fertilização do solo, a contaminação por agroquímicos e o lançamento de efluentes sem tratamento contribuem com a deterioração da qualidade de água (SOBRAL, 2011).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco ocupa uma área de drenagem equivalente a 8% do território nacional e está inserida em terras de seis Estados brasileiros, além do Distrito Federal (ANA, 2015). Em toda a sua extensão, o rio São Francisco possui uma série de oito reservatórios de acumulação de água para múltiplos usos, construídos prioritariamente para a geração de energia elétrica, onde se têm intensificado problemas ambientais decorrentes do uso irregular e de ocupações inadequadas das margens desses reservatórios.

Observa-se, por grande parte da margem do Baixo São Francisco, formações acentuadas de processos erosivos e de bancos de areia, bem como a supressão da vegetação ciliar e a aplicação de técnicas agrícolas apoiadas na aplicação de agrotóxicos e fertilizantes químicos (CARVALHO, 2009), aumentando o risco de eutrofização do rio. Essa eutrofização pode causar vários problemas, em decorrência do supercrescimento de macrófitas aquáticas, florescimento de algas, dentre as quais as cianobactérias, que são potenciais produtoras de diferentes compostos tóxicos que acarretam graves riscos à saúde humana e animal (CARMICHAEL *et al.*, 2001; TUNDISI, 2006).

O aporte de nutrientes provenientes de fontes antrópicas tem sido apontado como

<sup>27</sup> Professor, Labccarc, Unidade Penedo, Universidade Federal de Alagoas.

<sup>28</sup> Professor, Universidade Federal de Sergipe.

<sup>29</sup> Mestre em Zootecnia, Laqua, Ceca, Universidade Federal de Alagoas.

<sup>30</sup> Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros.

<sup>31</sup> Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros.

<sup>32</sup> Professor, Laqua, Ceca, Universidade Federal de Alagoas.

principal causa de eutrofização dos corpos hídricos (ARRUDA, 2015). Por isso, os critérios que empregam os nutrientes são os mais apropriados para avaliar o estado trófico, ou seja, os agentes causadores do processo de eutrofização, como o Fósforo, do que os que se valem das manifestações biológicas ou dos efeitos do fenômeno, como a Clorofila e a Transparência (ARAÚJO *et al.*, 2014).

O Fósforo é amplamente reconhecido como sendo um elemento-chave no processo de eutrofização cultural ou acelerada, provocada por fontes antrópicas difusas ou pontuais (FONSECA, 2002; TUNDISI, 2008). A elevada produtividade biológica ocasionada em decorrência das descargas de Fósforo, proveniente das práticas agrícolas, criação intensiva de peixes, lançamento de esgoto sanitário e outros aportes antrópicos é, comumente, relacionada ao estado trófico dessas massas de água. Por outro lado, pelo fato de o Fósforo ser um nutriente essencial para o crescimento de organismos, sua presença em níveis críticos pode limitar a produtividade primária dos corpos d'água (ESTEVEVES, 2011).

Importante ferramenta nesse processo, os índices de qualidade da água (IQA) surgem da necessidade de sintetizar a informação, visando informar a população e orientar as ações de planejamento e gestão da qualidade da água. Os índices facilitam a comunicação com o público leigo, já que permitem sintetizar várias informações em um número único. Na avaliação dos processos de eutrofização, recomenda-se a utilização dos Índices de Estado Trófico (IET) (ANA, 2017), que classificam os corpos hídricos em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade, a disponibilidade e o efeito do aporte de nutrientes encontrados na água e que são responsáveis pelo crescimento excessivo das algas ou de macrófitas aquáticas no meio (MARANHO, 2012).

Como afirma Carlson (1977), o IET envolve três variáveis: concentração de Clorofila-*a*, transparência da água e concentração de Fósforo total. Os resultados correspondentes ao Fósforo, IET (p) são entendidos como uma medida do potencial de eutrofização. A avaliação correspondente à Clorofila-*a*, IET (CL), por sua vez, é considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando, de forma adequada, o nível de crescimento de algas.

Todavia, as variáveis envolvidas no cálculo do IET podem ser avaliadas individualmente (SANTOS, 2012). Indicadores de Transparência, muitas vezes, não são representativos para o estado de trofia, pois, normalmente, apresentam elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão, e não apenas pela densidade de organismos planctônicos. Assim como o indicador de Clorofila, que, por ser considerado uma medida de resposta do corpo hídrico ao agente causador e indicar o nível de crescimento de algas em suas águas, não se encontra diretamente associado às causas da eutrofização.

Porém, os resultados referentes ao Fósforo devem ser compreendidos como uma medida do potencial de eutrofização. Esse nutriente atua como agente causador do processo; neste caso, os resultados encontrados a partir da aplicação do IET não mensuram diretamente a eutrofização, apenas indicam o potencial e a condição do meio, classificando-os em diferentes classes de trofia (SANTOS, 2012; ANA, 2013). Por essa razão, no presente estudo, optou-se por determinar o IET (p) para avaliar o potencial de eutrofização no Baixo São Francisco como indicador da qualidade da água, buscando gerar informações categóricas para possíveis avaliações sobre o uso e a conservação da água.

## Determinação da concentração do Fósforo total

As amostragens foram realizadas no Baixo rio São Francisco, entre os Estados de Sergipe e Alagoas, entre 17 e 27 de novembro de 2019, cobrindo uma área de 25.500 km<sup>2</sup>, e abrangendo os municípios alagoanos de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova e Penedo, além da foz do rio (Tabela 18).

Tabela 18 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água no BSF.

PONTO	LONGITUDE	LATITUDE
Piranhas	-37.751278	-9.624347
Pão de Açúcar	-37.447327	-9.750914
Traipu	-37.006143	-9.971428
Porto Real do Colégio	-36.836774	-10.192243
Igreja Nova	-36.672528	-10.266311
Penedo	-36.582383	-10.299611
Foz do Rio	-36.398627	-10.476388

Fonte: Marcus Cruz (2019).

As amostras foram coletadas considerando-se a captação de água para abastecimento público em cada um dos municípios citados anteriormente, da seguinte forma: adjacente ao ponto de captação, 500 metros a montante do ponto de captação e 500 metros a jusante do ponto de captação. Em seguida, foram acondicionadas de acordo com a NBR nº 9.898 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) e a determinação da concentração do fósforo total foi realizada por colorimetria (APHA - American Public Health Association, 2005). Os resultados laboratoriais foram interpretados dentro dos limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do Conama (BRASIL, 2005) para o enquadramento da classe de qualidade da água do recurso hídrico, conforme a **Tabela 19**.

Tabela 19 - Limites de Fósforo total para cada classe de enquadramento segundo Resolução Conama nº 357, de 2005.

AMBIENTE	CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS (mg/L)			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Lêntico	0,020	0,030	0,050	>0,050
Intermediário	0,025	0,050	0,075	>0,075
Lótico	0,1	0,1	0,15	>0,15

Fonte: Petrônio Coeho Filho (2020).

## Determinação do índice de estado trófico (IET)

Os valores obtidos de Fósforo total foram aplicados na equação do Índice de Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo Jr. *et al.* (1983), empregado comumente pela Cetesb, para medir o potencial de eutrofização. Segundo a fórmula abaixo, - P refere-se à concentração de Fósforo Total em µg/L.

$$IET_T = 10 \times \left[ 6 - \frac{\ln\left(\frac{80,32}{P}\right)}{\ln 2} \right]$$



Em seguida, os valores do IET para cada ponto amostral foram classificados segundo o grau de trofia, através dos limites propostos por Toledo Jr. *et al.* (1983) apud Lamprelli (2004), conforme a Tabela 20.

Tabela 20 - Limites para diferentes níveis de estado trófico.

CRITÉRIO	ESTADO TRÓFICO	FÓSFORO TOTAL (mg/L)
IET ≤ 24	Ultraoligotrófico	0,006
24 < IET ≤ 44	Oligotrófico	0,007-0,026
44 < IET ≤ 54	Mesotrófico	0,027-0,052
54 < IET ≤ 74	Eutrófico	0,053-0,211
IET > 74	Hipereutrófico	>0,211

Fonte: Petrônio Coelho Filho (2020).

### Enquadramento e caracterização trófica

Os valores de P total foram semelhantemente baixos em todas as áreas analisadas ( $p > 0.05$ ), com média total de 24.64 µg/L, variando de 18.60 µg/L (captação de Penedo) a 29.60 µg/L (captação de Porto Real de Colégio) (Tabela 21). Com isso, todas as amostras analisadas estavam aptas para a destinação de todas as classes de enquadramento da Conama nº 357 para ambientes lóticos de água doce, garantindo o uso múltiplo da água no Baixo São Francisco, ao menos durante o período analisado.

De maneira geral, os valores de P total classificaram o trecho analisado como oligotrófico (Tabela 20). Observando em separado, apenas Porto Real do Colégio e a foz do rio podem ser classificados como mesotróficos (P total acima de 26,0 µg/L). A aplicação do Índice de Estado Trófico (IET) apresentou a mesma tendência apresentada pelas análises do P total, comprovando estar a área oligotrófica, durante o período das incursões, com valor médio de IET de 42,78 (Tabela 22).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de P total e IET nos diferentes municípios e locais de coleta (Tabelas 21 e 22). Porém, analisando em separado, as amostras que se localizam no núcleo urbano do município apresentaram maiores níveis de eutrofização e foram classificadas como mesotróficas.

Apesar das áreas de estudo serem classificadas em geral como oligotróficas, 43% foram mesotróficas (Tabela 23). Esse fato é reflexo dos números obtidos, pois os valores de IET ou estavam no limite superior da oligotrofia ou no limite inferior na mesotrofia.

A partir da caracterização trófica obtida, podemos inferir que, durante o período estudado, a maior parte do Baixo São Francisco caracterizou-se por apresentar uma baixa biomassa fitoplanctônica, com baixa concentração de algas cianofíceas, com relativa concentração de macrófitas nos trechos de menor profundidade, e o Oxigênio saturado-supersaturado na camada superior e abaixo da saturação-saturado na camada inferior.

Porém, a eutrofização de um recurso hídrico é considerada progressiva e o IET caracteriza-se como dinâmico, apresentando variações de classificação ao longo do tempo, tanto para classes de maior quanto para as de menor trofia (LAMPARELLI, 2004). Ou seja, demonstra a importância de ser realizado um monitoramento contínuo da qualidade e estado trófico do Baixo São Francisco em diferentes épocas ou condições.

A II Expedição do Rio São Francisco foi realizada durante um período de intensas chuvas nos trechos Alto e Médio São Francisco, o que acarretou num aumento considerável

da vazão do rio no Baixo São Francisco, aumentando a dinâmica hidrológica em alguns trechos que estavam represados e com pouca circulação.

Tabela 21 - Valores do Fósforo total ( $\mu\text{g/L}$ ) encontrados a montante, jusante e no ponto de aptação para abastecimento dos municípios alagoanos do Baixo São Francisco durante a II Expedição Científica do Rio São Francisco.

LOCAL	MONTANTE DA CAPTAÇÃO	CAPTAÇÃO	JUSANTE DA CAPTAÇÃO	MÉDIA $\pm$ DP*
Piranhas	28,60	28,60	19,90	25,70 $\pm$ 5,02
Pão de Açúcar	19,80	28,00	22,30	23,37 $\pm$ 4,20
Traipu	20,60	28,60	21,20	23,47 $\pm$ 4,46
Porto Real do Colégio	25,60	29,60	27,00	27,40 $\pm$ 2,03
Igreja Nova	28,60	21,20	20,10	23,30 $\pm$ 4,62
Penedo	20,60	18,60	28,60	22,60 $\pm$ 5,29
Foz do Rio	28,60	25,40	26,00	26,67 $\pm$ 1,70
MÉDIA $\pm$ DP*	24,63 $\pm$ 4,16	25,71 $\pm$ 4,24	23,59 $\pm$ 3,55	

Fonte: Petrônio Coelho Filho (2020). \*DP- Desvio padrão

Tabela 22 - Valores do IETp encontrados a montante, a jusante e no ponto de captação para abastecimento dos municípios alagoanos do Baixo São Francisco durante a II Expedição Científica do Rio São Francisco.

LOCAL	MONTANTE DA CAPTAÇÃO	CAPTAÇÃO	JUSANTE DA CAPTAÇÃO	MÉDIA $\pm$ DP*
Piranhas	45,10	45,10	39,87	43,36 $\pm$ 3,02
Pão de Açúcar	39,80	44,80	41,51	42,04 $\pm$ 2,54
Traipu	40,37	45,10	40,78	42,08 $\pm$ 2,62
Porto Real do Colégio	43,50	45,60	44,27	44,46 $\pm$ 1,06
Igreja Nova	45,10	40,78	40,01	41,97 $\pm$ 2,74
Penedo	40,37	38,90	45,10	41,46 $\pm$ 3,24
Foz do Rio	45,10	43,39	43,73	44,07 $\pm$ 0,91
MÉDIA $\pm$ DP*	42,76 $\pm$ 2,49	43,38 $\pm$ 2,57	42,18 $\pm$ 2,15	

Fonte: Petrônio Coelho Filho (2020). \*DP- Desvio padrão

Tabela 23 - Níveis de estado trófico encontrados a montante, a jusante e no ponto de captação para abastecimento dos municípios alagoanos do Baixo São Francisco durante a II Expedição Científica do Rio São Francisco.

LOCAL	MONTANTE DA CAPTAÇÃO	CAPTAÇÃO	JUSANTE DA CAPTAÇÃO
Piranhas	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Pão de Açúcar	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Traipu	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Porto Real do Colégio	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Igreja Nova	Mesotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico
Penedo	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico
Foz do Rio	Mesotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico

Fonte: Petrônio Coelho Filho (2020).

Nos reservatórios de acumulação existentes no Nordeste brasileiro, o Fósforo é encontrado em grande quantidade (MELO, 2007). Sabe-se que os ecossistemas lênticos são mais susceptíveis à eutrofização pela lenta renovação da água e alto período de residência (FRANZEN, 2009), e possivelmente as alterações da dinâmica hidrológica, com o aumento da vazão na área de estudo, influenciou os resultados obtidos.

Pelo exposto, apesar de este estudo apresentar uma análise estanque sobre a capacidade de eutrofização, limitando uma avaliação mais robusta pela ausência de uma série temporal, os resultados demonstram que o Baixo São Francisco, durante o período analisado, apresentou um baixo potencial para eutrofização, não comprometendo a qualidade da água e de sua utilização. Porém, precisa ser verificada qual a influência dessa baixa disponibilidade de nutrientes para a produção primária e a manutenção da dinâmica trófica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Baixo São Francisco alagoano esteve, durante a II Expedição ao Rio São Francisco, potencialmente oligotrófico, com tendência a mesotrófico, apresentando maiores índices de eutrofização, próximos aos núcleos urbanos, mas sem comprometer a qualidade e os usos múltiplos da água.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: 2013. Brasília: ANA, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Decenal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**: Plano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco 2004 - 2013. Brasília: ANA, 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2005.

ARAÚJO, A. B. et al. Qualidade microbiológica e avaliação do Estado Trófico de amostras de água do açude Forquilha-CE. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer Goiânia, v.10, n.18, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897**: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

BOTELHO, R.G. et al. Evaluation of surface water quality using an ecotoxicological approach: a case study of the Piracicaba River (São Paulo, Brazil). **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 20, n. 7, p. 4382-4395, 2013.

BRASIL. **Resolução do Conama no 357, 17 de março de 2005**. Dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2005.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CARMICHAEL, W.W. et al. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. **Environmental Health Perspectives**, v.109, p.663-668, 2001.

CARVALHO, R.M.C.M.O. **Avaliação dos perímetros de irrigação na perspectiva da sustentabilidade da agricultura familiar no semiárido Pernambucano**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**: Apêndice A Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente Governo de São Paulo, 2009.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FONSECA, R.M.F.DA. Impactos ambientais associados a barragens e a albufeiras: estratégia de reaproveitamento dos sedimentos depositados: Dams Impacts and hazards. Évora. **Anais...** Évora: DAMS, 2002.

FRANZEN, M. **Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios**. 2009. Tese (Doutorado) - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: Avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, São Paulo, 2004.

MARANHO, L. A. **Avaliação da qualidade da água do rio Corumbataí (SP) por meio de variáveis bióticas e abióticas**. 2012. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

MENDES, L. de F. S; ALMEIDA, J. R. de S. **Eutrofização induzida pelo homem e suas**

**consequências dentro de um ecossistema aquático.** Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2008.

SANTOS, O. R. **Análise limnológica para avaliação do nível trófico em reservatório formado na implementação de uma PCH em rio do Peixe/SC com ênfase no parâmetro Fósforo.** 2012. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

SOBRAL, M. C. M. Estratégia de gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Revista Eletrônica do Prodema**, v.7, n.2, p. 76-82, nov. 2011.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n.70, p. 24-35, jun./ago. 2006.



# THE LOWER SÃO FRANCISCO ICHTHYOFAUNA

Emerson Carlos Soares

Elton Lima Santos

Emilly Valentim

Vivian Costa Vasconcelos

Ricardo Fabio Teodósio

Andréa Carla Guimarães Paiva

Evaristo Pérez Rial

José Milton Barbosa

## SUMMARY

The Lower São Francisco is one of the hydrographic basin regions most affected by environmental impacts. There are problems caused by changes in the hydrological regime, such as lower water flow and volume, with a consequent increase in salinity; others result from anthropogenic activity, accumulation of pollutants, deforestation with consequent silting, use of illegal fishing methods, and overfishing. These factors compromise the water quality and contribute to the reduction of the fish biomass. In the 2019 scientific expedition, a slight increase in the number of fish species was observed, compared to 2018, and it may be due to the increased flow provided by hydroelectric power plants, improving environmental conditions. Despite the changes in 2019, the ichthyofauna in the region faces a severe risk of overfishing, replacement of native freshwater species by exotic species, and euryhalines, leading to future extinction risks. Therefore, urgent management measures and administrative policies regarding fishing resources must be taken to prevent a collapse of the fishing activity in the Lower São Francisco.

# CAPÍTULO 7

## A ICTIOFAUNA DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Emerson Carlos Soares<sup>33</sup>

Elton Lima Santos<sup>34</sup>

Emilly Valentim<sup>35</sup>

Vivian Costa Vasconcelos<sup>36</sup>

Ricardo Fabio Teodósio<sup>37</sup>

Andréa Carla Guimarães Paiva<sup>38</sup>

Evaristo Pérez Rial<sup>39</sup>

José Milton Barbosa<sup>40</sup>

### A ictiofauna da bacia do São Francisco

As primeiras espécies descritas, com distribuição no São Francisco, são atribuídas a Carl von Linné (Carolus Linnaeus). São elas: *Callichthys callichthys* (LINNAEUS, 1758), *Gymnotus carapo* (LINNAEUS, 1758) e *Trachelyopterus galeatus* (LINNAEUS, 1766).

A primeira descrição de uma espécie endêmica, supostamente, da bacia do rio São Francisco aparece no trabalho *Petri Artedi Sueci Genera Piscium* (ARTEDI; LINNAEUS; WALBAUM, 1792), nominada *Salmo (Curimata) Marggravii* (WALBAUM, 1792). No entanto, a distribuição geográfica é genérica: “*habitat in America meridionali*”. Essa denominação, atribuída a Johann Julius Walbaum, é citada no Fishbase como “*Synonymy ambiguous*” (FROESE; PAULY, 2020), de forma que não é possível afirmar que o nome foi atribuído a *Prochilodus argenteus* (SPIX; AGASSIZ, 1829). Ainda no século XVIII, Mark Elieser Bloch descreveu duas espécies do São Francisco: a traíra, *Hoplias malabaricus* (BLOCH, 1794), e o mussum, *Synbranchus marmoratus* (BLOCH, 1795).

Em meados início do século XIX, Cuvier descreveu seis espécies que ocorrem no São Francisco: piranha, *Pygocentrus piraya* (CUVIER, 1820); piaba-de-rabo-vermelho, *Astyanax*

<sup>33</sup> Professor Associado, Centro de Engenharias e de Ciências Agrárias (Ceca), Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), Universidade Federal de Alagoas.

<sup>34</sup> Professor Associado, Centro de Engenharias e de Ciências Agrárias (Ceca), Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), Universidade Federal de Alagoas.

<sup>35</sup> Bolsista Ufal, Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), graduanda em Zootecnia, Universidade Federal de Alagoas.

<sup>36</sup> Mestre em Zootecnia, Bolsista Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), Universidade Federal de Alagoas.

<sup>37</sup> Bolsista Ufal, Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), graduando em Zootecnia, Universidade Federal de Alagoas.

<sup>38</sup> Professora Associada, Unidade de Penedo, Universidade Federal de Alagoas.

<sup>39</sup> Pesquisador, Instituto Espanhol de Oceanografia (Vigo), Doutorando em Aquicultura Marinha.

<sup>40</sup> Professor Adjunto, *Campus* São Cristovão, Universidade Federal de Sergipe.

*fasciatus* (CUVIER, 1819); tabarana, *Salminus hilarii* (CUVIER, 1829); arenga, *Lycengraulis glossidens* (CUVIER, 1829) e corvina, *Pachyurus francisci* (CUVIER, 1830).

Enquanto, no século XIX, destacou-se o ictiólogo francês Achille Valenciennes, que descreveu onze espécies para esta bacia: cuiu-cuiu, *Oxydoras niger* (VALENCIENNES, 1821); pirá, *Conorhynchus conirostris* (VALENCIENNES, 1840); mandis, *Duopalatinus emarginatus* (VALENCIENNES, 1840) e *Pseudopimelodus charus* (VALENCIENNES, 1840); cascudo, *Spatuloricaria nudriventris* (VALENCIENNES, 1840); tuvira, *Eigenmannia virescens* (VALENCIENNES, 1847); pacu, *Myleus altipinnis* (VALENCIENNES, 1850); piau, *Leporellus vittatus* (VALENCIENNES, 1850); piaparas, *Leporinus obtusidens* (VALENCIENNES, 1847) e *Leporinus elongatus* (VALENCIENNES, 1850) e curimatã, *Prochilodus costatus* (VALENCIENNES, 1850) (BARBOSA; SOARES, 2009; BARBOSA *et al.*, 2017).

Reinhardt coletou, no rio das Velhas, o total aproximado de 55 espécies, com coleções expressivas reunidas em meados do século XIX, possibilitando um avanço notável no conhecimento dos peixes da bacia (ALVES; POMPEU, 2010).

Outros naturalistas e estudiosos, como Louis Agassiz, Christian F. Lütken e Carl Eigenmann, fizeram expedições científicas descrevendo espécies na bacia (BRITSKI *et al.*, 1986).

De fato, um grande salto para o conhecimento ictiológico do São Francisco originou-se do trabalho realizado por Lütken (1875): *Velhas Flodens Fiske*, com a descrição de 55 espécies no rio das Velhas, um dos grandes afluentes do São Francisco. Antes da publicação do trabalho de Velhas-Flodens Fiske (1875), os trabalhos pós-lineanos publicados por autores europeus sobre peixes do rio São Francisco basearam-se nas coleções realizadas por Saint Hilaire, Spix e Martius, Castelnau e Cumberland (BRITSKI, 2010).

Henry W. Fowler (1948; 1954) relacionou cerca de 124 espécies para a bacia do São Francisco, enquanto Travassos (1960) listou cerca de 139 espécies na região estuarina do rio São Francisco. Britski *et al.* (1986) contabilizaram 132 espécies em todo o rio e, após duas décadas, Sato e Godinho (2003) apresentaram uma lista com 152 espécies do São Francisco.

Segundo Britski *et al.* (1986), existem cerca de 133 espécies na região de Três Marias, com destaque para a ordem dos Characiformes, com 65 representantes, seguida dos siluriformes, com 56 espécies. Nos estudos de Pompeu & Godinho (2003), foram catalogadas 50 espécies, com destaque para os peixes de piracema: *Salminus brasiliensis*, *Prochilodus costatus*, *Prochilodus argenteus*, *Pseudoplatystoma corruscans*, *Megaleporinus reinhardti*, *Megaleporinus taeniatus*, *Megaleporinus obtusidens* e *Brycon orthotaenia*.

Um número estimado de 184 espécies foi relatado por Britski *et al.* (1986), Costa (1995), Sato e Godinho (1999), Alves e Pompeu (2001). Por outro lado, Alves e Pompeu (2005) afirmam que o número potencial de espécies da bacia pode variar em até 300.

Em levantamentos mais recentes, Barbosa e Soares (2009), num estudo preliminar, traçaram um perfil da ictiofauna a partir de coletas e levantamento bibliográfico e consideraram válidas 244 espécies, sendo 214 nativas, número superior às listas anteriormente divulgadas. Ademais, foram registradas, neste estudo, 11 espécies com identificação até gênero. Enquanto Barbosa *et al.* (2017) atualizaram este número para 241 espécies nativas, acrescidas principalmente pelas descrições de peixes anuais, espécies da família *Rivulidae*, realizadas por Wilson Costa e colaboradores na década passada.

Remetendo-se a Barbosa *et al.* (2017), seus estudos relacionaram o alto endemismo

na região, contabilizando 304 espécies válidas, das quais 241 são dulciaquícolas nativas, 35 invasoras e 28 alóctones. Segundo os autores, a ictiofauna é composta por 32 famílias, 110 gêneros e 241 espécies, pertencentes às ordens Clupeiformes, Characiformes, Siluriformes, Gymnotiformes, Cypriniformes, Sinbranchiformes e Perciformes.

De certa forma, a coleta de informações da ictiofauna do São Francisco deve ser contínua, porque novas espécies são encontradas anualmente na bacia, sendo prioritárias dentro do processo de revitalização da região.

## Ictiofauna do Baixo São Francisco

A ictiofauna no baixo curso do rio vem passando por alterações acentuadas e diminuição dos volumes de capturas, promovidos por alterações na sua calha principal e suas lagoas marginais. O resultado dessas mudanças, ocasionadas pela retenção de água nas represas, com a finalidade de geração de energia elétrica, somado aos desvios da água pelos canais de transposição e irrigação, períodos mais intensos de seca, desmatamento das áreas marginais e dos afluentes, aumento de espécies exóticas na bacia, elevado índices de contaminação do ambiente aquático, métodos de pesca evasivos e irracionais e avanço da cunha salina tem contribuído para a sobre-exploração dos estoques pesqueiros e diminuição dos estoques desovantes, com conseqüente redução dos estoques de espécies nativas, fato este que pode ser demonstrado na seqüência de estudos realizados a partir de 1995.

Marques (1995), trabalhando na região da várzea da Marituba, observou a ocorrência de 21 espécies, com destaque para: *Prochilodus argenteus* (curimatã-pacu), *Megaleporinus obtusidens* (piauí), *Serrassalmus brandtii* (pirambeba), *Pygocentrus piraya* (piranha), *Hoplias* sp. (traíra), *Centropomus parallelus* – robalo (camurim) e *Pseudoplatystoma corruscans* (surubim).

Costa *et al.* (2003), em seus estudos, delimitaram a ocorrência de 33 espécies nos municípios ribeirinhos do Baixo São Francisco, com destaque para os piaús *Megaleporinus* sp. e *Schizodon* sp., e carapebas, *Eugerres brasiliensis*.

Soares *et al.* (2011), estudando a microrregião de Penedo-AL, observaram a ocorrência de 22 espécies em 2007, 18 espécies em 2008 e 17 espécies em 2009, das quais cerca de cinco representaram, em média, 80% da biomassa do pescado desembarcado, com destaque para a família *Prochilodontidae*, representada pela curimatã-pacu ou xira (*Prochilodus argenteus*), espécie endêmica da bacia, com percentual médio de 40,0%, seguido da família *Anostomidae*, tendo os piaús (*Megaleporinus reinhardt* e *Megaleporinus obtusidens*), com 22,0%, alternando-se entre representantes da família *Engraulidae*, pilombetas (*Anchoviella lepidontotole* e *A. sanfranciscana*), com 7% da produção, em 2007, e 18%, em 2008, e dois representantes da família *Centropomidae*, os robalos (*Centropomus undecimalis* e *C. parallelus*), com média de 10% para os três anos analisados.

Sampaio *et al.* (2015), estudando a região estuarina do rio São Francisco, afirmaram que a ictiofauna era composta, predominantemente, por indivíduos em ecofase jovem, de espécies migrantes. Nesses estudos, foram determinadas 44 famílias e 117 táxons: 113 na categoria espécie e 4 na categoria gênero, sendo 44% marinhas-estuarinas (M-E), 41% dulciaquícolas (D) e 15% marinhas (M).

Nos estudos de Andréa Carla Guimarães Paiva e colaboradores (comunicação pessoal), realizados em 2016 (dados ainda não publicados), na planície fluvio-marinha do rio São Francisco (de Penedo-AL até o estuário do São Francisco), foram coletados 3.772 indivíduos pertencentes a 82 táxons, estando 80 classificados ao nível de espécie, sendo descritos 54

novos registros (NR) de espécies para a bacia do rio São Francisco, todas associadas aos estuários ou de origem marinha.

Soares *et al.* (2020), trabalhando em 8 municípios do Baixo São Francisco, relataram o empobrecimento de exemplares nativos na composição das capturas, com 17 espécies coletadas, constatando o desaparecimento da curimatã-pacu *P. argenteus* e das pilombetas *Anchoviella* spp.

### Coleta da Ictiofauna

Nas expedições científicas de 2018 e 2019, os peixes foram capturados por pescadores em duas embarcações com motor de 5 Hp, com uso de malhadeiras com 100 metros e tarrafas de 6 metros, ambas de malha 30, 40 e 50 entrenós opostos, com faina diária de 6 horas. Os peixes capturados foram identificados, quando possível, em nível de ordem, família, gênero e espécie e, posteriormente, fixados em formol a 10% e, após 48 horas, fixados em álcool 70%. A identificação das espécies não realizadas no barco-laboratório e a confirmação das demais foram feitas no Laboratório de Aquicultura e Análise de Águas (Laqua/UFAL), onde estão depositados em frascos de vidro com volume de 2 e 5 litros para montagem de coleção ictiológica da expedição e analisados por literatura especializada.

Figura 33 - Aferição de parâmetros morfométricos.



Fonte: Arquivo da Expedição, novembro de 2019.

### Biologia da reprodução

O desenvolvimento ovariano foi determinado segundo a Escala de Vazzoler (1996); Estádio A: imaturo ou virgem; Estádio B: em maturação; estágio C: Maduro; Estádio D: Esvaziado; Estádio E: Repouso.



Figura 34 - Observação das gônadas para determinação de estágio de maturação e desenvolvimento ovariano.



Fonte: Emerson Soares (2019).

### **Análise do conteúdo estomacal dos peixes do baixo São Francisco**

Para análise dos itens alimentares, foram realizadas comparações qualitativa e quantitativa dos percentuais de ocorrência e dos pesos por espécie e, no total dos peixes, em cada trecho de coleta. Seguiu-se a metodologia de avaliação e análise do conteúdo estomacal dos peixes, constando da combinação dos métodos de frequência de ocorrência e do método volumétrico, adaptado de Kawakami e Vazzoler (1980).

Foram analisados os estômagos de amostras de peixes por ponto de coleta e por espécie, totalizando 113 exemplares. Para a análise do conteúdo estomacal, foram determinados a frequência volumétrica, através de observação ocular *in loco*, a presença do item alimentar e o índice de repleção. O índice de repleção do estômago foi determinado com base na avaliação quantitativa de alimento no estômago, expressa em porcentagem (NAMORA, 2003).

Figura 35 - Remoção de tecidos dos exemplares capturados



Fonte: Arquivos da Expedição, novembro de 2019.

## Entendendo a dinâmica das espécies reofílicas no baixo São Francisco

A exemplo do Médio São Francisco, onde as espécies reofílicas começam o período reprodutivo em outubro, logo após a chegada das chuvas, com o aumento do sedimento, os peixes migram em direção às áreas de confluência e turbulência para desova e retornam, posteriormente, às lagoas marginais (GODINHO; GODINHO, 2003). No Baixo São Francisco, as espécies médio-migradoras, com destaque para *Prochilodus argenteus*, *Metynnis maculatus*, *Megaleporinus obtusidens* e *Schizodon knerii*, entre outras, seguem essa dinâmica de interação entre os habitats (calha do rio, afluentes e lagoas marginais), onde parte do tempo (seca) permanecem nas áreas mais marginais, abrigadas ou com diminuição de correntezas, começam seus períodos reprodutivos a partir de outubro (ainda seca) e, contudo, na aproximação do período de chuvas ou trovoadas (fevereiro a maio), intensificam a migração reprodutiva.

Todavia, a região do Baixo São Francisco sofre com problemas de diminuição de vazão, patrocinada pelas hidroelétricas de Sobradinho e Xingó, o que proporciona ciclos reprodutivos artificiais, ou seja, dependendo do ciclo de chuvas, nas cabeceiras de afluentes do São Francisco à montante das represas e em anos de maior ou menor pluviosidade podem ou não aumentar a vazão do rio na região do baixo, influenciando no ciclo reprodutivo das espécies de piracema. As defluências e alterações no fluxo de água, impedimento a migração reprodutiva, alterações do regime lótico para lântico, modificação da estrutura da comunidade aquática, poluentes e contaminantes (agrotóxicos e efluentes domésticos), pesca com apetrechos não permitidos, captura de exemplares que não atingiram a maturação sexual, diminuição das áreas dos habitats destes organismos, desmatamento das áreas marginais, diminuição de área de alimentação e aumento da intrusão salina estão entre os problemas que impactam a reprodução dos organismos aquáticos e a geração de novos indivíduos (ANA, 2013; SOARES *et al.*, 2020) (Figuras 36 e 37).

Relatórios da ANA em 1998-1999 já denunciavam o desaparecimento de espécies quando afirmavam, através de entrevistas com pescadores, a ausência de pelo menos 12 espécies de peixes, tais como: *Pimelodus maculatus* (mandim), *Steindacherina elegans* (aragu), *Parauchenipterus galeatus* (cumbá), *Acestrochynchus lacustris* (lambiá, niqum ou pacamom), *Lophiosilurus alexandri* (pacamã), *Prochilodus argenteus* (curimatã-pacu), *Conorhynchus conirostris* (pirá), *Pseudoplatystoma corruscans* (surubim, pilombeta), *Anchoviella lepidentostole* (piauí), *Schizodon knerii* e *Moenkhausia costae* (piaba mantega).

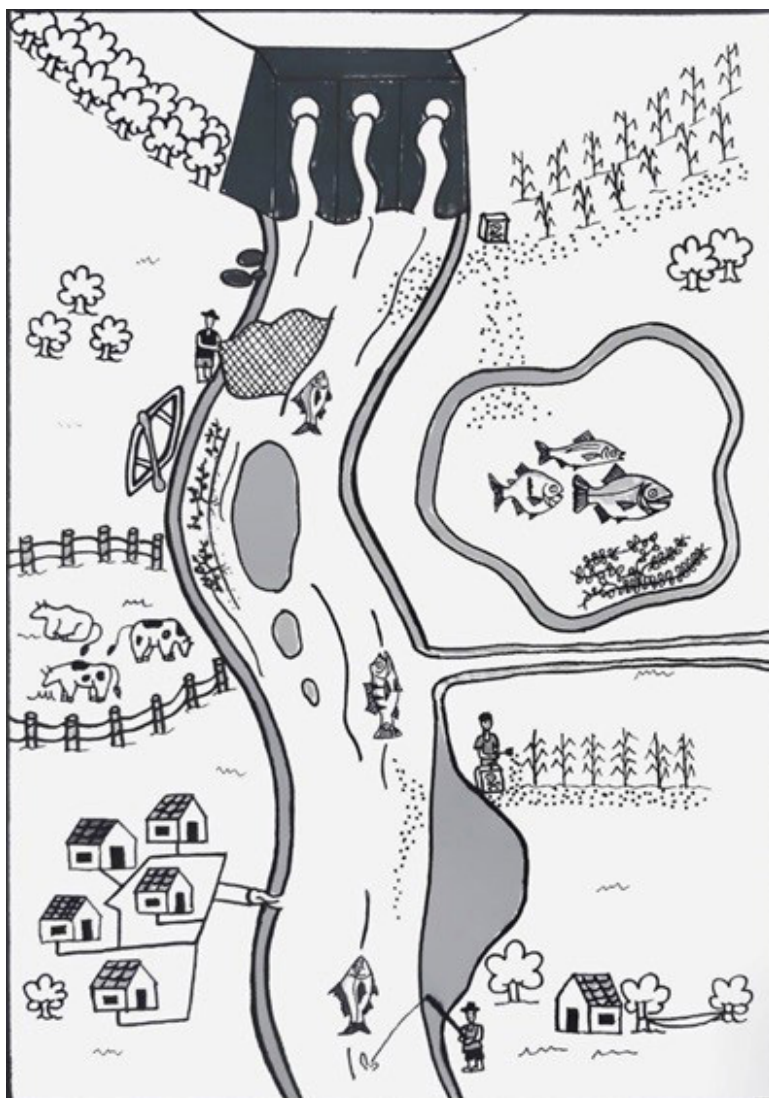
De acordo com a ANA (2017), os maiores problemas no rio São Francisco, em termos de impactos antrópicos, decorrem do lançamento de esgotos domésticos que depreciam os níveis de Oxigênio dissolvido e aumentam a quantidade de matéria orgânica e de coliformes fecais, despejo de efluentes por atividades mineradoras (Cobre, Zinco, Cádmiio, Cromo e Chumbo), projetos de irrigação (propiciam o aumento de pesticidas e fertilizantes) e assoreamentos da calha (aumentam a quantidade de sólidos suspensos e a turbidez). Esses impactos, adicionados pelo aumento dos períodos de seca e competição com espécies exóticas, faz com que ocorra o desaparecimento de espécies de peixes nativos no Baixo São Francisco.

Para entendermos o ciclo reprodutivo das espécies reofílicas, observamos, abaixo, a Figura 36 – período de seca e a Figura 37 – período de enchente no Baixo São Francisco:

Na imagem a seguir, podemos observar uma situação de ausência de chuvas e diminuição de vazão, bem típica na maior parte do ano na região. São visualizadas diversas atividades, como pecuária, agricultura nas margens da calha do rio, uso de agrotóxicos em

alguns tipos de culturas, lançamentos de esgotos e efluentes das cidades, formação de bancos de areia devido ao processo erosivo nas margens e ausência de vegetação da mata ciliar, que provoca o enfraquecimento do solo.

Figura 36 - Dinâmica hidrológica e correlação com espécies reofílicas ou migradoras, no período de seca.



Fonte: Imagem cedida por Emily Valentim (2020).

Neste período, notamos a diminuição do volume de água e áreas, com transformação do sistema lótico (com maiores correntezas e trocas de água) para lântico (água mais parada), diminuindo os habitats para as espécies de peixes, com isso, favorecendo as capturas destas, inclusive com tamanho de captura não permitido pela legislação ambiental e instruções normativas de defeso (estas instruções normativas precisam ser atualizadas) e com práticas de pesca, em algumas oportunidades, danosas ao meio ambiente.

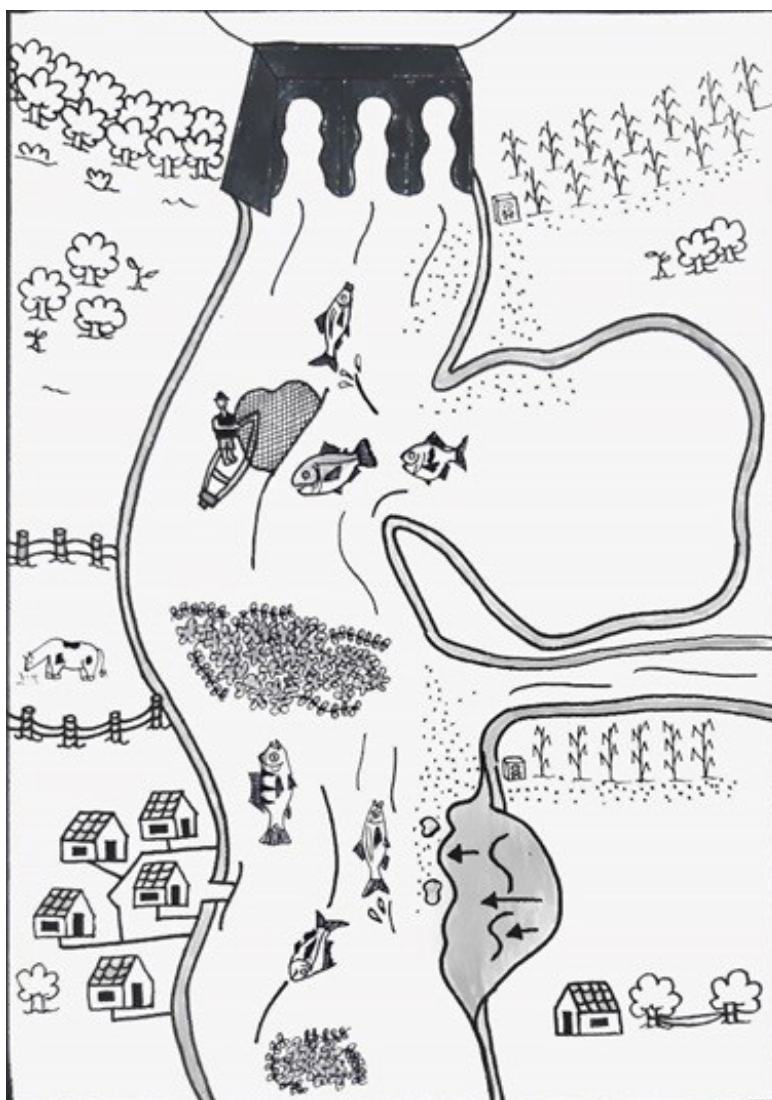
O grande acúmulo de macrófitas aquáticas decorre de aumento da carga orgânica, menor capacidade depurativa do rio e concentração de nutrientes decorrentes da decomposição de matéria orgânica, maior volume de esgotos e agrotóxicos e diminuição da profundidade,



que, conjuntamente com a maior influência da radiação solar nas partes mais profundas do ambiente aquático, favorece o desenvolvimento dessas plantas.

Nota-se também que parte das espécies migradoras passam parte do tempo em lagoas marginais e ambientes sem contato com a calha principal do rio e/ou nas áreas com grandes bancos de macrófitas, à espera de que o incremento do volume de água proporcionado pelo aumento da vazão e de chuvas possa, finalmente, migrar dessas regiões eutrofizadas e ricas em nutrientes, devido ao acúmulo de matéria orgânica depositada, na maior parte dos anos, por meio dos lançamentos de dejetos e de fertilizantes, para, finalmente, completar o ciclo reprodutivo em áreas mais oxigenadas e de grande movimentação de sedimentos.

Figura 37 - Situação no Baixo São Francisco com o período de cheia.



Fonte: imagem cedida por Emilly Valentim (2020).

Na Figura 37, observa-se um período de cheia, com aumento da vazão, do volume de chuvas na região, aumento dos níveis de sedimentos do rio, queda de barrancos, maior carga de material oriundo dos afluentes temporários e alguns perenes na região, com destaque para os rios Traipu, Ipanema, Capia, Jacaré, Perucaba, Betume e Piauí. Nesta condição, temos

uma renovação das águas e diminuição da concentração de nutrientes em determinadas áreas; conseqüentemente, a calha do rio faz contato com as lagoas marginais (uma das mais importantes áreas é a Marituba do Peixe), antes isoladas; desta forma, os peixes reofílicos saem destes ambientes e iniciam o processo de migração reprodutiva com maturação de suas gônadas (órgãos sexuais masculinos e femininos), para áreas de confluências, em muitos casos, pontos mais oxigenados e de maior turbidez, para gerar as próximas gerações. Contudo, após o processo de enchente, novas ilhas são formadas, devido ao grande acúmulo de sedimentos, voltando aos patamares da Figura 36.

Como podemos observar, os impactos provocados pelas usinas hidrelétricas, alterando o sistema lótico para lêntico, refletiram em modificações na estrutura das comunidades de peixes (ANDRADE; ARAÚJO, 2011). Entre essas modificações, destacam-se a interferência na composição e no comportamento, assim como na migração reprodutiva dos peixes, fazendo com que algumas entrassem em colapso (BARBOSA; SOARES, 2009; SOARES *et al.*, 2020). Por outro lado, os contaminantes e esgotos também vêm causando problemas e estresse para as comunidades aquáticas, interferindo no processo reprodutivo. Diante deste contexto, é necessário que estratégias eficientes sejam tomadas com relação ao estudo da bioecologia e à identificação das espécies distribuídas no São Francisco, a fim de mitigar os efeitos danosos provocados no ambiente pelas ações antrópicas (RAMOS, 2001).

Nas duas expedições científicas, realizadas em 2018 e 2019, cerca de 70% dos peixes coletados nos meses de outubro e novembro estavam em estágio de maturação considerados maduros, com machos espermeando quando massageados na região abdominal, enquanto as fêmeas estavam na fase de desenvolvimento ovocitário II, estágio em que os ovócitos encontravam-se com estoque de reserva perinucleolar, citoplasma bem definido, nucléolos esféricos e intensamente basófilos (VAZZOLER, 1996).

### Ictiofauna coletada nas expedições de 2018-2019

Durante as expedições de 2018 e 2019, foram coletados cerca de 100 e 220 exemplares de peixes, respectivamente, capturados por malhadeiras com malhas de 35 a 45mm (nó a nó). Os dados estão apresentados na tabela abaixo:

Tabela 24 - Espécies coletadas durante a expedição ao Baixo São Francisco, em 2018.

Ordem	Família	Espécie	n	Nome comum
Characiformes	Erythrinidae	<i>Hoplias microcephalus</i>	8	Traíra - N
	Serrasalmidae	<i>Metynnis maculatus</i>	9	Pacu-disco - N
		<i>Pygocentrus piraya</i>	5	Piranha-preta - N
		<i>Serrasalmus brandtii</i>	11	Pirambeba - N
	Anostomidae	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	4	Piau-três- pintas - N
		<i>Schizodon knerii</i>	3	Piau-de-vara - N
Prochilodontidae	<i>Prochilodus argenteus</i>	1	Curimatã- pacu - N	



Siluriformes	Ariidae	<i>Cathorops agassizii</i>	10	Bagre-do-mar - M
Perciformes	Centropomidae	<i>Centropomus parallelus</i>	8	Robalo - M
		<i>Centropomus undecimalis</i>	2	Robalo-flecha - M
	Carangidae	<i>Caranx latus</i>	11	Xareu - M
	Gerreidae	<i>Eugerres brasiliensis</i>	6	Carapeba - M
		<i>Archosargus probatocephalus</i>	8	Sargo-dente - M
	Cichlidae	<i>Cichla monoculus</i>	14	Tucunaré - I
		<i>Oreochromis niloticus</i>	10	Tilápia-do-nylo - I
	Eletridae	<i>Guavina guavina</i>	5	Amoreia - M
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Lagocephalus</i>	4	Baiacu-arara -M
		<i>laevigatus</i>		

Fonte: Emerson Soares (2018).

Legenda: N = Nativa; M = Marinha e I = Introduzida; n = número de exemplares coletados.

Tabela 25 - Espécies coletadas durante a expedição ao baixo São Francisco em 2019.

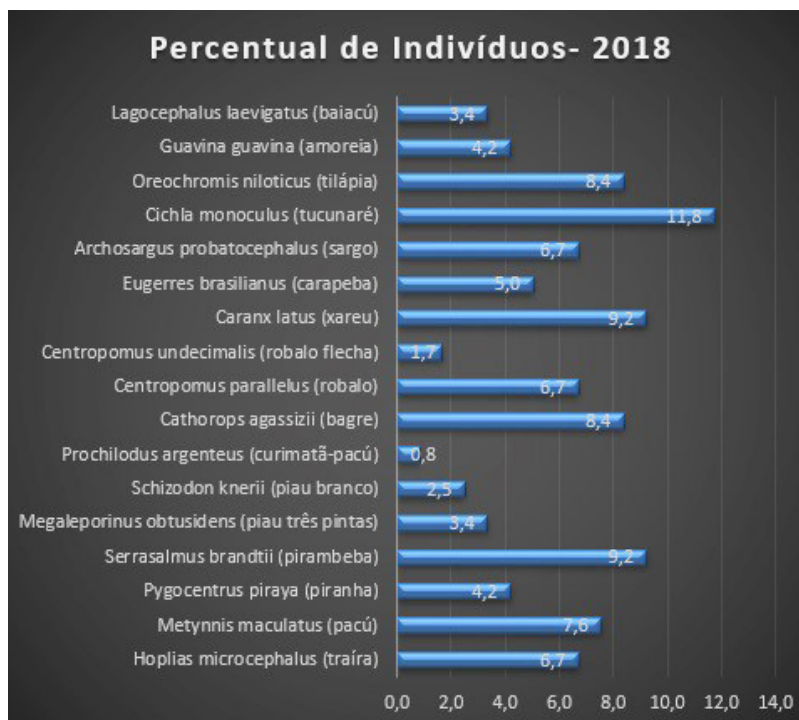
Ordem	Família	Espécie	n	Nome comum
Characiformes	Erythrinidae	<i>Hoplias microcephalus</i>	2	Traíra (N)
	Serrasalminidae	<i>Metynnis maculatus</i>	65	Pacu-disco (N)
		<i>Pygocentrus nattereri</i>	7	Piranha-verdadeira (N)
		<i>Serrasalmus brandtii</i>	27	Pirambéba (N)
	Anostomidae	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	10	Piau-três-pintas (N)
		<i>Schizodon kneri</i>	35	Piau-de-vara (N)
Prochilodontidae	<i>Prochilodus argenteus</i>	2	Curimatã-pacu (N)	
	Characidae	<i>Colossoma macropomum</i>	13	Tambaqui (I)
Siluriformes	Ariidae	<i>Cathorops agassizii</i>	2	Bagre-do-mar (M)
	Pseudopimelodidae	<i>Lophiosilurus alexandrii</i>	2	Pacamã (N)
Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil curema</i>	2	Tainha (M)
Beloniformes	Belonidae	<i>Tylosurus acus acus</i>	1	Agulhão - M
Perciformes	Centropomidae	<i>Centropomus parallelus</i>	3	Robalo - M

		<i>Centropomus undecimalis</i>	1	Robalo-flecha - M
Gobidae		<i>Bathygobius soporator</i>	2	Aimoré- M
Sparidae		<i>Archosargus probatocephalus</i>	4	Sargo-de-dentes- M
Carangidae		<i>Trachinotus carolinus</i>	1	Pampo - M
Carangidae		<i>Caranx latus</i>	3	Xareu - M
		<i>Eugerres brasilianus</i>	7	Carapeba verdadeira - M
Gerreidae		<i>Eucinostomus melanopterus</i>	2	Carapeba - M
Cichlidae		<i>Cichla monoculus</i>	5	Tucunaré - I
		<i>Astronotus ocellatus</i>	4	Apaiari - I
Eletridae		<i>Guavina guavina</i>	1	Amoreia - M
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Lagocephalus laevigatus</i>	5	Baiacu-arara -M

Legenda: N = Nativa; M = Marinha e I = Introduzida; n = número de exemplares coletados.

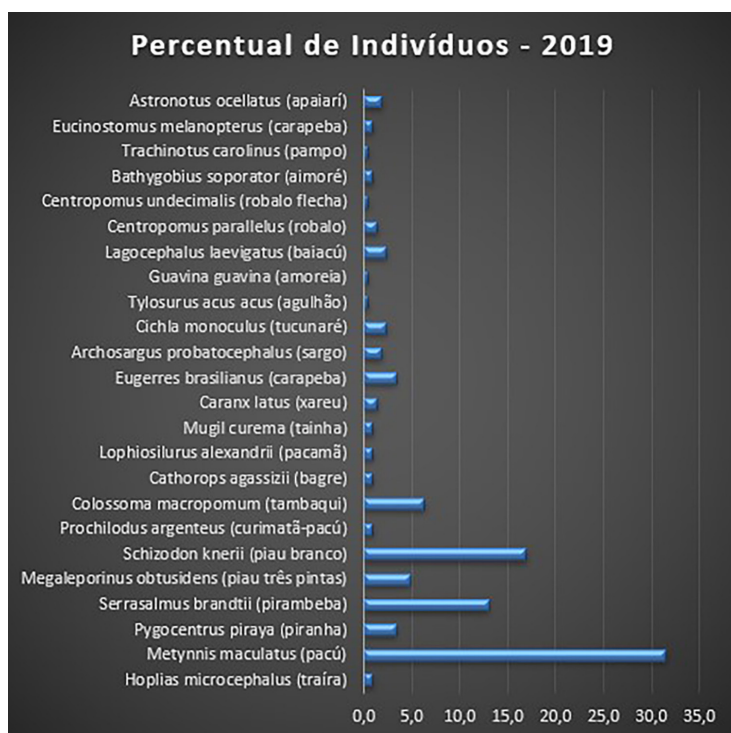
Fonte: Emerson Soares (2019).

Figura 38 - Percentual de espécies de peixes encontradas na I Expedição Científica, em 2018.



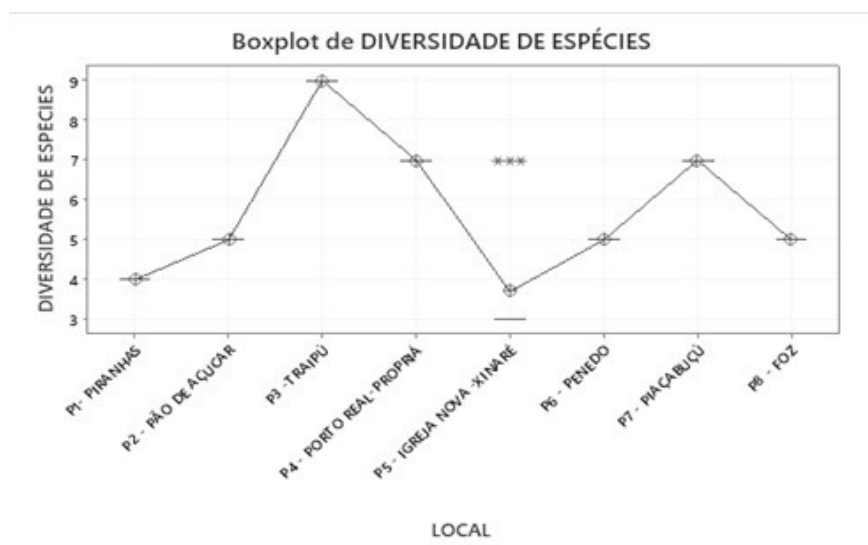
Fonte: Emerson Soares (2020).

Figura 39 - Percentual de espécies de peixes encontradas na II Expedição Científica, em 2019.



Fonte: Emerson Soares (2020).

Figura 40 - Diversidade de espécies de peixes comerciais por localidade, em 2019.



Fonte: Emerson Soares (2020).

O ano de 2018 teve como principais características a diminuição do volume de chuvas e uma vazão que ficou próxima a 500 m<sup>3</sup>/s, que influenciou significativamente no movimento migratório das espécies reofílicas, no aumento da concentração da carga de efluentes, decorrente do menor volume de água e menor capacidade depurativa do próprio rio. Estes fatores, associados à vulnerabilidade dos organismos face aos apetrechos de pesca (menos

áreas de refúgio) e às condições estressantes de qualidade de água, podem ter contribuído para a diminuição dos peixes.

Já em 2019, foram encontradas condições hidrológicas melhores, decorrentes do aumento do regime chuvoso e da vazão, com aproximadamente 1.300 m<sup>3</sup>/s, que proporcionou maiores áreas de refúgio, maior capacidade depurativa do rio e conexão entre os afluentes e as lagoas marginais. O reflexo disso foi a diminuição da cunha salina, o aumento de espécies de água doce e a menor quantidade de espécies marinhas nas regiões abordadas em 2018.

Os dados observados na Figura 40 apresentam Traipu como região de maior diversidade de espécies de peixes, seguidas por Porto Real-Propriá e Piaçabuçu (não diferiram entre si, Teste de Tukey,  $P < 0,05$ ). Nas outras regiões de coleta, foi observada uma baixa diversidade de espécies, em comparação com as três regiões acima.

De acordo com estudos realizados por Barbosa e Soares (2009) e Barbosa *et al.* (2017), a ictiofauna da bacia do rio São Francisco é composta por 32 famílias, 110 gêneros e 241 espécies, pertencentes a sete ordens: Clupeiformes, Characiformes, Siluriformes, Gymnotiformes, Cypriniformes, Sinbranchiformes e Perciformes. Na distribuição das famílias, gêneros e espécies, por ordem, destacam-se as ordens Characiformes, com 13 famílias, 44 gêneros e 77 espécies, e a ordem Siluriformes, com 10 famílias, 47 gêneros e 85 espécies, pela maior diversidade nestes táxons, demonstrando grande capacidade de dispersão e especiação desses grupos.

Os mesmos autores concluíram que, dentre as espécies nativas da bacia, várias apresentam importância na alimentação humana, por isso, são alvo de intensa pesca, destacando-se: curimatãs (*Prochilodus argenteus*), dourado (*Salminus franciscanus*), mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*), mandi-açu (*Duopalatinus emarginatus*), piaus (*Leporinus spp.* e *Schizodon knerii*), traíras (*Hoplias spp.*), cascudo-preto (*Rhinelepis aspera*), corvinas e piranha (*Pygocentrus piraya*).

Dados obtidos nos estudos de Soares *et al.* (2011), na microrregião de Penedo, relataram predominância média de 19 espécies desembarcadas nos mercados desta região, para os anos de 2007 a 2009, das quais cerca de cinco representavam, em média, 80% da biomassa, tendo a curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*), os piaus (*Megaleporinus reinhardt* e *Megaleporinus obtusidens*), as pilombetas (*Anchoviella spp.*) e dois representantes da família *Centropomidae*, o robalo (*Centropomus undecimalis* e *C. parallelus*), completando a lista de espécies mais importantes na localidade.

Ao confrontarmos com os dados atuais obtidos pelas duas expedições científicas, percebe-se o empobrecimento de espécies nativas e de água doce na composição das capturas, com 17 espécies coletadas (2018), com um total de 119 indivíduos capturados e 24 espécies, em 2019, com um volume de capturas da ordem de 206 indivíduos, sendo que, destas, sete foram nativas para ambos os anos. Foi constatado o desaparecimento das curimatãs-pacus, pilombetas, pacamã e piabas *Astyanax sp.* e a diminuição das carapebas, com prevalência da ordem Perciformes, em detrimento dos Characiformes, outrora mais abundantes, e aumento de espécies eurihalinas e marinhas e exóticas com relação às nativas.

Permanece o panorama, no qual cerca de 5 ou 6 espécies representam entre 70% e 80% das capturas na região, com destaque para as espécies *M. maculatus* (pacu), *S. knerii* (piauí branco ou piauí de vara), *S. brandtii* (pirambeba), *C. macropomum* (tambaqui), *L. obtusidens* (piauí três pintas) e *E. brasiliensis* (carapeba verdadeira). Contudo, em 2018, as três espécies mais capturadas foram as pirambebas, seguidas dos pacus e tucunarés; já em 2019, destacaram-se

o pacu, os piaus e as pirambebas.

A seguir, podemos verificar a descrição das principais espécies de água doce coletadas nas expedições do Baixo São Francisco:

Figura 41 - *Serrasalmus brandtii* (pirambeba).



Fonte: Arquivos da Expedição (2019).

É uma espécie pertencente à ordem Characiformes, família *Serrasalmidae*, nativa da bacia do São Francisco, de desova parcelada, com picos no período chuvoso. Possui corpo alto e bastante comprimido lateralmente, com presença de espinho pré-dorsal e quilha ventral dotada de espinhos. Possui aproximadamente 22 cm de comprimento, padrão máximo (BRITSKI *et al.*, 1988), alimenta-se, quando nas fases juvenis, de insetos, escamas, olhos e nadadeiras e, quando adulto, é piscívora (POMPEU, 1999), sendo de hábito bentopelágico.

Figura 42 - *Metynnis maculatus* (pacu-disco).



Fonte: Arquivos da Expedição (2019).



É uma espécie pertencente à ordem Characiformes, família *Serrasalminidae*, subfamília *Serrasalminae*. Corpo comprimido e muito alto; uma série de espinhos abdominais, nadadeira dorsal com mais de 16 raios e presença de um espinho pré-dorsal anteriormente direcionado. Apresentam duas séries de dentes molariformes ou incisiviformes. Tem hábito comportamental pelágico e alimenta-se de plantas e algas, conferindo hábito alimentar herbívoro.

Figura 43 - *Megaleporinus obtusidens* (piauí-três-pintas).



Fonte: Arquivos da Expedição (2019).

Figura 44 - *Schizodon knerii* (piauí branco)



Fonte: Arquivos da Expedição (2019).

A família *Anostomidae* pertence à ordem Characiformes. O *M. obtusidens* possui corpo alongado, coberto por escamas prateadas, nadadeiras peitorais, ventrais e anal, amareladas, com focinho proeminente. Apresenta três máculas no flanco. Já *S. knerii* possui boca terminal, corpo coberto por escamas, não possui manchas, com boca terminal e, às vezes, aparecem faixas transversais em seu corpo. É de grande importância comercial, com hábito onívoro e, quando juvenis, alimentam-se de moluscos, invertebrados, matéria vegetal e detritos, combinando com insetos, sementes, crustáceos e moluscos, como massunins (*Anomalocardia brasiliensis*) presentes no Baixo São Francisco. Com ciclo reprodutivo nos meses de outubro a março e maturação sexual por volta dos 18 cm a 20 cm, são peixes de desova total.

Figura 45 - *Cichla monoculus* (tucunaré)



Fonte: Ricardo Teodosio (2019).

O gênero *Cichla*, do qual fazem parte os tucunarés, pertence à superclasse Actinopterygii, peixes de nadadeiras raiadas, ordem Perciformes, família *Cichlidae*. Com cerca de 7.000 representantes, a ordem Perciformes é caracterizada pela presença de dois espinhos na porção anterior da nadadeira anal e nadadeira caudal em forma de losango. Apresenta duas nadadeiras dorsais ou uma dividida em duas porções, sendo a porção anterior com raios duros e a posterior com raios moles modificados. Apresentam características de um grande predador, devido à boca grande e protáctil, pré-maxila bastante proeminente, ultrapassando a porção médio-anterior da região orbital. Possuem coloração amarelo-oliva, com ventre claro ou avermelhado (dependendo da época de reprodução).

### **Breve relato das espécies da planície fluvio-marinha junto à foz do rio São Francisco**

A planície fluvio-marinha do rio São Francisco (PFRSF) estende-se desde a cidade de Penedo, no Estado de Alagoas, até o litoral, sendo constituída por superfícies planas, praticamente sem desníveis acentuados (DOMINGUEZ, 1996). A sua foz, localizada na Área de Proteção Ambiental (APA) de Piaçabuçu, compõe um ambiente de planície costeira, formado por vários canais, lagunas e várzeas, interligados entre si, além do rio principal, que deságua no oceano.

Para a análise dos dados, a área de amostragem foi considerada em três subáreas: I – desde a foz (ponto 1) até riacho dos Bagres (ponto 6), com 7,4 km de extensão; II – da ilha da Neri (ponto 7) até Croa dos Patos (ponto 12), com 14 km de extensão, e III – da ilha da Aparecida (ponto 13) até Prainha (ponto 18), com 9,6 km de extensão.

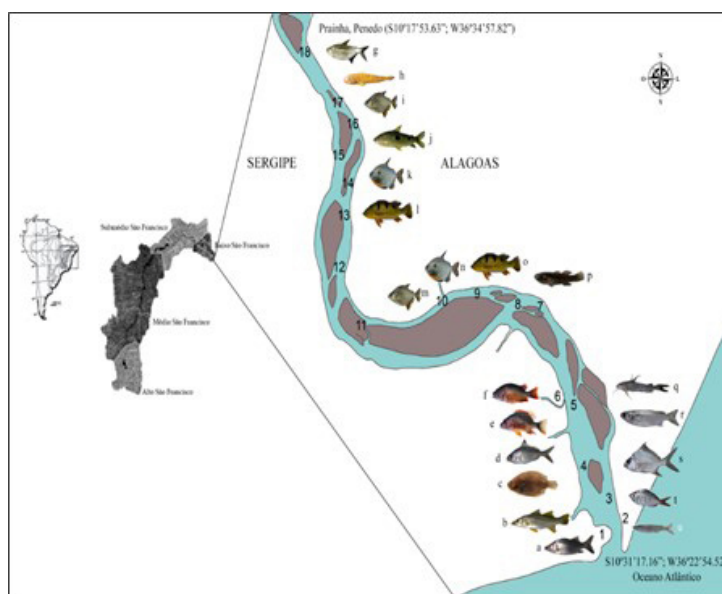
Na planície fluvio-marinha do rio São Francisco, foram coletados 3.772 indivíduos pertencentes a 82 táxons, estando 80 classificados em nível de espécie e dois em nível de gênero; representados por 31 famílias, sendo descritos 54 novos registros (NR) de espécies para a bacia do rio São Francisco, todas associadas aos estuários ou de origem marinha (PAIVA *et al.*, dados não publicados).

Tabela 26 - Espécies dominantes em cada subárea da planície fluvio-marinha do rio São Francisco, com respectivas classificações do grupo funcional (GF): duciaquícola (D), duciaquícola-estuarina (DE), marinha-duciaquícola-estuarina (MDE), marinha-estuarina (ME) e origem marinha (M).

Subárea I	GF	Subárea II	GF	Subárea III	GF
<i>Atherinella brasiliensis</i>	ME	<i>Cichla monoculus</i>	D	<i>Astyanax fasciatus</i>	D
<i>Centropomus parallelus</i>	MDE	<i>Eleotris pisonis</i>	MDE	<i>Awaous tajacica</i>	DE
<i>Centropomus undecimalis</i>	MDE	<i>Metynnis maculatus</i>	D	<i>Cichla monoculus</i>	D
<i>Citharichthys spilopterus</i>	MDE	<i>Serrasalmus brandtii</i>	D	<i>Leporinus piau</i>	D
<i>Eucinostomus melanopterus</i>	MDE			<i>Metynnis maculatus</i>	D
<i>Eucinostomus sp.</i>				<i>Serrasalmus brandtii</i>	D
<i>Eugerres brasilianus</i>	M				
<i>Lutjanus alexandrei</i>	M				
<i>Lutjanus jocu</i>	MDE				
<i>Mugil sp.</i>					
<i>Sciades herzbergii</i>	MDE				

Fonte: Andréa Guimarães (2017).

Figura 46 - Distribuição espacial das espécies dominantes na planície fluvio-marinha do rio São Francisco. a. *Centropomus parallelus*; b. *Centropomus undecimalis*; c. *Citharichthys spilopterus*; d. *Eucinostomus melanopterus*; e. *Lutjanus alexandrei*; f. *Lutjanus jocu*; g. *Astyanax fasciatus*; h. *Awaous tajacica*; i. *Serrasalmus brandtii*; j. *Leporinus piau*; k. *Metynnis maculatus*; l. *Cichla monoculus*; m. *Serrasalmus brandtii*; n. *Metynnis maculatus*; o. *Cichla monoculus*; p. *Awaous tajacica*; q. *Sciades herzbergii*; r. *Mugil sp.* s. *Eugerres brasilianus*; t. *Eucinostomus sp.*; u. *Atherinella brasiliensis*.



Fonte: Andréa Guimarães (2017).

De acordo com Paiva e colaboradores (comunicação pessoal), as famílias estuarinas típicas como *Carangidae*, *Clupeidae*, *Engraulidae*, *Gerreidae* e *Lutjanidae*, representadas por *Caranx latus*, *Harengula clupeola*, *Anchovia clupeoides*, *Diapterus rhombeus*, *Lutjanus jocu*, entre outras, foram exclusivas da subárea I. Além das espécies duciaquícolas, nas subáreas II e III, as espécies marinhas-duciaquícolas-estuarinas (MDE) ocorreram em números consideráveis. As espécies MDE são altamente eurialinas, sendo capazes de resistir a mudanças rápidas e amplas de salinidade.

## Conteúdo estomacal dos peixes

Estão expressos abaixo, na Tabela 27, os dados observados das amostras de peixes capturadas durante a II Expedição Científica do Baixo São Francisco, assim como os valores médios dos índices de repleção do estômago.

Tabela 27 - Dados coletados para avaliação de conteúdo estomacal dos peixes capturados durante a II Expedição Científica do Baixo São Francisco.

Espécies (Nome comum)	Classe de comprimento (cm)		Classe de peso (g)	Total de exemplares (n)	IR n (% de enchimento)
	total	padrão			
Tucunaré	28,0-28,5	24,0-23,5	260-310	4	n=2 (0%) n=2 (100%)
Piau branco	28,2-39,0	25,6-34,5	305-1000	19	n=8 (0%) n=6 (25%) n=4 (50%) n=1 (75%)
Piau-três- pintas	27,4-32,0	23,0-27,8	245-580	4	n= 1 (0%) n=2 (25%) n=1 (50%)
Pacu	13,6-20,8	11,0-14,0	75,0-140,0	42	n= 25 (0%) n=10 (25%) n=3 (50%) n=4 (75%)
Tambaqui	20,3-30,0	17,2-25,0	230,0- 595,0	13	n= 7 (0%) n= 3 (25%) n= 3 (50%)
Pirambeba	16,2-22,5	14,0-20,0	95,0-260,0	14	n= 8 (0%) n= 3 (25%) n= 2(50%) n=1 (75%)
Carapeba	15,0-17,8	13,3-14,0	70,0-90,0	5	n= 4 (25%) n= 1(50%)

Fonte: Elton Santos (2020).

A espécie com maior número de indivíduos amostrados foi o pacu; entretanto, os exemplares desta espécie apresentaram maior taxa de retenção, possivelmente, devido ao aumento da vazão do rio durante o período da expedição, dissipando o principal alimento para essas espécies. O conteúdo estomacal foi composto por fitoplâncton e microalgas em

quase a totalidade do trato digestivo e, como segundo item, restos em decomposição de insetos e moluscos.

O piau branco e piau-três-pintas obtiveram, como índice mais presente em seu trato digestivo, algas e matéria orgânica em decomposição.

As figuras abaixo expressam a abertura do estômago através de corte longitudinal e a identificação dos componentes por frequência dos itens e percentual.

Figura 47 - Procedimentos durante a análise do conteúdo estomacal dos peixes capturados



Fonte: Ricardo Teodósio (2019).

As espécies avaliadas e capturadas durante a expedição são, de certo modo, as de maior importância socioeconômica para a região do Baixo São Francisco, sendo uma das principais espécies de peixes capturadas e consumidas pela população ribeirinha do rio São Francisco. O conhecimento do perfil de alimentação natural a que essas espécies estão sendo submetidas é de grande pertinência para a avaliação das condições de equilíbrio ecológico.

As categorias tróficas identificadas demonstraram uma dieta composta por diferentes e variados itens ao longo das diferentes localidades de coleta. Para diversas espécies de peixes, foram registrados insetos, camarão, outros invertebrados, peixes e partes, material digerido, detritos, sedimentos, material vegetal, moluscos e algas. Quanto às guildas de animais carnívoros, predominaram os itens peixes, escamas, camarões e moluscos. Contudo, as espécies analisadas no presente estudo podem variar seus conteúdos, de acordo com a época do ano. É o caso das carapebas analisadas na região de Piaçabuçu, durante a expedição de 2019, que apresentaram detritos minerais, restos de poliquetas e matéria orgânica em decomposição como itens mais frequentes, enquanto em 2015, insetos da família *Chironomidae*, poliquetas e anfípodas, foram os itens mais comuns (Soares *et al.*, 2016). Segundo Santos (2014), a mudança no volume de água dos reservatórios é considerada um fator relevante quando relacionado à estrutura trófica, podendo ocasionar, de forma significativa, mudanças na dieta natural dos peixes, uma vez que as variações hidrológicas afetam a disponibilidade dos recursos alimentares.

Algumas espécies não nativas e de hábito carnívoro, a exemplo do tucunaré, apresentaram conteúdo estomacal composto por pequenos peixes e crustáceos, revelando a forte ameaça que essa espécie pode ter sobre a sobrevivência e o desenvolvimento de formas jovens de peixes e camarões nativos do rio São Francisco, podendo, inclusive, desequilibrar a



teia alimentar de muitas outras espécies. De forma idêntica, a pirambeba (espécie carnívora) apresentou restos de crustáceos e pequenos peixes como itens mais frequentes.

O tambaqui, peixe exótico do rio São Francisco, capturado próximo ao município de Porto Real do Colégio, continha restos de crustáceos, conchas de gastrópodes e de massunin (*Anomalocardia brasiliiana*), além de detritos e material vegetal não identificável.

Tabela 28 - Presença dos itens alimentares das principais espécies de peixes coletados durante a II Expedição Científica do Baixo São Francisco.

Itens alimentares	Espécies de peixes (nome comum)						
	tucunaré	Piau branco	Piau-três-pintas	pacu	tambaqui	pirambeba	carapeba
Algas e fitoplâncton	-	+	+	+	+	-	+
Poliquetas	-	-	-	-	-	-	+
Detritos e sedimentos	-	+	+	+	+	-	+
Partes de insetos	-	+	-	+	-	-	-
Material vegetal	-	+	+	+	+	-	-
Crustáceos	+	-	-	+	+	+	-
Peixes	+	-	-	-	-	+	-
Escamas	+	-	-	+	-	+	-
Conchas de moluscos	-	-	-	+	+	+	-
Material não identificável	+	+	+	+	+	+	+

Fonte: Elton Santos (2020).

Assim, a verificação e a análise do conteúdo estomacal dos peixes, baseando-se na dieta natural dos exemplares capturados durante a II Expedição Científica no Baixo São Francisco, apresenta, de forma genérica, que os principais itens alimentares explorados por essa comunidade de peixes baseiam-se em algas, vegetais, insetos e crustáceos, para a maior parte das espécies, apontando indícios de que a onivoria possa ser o principal comportamento trófico desta comunidade. Entretanto, a exceção faz-se para as espécies comprovadamente carnívoras, como: tucunaré, pirambeba e traíra, cujos principais itens alimentares presentes foram partes de peixes e crustáceos.

De forma geral, o estudo do conteúdo estomacal dos peixes e de seus hábitos alimentares mostra-se de extrema importância para a amplitude do entendimento da dinâmica do rio São Francisco, em seu espaço e distribuição temporal e espacial das espécies. Esses estudos podem servir como uma valiosa ferramenta de estratégias de manejo sustentável de espécies com potencial uso na aquicultura ou para a conservação de espécies nativas do rio São Francisco.







Oliveira (2015) destaca e reconhece que há esforços científicos focados nesta questão no estudo e que, nas últimas décadas, tem ocorrido um aumento nos estudos relacionados à
















alimentação natural de peixes, sendo mais intensificados para as regiões Norte, Sul e Sudeste do Brasil. No entanto, a maior parte do conhecimento relacionado à dieta e ao hábito alimentar de peixes no Brasil concentra-se para espécies de maior interesse comercial, sendo os estudos sobre fisiologia, alimentação e possíveis protocolos de manejo de criação e nutricional de peixes nativos ainda repelidos.

Desse modo, em se tratando de pesquisas com manejo nutricional e alimentação de espécies nativas do rio São Francisco, o conjunto de informações científicas é ainda mais escasso. Vale destacar a baixa quantidade de peixes capturados durante a expedição, como a curimatã-pacu, ou até mesmo a ausência de captura de peixes como o surubim, fato que é corroborado por relatos informais de pescadores e da população, ao longo de todo o rio. Espécies como o curimatã-pacu e o surubim, que são peixes nativos, possuem grande importância na cadeia trófica do rio e são exemplares de ampla aceitação pelo mercado consumidor.

Um outro aspecto a ser considerado remete à avaliação do conteúdo estomacal dos peixes, que pode ser um instrumento balizador na avaliação da condição ecológica do rio, equilíbrio ecológico e saúde da população ribeirinha, visto que, em um dos exemplares analisados, foi observada grande quantidade de plástico e material laminado no estômago. Esse evento remete-nos à reflexão de como o rio São Francisco está sendo utilizado e como está o nível de degradação do ambiente aquático.

## **Considerações finais e perspectivas de pesquisa-ação para melhorias na região do baixo rio São Francisco quanto à ictiofauna**

-  A ictiofauna no baixo São Francisco é de pouca diversidade e quantidade, onde cerca de 6 espécies representam 80% das capturas na região;
-  Podem ser consideradas espécies quase extintas ou em processo de declínio: curimatãs-pacus (*P. argenteus*), pilombetas (*Anchoviella* sp.), surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), dourado (*Salminus franciscanus*), pacamã – (*L. alexandrii*), pirá (*Conorhynchus conirostris*) e piaba (*A. bimaculatus*);
-  A diminuição da vazão, a pesca com métodos não permitidos, o represamento da água, o desmatamento da vegetação ciliar, o assoreamento, a poluição de efluentes das cidades e os agrotóxicos, aliados à diminuição do regime de chuvas, vêm prejudicando a reprodução dos peixes, afetando as migrações reprodutivas de espécies de piracema e esgotando os estoques pesqueiros;
-  A grande quantidade de esgotos e lixo jogados na calha do rio prejudica a qualidade de água, o que provoca forte estresse para as espécies, colaborando para a diminuição do alimento natural e o desenvolvimento dos peixes;
-  Menor volume de água e maior assoreamento favorecem à diminuição das áreas de fuga, menor quantidade de sedimentos, aumento da visibilidade por parte de peixes carnívoros e predadores, restringindo as áreas de proteção de indivíduos jovens, favorecendo a predação por organismos adultos e exóticos à bacia (tucunarés, apaiaris, piranhas, pirambebas etc.) dos organismos jovens e na fase imatura, colaborando para a depleção dos estoques pesqueiros nativos. Isso explica a presença de grande número de peixes exóticos e de hábito alimentar piscívoro, às vezes melhor adaptados à piora das condições ambientais;
-  O aumento da cunha salina em períodos de menor vazão e chuvas diminui os habitats de espécies nativas de água doce, aumentando a concorrência por alimento

- por parte de espécies eurihalinas ou marinhas.
-  Atualização urgente das instruções normativas de defeso, visto que estão defasadas e com embasamento científico incipiente;
  -  Retomada e fortalecimento urgente dos programas de peixamentos com definição de áreas-berçários, delimitadas e protegidas, durante alguns meses, através de acordos de pesca e manejo de áreas;
  -  Investimento imediato, por parte das instituições que trabalham com a gestão da água e do setor elétrico, em projetos de biomonitoramento contínuo no Baixo São Francisco, para ações como estatística pesqueira, monitoramento da qualidade da água, análise de poluentes, saneamento básico e manejo do solo;
  -  Proteção de áreas de confluência de rios como: Traipu, Perucaba, Jacaré, Piauí, Betume e Ipanema, com ações fiscalizatórias;
  -  Criação de agentes ambientais voluntários, com pessoal da própria comunidade;
  -  Em termos de estudos da ictiofauna, sugere-se delimitação de sub-áreas por proximidade hidrológica, ambiental e de espécies:
  -  Criação de um programa de educação ambiental nas escolas, com inserção de temas ambientais nos projetos pedagógicos;
  -  Revisão do período de defeso anual ou a cada dois anos, de acordo com a situação do sistema hídrico e da climatologia;
  -  Criação da bolsa ambiental, com incentivo àqueles que participam do programa de agentes ambientais voluntários e ações de conservação na região;
  -  Proteção integral da área da Marituba do Peixe;
  -  Incentivo a programas de cultivo de peixes em tanques-redes, delimitados por ações de controle das espécies exóticas e fugas de peixes desses sistemas de cultivo;
  -  Como decisão mais drástica, fechamento integral de áreas de pesca, com processos de manejo dialogado com a população;
  -  Ações integradas na gestão dos resíduos e dejetos das cidades ribeirinhas para contenção dos poluentes na água;
  -  Delimitação de uma vazão ecológica mínima, para evitar as chamadas “desovas secas”, processo em que os peixes, quando em fase reprodutiva, maturam suas gônadas (órgãos sexuais), mas não completam o ciclo reprodutivo, pelas condições ineficientes de estímulos ambientais em relação à fisiologia e à biologia reprodutiva;
  -  Planejamento urbano e contenção por prefeituras, MP e órgãos ambientais de fiscalização de áreas de ocupação desordenada às margens do rio e de áreas de confluências de afluentes e ilhas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Cuidando das águas**: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Brasília: ANA, 2013.

ALVES, C. B. M.; POMPEU, P. S. Historical changes in the Rio das Velhas Fish fauna – Brazil. **The American Fisheries Society Symposium**, v. 45, p. 587-602, 2005.

ANDRADE, E. de S.; ARAÚJO, J. da C. Medidas mitigadoras dos impactos ambientais causados por usinas hidrelétricas sobre peixes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 12, n. 3, p. 1-30, 2011.

ARTEDI, P.; LINNAEUS, C. V.; WALBAUM, J. J. Petri **Artedi Sueci Genera piscium**: in quibus systema totum ichthyologiae proponitur cum classibus, ordinibus, generum characteribus, specierum differentiis, observationibus plurimis: redactis speciebus 242 ad genera 52: Ichthyologiae pars III, 1792.

BARBOSA, J. M. et al. Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco. **ActaFish**, v. 5, n. 1, p. 70-90, 2017.

BARBOSA, J. M.; SOARES, E. C. S. Perfil da ictiofauna do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 4, n. 1, p. 155-172, 2009.

BRITSKI, H. A. Sobre a obra Velhas-Flodens Fiske [Peixes do Rio das Velhas]. In: ALVES, C. B. M.; POMPEU, P. S. (Org.). **Peixes do Rio das Velhas**: passado e presente. Belo Horizonte: Argvmentvm, 2010.

BRITSKI, H. A.; SATO, Y.; ROSA, A. B. S. **Manual de identificação de peixes da região de Três Marias**: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco. Brasília: Editora Câmara dos Deputados, Codevasf, 1986.

COSTA, F. J. C. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do Rio São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA**. Subprojeto 1.3 – Recomposição da ictiofauna reoflúvia do Baixo São Francisco. Resumo Executivo do Relatório Final. Canindé de São Francisco – SE: Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó, 2003.

FOWLER, H. W. Os peixes de água doce do Brasil. **I Arquivos de Zoologia**, v. 6, p. 1-625, 1948, 1950, 1951.

FOWLER, H. W. Os peixes de água doce do Brasil. **II Arquivos de Zoologia**, v. 9, p. 1-400, 1954.

FROESE, R.; PAULY, D. **World Wide Web electronic publication**. 2020. Disponível em: <http://www.fishbase.org>. Acesso em: jul. 8, 2020.

GODINHO, A. L.; GODINHO, H. P. Brief vision on the São Francisco. In: GODINHO, A. L.; GODINHO, H. P. (Ed.) **Waters, fishes, and fishermen of the São Francisco of Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003.

KAWAKAMI, E.; VAZZOLER, G. Método Gráfico e estimativa do índice alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. **Boletim Instituto Oceanográfico**, v. 29, n.2, p.205-207, 1980.

LÜTKEN, C. F. Velhas-Flodens fiske. Et bidrag til Brasiliens ichthyologi. Elfter Professor J. Reinhardt indsamlinger og optegnelser. **Kon Dank Vidensk Selsk Skrift** (Kjoebenhavn), v. 12, p. 122-252, 1875.

MARQUES, J. G. W. **Pescando Pescadores**. Etnoecologia Abrangente no Baixo São Francisco. São Paulo: NUPAUB/USP, SP. 1995, 304p.

NAMORA, R. C. **Hábitos alimentares do cação-frango** *Rhizoprionodon lalandii* (Elasmobranchii: Carcharhinidae) na costa sul de São Paulo. 2003. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2003.

OLIVEIRA, J. C. D. **Alimentação da Ictiofauna do Reservatório de Umari, Upanema/RN, Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró-RN, 2015.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. Ictiofauna de três lagoas marginais do médio São Francisco, p. 167-181. In: GODINHO, H. P.; GODINHO A. L. (org.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas. 2003.

SAMPAIO, C. L. S., PAIVA, A. C. P.; SOARES, E. C. Peixes, pesca e pescadores do Baixo São Francisco, Nordeste do Brasil. In: SOUZA, E. M.; SÁ, M. F. P. (Org.). **A pesca artesanal no Baixo São Francisco, atores, recursos, conflitos**. Petrolina-PE: Sabeh, 2015.

SANTOS, N. C. L. et al. Uso de recursos alimentares por *Plagioscion squamosissimus* – piscívoro não-nativo no reservatório de Sobradinho-BA, Brasil. Boletim Instituto de Pesca, v. 40, n. 3, p. 397-408, 2014.

SATO, Y.; GODINHO, H. P. Peixes da bacia do rio São Francisco. In: LOWE-MCCONNELL, R. H. (ed.) **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: EDUSP, 1999.

SOARES, E. C. et al. Expedition on the Lower São Francisco: An X-ray of fisheries and agriculture, pollution, silting and saline intrusion. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 3047-3064, 2020.

SOARES, E. C. et al. Ictiofauna e pesca no entorno de Penedo, Baixo São Francisco, Alagoas. **Biotemas** (UFSC), v. 24, p. 61-67, 2011.

SOARES, E. C. et al. Potential of carapeba *Eugerres brasiliianus* for production. Latin American Journal of Aquatic Research, v. 44, p. 718-725, 2016.

VAZZOLER, A. E. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos**: Teória e prática, Maringá: EDUEM; 1996.



# MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE INTESTINE, LIVER, AND GILLS OF FISH FROM THE LOWER SÃO FRANCISCO: HISTOPATHOLOGICAL AND HISTOCHEMICAL STUDY

Priscylla Costa Dantas  
Emerson Carlos Soares  
Themis de Jesus da Silva

## SUMMARY

The São Francisco River basin encompasses important biomes that provide a rich and diverse ichthyofauna, with endemic species of economic importance. The population increase that occurs along the river favors industrial expansion and increases the production of waste, resulting in unwanted effects on the environment. The Lower São Francisco region suffers from the impacts caused by anthropic actions, but there is little research on the effect of pollutants in the trophic chain, more specifically in local fish. Due to the scarcity of studies related to the histology of the intestine, liver, and gills of species from the Lower São Francisco, investigations into these target organs are indispensable to understand cellular poisoning in aquatic organisms. *Cichla monoculus* (tucunaré), *Schizodon knerii* (piau-branco), *Megaleporinus obtusidens* (piau-três-pintas) *Metynnis maculatus* (pacu), *Serrasalmus brandtii* (pirambeba), *Astronotus ocellatus* (acará-boi), *Colossoma macropomum* (tambaqui), and *Eugerres brasiliensis* (carapeba) tissue samples were collected at seven locations in the Lower São Francisco region. Morphological analysis of the liver showed similar characteristics to those found in most teleosts. Liver histology revealed cellular alterations in 93% of fish, with the presence of leukocyte infiltration, vacuolization of hepatocytes, dilatation of sinus vessels, congestion, necrosis, presence of melanomacrophage centers, and free melanomacrophages. The gills analyzed presented morphology similar to that described for most freshwater teleosts. However, 53% had some gill alterations, such as lamellar fusion, capillary disarrangement, hyperplasia, decreased interlamellar space, and aneurysm. The histochemical analysis detected that only tucunaré, piau-branco, pacu, and tambaqui gills showed a positive reaction to Schiff's reagent. There was a high morphological diversity among the species in the fish intestine, with a varied pattern in the arrangement of villi that directly relate to their eating functions and habits. It has been shown that through histopathology, it is possible to assess whether the fish from the Lower São Francisco have experienced events with stressful agents. Information on the liver, gills, and bowel histology of the Lower San Francisco species can serve as essential tools to support species management and understand fish's health status in the region.

## CAPÍTULO 8

# CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO INTESTINO, FÍGADO E BRÂNQUIAS DE PEIXES DO BAIXO SÃO FRANCISCO: ESTUDO HISTOPATOLÓGICO E HISTOQUÍMICO

Priscylla Costa Dantas<sup>41</sup>

Emerson Carlos Soares<sup>42</sup>

Themis de Jesus da Silva<sup>43</sup>

### INTRODUÇÃO

O crescimento econômico baseado na exploração indiscriminada dos recursos naturais não renováveis e na redução da biodiversidade contribuiu para as graves crises ambientais e sociais da atualidade. O aumento populacional favorece à expansão da cadeia produtiva em função do maior consumo de produtos, elevando, inevitavelmente, a produção de resíduos que ocasionam efeitos indesejados no meio ambiente e organismos vivos (MARTINE; ALVES, 2015; SOUZA *et al.*, 2018).

Devido à alta carga de compostos lançados na água, o ecossistema aquático é considerado um dos mais suscetíveis à poluição e contaminação, comumente associadas à descarga de efluentes domésticos, industriais ou agrícolas (MARTINEZ; CÓLUS, 2002), ocupação inadequada pela construção civil, utilização de terra para grandes cultivos e desmatamento da vegetação ciliar (SUNDFELD-PENIDO, 2010).

Os impactos causados pelas atividades antrópicas em corpos d'água podem ser mensurados por diversos métodos quantitativos e qualitativos, que utilizam diferentes parâmetros para caracterizar os efeitos adversos causados nos meios biótico e abiótico das áreas de interesse (PAGLIARINI; OLIVEIRA; ESPINDOLA, 2019). O crescente número de pesquisas desenvolvidas nessa área são justificadas pela necessidade de remediar os problemas causados pela sociedade moderna, além de possibilitar criação de ferramentas que permitam avaliar a qualidade do ambiente e antecipar o desenvolvimento de ações que possam minimizar as contaminações aos ecossistemas (BARETTA *et al.*, 2019).

A ecotoxicologia estuda o efeito de substâncias químicas em organismos vivos, sendo bastante utilizada como ferramenta para auxiliar em análises de impactos ambientais causados por tais elementos na água (WALKER *et al.*, 2006), baseada principalmente na resposta de organismos individuais a agentes estressores químicos.

Os organismos aquáticos são sensíveis à exposição a produtos químicos e acumulam poluentes diretamente através da água ou pela ingestão de outros organismos contaminados

<sup>41</sup> Engenheira Florestal, Doutora em Entomologia, Professora do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (Ceca), Universidade Federal de Alagoas.

<sup>42</sup> Engenheiro de pesca, Doutor em Biotecnologia, Professor do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (Ceca), Universidade Federal de Alagoas.

<sup>43</sup> Bióloga, Doutora em Biotecnologia, Professora do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (Ceca), Universidade Federal de Alagoas.

(MATSUMOTO *et al.*, 2006). Os peixes respondem rapidamente a ambientes impactados, devido à flexibilidade do tamanho do corpo, biologia e estratégias adaptativas (SNORRASON *et al.*, 1994).

Os cursos d'água e seu entorno são áreas que apresentam maior risco ambiental devido aos poluentes gerados pelas cidades que estão à sua margem. A região do Baixo São Francisco é uma das que mais sofrem com os impactos ocasionados pelas ações antrópicas. Por estar situada em uma região de conflito do Nordeste, com intensa exploração do rio pela comunidade local e circunvizinha para diversos fins, o Baixo São Francisco apresenta inúmeros problemas ocasionados pelo represamento do rio, sucessivos barramentos, salinidade e efluentes domésticos e agrícolas lançados na água. Contudo, a pesca ainda é uma das atividades de subsistência mais importantes, segundo os levantamentos realizados por Soares *et al.* (2011), Barbosa *et al.* (2017) e pelos dados obtidos no II Relatório da Expedição Científica do Baixo São Francisco (2020), onde os autores constataram abundância de espécies nativas de grande importância na alimentação humana e alvo de pesca intensiva.

De acordo com dados obtidos do Relatório da II Expedição Científica do Baixo São Francisco (2020), entre as espécies coletadas, podem-se destacar as endêmicas pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) (Characiforme, *Serrasalminidae*) e pacu (*Metynnis maculatus*) (Characiforme, *Serrasalminidae*), as espécies nativas piau-três-pintas (*Megaleporinus obtusidens*), piau branco (*Schizodon knerii*) (Characiforme, *Anostomidae*), as espécies introduzidas tucunaré (*Cichla monoculus*), acará-boi (*Astronotus ocellatus*) (Perciforme, *Cichlidae*), tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Characiforme, *Serrasalminidae*) e a espécie marinha carabepa (*Eugerres brasilianus*) (Perciforme, *Guerreidae*).

Ainda segundo o relatório, foi evidenciado o empobrecimento de algumas espécies nativas na composição das capturas, sendo constatada a diminuição de curimatás-pacus e pilombetas, e ocorreu aumento de espécies da ordem Perciformes e de espécies eurihalinas, marinhas e exóticas com relação às nativas (RELATÓRIO DA II EXPEDIÇÃO CIENTÍFICA DO BAIXO SÃO FRANCISCO, 2020). Esse resultado pode ser explicado pelo lançamento de efluentes nos corpos d'água, predominantemente de esgotos domésticos sem tratamento, causando a poluição hídrica da bacia (ANA, 2019). Além disso, a região do Baixo São Francisco possui grandes perímetros de monocultivos que demandam uma quantidade enorme de agrotóxicos e adubos químicos, utilizados sem a devida fiscalização (SILVA *et al.*, 2015; BRITTO, 2015). Esses impactos, somados ao aumento da salinidade e à competição com espécies exóticas, pode provocar desaparecimento de espécies de peixes nativos no Baixo São Francisco.

A periculosidade da contaminação de compostos químicos nos ecossistemas aquáticos pode não ser rapidamente detectada pelo fato de muitas dessas substâncias permanecerem em níveis subletais no meio ambiente aquático e não serem verificadas por não causarem morte imediata de peixes (FANTA *et al.*, 2003). Segundo Poleksic e Mitrovic-Tutundzic (1994), em um ambiente aquático degradado, particularmente onde os poluentes ocorrem em concentrações subletais e crônicas, as mudanças na estrutura e na função dos organismos aquáticos ocorrem com maior frequência do que a mortalidade em massa. Portanto, um dos possíveis métodos para avaliar efeitos de poluentes em peixes de água doce é examinar as alterações morfológicas no órgão-alvo.

A diversidade de peixes nativos com diferentes hábitos e comportamento alimentar apresenta-se como uma vasta área de estudo, principalmente no que se refere às características

morfofisiológicas (RODRIGUES; NAVARRO; MENIN, 2006). O trato digestório dos teleósteos de água doce atrai a atenção de pesquisadores, devido ao elevado grau de variações estruturais que possibilita a compreensão dos mecanismos de ingestão, digestão e absorção dos alimentos (MENIN, 1988; FERREIRA *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2015).

A morfologia do sistema gastrointestinal de peixes permite relacionar o hábito alimentar natural ao longo do seu desenvolvimento, já que eles possuem estruturas específicas envolvidas no processo digestivo (MORAIS *et al.*, 2014; ALABSSAWY; KHALAF-ALLAH; GAFAR, 2019). O canal alimentar dos peixes é um dos principais sistemas que possui interação direta com o meio ambiente (PURUSHOTHAMAN *et al.*, 2016) e possui importantes glândulas anexas, constituídas pela vesícula biliar, o pâncreas e o fígado (ROTTA, 2003) e é compartilhado com o sistema respiratório, principalmente pela presença das brânquias e das valvas orais que estão envolvidas na mecânica respiratória (RODRIGUES; MENIN, 2006).

Esses organismos aquáticos são sensíveis à exposição a produtos químicos e acumulam poluentes diretamente através da água ou pela ingestão de outros organismos contaminados (MATSUMOTO *et al.*, 2006). Os peixes, mais que outros vertebrados, respondem prontamente à complexidade ambiental (JOBLIN, 1995), que pode resultar em alterações em sua estrutura morfológica celular que prejudicam a realização de suas funções fisiológicas e ocasionam efeitos adversos a curto, médio ou longo prazo.

Os peixes têm sido amplamente utilizados em estudos experimentais, tanto em avaliações de saúde dos ecossistemas aquáticos como em estudos toxicológicos (CASTAÑO *et al.*, 2003; FONTANETTI; SOUZA; CHRISTOFOLETTI, 2012; YANCHEVA *et al.*, 2015; WOLF; WHEELER, 2018; AL-OTAIBI *et al.*, 2019). Os estudos são realizados através de análises histopatológicas e histoquímicas (ROCHA *et al.*, 2010; PINHEIRO *et al.*, 2017), sendo o intestino e as brânquias importantes órgãos acumuladores de poluentes que os transferem para o fígado para serem biotransformados por meio de enzimas e, então, ser excretados (HEATH, 1997). Diante disso, é importante ressaltar que a histopatologia é um método eficaz para detectar os diversos efeitos da exposição aguda ou crônica nos vários tecidos e órgãos (HINTON *et al.*, 1992).

Segundo Hinton e Lauren (1990), o fígado é um importante órgão utilizado em estudos de toxicologia, por este ser o primeiro órgão a atuar na biotransformação de xenobióticos, excreção de alguns metais pesados, além de atuar na estocagem de carboidratos e glicogênio e, especialmente em peixes, acumular lipídios. Simonato, Fernandes e Martinez (2008) afirmam que danos hepáticos podem ser causados pelas toxinas acumuladas pelo fígado, devido aos processos de desintoxicação e que, ao causarem a degeneração dos hepatócitos, acabam por limitar as funções vitais do fígado, prejudicando o organismo como um todo.

As brânquias são órgãos multifuncionais envolvidos em transporte de íons, trocas gasosas, processos de osmorregulação, equilíbrio ácido-base e excreção de compostos nitrogenados (DANG *et al.*, 2001). Por serem um órgão-alvo que possuem grandes áreas de um tecido delicado em contato direto com a água, estão entre os primeiros a reagir a condições ambientais desfavoráveis (POLEKSIC; MITROVIC-TUTUNDZIC, 1994). As brânquias são consideradas mais vulneráveis ao stress causado por poluentes que outros órgãos e qualquer alteração em sua estrutura e função tem relação direta com a qualidade da água e pode causar impacto adverso sobre a biologia e sobrevivência do peixe (STOYANOVA *et al.*, 2015).

Devido à escassez de pesquisas relacionadas às adaptações nas estruturas

anatomohistológicas do trato digestivo, bem como a alterações patológicas relacionadas com a contaminação ambiental no Baixo Rio São Francisco, investigações sobre a morfologia das células do intestino, das brânquias e do fígado dos peixes que habitam essa região são indispensáveis para a compreensão de intoxicações celulares em organismos aquáticos que podem propiciar importantes elementos para pesquisas sobre detecção de impactos ambientais.

Os resultados das análises aqui apresentadas podem servir de subsídios para ações de políticas públicas relacionadas ao uso da água e a preservação dos organismos aquáticos, podendo ser uma ferramenta complementar em estudos de impactos ambientais adversos nos corpos hídricos do Baixo Rio São Francisco.

## Processamento de tecidos para microscopia de luz

Após a captura, peixes coletados foram identificados, dissecados e fragmentos dos intestinos, fígados e brânquias, fixados em formol a 10% e, após 24 horas, transferidos para álcool 70% e levados para o Laboratório Aquicultura e Análise de Águas (Laqua) do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA-UFAL), onde os estudos histológicos foram desenvolvidos. Posteriormente, foram desidratados em série alcoólica crescente a 80%, 90% e 99% e, em seguida, submetidos à resina de embebição (Leica Historesin – Embedding Kit), por 24 horas, em geladeira. O material foi transferido para moldes de polietileno (histomold) contendo resina de inclusão e mantidos em temperatura ambiente até a polimerização. Os blocos foram cortados em seções de 5 µm de espessura, com auxílio de micrótomo rotativo, com navalhas de aço inox. Os cortes foram, então, corados por Hematoxilina/Eosina e submetidos à técnica histoquímica por meio da reação do reativo de Schiff (PAS). As reações de PAS permitem evidenciar a presença de polissacarídeos neutros, que possuem grupo glicol em suas estruturas.

Foram analisados histologicamente amostras de tecidos do fígado, brânquias e intestino de 30 diferentes peixes pertencentes a nove espécies, coletadas em sete pontos da região do Baixo São Francisco. As espécies estudadas incluem a *Cichla monoculus* (tucunaré), *Schizodon knerii* (piauí branco) e *Megaleporinus obtusidens* (piauí-três-pintas), coletados no município de Piranhas; *Metynnis maculatus* (pacu) e *Serrasalmus brandtii* (pirambeba), coletados em Pão de Açúcar; *C. monoculus* e *Astronotus ocellatus* (acará-boi), coletados em Traipu; *Colossoma macropomum* (tambaqui) e *S. brandtii*, coletados em Propriá; *S. knerii* e *M. maculatus*, coletados em Igreja Nova; *S. knerii* e *M. maculatus*, coletados em Penedo, e *M. obtusidens* e *Eugerres brasiliensis* (carapeba), coletados em Piaçabuçu.

## Análise histopatológica dos órgãos-alvo de peixes coletados no baixo São Francisco

### Fígado

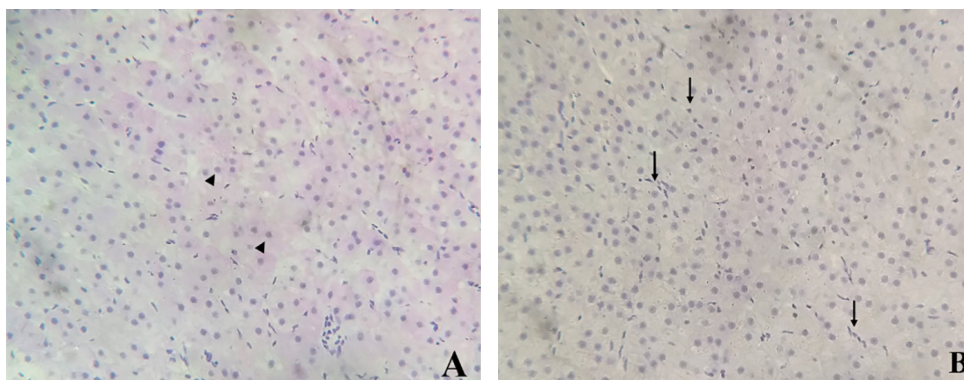
O fígado dos peixes é um órgão multifuncional que possui característica similar à de outros vertebrados, constituindo-se em uma glândula retículo-tubular recoberta por uma membrana serosa (COSTA *et al.*, 2012). É responsável pela conversão do alimento, produção da vitelogenina durante o crescimento gonadal, possui capacidade de acumulação, biotransformação e desintoxicação de compostos estranhos (STEGEMAN; LECH, 1991).

A análise do fígado das espécies de peixes aqui estudadas possui as características gerais



encontradas na maioria dos teleósteos. O parênquima hepático é composto, basicamente, por hepatócitos com formato poliédrico, podendo ser de oval a polígonos irregulares, com bordas distintas, e está disposto radialmente em torno da veia central, com uma dupla camada celular delimitada por sinusoides (capilares sanguíneos de pequeno calibre), formando os cordões de hepatócitos (Figura 48A). Os ductos sinusoides são capilares que ocupam o espaço entre as placas de hepatócitos e, juntamente com capilares e veias presentes no parênquima pancreático, facilitam as trocas constantes de oxigênio e nutrientes entre o sistema circulatório e o tecido hepático (RUST, 2002). Segundo El-Bakary e El-Gammal (2010), a estrutura hepatócito-sinusoidal é fisiologicamente importante, não apenas porque os hepatócitos ocupam grandes moléculas do sinusóide, mas também porque um grande número das macromoléculas são secretadas nesses vasos. Os hepatócitos possuem citoplasma claro, com um núcleo, e são geralmente esféricos, basófilos, centrais ou levemente periféricos, com quantidades variáveis de heterocromatina. Apresentam nucléolo único evidente e central (Figura 48B).

Figura 48 - Fotomicrografia do tecido hepático de peixes. HE, obj. 40x. A) Hepatócitos de pirambeba com aspecto normal, mostrando núcleo arredondado e basófilo (cabeça de seta). B) Tecido hepático de tucunaré com aspecto uniforme e pequenos vasos sinusoides entre os hepatócitos (seta). Espécimes coletados em Propriá-SE.



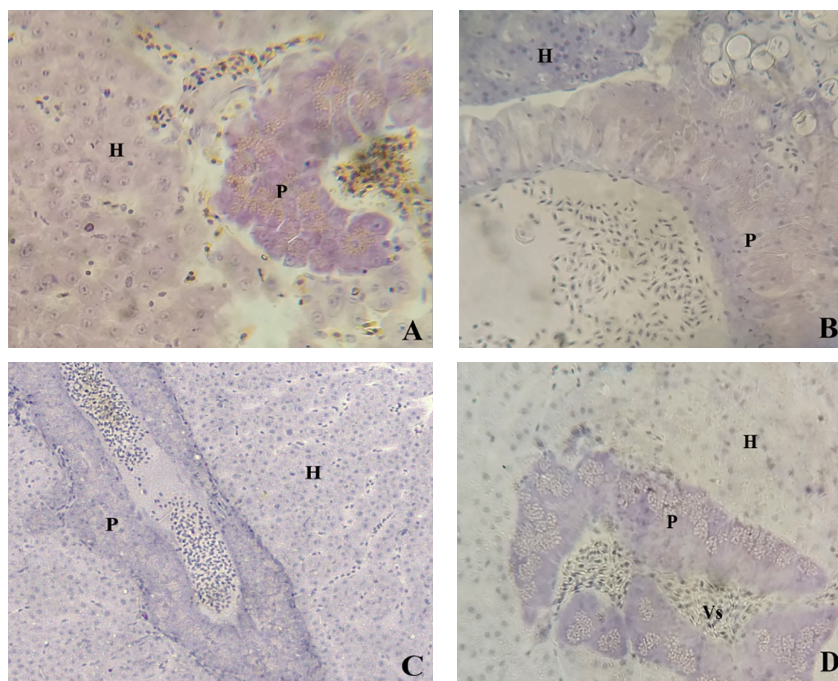
Fonte: Elaborada pelos autores.

Dentre os resultados encontrados, foi constatado que as espécies tucunaré, piau branco, acará-boi e carapeba possuem a porção exócrina do pâncreas associada ao fígado, comum em peixes e chamada hepatopâncreas (Figura 49A-D). Uma característica marcante são as “ilhas” de tecido pancreático, comumente encontradas dispersas no tecido hepático de algumas espécies de peixes. Esse tecido pode ser diferenciado do tecido hepático, por apresentar ácinos pancreáticos, em arranjo acinar e também pelo septo de tecido conjuntivo, separando-o dos hepatócitos (GENTEN; TERWINGHE; DANGUY, 2009).

Em nenhuma das espécies aqui estudadas foi possível constatar as triádes portais, constituídas por ramificações da veia porta, da artéria hepática e do ducto biliar, características típicas do fígado dos mamíferos. Segundo Bruslè e Anadon (1996), as triádes portais são indistintas, podendo ser ausentes em algumas espécies de teleósteos. No entanto, estudando tecido hepático da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) (Cichlidae) Figueiredo-Fernandes *et al.* (2007) constataram a frequente presença dos pancreócitos. A presença de tecido pancreático exócrino distribuído pelo parênquima hepático foi observada por Bombonato *et al.* (2007)

em *Megaleporinus obtusidens* (Anostomidae), circundando vasos sanguíneos, semelhante ao resultado encontrado neste trabalho (Figura 49D).

Figura 49 - Fotomicrografias de tecido pancreático observadas no parênquima hepático de peixes do Baixo São Francisco. HE, obj. 40x. A) Tucunaré. B) Piau branco. C) Acará-boi. D) Carapeba. Abrev. Hepatócitos (H), Tecido pancreático (P), Vaso sanguíneo (Vs)



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

A histologia do parênquima hepático revelou alterações celulares de diversos graus nos peixes. A análise microscópica mostrou que 93% dos exemplares estudados apresentaram alguma alteração hepática. Os diagnósticos hepáticos incluíram infiltração leucocitária, vacuolização dos hepatócitos, dilatação dos vasos sinusoides, congestão, necrose, presença de centros de melanomacrófagos (CMM) e melanomacrófagos livres (Figura 50). A Tabela 29 demonstra os tipos de alterações celulares encontradas em cada uma das espécies amostradas nos diferentes pontos de coleta. Das espécies de peixes estudadas, todas apresentaram alguma manifestação considerada resposta patológica no fígado, mesmo em grau leve e que não venha a provocar mortalidade.

Tabela 29 - Alterações histológicas encontradas na análise de fígados dos peixes coletados (HE).

Ponto de coleta	Nome comum	Nome científico	Alteração histológica
Piranhas	Tucunaré	<i>Cichla monoculus</i>	Infiltração leucocitária
	Piau branco	<i>Schizodon knerii</i>	Infiltração leucocitária
	Piau-três-pintas	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Vacuolização Infiltração leucocitária

<b>Pão de Açúcar</b>	Pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	Vacuolização
	Pirambeba	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Infiltração leucocitária
<b>Traipu</b>	Tucunaré	<i>Cichla monoculus</i>	Vacuolização
	Acará-boi	<i>Astronotus ocellatus</i>	Necrose
	Tambaqui	<i>Colossoma macropomum</i>	CMM e melanomacrófagos livres
<b>Propriá</b>	Pirambeba	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Dilatação dos sinusóides
<b>Igreja Nova</b>	Piau-branco	<i>Schizodon knerii</i>	Vacuolização
	Pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	Vacuolização
	Piau-branco	<i>Schizodon knerii</i>	Congestão
<b>Penedo</b>	Pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	Congestão
	Pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	Vacuolização Necrose (leve)
<b>Piaçabuçu</b>	Piau-três-pintas	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Congestão CMM
	Carapeba	<i>Eugerres brasilianus</i>	Vacuolização citoplasmática

Fonte: Priscylla Dantas (2020).

As amostras de tucunaré apresentaram alterações nas coletas dos municípios de Piranhas e Traipu. Os espécimes possuíam infiltração de leucócitos, vacuolização dos hepatócitos e presença de centro de melanomacrófagos (Figura 50A-B). Um estudo realizado por Rabitto *et al.* (2011) constatou as mesmas alterações em tucunarés expostos a Mercúrio e ao inseticida organoclorado DDT (diclorodifeniltricloroetano) em um reservatório de hidrelétrica no Estado do Tocantins. Os peixes possuíam vacuolizações no parênquima hepático e diversas regiões com CMM. Benincã *et al.* (2011) avaliou alterações histopatológicas em fígado de *Geophagus brasiliensis* (Cichlidae), oriundo de regiões estuarianas impactadas pela atividade industrial em Santa Catarina. Assim como observado nas espécies do Baixo São Francisco, os autores relataram a presença de CMM, melanomacrófagos livres, vacuolização e infiltração leucocitária, evidenciando a capacidade dos compostos presentes na água de provocar lesões agudas e crônicas no tecido hepático da espécie.

O acúmulo de leucócitos, principalmente neutrófilos e células derivadas de monócitos, é uma característica importante da reação inflamatória (BECHARA; SZABÓ, 2009). Ainda segundo os autores, os leucócitos possuem capacidade de incorporar e degradar bactérias, complexos imunes e restos de células necróticas, e suas enzimas contribuem de outras formas com a resposta defensiva do hospedeiro.

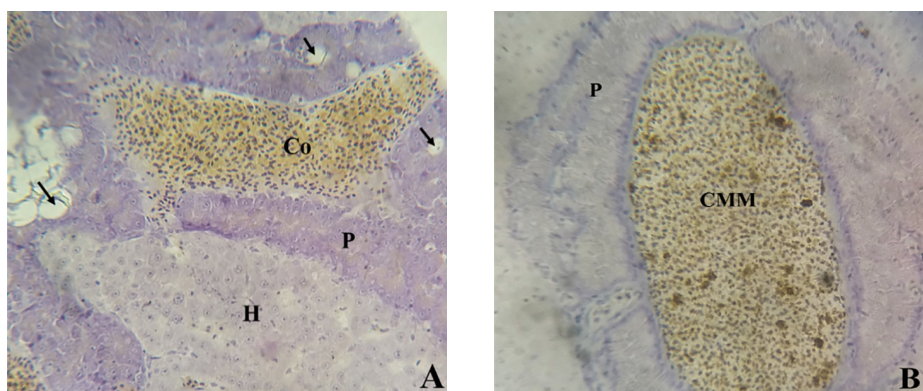
As amostras de tambaqui coletadas em Propriá-SE também apresentaram infiltração de leucócitos e a presença de melanomacrófagos livres no tecido hepático (Figura 50C). O melanomacrófago é uma categoria de macrófago muito comum nos peixes. Os melanomacrófagos estão localizados próximo às regiões portais e apresentam-se livres ou organizam-se formando centros melanomacrófagos (CMM). A função dos melanomacrófagos em teleósteos é semelhante à de macrófagos em humanos, onde metabolizam substâncias tóxicas e residuais e desempenham funções imunes no tecido hematopoiético. Essas estruturas armazenam pigmentos, como a melanina, a lipofuscina e os ceroides e possuem variações no número, no tamanho e na pigmentação, em relação a idade, nutrição e estado de saúde das espécies (AGIUS, 1985; XU; SHOEMAKER; KLESIUS, 2007). Além disso, Steckert

*et al.* (2018) relacionam essas estruturas ao desenvolvimento de resposta imune a antígenos bacterianos. Segundo Hartley *et al.* (1996), os CMM são elementos críticos do sistema imune de peixes, incluindo resposta imune contra materiais de origem externa. Doria *et al.* (2017) associaram a alta prevalência e intensidade de centros de melanomacrófagos como indicadores de implicação sanitária nos peixes e de condições de estresse ambiental.

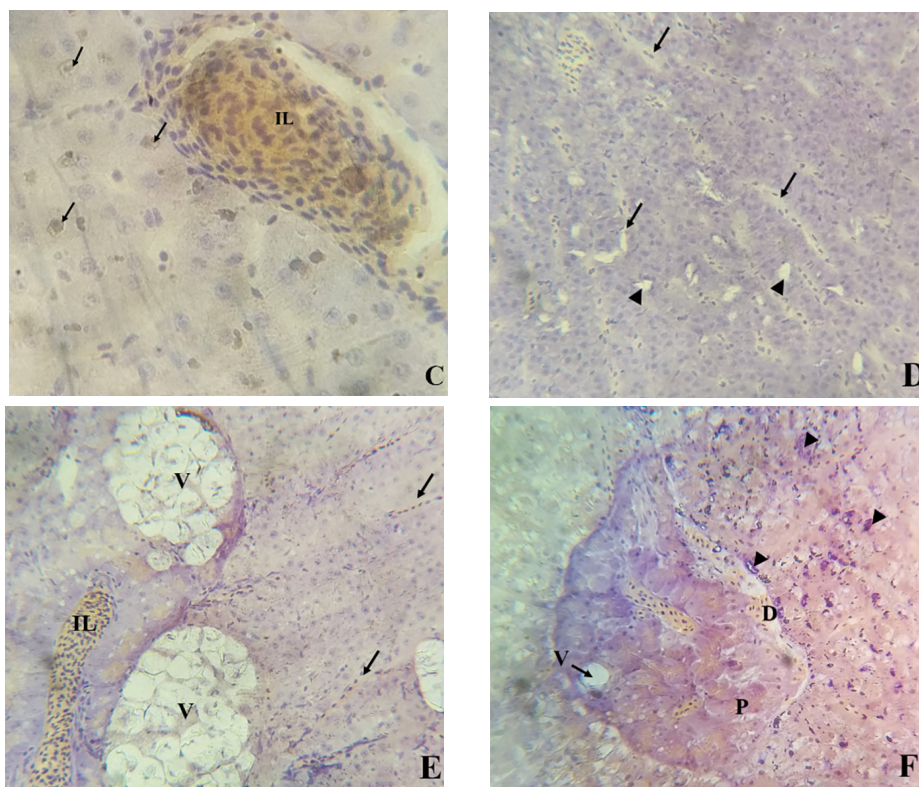
Na análise do parênquima hepático da pirambeba coletada em Pão de Açúcar, do tucunaré e do acará-boi coletados em Traipu, as alterações histológicas que prevaleceram foram a presença de infiltrações leucocitárias, vacúolos e dilatação dos vasos sinusoides (Figuras 50D, E, F). A presença de vacuolizações citoplasmáticas, que aumentam o volume dos hepatócitos, indica a existência de regiões com provável concentração de lipídeos e glicogênio, ou a combinação de agentes tóxicos com lipídeos intracitoplasmáticos. A vacuolização de hepatócitos é uma resposta inespecífica de peixes devido a condições tóxicas (ROBERTS, 1978; GIARI *et al.*, 2007).

A indução de vacuolizações em peixes tem sido demonstrada *in vivo* após exposição a certos pesticidas (BRAUNBECK *et al.*, 1990). Contudo, Akcha, Hubert e Pfhol-Leszkowicz (2003) sugerem que a vacuolização pode estar relacionada a uma dieta não balanceada, com excesso de triglicérides ou deficiência de proteínas, mas acreditam que, provavelmente, seja ocasionada pela disfunção enzimática da regulação lipídica causada por intoxicação. Apesar da presença de vacúolos, não foram identificados depósitos de glicogênio no citoplasma dos hepatócitos em nenhuma das espécies.

Figura 50 - Fotomicrografias das alterações histopatológicas observadas nos peixes do Baixo São Francisco. HE, obj. 40x. A-B) Parênquima hepático (H) de tucunaré com congestão vascular (Co) na área do tecido pancreático (P), apresentando vacúolos e centro de melanomacrófagos (CMM). C) Tecido do tambaqui com infiltração leucocitária (IL) e presença de melanomacrófagos livres (seta). D) Parênquima hepático da pirambeba apresentando vacúolos (cabeça de seta) e dilatação de sinusoides. E) Infiltração leucocitária (IL), presença de grandes vacúolos (V) e sinusoides (setas) no tecido do tucunaré. F) Tecido hepático do acará-boi apresentando dilatação severa no sinusóide (D) ao redor do pâncreas (P), vacúolos (V) e necrose (cabeça de seta). Espécimes coletados em Piranhas, Propriá, Pão de Açúcar e Traipu, respectivamente.







Fonte: Elaborada pelos autores.

A amostra do fígado do acará-boi apresentou graves alterações no parênquima hepático, demonstrando tecido com necrose e dilatação severa dos sinusoides (Figura 50F). A necrose é o estágio final, mais severo, de alteração tecidual (NOGA, 1996). A congestão de sinusoides e pequenos vasos faz o fluxo sanguíneo da veia porta hepática e artéria hepática para a veia central bastante difícil. Isso pode ser responsável pela degeneração celular e necrose no fígado dos peixes (FACCIOLI *et al.*, 2014).

De acordo com Agius e Roberts (2003), a exposição constante a estressores químicos pode gerar desequilíbrio da homeostase dos peixes, levando à necrose celular. Esse tipo de alteração foi encontrado por outros pesquisadores em estudos de exposição de peixes a agrotóxicos como o peixe-gato africano *Heterobranchus bidorsalis* (Clariidae) expostos à cipermetrina (OLUFAYO; ALADE, 2012) e a tilápia-do-nilo *Oreochromis niloticus* alimentada com 1.45 g/L de deltametrina (KAN *et al.*, 2012), ambos do grupo químico dos piretroides. Observando os dados obtidos nos I e II Relatórios da Expedição Científica do Baixo São Francisco (2019; 2020), foi verificado que ocorre a utilização de diversos compostos químicos, como herbicidas, fungicidas, inseticidas e fertilizantes químicos nos sistemas de cultivo, em especial, nas culturas de arroz e cana-de-açúcar. Entre eles, os inseticidas cipermetrina (piretroide) e o endossulfan (organoclorado) são usados no controle de pragas, fato que pode explicar a ocorrência de algumas manifestações patológicas no fígado dos peixes, uma vez que a lixiviação transporta os resíduos contaminantes para o rio São Francisco. Segundo Constantino *et al.* (2007), os efeitos danosos dos agrotóxicos em fígado de peixes dão-se após exposição crônica em arroz irrigado, em virtude da característica bioacumuladora desse órgão. O fígado geralmente demonstra os efeitos tóxicos após exposição prolongada a toxinas.

A necrose hepática é uma manifestação irreversível e considerada o ponto final das



alterações celulares, sendo uma consequência comum de inflamações, de processos degenerativos, infiltrativos e circulatórios. Essa alteração está intimamente correlacionada à exposição crônica a irritantes, poluentes e metais pesados (MELA *et al.*, 2013, STRZYZEWSKA; SZAREK; BABINSKA, 2016; LEHMANN, 2018).

Neste trabalho, várias das lesões observadas, conhecidas como hepatodistrofias, a exemplo de congestão e necroses, estão relacionadas aos processos de intoxicação, sendo a extensão e a gravidade da lesão proporcionais ao tipo, duração, severidade da agressão e estado fisiológico da célula envolvida (ROBBINS; COTRAN, 2005). Diante dos resultados observados, pode-se afirmar que os hepatócitos podem ser considerados o primeiro alvo da toxicidade de uma substância, o que caracteriza o fígado como um órgão biomarcador da poluição ambiental.

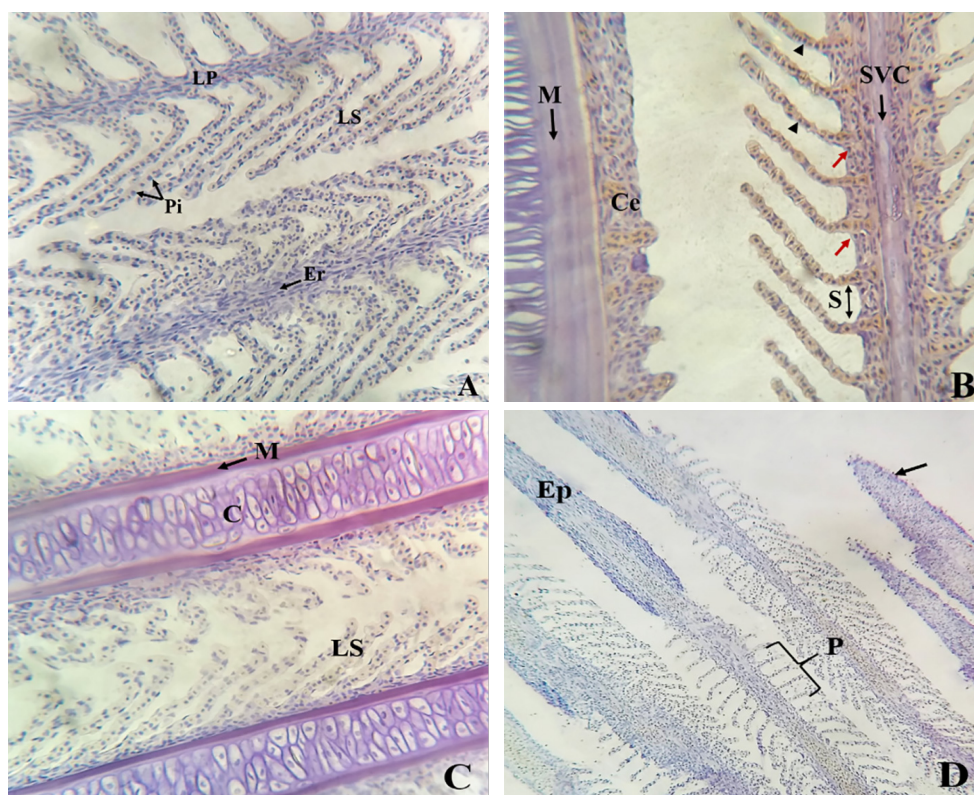
## Brânquias

As brânquias dos peixes analisados neste estudo apresentaram morfologia similar à descrita para a maioria dos teleósteos dulcícola, em que se observam lamelas primárias e secundárias. As lamelas possuem número variável, estão ancoradas nos filamentos branquiais e apresentam-se paralelas entre si. Os arcos branquiais possuem fileiras de filamentos contendo lamelas secundárias, dispostas em ambos os lados da lamela primária, e representam a superfície de troca gasosa (Figura 51A).

Os filamentos branquiais possuem um suporte cartilaginoso central, onde se encontram vasos que compreendem o seio venoso central. A lamela primária possui o epitélio recobrimo as extremidades distais, o epitélio é contínuo e rico em células secretoras de muco (Figura 51D). Os filamentos branquiais apresentam um epitélio estratificado, constituído por diversos tipos de células, entre os quais podem-se distinguir eritrócitos, células pilares, células mucosas e células de cloreto (Figura 51B). O esqueleto cartilaginoso sustenta a lamela primária e possui uma matriz extracelular bem marcada, contendo em seu interior numerosos condrócitos (Figura 51C). O arranjo das células pilares permite a formação de canais por onde circula o sangue. As células de cloreto encontram-se geralmente isoladas próximas à região basal das lamelas secundárias. Essas células são grandes e repletas de mitocôndrias que estão envolvidas no transporte e na absorção ativa de íons ao longo do epitélio branquial e estão relacionadas à capacidade de osmorregulação (WITHERS, 1992).

As lamelas secundárias apresentam espaços interlamelares bem definidos, contendo camadas de células do epitélio intimamente ligadas às demais células das lamelas, conferindo um aspecto uniforme e contínuo. Os resultados demonstraram o arranjo das numerosas lamelas secundárias em forma de fio paralelo (Figura 51D).

Figura 51 - Fotomicrografias de secções longitudinais das brânquias de peixes. HE, obj. A-D 10x; B-C 40x. A) Histologia das brânquias de piau-três-pintas indicando a lamela primária (LP), as lamelas secundárias (LS) com células pilares (Pi), eritrócitos no seio venal da lamela primária (Er). B) Brânquias de tucunaré mostrando o seio venoso central (SVC), presença das células pilares (cabeça de seta), células de cloreto (seta vermelha), espaço interlamelar uniforme (S), Células epiteliais (Ce), matriz extracelular (M). C) Brânquias de pacu, observar a matriz extracelular (M) revestindo os condrócitos (C). D) Brânquias de piau-branco, detalhe no epitélio que recobre a extremidade distal da lamela primária (Ep), rico em células secretoras de muco (setas) e nas lamelas secundárias disposta paralelamente (P). Espécies coletadas em Piaçabuçu, Traipu, Igreja Nova e Piranhas, respectivamente.



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Os peixes possuem estruturas que os permitem executar uma extração de Oxigênio dissolvido na água para utilização em suas reações metabólicas. As brânquias exercem funções vitais nos teleosteos, tais como respiração, osmorregulação e excreção, e ainda constituem o sítio de tomada e depuração de contaminantes (MEYERS; HENDRICKS, 1985; PACHECO; SANTOS, 2002). As células secretoras produzem muco composto por diferentes categorias de mucopolissacarídeos, que formam uma camada protetora às lamelas secundárias e protegem o organismo contra agressões ambientais. Outro tipo celular presente neste filamento são as células de cloreto responsável pela receptação adequada de sal (HOLDEN; LAYFIELD; MATTHEWS, 2013). Mumford *et al.* (2007) e Genten, Terwinghe e Danguy (2009) mencionaram a presença de células caliciformes, responsáveis pela secreção de muco que não foram observadas nas amostras estudadas.

A análise microscópica realizada no presente trabalho mostrou que 53% dos exemplares

estudados apresentaram alguma alteração branquial. Os resultados histológicos indicaram danos nas estruturas branquiais de tucunaré, pacu, pirambeba, tambaqui, piau branco e carapeba, como fusão lamelar, desarranjo dos capilares, hiperplasia e hipertrofia das lamelas secundárias, diminuição do espaço interlamelar e aneurisma. A Tabela 30 apresenta os tipos de alterações ocorridas em cada espécie/ponto de coleta.

Tabela 30 - Alterações histológicas encontradas na análise de brânquias dos peixes coletados no Baixo São Francisco (HE).

Ponto de coleta	Nome comum	Nome científico	Alteração histológica
			Fusão lamelar
Piranhas	Tucunaré	<i>Cichla monoculus</i>	Hipertrofia
	Piau branco	<i>Schizodon knerii</i>	Hiperplasia
	Piau-três-pintas	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	-----
Pão de Açúcar	Pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	Hiperplasia na lamela secundária
	Pirambeba	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Fusão lamelar
Traipu	Tucunaré	<i>Cichla monoculus</i>	-----
	Acará-boi	<i>Astronotus ocellatus</i>	-----
Propriá	Tambaqui	<i>Colossoma macropomum</i>	Aneurisma/hipertrofia
	Pirambeba	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Hiperplasia severa
Igreja Nova	Piau branco	<i>Schizodon knerii</i>	Diminuição do espaço interlamelar
	Pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	-----
Penedo	Piau branco	<i>Schizodon knerii</i>	-----
	Pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	Hiperplasia
Piaçabuçu	Piau-três-pintas	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	-----
	Carapeba	<i>Eugerres brasilianus</i>	Hiperplasia/aneurisma

Fonte: Priscylla Dantas (2020).

A histologia das brânquias do tucunaré coletado no município de Piranhas e da carapeba coletada em Piaçabuçu apresentaram resultados semelhantes, com presença de hiperplasia e aneurisma nas lamelas secundárias. Contudo, no tucunaré, também foi observada fusão lamelar, sendo a espécie que mais apresentou alterações histopatológicas dentre as analisadas no estudo (Figura 52A-B). Por serem regiões de absorção primária, as brânquias, após assimilação dos compostos tóxicos, transportam os elementos para o sangue ou podem distribuir pelos tecidos (RAND; PETROCELLI, 1985). As causas de lesões em brânquias incluem agentes químicos, físicos e biológicos que variam desde poluentes ambientais até agentes biológicos diversos. Esses poluentes induzem reações do organismo que se caracterizam por distúrbios, como congestão, aneurisma, hemorragia e edema, hiperplasia epitelial, processos inflamatórios e degenerativos, como necrose (SCHALCH; MORAES; MORAES, 2006).

A hiperplasia é considerada uma resposta inicial das brânquias que se caracteriza pelo aumento das funções das células e dos tecidos, provocada pelas alterações das atividades

fisiológicas (RAND; PETROCELLI, 1985; NOGUEIRA *et al.*, 2011). Embora seja considerado um mecanismo de defesa, provoca o aumento da distância entre as células epiteliais e os capilares sanguíneos, impedindo a passagem da água entre as lamelas secundárias. Esta perda de superfície respiratória gera distúrbios de ormorregulação, prejudica as trocas gasosas e pode ocasionar a morte por anoxia (NOGUEIRA *et al.*, 2011).

Segundo Sepici-Dinçel *et al.* (2009), a hiperplasia é, provavelmente, o resultado da resposta inflamatória a algum agente estressante. A hiperplasia caracteriza-se pela alta proliferação celular, que, em alguns casos, leva à fusão das lamelas secundárias e pode ser uma resposta adaptativa para aumentar a distância entre os vasos e o ambiente externo (agente tóxico).

A manifestação de aneurisma (ou telangiectasia lamelar) é uma alteração característica dos sinusoides branquiais e está associada a traumas físicos ou químicos, como manejos mais severos, lesões parasitárias, resíduos metabólicos ou contaminantes químicos. Quando muitas lamelas são afetadas, a função respiratória pode diminuir especialmente em temperaturas altas, quando os níveis de oxigênio são baixos e a demanda metabólica é alta. Caso os peixes estejam traumatizados, pode haver a ruptura das brânquias e morte por hemorragia (ROBERTS, 2001).

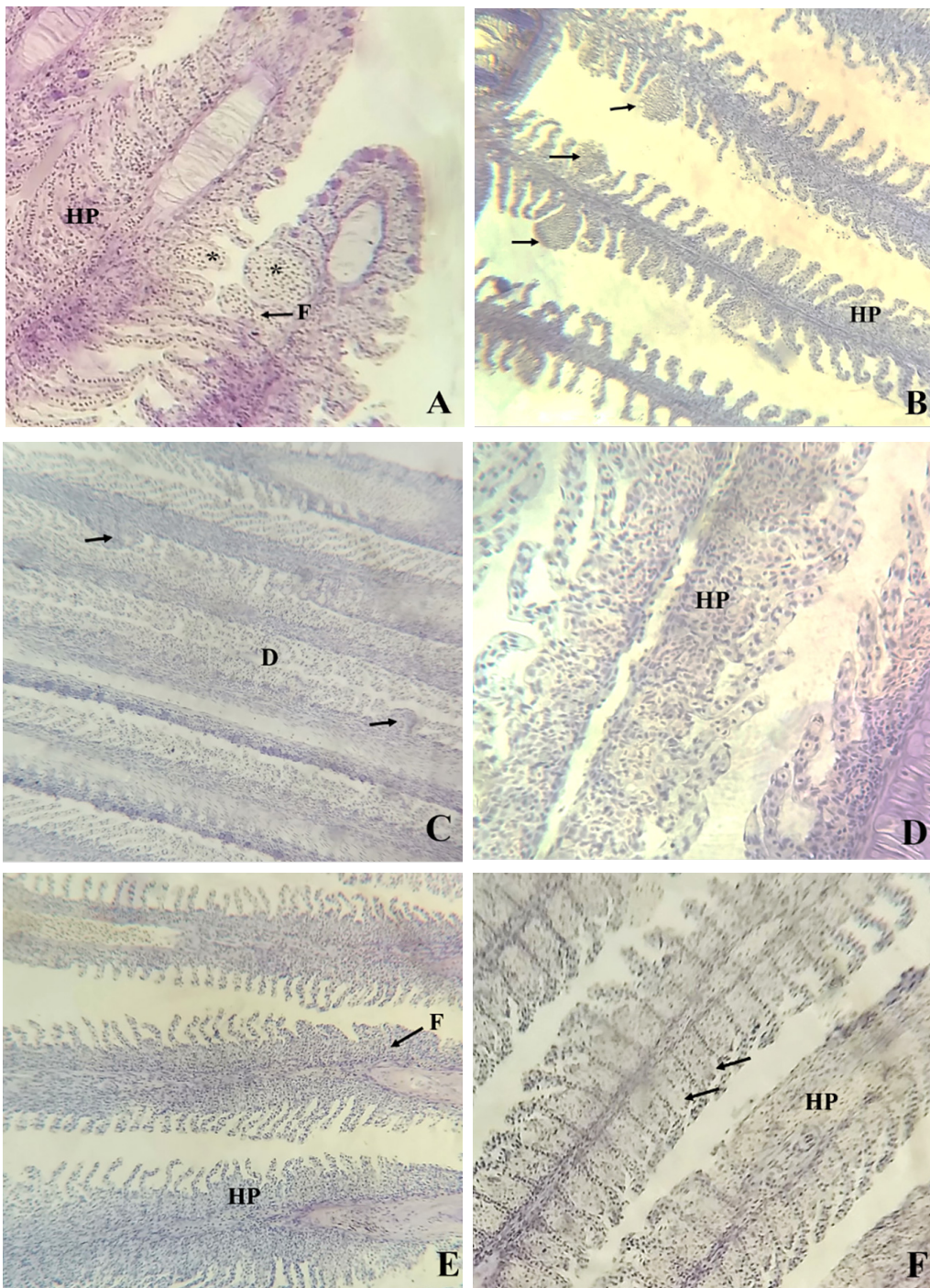
Castro *et al.* (2014) observaram lesões branquiais severas, como aneurisma, nas lamelas secundárias, fusão lamelar e deslocamento do epitélio em traíras (*Hoplias malabaricus*) (*Erythrinidae*), de lagoas e rios situados em Área de Preservação Ambiental no Maranhão que recebem efluentes rurais, domésticos e industriais nos locais de coleta dos peixes. Essas condições são semelhantes às encontradas por Ameur *et al.* (2015) na tainha (*Mugil cephalus*) (*Mugilidae*) e no robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) (*Moronidae*), que habitavam uma lagoa costeira impactada por diferentes atividades antropogênicas e Pereira *et al.* (2013) em peixes coletados para biomonitoramento de rios sujeitos à descarga de efluentes domésticos, agrícolas e industriais. As lesões encontradas corroboram com os resultados obtidos neste trabalho e podem ser decorrência da poluição sofrida pela região do Baixo São Francisco. Segundo os autores supracitados, as respostas biológicas das brânquias, embora não reflita contaminantes específicos, pode ser usada como biomarcadores da perturbação dos ecossistemas.

A análise da espécie de pacu coletada em Penedo mostrou sinais de fusão das lamelas associadas à hiperplasia epitelial, semelhante às amostras de tambaqui coletados em Propriá, além de desarranjo na organização das lamelas secundárias (Figuras 52C, 52E). Segundo Rigolin-Sá, Teles-Oliveira e Teixeira (2005), a proliferação do epitélio respiratório, assim como a hiperplasia maciça e a fusão lamelar, dentre outras mudanças, são mecanismos de defesa das brânquias, que promovem o aumento da barreira água-sangue.

As observações microscópicas realizadas nas amostras de pirambeba e piau branco coletadas em Propriá e Igreja Nova, respectivamente, evidenciaram hiperplasia e diminuição da região interlamelar (Figuras 52D, 52E), caracterizadas por multiplicação celular sobre a superfície respiratória dos peixes, podendo causar deslocamento do epitélio respiratório (MACHADO, 1999), como observado no pacu coletado em Penedo (Figura 52F). O deslocamento do epitélio é considerado uma reação inicial das brânquias ao estresse químico, que pode ser ocasionada por uma variedade de poluentes (THOPHON *et al.*, 2003). A fusão das lamelas secundárias e a hiperplasia interlamelar são fenômenos examinados quando a exposição a fatores irritantes é crônica (STRZYZEWSKA; SZAREK; BABINSKA, 2016), causando diminuição da superfície respiratória-excretora das brânquias, prejudicando sua função.



Figura 52 - Fotomicrografia das alterações celulares encontradas nas brânquias dos peixes coletados no Baixo São Francisco. HE, obj. 40x. A) Tecido branquial de tucunaré apresentando hiperplasia (HP), fusão das lamelas secundárias (F) e dois aneurismas (\*). B) Carapeba com hiperplasia (HP) e diversos aneurismas (setas). C) Tambaqui mostrando desarranjo dos capilares (D) e fusão lamelar (setas). D) Piau branco com hiperplasia (HP). E) Pirambeba com hiperplasia (HP) e fusão lamelar (F). F) Pacu com hiperplasia (HP) e deslocamento epitelial (setas). Espécimes coletados em Piranhas, Piaçabuçu, Propriá, Igreja Nova, Propriá e Penedo, respectivamente.



Fonte: Elaborada pelos autores.



Respostas histopatológicas nas brânquias, como fusão lamelar, funcionam como mecanismos de defesa, pois diminuem a área de superfície vulnerável da brânquia e podem aumentar a barreira de difusão ao poluente (ERKMEN; KOLANKAYA, 2000; GARCIA-SANTOS *et al.*, 2007). Contudo, dificultar o acesso do poluente prejudica a realização de trocas gasosas (MCDONALD; WOOD, 1993).

Entre as alterações encontradas nas espécies do Baixo São Francisco, a hiperplasia e a fusão lamelar foram observadas em estudos envolvendo brânquias de peixes contaminados com metais pesados (RUDNICKI *et al.*, 2009). Segundo Roberts e Oris (2004), o Cromo hexavalente pode induzir alterações histológicas, como hiperplasia e fusão das lamelas secundárias, fato que foi constatado em análise das brânquias de *Gnathonemus petersii* (*Mormyridae*).

O estudo realizado por Senthil, Uthaman e Muthulingam (2011) demonstrou fusão lamelar e aneurisma nas brânquias de *Oreochromis mossambicus* (*Cichlidae*), após exposição a 2 ppm de Cobre por 20 dias. Características semelhantes também foram encontradas por Tayybah *et al.* (2012) no tecido branquial de *Cyprinus carpio* (*Cyprinidae*), em bioensaio com peixes submetidos à exposição de concentrações subletais (25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 125 mg/L e 150 mg/L) de Cobre por seis meses. É importante ressaltar que, em todos os trabalhos supracitados, os autores confirmam a relação entre as alterações branquiais e o Cromo, afirmando que este metal causa efeitos adversos e a deterioração do tecido é maximizada com o aumento da concentração do metal e do tempo de exposição.

De acordo com os resultados demonstrados no II Relatório da Expedição do Baixo São Francisco (2020), a análise de metais pesados constatou que os níveis de Cromo foram superiores ao Limite Máximo de Tolerância (LMT) permitido pela Resolução Anvisa nº 42, de 29 de agosto de 2013 (ANVISA, 2013), em todas as espécies de peixes analisadas. Em ambientes aquáticos poluídos, a concentração de Oxigênio é baixa e a concentração do Cromo hexavalente favorecida, podendo ser facilmente absorvido por organismos constituintes do ecossistema local (RICHARD; BOURG, 1991). Esses dados podem explicar as alterações encontradas no tecido branquial do tucunaré, pacu, pirambeba, tambaqui, piau branco e carapeba, já que a contaminação por efluentes industriais tem maior relevância se comparada ao esgoto doméstico, devido à quantidade de metais pesados que constituem a principal classe de contaminantes emitida por esta atividade.

É sabido que ocorre aplicação excessiva de produtos químicos na agricultura da região do Baixo São Francisco, onde diversos agentes considerados tóxicos são despejados nos rios e corpos d'água e encontram-se dissolvidos na água. Tais compostos, inevitavelmente, entrarão em contato com os filamentos branquiais e com as lamelas respiratórias e, em altas concentrações, poderão alterar a morfologia normal das brânquias (LUVIZOTTO, 1994).

Diferentes cenários relativos a fatores ambientais podem ter interferido nos resultados do presente trabalho. Alterações histopatológicas verificadas nas brânquias dos peixes coletados na região do Baixo São Francisco assemelham-se a alterações comumente relacionadas à exposição a contaminantes de efluentes antropogênicos (LEHMANN, 2018), e as anormalidades observadas nas brânquias podem refletir os impactos biológicos de mistura de poluentes presentes nessas áreas.

## **Análise histoquímica (PAS) do fígado e das brânquias**

A análise histoquímica detectou que somente as brânquias apresentaram reação

positiva ao reativo de Schiff (PAS). Isso ocorre pela provável produção de mucosubstâncias pelas células. As amostras que reagiram positivo ao PAS foram tucunaré e piau branco, coletados em Piranhas; pacu, coletado em Pão de Açúcar, e tambaqui, coletado em Propriá. Não foram observadas diferenças na intensidade de reação ao PAS, todas as amostras mantiveram-se moderadas (FIGURA 53A-D).

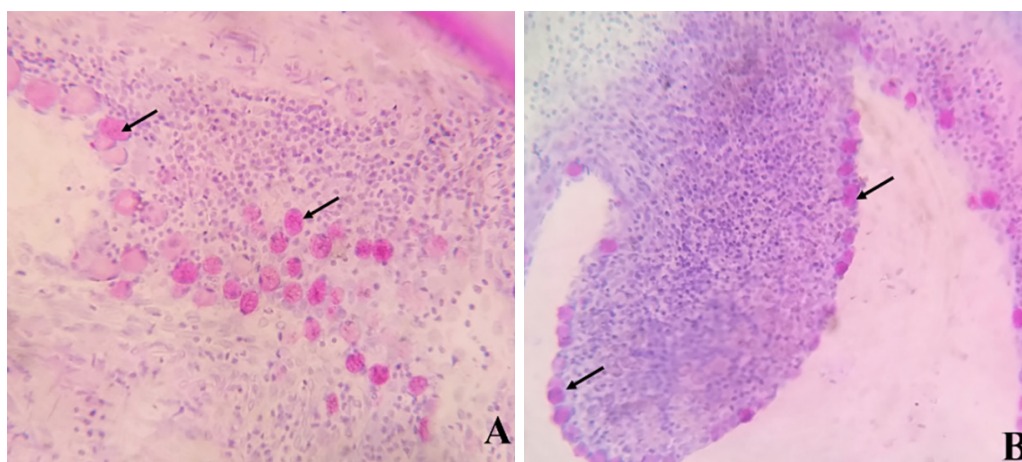
Lima *et al.* (2009) e Díaz, García e Goldemberg (2005) verificaram característica semelhante encontrada nas brânquias de *Steindachnerina brevipinna* (Characiformes, *Curimatidae*) e *Cynoscion guatucupa* (Perciformes, *Sciaenidae*), sugerindo que esse resultado indica controle na acidez do conteúdo da secreção mucosa. Contrapondo-se a esse resultado, Breseghelo *et al.* (2004) e Reis *et al.* (2009) afirmam que maior produção de glicoproteínas pelas células mucosas ocorre em situações de maiores stress, já que o muco contribui para a proteção do animal quanto às flutuações dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do ambiente aquático.

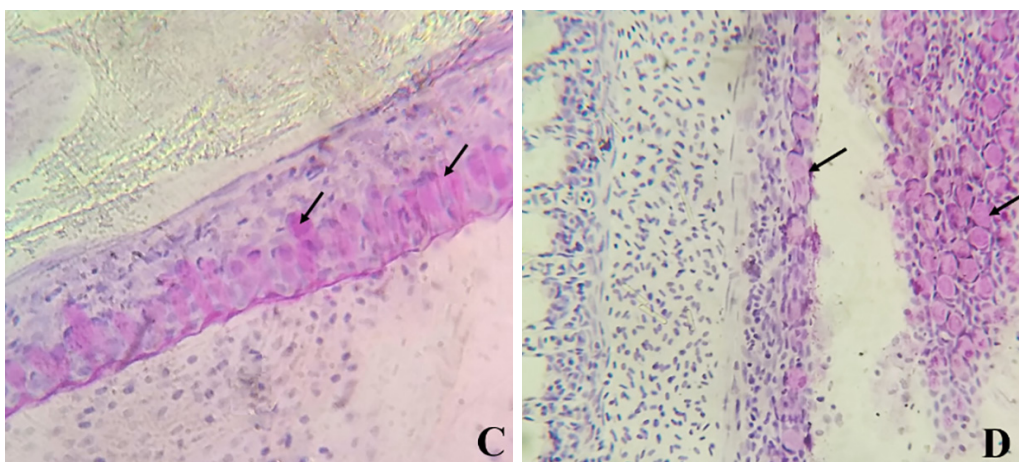
É importante ressaltar que as amostras analisadas dos peixes tucunaré (Figura 53A), pacu (Figura 53C) e tambaqui (Figura 53D), coletados em Piranhas, Pão de Açúcar e Propriá, respectivamente, apresentaram outras alterações celulares nas brânquias, além da reação PAS positiva, sugerindo que tais espécies entraram em contato com substâncias tóxicas ou agentes irritantes, como pesticidas orgânicos, metais pesados ou despejos industriais.

Apesar de terem sido observados vacúolos nas amostras do fígado de algumas espécies de peixes, nenhum dos constituintes do parênquima hepático apresentou reação positiva para PAS. A ausência de glicogênio nos vacúolos dos hepatócitos demonstrada pelo método PAS sugere que a vacuolização pode estar relacionada com um processo degenerativo, pois os vacúolos normalmente contêm glicogênio e lipídeos que atuam como reserva de glicose para fornecer energia para os animais em situações de stress (CAMARGO; MARTINEZ, 2007).

Mesmo não sendo possível observar os sinais de estresse aos quais peixes foram submetidos no seu habitat, sabe-se que alterações na biologia das células e tecidos ocorrem quando animais são submetidos a um grau importante de estresse em longo prazo (MALLATT, 1985; REIS *et al.*, 2009).

Figura 53 - Alterações histoquímicas em brânquias dos peixes coletados no Baixo São Francisco. Reação positiva ao PAS (setas). Obj, 40x. A) Tucunaré. B) Piau branco. C) Pacu. D) Tambaqui. Espécimes coletados em Piranhas, Pão de Açúcar e Propriá.





Fonte: Elaborada pelos autores.

### Características morfológicas do intestino de peixes do Baixo São Francisco

Nas análises histológicas do intestino dos peixes, foi verificada uma elevada diversidade morfológica entre as espécies (Figuras 54A-D, 55A-D). O epitélio obedece à arquitetura básica das camadas histológicas que compõem o tubo digestório: mucosa, submucosa, muscular e serosa (DÍAZ *et al.*, 2006) (Figura 54A). Os peixes analisados demonstraram um variado padrão no arranjo das vilosidades. Foi observado epitélio intestinal do tipo simples ou estratificado, contendo vilosidades revestidas por um epitélio cilíndrico constituído por células epiteliais cilíndricas, colunares (ou enterócitos) e células caliciformes. A camada muscular possui o arranjo organizacional estruturado em três túnicas diferentes: muscular longitudinal interna, muscular circular interna, que reveste internamente o epitélio, e muscular longitudinal externa (Figura 54B).

As características morfológicas do sistema digestivo dos peixes acham-se em estreita dependência com a natureza dos alimentos, as características do habitat, o estado nutricional e o estágio de desenvolvimento do indivíduo, manifestados, especialmente, nesse aparelho, por adaptações e modificações (SEIXAS FILHO *et al.*, 2000; FERREIRA *et al.*, 2013).

As amostras do epitélio intestinal de pirambeba (Figura 54B), tambaqui (Figura 54C), tucunaré (Figura 55A) e piau-três-pintas (Figura 55B) apresentaram grande número de células caliciformes, bem desenvolvidas e de coloração basófila. A ocorrência de células caliciformes é uma característica comum do trato digestório de teleosteos. Elas são tipos celulares que apresentam algumas variações fenotípicas durante sua diferenciação e estabelecem como principal atividade metabólica a produção de mucossubstâncias (GÓES; TABOGA, 2005). O muco secretado pelas células caliciformes recobre o epitélio intestinal em toda a extensão do tubo digestivo, tem sido correlacionado com diferentes funções digestivas e forma a primeira linha de defesa da mucosa (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1999); também são responsáveis pela lubrificação do epitélio (DÍAZ; GARCÍA; GOLDEMBERG, 2008) e conferem proteção química contra a agressão ocasionada por antígenos e toxinas (GAUDIER *et al.*, 2009).

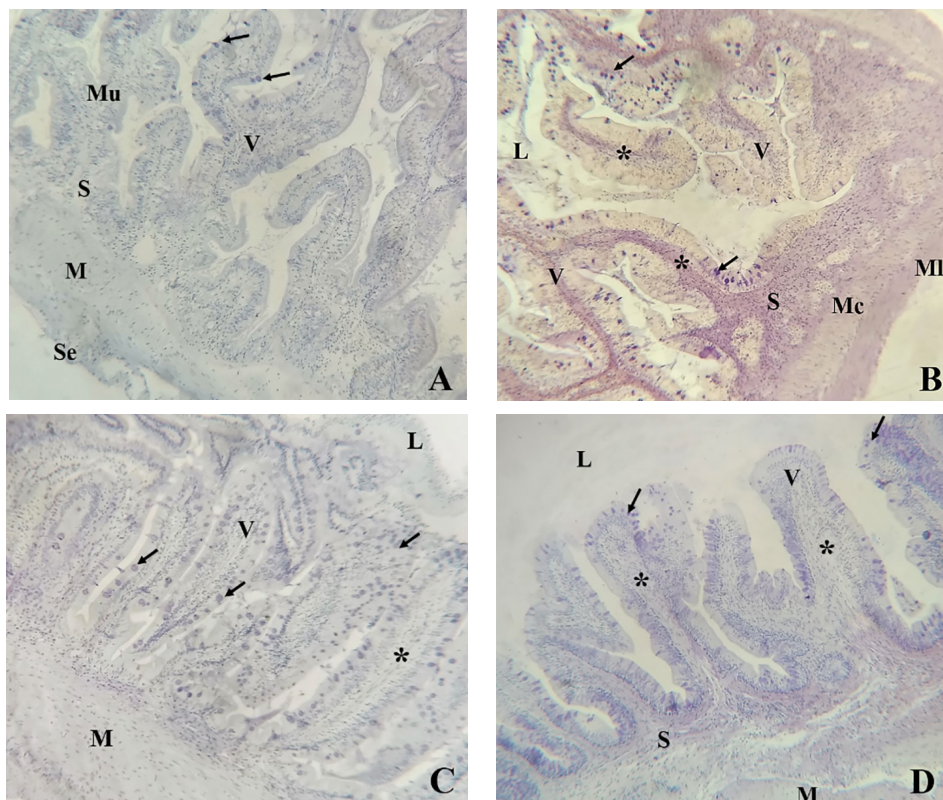
Variações na estrutura das vilosidades da mucosa ao longo do intestino dos peixes foram relatadas para espécies de hábito alimentar onívoro, como *Colossoma macropomum* (*Serrasalminae*) (MORI, 2016) e *Piaractus brachyomus* (*Serrasalminae*) (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019), herbívoro *Schizodon knerii* (SANTOS *et al.*, 2015) e onívoro com tendência



alimentar à carnívoria *Cichlasoma orientale* (Anostomidae) (SILVA, 2015). Rotta (2003) ressalta que um padrão elaborado de vilosidades potencializa a capacidade secretora e absorviva dos nutrientes ingeridos.

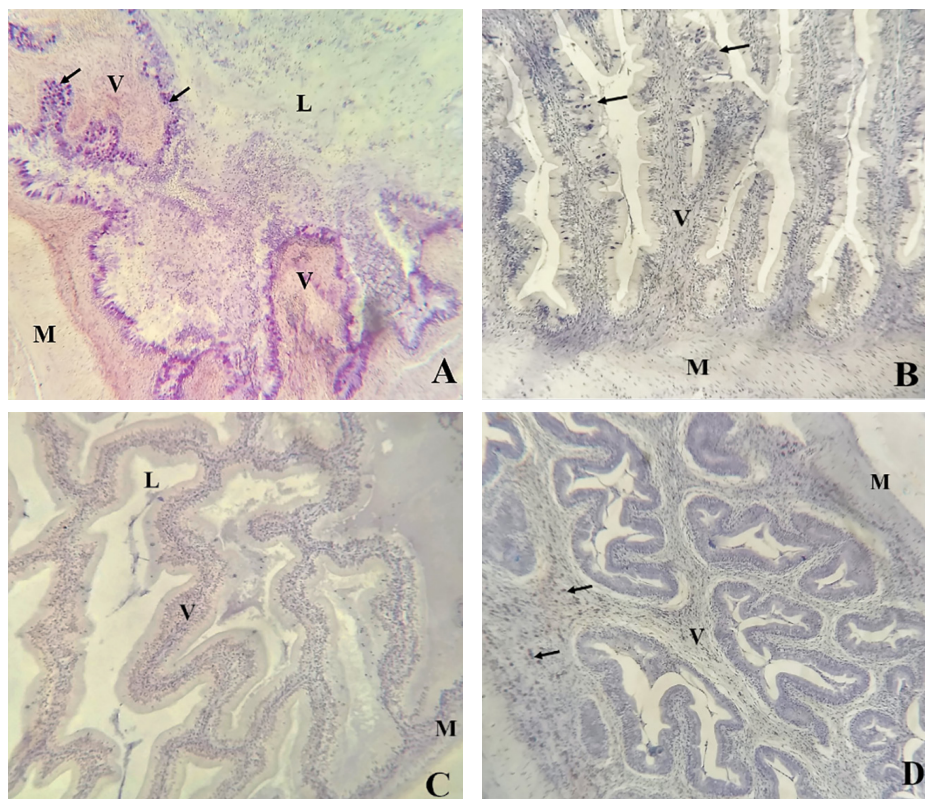
Os resultados apresentados indicam amplas variações na morfologia do intestino, que se relacionam diretamente às suas funções, o que retrata a elevada diversidade dos teleosteos e suas diferentes posições na cadeia trófica (DIAZ *et al.*, 2003).

Figura 54 - Histologia do intestino de peixes coletados no Baixo São Francisco mostrando a diversidade estrutural das espécies. HE, obj. 40x. A) Camadas histológicas do epitélio de piau branco: mucosa (Mu), submucosa (S), camada muscular (M) e serosa (Se), detalhe nas vilosidades (V). B) Pirambeba. C) Tambaqui. D) Tucunaré. Abrev. Vilosidades (V), Lumen (L), Camada muscular (M), Camada muscular circular interna (Mc), Camada muscular longitudinal externa (MI). Lâmina própria (\*), Células caliciformes (setas). Espécies coletadas em Igreja Nova, Pão de Açúcar, Propriá e Traipu, respectivamente.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 55 - Histologia do intestino de peixes do Baixo São Francisco mostrando a diversidade estrutural das espécies. HE, obj. 40x. A) Tucunaré. B) Piau-três-pintas. C) Pacu. D) Carapeba. Abrev. Vilosidades (V), Lumen (L), Camada muscular (M), Células caliciformes (setas). Espécies coletadas em Piranhas, Piaçabuçu, Penedo e Piaçabuçu, respectivamente.



Fonte: Elaborada pelos autores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os espécimes analisados, 93% apresentaram algum tipo de alteração no parênquima hepático e 53% apresentaram alterações branquiais. O tecido intestinal mostrou-se semelhante ao de outras espécies de peixes teleósteos, entretanto, diferenças no arranjo das vilosidades foram observadas.

Esses resultados permitiram concluir que, através da histopatologia, é possível avaliar se os organismos aquáticos passaram por algum evento com agentes estressantes. Através das alterações histopatológicas encontradas nos peixes coletados no Baixo São Francisco, verificou-se que a maioria dos animais coletados não estavam saudáveis.

São de extrema importância estudos sobre a histologia do fígado, das brânquias e do intestino das espécies do Baixo São Francisco que analisem, em sua extensão, os órgãos que têm contato direto com agentes contaminantes. Todas essas informações mostradas no estudo são essenciais para subsidiar trabalhos de manejo das espécies e para o conhecimento do status sanitário dos peixes da região.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília: ANA, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Resolução nº 42 de 29 de agosto de 2013**. Dispõe sobre o —Regulamento Técnico Mercosul sobre Limites Máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. Brasília, DF: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2013.

AGIUS, C. The melano-macrophage centers in fish: a review. *In*: MANNING, M. J.; TATNER, M. F. (Eds.). **Fish Immunology**. London: Academic Press, 1985.

AGIUS, C.; ROBERTS, R. J. Melano-macrophage centers and their role in fish pathology. **Journal of Fish Disease**, v. 26, n. 9, p. 499-509, 2003.

AKCHA F, HUBERT FV, PFHOL-LESZKOWICZ A. Potential value of the comet assay and DNA adduct measurement in dab (*Limanda limanda*) for assessment of in situ exposure to genotoxic compounds. **Mutation Research**, v. 534, p. 21-32, 2003.

ALABSSAWY, A. N.; KHALAF-ALLAHA, H. M. M.; GAFAR, A. A. Anatomical and histological adaptations of digestive tract in relation to food and feeding habits of lizardfish, *Synodus variegatus* (Lacepède, 1803) **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 45, n. 2, p. 159-165, 2019.

AL-OTAIBI, A. M. *et al.* Toxicity bioassay and sub-lethal effects of diazinon on blood profile and histology of liver, gills and kidney of catfish, *Clarias gariepinus*. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 79, n. 2, p. 326-336, 2019.

AMEUR, W. B. *et al.* Oxidative stress, genotoxicity and histopathology biomarker responses in *Mugil cephalus* and *Dicentrarchus labrax* gill exposed to persistent pollutants. A field study in the Bizerte Lagoon: Tunisia, **Chemosphere**, v. 135, p. 67-74, 2015.

BARBOSA, J. M. *et al.* Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco. **Acta Fish**, v. 5, n. 1, p. 70-90, 2017.

BARETTA, D. *et al.* Ecotoxicologia terrestre com ênfase na fauna edáfica. *In*: NIVA, C. C.; BROWN, G. G. (Ed.). **Ecotoxicologia terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

BECHARA, G. H.; SZABÓ, M. P. J. **O processo inflamatório**. Componentes e eventos celulares. São Paulo: Unesp, 2009.

BENINCÃ, C. *et al.* Chronic genetic damages in *Geophagus brasiliensis* exposed to anthropic impact in Estuarine Lakes at Santa Catarina Coast Southern of Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 2045-2056, 2011.

BOMBONATO, M. T. S. *et al.* Estudo morfológico do tecido hepático de *Leporinus macrocephalus*. **Acta Scientiarum – Biological Science**, v. 29, p. 81-85, 2007.

BRAUNBECK, T. *et al.* Thomas steatosis in zebra fish (*Brachydanio rerio*) induced by long-term exposure to  $\gamma$  hexachlorocyclohexane. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 19, n. 3, p. 355-374, 1990.

BRESEGHELO, L. *et al.* Efeitos do fluoreto de sódio no epitélio da brânquia do peixe guaru (*Poecilia vivipara*) **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 46, p. 685-695, 2004.

BRITTO, F. B. **Monitoramento e modelagem da qualidade da água e agroquímicos em corpos hídricos no Baixo São Francisco sergipano**. 165f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2015.

BRUSLÈ, J.; ANADON, G.G. The Structure and function of fish liver. *In*: MUNSHI, J. S. D.; DUTTA, H. M. (Ed.). **Fish morphology horizon of new research**. Lebanon: Science Publishers Inc., 1996.

CAMARGO, M. M. P.; MARTINEZ, C. B. R. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. **Neotropical Ichthyology**, v. 5, p. 327-336, 2007.

CASTAÑO, A. *et al.* The use of fish cells in ecotoxicology. The Report and Recommendations of ECVAM Workshop 47. **ATLA**, v. 31, p. 317-351, 2003.

CASTRO, J. S. *et al.* Histopathological biomarkers in the species *Hoplias malabaricus* (Pisces, Osteichthyes, Erythrinidae) in a Conservation Unit of São Luís (MA). **Brazilian Archives of Veterinary Medicine and Animal Science**, v. 66, n. 6, p. 1687 – 1694, 2014.

CONSTANTINO, R. *et al.* Causas Naturais. *In*: RAMBALDI, D. M; OLIVEIRA, D. A. S. (org.). **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA/SBF, 2007.

COSTA, G. M. *et al.* Estrutura morfológica do fígado de tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 32, n. 9, p. 947-950, 2012.

DANG, Z. C. *et al.* Metallothionein and cortisol receptor expression in gills of Atlantic salmon, *Salmo salar*, exposed to dietary cadmium. **Aquatic Toxicology**. v. 53, p. 91-101, 2001.

DE OLIVEIRA, M. I. B. *et al.* The digestive tube of *Piaractus brachyomus*: gross morphology, histology/histochemistry of the mucosal layer and the effects of parasitism by *Neoechinorhynchus* sp. **Journal of Fish Biology**, v. 94, n. 4, p. 648-659, 2019.

DÍAZ A. O.; GARCÍA A. M.; GOLDEMBERG A. L. Glycoconju- Glycoconjugates in the branchial mucous cells of *Cynoscion guatucupa* (Cuvier, 1830). **Scientia Marina**, v. 69, n. 4, p. 545-553, 2005.

DÍAZ, A. O. *et al.* Histology and histochemistry of the pharyngeal cavity and oesophagus of the silverside *Odontesthes bonariensis* (Cuvier and Valenciennes). **Anatomia Histologia Embryologia**, v. 35, p. 42-46, 2006.

DÍAZ, A. O. *et al.* Morphological and histochemical characterization of the mucosa of the digestive tract in *Engraulis anchoita*. **Anatomia, Histologia, Embryologia**, v. 32, p. 341-346, 2003.

DÍAZ, A. O.; GARCÍA, A. M.; GOLDEMBERG, A. L. Glycoconjugates in the mucosa of the digestive tract of *Cynoscion guatucupa*: A histochemical study. **Acta Histochemica**, v. 110, p. 76-85, 2008.

DORIA, H. B.; VOIGT, C. L.; CAMPOS, S. X. D.; RANDI, M.A.F. Metal pollution

assessment in a Brazilian hydroelectric reservoir: *Geophagus brasiliensis* as a suitable bioindicator organism. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 4, p. 575-590, 2017.

EL-BAKARY, N. E. R.; EL-GAMMAL, H. L. Comparative Histological, Histochemical and Ultrastructural Studies on the Liver of Flathead Grey Mullet (*Mugil cephalus*) and Sea Bream (*Sparus aurata*). **Global Veterinaria**, v. 4, n. 6, p. 548-53, 2010.

ERKMEN, B.; KOLANKAYA, D. Effects of water quality on epithelial morphology in the gill of *Capoeta tinca* living in two tributaries of Kizilirmak River, Turkey. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 64, p. 418-425, 2000.

FACCIOLI, C. K. *et al.* Morphology and histochemistry of the liver of carnivorous fish Hemisorubim platyrhynchos. **International Journal of Morphology**, v. 32, n. 2, p. 715-720, 2014.

FANTA, E. *et al.* Histopathology of the fish *Corydoras paleatus* contaminated with sublethal levels of organophosphorus in water and food. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 54, n. 2, p. 119-130, 2003.

FERREIRA, A. H. C. *et al.* Anatomia do aparelho digestório do tambatinga. **Nutritime**, v. 10 n. 3, p. 2501-2512, 2013.

FIGUEIREDO-FERNANDES, A. *et al.* Histopathological changes in liver and Gill epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to waterborne copper. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 27, p. 103-109, 2007.

FONTANETTI, C.S.; SOUZA, T.S.; CHRISTOFOLETTI, C.A. The role of biomonitoring in the quality assessment of water resources. *In*: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (Org.). **Sustainable water management in the tropics and subtropics – and case studies in Brazil**. Jaguarão/RS: Fundação Universidade Federal do Pampa, UNIKASSEL, 2012.

GARCIA-SANTOS, S. *et al.* Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 2, p. 376-381, 2007.

GAUDIER, E. *et al.* Butyrate enemas upregulate Muc genes expression but decrease adherent mucus thickness in mice colon. **Physiological Research**. v. 58, n. 1, 111-9, 2009.

GENTEN, F.; TERWINGHE, E.; DANGUY, A. **Atlas of fish histology**. Enfield, USA: Science publishers, 2009.

GIARI, L. *et al.* Cellular alterations in different organs of European sea bass *Dicentrarchus labrax* (L.) exposed to cadmium. **Chemosphere**, v. 67, p. 1171-1181, 2007.

GÓES, R. M.; TABOGA, S. R. Células caliciformes. Cap. 14. *In*: CARVALHO, H. F.; COLLARES-BUZATO, C. B. **A célula**. Uma abordagem multidisciplinar. São Paulo: Manole, 2005.

HARTLEY, W. R. *et al.* Liver Lesions in Gar Fish (Lepisosteidae) as Biomarkers of Exposure. **Marine Environmental Research**, v. 42, p. 217-221, 1996.

HEATH, A. G. **Water Pollution and Fish Physiology**. [s.l.]: C.R.C. Press, 1997.

HINTON, D. E. et al. **Biomarkers**: Biochemical, physiological, and histopathological markers of anthropogenic stress. Boca Raton: Lewis Publishers, 1992.

HINTON, D. E.; LAUREN, D. J. Integrative histopathological effects of environmental stressors on fishes. **American Fisheries Society**, v. 8, p. 51-66, 1990.

HOLDEN, J. A.; LAYFIELD, L. L.; MATTHEWS, J. L. **The zebrafish**: atlas of macroscopic and microscopic anatomy. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

JOBLING, M. **Environmental biology of fishes**. London: Chapman & Hall, 1995.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.

KAN, Y. *et al.* The protective role of vitamin E on gill and liver tissue histopathology and micronucleus frequencies in peripheral erythrocytes of *Oreochromis niloticus* exposed to Deltamethrin. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 34, p. 170-179, 2012.

LEHMANN, N. B. **Diagnóstico patológico em tilápias do rio Cachoeira, Joinville, SC, Brasil**. 2018. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

LIMA, F. B. *et al.* Morphology of the gills of *Steindachnerina brevipinna* (Eigenmann & Eigenmann, 1889) (Characiformes, Curimatidae). **Biotemas**, v. 22, p. 87-92, 2009.

LUVIZOTTO, M. F. **Efeitos de diferentes salinidades sobre as células de cloreto e as células secretoras do epitélio branquial do peixe antártico *Nototheniops nudifrons* (Lonberg, 1906)**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação, Mestrado em Biologia Celular, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1994.

MACHADO, M. R. Uso de brânquias de peixe como indicadores de qualidade das águas. **Ciência, Biologia e Saúde**. v.1, p.63-76, 1999.

MALLATT, J. Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical Review. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 42, p. 630-648, 1985.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade? **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, p. 433-460, 2015.

MARTINEZ, C. B. R.; CÓLUS, I. M. S. Biomarcadores em peixes neotropicais para o monitoramento da poluição aquática na bacia do rio Tibagi. *In*: MEDRI, M. E. et al. (Eds.) **A bacia do rio Tibagi**. Londrina: Medri, 2002.

MATSUMOTO, S. T. *et al.* Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in on root-tips. **Genetics and Molecular Biology**, v. 29, n. 1, p. 148-158, 2006.

McDonald D.G., Wood C.M. (1993) Branchial mechanisms of acclimation to metals in freshwater fish. *In*: Rankin J.C., Jensen F.B. (eds) **Fish Ecophysiology**. **Chapman & Hall Fish and Fisheries Series**, vol 9. Springer, Dordrecht.

MELA, M. *et al.* Risks of waterborne copper exposure to a cultivated freshwater neotropical catfish *Rhamdia quelen*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 88, p. 108-116, 2013.

MENIN, E. **Anátomo-Histologia Funcional Comparativa do Aparelho Digestivo de Seis Teleostei (Pisces) de Água Doce**. 1988. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

MEYERS, T. R.; HENDRICKS, J.D. Histopathology. In: RAND, G. M.; PETROCELLI, S. R. (Eds). **Fundamentals of aquatic toxicology: methods and applications**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1985.

MORAIS, A.L.S. *et al.* Características morfológicas do trato digestório de três espécies de peixes (Osteichthyes: Lutjanidae) das águas costeiras do Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Amazônia**, v.4, n.2, p.51-54, 2014.

MORI, R. H. **Análises morfológicas, histoquímicas e ultraestruturais do tubo digestivo de tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816)**. 2016. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Centro de Aquicultura de Jaboticabal, 2016.

MUMFORD, S. *et al.* Normal histology. In: MORRISON, J. **Fish histology and histopathology**. NCTC: USFWS, 2007.

NOGA, E. J. **Fish Disease Diagnosis and treatment**. St Louis, Missouri: Mosby-Year Book Inc., 1996.

NOGUEIRA, D.J. *et al.* O. Utilização das brânquias de *Pimelodus maculatus* (Lacépède, 1803) (Siluriformes; Pimelodidae) como biomarcador de poluição no reservatório da UHE Marechal Mascarenhas de Moraes, Minas Gerais, Brasil. **Revista Biotemas**, v.24, p.51-58, 2011.

OLUFAYO, M. O.; ALADE O. H. Acute toxicity and histological changes in gills, liver and kidney of catfish, *Heterobranchus bidorsalis* exposed to cypermethrin concentration. **African Journal of Agricultural Research**. v. 7, n. 31, p. 4453-4459, 2012.

PACHECO, M.; SANTOS, M. A. Biotransformation, genotoxic, and histopathological effects of environmental contaminants in European eel (*Anguilla anguilla* L.). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 53, p. 331 – 347, 2002.

PAGLIARINI, E. C.; OLIVEIRA, V. B. M.; ESPINDOLA, E. L. G. Aplicação da Análise de Risco Ecológico (ARE) para avaliação de impactos em ecossistemas aquáticos naturais. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, e02922, 2019.

PEREIRA, S. *et al.* Gill histopathological and oxidative stress evaluation in native fish captured in Portuguese northwestern rivers. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 90, p.157 –166, 2013.

PINHEIRO, K. B. S. *et al.* Histopatologia do fígado de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 proveniente de área sobre influência de mineração na Amazônia Oriental, Brasil. **Biota Amazonia**, v. 7, n. 3, p. 74-78, 2017.

POLEKSIC, V.; MITROVIC-TUTUNDZIC, V. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. In: MÜLLER, R.; LLOYD, R. (Eds). **Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish**. Oxford: FAO- Fishing News Books, 1994.



PURUSHOTHAMAN, K. *et al.* Morpho-histological characterisation of the alimentary canal of an important food fish, *Asian seabass* (*Lates calcarifer*). **PeerJ**, n. 4, v. e2377, 2016.

RABITTO, I. S. *et al.* Mercury and DDT exposure risk to fish-eating human populations in Amazon. **Environment International**, v. 37, p. 56-65, 2011.

RAND, G. M.; PETROCELLI, S. R. **Fundamentals of aquatic toxicology: methods and application**. London: Hemisphere Publishing Corporation. 1985.

REIS, A. B. *et al.* Alterações do epitélio branquial e das lamelas de tilápias (*Oreochromis niloticus*) causadas por mudanças do ambiente aquático em tanques de cultivo intensivo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 4, p. 303-311, 2009.

RELATÓRIO DA 1ª EXPEDIÇÃO CIENTÍFICA DO BAIXO SÃO FRANCISCO. Resgate Histórico e radiografia atual do Velho Chico Universidade Federal de Alagoas, **Relatório Técnico**. 2019. Disponível em <https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/media/2019/07/RELATORIO-S%C3%83O-FRANCISCO-FINAL-JUNHO-DE-2019.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

RELATÓRIO DA 2ª EXPEDIÇÃO CIENTÍFICA DO BAIXO SÃO FRANCISCO. Universidade Federal de Alagoas, **Relatório Técnico**. 2020. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/media/2020/07/RELATORIO-II-EXPEDI%C3%87%C3%83O-BSF-1.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

RICHARD, F. C., BOURG, A. C. M. Aqueous geochemistry of chromium: a review. **Water resources**, v. 25, n. 7, p.807-16, 1991.

RIGOLIN-SÁ, M. A. F.; TELES-OLIVEIRA, T. C.; TEXEIRA, L. M. Gill histopathology induced by pollutants in Lambari, *Astyanax fasciatus*. **Brazilian Journal of Morphological Sciences**, v. 1, p. 106-107, 2005.

ROBBINS, S.; COTRAN, R. S. **Patologia - Bases patológicas das doenças**. Elsevier: Rio de Janeiro. 2005.

ROBERTS, A. P.; ORIS, J. T. Multiple biomarkers responses in rainbow trout during exposure to hexavalent chromium. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 138, n. 221-228, 2004.

ROBERTS, R. J. **Fish pathology**. London: Bailliere Tindall; 1978.

ROBERTS, R. J. **Fish pathology**. London: W. B. Saunders, 2001.

ROCHA, R. M. *et al.* Avaliação histopatológica do fígado de *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau, 1855) da baía do Guajará, Belém, Pará. **Ciência Animal Brasileira**, v. 11, n. 1, p. 101-109 2010.

RODRIGUES, S. S.; MENIN, E. Anatomia da cavidade bucofaringeana de *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1817) (Pisces, Characidae, Salmininae). **Biotemas**, v. 19, n. 1, p. 41-50, 2006.

RODRIGUES, S. S.; NAVARRO, R. D.; MENIN, E. Adaptações anatômicas da cavidade bucofaringiana de *Leporinus macrocephalus* Garavello & Britski, 1988 (Pisces, Characiformes, Anostomidae) em relação ao hábito alimentar. **Biotemas**, v. 19, n. 1, p. 51-58, 2006.

ROTTA, M. A. **Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes**

**relacionados à piscicultura.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003.

RUDNICKI, C. A. M. *et al.* Gills of juvenile fish *Piaractus mesopotamicus* as histological biomarkers for experimental sub-lethal contamination with the Organophosphorus Azodrin®400. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, p. 1431-1441, 2009.

RUST, M. B. Nutritional Physiology. In: HALVER, J. E.; HARDY, R.W. (Eds). **Fish Nutrition**. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2002.

SANTOS, M. L. *et al.* Morphological characteristics of the digestive tract of *Schizodon knerii* (Steindachner, 1875), (Characiformes: Anostomidae): Anatomical, histological and histochemical study. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 867-878, 2015.

SCHALCH, S. H. C.; MORAES, F. R.; MORAES, J. R. E. Efeitos do parasitismo sobre a estrutura branquial de *Leporinus macrocephalus* garavello e britsk, 1988 (Anostomidae) e *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae), **Revista Brasileira de Parasitologia**, v. 15, n. 3, p. 110-115, 2006.

SEIXAS FILHO, J. T. *et al.* Anatomia funcional e morfometria dos intestinos e dos cecos pilóricos do *Teleostei* (Pisces) de água doce *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 313-324, 2000.

SENTHIL, P.; UTHAMAN, M.; MUTHULINGAM, M. Effect of chromium on histopathological changes in the gill tissue of fresh water fish, *Oreochromis Mossambicus* (Peters). **International Journal of Current Research and Review**, v. 33, n. 3, p. 018-021, 2011.

SEPICI-DINÇEL A. *et al.* Sublethal cyfluthrin toxicity to carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings: Biochemical, hematological, histopathological alterations. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, p. 1433-1439, 2009.

SILVA, G. M. M. **Caracterização morfohistológica do trato digestório de *Cichlasoma orientale*** (Osteichthyes: Cichlidae). 2015. Dissertação (Mestrado) - Biologia Estrutural e Funcional, Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SILVA, V. D. P. *et al.* Medições e modelagem da pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 521-526, 2015.

SIMIONATO, J. D.; FERNANDES, M. N.; MARTINEZ, C. B. R. Biochemical, physiological, and histological changes in the neotropical fish *Prochilodus lineatus* exposed to diesel oil. **Ecotoxicological and Environmental Safety**, v. 69, p. 112-120, 2008.

SNORRASON, S. S. *et al.* Trophic specialization in Arctic charr *Salvelinus alpinus* (Pisces, Salmonidae): morphological divergence and ontogenetic niche shifts. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 52, p. 1-18, 1994.

SOARES, E. C. *et al.* Ictiofauna e pesca no entorno de Penedo, Alagoas. **Biotemas**, v. 24, n. 1, p. 61-67, 2011.

SOUZA, E. L. *et al.* Resíduos contaminantes no solo: possibilidade e consequências. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p.484-509, 2018.

STECKERT, L. D. *et al.* Investigation of farmed Nile tilapia health through histopathology. **Aquaculture**. v. 486, p. 161-169, 2018.

STEGEMAN, J. J.; LECH, J. J. Cytochrom p-450 monoxygenase systems in aquatic species: carcinogen metabolism and biomarkers for carcinogen and pollutant exposure. **Environmental Health Perspectives**, v. 90, p. 93-100, 1991.

STOYANOVA, S. *et al.* Histological alterations in common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) gills as potential biomarkers for fungicide contamination. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58 n. 5, p. 757-764, 2015.

STRZYZEWSKA, E.; SZAREK, J.; BABINSKA, I. Morphologic evaluation of the gills as a tool in the diagnostics of pathological conditions in fish and pollution in the aquatic environment: a review. **Veterinárni Medicína**, v. 61, n. 3, 2016.

SUNDFELD-PENIDO, J. **Estudos limnológicos e ecotoxicológicos com amostras de água e sedimento do Ribeirão Limeira** – Piquete / Lorena-SP. 2010. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

TAYYBAH, S. *et al.* Teratological effect of various sublethal concentrations of Chromium Hexavalent [Cr (VI)] on the gills of *Cyprinus carpio*. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 4, n. 2, p. 5-18, 2012.

THOPHON, S. *et al.* Histopathological alterations of white seabass, *Lates calcarifer*, in acute and subchronic cadmium exposure. **Environmental pollution**. v. 121, p. 307-320, 2003.

WALKER, C. H. *et al.* **Principles of ecotoxicology**. New York: CRC Press, 2006.

WITHERS, P. C. **Comparative animal physiology**. [S.l.]: Saunders College Publishing, 1992.

WOLF, J. C.; WHEELER, J. R. A critical review of histopathological findings associated with endocrine and non-endocrine hepatic toxicity in fish models. **Aquatic Toxicology**, v.197, p. 60-78, 2018.

XU, D. H.; SHOEMAKER, C. A.; KLESIUS, P. H. Evaluation of the link between gyrodactylosis and streptococcosis of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Journal of Fish Diseases**, v. 30, n. 4, p. 233-238, 2007.

YANCHEVA, V. *et al.* Fish in Ecotoxicological Studies. **Ecologia Balkania**, v. 7, n. 1, p. 149-169, 2015.

# ICHTHYOFAUNA OF THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER GENETIC DIVERSITY

Valéria Nogueira Machado

Themis de Jesus da Silva

Emilly Valentim

Ricardo Fabio Teodósio

Evaristo Pérez Rial

Emerson Carlos Soares

## SUMMARY

The ichthyofauna of the São Francisco River is relatively well known, with about 300 recorded species. Of this total, 241 are considered endemic to the basin, and the remainder consists of invasive species and species originating from other basins introduced in the São Francisco. The middle and lower regions house approximately 120 species, and in the lower São Francisco, the advancement of seawaters upriver, associated with the drought of small tributaries, has restricted the living area of exclusively freshwater species. Although the river is significantly altered throughout its course and consequently its ichthyofauna is affected, studies that evaluate the phylogenetic relationships of the species, genetic diversity, and their biogeographical patterns are scarce. The DNA barcoding methodology was used to evaluate the ichthyofauna's genetic diversity of the Lower São Francisco and compare it with the rest of the basin. The analyses revealed that all exclusive freshwater collected species do not compose lineages different from those occurring in the river's higher stretches; however, low levels of genetic diversity were observed in some taxa in this region. The results also show ongoing or concretized speciation events occurring in the tributaries of the upper part of the basin, but they also show the reduction of the species' genetic diversity towards the lower region. This shows the region's uniqueness and, consequently, highlights the impacts generated by pollution and salt intrusion on the ichthyofauna.

# CAPÍTULO 9

## DIVERSIDADE GENÉTICA DA ICTIOFAUNA DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Valéria Nogueira Machado<sup>44</sup>

Themis de Jesus da Silva<sup>45</sup>

Emilly Valentim<sup>46</sup>

Ricardo Fabio Teodósio<sup>47</sup>

Evaristo Pérez Rial<sup>48</sup>

Emerson Carlos Soares<sup>49</sup>

### INTRODUÇÃO

A ictiofauna da bacia hidrográfica do rio São Francisco é relativamente bem conhecida. Embora algumas regiões concentrem maior número de estudos, como a região da usina hidrelétrica de Três Marias e a sub-bacia do rio das Velhas, por exemplo, a bacia como um todo já foi bem estudada, sobretudo com respeito à sua composição ictiofaunística e à biologia das espécies (BRITSKI et al., 1984; BRITSKI, 2010; BARBOSA; SOARES, 2009; ALVES; POMPEU, 2010; BARBOSA et al., 2017; GODINHO; GODINHO, 2003). São registradas, atualmente, cerca de 300 espécies para a bacia do São Francisco, sendo 241 delas consideradas endêmicas dessa bacia (BARBOSA et al., 2017). Esse total representa cerca de 80% da ictiofauna, sendo os 20% restantes compostos por espécies invasoras (aproximadamente 11%) e por espécies originárias de outras bacias e que foram introduzidas no São Francisco através da piscicultura, o que representa cerca de 9% de sua ictiofauna (BARBOSA et al., 2017). Recentemente, Silva (2017) realizou um levantamento do nível de conhecimento da ictiofauna da bacia do São Francisco, objetivando uma padronização da nomenclatura das espécies de peixes dessa bacia antes da efetivação da transposição das águas desse rio para bacias adjacentes, e lista 116 espécies ocorrendo no Médio-Baixo rio São Francisco. Em um estudo na região estuarina do rio São Francisco, Sampaio et al. (2015) encontraram 113 espécies ocorrendo nessa região, sendo 44% delas marinha-estuarinas, 41% dulcícolas e 15% exclusivamente marinhas.

Embora por tantas modificações no curso do São Francisco sua ictiofauna seja relativamente bem conhecida, estudos que avaliem as relações filogenéticas das espécies, a diversidade genética, sua estrutura populacional, bem como seus padrões biogeográficos são poucos (COSTA-SÁ et al., 2012), restringindo-se a alguns gêneros ou espécies de interesse econômico, como *Prochilodus argenteus* e *P. costatus* (MELO et al., 2013) e *Pseudoplatystoma corruscans* (SOUZA et al., 2010). Apenas um estudo molecular conduzido por Carvalho et al.

<sup>44</sup> Universidade Federal do Amazonas.

<sup>45</sup> Universidade Federal de Alagoas.

<sup>46</sup> Graduanda da Universidade Federal de Alagoas.

<sup>47</sup> Graduando da Universidade Federal de Alagoas.

<sup>48</sup> Instituto Espanhol de Oceanografia.

<sup>49</sup> Universidade Federal de Alagoas.



(2011), utilizando a metodologia do DNA Barcode, foi mais abrangente. O autor analisou a diversidade dentro de 101 espécies morfológicas, oriundas principalmente do Médio e Alto curso do rio São Francisco, e encontrou nove táxons com diversidade genética intraespecífica profunda, sugerindo a presença de diversidade críptica dentro dessas espécies. Além disso, também foram observados alguns táxons com linhagens estruturadas no rio Paraopeba, sugerindo possíveis Unidades Evolutivas Significantes (ESU) para esse tributário do São Francisco.

Análises de diversidade genética e estruturação populacional das espécies são úteis para identificar a diversidade íctica da bacia, assim como diagnosticar espécies mais vulneráveis aos impactos gerados pelas várias alterações ambientais decorrentes dos múltiplos usos das águas do São Francisco. Informações sobre a diversidade genética da ictiofauna do São Francisco são e serão úteis para as decisões de manejo e conservação das espécies.

## Metodologia

Durante a segunda Expedição Científica ao Baixo rio São Francisco, foram coletadas amostras de tecido muscular de 25 espécies de peixes. O percurso amostrado compreendeu cerca de 240 km entre a cidade de Piranhas e a foz do rio. A identificação taxonômica das espécies foi feita por ictiólogos, com uso de chaves dicotômicas, literatura especializada e comparação com exemplares depositados em museus e coleções científicas. Todas as coletas foram realizadas com autorização do Ibama/MMA, sob a Licença de Coleta de material biológico nº 66795-2. Amostras coletadas estão tombadas na Coleção de Tecidos de Genética Animal da Universidade Federal do Amazonas.

Quando possível, foi extraído DNA de cinco amostras por espécie para as análises genéticas com o DNA Barcode. Após a extração, a qualidade do DNA foi verificada em gel de agarose 1% e a região *barcode* do gene mitocondrial citocromo c oxidase subunidade I (COI) foi amplificada, usando a combinação dos iniciadores COIFishF.2 (5'- TRTGGRGCTACAAICCC-3') e COIFishR.1 (5'- ACTTCIGGGTGICCRAAGAAAYCA-3') (COLATRELI *et al.*, 2012). Os amplicons (regiões amplificadas do gene COI) obtidos foram, então, purificados e sequenciados bidirecionalmente no sequenciador automático ABI 3500 (Applied Biosystems).

As sequências parciais do gene COI foram alinhadas utilizando a ferramenta de alinhamento Mafft, implementadas no software Geneious 7.0.6 (KEARSE *et al.*, 2012) e editadas manualmente. Estas foram, então, traduzidas em aminoácidos hipotéticos, para verificação de inserções, deleções e códons de parada inesperados.

Para determinar as relações filogenéticas entre as espécies e populações de peixes coletados, foi utilizada a metodologia do DNA *Barcode* (HEBERT *et al.*, 2004), que usa o gene COI + árvore de *neighbor-joining* + modelo evolutivo Kimura - 2 - parâmetros. Entre os métodos que utilizam distâncias genéticas, o *neighbor-joining* é um dos mais usados, principalmente por causa da sua eficiência computacional, especialmente quando a quantidade de sequências analisadas é muito grande. Este método funciona em passos, minimizando a soma dos comprimentos dos ramos a cada passo do processo de agregação ("clusterização") das sequências (KUMAR *et al.*, 2018).

Para as análises de delimitação das espécies baseadas nos princípios da coalescência, o banco de dados de sequências foi reduzido a haplótipos únicos, usando a função hapCollapse (<http://github.com/legalLab/protocols-scripts>) no programa R. Em seguida, foram geradas árvores filogenéticas ultramétricas no programa Beast 2.6.2 (BOUCKAERT *et al.*, 2014),

sob o modelo de substituição de nucleotídeos TIM3 + G inferido como o melhor modelo de evolução molecular no próprio Beast 2.6.2. O relógio molecular utilizado foi o strict clock e o modelo evolutivo coalescente de tamanho populacional constante. Foram executadas três corridas independentes de 20.000.000 de gerações de MCMC, com árvores e parâmetros amostrados a cada 2.000 gerações e, após verificar a convergência, as corridas foram combinadas no LogCombiner 2.5.1 (RAMBAUT; DRUMMOND, 2018). A convergência dos parâmetros e o tamanho efetivo da amostra ( $ESS > 200$ ) foram verificados no Tracer 1.7 (RAMBAUT *et al.*, 2018). Uma árvore de máxima credibilidade do clado foi obtida após o *burn-in* de 1.000 árvores, usando TreeAnnotator (BOUCKAERT *et al.*, 2014).

Foram utilizados quatro métodos de delimitação de espécies de um único *locus*, utilizando as sequências geradas neste projeto e as sequências do Médio e Alto rio São Francisco, provenientes do trabalho de Machado *et al.* (2018) e Carvalho *et al.* (2011). Os métodos de delimitação utilizados foram: (1) GMYC, o modelo coalescente geral de Yule (FUJISAWA; BARRACLOUGH, 2013); (2) bGMYC, uma implementação bayesiana do GMYC (REID; CARSTENS, 2012); (3) local mínima (locMin), uma otimização de limite de distância e abordagem de agrupamento do pacote de software spider\_1.3-0 (BROWN *et al.*, 2012), e (4) mPTP, o método de processo de árvore de poisson (ZHANG *et al.*, 2013). Todas as análises foram realizadas no R v3.6.1. (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017). As metodologias seguiram os padrões preestabelecidos em Machado *et al.* (2018).

As distâncias genéticas inter e intraespecíficas (máxima e mínima) das amostras utilizadas foram calculadas através de matrizes de distâncias-*p*, utilizando o pacote ape no programa R v3.6.1. (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

## Resultados

Foram sequenciados, em média, 630 pares de base do gene mitocondrial Citocromo *c* oxidase subunidade I para 54 espécimes de peixes pertencentes a 19 espécies nominais, cinco táxons identificados apenas no nível de gênero e um no nível de família. O número de indivíduos por espécie sequenciados no Baixo São Francisco variou de um (ex. *Hoplias microcephalus*, *Prochilodus costatus* e *Eugerres brasilianus*) a oito em *Schizodon knerii* e *Serrasalmus brandtii*. Foram adicionadas ao banco de dados 465 sequências baixadas do Bold (*Barcode of Life Data System*), provenientes dos trabalhos de Machado *et al.* (2018) e Carvalho *et al.* (2011). Essas sequências são provenientes, principalmente, da porção Média e Alta da bacia do São Francisco.

O banco de dados total consistiu de 519 sequências, sendo que apenas uma delas (*Eugerres brasilianus*) foi menor que 500 pares de bases. Nenhuma deleção, inserção ou códon de parada inesperado foi observado.

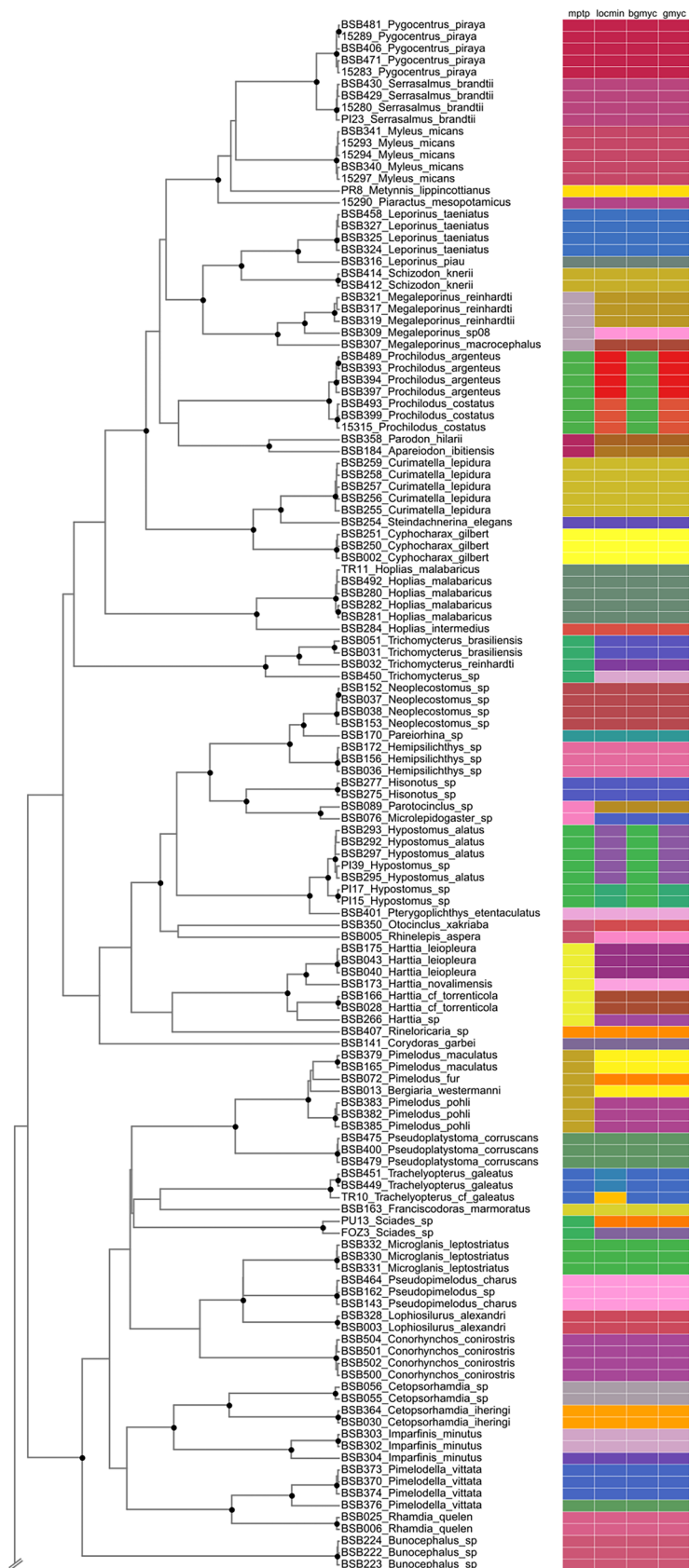
A média de divergência genética variou de 0% a 13,9% (média de 0,8%) dentro das espécies e de 0% a 21,73% (média de 10,0%) entre as espécies (Tabela 31). A análise de Neighbor-Joining mostrou que muitas das espécies usadas neste trabalho (69,4%) formaram grupos monofiléticos e puderam ser discriminadas corretamente (Tabela 31). No entanto, alguns táxons (11) mostraram-se parafiléticos e apresentaram altos valores de divergência intraespecífica. Dentro das 84 espécies e morfotipos que puderam ser discriminados, 11 apresentaram valores de divergência interespecífica menor que 2% (valor de corte adotado pela metodologia do Barcode para delimitação de espécies). No entanto, esses valores ainda permitiram a discriminação entre espécies, uma vez que as mesmas formaram

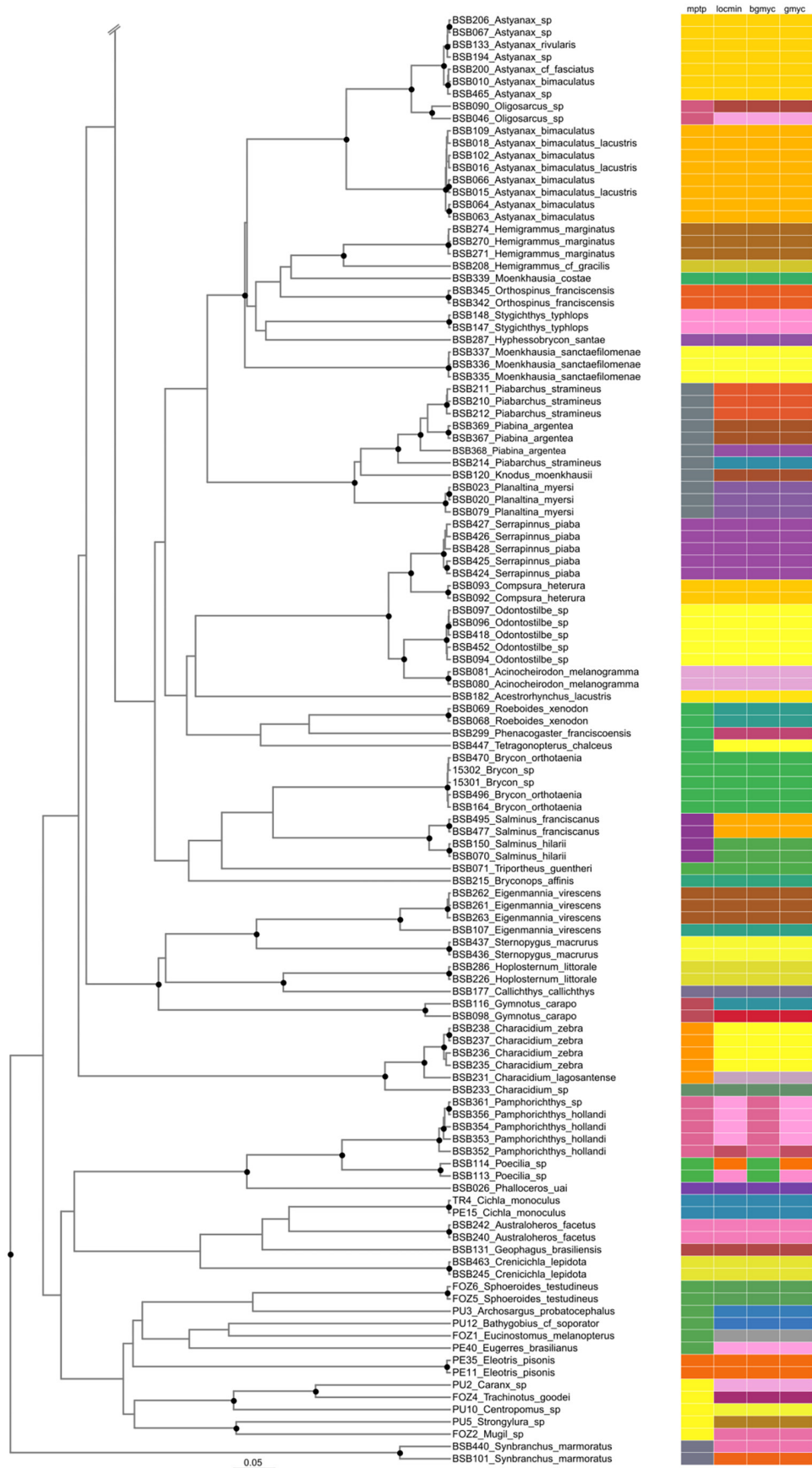
coesivos grupos monofiléticos.

Os resultados das análises mostraram que a maioria das espécies sequenciadas (69,4%) formaram grupos monofiléticos, indicando a correta identificação taxonômica das amostras através das análises do DNA Barcode (**Tabela 31**). Entre os métodos de delimitação de espécies, locMin foi aquele que identificou um maior número de linhagens/clusters, enquanto mPTP foi mais conservador, delimitando um número bem menor de espécies/linhagens, sobretudo nas espécies estuarinas e marinhas coletadas na porção Baixa do rio São Francisco. Esse número baixo de espécies discriminadas por esse método deve-se à falta de táxons mais relacionados nas espécies estuarinas e marinhas, ou seja, não foi amostrada toda a ictiofauna estuarina e costeira da região.

As análises de delimitação usando sequências de COI geradas a partir da coleta de peixes na segunda Expedição ao Baixo rio São Francisco e sequências das porções Média e Alta desse rio, obtidas de Machado *et al.* (2018) e Carvalho *et al.* (2011), revelaram que todas as espécies exclusivas de água doce coletadas na porção Baixa do São Francisco não compõem linhagens diferentes daquelas ocorrendo nos trechos mais Altos do rio. Todos os espécimes das 10 espécies de água doce da porção Baixa (*Schizodon knerii*, *Leporinus piau*, *Hoplias malabaricus*, *Pygocentrus piraya*, *Serrasalmus brandtii*, *Metynnis lippincottianus*, *Prochilodus costatus*, *Cichla monoculus*, *Trachelyopterus cf. galeatus*, *Hypostomus* sp.) formaram grupos coesos com os espécimes da parte superior, mostrando que essas populações não se encontram diferenciadas ao longo da calha principal do rio São Francisco (Figura 56).

Figura 56. Delimitação de espécies baseada em DNA barcode-COI (651 pb) dos peixes do rio São Francisco. Cores iguais representam a mesma espécie.







As análises de distância e diversidade genética mostraram variáveis níveis de distância genética interespecífica (de 0 até 21,73%) (Tabela 31). Por exemplo, um exemplar de *Astyanax bimaculatus* apresentou distância genética de *Astyanax cf. fasciatus* (atualmente *Psalidodon fasciatus*) de 0%. Dentro das espécies, a diversidade genética variou de 0,0 a 13,97%, indicando alta variabilidade dentro de algumas delas, como *Astyanax bimaculatus*, *Eigenmannia virescens* e *Synbranchus marmoratus*, entre outros táxons coletados somente nas porções Média e Alta do rio São Francisco. No entanto, a alta variabilidade genética observada em algumas espécies deve-se à diversidade críptica não detectada em estudos anteriores, como, por exemplo, o caso de *Astyanax* citado anteriormente, onde, claramente, o indivíduo identificado como *A. bimaculatus* trata-se, na verdade, de um espécime de *P. fasciatus*. Não levando em conta espécies com um único espécime, particularmente baixos níveis de diversidade intraespecífica foram encontrados em *Serrasalmus brandtii*, *Pygocentrus piraya*, *Crenicichla lepidota*, *Hoplias malabaricus*, *Leporinus piau* e *Prochilodus costatus*, enquanto outras espécies, como *Astyanax bimaculatus*, *Imparfinis minutus* e *Pimelodella vittata*, mostraram altos níveis de diversidade genética intraespecífica (Tabela 31).

A partir dos resultados desta pesquisa, foi possível observar que algumas espécies são compostas por dois ou mais grupos, separados por altos níveis de divergência genética (ex.: *Gymnotus carapo*, *Synbranchus marmoratus*, *Astyanax bimaculatus*), variando de 4,6% até 13,9% no gene COI. Essa diversidade foi observada apenas na porção Alta da bacia, o que demonstra uma diversidade críptica nesses táxons. No entanto, essa diversidade oculta parece estar relacionada aos tributários das porções Média e Alta da bacia do rio São Francisco, não sendo observado nenhum padrão de estruturação da ictiofauna ao longo da calha principal do rio.

## Discussão

A bacia do rio São Francisco é altamente alterada, em decorrência dos múltiplos usos de suas águas. Embora apresente uma riqueza relativamente pequena de espécies de peixes, mostra um alto grau de endemismo dessas espécies, sobretudo nos seus tributários superiores. Diversos estudos permitiram, ao longo dos anos, uma caracterização da ictiofauna dentro da bacia, assim como a relação histórica de algumas espécies de peixes com populações de bacias vizinhas. No entanto, uma caracterização da diversidade genética dessa ictiofauna, bem como uma análise da estrutura das populações de peixes ao longo dessa bacia, ainda é incompleta.

Este estudo aumentou a amostragem molecular da ictiofauna do rio São Francisco, uma vez que foram gerados códigos de barra de DNA (barcodes) para espécies coletadas na porção baixa desse rio. Essas novas sequências, associadas ao banco de dados de Carvalho *et al.* (2011), das porções Média Alta e Alta do rio São Francisco, e de Machado *et al.* (2018), da porção Média Alta, permitiram uma análise mais completa da ictiofauna desse rio.

As análises mostram que as espécies ocorrendo no Baixo São Francisco não formam linhagens diferenciadas do restante da bacia. Esse resultado já havia sido observado por Carvalho *et al.* (2011), analisando as populações de peixes da porção Alta do rio, e isso parece ser um padrão dentro da calha do São Francisco. No entanto, foi possível detectar, ao longo da bacia, espécies com fortes indícios de diversidade críptica, apresentando distâncias genéticas compatíveis com níveis interespecíficos. *Imparfinis minutus*, por exemplo, apresentou duas linhagens ocorrendo na bacia do rio das Velhas (Alto São Francisco), com uma divergência de 9% entre elas. *Synbranchus marmoratus* (muçum) também apresentou duas linhagens

divergentes dentro da bacia, com distância genética entre elas de 8,2%, um forte indicativo da existência de duas espécies dentro desse táxon ocorrendo no rio Paraopebas (Alto rio São Francisco).

A maioria das espécies utilizadas neste estudo apresentou apenas uma linhagem ocorrendo ao longo da bacia do rio São Francisco. Isso inclui todas as espécies de água doce coletadas na parte Baixa do rio. Espécies com linhagens divergentes foram observadas apenas nos tributários da parte Alta da bacia, o que mostra que, mesmo muito barrado e poluído, a troca de material genético entre as espécies de peixes ao longo de toda a calha do São Francisco não foi interrompida. No entanto, a porção Baixa do rio, sem dúvida, é a mais afetada por todas as alterações na bacia. As populações das espécies ocorrendo nessa região não têm a opção de fuga da poluição e da intrusão salina, uma vez que os tributários do Baixo São Francisco não são perenes e as lagoas marginais também são profundamente afetadas com a redução da vazão. Embora haja a troca de material genético ao longo de todo o rio, a tendência das populações do Baixo é o endocruzamento, o que diminui o potencial genético das espécies, podendo levar à redução drástica das populações locais, o que já tem sido observado para algumas espécies, como a curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) e o piau (*Megaleporinus obtusidens*), cujas densidades populacionais têm diminuído ao longo dos anos, afetando sobremaneira a pesca de subsistência no Baixo São Francisco.

Os resultados deste trabalho, portanto, indicam possíveis eventos de especiação em curso ou concretizadas, ocorrendo nos tributários da parte Alta da bacia do São Francisco, mas também mostram a redução da diversidade genética das espécies em direção à parte Baixa, uma vez que, para a maioria das espécies coletadas no Baixo São Francisco, a diversidade foi baixa. Isso mostra a singularidade da região estudada e, conseqüentemente, agrava os impactos gerados pela poluição e pela intrusão salina sobre a ictiofauna.

Tabela 31 - Estatísticas do conjunto de dados discriminadas por espécie, incluindo: contagem individual, número de espécimes utilizados, tamanho da sequência do gene COI em pares de base, máxima divergência intraespecífica (distância p), divergência interespecífica mínima (distância p), espécies mais próximas filogeneticamente e monofilia dos táxons.

Espécie	Indivíduos	Tamanho da sequência (bp)	Max_intra (%)	Min_inter (%)	Espécies mais próximas	Monofilético?
<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	5	651	0	18,641	<i>Triportheus guentheri</i>	Sim
<i>Acinocheiroduon melanogramma</i>	4	651	0,346	7,527	<i>Odontostilbe sp.</i>	Sim
<i>Apareiodon ibitiensis</i>	1	651	0	12,289	<i>Parodon hilarii</i>	Único
<i>Archosargus probatocephalus</i>	1	594	0	14,757	<i>Cichla monoculus</i>	Único
<i>Astyanax bimaculatus</i>	22	651	13,978	0	<i>Astyanax bimaculatus lacustris</i> ; <i>Astyanax cf. fasciatus</i> ; <i>Astyanax sp.</i>	Sim
<i>Astyanax bimaculatus lacustris</i>	4	651	0,461	0	<i>Astyanax bimaculatus</i>	Sim
<i>Astyanax cf. fasciatus</i>	5	651	0	0	<i>Astyanax bimaculatus</i> ; <i>Astyanax sp.</i>	Não
<i>Astyanax rivularis</i>	2	651	0	0,307	<i>Astyanax sp.</i>	Sim

<i>Astyanax</i> sp.	6	651	1,571	0	<i>Astyanax rivularis</i> ; <i>Astyanax bimaculatus</i> ; <i>Astyanax cf. fasciatus</i>	Sim
<i>Australoberos facetus</i>	5	651	0,154	15,63	<i>Cichla monoculus</i>	Sim
<i>Bathygobius cf. saporator</i>	1	594	0	17,508	<i>Pareiorhina</i> sp.	Único
<i>Bérgiaria westermanni</i>	2	651	0	4,608	<i>Pimelodus fur</i>	Sim
<i>Brycon orthotaenia</i>	5	651	0,333	0	<i>Brycon</i> sp.	Sim
<i>Brycon</i> sp.	3	595	0,168	0	<i>Brycon orthotaenia</i>	Sim
<i>Bryconops affinis</i>	3	651	0	17,358	<i>Odontostilbe</i> sp.	Não
<i>Bunocephalus</i> sp.	4	651	0,307	15,825	<i>Sciades</i> sp.	Sim
<i>Callichthys callichthys</i>	1	651	0	17,358	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	Único
<i>Caranx</i> sp.	1	594	0	14,141	<i>Trachinotus goodei</i>	Único
<i>Centropomus</i> sp.	1	594	0	18,966	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Único
<i>Cetopsorhamdia iheringi</i>	3	651	0,159	15,054	<i>Cetopsorhamdia</i> sp.	Sim
<i>Cetopsorhamdia</i> sp.	5	651	0,922	15,054	<i>Cetopsorhamdia iheringi</i>	Sim
<i>Characidium lagoonense</i>	2	651	0	4,916	<i>Characidium zebra</i>	Sim
<i>Characidium</i> sp.	2	651	0	10,138	<i>Characidium zebra</i>	Sim
<i>Characidium zebra</i>	4	651	1,382	4,916	<i>Characidium lagoonense</i>	Sim
<i>Cichla monoculus</i>	5	595	0,174	14,757	<i>Archosargus probatocephalus</i>	Sim
<i>Compsura heterura</i>	2	651	0,461	6,605	<i>Serrapinnus piaba</i>	Sim
<i>Conorhynchus conirostris</i>	6	611	0,655	14,239	<i>Lophiosilurus alexandri</i> ; <i>Pimelodus pohl</i>	Sim
<i>Corydoras garbei</i>	1	651	0	15,975	<i>Tetragonopterus chalcus</i>	Único
<i>Crenicichla lepidota</i>	6	651	0,161	21,739	<i>Eugerres brasiliensis</i> ; <i>Australoberos facetus</i>	Sim
<i>Curimatella lepidura</i>	6	651	0,614	9,677	<i>Steindachnerina elegans</i>	Não
<i>Cyphocharax gilbert</i>	3	651	0,461	11,433	<i>Curimatella lepidura</i>	Sim
<i>Eigenmannia virescens</i>	6	651	8,602	16,59	<i>Pimelodus pohl</i> ; <i>Hisonotus</i> sp.	Sim
<i>Eleotris pisonis</i>	2	594	0,673	18,182	<i>Rhamdia quelen</i> ; <i>Bathygobius cf. saporator</i>	Sim
<i>Eucinostomus melanopterus</i>	1	594	0	17,677	<i>Pseudopimelodus charus</i>	Único
<i>Eugerres brasiliensis</i>	1	468	0	18,162	<i>Prochilodus costatus</i>	Único
<i>Franciscodoras marmoratus</i>	1	651	0	14,286	<i>Pseudopimelodus charus</i>	Único
<i>Geophagus brasiliensis</i>	1	651	0	16,134	<i>Cichla monoculus</i>	Único
<i>Gymnotus carapo</i>	4	651	4,608	16,743	<i>Rineloricaria</i> sp.; <i>Pimelodus maculatus</i>	Sim
<i>Harttia</i> cf. <i>torrenticola</i>	6	651	0,168	7,629	<i>Harttia</i> sp.	Sim
<i>Harttia leiopleura</i>	7	651	0,307	6,298	<i>Harttia novalimensis</i>	Sim
<i>Harttia novalimensis</i>	4	651	0	6,298	<i>Harttia leiopleura</i>	Sim
<i>Harttia</i> sp.	3	651	0	7,629	<i>Harttia</i> cf. <i>torrenticola</i>	Sim
<i>Hemigrammus</i> cf. <i>gracilis</i>	1	651	0	13,21	<i>Hemigrammus marginatus</i>	Único
<i>Hemigrammus marginatus</i>	4	651	0,307	13,21	<i>Hemigrammus</i> cf. <i>gracilis</i>	Sim
<i>Hemipsilichthys</i> sp.	5	651	0,307	7,834	<i>Pareiorhina</i> sp.	Sim

<i>Hisonotus</i> sp.	3	651	0,307	13,323	<i>Parotocinclus</i> sp.	Sim
<i>Hoplias intermedius</i>	1	651	0	11,379	<i>Hoplias malabaricus</i>	Único
<i>Hoplias malabaricus</i>	11	651	0,672	11,379	<i>Hoplias intermedius</i>	Sim
<i>Hoplosternum littorale</i>	6	651	0,154	18,28	<i>Callichthys callichthys</i> ; <i>Serrapinnus piaba</i>	Sim
<i>Hyphessobrycon santae</i>	5	651	0	15,515	<i>Oligosarcus</i>	Não
<i>Hypostomus alatus</i>	4	651	0,792	0,345	<i>Hypostomus</i> sp.	Sim
<i>Hypostomus</i> sp.	4	580	2,414	0,345	<i>Hypostomus alatus</i>	Não
<i>Imparfinis minutus</i>	6	651	9,063	15,975	<i>Pseudopimelodus charus</i> ; <i>Pseudopimelodus</i> sp.	Sim
<i>Knodus moenkhausii</i>	10	651	0	10,427	<i>Planaltina myersi</i>	Sim
<i>Leporinus piau</i>	11	651	0	7,527	<i>Leporinus taeniatus</i>	Não
<i>Leporinus taeniatus</i>	5	651	0,317	7,527	<i>Leporinus piau</i>	Sim
<i>Lophiosilurus alexandri</i>	3	651	0,324	10,906	<i>Pseudopimelodus charus</i>	Sim
<i>Megaleporinus macrocephalus</i>	1	651	0	9	<i>Megaleporinus reinhardti</i>	Único
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	1	595	0	0	<i>Megaleporinus sp08</i>	Único
<i>Megaleporinus reinhardti</i>	5	651	1,167	6,298	<i>Megaleporinus obtusidens</i> ; <i>Megaleporinus sp08</i>	Sim
<i>Megaleporinus sp08</i>	6	651	0	0	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Não
<i>Metynnis lippincottianus</i>	4	595	0	12,069	<i>Serrasalmus brandtii</i> ; <i>Pygocentrus piraya</i>	Sim
<i>Microglanis leptostriatus</i>	5	651	0,461	12,56	<i>Pseudopimelodus charus</i>	Não
<i>Microlepidogaster</i> sp.	2	645	0	4,186	<i>Parotocinclus</i> sp.	Sim
<i>Moenkhausia costae</i>	1	651	0	17,358	<i>Hemigrammus cf. gracilis</i>	Único
<i>Moenkhausia sanctaefilomenae</i>	5	651	0,307	17,665	<i>Astyanax bimaculatus</i> ; <i>Hemigrammus cf. gracilis</i>	Sim
<i>Mugil</i> sp.	1	594	0	17,508	<i>Myleus micans</i>	Único
<i>Myleus micans</i>	7	651	0,493	12,882	<i>Pygocentrus piraya</i>	Sim
<i>Neoplecostomus</i> sp.	7	651	0,632	7,373	<i>Pareiorhina</i> sp.	Sim
<i>Odontostilbe</i> sp.	10	651	0,614	7,527	<i>Acinchocheirodon melanogramma</i> ; <i>Serrapinnus piaba</i>	Sim
<i>Oligosarcus</i>	2	651	0	3,994	<i>Oligosarcus</i> sp.	Sim
<i>Oligosarcus</i> sp.	2	651	0	3,994	<i>Oligosarcus</i>	Sim
<i>Orthospinus franciscensis</i>	4	651	0,307	16,283	<i>Astyanax bimaculatus lacustris</i> ; <i>Oligosarcus</i> sp.; <i>Astyanax bimaculatus</i> ; <i>Roeboides xenodon</i> ; <i>Oligosarcus</i> ; <i>Astyanax rivularis</i> ; <i>Astyanax</i> sp.	Sim

<i>Otocinclus xakriaba</i>	2	651	0	15,361	<i>Hisonotus sp.</i>	Sim
<i>Pamphorichthys hollandi</i>	6	651	2,458	0	<i>Pamphorichthys sp.</i>	Sim
<i>Pamphorichthys sp.</i>	1	651	0	0	<i>Pamphorichthys hollandi</i>	Único
<i>Pareiorbina sp.</i>	2	651	0	7,373	<i>Neoplecostomus sp.</i>	Sim
<i>Parodon bilarii</i>	3	651	0	12,289	<i>Apareiodon ibitiensis</i>	Sim
<i>Parotocinclus sp.</i>	2	651	0	4,186	<i>Microlepidogaster sp.</i>	Sim
<i>Pballoceros uai</i>	8	651	0	17,358	<i>Pamphorichthys hollandi</i>	Não
<i>Phenacogaster franciscoensis</i>	1	651	0	16,283	<i>Piabina argentea</i> ; <i>Tetragonopterus chalceus</i>	Único
<i>Piabarchus stramineus</i>	4	651	8,141	3,84	<i>Piabina argentea</i>	Sim
<i>Piabina argentea</i>	3	651	5,837	3,84	<i>Piabarchus stramineus</i>	Sim
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	5	609	0	13,937	<i>Pygocentrus piraya</i>	Sim
<i>Pimelodella vittata</i>	6	651	8,602	11,25	<i>Rhamdia quelen</i>	Sim
<i>Pimelodus fur</i>	3	651	0	4,455	<i>Pimelodus maculatus</i>	Sim
<i>Pimelodus maculatus</i>	5	651	0,322	4,455	<i>Pimelodus fur</i>	Sim
<i>Pimelodus pobli</i>	4	651	0,922	4,608	<i>Pimelodus fur</i>	Sim
<i>Planaltina myersi</i>	6	651	0,922	10,427	<i>Piabina argentea</i> ; <i>Knodus moenkhausii</i>	Sim
<i>Poecilia sp.</i>	5	651	2,151	13,21	<i>Pamphorichthys hollandi</i>	Não
<i>Prochilodus argenteus</i>	11	651	0,614	1,61	<i>Prochilodus costatus</i>	Sim
<i>Prochilodus costatus</i>	9	651	0,168	1,61	<i>Prochilodus argenteus</i>	Sim
<i>Pseudopimelodus charus</i>	2	651	0,322	0,307	<i>Pseudopimelodus sp.</i>	Não
<i>Pseudopimelodus sp.</i>	1	651	0	0,307	<i>Pseudopimelodus charus</i>	Único
<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	4	651	0,322	11,521	<i>Pimelodus pobli</i>	Sim
<i>Pterygoplichthys etentaculatus</i>	7	651	0	5,042	<i>Hypostomus alatus</i> ; <i>Hypostomus sp.</i>	Sim
<i>Pygocentrus piraya</i>	17	651	0,517	4,138	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Sim
<i>Rhamdia quelen</i>	6	651	0,478	11,25	<i>Pimelodella vittata</i>	Sim
<i>Rhinelepis aspera</i>	1	648	0	15,878	<i>Leporinus piau</i>	Único
<i>Rineloricaria sp.</i>	2	651	0	15,888	<i>Harttia sp.</i>	Sim
<i>Roeboides xenodon</i>	4	651	0,307	13,671	<i>Tetragonopterus chalceus</i>	Sim
<i>Salminus franciscanus</i>	8	600	0,167	5,333	<i>Salminus bilarii</i>	Sim
<i>Salminus bilarii</i>	2	651	0,154	5,333	<i>Salminus franciscanus</i>	Sim
<i>Schizodon knerii</i>	15	651	0,172	12,721	<i>Leporinus taeniatus</i>	Sim
<i>Sciades sp.</i>	3	594	3,535	14,912	<i>Trachelyopterus cf. galeatus</i>	Sim
<i>Serrapinnus piaba</i>	5	651	1,382	6,605	<i>Compsura heterura</i>	Sim
<i>Serrasalmus brandtii</i>	23	651	0,558	4,138	<i>Pygocentrus piraya</i>	Sim
<i>Sphoeroides testudineus</i>	3	594	0,505	16,498	<i>Hoplias malabaricus</i>	Sim
<i>Steindachnerina elegans</i>	3	651	0	9,677	<i>Curimatella lepidura</i>	Sim



<i>Sternopygus macrurus</i>	4	651	0,154	17,665	<i>Steindachnerina elegans;</i> <i>Eigenmannia virescens</i>	Sim
<i>Strongylura</i> sp.	1	594	0	18,35	<i>Cichla monoculus</i>	Único
<i>Stygichthys typhlops</i>	5	651	0,154	15,668	<i>Astyanax bimaculatus;</i> <i>Astyanax bimaculatus lacustris</i>	Sim
<i>Synbranchus marmoratus</i>	3	651	8,295	19,508	<i>Prochilodus argenteus;</i> <i>Trachelyopterus galeatus;</i> <i>Roeboides xenodon</i>	Sim
<i>Tetragonopterus chalceus</i>	2	651	0	13,671	<i>Roeboides xenodon</i>	Sim
<i>Trachelyopterus</i> cf. <i>galeatus</i>	1	570	0	1,754	<i>Trachelyopterus galeatus</i>	Único
<i>Trachelyopterus galeatus</i>	2	651	0,154	1,754	<i>Trachelyopterus</i> cf. <i>galeatus</i>	Sim
<i>Trachinotus goodei</i>	1	594	0	14,141	<i>Caranx</i> sp.	Único
<i>Trichomycterus brasiliensis</i>	4	651	1,075	7,68	<i>Trichomycterus reinhardti</i>	Sim
<i>Trichomycterus reinhardti</i>	3	651	0	7,68	<i>Trichomycterus brasiliensis</i>	Sim
<i>Trichomycterus</i> sp.	1	651	0	10,445	<i>Trichomycterus brasiliensis</i>	Único
<i>Triportheus guentheri</i>	1	651	0	15,668	<i>Prochilodus argenteus</i>	Único

Fonte: Valéria Machado (2020).

## REFERÊNCIAS

ALVES, C. B. M., Leal, C. G. Aspectos da conservação da fauna de peixes da bacia do rio São Francisco em Minas Gerais. **MG.Biota**, v2, 2010.

ALVES, C. B. M.; Pompeu, P. S. A fauna de peixes da bacia do rio das Velhas no final do século XX. In: ALVES, C. B. M.; POMPEU, P. S. (Org.). **Peixes do Rio das Velhas**: passado e presente. Belo Horizonte: Argumentvm, 2010, p. 167-189.

BARBOSA, J. M. *et al.* Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco. **Acta of Fisheries and Aquatic Resource**, v. 5, n.1, p. 70-90, 2017.

BARBOSA, J.M., SOARES, E.C. Perfil da ictiofauna da Bacia do São Francisco: Estudo preliminar. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, v. 4, n. 1, p. 155-172, 2009

BOUCKAERT, R. *et al.* BEAST 2: A Software Platform for Bayesian Evolutionary Analysis. **PLoS Computational Biology**, v.10, n.4, e1003537, 2014.

BRITSKI, H. A. Sobre a obra Velhas-Flodens Fiske [Peixes do Rio das Velhas]. In: ALVES, C. B. M.; POMPEU, P.S. (org.). **Peixes do rio das Velhas**: passado e presente Belo Horizonte: UFMG/Projeto Manuelzão, 2010.

BRITSKI, H. A.; SATO, Y.; ROSA, A. B. S. **Manual de identificação de peixes da região de Três Marias**: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco. Brasília: Câmara dos Deputado, Codevasf, 1984.

BROWN, S. D. J. *et al.* Spider: an R package for the analysis of species identity and evolution,

with particular reference to DNA barcoding. **Molecular Ecology Resources**, v. 12, p. 562–565, 2012.

CARVALHO, D. C. *et al.* Deep barcode divergence in Brazilian freshwater fishes: the case of the São Francisco River basin. **Mitochondrial DNA**, v. 22, S1, p. 80–86, 2011.

COLATRELI, O. P. *et al.* Deep Phylogenetic Divergence and Lack of Taxonomic Concordance in Species of *Astronotus* (Cichlidae). **International journal of evolutionary biology**, 8p, 2012.

COSTA-SÁ, C. *et al.* Análise preliminar do perfil genético da ictiofauna das regiões afetadas pelo projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional. **Anais... Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido**, 7; Jornada de Iniciação Científica da Facepe/Univasf, 1., 2012, Petrolina.

FUJISAWA, T.; BARRACLOUGH, T. Delimiting species using single-locus data and the generalized mixed Yule coalescent approach: A revised method and evaluation on simulated data sets. **Systematic Biology**, v. 62, p. 707–724, 2013.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. **Águas, Peixes e Pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas. 2003.

HEBERT, P. D. N. *et al.* Identification of birds through DNA barcodes. **PLoS Biology**, v. 2, n. 10, 2004.

KEARSE, M. *et al.* Geneious Basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. **Bioinformatics**, v. 28, p. 1647–1649, 2012.

KUMAR, S. *et al.* MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. **Molecular Biology and Evolution**, v. 35, p. 1547–1549, 2018.

MACHADO, V. N. *et al.* One thousand DNA barcodes of piranhas and pacus reveal geographic structure and unrecognised diversity in the Amazon. **Scientific Reports**, v. 8, n. 8387, 2018.

MELO, B. F. *et al.* The roles of marginal lagoons in the maintenance of genetic diversity in the Brazilian migratory fishes *Prochilodus argenteus* and *P. costatus*. **Neotropical Ichthyology**, v. 11, n. 3, p. 625–636, 2013.

PAIVA, M. P. **Grandes represas do Brasil**. Brasília: Editerre. 1982.

R CORE TEAM. R Foundation for Statistical Computing. **R: A language and environment for statistical computing**. 2017. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em:

RAMBAUT, A. *et al.* **Tracer v1.7.1**. 2018. Disponível em: <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/tracer/>. Acesso em: .

RAMBAUT, A.; DRUMMOND, J. **LogCombiner v.2.6.2**. Institute of Evolutionary Biology. University of Edinburgh. 2020.

REID, N. M.; CARSTENS, B. C. Phylogenetic estimation error can decrease the accuracy of species delimitation: a Bayesian implementation of the general mixed Yule-coalescent model. **BMC Evolutionary Biology**, v. 12, p. 196, 2012.

SAMPAIO, C. L. S.; PAIVA, A. C. P.; SOARES, E. C. Peixes, pesca e pescadores do Baixo São

Francisco, Nordeste do Brasil. *In*: SOUZA, E. M.; SÁ, M. F. P. (Org). **A pesca artesanal no Baixo São Francisco: atores, recursos, conflitos**. Aracaju: SabeH, 2015.

SATO, Y.; GODINHO, H. P. Peixes da bacia do rio São Francisco, p. 401-413. *In*: LOWE-MCCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: Edusp, 1999.

SILVA, M. J. **Diversidade e conservação da ictiofauna das bacias envolvidas no projeto de Transposição do rio São Francisco**. 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SOUSA, A. B. *et al.* Monitoramento genético como ferramenta auxiliar no recrutamento de reprodutores do Surubim do São Francisco *Pseudoplatystoma corruscans* (Pisces; Pimelodidae). **PUBVET**, v. 4, n. 5, ed. 110, 2010.

ZHANG, J. *et al.* A general species delimitation method with applications to phylogenetic placements. **Bioinformatics**, v.29, p. 2869–2876, 2013.

# LEVELS OF MERCURY, CADMIUM, LEAD, ZINC, COPPER, CHROMIUM, IRON, MANGANESE, AND ARSENIC IN IMPORTANT FISH SPECIES IN THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER

Carlos A. da Silva

Marcos V. T. Gomes

Carlos A. B. Garcia

Hortência L. P. de Santana

Marcus S. Cruz

Silvânio S. L. da Costa

## SUMMARY

Potentially toxic metals can accumulate in aquatic organisms through the food chain and damage human health through the consumption of fish. The objective of this study was to determine and qualify the concentrations of mercury, cadmium, lead, zinc, copper, chromium, iron, and manganese, and arsenic metalloid, found in fish collected in the Lower São Francisco river during the Expedição Científica Velho Chico project, taking as a basis the maximum tolerance limits (MTL). Twelve fish species were caught by local fishermen. Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, Fe, and Mn levels were measured by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and mercury was analyzed via cold vapor atomic absorption spectrometry (CVAAS). Metals and arsenic metalloid present in fish caught in the lower São Francisco presented mean concentrations in the following decreasing order: Fe > Zn > Mn > Cu > As > Hg > Cr > Pb > Cd.

## CAPÍTULO 10

# NÍVEIS DE MERCÚRIO, CÁDMIO, CHUMBO, ZINCO, COBRE, CROMO, FERRO, MANGANÊS E ARSÊNIO EM IMPORTANTES ESPÉCIES DE PEIXES DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Carlos A. da Silva<sup>50</sup>

Marcos V. T. Gomes<sup>51</sup>

Carlos A. B. Garcia<sup>52</sup>

Hortência L. P. de Santana<sup>53</sup>

Marcus A. S. Cruz<sup>54</sup>

Silvânio S. L. da Costa<sup>55</sup>

### INTRODUÇÃO

Os metais encontram-se, naturalmente, presentes nas rochas e nos solos e, por meio dos processos de intemperismo e atividades antrópicas, atingem o ambiente aquático. Os metais Ferro, Cobre, Zinco e Manganês são essenciais, uma vez que desempenham um papel importante nos sistemas biológicos, enquanto Mercúrio, Chumbo e Cádmio são tóxicos, mesmo em pequenas quantidades. Metais potencialmente tóxicos liberados por atividades antropogênicas podem se acumular nos organismos aquáticos, através da cadeia alimentar, e provocar danos à saúde humana, através do consumo de pescado.

O consumo de peixe tem aumentado nos últimos anos, devido à sua carne rica em aminoácidos e proteínas de qualidade, micro e macromelementos essenciais, baixo conteúdo de gordura saturada, presença de ácidos graxos ômega 3 e reconhecido benefício para a boa saúde. O pescado é um item frequente da dieta das populações costeiras e ribeirinhas, assim, os riscos à saúde associados ao consumo de peixe estão se tornando, cada vez mais, motivo de preocupação dos órgãos de saúde e vigilância sanitária, devido à possível presença de contaminantes químicos. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é a responsável pela fiscalização de contaminantes em alimentos, por meio dos Limites Máximos de Tolerância (LMT) para contaminantes inorgânicos publicados na Resolução Anvisa nº 42, de 29 de agosto de 2013 (ANVISA, 2013).

O conhecimento sobre o potencial risco do consumo de peixes que possam apresentar

<sup>50</sup> Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Sergipe, Brasil.

<sup>51</sup> CODEVASF, 5ª Superintendência Regional de Penedo, Porto Real do Colégio, Alagoas, Brasil. Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>52</sup> Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>53</sup> Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Química, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>54</sup> Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Sergipe, Brasil. Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>55</sup> Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.



teores de contaminantes inorgânicos acima dos LMT é importante para subsidiar as agências de saúde e de vigilância sanitária sobre as recomendações dos níveis seguros de consumo, em particular para crianças, mulheres grávidas e lactantes, além de sua importância ambiental, uma vez que a presença de elementos potencialmente tóxicos em peixes expressa o enriquecimento antrópico daquele corpo hídrico.

O objetivo deste estudo foi determinar e qualificar as concentrações dos metais Mercúrio, Cádmio, Chumbo, Zinco, Cobre, Cromo, Ferro e Manganês, e o metaloide Arsênio, encontradas em peixes coletados no Baixo rio São Francisco, durante o projeto Expedição Científica Velho Chico, tomando-se como base os LMT.

## Procedimento metodológico

A área de estudo localiza-se na região do Baixo São Francisco (BSF), entre os Estados de Sergipe e Alagoas. O estudo abrangeu os municípios alagoanos Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu e os sergipanos Neópolis e Brejo Grande, percorrendo um trajeto, por hidrovia, de cerca de 140 km em setembro de 2018, conforme os pontos de coleta referenciados na Figura 57.

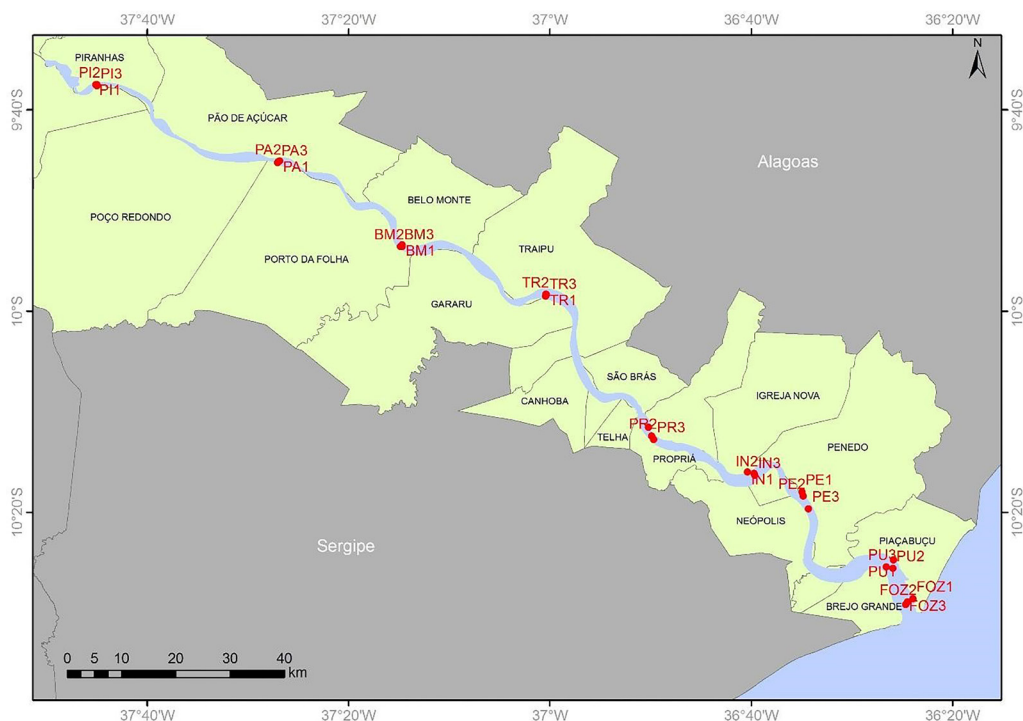
As espécies de peixes (Tabela 32) foram capturadas utilizando-se rede de emalhar de 40 mm dispostas no rio, segundo a orientação de pescadores locais durante a I Expedição Científica, em outubro de 2018. Os peixes foram identificados de acordo com Britski *et al.* (1988), Barbosa *et al.* (2017) e Lessa e Nóbrega (2000).

Após a captura, amostras de músculo do pescado foram obtidas a bordo, com a retirada de porções da musculatura da região latero-dorsal, com massa mínima de 30 g para análise de elementos potencialmente tóxicos e, posteriormente, foram transportadas refrigeradas em caixas térmicas até o Laboratório de Estudos e Impactos Ambientais (Labeia), da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Aracaju-SE.

As amostras foram processadas de acordo com a metodologia descrita por Silva *et al.* (2019), que consiste, basicamente, de liofilização e trituração para obtenção de amostras homogêneas, seguida de digestão em meio ácido, utilizando micro-ondas e conservação das amostras a 4 °C até serem analisadas.

A determinação da concentração de Mercúrio total deu-se por espectrometria de absorção atômica, utilizando-se o analisador direto de Mercúrio (DMA-80, Milestone, Itália), de acordo com o método Usepa 7473, recomendado pela United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2007). Todas as análises foram realizadas em triplicata. A determinação quantitativa dos elementos Arsênio, Cádmio, Chumbo, Zinco, Cobre, Cromo, Ferro e Manganês foi analisada por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Thermo, Alemanha).

Figura 57 - Localização dos pontos de coleta de peixes na região do Baixo rio São Francisco.



Fonte: Dados dos autores (2020)

Tabela 32 - Classificação, habitat e hábito alimentar das espécies de peixes estudadas.

Nome vulgar	Família	Nome científico	Habitat	Hábito alimentar
Bagre	Ariidae	<i>Cathorops agassizii</i>	Bentônico	Onívoro
Baiacu	Tetraodontidae	<i>Lagocephalus laevigatus</i>	Pelágico	Carnívoro
Carapeba	Gerreidae	<i>Eugerres brasilianus</i>	Demersal	Onívoro
Pacu	Serrasalmidae	<i>Metynnis maculatus</i>	Bentopelágico	Onívoro
Piau branco	Anastomidae	<i>Schizodon knerii</i>	Bentopelágico	Onívoro
Piau pintado	Anastomidae	<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Bentopelágico	Onívoro
Pirambeba	Serrasalmidae	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Bentopelágico	Carnívoro
Robalo	Centropomidae	<i>Centropomus parallelus</i>	Demersal	Piscívoro, carnívoro
Sargo	Sparidae	<i>Archosargus probatocephalus</i>	Associado a recifes	Carnívoro
Tilápia	Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>	Bentopelágico	Onívoro
Traíra	Erythrinidae	<i>Hoplias microcephalus</i>	Bentopelágico	Piscívoro
Tucunaré	Cichlidae	<i>Cichla monoculus</i>	Bentopelágico	Piscívoro,

Fonte: Dados dos autores (2020), com base em Britski et al. (1988), Barbosa et al. (2017) e Lessa e Nóbrega (2000).

As concentrações médias de Arsênio, Cádmio, Chumbo e Mercúrio foram utilizadas para estimar quociente de risco (QR), associado ao consumo de pescado. A equação (1) para esse cálculo foi proposta pela Usepa (1989).

$$QR = \frac{FE \times DE \times TI \times C}{DOR \times PMC \times TE} \times 10^{-3} \quad (1)$$

Onde FE é a frequência de exposição (365 dia ano<sup>-1</sup>); DE é duração de exposição (70 anos) equivalente à estimativa média da vida humana; TI é a taxa de ingestão de pescado (36 g pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>); C é a concentração do metal no peixe (µg g<sup>-1</sup>) (USEPA, 1989); DOR é a dose oral de referência (As = 0,3x10<sup>-3</sup> µg g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, Cd = 1,0x10<sup>-3</sup> µg g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, Pb = 4,0x10<sup>-3</sup> µg g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, Hg = 0,5x10<sup>-3</sup> µg g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) (USEPA, 2010); PMC é o peso médio corporal de um adulto (70 Kg); TE é o tempo médio de exposição para não cancerígeno (365 dia ano<sup>-1</sup> x DE).

Na avaliação de risco, é assumido que a ingestão oral do contaminante é igual à dose absorvida pelo organismo humano e que, ao cozinhar o peixe, não se altera a concentração ou a toxicidade do contaminante (USEPA, 1989). É definido que, para valores de QR < 1, não há risco apreciável para determinado poluente, e se o QR for > 1, há um risco iminente ao continuar consumindo peixe com essa frequência (STORELLI, 2008).

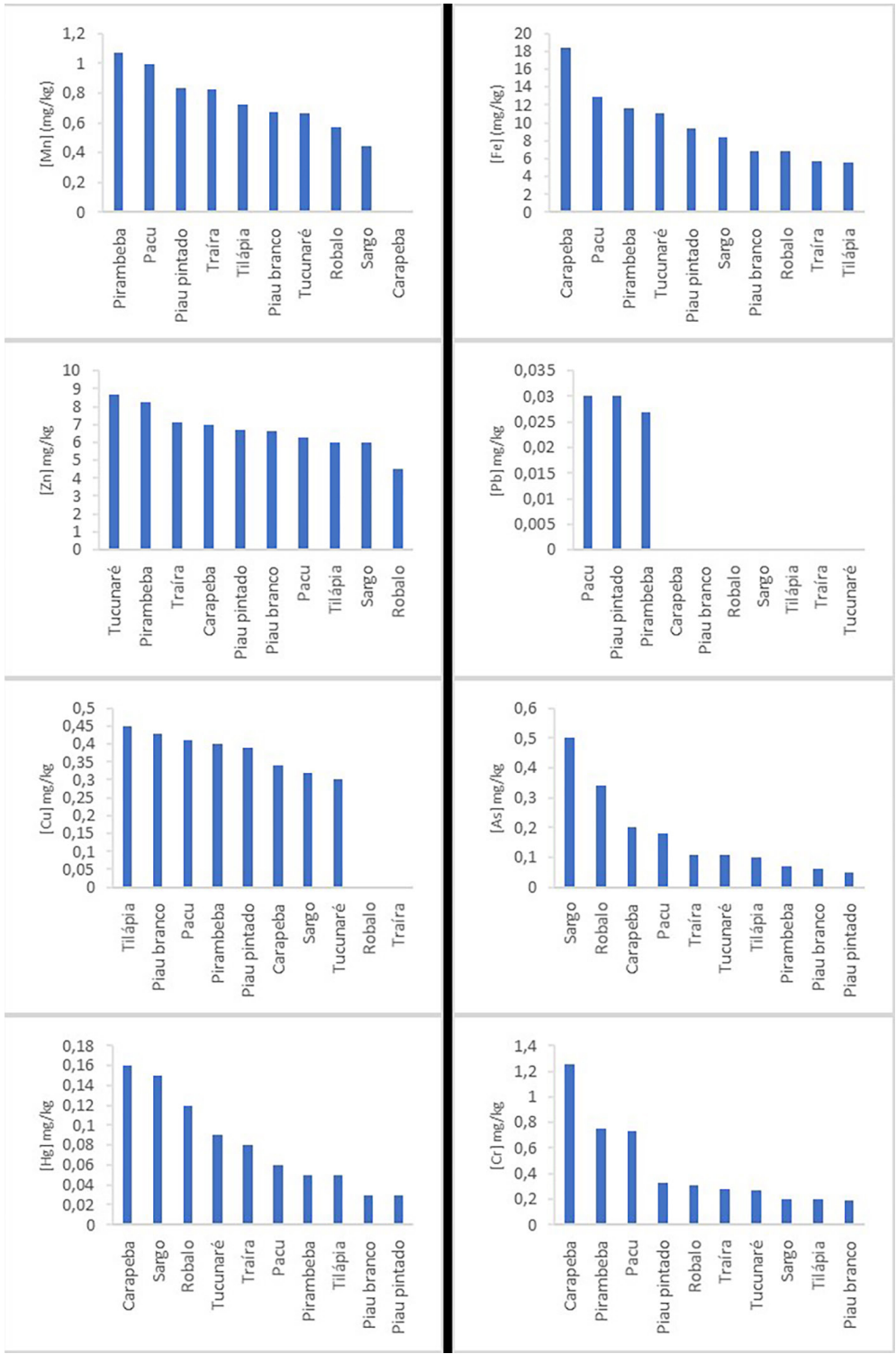
### Avaliação dos peixes coletados no baixo São Francisco

Para a validação dos métodos analíticos, foram analisados os materiais de referência certificados de tecido de ostra (NIST-1566b) e de proteína de peixe (DORM-4), sendo possível avaliar a precisão e a exatidão do método utilizado. Os valores de recuperação dos analitos encontram-se dentro da faixa de 86% (Mn) a 117% (Fe), aceitável para a análise de elementos traço em amostras complexas.

As concentrações em mg/kg (base úmida) dos elementos As, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nas amostras de peixes estão representados na Figura 58. O Cádmio não foi incluído nesta abordagem, uma vez que os valores apresentados foram abaixo do limite de detecção (< 0,006 mg/kg) do método analítico.

A concentração média de Arsênio foi de 0,17 mg/kg ± 0,04 mg/kg. O menor teor médio foi de 0,05 mg/kg ± 0,003 mg/kg foi detectado no piau pintado (*Megaleporinus obtusidens*), também conhecido como piau-três-pintas, capturado em Traipu-AL, e o maior foi de 0,50 mg/kg ± 0,29 mg/kg no sargo (*Archosargus probatocephalus*), procedente de Piaçabuçu-AL. As maiores concentrações de Arsênio foram observadas nas espécies estuarinas e marinhas capturadas na região da foz do rio São Francisco (Figura 58) e podem ser atribuídas a seu elevado nível trófico e hábito alimentar piscívoro, onde o Arsênio contido nas suas presas é bioconcentrado na base da cadeia alimentar aquática e transferido aos elos sucessivos da teia trófica (LI *et al.*, 2003). Valores acima do LMT de 1,0 mg/kg para o Arsênio (ANVISA, 2013) foram encontrados nos exemplares únicos do baiacu (2,42 mg/kg ± 0,63 mg/kg) e bagre (1,96 mg/kg ± 0,34 mg/Kg), ambos capturados em Piaçabuçu-AL.

Figura 58 - Concentração média dos elementos Hg, As, Pb, Zn, Cu, Cr, Fe e Mn nos peixes coletados no Baixo rio São Francisco.



Fonte: Dados dos autores (2020)

O Arsênio V (pentavalente), geralmente, é a espécie química mais comum em águas superficiais bem oxigenadas e grande parte irá adsorver ao material particulado e sedimentos (CETESB, 2019). Esse metalóide pode ser encontrado no pescado em diferentes formas

químicas, podendo variar dependendo do organismo, do ambiente e da região geográfica. Sua toxicidade depende do estado de oxidação, exposição, dose, solubilidade nos meios biológicos e da taxa de excreção (MAHER *et al.*, 2018).

Todas as amostras de peixes analisadas apresentaram níveis de Cd abaixo do limite de detecção de 0,006 mg/kg e, portanto, apresentaram concentrações de Cádmio abaixo do LMT de 0,05 mg/kg, publicado pela Resolução Anvisa nº 42, de 29 de agosto de 2013 (ANVISA, 2013). O Cádmio pode ser absorvido pelos peixes por difusão passiva do meio aquático, através das brânquias ou por meio da ingestão dos primeiros elos da cadeia alimentar, microrganismos e plâncton. Nos tecidos musculares, o Cádmio está ligado às proteínas, podendo sofrer bioacumulação devido à sua taxa de eliminação muito lenta (BOSH *et al.*, 2016). É um metal altamente tóxico, que pode se concentrar no corpo humano por longos períodos de tempo, e as implicações de saúde da exposição de Cádmio são agravadas pela incapacidade relativa dos seres humanos de excretá-lo (DURAL; GÖKSU; ÖZAK, 2007).

A concentração média de Zinco foi de 6,01 mg/kg  $\pm$  0,42 mg/kg, sendo que o menor valor médio de 4,54 mg/kg  $\pm$  0,37 mg/kg foi observado no robalo (*Centropomus parallelus*) e o maior, de 8,66 mg/kg  $\pm$  0,28 mg/kg, no tucunaré (*Cichla monoculus*) (Figura 58). Nenhuma das espécies analisadas no presente estudo apresentou níveis de Zinco acima do LMT de 50 mg/kg previsto na legislação brasileira, conforme Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. O Zinco é um micronutriente essencial para todos os organismos com múltiplas funções bioquímicas e desempenha papel vital no metabolismo de lipídios, proteínas e carboidratos, já que é um componente ativo ou cofator de importantes sistemas enzimáticos; em particular, nas sínteses e no metabolismo de ácidos nucleicos e proteínas (WHO; FAO, 1998). Peixes com teores médios de Zinco, de cerca de 3 mg/kg a 5 mg/kg, são considerados boas fontes deste elemento essencial (OEHLENSCHLAGER, 2002). Todas as espécies de peixes avaliadas neste estudo apresentaram nível de Zn acima de 4 mg/kg (Figura 58).

O Chumbo não foi detectado em sete das espécies analisadas, sendo que duas, pacu (*Metynnis maculatus*) e piau pintado (*Megaleporinus obtusidens*), apresentaram teores de 0,03 mg/kg  $\pm$  0,01 mg/kg, e a pirambeba (*Serrasalmus brandtii*), de 0,02 mg/kg  $\pm$  0,01 mg/kg (Figura 58). Nenhuma das espécies de peixes avaliadas no Baixo São Francisco registrou concentrações de Chumbo acima do LMT de 0,3 mg/kg (ANVISA, 2013). A deposição atmosférica é a principal rota de entrada do Chumbo em corpos hídricos. O Pb II (divalente) é absorvido nas brânquias, entra na corrente sanguínea dos peixes e é acumulado nos tecidos do animal, especialmente nos tecidos musculares, sendo o consumo de pescado uma importante rota de exposição em humanos (NUSSEY; VAN VUREN; DU PREEZ, 2000).

A concentração média de Cromo no presente estudo foi de 0,45 mg/kg  $\pm$  0,06 mg/kg. Os menores e maiores teores médios encontrados no tecido muscular dos peixes foram de 0,19 mg/kg  $\pm$  0,03 mg/kg no piau branco (*Schizodon kneri*) e de 1,25 mg/kg  $\pm$  0,09 na carapeba (*Eugerres brasiliensis*), respectivamente (Figura 58). Todas as espécies avaliadas apresentaram concentrações médias de Cromo superiores ao LMT de 0,1 mg/kg prescrito no Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965, para qualquer alimento. No ambiente aquático, o Cromo existe como cromato e é assimilado pelo fitoplâncton por difusão passiva. No processo de bioacumulação, o Cromo dissolvido, suspenso na água ou contido no sedimento é absorvido pelos organismos, particularmente os peixes, através das brânquias e do trato digestivo (MIRANDA FILHO *et al.*, 2011). A saúde dos peixes também pode ser afetada pela exposição ao Cromo e sua presença, junto com outros metais, foi relacionada ao aumento do nível de glicogênio em diferentes órgãos dos peixes, indicando estresse devido à exposição ao metal (JAVED; USMANI, 2011).



A concentração média de Manganês foi de  $0,75 \text{ mg/kg} \pm 0,15 \text{ mg/kg}$ , sendo o menor valor, de  $0,44 \text{ mg/kg} \pm 0,21 \text{ mg/kg}$ , encontrado no sargo (*A. probatocephalus*) pescado em Piaçabuçu-AL, e o maior na pirambeba (*Serrasalmus brandtii*), de  $1,07 \text{ mg/kg} \pm 0,30 \text{ mg/kg}$ , capturada em Traipu-AL (Figura 58). Não há, na legislação brasileira, limites máximos em pescado prescritos para esse metal. Processos de escoamento superficial e lixiviação do solo, facilitados pelas atividades agrícolas, podem liberar Manganês aos corpos de água, enquanto as fontes antropogênicas incluem os agrotóxicos. O Manganês pode acumular-se em alguns organismos, como algas, moluscos e alguns peixes, mas a biomagnificação na cadeia alimentar parece não ser significativa, pois a bioacumulação do Manganês é maior em níveis tróficos inferiores do que em superiores (CETESB, 2018).

A média geral da concentração de Ferro nas espécies avaliadas foi de  $9,64 \text{ mg/kg} \pm 0,81 \text{ mg/kg}$ . O menor teor, de  $5,54 \text{ mg/kg} \pm 0,77 \text{ mg/kg}$ , foi encontrado na tilápia (*Oreochromis niloticus*), capturada em Neópolis-SE, e o maior, de  $18,41 \text{ mg/kg} \pm 1,02 \text{ mg/kg}$ , na carapeba (*Eugerres brasilianus*), pescada em Brejo Grande-SE (Figura 58). A legislação brasileira não estabelece valores do LMT para os níveis de Ferro. No meio aquático, o Ferro ocorre principalmente em águas subterrâneas, devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água, formando o carbonato Ferroso, que é solúvel e encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de Ferro. Nas águas superficiais, os níveis de Ferro aumentam no período chuvoso, devido ao escoamento superficial e à lixiviação dos solos. As contribuições antropogênicas são provenientes do lançamento de efluentes da indústria metalúrgica e do processo de decapagem, que realiza a limpeza da camada da ferrugem de artefatos e peças construídas com esse metal.

O nível médio de Cobre encontrado nos peixes foi de  $0,38 \text{ mg/kg} \pm 0,09 \text{ mg/kg}$  e os menores e maiores valores médios foram de  $0,30 \text{ mg/kg} \pm 0,05 \text{ mg/kg}$  no tucunaré (*C. monoculus*) e  $0,45 \text{ mg/kg} \pm 0,05 \text{ mg/kg}$  na tilápia (*Oreochromis niloticus*) (Figura 58), ambas espécies capturadas em diversas localidades do BSF. Todos os peixes avaliados neste estudo apresentaram teores de Cobre inferiores ao LMT de  $30 \text{ mg/kg}$  estabelecido no Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. Compostos de Cobre são usados no tratamento de doenças de plantas e da água para consumo, e também como conservantes para madeira, couro e tecido (ATSDR, 2004). Seu nível é facilmente regulado pelo metabolismo humano, o que dificulta muito a sua bioacumulação (PEREIRA *et al.*, 2010).

A concentração média de Mercúrio total nos peixes foi de  $0,08 \text{ mg/kg} \pm 0,01 \text{ mg/kg}$ , com o menor nível de  $0,03 \text{ mg/kg} \pm 0,003 \text{ mg/kg}$  nas duas espécies de piau e o maior de  $0,16 \text{ mg/kg} \pm 0,02 \text{ mg/kg}$  na carapeba (*Eugerres brasilianus*), respectivamente. As espécies de peixes carnívoras sargo, robalo, tucunaré e traíra apresentaram teores maiores de Hg, como era esperado para as espécies de nível trófico elevado, devido à biomagnificação ao longo da cadeia alimentar (Figura 58). Nenhuma das espécies de peixes analisadas apresentaram concentração de Hg acima do LMT estabelecido pela legislação brasileira, de  $0,5 \text{ mg/kg}$  para peixes não carnívoros e  $1,0 \text{ mg/kg}$  para peixes carnívoros (ANVISA, 2013). Alguns microorganismos e processos naturais denominados metilação, intermediados por bactérias, podem transformar o Mercúrio inorgânico em formas orgânicas, sendo a mais importante o metilmercúrio, que pode sofrer biomagnificação no topo da cadeia trófica (MALVANDI; ALAHABADI, 2019). A bioacumulação no fitoplâncton é o processo inicial de transferência deste metal ao longo da cadeia alimentar aquática (SILVA *et al.*, 2011).

Em geral, os padrões dos metais nos peixes analisados apresentaram comportamento

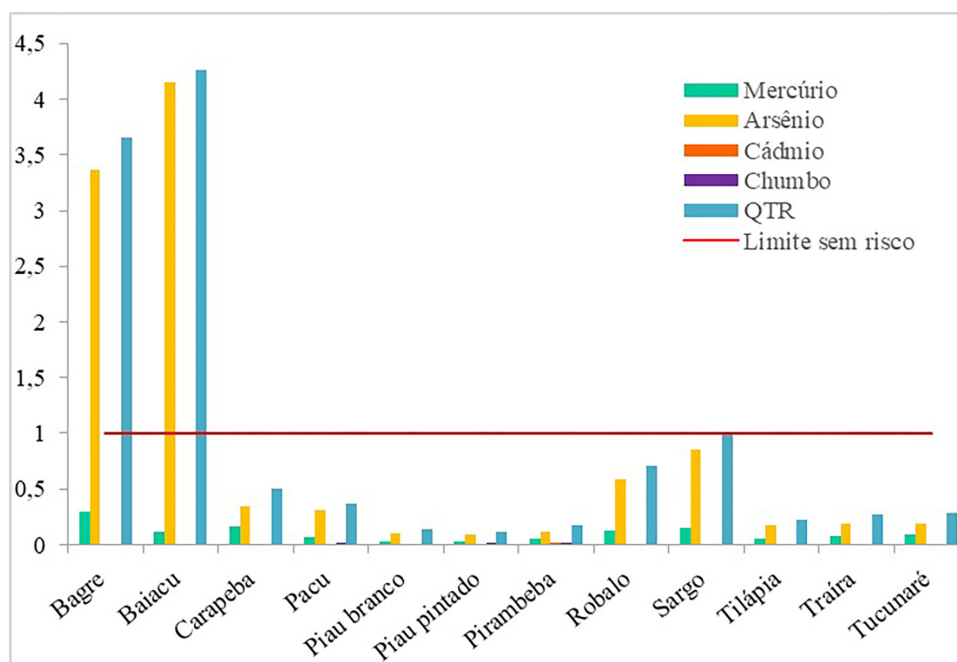
análogo ao da literatura especializada, que divulgam a ocorrência de maior bioacumulação de metais nas espécies bentônicas ou demersais, em que os peixes de fundo podem ser expostos a níveis maiores de contaminantes associados aos sedimentos do que os peixes pelágicos (SAEI-DEHKORDI *et al.*, 2010; STORELLI, 2008). A carapeba (*E. brasilianus*), espécie onívora com hábitos alimentares no fundo, apresentou as concentrações máximas observadas para Mercúrio, Cromo e Ferro (Figura 58). Essa maior magnitude de metais na sua carne é corroborada pela ocorrência de ampla variedade de detritos minerais e sedimentos nos conteúdos estomacais registrados para essa espécie (SANTOS *et al.*, 2020).

Adicionalmente, elementos como Mercúrio, Arsênio e Chumbo, por exemplo, são considerados não essenciais e têm caráter acumulativo na cadeia trófica, um processo chamado de biomagnificação, podendo chegar ao topo da cadeia alimentar, os seres humanos.

## Quociente de risco

Em relação aos metais Mercúrio, Cádmio e Chumbo, nenhuma das espécies avaliadas neste estudo apresentou quociente de risco maior que 1 ( $QR > 1$ ), e não representam risco à saúde humana associado ao consumo dessas espécies. Quocientes de risco (QR) maiores que 1 foram registrados nos exemplares únicos de bagre (*Cathorops agassizii*) (3,36) e de baiacu (*Lagocephalus laevigatus*) (4,14), de acordo com os níveis de Arsênio, de 1,96 mg/kg  $\pm$  0,34 mg/kg e 2,42 mg/kg  $\pm$  0,63 mg/kg, respectivamente, e podem representar um risco potencial à saúde humana (Figura 59).

Figura 59 - Quociente de risco do Mercúrio, Arsênio, Cádmio, Chumbo e total (QTR).



Fonte: Dados dos autores (2020)

Para mensurar o efeito simultâneo dos metais avaliados, é calculado o quociente total de risco (QTR), que é a soma simples do QR de cada metal (Cádmio, Arsênio, Chumbo e Mercúrio), proposto por Chien *et al.* (2002). Das espécies avaliadas neste estudo, apenas

duas, baiacu (*L. laevigatus*) (4,26) e bagre (*C. agassizii*) (3,65) apresentaram um QTR acima do limite sem risco representado pela linha vermelha na Figura 59.

A reavaliação das espécies-alvo em anos subsequentes ao estudo é importante para verificar se há diminuição do potencial risco de consumo. Adicionalmente, recomendações assertivas sobre os níveis seguros de consumo de pescado devem considerar um maior e representativo universo de amostras de peixes e o monitoramento periódico das espécies-alvo nas estações seca e úmida na região do Baixo rio São Francisco.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os metais e o metaloide Arsênio presentes nas espécies de peixes no Baixo rio São Francisco apresentaram as concentrações médias na seguinte ordem decrescente: Fe > Zn > Mn > Cr > Cu > As > Hg > Pb > Cd. O Ferro foi o metal mais abundante, seguido do Zinco, no tecido muscular dos peixes estudados.

As concentrações de Mercúrio, Cádmio e Chumbo encontradas no tecido muscular dos peixes avaliados não apresentam risco à saúde humana associado ao consumo dessas espécies com base nos Limites Máximos de Tolerância.

O nível de Cromo, acima do LMT, registrado em todas as espécies estudadas sugere que o ambiente aquático está, possivelmente, impactado por esse metal.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Resolução nº 42 de 29 de ago. 2013**. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico Mercosul sobre Limites Máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. Brasília, DF: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2013.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY(USA). **Toxicological profile for copper**. 2004. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=206&tid=37>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BARBOSA, J.M. *et al.* Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v.1, n. 6, p. 70-90, 2017.

BOSCH A.C. *et al.* Heavy metals in marine fish meat and consumer health: A review. **Journal of the Science Food and Agriculture**, v. 96, n. 1, p. 32–48, jan. 2016.

BRASIL. DECRETO nº 55871, de 26 de março de 1965. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/DECRETO%2BN%25C%25BA%2B55.871%252C%2BDE%2B26%2BMAR%25870%2BDE%2B1965.pdf/59b8704c-52f4-481d-8baa-ac6edadf6490>. Acesso em: 10 jun. 2020.

BRITSKI, H. A.; SATO, Y.; ROSA, A. B. S. **Manual de identificação de peixes da região de Três Marias**: com chaves de identificação para os peixes da Bacia do São Francisco. Brasília: CODEVASF, 1988.

CHIEN, L. C. *et al.* Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. **Science of the Total Environment**, v. 285, n. 1–3, p. 177–185, 2002.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ficha de Informação Toxicológica - Manganês**. 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Mangan%C3%AAs.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ficha de Informação Toxicológica – Arsênio**. 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2019/10/Ars%C3%AAnio.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.

DURAL, M.; GÖKSU, M. Z. L.; ÖZAK, A. A. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. **Food Chemistry**, v. 102, n. 1, p. 415-421, Dec. 2007.

JAVED, M.; USMANI, N. Accumulation of heavy metals in fishes: a human health concern. **International Journal of Environmental Sciences**, v. 2, n. 2, p. 659-670, Dec. 2011.

LESSA, R.; NÓBREGA, M. F. **Guia de identificação de peixes marinhos da Região Nordeste**. 2000. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/revizee/\\_arquivos/guiaiden.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/revizee/_arquivos/guiaiden.pdf). Acesso em: 10 out. 2018.

LI, W. *et al.* A survey of arsenic species in chinese seafood. **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, n. 8, p. 1103-1110, Aug. 2003.

MAHER, W. *et al.* Ecological factors affecting the accumulation and speciation of arsenic in twelve Australian coastal Bivalve molluscs. **Environmental Chemistry**, v. 15, n. 1, p.46-57, Jan. 2018.

MALVANDI, H.; ALAHABADI, A. Evaluation of potential human health risk due to the exposure to mercury via fish consumption of *Alosa* spp. from the southern Caspian Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 143, n. 4, p. 66–71, 2019.

MIRANDA FILHO, A. L. *et al.* Cromo hexavalente em peixes oriundos da Baía de Sepetiba no Rio de Janeiro, Brasil: Uma avaliação de risco à saúde humana. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 3, p. 200-209, 2011.

NUSSEY, G.; VAN VUREN, J. H. J.; DU PREEZ, H. H. Bioaccumulation of chromium, manganese, nickel and lead in the tissues of the moggel, *Labeo umbratus* (Cyprinidae), from Witbank Dam, Mpumalanga. **Water SA**, v. 26, n. 2, p. 269–284, 2000.

OEHLENSCHLAGER, J. Identifying heavy metals in fish. In: H. BREMMER, A. (Ed.). **Safety and quality issues in fish processing**. [s.l.]: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2002.

PEREIRA, P.; PABLO, H.; PACHECO, M. The relevance of temporal and organ specific factors on metals accumulation and biochemical effects in feral fish (*Liza aurata*) under a moderate contamination scenario. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 73, n. 5, p. 805-816, July 2010.

SAEI-DEHKORDI, S. S.; FALLAH, A. A.; NEMATOLLAHI, A. Arsenic and mercury in commercially valuable fish species from the Persian Gulf: influence of season and habitat. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 10, p. 2945–2950, 2010.

SANTOS, E. L., TEODÓSIO, R. S.; SANTOS, E. P. Avaliação do Conteúdo Estomacal dos

Peixes Capturados no Baixo São Francisco. **Relatório da II Expedição Científica do Baixo São Francisco**, p.117-124, 2020.

SILVA, C. A. *et al.* Mercury speciation in fish of the Cabo Frio upwelling region, SE – Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 3, n. 59, p. 259-266, 2011.

SILVA, C. A. *et al.* Metals and arsenic in marine fish commercialized in the NE Brazil: Risk to human health. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 26, n. 3, p. 695-712, Jan. 2019.

STORELLI M. M. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: Estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 8, p. 2782-2788, Aug. 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **Assessing human health risks from chemically contaminated, fish and shellfish: a guidance manual**. Washington, DC: US EPA Office of Marine and Estuarine Protection, 1989.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry, Revision- Method 7473 -SW-846**. 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/201507/documents/epa-7473.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Risk-based concentration table**. 2010. Disponível em: <https://semspub.epa.gov/work/03/2229071.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; THE FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Vitamin and mineral requirements in human nutrition**. 1998. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42716/9241546123.pdf;jsessionid=5EBB71DBCD68D01E0685BA5B17A0A195?sequence=1> . Acesso em: 10 jun. 2020.



# FISH AS BIOINDICATORS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE LOWER SÃO FRANCISCO

Emilly Valentim de Souza

Vivian Costa Vasconcelos

Karina Leitão de Oliveira

Lucas de Oliveira Arruda

Anita Santistebam

Evaristo Pérez

Emerson Carlos Soares

Themis Jesus Silva

## SUMMARY

The Lower São Francisco River runs through several municipalities and is approximately 214 km long. The river suffers from human activity, urban growth, and agriculture that directly or indirectly impact this aquatic environment. These actions include the dumping of city sewage and the use of pesticides in agriculture near the river banks. They cause various problems to the environment and its inhabitants and, consequently, to the riverside dwellers who depend on the river to survive. Many studies using fish are developed to monitor aquatic ecosystems, as they serve as a bioindicator of the environment's quality. The II Scientific Expedition of the Lower São Francisco, held in November 2019, aimed to evaluate the São Francisco River's health, using fish as bioindicators to analyze genetic biomarkers (nuclear abnormalities) and biochemical biomarkers (enzymatic activity and malondialdehyde). Seventy-six specimens were analyzed using genetic biomarkers (mean frequency of erythrocyte nuclear abnormalities) and biochemical biomarkers (CAT and SOD enzymes activity and lipid peroxidation, and quantifying MDS levels). Blood smears were acquired, following the protocol of Carrasco et al. (1990), to count cells with nuclear abnormalities. Enzyme and MDA analyses followed the protocols of Aebi (1984) and Buege and Aust (1978), respectively. The total mean frequency of erythrocyte nuclear abnormalities was higher in the municipality of Piranhas (1.702) followed by Porto Real do Colégio (1.295), while the most frequent species were the true piranha (*Pygocentrus piraya*) (4.0) followed by tucunaré (*Cichla monoculus*) (1.75), both carnivorous species. The analyses of SOD, CAT, and MDA showed the most significant activities in the municipalities of Piranhas, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, and Traipu. The results may indicate changes in water quality, river health, and aquatic organisms living in this environment. It is essential to know the activities that negatively impact the quality of the water and, consequently, affect fish, as this is an essential resource for the riverine population in this area of the São Francisco River.

# CAPÍTULO 11

## PEIXES COMO BIOINDICADORES PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Emilly Valentim de Souza<sup>56</sup>

Vivian Costa Vasconcelos<sup>57</sup>

Karina Leitão de Oliveira<sup>58</sup>

Lucas de Oliveira Arruda<sup>59</sup>

Anita Santistebam<sup>60</sup>

Evaristo Pérez Rial<sup>61</sup>

Emerson Carlos Soares<sup>62</sup>

Themis Jesus Silva<sup>63</sup>

### INTRODUÇÃO

O rio São Francisco é um dos mais importantes do Brasil e possui grande relevância socioeconômica para o País. Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) (2014), o Velho Chico possui 2.700 km de extensão, sendo dividido em Alto, Médio, Submédio e Baixo. De acordo com o Ibama (2006), a região do Baixo São Francisco (BSF) tem, aproximadamente, 214 km de extensão, passando por 86 municípios; tem início a partir do município de Paulo Afonso (BA), passando pelos Estados de Alagoas e Sergipe até os municípios de Piaçabuçu (AL) e Brejo Grande (SE), onde está localizada sua foz.

Entre os municípios no BSF, em Alagoas, estão: Penedo, que tem grande destaque econômico, possuindo arquitetura colonial, atraindo atenção turística, também responsável pela criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) (IBGE 2019b); Piranhas, município de caráter econômico turístico, devido aos passeios aos cânions do rio São Francisco; Igreja Nova, que tem como destaque econômico o setor agropecuário, sendo grande produtor de arroz e criador de camarão

<sup>56</sup> Graduanda em Zootecnia, *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Laboratório de Aquicultura.

<sup>57</sup> Mestre em Zootecnia, *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Laboratório de Aquicultura.

<sup>58</sup> Graduanda em Zootecnia, *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Laboratório de Aquicultura.

<sup>59</sup> Graduando em Zootecnia, *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Laboratório de Aquicultura.

<sup>60</sup> Graduanda em Zootecnia, *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Laboratório de Aquicultura.

<sup>61</sup> Pesquisador Instituto Espanhol de Oceanografia (Vigo).

<sup>62</sup> Professor do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Laboratório de Aquicultura.

<sup>63</sup> Professora do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – Laboratório de Aquicultura.

(IBGE 2017) e Piaçabuçu, que é a última cidade percorrida pelo rio, no lado alagoano, e é um importante polo pesqueiro de camarão (IBGE 2019b).

No lado sergipano, destacam-se os municípios de Propriá, pela grande produção de banana e manga e pela produção de alevinos de tambaqui (*Colossoma macropomum*) e tilápia (*Oreochromis niloticus*) e o município de Brejo Grande, que tem grande relevância econômica para o Estado, sendo grande produtor de arroz, manga, camarão, peixes e bovinos (IBGE 2019a; IBGE 2019b).

Segundo Rashed (2001), o ambiente aquático está corriqueiramente susceptível a um grande número de rejeitos tóxicos, que são lançados nele diariamente. Efluentes industriais, resquícios de drenagens agrícolas, lixos químicos e esgotos domésticos são lançados em rios e prejudicam a qualidade desse ambiente.

O peixe, como integrante do ecossistema aquático, é considerado excelente indicador das condições ambientais, podendo refletir os distúrbios do ambiente em diversas escalas, devido ao seu estilo de vida, características de nado e por ser um organismo que ocupa vários níveis na cadeia alimentar. Quando comparados com outros tipos de animais, como os invertebrados, os peixes geralmente fornecem uma quantidade elevada de informações, além de serem animais de fácil captura e identificação (FREITAS; SOUZA, 2009). Os peixes ainda podem acumular e concentrar substâncias tóxicas, a partir de sedimentos, plantas aquáticas e da própria água do rio (RASHED, 2001).

Segundo Cajaraville *et al.* (2000), o monitoramento por meio de biomarcadores e bioindicadores pode sugerir, antecipadamente, se os organismos aquáticos estão expostos a poluentes e sua resposta a tais poluentes, para que estratégias de biorremediação possam ser desenvolvidas. Os bioindicadores e os biomarcadores (genéticos e bioquímicos) são ferramentas eficientes para avaliar a saúde do Baixo São Francisco, bem como dos diversos organismos que o habitam. Estes possibilitam conhecermos os impactos e as consequências das atividades antropogênicas exercidas em sua margem ou próximas a ela, pois fornecem dados seguros sobre as condições atuais dos corpos d'água (CAJARAVILLE *et al.*, 2000).

Frontalini e Coccioni (2011) descrevem indicadores biológicos ou bioindicadores como organismos que podem responder efetivamente à presença de poluentes, auxiliando na identificação e fornecendo dados sobre as condições ambientais. Para serem classificados como um indicador biológico, os organismos vivos devem satisfazer certas características, como uma ampla distribuição geográfica, ser taxonomicamente sólidos e ser numéricos no ambiente (ROSENBERG; WIENS, 1976).

Já os biomarcadores são definidos como alterações bioquímicas, celulares, moleculares ou mudanças fisiológicas nas células, fluidos corpóreos, tecidos ou órgãos de um organismo, que podem ser evidências de exposições e efeitos de xenobióticos (LAM; GRAY, 2003). Os biomarcadores devem fornecer uma análise dos efeitos dos estressores ambientais, incluindo a medição de reações biológicas, além de fornecer informações sobre seu mecanismo de ação. Aitio e Kallio (1999) ressaltam que a observação desses efeitos pode indicar um sinal preliminar de alerta.

Os poluentes que atingem o ambiente aquático exercem vários efeitos negativos nos animais destes ecossistemas. Dentre os problemas, está o estresse oxidativo, definido por Nishida (2011) como um desequilíbrio na produção de espécies reativas de Oxigênio (ERO), além da capacidade que o organismo tem de se defender desses oxidantes. Quando esse desequilíbrio acontece, moléculas oxidativamente modificadas acumulam-se no compartimento celular,

causando disfunções celulares (NISHIDA, 2011). A oxidação é uma parte essencial da vida e do metabolismo aeróbico; dessa forma, os radicais livres são produzidos naturalmente ou devido a certas alterações biológicas (BARREIROS *et al.*, 2006).

Em se tratando de biomarcadores bioquímicos, existe o sistema antioxidante, com enzimas e outros compostos que podem ser utilizados como indicadores de estresse oxidativo, termo que define o desequilíbrio entre moléculas oxidantes e antioxidantes e que pode causar danos celulares (MAIA; BICUDO, 2009). A atividade que as enzimas antioxidantes exercem em defesa dos organismos contra as espécies reativas do Oxigênio (EROs) é de extrema importância na desintoxicação de radicais livres, transformando os mesmos em moléculas não reativas (VAN DER OOST *et al.*, 2003).

A enzima Superóxido Dismutase (SOD) atua como uma importante defesa antioxidante, neutralizando as EROs, pois catalisa a destruição do radical ânion Superóxido ( $O_2^-$ ), convertendo-o em oxigênio ( $O_2$ ) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). A presença da enzima SOD favorece essa dismutação, tornando a reação de primeira ordem, eliminando a necessidade da colisão entre as moléculas (BARREIROS *et al.*, 2006).

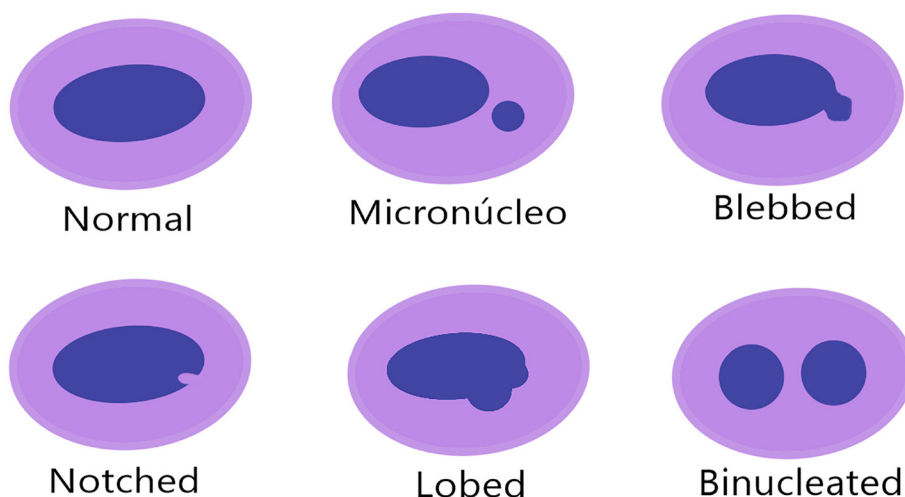
Enquanto a catalase (CAT), enzima antioxidante, encontrada principalmente em grande concentração nos peroxissomos, executa duas funções essenciais: a decomposição do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), transformando-o em água e oxigênio molecular ( $H_2O + O_2$ ), e a oxidação de compostos hidrogenados (metanol, etanol, ácido fórmico e fenóis) (AEBI, 1984), a SOD e a CAT possuem papel importante dentro do sistema de defesa antioxidante, visto que, através das suas ações, previnem a peroxidação lipídica (VAN DER OOST *et al.*, 2003).

O Malondialdeído (MDA), outro biomarcador bioquímico, é o resultado final do processo de peroxidação lipídica. Através dele, pode-se obter o índice de peroxidação lipídica de diversos organismos. Atualmente, vem sendo bastante utilizado, em conjunto com a atividade das enzimas antioxidantes, em trabalhos sobre estresse oxidativo (VAN DER OOST *et al.*, 2003). Porém, em animais aquáticos, há pouca informação sobre o metabolismo do MDA.

Quanto ao biomarcador do tipo genético, o teste do micronúcleo é uma importante ferramenta usada para monitoramento da qualidade da água. É baseado no seguinte princípio: durante a divisão celular, no estágio da anáfase, os micronúcleos são formados, nas células parentais, por fragmentos de cromossomos ou cromossomos inteiros atrasados, que não se movem para os polos da célula, não sendo integrados ao núcleo principal da célula-filha após a mitose. Tem, como regra, um tamanho consideravelmente menor que o núcleo principal, por isso é chamado de micronúcleo (SCHMID, 1975).

Durante as análises do teste do micronúcleo, alguns pesquisadores relataram outros tipos de anormalidades nucleares. Para Fenech (2000), além da genotoxicidade e da mutagenicidade, essas anormalidades também estão relacionadas a erros que ocorrem durante os processos de mitose ou meiose (Figura 60). Carrasco *et al.* (1990) descreveram essas anormalidades nucleares como: *blebbed*, *lobed*, *micronuclei* e *notched* (entre outras), tendo como possíveis causas a genotoxicidade e ou a mutagenicidade dos poluentes. Para Hooftman e Raat (1982), micronúcleo e as anormalidades do tipo *blebbed*, *lobed* e *notched* são de origem genotóxica.

Figura 60 - Ilustração de anormalidades nucleares e suas definições.



Fonte: Emilly Valentim de Souza, baseado em Carrasco *et al.* (1990).

Carrasco *et al.* (1990) categorizaram essas anormalidades nucleares descrevendo-as como:

- Binucleada: células apresentando dois núcleos de tamanhos similares;
- *Blebbed*: núcleo com uma pequena evaginação do envoltório nuclear, formando uma bolha;
- *Micronuclei*: estrutura redonda, amendoada ou ovoide, com 1/5 a 1/20 do eritrócito, com coloração consistente com a cromatina do núcleo principal e imagem não refratária;
- *Notched*: núcleo com uma pequena fenda (invaginação) no envelope nuclear;
- *Lobed*: núcleo com evaginação do envoltório nuclear maior que *blebbed*, apresentando formato arredondado, como um lóbulo.

Portanto, em populações expostas a substâncias mutagênicas e cancerígenas, o teste de micronúcleos e anomalias nucleares tornou-se o método mais comum para monitorar danos genotóxicos. A frequência de micronúcleos observada em um momento específico pode ser considerada uma resposta à atividade genotóxica e à sensibilidade do mecanismo biológico do organismo testado (LANDOLT; KOCAN, 1983).

Assim, foram avaliadas a atividade das enzimas antioxidantes (SOD e CAT), a peroxidação lipídica (MDA) e a frequência de anormalidades nucleares eritrócitárias, para detectar o nível de estresse oxidativo e a mutação no material genético dos peixes coletados na II Expedição do Baixo São Francisco, com o objetivo de avaliar a saúde dos peixes coletados, bem como a qualidade da água do Baixo São Francisco.

### **Anormalidades nucleares eritrócitárias (ANE)**

A genotoxicidade (dano ao DNA) é avaliada pela frequência de Anormalidades Nucleares Eritrocitárias (ANE) (micronúcleo, célula binucleada, célula com núcleo tipo: *blebbed*, *lobed*, *notched*) em esfregaços sanguíneos (CARRASCO *et al.*, 1990). O teste de micronúcleo e a frequência de anormalidades são técnicas utilizadas em diversos tipos celulares, consideradas rápidas e simples (HAYASHI *et al.*, 1998). Simples, sensíveis e confiáveis,



fornece resultado imediato dos danos genéticos causados pela presença de agentes químicos em um ambiente (POLLO *et al.*, 2015). Dessa forma, tornam-se excelente ferramenta para avaliar os possíveis danos ao material genético dos peixes do rio São Francisco.

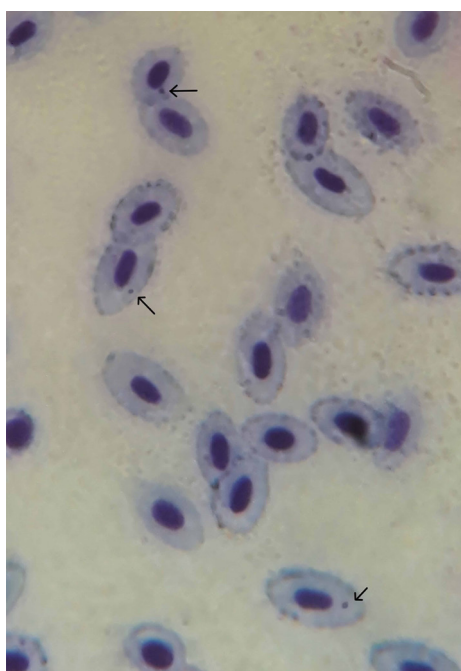
As espécies capturadas na II expedição e utilizadas para as análises das Anormalidades Nucleares Eritrocitárias (ANE) foram: *Metynnis maculatus* (pacu, n = 20), *Schizodon knerii* (piauí-de-vara, n = 14), *Serrasalmus branditti* (pirambeba, n = 11), *Megaleporinus obtusidens* (piauí-três-pintas, n = 7), *Colossoma macropomum* (tambaqui, n = 5), *Cichla monoculus* (tucunaré, n = 4), *Astronotus ocellatus* (acará-boi, n = 3), *Eugerres brasiliensis* (carapeba, n = 3), *Pygocentrus piraya* (piranha verdadeira, n = 2), *Prochilodus argenteus* (curimatã-pacu, n = 1), *Archosargus probatocephalus* (sargo, n = 1), *Caranx latus* (xaréu, n = 1), *Hypostomus affinis* (cascudo, n = 1) e *Tylosurus acus acus* (peixe agulha, n = 1).

### Anormalidades nucleares eritrocitárias (ANE) por local de coleta

Em todos os locais amostrados, foram observadas células com anormalidades nucleares eritrocitárias (ANE), com exceção do município de Piaçabuçu. A maior frequência de células micronucleadas foi registrada no município de Piranhas (0,703) (Figura 61), seguido por Igreja Nova (0,571) e Porto Real do Colégio (0,555).

Os peixes coletados no município de Piranhas apresentaram a maior frequência de células com núcleo do tipo *notched*, seguidos de Porto Real do Colégio. Essa anormalidade não foi encontrada nas células dos peixes coletados em Piaçabuçu e Traipu. Nos peixes coletados no município de Piranhas, também foi observada uma maior frequência de células com núcleo do tipo *lobed*, seguida, novamente, pelo município de Porto Real do Colégio, enquanto em Igreja Nova e Piaçabuçu não foi observado este tipo de anormalidade (Tabela 33).

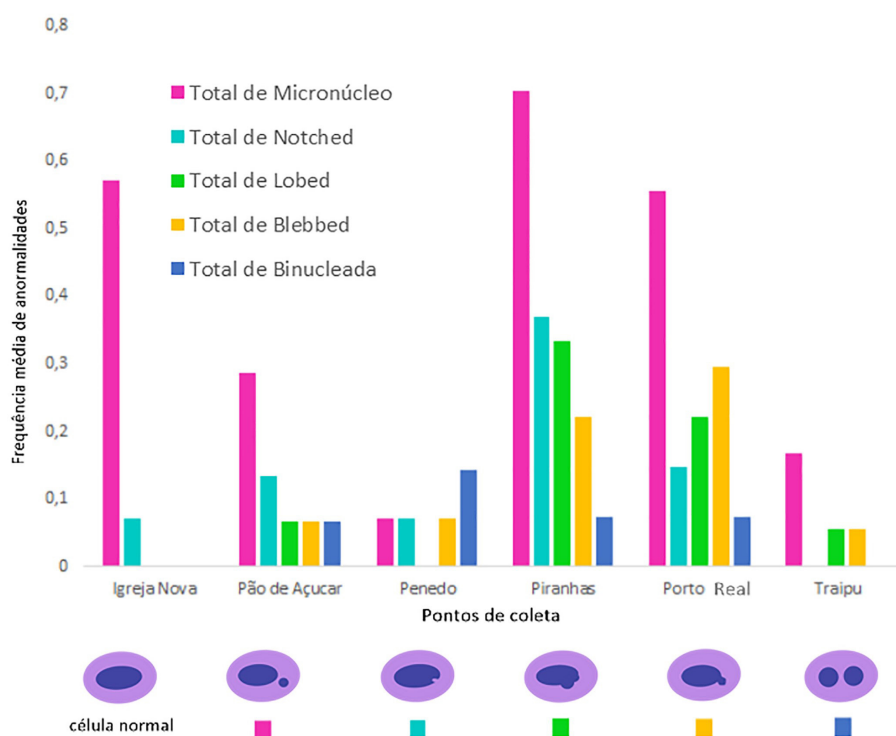
Figura 61 - Micronúcleos observados em eritrócitos de *Pygocentrus piraya* capturado no município de Piranhas (1000x).



Fonte: Emilly Valentim (2020).

Quanto à presença de anormalidades do tipo *blebbed*, o município de Porto Real do Colégio apresentou maior frequência, seguido por Piranhas, enquanto em Igreja Nova e Piaçabuçu as células analisadas não apresentaram tal anormalidade (Figura 62). Células com núcleos do tipo binucleado foram encontradas em maior quantidade em Penedo, mas não foram encontradas em Igreja Nova, Piaçabuçu e Traipu (Figura 62).

Figura 62 - Frequência média de Anormalidades Nucleares Eritrocitárias nos diferentes pontos de coleta.



Fonte: Emilly Valetim e Themis Silva (2020).

Em relação à frequência média total de anormalidades, o município de Piranhas apresentou uma maior quantidade de anormalidades (1,702), seguido de Porto Real do Colégio (1,295). A anormalidade mais frequente encontrada foi o micronúcleo (Mn) com média total igual a 2,352. O total de ANE nos municípios foi de 4,887 (Tabela 33).

Com a presença de agentes químicos decorrentes do deságue de esgoto doméstico, lixiviação de agrotóxicos e herbicidas, alterações ambientais de salinidade e temperatura, pode ocorrer uma combinação de substâncias e reações que causam alterações na biota aquática (AKAISHI *et al.*, 2007). Tais alterações podem atingir o material genético das células, comprometendo seu funcionamento. E, se persistente, tal dano pode ter um efeito mais abrangente na espécie, atingindo tecidos e órgãos. Outra preocupação está relacionada à reprodução das espécies e a danos ao material genético causados por poluentes, que podem atingir gametas, diminuindo a taxa reprodutiva.

Em tucunarés (*Cichla* sp.), as respostas dos biomarcadores (frequência de micronúcleo e outros) demonstram risco ecológico para os peixes coletados próximo às áreas agrícolas (LIMA *et al.*, 2018). Resultado semelhante ao de Azevedo *et al.* (2012), analisando o

bagre (*Cathorops spixii*), onde encontraram um maior número de ANE em locais com maior atividade antropogênica, sugerindo presença de substâncias com efeito genotóxico. Alguns autores sugerem que a indução das anormalidades nucleares pode ocorrer como resposta a agentes genotóxicos (GUILHERME *et al.*, 2008; MARQUES *et al.*, 2009; LIMA *et al.*, 2018). É importante conhecermos os impactos causados ao ambiente aquático e, conseqüentemente, aos peixes.

Tabela 33 - Frequência média (%) e desvio das anormalidades em seus respectivos pontos de coleta.

Cidades/ Pontos	N	Binucleated Bi	Blebbled B	Micronúcleo Mn	Lobed L	Notched N	Total (Bi + B + Mn + L + N)
Piranhas	15	0,074 ± 0,137	0,222 ± 0,395	0,703 ± 0,834	0,333 ± 0,543	0,370 ± 0,549	1,702 ± 1,099
Pão de Açúcar	13	0,066 ± 0,124	0,066 ± 0,124	0,286 ± 0,449	0,066 ± 0,124	0,133 ± 0,231	0,617 ± 0,470
Traipu	10	0	0,055 ± 0,105	0,166 ± 0,278	0,055 ± 0,104	0	0,276 ± 0,159
Porto R. do Colégio	15	0,074 ± 0,137	0,296 ± 0,482	0,555 ± 0,740	0,222 ± 0,362	0,148 ± 0,263	1,295 ± 0,887
Igreja Nova	7	0	0	0,571 ± 0,734	0	0,071 ± 0,132	0,642 ± 0,612
Penedo	9	0,142 ± 0,244	0,071 ± 0,133	0,071 ± 0,133	0	0,071 ± 0,133	0,355 ± 0,321
Piaçabuçu	7	0	0	0	0	0	0
Total	76	0,356 ± 0,321	0,71 ± 0,554	2,352 ± 1,293	0,676 ± 0,338	0,793 ± 0,584	4,887 ± 1,448

Fonte: Emilly Valetim e Themis Silva (2020).

### Anormalidades nucleares eritrocitárias (ANE) por espécie

As menores frequências de anormalidades foram observadas na curimatã-pacu (*P. argenteus*), na pirambeba (*S. branditti*) e no piau-três-pintas (*M. obtusidens*) (Tabela 34).

A piranha verdadeira, *P. piraya*, apresentou uma maior frequência de anormalidades (4,0), seguida pelo tucunaré, *C. monoculus* (1,75). Ambas as espécies apresentam hábito alimentar carnívoro e encontram-se no topo da cadeia alimentar, estando, assim, expostas à biomagnificação, semelhante ao encontrado por Porto *et al.*, (2005), em que as espécies piscívoras tiveram frequências médias de micronúcleo até cinco vezes maiores que espécies onívoras e detritívoras. A espécie *Cichla* sp. (tucunaré) é considerada predadora, estando em alto nível trófico na cadeia alimentar; logo, está sujeita ao processo de biomagnificação, além de não realizar migração (LIMA *et al.*, 2018). As espécies dos níveis tróficos superiores (carnívoros) tendem a bioacumular níveis mais altos de poluentes em seus tecidos do que aqueles dos níveis tróficos mais baixos (LACERDA *et al.*, 2020), o que pode acarretar frequências mais altas de anormalidades, como encontrado na piranha e no tucunaré deste estudo.

Associado ao hábito alimentar, o tucunaré é considerado territorialista (SOARES; PEREIRA-FILHO; ROUBACH, 2007), o que faz com que ele fique por mais tempo em um determinado local no rio, atuando como um bom bioindicador da região, enquanto a piranha é considerada um pequeno migrador, não se deslocando por grandes percursos. Tais hábitos migratórios, limitados, de ambas as espécies indicam um fator de maior exposição aos compostos nocivos, que pode ter causado a maior presença das anormalidades.

Os peixes são considerados bons modelos para avaliar a qualidade dos corpos

hídricos, não apenas por sua capacidade de acumular substâncias tóxicas em seus tecidos, mas por ocuparem diferentes posições na cadeia alimentar aquática, o que permite estudar a incorporação de poluentes em diferentes níveis tróficos (LACERDA *et al.*, 2020).

Tabela 34 - Frequência média das anormalidades nas espécies analisadas.

Espécie (comum/científico)	N	Média	Agrupamento*	
<i>Pygocentrus piraya</i>	2	4.00	A	
<i>Cichla monoculus</i>	4	1.75	A	B
<i>Colossoma macropomum</i>	5	1.600		B
<i>Schizodon knerii</i>	14	1.357		B
<i>Prochilodus argenteus</i>	2	1.00		B
<i>Metynnis maculatus</i>	20	0.500		B
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	8	0.500		B
<i>Serrasalmus brandtii</i>	11	0.273		B

\*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Emerson Soares (2020).

Estudos realizados ao longo dos últimos anos mostram uma maior frequência de micronúcleos em peixes que estão em áreas próximas a plantações, com risco de contaminação por agrotóxicos e pesticidas (KÖNEN; ÇAVAS *et al.*, 2008; ÇAVAS, 2011) ou em locais com outra atividade antropogênica (PORTO *et al.*, 2005; MARQUES *et al.*, 2009; AZEVEDO *et al.*, 2012).

Uma maior frequência de anormalidades nucleares foi encontrada em bagres (*Cathorops spixii*), em locais com intensa atividade industrial (AZEVEDO *et al.*, 2012). Diversos estudos relatam que as anormalidades nucleares podem ser induzidas em resposta à exposição a agentes genotóxicos (GUILHERME *et al.*, 2008) associados à presença ou a atividades antropogênicas que liberam diferentes compostos nos corpos hídricos.

Os resultados obtidos mostraram uma baixa frequência de anormalidades (4,887), mas é de extrema importância como primeiro registro da genotoxicidade no Baixo São Francisco. É importante salientar que, quando comparado com outros estudos, com diferentes atividades antropogênicas impactando os corpos hídricos, este apresentou uma frequência de micronúcleo (2,352) bem superior. Porto *et al.* observaram, no local com maior atividade humana, uma frequência de Mn igual a 0,251, enquanto Azevedo *et al.* (2012) obtiveram uma frequência de Mn de 0,20 e Lima *et al.* (2018), analisando *Cichla* sp., encontraram uma baixa frequência de Mn – apenas 0,015.

## Biomarcadores oxidativos da ictiofauna do baixo São Francisco

### Espécimes e análises

Os peixes analisados foram coletados nos municípios de Piranhas-AL, Traipu-AL, Porto Real do Colégio-AL, Igreja Nova-AL, Propriá-SE, Penedo-AL, Piaçabuçu-AL e foz do rio São Francisco, entre os dias 18 e 27 de novembro de 2019. O estresse oxidativo foi quantificado através da atividade das enzimas Superóxido Dismutase (SOD), catalase (CAT) e da peroxidação lipídica através do malondialdeído (MDA) dos tecidos hepáticos e branquiais, em 76 amostras das espécies listadas na Tabela 35.

Tabela 35 - Espécies coletadas na região do Baixo São Francisco para análises do estresse oxidativo.

Pontos	Amostras	N° de amostras	Espécie	Nome comum	N° de indivíduos
Piranhas/AL	1 ao 14	14	<i>Schizodon knerii</i>	Piau-de-vara	11
			<i>Pygocentrus piraya</i>	Piranha verdadeira	2
			<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	1
Pão de açúcar/AL	15 ao 24	10	<i>Astronotus ocellatus</i>	Apaiari	3
			<i>Metynnis maculatus</i>	Pacu-disco	2
			<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	2
			<i>Serrasalmus brandtii</i>	Pirambeba	1
			<i>Hoplias microcephalus</i>	Traíra	1
Traipú/AL	25 ao 35	11	<i>Schizodon knerii</i>	Piau-de-vara	2
			<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	1
			<i>Metynnis maculatus</i>	Pacu-disco	4
			<i>Prochilodus argenteus</i>	Curimatã-pacu	1
			<i>Serrasalmus brandtii</i>	Pirambeba	3
Propriá/SE	36 ao 50	15	<i>Colossoma macropomum</i>	Tambaqui	10
			<i>Metynnis maculatus</i>	Pacu-disco	2
			<i>Serrasalmus brandtii</i>	Pirambeba	3
Igreja nova/AL	51 ao 57	7	<i>Schizodon knerii</i>	Piau-de-vara	2
			<i>Serrasalmus brandtii</i>	Pirambeba	1
			<i>Metynnis maculatus</i>	Pacu-disco	4
Penedo/AL	58 ao 66	9	<i>Schizodon knerii</i>	Piau-de-vara	2
			<i>Metynnis maculatus</i>	Pacu-disco	5
			<i>Serrasalmus brandtii</i>	Pirambeba	2
Piaçabuçu/AL	67 ao 76	10	<i>Eugerres brasilianus</i>	Carapeba	4
			<i>Caranx latus</i>	Xáreu	2
			<i>Archosargus probatocephalus</i>	Sargo de dentes	1
			<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Piau três pintas	1
			<i>Tylosurus acus acus</i>	peixe agulha	1
			<i>Centropomus parallelus</i>	robalo	1
<b>Total de amostras</b>		<b>76</b>			

Fonte: Emilly Valetim e Themis Silva (2020).

A atividade da SOD nos tecidos foi mensurada em espectrofotômetro (190-1100 nm do feixe (RBC) UV/Vis) baseado na habilidade desta enzima catalisar a reação do Superóxido ( $O_2^-$ ) e o Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e, assim, diminuir a razão de auto-oxidação do pirogalol. A atividade da catalase (CAT) foi mensurada segundo método descrito por Aebi (1984) e os níveis de MDA foram mensurados conforme a metodologia descrita por Buege e Aust (1978).

O resultado da análise de SOD, CAT e MDA mostrou aumento da atividade enzimática nos exemplares coletados nos municípios de Piranhas, Porto Real do Colégio, Igreja Nova e Penedo. Nestas regiões, também foram encontradas alterações histopatológicas e um aumento na frequência de anormalidades nucleares eritrocitárias (ANE), além de maiores índices de coliformes fecais.

## Superóxido Dismutase (SOD)

Os maiores níveis de SOD no tecido hepático foram encontrados nos organismos analisados de Porto Real do Colégio ( $P < 0,05$ ) (Figura 60) (Tabela 36). O tecido hepático é o principal órgão de desintoxicação de substâncias químicas, local de maior acúmulo de poluentes e mais provável de danos, uma vez que os poluentes induzem toxicidade, causando o estresse oxidativo decorrente do aumento de radicais livres de Oxigênio (SOLE *et al.*, 2011).

Enquanto nas brânquias os maiores níveis de atividade foram encontrados em



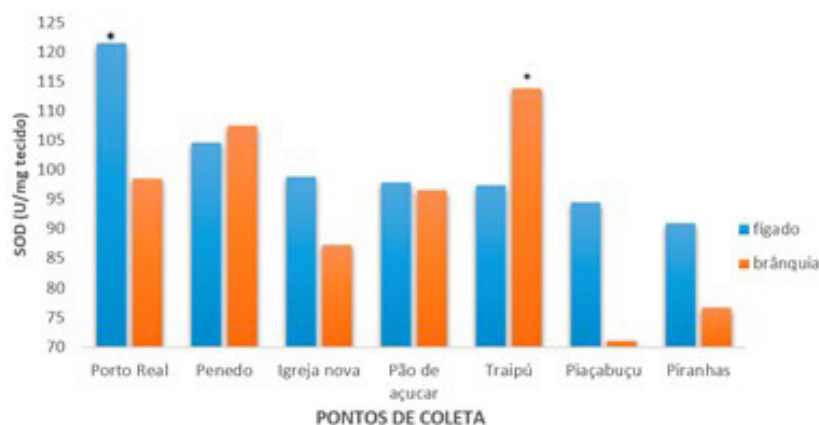
organismos coletados em Traipu-AL ( $P < 0,05$ ) (Tabela 36), os altos níveis de SOD nas brânquias podem estar relacionados aos níveis de Fósforo e outros nutrientes, provavelmente decorrentes de efluentes, visto que, nos pontos de coleta deste município, foram obtidos valores mais elevados deste nutriente (0,02 mg/L e 0,03 mg/L) (Figura 63). De acordo com Sedeño-Díaz (2013), a brânquia é o principal órgão afetado pelos poluentes, pois está diretamente exposta aos contaminantes no ambiente aquático.

Tabela 36 - Médias da atividade antioxidante de SOD mensurada em fígado e brânquias de peixes do Baixo São Francisco

	Município	N	Média	Agrupamento*	
<b>Fígado</b>	Porto Real	10	121.48	A	
	Penedo	8	104.70	A	B
	Igreja Nova	7	98.93	A	
	Pão de Açúcar	8	97.98	B	
	Traipu	10	97.37	B	
	Piaçabuçu	8	94.55	B	
	Piranhas	12	90.96	B	
	Município	N	Média	Agrupamento*	
<b>Brânquia</b>	Traipu	10	113.9	A	
	Penedo	8	107.6	A	B
	Porto Real	13	98.52	A	
	Pão de Açúcar	7	96.7	A	B
	Igreja Nova	6	87.3	A	
	Piranhas	12	76.67	B	
	Piaçabuçu	5	71.00	A	B

\*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.  
Fonte: Emerson Soares (2020).

Figura 63 - Atividade de SOD (U SOD mg/tecido) mensuradas em fígado e brânquia coletados em diversos pontos do Baixo São Francisco.



Fonte: Vivian Vasconcelos (2020).

\* Acima das barras indicam diferenças significativas da média do grupo experimental ( $P < 0,05$ ).

O resultado da atividade da SOD é elevado quando existe exposição dos organismos a metais pesados, herbicidas e pesticidas (FAROMBI *et al.*, 2007; MODESTO; MARTINEZ, 2010). Silva *et al.* (2020), utilizando tecido muscular de 10 espécies de peixes do Baixo São Francisco, com o intuito de determinar as concentrações de metais pesados, baseando-se nos Limites Máximos de Tolerância (LMT), detectaram níveis médios de: Mercúrio (0,08 mg/kg  $\pm$  0,01 mg/kg), Zinco (6,01 mg/kg  $\pm$  0,42 mg/kg), Cobre (0,38 mg/kg  $\pm$  0,09 mg/kg), Cromo (0,45 mg/kg  $\pm$  0,06 mg/kg), Ferro (9,64 mg/kg  $\pm$  0,81 mg/kg), Manganês (0,75 mg/kg  $\pm$  0,15 mg/kg) e do metaloide Arsênio (0,17 mg/kg  $\pm$  0,04 mg/kg). Mesmo que a maioria destes encontrem-se na faixa dos limites toleráveis (LMT), podem influenciar no estresse dos peixes. Ademais, a concentração de Cromo estava acima dos limites máximos toleráveis (LMT), o que pode indicar fontes de contaminação no curso do rio, e os peixes, uma vez expostos por tempo prolongado a estas, estão mais susceptíveis a danos oxidativos nos tecidos (PANDEY *et al.*, 2003; SAKURAGUI *et al.*, 2013).

### Catalase (CAT)

A atividade da CAT mensurada no fígado dos peixes foi maior no ponto de Piranhas ( $P < 0,05$ ) (Tabela 37) (Figura 64). Nesse mesmo ponto, observaram-se índices um pouco mais elevados de metais, como Chumbo e Cromo.

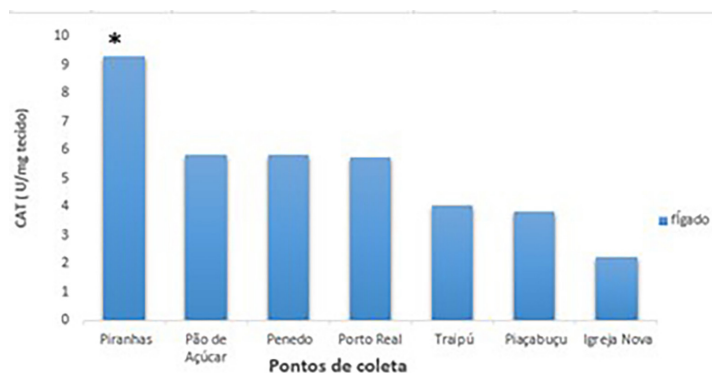
Tabela 64 - Médias da atividade antioxidante de CAT mensurada em fígado de peixes do Baixo São Francisco.

Município	N	Média	Agrupamento*	
Piranhas	12	9.32	A	
Pão de Açúcar	9	5.848	A	B
Penedo	5	5.81	A	B
Porto Real/Propriá	6	5.747	A	B
Traipu	8	4.037		B
Piaçabuçu	7	3.829		B
Igreja Nova	3	2.23		B

\*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Emerson Soares (2020).

Figura 64 - Atividade da CAT ( $\mu$  Cat/ mg tecido) mensurada em fígado.



Fonte: Vivian Vasconcelos (2020).

Atividade de CAT no fígado e em tecidos de peixes de locais diferentes do Baixo São Francisco, \*acima da barra, indica diferenças significativas da média do grupo experimental ( $p < 0,05$ ).

Um estudo realizado por Batista *et al.* (2014), em três pontos distintos do rio Una, utilizando biomarcadores de estresse oxidativo no tecido hepático da espécie *Astyanax bimaculatus*, concluiu que, nos pontos de maiores contaminações, ocorreram mais atividades da catalase, com valores próximos a 200% a mais, quando correlacionados aos peixes coletados em pontos menos impactados. Dessa forma, podemos reforçar o estudo das enzimas antioxidantes como biomarcadores eficientes na quantificação do estresse oxidativo.

### Malondialdeído (MDA)

Para os resultados de MDA mensurados no fígado de peixes, foi observada maior atividade em exemplares coletados em Piranhas ( $P < 0,05$ ), e enquanto nas brânquias a atividade da peroxidação lipídica foi maior nos peixes capturados em Igreja Nova ( $P < 0,05$ ) (Tabela 37).

Tabela 37 - Médias da peroxidação lipídica (MDA) mensurada em fígado e brânquias no Baixo São Francisco.

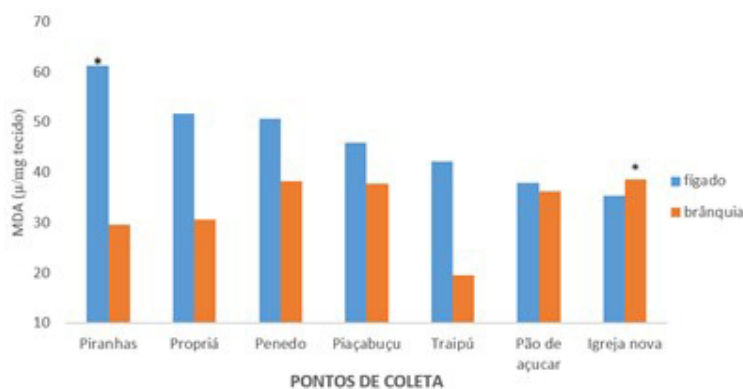
	Município	N	Média	Agrupamento*	
<b>Fígado</b>	Piranhas	12	61.26	A	
	Propriá	11	51.76	A	B
	Penedo	6	50.74	A	B
	Piaçabuçu	8	45.99	A	B
	Traipu	10	42.28		B
	Pão de Açúcar	9	38.03		B
	Igreja Nova	6	35.46		B
	Município	N	Média	Agrupamento*	
<b>Brânquias</b>	Igreja Nova	7	38.61	A	
	Penedo	9	38.29	A	
	Piaçabuçu	7	37.78	A	
	Pão de Açúcar	8	36.34	A	
	Propriá	12	30.62	A	B
	Piranhas	11	29.61	A	B
	Traipu	8	19.56		B
	Igreja Nova	7	38.61	A	

\*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes

Fonte: Vivian Vasconcelos (2020).

Conforme demonstrado na Figura 65, as amostras dos municípios de Igreja Nova, Penedo, Piaçabuçu e Pão de Açúcar apresentaram maiores atividades de MDA no tecido branquial. Vale destacar que esses mesmos pontos apresentaram níveis mais altos de sulfato, nitrito, Sódio, Manganês e potássio (SILVA *et al.*, 2020).

Figura 65 - Atividade de MDA ( $\mu$  mol/ mg tecido) mensurada em fígado de peixes da região do Baixo São Francisco.



Fonte: Vivian Vasconcelos (2020).

Devido terem sido coletadas maiores quantidades de exemplares de hábito carnívoro na região de Piranhas, esses organismos podem ter influenciado nos maiores valores de MDA, uma vez que peixes no topo da cadeia alimentar têm maior propensão de bioacumular substâncias em seus órgãos.

Amundsen *et al.* (2011) relatam que os rios são os principais alvos de contaminação, pois são ambientes de recepção de poluentes. Essas substâncias podem ser transferidas para os peixes através da cadeia trófica e, conseqüentemente, para os seres humanos com efeito bioacumulador.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos locais analisados, pode-se destacar o município de Piranhas, que teve o maior número de tipos de anormalidades e as maiores atividades de SOD, CAT e MDA. Assim, é importante identificar e entender quais atividades antropogênicas estão impactando e atuando como agentes mutagênicos naquela região. Seguindo a cidade de Piranhas, encontram-se os municípios de Penedo, Porto Real do Colégio e Igreja Nova.

Devido ao consumo de peixes pela população ribeirinha do Baixo São Francisco, bem como de outros locais, é importante conhecer as conseqüências do acúmulo de substâncias tóxicas nos mesmos. Dentre as conseqüências, os danos que tais substâncias causam ao DNA, que podem evoluir a efeitos carcinogênicos, e a interação dessas substâncias com a defesa enzimática dos peixes.

Assim, para um melhor entendimento de como as diferentes atividades humanas afetam as células, o material genético e a atividade enzimática dos peixes do Baixo São Francisco e, conseqüentemente, o ambiente aquático, faz-se necessárias coletas mais frequentes, bem como aumentar o número de indivíduos de algumas espécies.

Conclui-se que os bioindicadores utilizados são essenciais em estudos de monitoramento ambiental, pois fornecem inúmeras informações dos impactos antrópicos nos ambientes aquáticos, sendo importantes ferramentas para ações de conservação dos ecossistemas aquáticos.

## REFERÊNCIAS

- AEBI, H. Catalase in Vitro. **Methods in Enzymology**, v. 105, p. 121-126, 1984.
- AITIO, A.; KALIO, A. Exposure and effect monitoring: a critical appraisal of their practical application. **Toxicology Letters**, v.108, p.137-147, 1999.
- AKAISHI, F. M. *et al.* O. Immunological responses, histopathological finding and disease resistance of blue mussel (*Mytilus edulis*) exposed to treated and untreated municipal wastewater. **Aquatic Toxicology**, v. 82, p. 1-14, 2007.
- AMUNDSEN, P. A. Heavy metal contents in whitefish (*Coregonus lavaretus*) along a pollution gradient in a subarctic watercourse. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.182, n. p.301-316, 2011.
- AZEVEDO, J. S.; BRAGA, E. S.; RIBEIRO, C. A.O. Nuclear abnormalities in erythrocytes and morphometric indexes in the catfish *Cathorops spixii* (Ariidae) from different sites on the southeastern Brazilian coast. **Braz. j. oceanogr.**, v. 60, n. 3, p. 323-330, 2012 .
- BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. Estresse oxidativo: relação entre gerações de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 113-123, 2006.
- BATISTA, M. T. O. *et al.* Tissue levels of the antioxidant enzymes superoxide dismutase and catalase in fish *Astyanax bimaculatus* from the Una River Basin. **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n.4, p. 15-4, 2014.
- BUEGE, I. A.; AUST, S. D. Microsomal lipid peroxidation. **Methods Enzymol**, v. 30, p. 302-310, 1978.
- CAJARAVILLE, M. P. *et al.* The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach. **Sci Total Environ**, v. 247, p. 295-311, 2000.
- CARRASCO, K. R.; TILBURY, K. L.; MYERS, M. S. Assessment of the Piscine Micronucleus Test as an in situ Biological Indicator of Chemical Contaminant Effects. **Can J Fish Aquat Sci**, v. 47, 2123-2436, 1990.
- ÇAVAS, T. In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish *Carassius auratus* using the micronucleus test and the Comet assay. **Food Chem. Toxicol.**, v.49, p.1431-1435, 2011.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **A Bacia**. 2014. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em: 28 jun. 2020.
- FAROMBI, E. O.; ADELOWO. O. A.; AJIMOKO. Y. R.; Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicators of environmental pollution in African catfish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. v. 4, n. 2, p. 158-65, 2007.
- FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. **Mutat. Res.**, 455, p. 81-95, 2000.



FREITAS, C. E. C.; SOUZA, F. K. S. O uso de peixes como bioindicador ambiental em áreas de várzea da bacia amazônica. **Rev. Agrogeoambiental**, v. 1 n. 2, p. 39-45, 2009.

FRONTALINI, F. E.; COCCIONI, R. Benthic foraminifera as bioindicators of pollution: A review of Italian research over the last three decades. **Rev Micropaleontol**, v. 54, p. 115-127, 2011.

GUILHERME, S. *et al.* Erythrocytic nuclear abnormalities in wild and caged fish (*Liza aurata*) along an environmental mercury contamination gradient. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 70, p. 411-421, 2008.

HAYASHI, M. *et al.* Development of genotoxicity assay systems that use aquatic organisms. **Mutat. Res.**, v. 399, p.125-133, 1998.

HOOFTMAN, R. N.; RAAT, W. K. Induction of nuclear anomalies (micronuclei) in the peripheral blood erythrocytes of the eastern mudminnow *Umbra pygmaea* by ethyl methanesulphonate. **Mutat. Res.**, v. 104, p. 147-152, 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS . **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília: MMA, 2006.

KÖNEN, S.; ÇAVAS, T. Genotoxicity testing of the herbicide trifluralin and its commercial formulation Treflan using the piscine micronucleus test. **Environ. Mol. Mutagen**, v. 6, p. 434-438. 2008.

LACERDA, D. *et al.* Comparative metal accumulation and toxicogenetic damage induction in three neotropical fish species with distinct foraging habits and feeding preferences. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 195, 2020,

LAM, P. K. S.; GRAY, J. S. The use of biomarkers in environmental monitoring programme. **Marine Pollution Bulletin**. v. 46 (2), 182-186, 2003.

LANDOLT, M. L.; KOCAN, R. M. Fish cell cytogenetics: a measurement of the genotoxic effects of environmental pollutants. **Aquatic Toxicol**, v. 13, p.335-353, 1983.

LIMA, L. B. D.; MORAIS, P. B.; ANDRADE, R. L. T.; MATTOS, L. V.; MORON, S. E. Use of biomarkers to evaluate the ecological risk of xenobiotics associated with agriculture. **Environmental Pollution**, v. 237, p. 611-624, 2018.

MAIA, M. S.; BICUDO, S. D. Radicais livres, antioxidantes e função espermiática em mamíferos: uma revisão. **Rev. Bras. Reprod. Animal**, v.33, n.4, p.183-193, 2009.

MARQUES, S. M. *et al.* Histopathological changes and erythrocytic nuclear abnormalities in Iberian green frogs (*Rana perezi Seoane*) from a uranium mine pond. **Aquatic Toxicology**, v. 91, p. 187-195, 2009.

MODESTO, K. A.; MARTINEZ, C. B. R.; Roundup causes oxidative stress in liver and inhibits acetylcholinesterase in muscle and brain of the fish *Prochilodus lineatus*. **Elsevier**, v.78, p.294-299, 2010.

NISHIDA, Y. The chemical process of oxidative stress by copper (II) and iron (III) ions in several neurodegenerative disorders. **Monatsh Chem**, v. 142, n. 4, p. 375-384, 2011.

PANDEY, S. *et al.* Biomarkers of oxidative stress: a comparative study of river Yamuna fish *Wallago attu*. **Science of the Total Environment**. v. 309, p.105–115, 2003.

POLLO, F. E. *et al.* Common toad *Rhinella arenarum* (Hensel, 1867) and its importance in assessing environmental health: test of micronuclei and nuclear abnormalities in erythrocytes. **Environ Monit Assess**, v. 187, 581, 2015.

PORTO, J. I. R.; ARAUJO, C. S. O.; FELDBERG, E. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species. **Environmental Research**, v. 97, p. 287-292, 2005.

RASHED, M. N. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. **Environ Int**, v. 27, n.1, 27-33, 2001.

ROSENBERG, D. M.; WIENS, A. P. Community and species responses of Chironomidae (Diptera) to contamination of fresh Waters by crude oil and petroleum products, with special reference to the trail river, Northwest territories. **J. Fish. Res. Board Can**, v. 33, 1955-1963, 1976.

SAKURAGUI, M. M. *et al.* Integrated use of antioxidant enzymes and oxidative damage in two fish species to assess pollution in man made hydroelectric reservoirs. **Environmental Pollution**, v.178, P. 41-51, 2013.

SCHMID, W. The micronucleus test. **Mutation Research**, v. 31, p. 9-15, 1975.

SILVA, C. A. *et al.* Níveis dos Metais mercúrio, cádmio, chumbo, zinco, cobre, cromo, ferro e manganês e do metaloide arsênio em Músculo de Peixes do Baixo São Francisco. **Relatório da 2ª Expedição Científica do Rio São Francisco**, v. 1, p. 81 – 108, 2020.

SOARES, E. C. *et al.* Condicionamento alimentar no desempenho zootécnico do tucunaré. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, v. 2, n.3, p. 35-48, 2007.

SOLE, M. *et al.* Muscular cholinesterase activities and lipid peroxidation levels as biomarkers in several Mediterranean marine fish species and their relationship with ecological variables. **Environmental International**, v, 36. p, 202-211, 2011.

VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environ. Toxicol. Pharmacol.** v. 13, p. 57-149, 2003.

# EVALUATION OF THE ACOUSTIC LANDSCAPE IN THE REGION OF THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER

Alfredo Borie-Mojica

## SUMMARY

The soundscape of the Lower São Francisco river was evaluated using the passive acoustic method, with underwater recordings between ~ 17:00 and 06:00 h in seven locations between Piranhas and the river's mouth, where different types of biological (biophonic) and anthropogenic (anthrophonic) sounds were detected. The predominant sounds in these localities, except at the river mouth, were characteristic of sounds emitted by shrimps, which occurred mainly in the late afternoon and early morning. The mean values of high and low frequencies were  $8.4 \pm 0.8$  and  $3.7 \pm 0.3$  kHz, respectively, and the central frequency was  $5.5 \pm 0.09$  kHz. In addition to this type of sound, two other types of shrimp sounds were identified in the Piaçabuçu region and estuary with a frequency band between 1 and 15 kHz, reaching 40 kHz, and 0.5 and 10 kHz, respectively. In Piaçabuçu, the soundscape presented characteristics similar to estuarine ecosystems. Sporadically, it was possible to detect fish sounds with low frequencies (between 0.2 and 1.5 kHz), mainly in Piaçabuçu and the estuary. In Piranhas, a type of sound similar to that found in species of the genus *Prochilodus* was identified. Anthropogenic noises from different vessels with a wide frequency band (between 0.2 and 15 kHz) were also detected and could mask biological sounds. These results indicate that passive acoustics can be used as a tool for monitoring biological and anthropic activities and conditions in continental and estuarine waters.

## CAPÍTULO 12

# AVALIAÇÃO DA PAISAGEM ACÚSTICA NA REGIÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Alfredo Borie-Mojica<sup>64</sup>

### INTRODUÇÃO

Monitorar alterações dos ambientes e seus habitantes é uma necessidade crítica de gestão e um desafio tecnológico considerável. Em muitos habitats marinhos, o monitoramento a médio e longo prazos é uma tarefa desafiadora e, nesse sentido, a paisagem acústica pode ser um meio eficaz para avaliar a atividade biológica e antrópica em locais onde o monitoramento contínuo por métodos de pesquisa tradicionais é impraticável.

A paisagem acústica é o conjunto de sons de um determinado ambiente (FARINA *et al.*, 2011) e pode ser útil como um indicador confiável de tipo de habitat e, potencialmente, transmitir informação de qualidade do habitat (LILLIS *et al.*, 2014), sendo aplicada a qualquer ecossistema, fornecendo informações valiosas sobre sinais acústicos naturais que ocorrem em diversos ecossistemas (STAATERMAN *et al.*, 2013). Para estudar a paisagem acústica e os sons que a compõem, recentemente, vem sendo utilizado o método acústico passivo, que se baseia em ouvir os sons produzidos por organismos sonoros, possibilitando a utilização dos sons como verdadeiros marcadores naturais das espécies, uma vez que são espécie-específicos. A acústica passiva também provê benefícios importantes para a investigação científica, já que é uma ferramenta observacional não invasiva e não destrutiva, com uma capacidade de monitoramento remoto permanente ou de longa duração, e fornece importantes informações sobre padrões diários e sazonais (ROUNTREE *et al.*, 2006). Estudos utilizando a acústica passiva vêm permitindo avaliar a paisagem acústica subaquática em diversos ecossistemas, principalmente marinhos, como o de águas profundas (WALL *et al.*, 2014), costeiros temperadas (RADFORD *et al.*, 2008; 2010; BUTLER *et al.*, 2016) e tropicais, incluindo recifes de corais (BERTUCCI *et al.*, 2015; STAATERMAN *et al.*, 2013).

Diversos organismos aquáticos são capazes de emitir sons para a comunicação, associados a diferentes tipos de comportamentos (TYACK, 1998). O conjunto destes sons permite definir a paisagem acústica de vários ambientes, indicando o grau de diversidade de espécies e o estado de conservação do ambiente, além de ser útil para avaliar a distribuição dos organismos (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; FARINA; PIERETTI, 2012). Em ambientes marinhos, predominam os sons biológicos (biofônicos) produzidos por diversas espécies de mamíferos aquáticos (JANIK *et al.*, 2005), peixes (AMORIM *et al.*, 2006; KAATZ, 2010), crustáceos (BOON *et al.*, 2009), equinodermos (RADFORD *et al.*, 2008) e moluscos (LILIS *et al.*, 2016). Dentre eles, os sons dos peixes (mais de 800 espécies) estão chamando a atenção devido à sua relação com diversos comportamentos, como reprodução (cortejo e desova) e alimentação (TRICAS; BOYD, 2014; LADICH, 2014). Alguns peixes sonoros podem

<sup>64</sup> Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Unidade Acadêmica Penedo. E-mail: alfredo.mojica@penedo.ufal.br.

formar agregações e produzir grandes eventos, do tipo coros. Investigar o comportamento dos peixes é especialmente difícil, porque eles raramente podem ser vistos e contados. Neste caso, um dos maiores desafios para o estudo das populações de peixes é a capacidade de coletar dados sobre grandes escalas espaciais e temporais, sem se intrometer nas vidas destes animais.

O monitoramento acústico subaquático apresenta uma abordagem viável, não invasiva e amplamente inexplorada para monitorar ecossistemas de água doce, fornecendo informações sobre os três principais elementos ecológicos dos ambientes aquáticos – (1) peixes, (2) macroinvertebrados e (3) processos físico-químicos –, bem como fornece dados sobre os níveis de ruído antropogênico (LINKE *et al.*, 2018). A importância ecológica da paisagem acústica em água doce está apenas começando a ser reconhecida pela sociedade. Os cientistas estão começando a aplicar os métodos de Monitoramento Acústico Passivo (MAP), bem estabelecidos nos sistemas marinhos, aos sistemas de água doce, para mapear padrões espaciais e temporais de comportamentos associados aos sons biológicos, bem como os impactos do ruído sobre eles (ROUNTREE *et al.*, 2019). Sabe-se que, em águas continentais, peixes de importância comercial das famílias *Prochilodontidae*, *Curimatidae* e *Sciaenidae* emitem sons durante o período reprodutivo (BORIE *et al.*, 2014; 2019). Além dos peixes, crustáceos, principalmente o camarão, são um componente importante da paisagem acústica aquática.

O Baixo rio São Francisco vem enfrentando problemas ambientais, com fortes consequências sociais e econômicas (SOUZA; LEITÃO, 2000), causadas por diversos fatores, dentre eles: diminuição do seu volume e velocidade, contaminação e sobrepesca (MARTIN *et al.*, 2011; ZELHUBER *et al.*, 2016), afetando a biodiversidade de peixes (GOMES; BRITO, 2017; SOARES *et al.*, 2020) e crustáceos (MONTENEGRO *et al.*, 2001), a sua distribuição e a atividade pesqueira com a diminuição e até a extinção de algumas espécies comerciais.

No Brasil, pesquisas da passagem acústica utilizando a ferramenta acústica passiva em águas continentais são recentes e escassas. Assim, o objetivo deste trabalho pioneiro foi utilizar a acústica passiva para avaliar a paisagem acústica e a produção de sons biológicos e antrópicos na região do Baixo São Francisco.

Lacunas de conhecimento, incluindo ruído de fundo, variação espaço-temporal e a necessidade de repositórios de coleta de referência: esses desafios precisam ser superados antes que todo o potencial da acústica passiva na detecção dinâmica de processos biofísicos possa ser realizado e usado para informar profissionais e gestores da conservação.

## **Materiais e métodos**

Na II Expedição Científica do Baixo São Francisco, realizada entre os dias 18 e 26 de novembro de 2019, foram feitas gravações subaquáticas para avaliar a paisagem acústica nas localidades de Piranhas (9°37'37"S, 37°45'10"O), Pão de Açúcar (9°45'0"S, 37°26'55"O), Traipu (9°58'38"S, 36°59'51"O), Porto Real do Colégio (10°12'28"S, 36°49'33"O), Penedo (10°17'29"S, 36°35'20"O) e Piaçabuçu (10°24'27"S, 36°26'9"O), pertencentes ao Estado de Alagoas, incluindo gravação na foz do rio São Francisco (10°28'48"S, 36°24'22"O).

A paisagem acústica foi avaliada utilizando um gravador subaquático do modelo SoundTrap (ST) 300 (Ocean Instrument, New Zealand). O STD é destinado para uso geral de medições de ruído aquáticos, com uma gama de 20 Hz a 60 kHz, com frequência de amostragem 48 kHz, 16 bits. Este sistema permitiu avaliar os padrões sonoros biológicos e antrópicos sazonais e temporais, juntamente com as temperaturas que ocorrem nos locais



durante o período de estudo. O ST foi fixado a um cabo de polietileno e ancorado a uma poita de cimento e foram utilizadas boias para a armação do equipamento no fundo.

O tipo de substrato de fundo em Piranhas e Pão de Açúcar: fundo de pedra; Traipu: fundo de areia (2m), com macrófitas fanerógamas. Em Penedo, foi instalado em fundo de areia próximo à ilha em frente à rampa da balsa e em Piaçabuçu, próximo ao porto. Na foz do rio São Francisco, foi realizada uma deriva por 25 minutos na embarcação com motor desligado. As gravações ocorreram em áreas de com profundidades de 1 a 6 metros e foram realizadas do final da tarde até o início da manhã do dia seguinte (entre as 17h00 e 06h30), devido à maior ocorrência de sinais acústicos nesse horário.

Após o recolhimento do hidrofone (ST) em cada ponto, os dados foram descarregados em um computador portátil, onde foi feita uma avaliação utilizando o programa de áudio Audacity® (www.audacityteam.org), e foi determinado o tempo inicial e final de cada evento sonoro passível de ser ouvido, assim como a alta e baixa frequências e a frequência central (frequência de maior energia).

O programa Raven Pro 1.6 (Cornell Lab) foi utilizado para avaliar os tipos de sons detectados onde foram efetuados cortes de diferentes comprimentos (duração) nas gravações para serem gerados oscilogramas, espectrogramas e espectros de potência.

## Resultados e discussão

Durante a II Expedição Científica na Região do Baixo São Francisco, realizada no mês de novembro de 2019, foram detectados diferentes tipos de sons que fizeram parte da paisagem acústica da região, principalmente característicos de camarões em todos os locais de coleta, entre o município de Piranhas e a foz, localizada no município de Piaçabuçu. Nas localidades do Baixo São Francisco, os valores médios das altas e baixas frequências foram de  $8.432 \text{ Hz} \pm 809 \text{ Hz}$  e  $3.706 \text{ Hz} \pm 372 \text{ Hz}$ , respectivamente, e frequência central de  $5.569 \pm 95 \text{ Hz}$  (Figura 66). Além deste tipo de som, na região de Piaçabuçu e na foz, foram identificados outros dois tipos de sons de camarões, com banda de frequência entre 1 Hz a 15 kHz, podendo chegar a 40 kHz e 0,5 Hz e 10 kHz, respectivamente (Figura 67). No início da gravação, nessas localidades, também foi possível detectar sons característicos de peixes com pico de frequência de  $\sim 500 \text{ Hz}$  e  $1700 \text{ Hz}$  (Figuras 68 e 69).

Em água doce, os sons biológicos utilizaram frequências que variavam de 3 kHz a cerca de 14 kHz (GILES *et al.*, 2005), de camarões do gênero *Alpheus*, que produz sons de estalos com uma ampla faixa de frequências entre  $\sim 1$  e 15 kHz (SCHMITZ, 2002; COQUEREAU *et al.*, 2016). O estalo do camarão da família *Alpheidae* produz o principal componente acústico, com frequências acima de 2 kHz e com intensidades mais altas no início e no final da noite no ambiente marinho (LAMMERS; MUNGER, 2016). Esse tipo de comportamento parece ocorrer também em camarões de água doce no Baixo rio São Francisco. Em mergulhos livres feitos em áreas de pedras na região de Pão de Açúcar, foram observadas as espécies de camarão-pitu (*Macrobrachium carcinus*) e sapateria (*Macrobrachium Olfersii*). Resultados preliminares mostram a produção de sons do camarão-canela (*Macrobrachium acanthurus*) durante atividade alimentar em condições controladas, com características acústicas similares às encontradas no ambiente natural (BORIE *et al.*, NO PRELO).

O camarão-canela é um animal encontrado na bacia do rio São Francisco, com relevante interesse comercial, devido ao porte e à boa aceitação no mercado (NEW, 1995). Segundo Coelho e Lima (2003), a *M. acanthurus* é uma das espécies mais abundantes no rio

São Francisco, mas sua exploração ainda se baseia na pesca artesanal, praticada por ribeirinhos e servindo para fins de subsistência dessas comunidades. Seleções de 2,1 segundos das horas de maior energia acústica dos sons característicos de camarão detectados entre Piranhas e Piaçabuçu mostram um perfil espectral similar, sendo o som produzido muito provavelmente pela mesma espécie, como maior energia acústica na região de Porto Real do Colégio. Em Piaçabuçu, foi observada uma sobreposição de som, sendo também identificados estalos de camarões (Figura 72).

Nesse sentido, a paisagem acústica, em diversos ecossistemas acústicos, torna-se mais complexa no período noturno (RUPPÉ *et al.*, 2015; VAN OOSTEROM *et al.*, 2016; RICE *et al.*, 2017). A produção de sons dos camarões ocorre principalmente à noite e também revela picos crepusculares (SCHMITZ, 2002). Na região do Baixo São Francisco, os sons foram emitidos principalmente durante o início da noite (18h00) e o início do amanhecer (05h30), com duração média (tempo total) de 10 horas e 40 minutos, exceto na localidade de Piaçabuçu, sendo detectado apenas no início da manhã. Em Traipu, os sons não foram contínuos durante a noite, ocorrendo apenas no início da tarde e pela manhã (Tabela 38). Camarões apresentam hábitos crípticos, com intensa atividade ao entardecer e no início da noite, permanecendo, durante o dia, em abrigos formados por pedras, buracos ou entre as vegetações submersas (MOSSOLIN; BUENO, 2003). Pescadores indicam que o horário de maiores capturas do camarão-pitu (*Machrobraquium carcinus*) e do camarão-canela (*Macrobrachium acanthurus*) ocorre durante o início e o final da noite.

Piaçabuçu, localizada a 10 km da foz do rio São Francisco, apresentou uma paisagem acústica composta por sons biológicos característicos de ecossistemas estuarinos, similares aos encontrados no estuário do rio Maracápe-PE (BORIE *et al.*, NO PRELO). Isso provavelmente ocorre devido à introdução da cunha salina marina, já que, ao longo dos anos, houve uma redução relevante da vazão do rio, que vem mudando o ambiente e a biodiversidade aquática da região. Durante o final de tarde, na foz, foi possível detectar uma cacofonia similar à encontrada em Piaçabuçu, apresentando maior densidade sonora e energia acústica.

Foi possível avaliar a ocorrência de sons provavelmente produzidos por peixes, pelas características acústicas. Na região de Piranhas, foi possível identificar um tipo de som similar aos sons (chamados) relacionados com comportamentos reprodutivos encontrados em peixes do gênero *Prochilodus*, de importância comercial (BORIE *et al.*, 2019; SMITH *et al.*, 2018; GODINHO *et al.*, 2017), com banda de frequência entre 200 Hz e 500 Hz e vários pulsos com variação de energia, sendo o primeiro emitido com baixa energia antes do chamado principal (Figura 73). Segundo Barbosa e Soares (2009), na bacia do São Francisco existem cinco espécies do gênero *Prochilodus*, sendo duas introduzidas (*P. brevis* e *P. lineatus*), duas endêmicas (*P. argenteus* e *P. costatus*) e uma nativa (*P. vimboides*). Destas, *P. argenteus* é considerada de grande valor, por constituir-se como item alimentar e fonte de renda de comunidades de pescadores do Baixo São Francisco, ainda sendo possível ser encontrada nas feiras, principalmente na região de Piranhas e de Pão de Açúcar.

Ambientes estuarinos apresentaram níveis de pressão sonora significativamente mais altos na faixa de frequência de 2-23 kHz e diferenças espectrais entre habitats. Pesquisas de propagação sonora passivas descobriram que as características acústicas distintas na faixa de frequência de 2-23 kHz, com níveis de fonte efetivos de 108,8 a 120,0 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m. Estudos de caracterização da paisagem sonora sugerem que a heterogeneidade espacial no som ambiente pode servir como um indicador confiável do tipo de habitat e, potencialmente,

transmitir informações sobre a qualidade do habitat a organismos dispersantes (LILLIS *et al.*, 2014).

Foram detectados, com maiores ocorrências, sons antropogênicos de embarcações na região de Penedo, principalmente da balsa (Figura 68) que faz a travessia Penedo-AL/ Neópolis-SE, caracterizada por picos de alta frequência e intervalos de tempos similares. Também foram detectados sons de pequenas embarcações pesqueiras, do tipo canoa motorizada, e de turismo que utilizam motor de popa, no caso de Piranhas, com frequências entre 0,2 kHz e 15 kHz (Figura 74). Esses sons ocorreram, principalmente, no início da manhã, sobrepondo os sons emitidos pelos crustáceos, em uma sobreposição das embarcações pesqueiras durante os horários de maior energia acústica. Assim, pode ocorrer um declínio significativo na biodiversidade e na biofonia, com o aumento dos níveis de som ambiente dos ecossistemas de água doce, juntamente com uma aparente alta exposição temporal ao ruído antropogênico em todos os habitats (ROUNTREE *et al.*, 2019).

Assim como foi possível encontrar uma diversa cacofonia de sons biológicos e antrópicos no Baixo rio São Francisco, isso parece ser um componente importante em sistemas de água doce em diversas regiões; habitats de água doce, em regiões temperadas, contêm uma grande variedade de espécies biológicas não identificadas. Sons de peixes constituem um importante elemento não reconhecido anteriormente como componente da paisagem sonora de água doce, ocorrendo em mais locais (39%). Ruídos antropogênicos dominam a paisagem sonora, representando 92% da paisagem sonora em porcentagem relativa de tempo. O alto potencial de impactos negativos desses ruídos nas paisagens sonoras de água doce é sugerido pela sobreposição espectral e temporal com a biofonia, quanto maiores níveis de ruídos em relação à biofonia com observações de um declínio significativo em ocorrência, número, porcentagem de tempo e diversidade da biofonia entre locais com níveis ambientais mais altos (ROUNTREE *et al.*, 2019).

Estudos em riachos indicam uma paisagem sonora única, com a maioria exibindo variação diurna nos padrões acústicos. Nesses locais, foram identificados cinco grupos distintos com características acústicas semelhantes. A maior diferença nas paisagens sonoras do fluxo foi observada durante o dia, com variação significativa nas paisagens sonoras, tanto entre as horas como entre os locais (DECKER *et al.*, 2020).

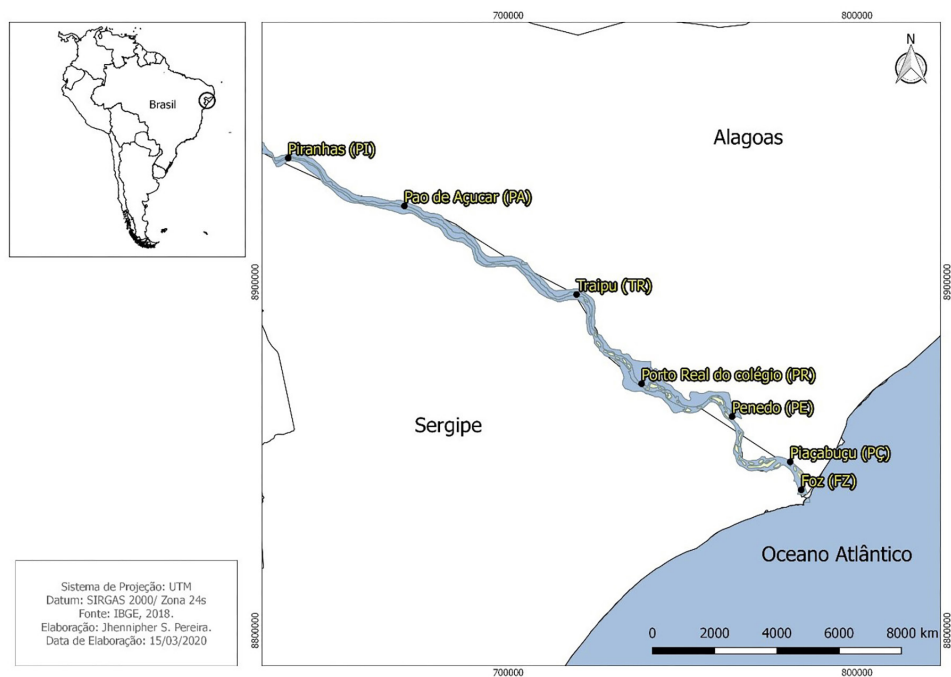
As paisagens sonoras estuarinas são acusticamente ricas e os padrões sonoros desses sistemas são pouco estudados. Os dados acústicos revelaram que os níveis de pressão sonora (banda larga, baixa e alta frequência) variavam espacial e temporalmente, exibindo padrões rítmicos distintos. As taxas de detecção acústica e a diversidade de sons biofônicos (por exemplo, camarão, peixe e golfinho) e sons antropônicos (por exemplo, barulho de barco) foram maiores perto da foz do rio e diminuíram em direção às cabeceiras. A paisagem sonora exibia fortes padrões temporais de estalos de camarão (gêneros *Alpheus* e *Synalpheus*), cantos e cantos de peixes, vocalizações de golfinhos e ruído de embarcação. Dependendo da espécie, determinadas variáveis (ou seja, localização, mês, duração do dia, fase lunar, dia/noite, maré e anomalia de temperatura) influenciaram a produção sonora (MONCZAK *et al.*, 2019).

A análise da energia acústica revelou um forte ritmo circadiano em uma lagoa costeira do sul do Brasil e uma diferenciação espacial impulsionada pela baixa frequência (< 100 Hz). O componente biofônico da paisagem sonora foi dominado por peixes e crustáceos com maior atividade na foz da lagoa durante novembro. Esta área também foi a mais afetada pelo ruído humano (CERAULO *et al.*, 2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

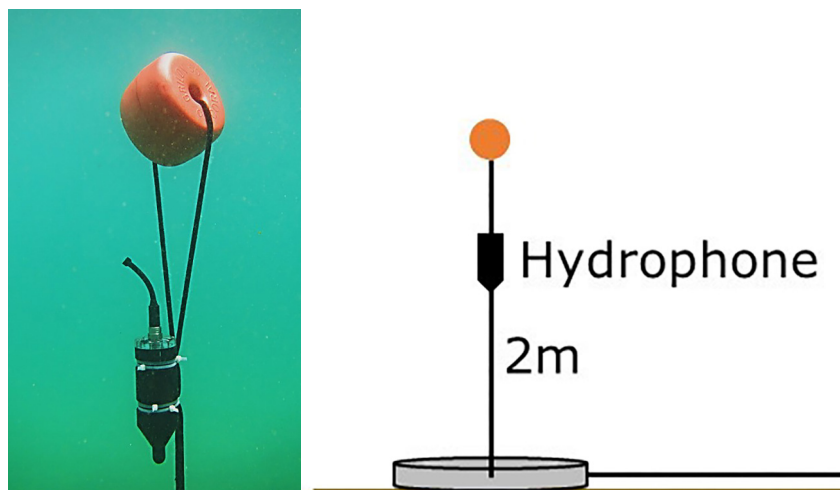
A paisagem acústica no Baixo São Francisco foi composta, principalmente, por sons característicos de crustáceos bentônicos de pelos menos três espécies diferentes, além de sons esporádicos de peixes e ruídos antropônicos emitidos por diferentes tipos de embarcações. Na área de Piaçabuçu, a cacofonia teve similaridade com ambientes estuarinos, sendo detectadas uma maior complexidade sonora e uma paisagem acústica contendo diversas fontes biológicas. Apesar do pouco conhecimento que se tem sobre componentes biológicos de paisagens acústicas de água doce em regiões tropicais, esforços sistemáticos para identificar e catalogar sons de peixes e invertebrados são criticamente necessários para promover o Monitoramento Acústico Passivo (MAP), para suas aplicações de conservação, manejo de ecossistemas e pesca. O método acústico passivo mostrou-se bastante eficiente para avaliar a paisagem acústica na região do Baixo São Francisco, podendo ser utilizado como uma ferramenta complementar para o monitoramento de atividades biológicas e antrópicas, e também para avaliar o tipo e a qualidade do ambiente.

Figura 66 - Locais de gravação acústica subaquática na região do Baixo São Francisco.



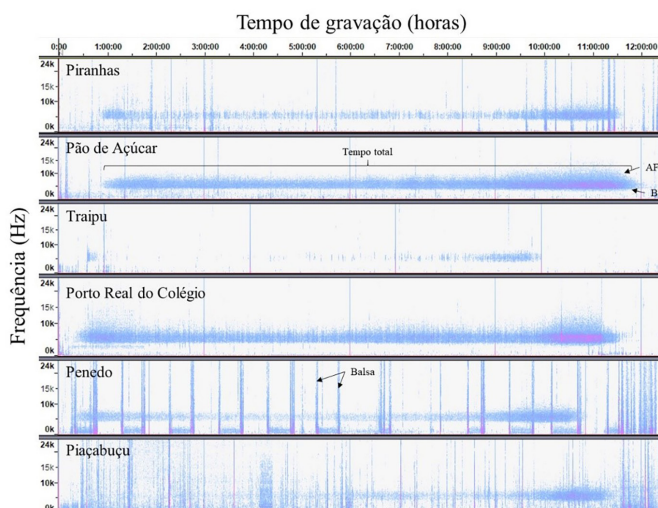
Fonte: Jhennifer S. Pereira, 2020

Figura 67 - Sistema de gravação, hidrofone SoundTrap 300, boia e ancoragem.



Fonte: Foto e desenho de Alfredo Borie-Mojica (2020).

Figura 68 - Espectrogramas da paisagem acústica em localidades do Baixo rio São Francisco (de Piranhas à foz). AF, Alta Frequência (Hz); BF, Baixa Frequência (Hz).



Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

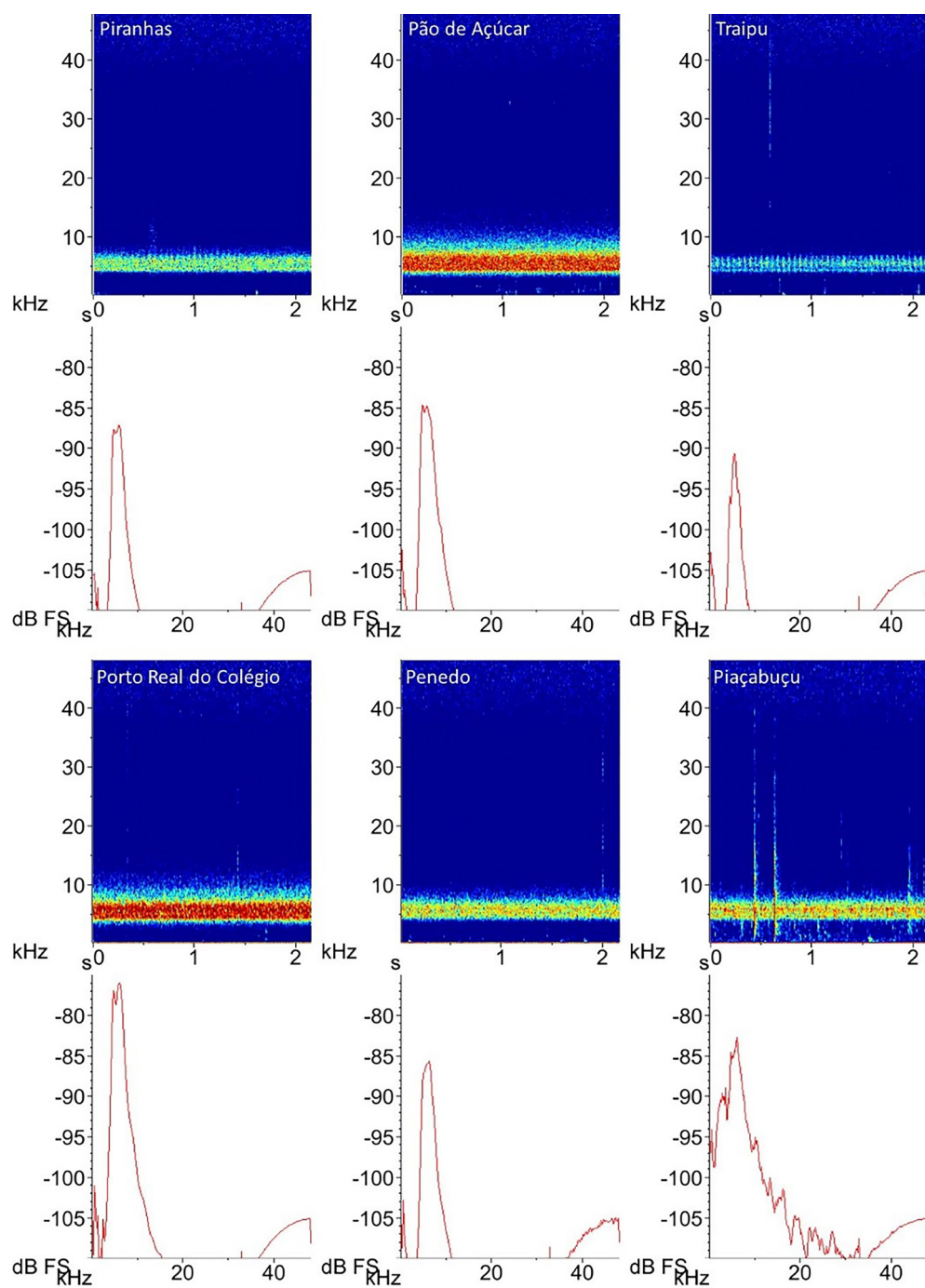
Tabela 38 - Horário de detecção (hh:mm) e frequências (Hz) dos sons de estalos característicos de invertebrados bentônicos nas diferentes localidades, exceto Traipu e foz.

Localidades	Hora início	Hora fim	Tempo total	Alta Frequência (Hz)	Baixa Frequência (Hz)	Frequência Central (Hz)
Piranhas	18:06	06:19	10:43	7634	4060	5568
Pão de Açúcar	17:52	05:47	10:57	9335	3157	5429
Porto Real do Colégio	17:45	05:19	11:08	9277	3495	5694
Penedo	18:15	05:36	09:51	7951	3939	5596
Piaçabuçu	03:09	04:39	01:30	7965	3877	5557

Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

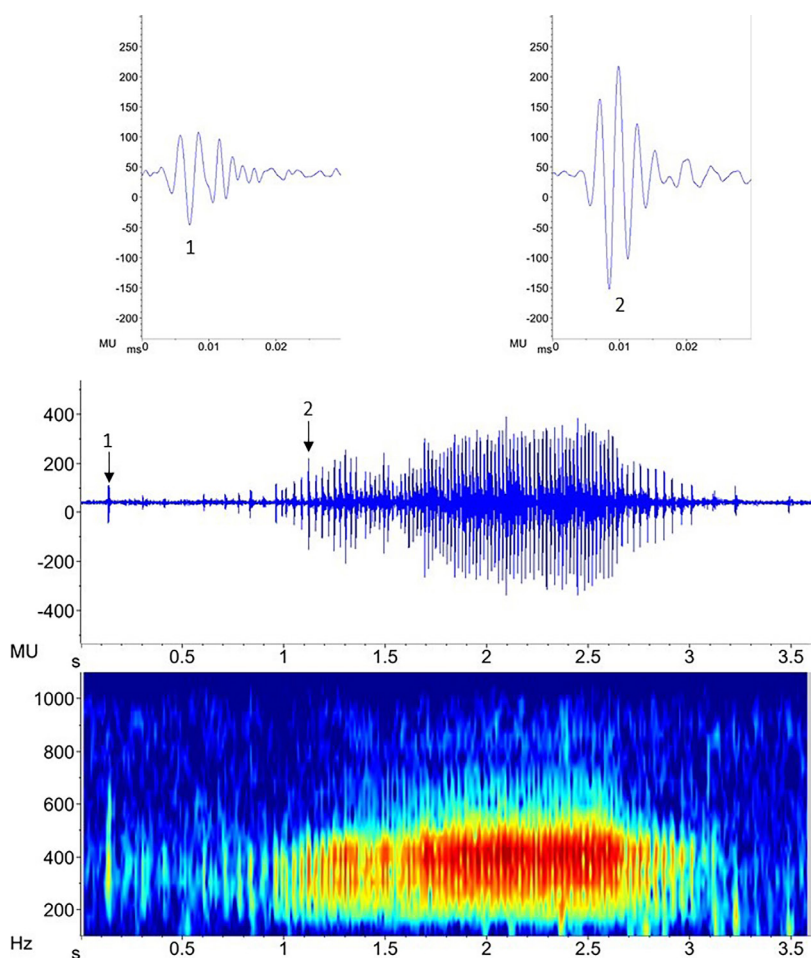


Figura 69 - Espectrogramas e espectros de potência de 2,1 segundos de sons característicos de camarões nas diferentes localidades.



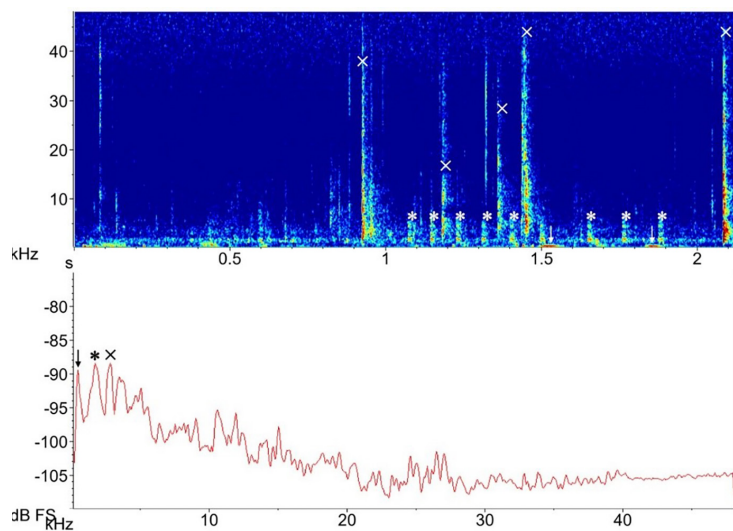
Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

Figura 70 - Pulsos acústicos, oscilograma e espectrograma, respectivamente, de um tipo de som característico de peixes.



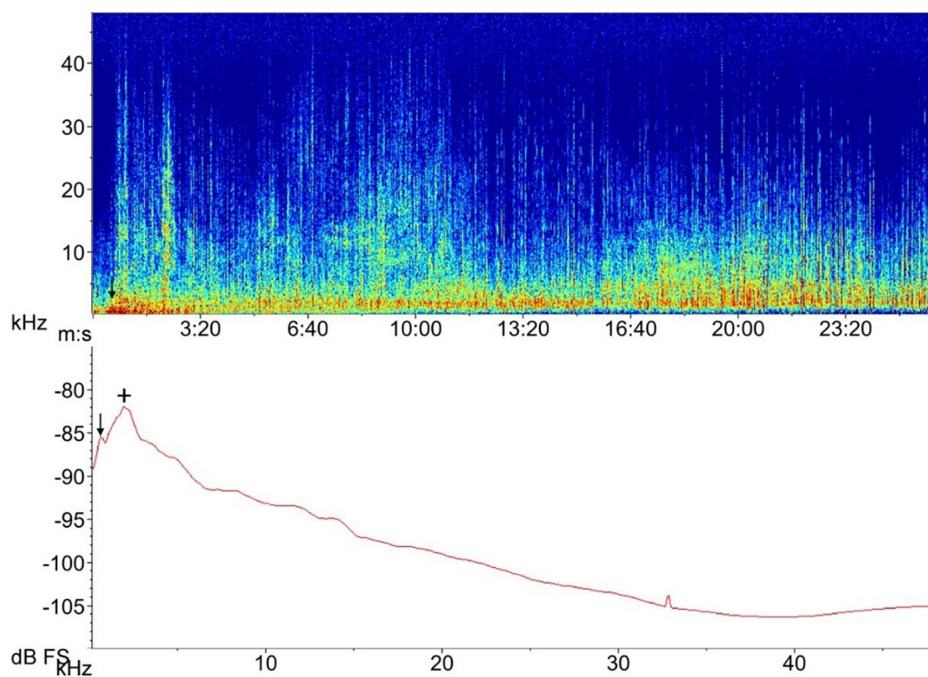
Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

Figura 71 - Espectrograma e espectro de potência da região de Piaçabuçu (x) cliques de camarão e sons característicos de peixes (\* e seta).



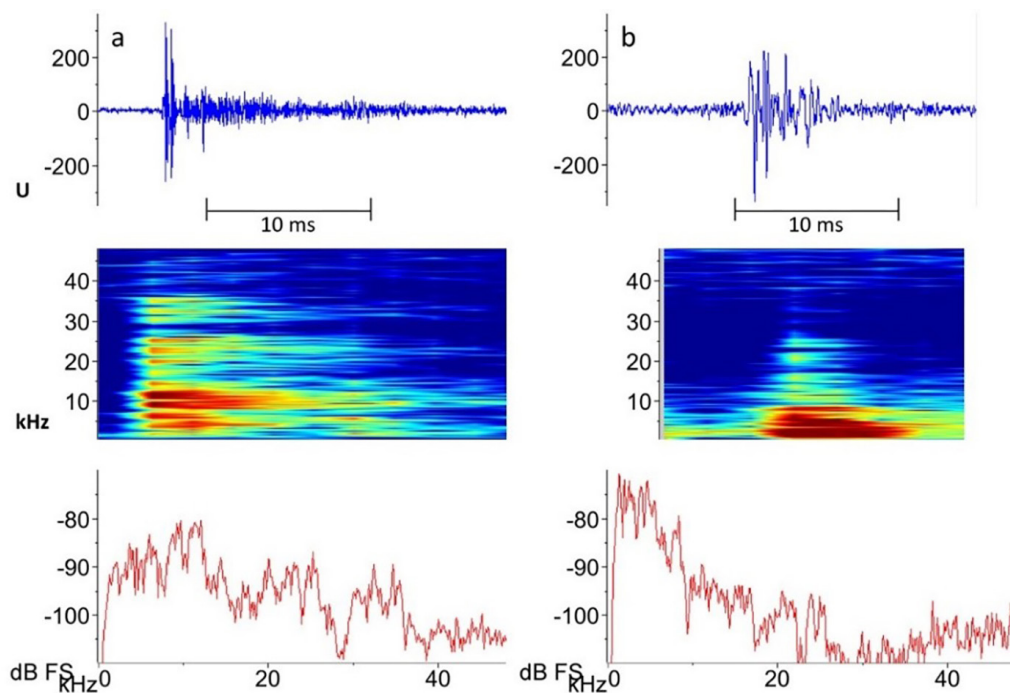
Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

Figura 72 - Espectrograma e espectro de potência da região da foz. A seta indica a ocorrência de sons emitidos por peixes e (+) estalos de camarões.



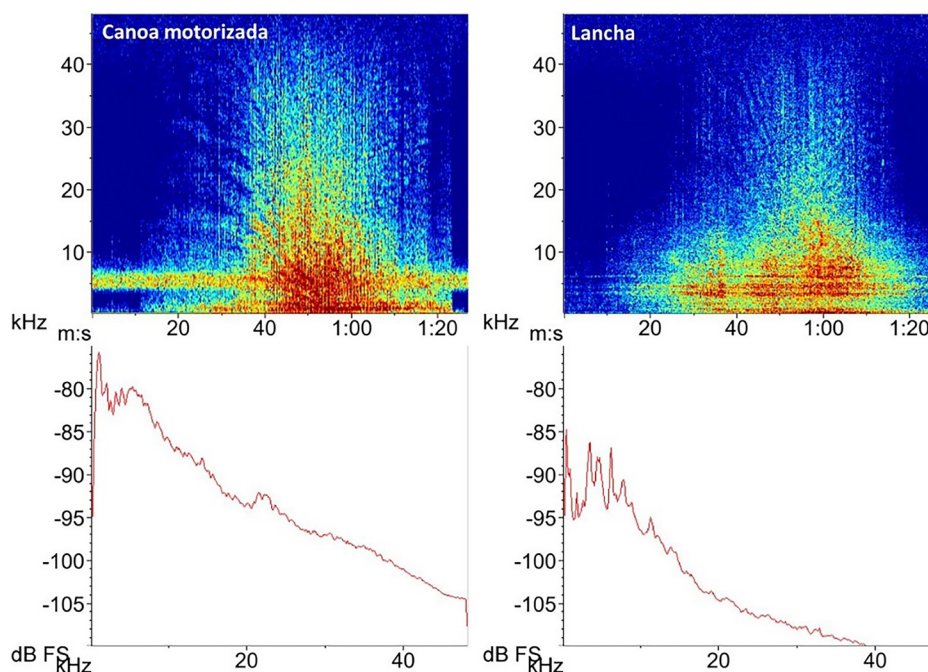
Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

Figura 73 - Oscilograma, espectrograma e espectro de potência, respectivamente, de dois tipos de sons de camarão detectados na região de a. Piaçabuçu e b. Foz do rio São Francisco.



Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

Figura 74 - Espectrograma e espectro de potência de embarcações detectadas na região de Piranhas.



Fonte: Alfredo Borie-Mojica (2020).

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. M.; SOARES, E. C. Perfil da ictiofauna da bacia do São Francisco: estudo preliminar. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, 4, n.1, 155-172, 2009

BERTUCCI, F. *et al.* Temporal and spatial comparisons of underwater sound signatures of different reef habitats in Moorea Island, French Polynesia. **PloS one**, v.10, p.e0135733, 2015

BOON, P.; YEO, D.; TODD, P. Sound production and reception in mangrove crabs *Perisesarma* spp. (Brachyura: Sesarmidae). **Aquatic Biology**, v.5, p.107-116, 2009.

BORIE, A. *et al.* Disturbance calls of five migratory Characiformes species and advertisement choruses in Amazon spawning sites. **Journal of Fish Biology**, v. 95, n. 3, 820-832, 2019.

CERAULO, M. *et al.* Spatial and temporal variability of the soundscape in a Southwestern Atlantic coastal lagoon. **Hydrobiologia**, p. 1-23, 2020.

COELHO, P.A.; LIMA, I.A. Cultivo do camarão-pitu, *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus, 1758) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae), em viveiros comerciais. **Boletim Técnico-Científico do CEPENE**, v. 11, n. 1, p. 233-244, 2003.

COQUEREAU, L. *et al.* Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. **Marine Biology**, v.163, p.1-13, 2016.

DECKER, E. Singing streams: Describing freshwater soundscapes with the help of acoustic indices. **Ecology and Evolution**, v. 10, n. 11, p. 4979-4989, 2020.



GILES, J.C. *et al.* The ambient sound field in three freshwater environments. In: Annual Conference of the Australian Acoustical Society: Acoustics in a Changing Environment, **Acoustics**, 9 - 11, pp. 315-321, November 2005.

GODINHO, A. L.; SILVA, C. C. F.; KYNARD, B. Spawning calls by zulega, *Prochilodus argenteus*, a Brazilian riverine fish. **Environmental biology of fishes**, v. 100, n.5, p. 519-53, 2017.

GOMES, M. V. T.; BRITO, M. F. G. D. A percepção dos pescadores e a educação ambiental como subsídios para a conservação do Baixo São Francisco. **Ecologias Humanas: revista da Sociedade Brasileira de Ecologia Humana**, v.3, n.3, p.98 a 119, 2017.

LAMMERS, M. O.; MUNGER, L. M. From Shrimp to Whales: Biological Applications of Passive Acoustic Monitoring on a Remote Pacific Coral Reef. In: AU, W.; LAMMERS, M. Listening in the Ocean. **Modern Acoustics and Signal Processing**, p.61-81, Springer 2016

LILLIS, A. *et al.* Sound production patterns of big-clawed snapping shrimp (*Alpheus spp.*) are influenced by time-of-day and social context. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 142, n.5, p. 3311-3320.4, 2017.

LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B.; BOHNENSTIEHL, D. R. Estuarine soundscapes: distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. **Marine Ecology Progress Series**, v. 505, p. 1-17, 2014

LINKE, S. *et al.* Freshwater ecoacoustics as a tool for continuous ecosystem monitoring. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 16, n.4, p. 231-238, 2018.

MARTINS, D. D. M. *et al.* Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.10, 1054-1061, 2011.

MONCZAK, A. *et al.* Sound patterns of snapping shrimp, fish, and dolphins in an estuarine soundscape of the southeastern USA. **Marine Ecology Progress Series**, v. 609, p. 49-68, 2019.

MONTENEGRO, S. C. S.; NORDI, N.; MARQUES, J. G. W. Contexto cultural, ecológico e econômico da produção e ocupação dos espaços de pesca pelos pescadores de pitu (*Macrobrachium carcinus*) em um trecho do Baixo São Francisco, Alagoas-Brasil. **Interiencia**, v. 26, n.1), 535-540, 2001.

MOSSOLIN, E. C.; BUENO, S. L. Relative Growth of the second pereopod in *Macrobrachium olfersi* (Wiegmann, 1836), (Decapoda, Palaemonidae). **Crustaceana**, v. 76 p. 363-376, 2003.

NEW, M. B. Status of freshwater farming a review. **Aquaculture Research**, v. 26, n.1, p. 1-54, 1995.

RADFORD, C. *et al.* Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. **Marine Ecology Progress Series**, v.401, p.21-29, 2010.

RADFORD, C. *et al.* Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, v.362, p.37-43, 2008

RICE, A. N.; SOLDEVILLA, M. S.; QUINLAN, J. A. Nocturnal patterns in fish chorusing off the coasts of Georgia and eastern Florida. **Bulletin of Marine Science**, v. 93, n.2, p. 455-474, 2017.



ROUNTREE, R. A. *et al.* Listening to fish: applications of passive acoustics to fisheries science. **Fisheries**, v.31, p.433-446, 2006.

ROUNTREE, R. A.; BOLGAN, M.; JUANES, F. How can we understand freshwater soundscapes without fish sound descriptions? **Fisheries**, v. 44, n.3, p. 137-143, 2019.

ROUNTREE, R. A.; JUANES, F., BOLGAN, M. Freshwater soundscapes: a cacophony of undescribed biological sounds now threatened by anthropogenic noise. **bioRxiv**, 740183, 2019.

RUPPÉ, L. *et al.* Environmental constraints drive the partitioning of the soundscape in fishes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n.19, p. 6092-6097, 2015.

SCHMITZ, B. Sound production in Crustacea with special reference to the Alpheidae. In: WIESE, K. (Org.). **The crustacean nervous system**. Berlin: Springer, 2002.

SMITH, M. E. *et al.* Mating calls of three prochilodontid fish species from Brazil. **Environmental biology of fishes**, v. 101, n.2, p. 327-339, 2018.

SOARES, E. C. *et al.* Expedition on the Lower São Francisco: An X-ray of fisheries and agriculture, pollution, silting and saline intrusion. Expedição no Baixo São Francisco: um raio-X da pesca e agricultura, poluição, assoreamento e intrusão salina. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.1, p. 3047-3064, 2020.

SOUZA, M. R. M.; LEITÃO, S. N. Consequências socioeconômicas dos impactos antrópicos no estuário do rio São Francisco em Brejo Grande, Sergipe-Brasil. **Trab. Oceanog. Univ. Fed. PE**, v. 28, n.1, p. 97- 116, 2000.

STAATERMAN, E. *et al.* Soundscapes from a Tropical Eastern Pacific reef and a Caribbean Sea reef. **Coral Reefs**, v.32, p.553-557, 2013.

VAN OOSTEROM, L. *et al.* Evidence for contact calls in fish: conspecific vocalisations and ambient soundscape influence group cohesion in a nocturnal species. **Scientific reports**, v.6, p. 190-98, 2016.

WALL, C. *et al.* Temporal and spatial mapping of red grouper *Epinephelus morio* sound production. **Journal of fish biology**, v.85, p.1470-1488, 2014.

ZELHUBER, A.; SIQUEIRA, R. Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização. Cadernos do CEAS: **Revista crítica de humanidades**, v. 227, p. 3-24, 2016.

# CURRENT SITUATION OF FISHERIES IN THE LOWER SAN FRANCISCO: A PROSPECTIVE ANALYSIS

Vanildo Souza de Oliveira

Igor da Mata-Oliveira

## SUMMARY

The study's objective was to analyze the environmental and fishing situation of the Lower São Francisco region. The identification of environmental impacts, both natural and anthropic, on the river was made from photographic records and observations during navigation along the region. Subsequently, the sources of alterations identified in the river were analyzed regarding their possible impacts on fishing. A fishing survey using gillnets was performed to determine catch composition and identify possible changes. Environmental impacts damaging to fishing were identified: dumping of untreated sewage, high proliferation of macrophytes, silting, water extraction from the river, use of pesticides, and activities such as irrigation, livestock, and aquaculture. Without control or supervision, these activities lead to the loss of fishing areas, impair river flow, and the capacity to support the environment and fishing resources. Fishing hauls were carried out in traditional spots, from Piranhas to the river mouth. Pirambeba (*Serrasalmus brandtii*), pacu (*Metynnis maculatus*), piau (*Anostomidae*), and tucunaré (*Cichla monoculus*) were the most abundant species. Pirambeba occurred mostly in the highest stretch, between Piranhas and Pão de Açúcar; however, the species does not have a great commercial value. The capture of the pacu occurred between Pão de Açúcar and Penedo, with the highest peak in Propriá. The species also has no great economic value but is appreciated by the local population. Piaus remain an essential fishing resource in the region, with good acceptance and commercial value. Its abundance was more significant in the cities closest to the Xingó dam in Piranhas, declining sharply towards the estuary. The presence of exotic species, especially of tucunaré, has been highlighted and needs a follow-up. The need to monitor and manage the river, fishing, other activities, and impacts on its banks is notorious for monitoring and evaluating possible ecological and fisheries changes.

## CAPÍTULO 13

# SITUAÇÃO ATUAL DA PESCA NO BAIXO SÃO FRANCISCO: UMA ANÁLISE PROSPECTIVA

Vanildo Souza de Oliveira<sup>65</sup>

Igor da Mata-Oliveira<sup>66</sup>

### INTRODUÇÃO

O processo de ocupação e de crescimento das cidades e das atividades econômicas da região do Baixo São Francisco tem exercido uma pressão que, sem planejamento, infraestrutura e gestão, dá sinais graves de comprometimento da condição do rio e de seus recursos. Atualmente, estima-se que cerca de 450.000 pessoas habitam os 22 municípios ribeirinhos do Baixo São Francisco (NASCIMENTO, 2013). Rezende e Oliveira (2015) estimaram entre 16.500 e 19.000 pescadores no BSF, representando cerca de 4% da população total.

A pesca artesanal nas suas águas, considerada fonte de alimento e sustento para as populações locais, tem sofrido intenso declínio nas últimas décadas. Apesar da ausência de estatística pesqueira consistente, a pesca no rio São Francisco mostra sinais evidentes de queda (GODINHO; GODINHO, 2003). Se, antes, a bacia do São Francisco era uma importante fonte de pescado para o Nordeste e outras regiões do Brasil, hoje, amarga um grave processo de extinção de parte significativa de sua ictiofauna, como o surubim e o pirá.

Várias e múltiplas são as pressões econômicas, ecológicas e culturais a que esta atividade está submetida, o que tem afetado enormemente a sua manutenção (ANA, 2007). O Baixo São Francisco vem sofrendo com a interrupção das variações naturais do nível d'água e do comportamento migratório dos peixes, promovidas por hidroelétricas que criaram barreiras e alteraram o sistema hídrico do rio, influenciando na "piracema" (SATO; GODINHO, 2003). A pesca está em franca decadência por várias razões: a poluição oriunda dos esgotos domésticos e de atividades agrícolas; o desmatamento, com conseqüente assoreamento; os barramentos e a incompatibilidade entre a operação das barragens e as necessidades ecológicas, entre outras. Ações antrópicas de cunho não sustentável prejudicam e alteram, de forma negativa, os territórios de trabalho dos pescadores artesanais (LIMA, 2020). Além disso, a falta de gestão contribui com um contínuo e acelerado processo de degradação ambiental.

No entanto, para que qualquer ação de gestão possa ser implementada, faz-se necessário, inicialmente, avaliar a situação atual, bem como os possíveis impactos ambientais com prejuízos à atividade. Nesse sentido, a II Expedição Científica no Baixo São Francisco teve o objetivo de realizar uma prospecção ecológica e pesqueira pela região, que permitisse identificar os possíveis impactos, analisar a situação atual e, diante disso, propor algumas ações necessárias à manutenção da tradicional atividade pesqueira na região.

<sup>65</sup> Laboratório de Pesca Sustentável (Lapesu), Departamento de Pesca e Aquicultura (Depaq), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>66</sup> Laboratório de Investigação e Manejo da Pesca (Imap), Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Unidade Penedo.

## PROSPECÇÃO E OBTENÇÃO DE DADOS

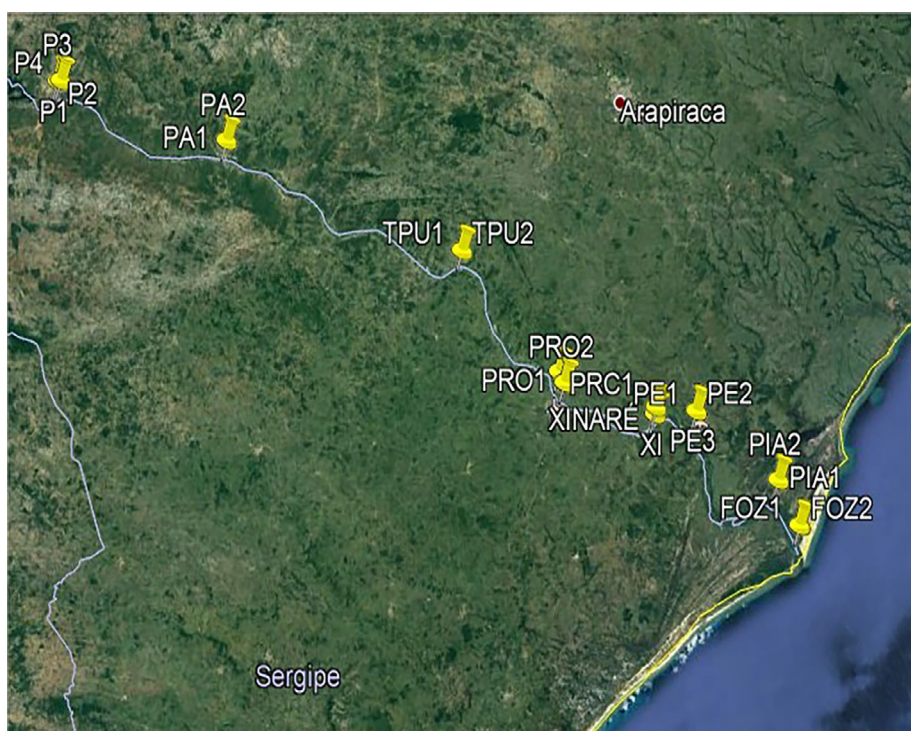
As informações do presente trabalho foram obtidas entre os dias 18 e 27 de novembro de 2019, durante a II Expedição Científica do Baixo São Francisco. Na oportunidade, foram realizadas prospecção ambiental e pesqueira.

A embarcação da Expedição fez o percurso inicial, da cidade de Penedo até a cidade de Piranhas, retornando para a foz do rio realizando coletas nas seguintes cidades: Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Propriá, povoado de Chinaré, em Igreja Nova, Penedo, Piaçabuçu e na foz.

Impactos ambientais, tanto naturais quanto antrópicos, sobre rio foram feitos a partir de observações e registros fotográficos durante as viagens de deslocamento entre municípios. Em seguida, as fontes de alterações no rio foram analisadas, relacionando com seus possíveis impactos sobre a pesca.

Também foi realizada uma prospecção pesqueira em cada local de parada, procedendo-se com amostragens da ictiofauna capturada com redes de emalhar, para análise das espécies capturadas e suas abundâncias, através de coletas dos exemplares. As atividades de prospecção pesqueira ocorreram nos pontos conforme indicados na Figura 75 e na Tabela 39.

Figura 75 - Localização dos pontos de coletas no Baixo São Francisco. Fonte: Google Earth 2020.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

Tabela 39 - Localização dos pontos de coleta em cada cidade.

Cidades e Povoados	Pontos coletados	Latitude (S)	Longitude (W)
Piranhas	P1	09° 37' 39,64"	037° 45' 24,15"
Piranhas	P2	09° 37' 41,04"	037° 45' 26,87"
Piranhas	P3	09° 37' 37,94"	037° 45' 01,33"
Piranhas	P4	09° 37' 37,77"	037° 45' 00,32"
Pão de Açúcar	PA1	09° 45' 27,77"	037° 26' 28,58"
Pão de Açúcar	PA2	09° 45' 30,26"	037° 26' 25,56"
Traipu	TP1	09° 58' 51,46"	037° 00' 30,23"
Traipu	TP2	09° 58' 50,84"	037° 00' 25,22"
Porto Real do Colégio	TPC1	10° 11' 21,06"	036° 50' 30,35"
Propriá	PRO1	10° 12' 26,71"	036° 50' 01,94"
Propriá	PRO2	10° 12' 26,89"	036° 49' 59,47"
Chinaré	XI	10° 26' 30,39"	036° 39' 53,54"
Penedo	PE1	10° 16' 45,54"	036° 35' 05,41"
Penedo	PE2	10° 16' 44,26"	036° 35' 06,18"
Penedo	PE3	10° 16' 41,51"	036° 35' 07,46"
Piaçabuçu	PI1	10° 24' 12,20"	036° 26' 19,08"
Piaçabuçu	PI2	10° 24' 10,85"	036° 26' 18,99"
Foz (Piaçabuçu)	FOZ1	10° 28' 40,68"	036° 24' 22,46"
Foz (Piaçabuçu)	FOZ2	10° 28' 43,39"	036° 24' 17,77"

Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

As redes foram colocadas em três sistemas, de acordo com o tempo de permanência em cada cidade: de 14 às 18h, de 18 às 5h da manhã e na foz, em função da força da corrente, a rede foi colocada e despescada em seguida.

Foram utilizados 4 tipos de redes de emalhar de fundo, com as seguintes características:

1. malhas de 50 mm nó a nó, com fio de nylon de 0,25 mm de diâmetro;
1. malha de 45 mm nó a nó, com fio de nylon de 0,25 mm de diâmetro;
1. malha de 40 mm nó a nó, com fio de nylon de 0,30 mm de diâmetro
1. malha de 25 mm nó a nó, com fio de nylon de 0,30 mm de diâmetro.

Para o cálculo da Captura por Unidade de Esforço (CPUE) kg/m<sup>2</sup>/hora, foi considerado o coeficiente de entalhamento horizontal de 50% e o vertical, de 60%. Em função da dinâmica de deslocamento entre as cidades visitadas, a duração da permanência das redes na água variou da seguinte forma: lances à tarde (2 h), lances noturnos (final de tarde até a manhã seguinte, com média de 15 horas) e na foz do rio, com recolhimento após o lançamento, em função das fortes correntes na área (40 minutos).

## Cenários encontrados

### Impactos ambientais e antrópicos que afetam a produção pesqueira

#### Assoreamento do rio

Durante o percurso de Penedo até Piranhas, foram registrados vários impactos ambientais, com evidentes prejuízos para a produção pesqueira do rio. O desmatamento das margens foi a ação mais percebida durante o percurso (**Figura 76**). A redução da mata ciliar, com conseqüente assoreamento das margens, carrega matéria orgânica para o leito, modificando, assim, o habitat do fundo do rio, o que é fatal para determinadas espécies endêmicas.



Figura 76 - Assoreamento das margens do rio.



Fonte: Vanildo S. Oliveira (2019).

Nas áreas em que a vegetação das margens foi mantida, não foram observados sinais assoreamento, e sim uma aparente atividade pesqueira (Figura 77), com presença de canoas de pesca e de redes de emalhar em atuação no rio (boias de garrafas PET) (Figura 78).

Figura 77 - Margens com florestas nas margens preservadas.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

Figura 78 - Presença de atividade pesqueira nas margens com vegetação.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

### Macrófitas no fundo e na superfície do rio

Também foi observada grande presença de macrófitas aquáticas, tanto na superfície como espécies submersas *Egeria densa* (élodea) e representantes da família *Poacea*. Essa macrófita traz grandes prejuízos para a atividade pesqueira, uma vez que modifica o substrato do fundo, formando uma cobertura vegetal que impede as redes de chegarem ao fundo. Também causa transtornos para a utilização de redes de emalhar, pois emalha nas redes, aumentando seu peso, fazendo com que o pano da rede assente sobre o fundo, comprometendo gravemente a produtividade do aparelho de pesca (Figura 79).

Figura 79 - Macrófitas no fundo do rio, emalhadas nas redes.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

Além disso, a presença da macrófita baronesa *Eichhornia crassipes* na superfície é prejudicial tanto para a navegação como para a atividade de pesca, pois ocupa a superfície e



tem alto consumo de Oxigênio da água, competindo, assim, com os organismos aquáticos (Figura 80).

Figura 80 - Macrófitas flutuantes.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

### Despejo de esgotos não tratados

Outro grande impacto na biota do rio é a marcante falta de saneamento básico nas cidades ribeirinhas, causando grandes danos ao ecossistema aquático. Esse fato gera consequências tanto para a população quanto para ictiofauna, com a água poluída trazendo grandes prejuízos para a atividade pesqueira. Dependendo da concentração de dejetos orgânicos (Figura 81), aliada à diminuição do volume da vazão do rio, a concentração de poluentes pode alterar o desenvolvimento de vários organismos aquáticos. Também pode resultar em contaminação direta da população, através de lavagem de roupa com águas possivelmente contaminadas ou durante atividades de lazer (Figura 82).

Figura 81 - Despejo de esgoto diretamente no rio.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

Figura 82 - Utilização do rio para atividades de lazer.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

### Uso da água para atividade de irrigação

Foram observados vários pontos de retirada de água para irrigação, destacando-se as casas de bombas de irrigação para o platô de Neópolis. Também foram registradas bombas para projetos de médio e pequeno porte (Figura 83). A agricultura irrigada traz impactos para a vida aquática, principalmente quando realizada próxima da margem, como a retirada de água para o cultivo de arroz, em função da utilização de agrotóxicos, que são carrilhados para o rio, causando danos à ictiofauna.

Figura 83 - Bombas de retirada de água para irrigação.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

### Criação de gado nas margens do rio

A pecuária foi uma atividade observada em vários pontos durante o trajeto até Piranhas. Indiretamente, ela resulta em efeitos de assoreamento do rio, uma vez que a mata ciliar é retirada para a plantação do pasto, o que, como mencionado, gera impactos para a ictiofauna e a atividade pesqueira, com o aumento do assoreamento (Figura 84).



Figura 84 - Criação de gado nas margens do rio.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

### Criação de peixes em tanques-rede

Essa atividade é recente no rio e aparece como alternativa para a produção de pescado. No entanto, o fato de a maioria dos piscicultores cultivarem espécies como a tilápia e o tambaqui traz preocupações ambientais quanto à introdução dessas espécies no ambiente. Por outro lado, com a falta da produção de pescado natural do rio, as espécies exóticas, atualmente, representam grande parte da produção de pescado ofertada nas feiras e nos mercados das cidades ribeirinhas (Figuras 85 e 86).

Figura 85 - Criação de peixes em gaiolas.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).



Figura 86 - Produção de peixes em gaiolas.



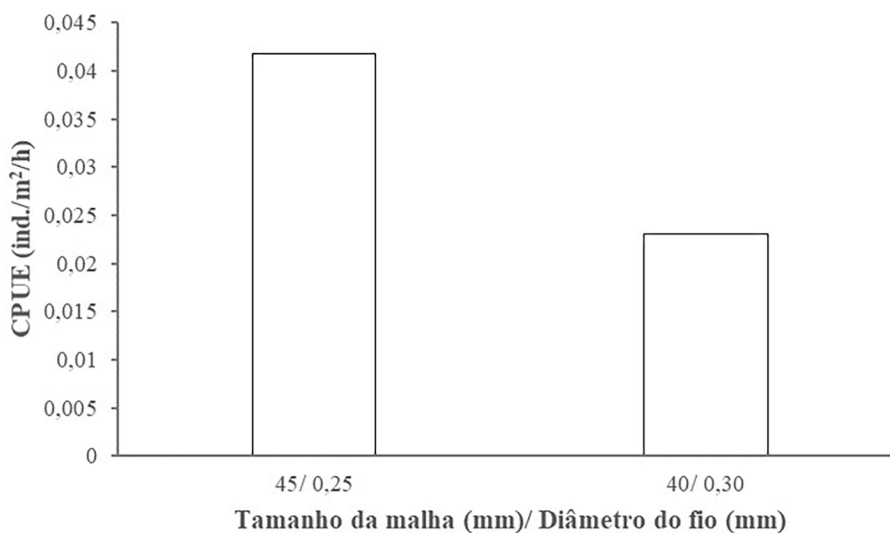
Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

### Prospecção pesqueira

As redes de emalhar mais utilizadas nas estações, em função das condições e do tempo em que a expedição permaneceu em cada cidade, foram as de 40 mm, 45 mm e 50 mm. No entanto, só foi possível realizar análise de abundância relativa (CPUE) do total de captura nas redes de 40 mm com diâmetro do fio 0,25 mm e de 45 mm com fio de 0,30 mm (Figura 87).

A rede com abertura de malha maior (45 mm) apresentou uma abundância maior nas capturas, provavelmente devido ao fato de a presente prospecção ter sido realizada no período de defeso, quando os indivíduos adultos estão mais ativos. Aliado ao diâmetro do fio da rede mais fino, o que a torna, principalmente em águas com pouca turbidez, como o Baixo, menos visível e, conseqüentemente, com maior eficiência de captura.

Figura 87 - Captura por unidade de esforço (CPUE), por rede de emalhar.



Fonte: Autores do capítulo.

Foram capturados 244 indivíduos, classificados em 22 categorias de recursos pesqueiros. As quatro espécies mais abundantes foram pirambeba (*Serrasalmus brandtii*), pacu (*Metynnis maculatus*), piaus (*Anostomidae*) e tucunaré (*Cichla monoculus*), que representam cerca de 76,6% do total das capturas (Tabela 40).

Tabela 40 - Recursos pesqueiros capturados durante a II Expedição do Baixo São Francisco.

Nome vulgar	Classificação taxonômica	n.	%
pirambeba	<i>Serrasalmus brandtii</i>	68	27,87
pacu	<i>Metynnis maculatus</i>	49	20,08
piaus	<i>Anostomidae</i>	47	19,26
tucunaré	<i>Cichla monoculus</i>	23	9,43
tambaqui	<i>Colossoma macropomum</i>	14	5,74
acari	<i>Hypostomus sp.</i>	12	4,92
traíra	<i>Hoplias microcephalus</i>	6	2,46
carapeba	<i>Gerreidae</i>	5	2,05
cará	<i>Astronotus ocellatus</i>	4	1,64
piranha	<i>Pygocentrus piraya</i>	2	0,82
xira	<i>Prochilodus argenteus</i>	2	0,82
siri	<i>Calinectes spp.</i>	2	0,82
casculo	<i>Hypostomus sp.</i>	1	0,41
pacamão	<i>Lophiosilurus alexandrii</i>	1	0,41
arenga	<i>Licengralis glossidens</i>	1	0,41
cumbá	<i>Trachelyopterus galeatus</i>	1	0,41
pargo	<i>Lutjanus purpureus</i>	1	0,41
caranha	<i>Lutjanus cyanopterus</i>	1	0,41
xaréu	<i>Caranx latus</i>	1	0,41
bagre	<i>Cathorops agassizii</i>	1	0,41
carapicu	<i>Eucinostomus melanopterus</i>	1	0,41
robalo	<i>Centropomus spp.</i>	1	0,41
		244	100

Fonte: Autores do capítulo.

Os principais peixes carnívoros de água doce representaram 40,1% (traíra, tucunaré, pacamão, piranha e pirambeba). As espécies marinhas representaram 5,3%, sendo todos carnívoros. Apesar de todos os danos ambientais que o rio sofre, a presença de carnívoros é um bom sinal, pois eles têm um papel muito importante, principalmente no caso do controle de espécies exóticas, como a tilápia, que está sendo cultivada amplamente e, quando solta, pode causar danos ao ambiente nativo. Não foi registrada a captura de tilápias nas pescarias, indicando um sinal aparente de que esses predadores são fundamentais no controle da proliferação dessa espécie exótica.

A pirambeba foi a espécie mais abundante na captura com rede de emalhar (Figura 88). No entanto, a espécie não tem grande valor econômico, além de ser um carnívoro voraz, que chega a prejudicar parte das capturas (Figura 89). Sua maior abundância foi observada entre as cidades de Piranhas e Pão de Açúcar, declinando no sentido da foz (Figura 90).

Figura 88 - Pirambeba capturada com rede de emalhar.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

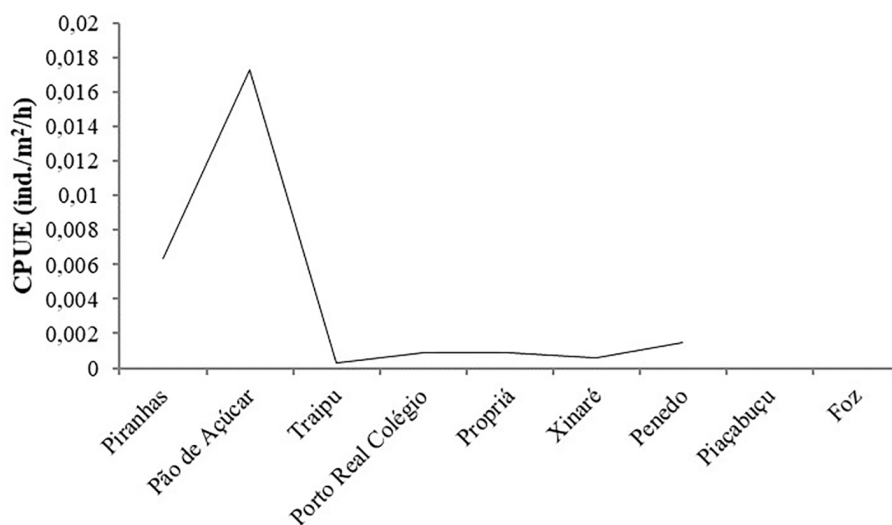
Figura 89 - Predação causada pela pirambeba.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).



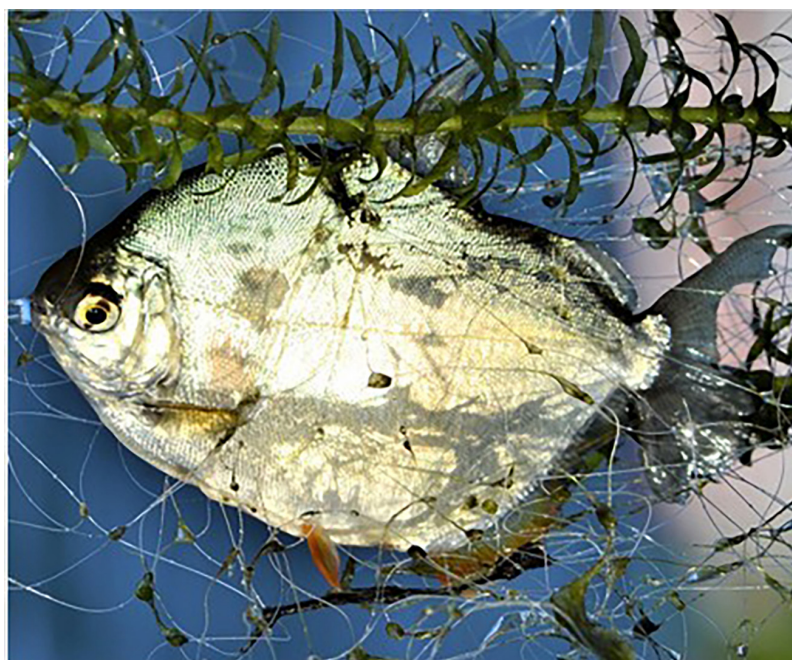
Figura 90 - Abundância relativa da pirambeba por localidade.



Fonte: Autores do capítulo.

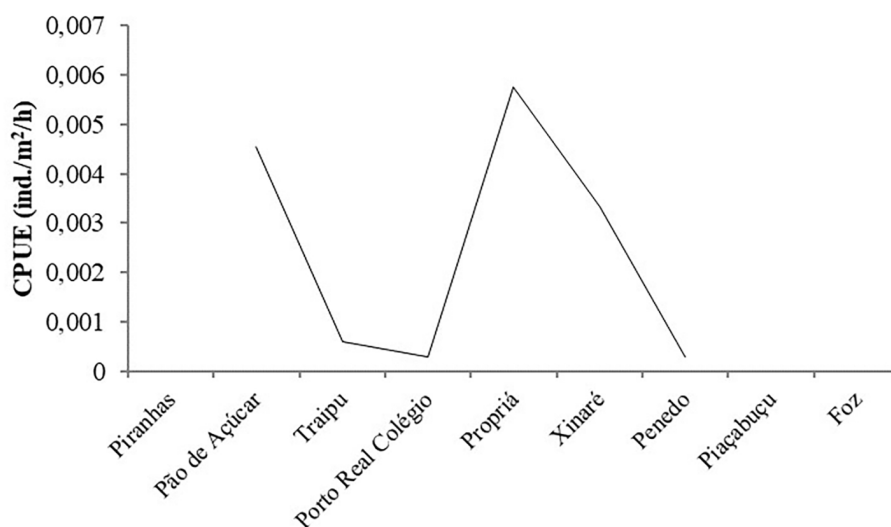
O pacu foi a segunda espécie mais abundante (Figura 91), ocorrendo entre Pão de Açúcar e Penedo, com maior pico em Propriá (Figura 92). Não tem grande valor econômico, mas é apreciado pela população.

Figura 91 - Pacu capturado na rede de emalhar.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

Figura 92 - Abundância relativa do pacu por localidade.



Fonte: Autores do capítulo.

O terceiro recurso pesqueiro mais abundante foram os piau (Figura 93), que apresentam uma boa aceitação e um bom valor comercial. Como foi descrito, esses valores variam de acordo com a espécie. Sua maior abundância foi constatada na cidade de Piranhas, declinando bruscamente em direção à foz (Figura 94). Essa maior abundância nas cidades mais próximas da barragem de Xingó pode ser explicada por dois fatores: o aumento da vazão promovido pela CHESF durante a expedição e a subida da espécie na época da reprodução. Esse resultado demonstra que, aparentemente, esta é realmente a melhor época para proteger essa espécie (defeso), que tem características eurialinas, pois ocorreu até Piaçabuçu, onde existe grande influência da água do mar. Os pescadores da região sempre apontam esse recurso pesqueiro como um dos principais na região.

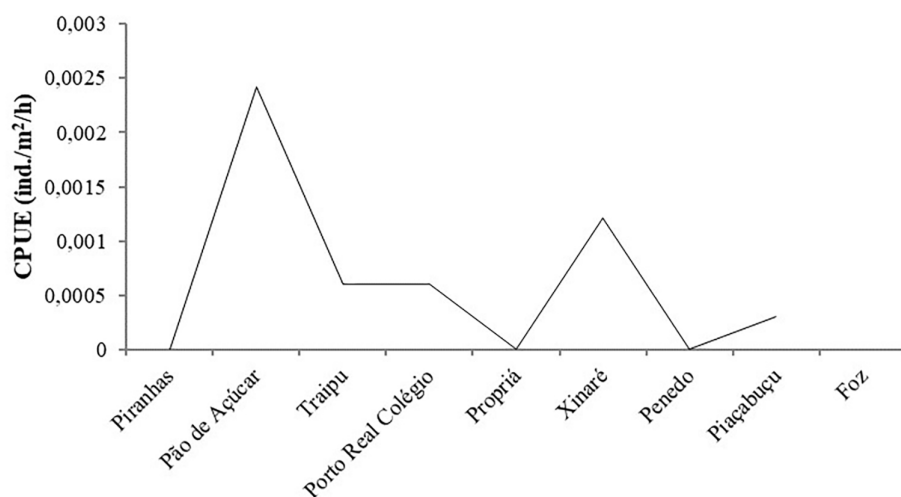
Figura 93 - Piau capturado na rede de emalhar.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).



Figura 94 - Abundância relativa do piau por localidade.



Fonte: Autores do capítulo.

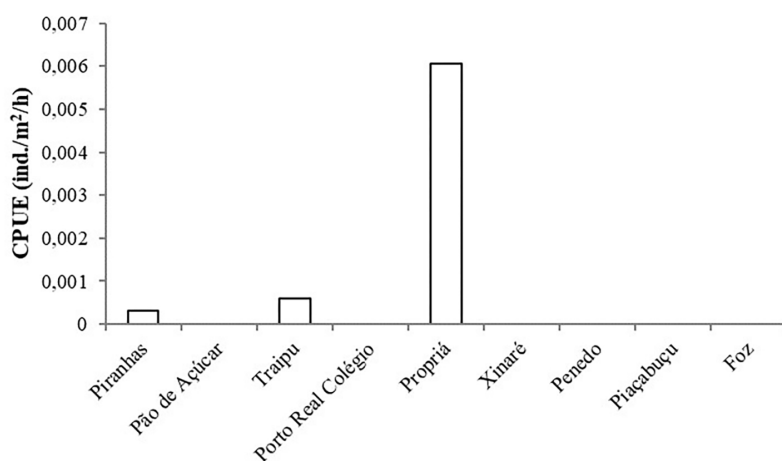
A quarta espécie mais abundante foi o tucunaré (Figura 95), espécie carnívora com valor comercial e bastante apreciada pela população. Tem hábitos de guardar a prole na boca e devorar as outras espécies, o que, segundo os pescadores, contribui fortemente para a diminuição de outras espécies. Apresentou sua maior abundância em Porto Real do Colégio, não sendo mais capturada rio abaixo, na expedição (Figura 96), pois a espécie parece ser bastante sensível às variações de salinidade, por ser característica de água doce.

Figura 95 - Tucunaré capturado na rede de emalhar.



Fonte: Vanildo Oliveira (2019).

Figura 96 - Abundância relativa do tucunaré por localidade.



Fonte: Autores do capítulo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região do Baixo São Francisco apresenta uma série de impactos ao longo do curso, com alterações bastante visíveis sobre o rio. A redução das áreas de pesca por outras atividades tem sido atestada na região. O aumento da poluição do rio, o desmatamento das matas ciliares, a grande descarga de esgotos e a baixa vazão de suas águas, devido ao represamento da hidroelétrica de Xingó, têm causado assoreamento, formação de bancos de areia e destruição de habitats importantes, como as lagoas marginais, com efeitos muitas vezes devastadores sobre os recursos pesqueiros.

Além da evidente total falta de gestão das atividades antrópicas ao longo do Baixo curso do rio, é preciso também avaliar os efeitos de todas as ações à montante da região. Para tal, faz-se necessário e urgente que o rio receba a devida atenção do Estado brasileiro, através de um detalhado estudo e monitoramento de todos os impactos para que sejam, dessa forma, retomadas ações rigorosas de revitalização do rio, que sempre foram abandonadas, sacrificando os reais interesses da sociedade em detrimento do custo político da gestão ambiental e do ordenamento das atividades econômicas.

Os impactos causados pelo assoreamento só podem ser minimizados com fiscalização eficiente. A implantação de programas de reconstituição de matas ciliares e de educação ambiental, principalmente junto às associações de criadores de gado, prefeituras e indústrias, seriam as primeiras recomendações. A legislação florestal é clara, mas a fiscalização precisa receber condições políticas, jurídicas, financeiras e de capital humano.

O saneamento básico de água e esgoto precisa passar a ser encarado como prioridade pela gestão pública federal e municipal, bem como por organizações da sociedade civil organizada e moradores, pois afeta não apenas os organismos aquáticos, mas a todos nós, milhões de pessoas usuárias do rio ao longo da bacia do São Francisco.

Os impactos causados por macrófitas, tanto no fundo como na superfície do rio, devem ser motivos de elaborações de soluções, por parte das autoridades competentes, no sentido de desenvolver projetos de aproveitamento dessas toneladas de materiais orgânicos, uma vez que o rio está margeado por solo com predominância areno-argiloso, ou seja, pobre/rochoso

e cristalino, especialmente no Sertão, onde essa matéria orgânica poderá ser aproveitada (adubos, cobertura de solo entre safra, complemento de ração ou mesmo complementação, *in natura*, como alimento para o gado). A execução de projetos pilotos transformaria esse problema em solução.

Como o processo de migração das grandes espécies foi interrompido com o barramento do rio, as iniciativas de reintroduzir espécies que raramente ocorrem ou desapareceram do Baixo São Francisco devem ser continuadas e ampliadas, com o objetivo de recompor os estoques pesqueiros.

Pirambéba, pacu, piau e tucunaré são, atualmente, recursos pesqueiros importantes na composição das capturas do Baixo São Francisco. Já espécies tradicionais da pesca local, como a xira, parecem cada vez menos presentes nos desembarques. Tubarana, pirá e surubim praticamente desapareceram da pesca. Estudos da dinâmica populacional desses recursos pesqueiros precisam ser viabilizados.

A continuidade e a ampliação de programas de repovoamento dessa espécie atendem aos anseios dos pescadores, que elogiam essa ação e enfatizam que a liberação de indivíduos com maior tamanho possibilita a sobrevivência em um ambiente com tantos predadores.

A pesca no rio sofre influência direta da intensidade da vazão. Em época de chuvas, as condições melhoram sensivelmente para a produção pesqueira. No entanto, em período de seca interanual, como na última, com duração de seis anos, a produção de pescado ficou bastante prejudicada, sendo, muitas vezes, necessário importar peixes para se atender à demanda nas feiras.

O repovoamento e o cultivo de peixes nativos, desenvolvidos dentro dos padrões de sustentabilidade, podem ser alternativas para suprir a necessidade de pescado nesses períodos. Dessa forma, estímulos a projetos que visem ao cultivo e ao desenvolvimento da cadeia produtiva de espécies nativas devem ser feitos pelas autoridades governamentais.

As coletas realizadas das espécies foram pontuais, o que permite apenas apontar as condições momentâneas da situação da pesca, demonstrando algumas tendências de resultados e comportamentos. Por este motivo, é fundamental a realização de um programa de monitoramento contínuo, com vistas ao acompanhamento da atividade e de possíveis alterações, garantindo condições para observações mais amplas, significativas e aleatórias para a análise de padrões da pesca.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Estudos na área de cobrança pelo uso de água com o objetivo de estabelecer critérios e condições que possibilitem a aplicação desse instrumento na bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Agência Nacional de Águas. Relatório Final. Brasília: ANA, 2007.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Org.). **Águas, Peixes e Pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003.

LIMA, D. C. **A pesca artesanal no ambiente do rio São Francisco**, Brasil. Ano 2020. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal14/Geografiasocioeconomica/Geografiacultural/64.pdf>. Acesso em: 08 maio. 2020.

NASCIMENTO, M. C. Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças

socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco. In:

REZENDE, P. C. OLIVEIRA, I. M. **Descrição socioeconômica dos pescadores no baixo São Francisco, Nordeste-Brasil.** 2015. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/4030/2752>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SATO, Y.; GODINHO, H. P. Migratory fishes of the São Francisco River. In: CAROLSFELD, J. B.; HARVEY, C. ROSS; BAER, A. (Eds.). **Migratory fishes of South America: biology, fisheries, and conservation status.** Victoria: World Fisheries Trust, IDRC, World Bank, 2003.

# FROM THE CANYON TO THE MOUTH: THE STATE OF THE ART OF FISHING ALONG THE LOWER SÃO FRANCISCO

Igor da Mata-Oliveira

Ricardo Anderson Pereira

Jhennifer da Silva Pereira

Ticiano Rodrigo de Almeida Oliveira

Vanildo Souza de Oliveira

## SUMMARY.

The Lower São Francisco region represents the river's final stretch, which extends from the end of the canyon, above the Xingó dam, to the estuary and mouth region, passing through marginal lagoons and streams. Thus, the region presents a considerable variation in the physical conditions of the river, which is reflected in the traditional and diversified local fishing activity naturally adapted to environmental conditions, fishing equipment, methods, species caught, and the various problems observed. The incipience and dispersion of general information on fishing in the region prevent the adoption of effective measures to organize and preserve the activity, threatened by the deterioration of the river condition and fishing. Thus, the present study existing fishing methods and their primary target resources in 20 municipalities of the Lower São Francisco, between Sergipe and Alagoas. The riverside population has fishing as a fundamental strategy for survival and its culture. Gillnets, tarraffes, hand lines, rods, and fish traps are employed in the capture of various freshwater and estuarine marine resources, among which xira (*Prochilodus argenteus*), piau (Anostomidae), corvina (*Plagioscion* spp.), pacu (*Metynnis maculatus*, *Myleus micans*), tilapia (*Oreochromis niloticus*), tucunaré (*Cichla monoculus*), piranha (*Pygocentrus piraya*), river shrimp (*Macrobrachium* spp.), pilombeta (*Engraulidae*), carapeba (*Gerreidae*), and sea bass (*Centropomus* spp.). However, highly valued species, traditionally exploited by fishing in the region, such as tubarana (*Salminus hilarii*), surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), and pirá (*Conorhynchos conirostris*) practically disappeared from the region. These changes in the catch composition patterns generate depreciation of the socio-economic condition of workers and communities dependent on fishing, and their causes are undoubtedly related to changes in the natural conditions of the river. Although fishermen point out cause-effect relationships, they still need to be better analyzed. Given this, it is necessary to monitor effectively through a broad program of monitoring fishing production, which would allow the analysis in more detail of the influence of environmental changes on fishing. Fishing biology studies are also needed to prevent other resources from being depleted, further compromising fishing conditions in the Lower São Francisco.



## CAPÍTULO 14

# DO CÂNION À FOZ: O ESTADO DA ARTE DA PESCA AO LONGO DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Igor da Mata-Oliveira<sup>67</sup>

Ricardo Anderson Pereira<sup>68</sup>

Jhennifer da Silva Pereira<sup>69</sup>

Ticiano Rodrigo de Almeida Oliveira<sup>70</sup>

Vanildo Souza de Oliveira<sup>71</sup>

### INTRODUÇÃO

A região do Baixo São Francisco (BSF) representa apenas cerca de 8% da extensão total do rio. Estende-se desde o final do cânion do São Francisco, a montante da Usina Hidroelétrica (UHE) de Xingó até a foz, entre os Estados de Sergipe e Alagoas. Observa-se, portanto, uma notável variação nas condições físicas do rio, o que se reflete na tradicional e diversificada atividade pesqueira local, naturalmente adaptada às condições ambientais e espécies capturadas em cada trecho.

No entanto, segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2004), a pesca está em franca decadência, por várias razões: os barramentos, a poluição oriunda dos esgotos domésticos e de atividades agrícolas, a incompatibilidade entre a operação das barragens e as necessidades ecológicas.

A pesca na região sofre, ainda, com a incipiência e a dispersão de informações (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2004). Ainda pouco é conhecido, mesmo sobre informações básicas e gerais, como no que diz respeito aos métodos de pesca, principais recursos e possíveis alterações neles devido às intensas mudanças do ambiente.

Alguns trabalhos trazem uma descrição da pesca a partir de informações coletadas em bases estratégicas, cidades onde se concentram desembarques e comercialização de pescado. No entanto, estudos concentrados nos centros comerciais podem omitir detalhes peculiares a cada município que compõe a região. Esses aspectos dificultam a avaliação do estado de exploração dos recursos, bem como a procura de medidas racionais de ordenamento da atividade, constituindo um dos principais motivos por que as práticas de manejo dos recursos pesqueiros na região sejam pouco efetivas (BARBOSA; SOARES, 2009).

<sup>67</sup> Laboratório de Investigação e Manejo da Pesca (Imap), Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Unidade Penedo.

<sup>68</sup> Laboratório de Investigação e Manejo da Pesca (Imap), Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Unidade Penedo.

<sup>69</sup> Laboratório de Investigação e Manejo da Pesca (Imap), Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Unidade Penedo.

<sup>70</sup> Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (ProdeMa), Universidade Federal de Sergipe (UFS).

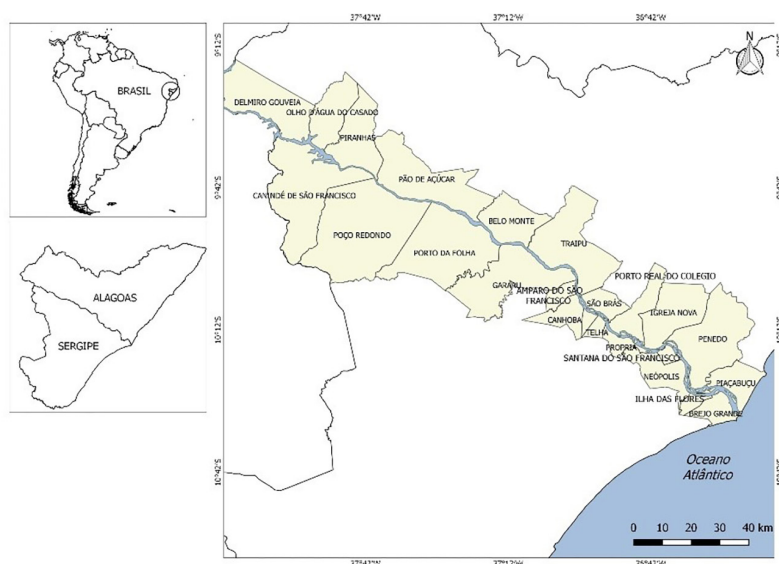
<sup>71</sup> Laboratório de Pesca Sustentável (Lapesu), Departamento de Pesca e Aquicultura (Depaq), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

É necessário classificar essa força de trabalho em categorias de pesca, dentre as quais cada uma está submetida a condições particulares de produção, investimento, frequência e comercialização. Mesmo as colônias de pescadores com bom nível de organização não costumam classificar seus associados por categorias de pesca, o que esconde uma grande diversidade cultural, de condições, adversidades e, especialmente, de possíveis ações necessárias para a manutenção da atividade pesqueira. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo apresentar uma descrição da pesca ao longo de toda a região do Baixo São Francisco.

## Prospecção e obtenção de dados

A região do Baixo São Francisco é, atualmente, composta por 22 municípios ribeirinhos (Figura 97).

Figura 97 - Representação dos 22 municípios ribeirinhos do Baixo São Francisco.



Fonte: Jhennifer da Silva Pereira & Igor Da Mata-Oliveira (2020).

As informações aqui apresentadas foram coletadas durante o Programa de Resgate Cultural dos Pescadores e Pescadoras do Baixo São Francisco, entre novembro de 2010 e julho de 2011, e durante as Expedições Científicas do Baixo São Francisco, que ocorreram entre 15 e 20 de outubro de 2018 e entre 18 e 27 de novembro de 2019.

Em cada município, foram feitas entrevistas em colônias de pescadores, feiras e pontos de desembarque. Foram coletadas informações sobre as principais características da pesca, principais artes de pesca e recursos capturados e problemas ou mudanças observados na pesca.

Os equipamentos de pesca foram classificados quanto ao material principal utilizado na fabricação. As malhas das redes são descritas em cm, comprimento nó a nó (opostos).

Os recursos pesqueiros foram classificados através da identificação de alguns indivíduos e da revisão da literatura (Anexo 1).

## Cenários encontrados

No presente trabalho, foram visitados 21 municípios, sendo 11 em Alagoas (Delmiro

Gouveia, Olho d'Água do Casado, Piranhas, Pão de Açúcar, Belo Monte, Traipu, São Brás, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu) e 10 em Sergipe (Canindé do São Francisco, Poço Redondo, Porto da Folha, Gararu, Amparo do São Francisco, Telha, Propriá, Neópolis, Ilha das Flores e Brejo Grande). A seguir são apresentadas as descrições por município. De forma a proporcionar uma visualização mais resumida e objetiva das mesmas, também é apresentado um quadro com as principais informações ao final do capítulo (Anexo 2).

## ANEXO 1

### CLASSIFICAÇÃO DOS RECURSOS PESQUEIROS MENCIONADOS

Recurso pesqueiro	Classificação taxonômica
xira	<i>Prochilodus argenteus</i>
piaus	Anostomidae
tucunaré	<i>Cichla monoculus</i>
tilápia	<i>Oreochromis niloticus</i>
robalo	<i>Centropomus parallelus</i>
traíra	<i>Hoplias macrocephalus</i>
pilombeta	Engraulidae
piranha	<i>Pygocentrus piraya</i>
cará	<i>Astronotus ocellatus</i>
pescada e corvina	<i>Plagioscion</i> spp.
carapebas	Gerreidae
camarões	<i>Macrobrachium</i> spp.
piaba	Tetragonopterinae
carí	<i>Hypostomus</i> sp.
camurim	<i>Centropomus undecimalis</i>
pacu	<i>Metynnis maculatus</i> , <i>Myleus micans</i>
pirambeba	<i>Serrasalmus brandtii</i>
surubim	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>
bagre	Ariidae, Pimelodidae
mandi	<i>Pimelodus maculatus</i>
tubarana	<i>Salminus hilarii</i>
pirá	<i>Conorhynchus conirostris</i>
tainha	<i>Mugil</i> spp.
aragu	<i>Curimatella lepidura</i>
camurupim	<i>Megalops atlanticus</i>

Fonte: Igor Da Mata-Oliveira (2020).

## ANEXO 2

### QUADRO RESUMO DOS PRINCIPAIS APARELHOS DE PESCA E SUAS CARACTERÍSTICAS, RECURSOS PESQUEIROS E PROBLEMAS CITADOS

Município	Principais aparelhos	Característica principal	Principais recursos pesqueiros	Problemas
Delmiro Gouveia	linha de mão	-	corvina	Mudança total no ambiente (lótico para lêntico). Não se captura mais a tubarana. Depois do barramento, os peixes mais capturados não têm bom valor comercial.
	rede de emalhar vara e anzol	malhas 14 a 20 cm iscas artificiais	tilápia xira	
Olho d'água do Casado	tarrafa	malhas 7 a 8 cm	corvina, tucunaré,	mais a tubarana. Depois do barramento, os peixes mais capturados não têm bom valor comercial.
	linha de mão rede de emalhar	fios 0,40 e 0,25 mm diâmetro	tilápia corvina, xira, tilápia corvina, tucunaré	
Canindé do São Francisco	linha de mão	-	piaus, mandi, tucunaré	Tubarana e surubim já foram espécies importantes.
	vara e anzol	-	piaus, mandi, tucunaré, piabas	
	tarrafa	malhas 2 a 12 cm	piaus, xira, tilápia	
	rede de emalhar covo	malhas 2 a 14 cm PET, taliscas de cano PVC ou bambu	xira, corvina, mandi camarões	
Piranhas	tarrafa	malhas 8 a 12 cm	piaus, bambá, carí	O camarão pitu era a a principal atração gastronômica da cidade, mas depois da construção da barragem a produção caiu muito. Peixes como capadinho, pirá e pacamão não são mais encontrados.
	rede de emalhar	malhas 12 a 14 cm	bambá, piau	
	linha de mão	-	tucunaré, piau	
	vara e anzol	-		
Poço Redondo	covo	tela de PE, taliscas de madeira ou de cano PVC, garrafas PET	camarões	
	tarrafa	-	xira, piau	Não se captura mais a tubarana.
	linha de mão	-	robalo	
	rede de emalhar	-	xira, piau	
covo	pedaços de coco e peixe como isca	camarões		
Pão de Açúcar	rede de emalhar	malha 14 cm	xira	Pilombeta e surubim desapareceram.
	rede de emalhar	malha 10 cm	piaus	
	tarrafa	malhas 10 e 12 cm	xira, piau, tucunaré, carí	
	groseira	de chão	piaus	
Porto da Folha	vara e anzol	grude de farinha como isca	pacu	
	redes de emalhar	malhas 5 a 12 cm	xira, piau, tucunaré, piranha	
	linha de mão	-	piaus	
	tarrafa	-	xira, piau	
	redes de arrasto	malhas 7 a 10 cm	tilápia, cará, piaba, aratanha	

Belo Monte	tarrafa	malhas 10 e 11 cm	xira	
	linha de mão	iscas artificiais	xira, robalos, tucunaré	
	covo	bolinho de pó de arroz como isca	camarões	
	vara e anzol	sabão verde como isca	piaus	
Gararu	redes de emalhar	malhas 10 e 12 cm	xira, piau, carí	
	linha de mão	caramujo, manga, milho	piaus	
	tarrafa	malha 8 e 10 cm	xira, piaus, carí e tucunaré	
	covo	varas de bambu	camarões	
	covo	vara de marmeleiro	peixes	
Traipu	redes de emalhar	-	piáu, tucunaré, piranha e pirambeba	xira, tubarada e pilombeta raramente aparecem. Muitas macrófitas. Pesca com veneno.
	tarrafa	malhas 1,5 a 10 cm	piaus	
	linha de mão	iscas artificiais na Lagoa do Cabaceiro	tucunaré, piranha camarões exóticos, escape de cultivo	
	covo			
Amparo do São Francisco	redes de emalhar	-	piaus, xira, traíra, piranha	
	tarrafa	-	traíra, tambaqui	
	covo	marmeleiro, taboca ou cipó	piaus e camarões	
	linha de mão	caramujo, minhoca como isca	piaus, piranha	
São Brás	redes de emalhar	malhas 3 e 4 cm	xira, piaus, tucunaré, piranha	
	tarrafa	malha 2 cm	piaba, xira, piaus	
	vara e anzol	molinete	piaus, piranha	
	vara e anzol	bambu	piabas, pirambeba	Macrófitas
	linha de mão	iscas artificiais, pedaços de carne, caramujo ou peixes pequenos	tucunaré, piranha	
Telha	covo	de marmeleiro	piaus	
	covo	de tela PE ou taboca	camarões	
	redes de emalhar	-	piaus, xira	
	vara e anzol	-	pirambeba, traíra	
Porto Real do Colégio	rede de emalhar	-	xira, piaus	Uso de bombas e bolinhos de arroz formolizados como isca. Diminuição na produção de xira, camarão pitu e aumento da produção de siris.
	jereré	pano de mosqueteiro	saburica, carazinhos	
	tarrafa	malhas 2 a 3 cm	piaus, xira	



Propriá	redes de emalhar	malhas 2 a 15 cm	xira, piaus, tilápia	
	tarrafa	malhas 2 a 13 cm	xira, piaus, tilápia	
	covo	talas de taboca	camarões	
	covo	varas de marmeleiro	piaus	
	vara e anzol	-	robalos, tucunaré	
	linha de mão	-	tucunaré, robalos, piranha	
Igreja Nova	redes de emalhar	malhas 4 e 4,5 cm	xira, piaus, piranha, traíra	Tubarana e cumbá não cocorrem mais.
	covo	tela de PE	camarões	Diminuição de xira
	jereré	-	cará, traíra	e piaus. Problemas no
	vara e anzol	bambu	cará, piabas, piranha	registro de pescadores
	linha de mão	-	piabas, cará, traíra	e na execução do seguro defeso.
Santana do São Francisco	vara e anzol	-	robalo, piranha, xira,	
	linha de mão	-	piaus, tucunaré	
	jereré	-	saburica, piabas	
	rede de emalhar	-	piaus	
	rede de arrasto	-		
	tarrafa	-	xira, traíra e cará	
	covo	tela de PE	camarões	
Penedo	rede de emalhar	malha 6 cm	xira, tucunaré	Piau cutia,
	rede de emalhar	malha 10 cm	piranha, pirambeba, tucunaré, camurim,	surubim e tubarana desapareceram. Xira
			piaus	cada vez mais rara.
	rede de emalhar	malha 12 cm	piranha, tucunaré, piaus	Estão capturando muitas espécies do
	tarrafa	malha 3 cm	xira	mar (xaréu, carapeba,
	linha de mão	-	robalo, piranha, piaus	curimã, robalos, camurupim).
	groseira	-	piranha	
Neópolis	rede de emalhar	malhas 11 a 14 cm	xira, piaus, tucunaré	
	rede de emalhar	malhas 2 a 3 cm	pilombetas	
	rede de emalhar	malhas 14 a 20 cm	carapebas, robalos	
	Jereré	-	saburica, piaba	
	Covos	tela de PE ou tabocas de madeira	camarões	
Ilha das Flores	rede de emalhar	malha 2,5 cm	pilombetas	
	rede de emalhar	malhas 8, 10 e 14 cm	carapebas, robalos	Diminuição
	rede de emalhar	malhas 11 a 12 cm	xira, bagres	do número de
	Linha de mão	isca: pilombeta	xaréu, bagres, robalos	embarcações.
	chiqueiro	estacas de madeira	diversos	

Piaçabuçu	rede de emalhar	malha 2 a 2,5 cm	pilombetas	Diminuição da vazão e avanço da cunha salina. Diminuição das capturas de pilombetas, xira, pias e robalos. Aumento da produção de siri. Mandi e surubum desapareceram.
	rede de emalhar	malha 20 cm	carapeba	
	rede de emalhar	malha 16 cm	robalos	
Brejo Grande	rede de emalhar	malha 2 cm	pilombetas	Mudanças bruscas no rio e no litoral, forçaram o maior processo de migração humana da região.
	rede de emalhar	malha 14 cm	xira, piau, traíra, tucunaré	
	linha de mão	de fundo	carapeba, mandi, bagre	
	coleta manual	-	caranguejo	

Fonte: Igor Da Mata-Oliveira (2020).

## Delmiro Gouveia

Delmiro Gouveia é um município no Sertão alagoano, às margens do cânion alagado do rio São Francisco. Segundo os pescadores, Delmiro Gouveia foi um dos municípios mais afetados na pesca, pela construção da UHE de Xingó, devido à sua localização logo acima da mesma. Com isso, houve uma mudança brusca no ambiente, passando de lótico para lântico. Com o conseqüente aumento da profundidade, os pontos de pesca foram alterados, bem como a composição das capturas.

A linha de mão é uma modalidade de pesca tradicional a montante da UHE de Xingó, tendo como espécie alvo a corvina ou pescadas brancas. Já as redes de emalhar tiveram seu uso ampliado com o represamento do rio nesse trecho. As malhas de 14 cm e 20 cm foram as mais encontradas.

As varas e o anzol são usados, principalmente, com iscas artificiais, tendo o tucunaré como alvo. As tarrafas são dirigidas à pesca de curimatã (conhecida na região como xira), mandi, corvina, tilápia e tucunaré. O jereré também foi mencionado, para a captura de camarões do rio.

Antes, era frequente a captura da tubarana (ou dourado) e de outros peixes de alto valor comercial. Atualmente, as capturas predominantes são de peixes comuns de águas mais calmas (represadas), como scianídeos (corvina, chamada também de pescada branca) e ciclídeos (tilápia e tucunaré), que, no entanto, não apresentam bom valor de venda. As principais espécies capturadas em Delmiro Gouveia confirmam a presença de espécies introduzidas e estabelecidas no rio São Francisco, como a corvina (*Plagioscion squamosissimus*) e o tucunaré (SATO; GODINHO, 2003; GODINHO; GODINHO, 2003).

Uma possível solução para amenizar esse impacto econômico causado à pesca em Delmiro Gouveia seria a realização de estudos de prospecção pesqueira com vistas à posterior capacitação dos pescadores para atuar com outros tipos de aparelhos de pesca, capazes de realizar capturas em maiores profundidades, desde que identificadas ocorrência e viabilidade da captura de espécies potenciais para a região em prospecções, como espinhéis, adaptados às condições operacionais da pesca local.

## **Olho d'Água do Casado**

Em Olho d'Água do Casado, a tarrafa e a linha de mão são os aparelhos de pesca mais utilizados. A tarrafa com malhas de 7 cm ou 8 cm é utilizada visando à captura, principalmente, de pescada branca e xira. As linhas de 0,40 mm e 0,25 mm de diâmetro são utilizadas como linhas de mão para a pesca da corvina, do tucunaré e da tilápia. As redes de emalhar e covos confeccionados com a reutilização de garrafas PET também foram mencionadas. Pescadas brancas e tucunaré são, atualmente, os principais recursos capturados, seguidos por xira e tilápia.

## **Canindé do São Francisco**

A UHE está localizada no município de Canindé do São Francisco, no Sertão sergipano, a 214 km da capital Aracaju. Entre os pescadores entrevistados no município, foi registrado o uso de 5 apetrechos de pesca: linhas de mão, vara e anzol, tarrafa, redes de emalhar e covos.

As principais artes de pesca da região são aparelhos de linha e anzol, de diferentes tamanhos: linhas de mão e varas, direcionadas à captura de piaus, mandis, tucunarés e piabas. As iscas são variadas, desde minhoca a iscas artificiais.

As tarrafas possuem malhas de 2 cm a 12 cm, para captura, principalmente, de piaus, xiras e tilápias. Já as redes de emalhar, com malhas que variam de 2 cm a 14 cm, são voltadas para a captura de xira, corvina e mandi, entre outros. Dourado (tubarana) e surubim também foram mencionados, mas como memória e/ou capturas mais esporádicas. Covos fabricados em garrafas PET, taliscas de canos de PVC ou taliscas de bambu são dirigidos tanto para a pesca de pequenos camarões, que servem como iscas, como também para a pesca de camarão pitu.

No geral, as principais espécies capturadas pelos pescadores de Canindé são: piau, xira, tucunaré, tilápia, traíra, mandi e piaba. A tubarana também já foi uma espécie importante.

## **Piranhas**

Piranhas é uma cidade histórica localizada logo abaixo da UHE Xingó, no Alto Sertão alagoano. Nesse trecho, o rio apresenta pedras em seu leito e correnteza mais forte, o que dificulta, inclusive, a navegação em tempos de baixa vazão. Essa forte correnteza pode explicar porque essa área é uma das mais abundantes em número de espécies, segundo os pescadores.

As tarrafas são muito comuns em Piranhas, com malhas que variam de 8 cm a 12 cm, e são dirigidas, principalmente, para a pesca de piau, bambá e carí. As redes de emalhar caracterizam-se pela predominância das malhas de comprimento 12 cm e 14 cm e por suas espécies alvos: bambá e piau. Linha de mão e vara e anzol, que antigamente eram dirigidas para a captura de dourados e tubaranas, atualmente possuem tucunarés e piaus como alvo. Os covos locais são fabricados em telas de polietileno, taliscas de madeira ou de cano de PVC e garrafas PET. Jererés (fabricados em linhas de algodão) são dirigidos para a pesca do camarão pitu.

O camarão pitu já foi a principal atração gastronômica da cidade, no entanto, segundo relatos, depois da construção da barragem, a produção caiu muito e outros peixes, como capadinho, pirá e pacamão, não são mais encontrados.

## Poço Redondo

Poço Redondo, no Sertão de Sergipe, apresenta dois povoados pesqueiros principais: Curralinho e Niterói.

O uso de tarrafa foi predominante entre os pescadores entrevistados e sua operação está relacionada a captura de xira e piau.

A atividade com linha de mão é dirigida para a pesca de tubarana ou robalos. Redes de emalhar são, principalmente, utilizadas para a captura de xira e piau; os covos, para a pesca de camarões. Neles, são colocadas iscas como pedaços de coco e de peixe.

As capturas no município poderiam ser melhores, pois, segundo os pescadores entrevistados, falta fiscalização e muitos pescadores praticam a pesca no período de defeso ou com técnicas predatórias. O período de defeso foi questionado pelos pescadores, visto que, de março a maio, ainda são encontrados muitos peixes prontos para a desova.

## Pão de Açúcar

As redes de emalhar são os aparelhos de pesca mais utilizados, com fios 0,30 mm, 0,35 mm e 0,40 mm de diâmetro, para a captura de xira (malha 14 cm) e piau (malha 10 cm). A malha 14 cm também é chamada pelos pescadores da região de “mão de trevesa”, dado ao fato de seu comprimento estender-se de um lado a outro da mão do pescador – essa denominação é comum na região.

Quando a rede de emalhar é lançada sendo levada, à deriva, pela correnteza, a pesca é denominada “caceia”; quando é fixa na margem, denomina-se “travessia” e é colocada em lugares protegidos das fortes correntes do centro do rio, numa área denominada “remanso”.

Além da rede de emalhar, também utilizam-se tarrafa e groseira (espinhel) para a captura de traíra, mandi amarelo, robalo e piranha.

Peixes como xira, piau, tucunaré e cari também são capturados com tarrafas de malhas 10 cm e 12 cm de comprimento, nó a nó oposto.

Foi verificado, entre os pescadores entrevistados, que a groseira é, também, muito popular. Sua utilização dá-se, principalmente, na modalidade groseira do chão, tendo como alvo a captura de piau.

A pesca de linha de mão caracteriza-se pelo uso de linhas que variam de 0,40 mm a 1,00 mm de diâmetro. Destinada, principalmente, à captura de piau, tubarana, robalo e mandi, podem ser aplicados diferentes métodos, como o corrico (pesca com o barco em movimento) ou de arremesso (pescador sentado em embarcação presa ao porto, à margem ou emerso em águas rasas).

Vara e anzol são destinados à captura de piranha, pacu, xira e tubarana. A minhoca é a isca mais usada, seguida pelo caramujo e peixes pequenos.

Os covos utilizados no município são fabricados, principalmente, com varas de marmeleiro e equipados com iscas de coco e pedaços de peixe, aparelhando, assim, a pesca do camarão pitu.

No geral, os principais recursos pesqueiros de Pão de Açúcar são: piaus, xira, piranha, bambá, pacu, pirambeba, traíra e peixe-cachorro.

Relatos apontam que, há 17 anos, capturavam-se 200 kg de pilombeta por lance e surubim com até 17 kg.

## **Porto da Folha**

Dos apetrechos relacionados, vara e anzol foram o mais representativo, isso podendo ser explicado pelo grande número de mulheres entrevistadas, pois elas destacam-se ao usar esse apetrecho.

São utilizadas iscas simples, como o grude de farinha de mandioca ou de farinha de trigo, para capturar, principalmente, o pacu. As redes de emalhar, cujas malhas variam de 5 cm a 12 cm de comprimento, são dirigidas para a pesca de xira, piau, tucunaré e piranha. As linhas de mão também são relevantes no município. As tarrafas são direcionadas à pesca, principalmente, de xira e piau. Redes de arrasto podem ser encontradas de dois tipos: rede de arrasto de croa (com malhas que variam entre 7 cm e 10 cm), para a captura de tilápia, cará e piaba, e a rede de calão, para capturar aratanha. Covo e jereré também são utilizados no município.

## **Belo Monte**

As tarrafas com malhas de 10 cm e 11 cm de comprimento foram as mais usadas. Linhas de mão com iscas artificiais são utilizadas para a captura de xira, robalo, tucunaré, piaba, piranha, tubarana e mandi.

Os covos têm como alvo a pesca do camarão. São encontrados covos iscados com bolinho de pó de arroz e casca da laranja. Vara e anzol são utilizados para a captura de piau com iscas de sabão em barra de cor verde. Segundo os pescadores, os piaus habituaram-se às mulheres lavando roupa na beira do rio e passaram a comer o resto do sabão que é lançado ou esquecido no local.

A poita é uma modalidade de linha de mão em que são usados uma pedra e um arco de vara de velame (marmeleiro) para afastar os anzóis. Ultimamente, nenhum pescador pratica regularmente essa pesca, porém, em épocas favoráveis, ele é destinado à pesca de mandi e piranhas.

## **Gararu**

Entre os pescadores entrevistados em Gararu, foram registradas seis artes de pesca. As redes de emalhar configuram-se como a principal e suas espécies alvo são: xira, piau, carí, pilombeta, pacu e robalo. A linha de mão vem em seguida, em que são utilizadas iscas como caramujo, manga e milho. Nas tarrafas, há a predominância das malhas 8 cm e 10 cm, capturando xira, piau, carí e tucunaré. Os covos são confeccionados em talas de bambu ou varas de marmeleiro. Os covos de talas de bambu são direcionados à captura de camarões e o covo de varas de marmeleiro, à captura de tucunaré e/ou do pacu. As iscas comuns, nos dois casos, são milho, peixe ou bolinho de pó de arroz. O jereré de linha de algodão ou de nylon (PA) também foi mencionado no município.

## **Traipu**

A rede de emalhar é o apetrecho mais usado, com a seguinte faina de pesca: sair à noite e voltar de manhã quando pescam de “caceia” e, na “travessia”, deixa de manhã e recolhe à tarde. Uma pescaria boa, segundo relatos, é em torno de 50 kg a 70 kg.

A tarrafa local possui malhas que variam entre 1,5 cm e 10 cm (nós opostos), e



pesca, principalmente, piauí, mas antigamente capturava também xira e pilombeta em grande quantidade. A linha de mão com iscas artificiais também é comum para a captura de tucunaré, piranha e, antigamente, tubarana.

Os covos são encontrados na lagoa do Cabaceiro, cuja operação destina-se à pesca de camarões, que, segundo um dos pescadores entrevistados, são exóticos, tendo se propagado na lagoa após a fuga de um viveiro de carcinicultura.

Os peixes mais capturados são: piauí, tucunaré, piranha e pirambeba. A xira raramente aparece, assim como a tubarana. A tilápia também é capturada, principalmente, na lagoa do Cabaceiro.

Os pescadores locais relataram também que, dentre os problemas do rio, estão as macrófitas (lodo) no fundo, que representam um grande entrave para a atividade pesqueira. Atualmente, o cultivo de tilápia, em tanques rede, produz cerca de 500 kg a 600 kg por mês, sendo R\$ 10,00 o quilo. Essa produção supre a demanda por pescado nas feiras.

Há 15 anos, foram capturados camurupim com 15 kg, xira de 5 kg a 7 kg e capturavam-se entre 6 kg e 8 kg de pitu (camarão canela), com cinco dúzias de covo. Atualmente, não se captura mais com essa abundância. Para os pescadores, os problemas que causam a baixa produção pesqueira são o assoreamento e a construção da barragem, resultando na diminuição do volume da vazão das águas do rio.

Outras duas práticas também foram citadas como causadoras de danos ao meio ambiente: a pesca com arpão e a pesca com veneno.

## **Amparo do São Francisco**

No presente trabalho, a rede de emalhar foi a principal arte de pesca utilizada no município para a captura de piauí, xira e traíra. Tarrafas são usadas para capturar, principalmente, traíra e tambaqui. Os covos são confeccionados pelos próprios pescadores ou por seus filhos, utilizando material local, a exemplo do marmeleiro (*Croton sonderianus*) e outros (taboca ou cipó). São iscados com bolinho de pó de arroz, milho ou pedaços de coco e dirigidos para a pesca dos piaús e/ou camarões. A linha de mão é dirigida para a pesca de piaús, atraídos com iscas de caramujo ou minhoca.

Entre as espécies alvo mais citadas no município de Amparo, é importante destacar a piranha, visto que, em nenhuma outra cidade da região, esse recurso mostrou-se tão tradicional. Xira e piauí também são muito importantes na pesca do município.

## **São Brás**

A pesca em São Brás apresenta grande diversidade de métodos e recursos alvo. As redes de emalhar e as tarrafas destacam-se. As redes de emalhar com malhas de 3 cm e 4 cm têm como objetivo a captura de xira, piauí, tucunaré e piranha. No caso das tarrafas, a malha de 2 cm é a mais utilizada, tendo como alvos: piaba, xira e piaús. Vara e anzol de molinete ou bambu são usados para a captura de piabas, pirambebas, piranhas e piaús. Com linha de mão e iscas artificiais, pedaços de carne, caramujo ou peixes pequenos, são capturados, principalmente, tucunarés e piranhas. A rede de arrasto é encontrada com malhas, principalmente, de 3 cm, e os pescadores a dirigem para a captura de xira, piauí, piranha e cará. A rede de calão é utilizada para capturar piaba e saburica (camarão pequeno). Covo, jereré, cuvu e boia de espeto também são importantes para a pesca do município.

Os pescadores de São Brás descreveram o problema decorrente da presença do cabelo (Egeria densa) para os pescadores da região. Segundo Bezerra et al. (2007), a Egeria densa vem caracterizando-se como uma espécie daninha no ecossistema aquático, causando problemas de usos múltiplos em decorrência do desenvolvimento excessivo, formando verdadeiros prados de macrófitas nas margens e em profundidades superiores a oito metros. Ela atinge diretamente a pesca, visto que, dentre outros fatores, o pescador perde muito tempo com o trabalho de desvencilhar as malhas das redes ou tarrafas dos ramos dessa alga.

## Telha

Definitivamente, os covos são a arte de pesca predominante entre os pescadores de Telha. São confeccionados em varas de marmeleiro e dirigidos à pesca de piau e, eventualmente, de xira, enquanto os confeccionados em telas de polietileno ou taliscas de taboca são dirigidos à pesca de camarões. A rede de emalhar para piau e xira, e vara e anzol para pirambeba e traíra são as demais artes mais importantes.

## Porto Real do Colégio

As principais artes de pesca usadas pelos pescadores de Porto Real do Colégio são: redes de emalhar, voltadas para a captura de xira e piau: jereré, que pode ser confeccionado com pano de mosqueteiro, para saburica, carazinho e piau; tarrafa, para piau e xira (malhas de 2 cm e 3 cm); vara e anzol, linha de mão, covos e rede de calão. Entre as principais espécies alvo relatadas pelos pescadores, destacam-se piau, xira, tucunaré, pilombeta, traíra e o camarão pítu, embora a maioria seja cada vez menos presente nas capturas.

A atividade pesqueira tem sido alternada entre peixes e siri, que representou grande volume de capturas nos últimos anos, ao passo que é apontada uma queda na produção da xira e da pilombeta, com último registro de captura ocorrido em 2012 na área do município.

Os entrevistados relataram o uso de bombas e bolinhos de arroz embebidos em formol (métodos proibidos em legislação ambiental), o que, possivelmente, aliado a outros fatores vem contribuindo com o declínio da atividade comprovada pelo desaparecimento de espécies como mandi (*Rhandia sp.* e *Pimelodella sp.*), caboge (*Oxidoras niger*), cascudo (*Hipostomus sp.* e *Pimelodus spp.*), pilombeta e curimatã-pacu ou xira e, com o avanço da salinidade continente adentro, aumento das capturas do xaréu (*Caranx latus*), peixe predominantemente marinho/estuarino.

## Propriá

A pesca local é diversificada. O uso de redes de emalhar predomina, com malhas de 2 cm a 15 cm, dirigidas, principalmente, para xira, piau e tilápia. Na pesca com tarrafas, são pescados xira, piau e tilápia, em malhas que podem variar entre 2 cm e 13 cm. Covos, para a pesca de piaus e camarões, são confeccionados com talas de taboca ou em varas de marmeleiro. Com vara e anzol, são pescados robalo e tucunaré. Linha de mão é dirigida à pesca de tucunaré, robalo e piranha. Jereré, rede de arrasto de croa, grosseira e cuvu também foram registrados.

No geral, piau, xira, tucunaré, tilápia, piranha e robalo são os principais peixes capturados. Também foram mencionados cari, dourado e pilombeta, entre outros.

## **Igreja Nova**

Igreja Nova destaca-se pela pesca em áreas alagadas e riachos, além da comunidade de Chinaré, na beira do rio São Francisco. Cinco artes de pesca foram registradas. A rede de espera (rede de emalhar) é usada para capturar xira, piau, piranha e traíra. A rede de emalhar, com malhas de 4 cm a 4,5 cm, fio 0,25 mm e 0,30 mm, é adquirida por R\$ 150,00 a R\$ 200,00. Na pesca com caceia, antes, só se capturava xira; agora, é só piau. Mas houve pescadores reclamando da diminuição dos piaus nas capturas também. Uma pescaria boa é considerada quando se capturam 10kg.

Entre os que afirmam pescar apenas no rio São Francisco, o cará foi a espécie mais representativa nas capturas, seguida por piaba, xira, piau e traíra. Outra importante modalidade é a pesca de camarão com covos.

O uso do jereré é justificado pela abundância de cará e traíra, suas espécies alvo, que são capturadas junto à vegetação. Vara de bambu e anzol também são usados na captura de cará, além de piabas e piranhas. Linha de mão e tarrafa também foram mencionadas. Áreas repletas de vegetação limitam o uso desses aparelhos – os anzóis da linha de mão podem se prender nos ramos e galhos e a roda da tarrafa tem seu fechamento prejudicado pela presença das plantas em que os peixes se abrigam. Nos riachos, as principais espécies capturadas são piaba, cará e traíra. O tucunaré é pescado com tarrafa, mas é muito predador das outras espécies.

Segundo relatos, algumas espécies tradicionais não ocorrem mais ou tornaram-se raras nas capturas, como cumbá, xira e tubarana. Os pescadores anseiam por peixamento de xira e piau cutia, por parte da CODEVASF.

## **Santana do São Francisco**

Em Santana de São Francisco, foram registrados seis apetrechos de pesca, dentre os quais destacaram-se os aparelhos de linha e anzol: vara e linha de mão, para captura de robalo, piranha, xira, piau e tucunaré. A pesca com jereré para saburica e piabas também foi mencionada, bem como redes de emalhar para piau, rede de arrasto e tarrafas para xira, traíra e cará e covos para camarões. Os covos são confeccionados com telas de polietileno e iscas de bolinho de farelo de arroz ou massa de pão.

## **Penedo**

Seis artes de pesca foram registradas em Penedo, com destaque para as redes de emalhar: as de malhas 6 cm são empregadas para a captura, principalmente, de xira e tucunaré; as de malha 10 cm para piranha, pirambeba, tucunaré, camurim, piau e as de malha 12 cm para piranha, tucunaré e piau. A tarrafa, cujo principal comprimento de malha é de 3 cm, é dirigida para a captura da xira. A linha de mão é voltada para as capturas de robalos, piranhas e piaus. A groseira, cada vez menos usada, é dirigida, principalmente, para a pesca de piranhas. Rede de arrasto e vara e anzol, segundo os pescadores, não são utilizados na pesca comercial.

Soares *et al.* (2011) descrevem a composição das espécies desembarcadas na cidade de Penedo, registrando 22 delas, dentre as quais predominaram a xira (percentual médio de 40%) e o piau (22%).

No presente trabalho, os principais recursos pesqueiros foram xira e piau, as principais espécies capturadas pelos pescadores, seguidos por tucunaré, tilápia, piranha e camurim.

Segundo os pescadores, a xira está cada vez mais rara nas capturas. Piau cutia,

tubarana e surubim desapareceram. Segundo eles, os surubins ficam mais acima, em maiores profundidades, perto da barragem de Xingó. Atualmente, estão capturando muitas espécies do mar, como: carapeba, curimã, xaréu, robalo, camurim e camurupim.

## Neópolis

O uso de redes de emalhar para pescar xira, tucunaré, piau, pilombeta e carapeba e de linha de mão para piranha são os preferidos entre os pescadores. Robalos podem ser capturados em ambos. Em seguida, aparentemente, jereré para a captura de camarões e piaba e vara e anzol são os mais utilizados no município. Covos, sejam eles de tela de polietileno ou de taliscas de taboca, têm o objetivo de capturar camarões. Tarrafas também foram mencionadas. Além de algumas das espécies supracitadas, elas podem capturar tilápia, traíra e bagre.

## Ilha das Flores

As redes de emalhar são, indiscutivelmente, os apetrechos dos pescadores de Ilha das Flores, caracterizando uma pesca predominantemente comercial. As malhas 8 cm, 10 cm e 14 cm são dirigidas à pesca da carapeba e do robalo; a malha 2,5 cm relaciona-se à pesca da pilombeta; as malhas 11 cm e 12 cm estão mais relacionadas à captura da xira e do bagre. A linha de mão é usada para pescar xaréu, bagre e robalo e a isca mais utilizada é a pilombeta. Chiqueiros, rede de arrasto e covos também são muito comuns entre os municípios de Ilha das Flores.

## Piaçabuçu

O município de Piaçabuçu é considerado o principal polo pesqueiro da região. Sua pesca destaca-se pela diversidade, sendo realizada nas águas do estuário e da costa, mobilizada pela diversidade de ambientes (salinos, estuarinos e dulciaquícolas) e alteração da salinidade. É considerado o maior produtor pesqueiro de camarões marinhos e peixes de Alagoas. Cerca de 2.500 pescadores são registrados na Colônia Z 19. No rio e no estuário, estima-se que atuam 800 embarcações.

As redes de emalhar são os principais aparelhos de pesca, com destaque para as redes para pilombeta, seguidas pelas redes para carapeba e robalo, cada uma com dimensões e materiais específicos. A faina de pesca no rio tem a saída à noite e retorna de madrugada; os que pescam no mar saem e passam o dia todo.

Também são encontradas na região grosseiras para bagre e tubarão, covo, jereré (para a pesca de camarão miúdo) e a linha de mão e tarrafa.

Em Piaçabuçu, a principal espécie capturada pelos pescadores entrevistados é a pilombeta. No entanto, os dados levantados na região indicam quedas nas capturas da pilombeta. Um dos recursos que chegou a representar cerca de 18% das capturas na mesorregião de Penedo, equivalendo à terceira espécie mais capturada (Soares *et al.*, 2011), praticamente desapareceu da região e, como possíveis causas, a pouca vazão do rio e elevados índices de contaminantes provenientes de esgotos das cidades podem ter contribuído para essa diminuição. Assim como observado nos outros municípios, os pescadores relataram queda nas capturas de xira e piau e demais espécies do rio, e aumento nas capturas de siris e espécies do mar, como curimã (*Mugil sp.*), carapeba, robalo e camuripim.

Os peixes de água doce só aparecem quando ocorre uma grande chuva. Em 2000, a

água era doce ainda, havia muita pilombeta, realizavam-se lances de rede que capturavam cerca de 300 kg. O peixe mandi faz 15 anos que não aparece, assim como o surubim: todos desaparecidos. Os pescadores informaram que as áreas, tanto do rio como do estuário, não foram atingidas pelo desastre do óleo.

Uma pesca boa no rio é quando capturam de 20 kg a 30 kg; no inverno, podem capturar até 80 kg.

Adicionalmente, os entrevistados relataram algumas modalidades de pescaria que prejudicam a ictiofauna e contribuem com a sobrepesca dos principais estoques, tais como: pesca de batida, arrasto, arpão, rede de cerco ou lambuda (malha inferior à permitida pelos órgãos ambientais), além de competição com pescadores de outras regiões, implantação de cooperativa, necessidade de capacitação em mecânica e manutenção de motores e cuidados com o descarte adequado de óleo dos motores das embarcações de maior porte, exigindo para o sucesso da atividade, medidas protetivas de espécies com aumento da fiscalização. Ações para conter roubos, drogas e violência nas comunidades de pescadores e diminuição com atrasos no pagamento no seguro-defeso foram citadas como empecilhos para a atividade de pesca em Piaçabuçu.

Há registros de atividades oficiais esporádicas de peixamento no rio, porém, essas ações estão muito aquém do mínimo necessário para que se permita recompor a fauna piscosa do rio, bem como seu equilíbrio ambiental. Com o agravamento do assoreamento e a redução da vazão do rio nos últimos anos, têm aumentado os problemas ambientais e, conseqüentemente, reduzido a disponibilidade de peixes, tanto em número quanto em relação à quantidade de espécies existentes e que povoam o rio.

## **Brejo Grande**

Brejo Grande é o município mais inserido nas águas estuarinas e é comum encontrar uma grande variedade de espécies nessa área, devido à presença de peixes de água doce e água salgada, peixes anádromos e peixes diádromos. Isso ocorre pelas características físico-químicas das águas da região, que proporcionam ótimas condições para diversas espécies alimentarem-se e reproduzirem-se.

As principais comunidades pesqueiras de Brejo Grande são Saramém, Centro e Cabeço. O município sofreu mudanças bruscas com relação a dinâmicas das marés, geomorfologia do litoral, diminuição da vazão, invasão da cunha salina e alterações de trechos do rio e, conseqüentemente, na pesca. A comunidade do Cabeço foi obrigada a migrar, em grande parte para o Saramém, devido ao avanço do mar.

Segundo Souza e Leitão (2000), as técnicas de captura mais empregadas no povoado Saramém são: caçaria de pilombeta, rede de carapeba e operação manual (técnica de coleta do caranguejo).

No presente trabalho, as redes de emalhar foram o aparelho de pesca predominante. As redes são operadas para capturar pilombeta, xira, piaú, traíra e tucunaré. As malhas variam entre 2 cm e 14 cm.

A pesca com linha de mão foi a segunda mais mencionada. Os pescadores a utilizam para a captura de carapeba, mandi e bagre.



## REFERÊNCIAS

BARBOSA, J.M.; SOARES, E.C.S. Perfil da ictiofauna da Bacia do São Francisco: estudo preliminar. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 4, p. 155-169, 2009.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Salvador: ANA,GEF,PNUMA,OEA, 2004.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Org.). **Águas, Peixes e Pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas.

SATO, Y.; H. P. GODINHO. Migratory fishes of the São Francisco River. p. 199-232. In: CAROLSFELD, J. B.; HARVEY, C. ROSS; BAER, A. (Eds.). **Migratory fishes of South America: biology, fisheries, and conservation status**. Victoria: World Fisheries Trust, IDRC, World Bank, 2003.

SOARES, E. C. *et al.* Ictiofauna e Pesca no Entorno de Penedo, Alagoas. *Revista Biotemas*, v. 24, n.1, p. 61-67, 2011.

SOUZA, M. R. M. DE.; NEUMANN LEITÃO, S. Consequências Socioeconômicas dos Impactos Antrópicos no Estuário do Rio São Francisco em Brejo Grande, Sergipe-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 28, n.1, p. 97- 116, 2000.

# HYGIENIC-SANITARY ASPECTS OF FISH MARKETS IN SEVEN MUNICIPALITIES IN ALAGOAS

Tereza Iracema Reis Simões

Jhennipher da Silva Pereira

Julieta de Fátima Xavier da Silva

## SUMMARY

The present study aimed to report the hygienic and sanitary quality of fish marketed at free fairs and public markets in the Municipalities of Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo, and Piaçabuçu - AL. For this purpose, Check-List questionnaires were applied based on the current legislation, and 39 free fair vendors were interviewed. The quality index method - QIM was used to evaluate organoleptic characteristics and fish freshness. Of the total respondents, 59% were male, and 41% were female, with an average of 45 years of age; 58% were married, with a family composed of 2 to 10 members. The vendors have an average of 20.6 years in the trade; 34.2% work exclusively with the sale of fish, and 68% receive benefits from the government. Low schooling is a common feature. The most commercialized species are curimatã (*Prochilodus argenteus*), corvina (*Micropogonias furnier*), tilapia (*Oreochromis niloticus*), piau (*Leporinus* sp.), tambaqui (*Colossoma macropomum*), and river shrimp (*Macrobrachium* spp.). The research identified hygienic-sanitary problems in free fairs and markets, such as the poor conditions of stalls, equipment and utensils; merchants with inappropriate clothing and handling practices; and products marketed at inadequate temperature and storage. Thus, fairs have inappropriate structures for marketing, triggering agents that directly interfere in the good quality of fish, being therefore of paramount importance the adequacy of the facilities and the correct handling and supply of fish.

# CAPÍTULO 15

## ASPECTOS HIGIÊNICO-SANITÁRIOS DA COMERCIALIZAÇÃO DE PESCADO EM SETE MUNICÍPIOS DE ALAGOAS

Tereza Iracema Reis Simões<sup>72</sup>

Jhennipher da Silva Pereira<sup>73</sup>

Julieta de Fátima Xavier da Silva<sup>74</sup>

### INTRODUÇÃO

As feiras livres são apontadas como um dos principais espaços de comercialização varejista, devido às variadas formas de apresentação como o produto é disponibilizado para a venda (JESUS; SANTOS; CARVALHO, 2018).

No Brasil, as feiras livres foram introduzidas pelos portugueses durante o período colonial, sendo o modelo de mercado periódico mais antigo e tradicional do País, exercendo grande importância no desenvolvimento econômico, social e cultural (SILVA JÚNIOR; FERREIRA; FRAZÃO, 2017).

Existe uma preferência do consumidor pelas feiras livres e mercados públicos devido à oferta de produtos com um preço mais acessível, e devido ao conceito de que os alimentos ali comercializados são sempre frescos e de qualidade superior (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2017), incluindo o pescado fresco, condição preferencial pela maioria dos consumidores (JESUS *et al.*, 2018).

Entretanto, vale ressaltar que, nesses centros de comercialização, os produtos estão expostos a várias situações que propiciam a sua contaminação, dentre as quais podem ser citadas: a contaminação por meio de manipulação inadequada, exposição dos produtos em bancas e barracas sem refrigeração e sem proteção contra insetos, bem como o seu acondicionamento e armazenamento em condições inapropriadas, tornando-se um ambiente propício para incorporar externamente materiais estranhos de origem biológica ou não (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2017), o que pode refletir diretamente na saúde do consumidor.

Os problemas de saúde ocasionados pelo consumo de pescado quase sempre estão relacionados a práticas inadequadas de armazenamento e comercialização, em feiras livres ou mercados municipais, devido ao não cumprimento do trinômio tempo, temperatura e higiene, razão pela qual a segurança alimentar vem ganhando espaço e atenção global, face à ocorrência de doenças veiculadas por alimentos (EVANGELISTA-BARRETO *et al.*, 2017).

Segundo o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (Riispoa) (2017), subseção VI, art. 205, entende-se por pescado os peixes, os crustáceos, os moluscos, os anfíbios, os répteis, os equinodermos e outros animais aquáticos

<sup>72</sup> Laboratório de Tecnologia do Pescado (Latepe), Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Unidade Penedo, Penedo, AL, Brasil.

<sup>73</sup> Laboratório de Tecnologia do Pescado (Latepe), Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Unidade Penedo, Penedo, AL, Brasil.

<sup>74</sup> Laboratório de Tecnologia do Pescado (Latepe), Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Unidade Penedo, Penedo, AL, Brasil.

usados na alimentação humana. O pescado é um alimento de excelente valor nutritivo, devido às suas proteínas de alto valor biológico, vitaminas e ácidos graxos insaturados (EVANGELISTA-BARRETO *et al.*, 2017). Entretanto, é um alimento bastante perecível, por ser muito suscetível à autólise; à oxidação de gorduras; à ação bacteriana; por apresentar pH próximo à neutralidade; elevada atividade de água nos tecidos e alto teor de nutrientes facilmente utilizáveis pelos microrganismos (OGAWA; MAIA, 1999). Dentre as alterações que caracterizam a deterioração do pescado estão aquelas relacionadas às características organolépticas do pescado fresco. Por essa razão, necessita de condições sanitárias adequadas desde a captura, manipulação até a comercialização.

Desse modo, a aplicação de métodos que investiguem a qualidade de produtos pesqueiros comercializados em feiras livres/mercados públicos proporciona levantamentos de informações para o setor, tais como problemas, dificuldades e desafios. Esse tipo de informação é de grande importância para se ofertar produtos de boa qualidade, saudáveis e seguros aos consumidores, principalmente por serem ofertados frescos. Por esses motivos, o objetivo deste trabalho foi avaliar a condição higiênico-sanitária de sete feiras livres em municípios do Baixo São Francisco.

## Coleta de dados

O presente trabalho foi desenvolvido nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu (**Figura 98**), no período de 17 a 27 de novembro de 2019. A pesquisa foi exploratória e fundamentou-se em análise qualitativa e investigativa, por meio da observação e avaliação da realidade. Para tanto, foram elaborados questionários do tipo Check-List adaptados da:

- Portaria nº 368, de 04 de setembro de 1997, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1997), que regulamenta as normas das condições higiênico-sanitárias e da avaliação da estrutura física de comercialização do pescado, sendo avaliados os seguintes itens: Condições Ambientais e Edificações, Condições Higiênicas dos Utensílios e Equipamentos, Perfil dos Manipuladores, Condições do Pescado e Destino dos Resíduos Orgânicos (lixo);

- Portaria nº 326, de 30 de julho de 1997, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (BRASIL, 1997), que dispõe sobre o Regulamento Técnico Sobre as Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos.

- Portaria nº 185, de 13 de maio de 1997, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1997). Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco.

- Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002 (BRASIL, 2002), que dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados Aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos;

- Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2004), que dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviço de Alimentação, e

- Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017 (BRASIL, 2017), do Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989. Inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União, Brasília, 29 de março de 2017.

Tais questionários enfatizaram o recebimento e a exposição do pescado à venda, a higiene do manipulador e dos materiais e utensílios, além da infraestrutura das instalações/edificações.

Figura 98 - Locais da pesquisa: Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL



Fonte: Pereira (2019)

Os questionários foram aplicados durante a II Expedição do aixo Rio São Francisco, nos dias em que ocorrem as feiras nos referidos municípios, avaliando os seguintes pontos: perfil socioeconômico, aspectos gerais higiênico-sanitários, requisitos e aspectos higiênicos dos funcionários e aspectos gerais sobre a comercialização. Para mensurar a temperatura, foi utilizado termômetro infravermelho digital.

Para avaliar características organolépticas do pescado, utilizou-se o Método de Índice de Qualidade (MIQ). Amostras de peixe foram avaliadas de acordo com o protocolo de avaliação da corvina (*Micropogonias furnieri*) (adaptado de TEIXEIRA *et al.*, 2009), sendo avaliados os atributos: aspectos gerais, olhos e brânquias, com escala de pontuação (escores) de 0 a 2 para cada atributo. Amostras de camarão foram avaliadas de acordo com o protocolo de avaliação de *Litopenaeus vannamei* (adaptado de OLIVEIRA *et al.*, 2009), sendo avaliados os atributos: aroma, cor, melanose, aderência da carapaça e aderência ao corpo, com escala de pontuação de 0 a 2 para cada atributo. O total de pontuação de cada protocolo variou de 0 a 22 (limite de aceitabilidade) para peixes e de 0 a 10 (limite de aceitabilidade) para camarão, considerando a menor pontuação (zero) para o pescado fresco e a partir de 22 pontos (peixe) ou 10 pontos (camarão), para estado de deterioração ou deteriorado, impróprio para a comercialização.



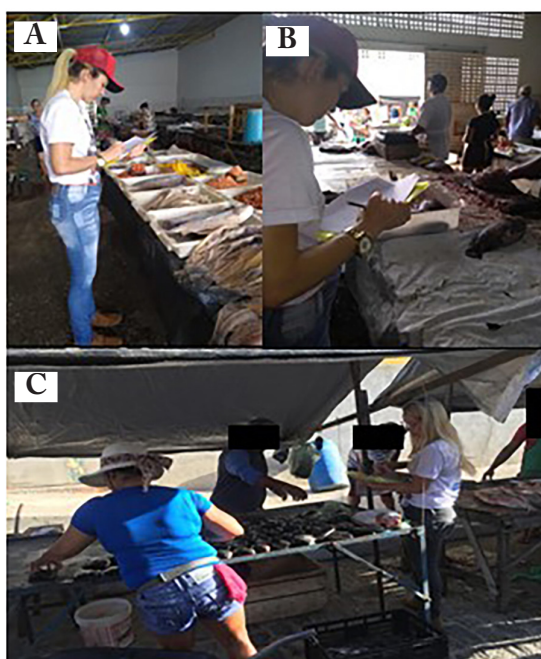
Para a análise dos dados, foi utilizada estatística descritiva qualitativa e quantitativa, utilizando o Programa Microsoft Excel 2016®.

### Perfil Socioeconômico

Os dados sobre feirantes envolvidos com a comercialização de pescado são deficientes e não mantêm atualização ordenada. Para potencializar a expectativa de sucesso na organização de políticas públicas habilitadas em melhorar as condições de trabalho dos feirantes, é primordial que se tenha conhecimentos seguros sobre a cadeia produtiva e os trabalhadores envolvidos. Portanto, faz-se essencial ter elementos e informações sobre as características socioeconômicas, assim como a caracterização dos aspectos higiênico-sanitários das feiras, para entender seus anseios e perspectivas de melhorias na atividade.

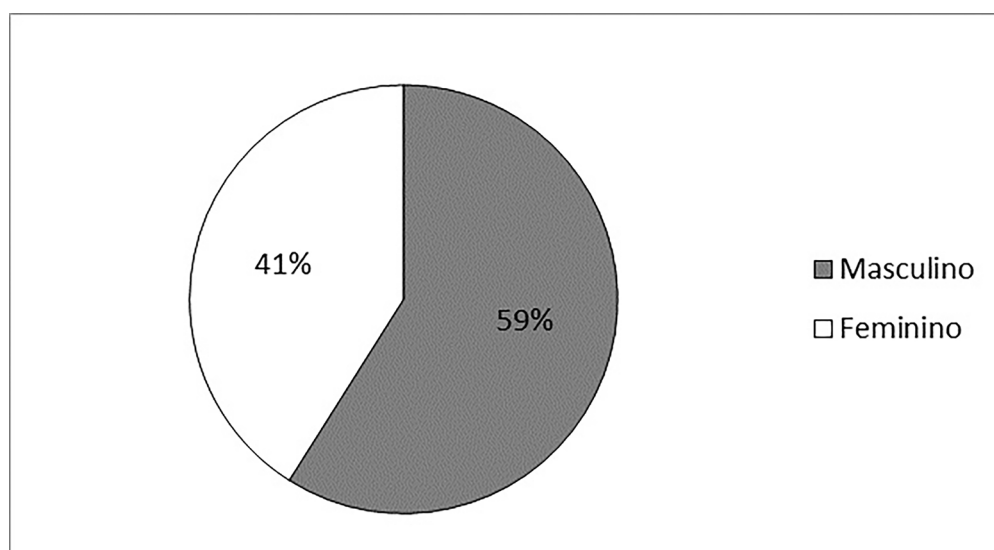
Foram entrevistadas, ao todo, 39 pessoas que desenvolvem alguma atividade relacionada com a venda de pescado (Figura 99), das quais 59% eram do sexo masculino e 41% do sexo feminino (Figura 100), sendo um homem e três mulheres em Piranhas, seis homens e duas mulheres em Pão de Açúcar, quatro homens e duas mulheres em Traipu, cinco homens e uma mulher em Porto Real do Colégio, três homens e duas mulheres em Igreja Nova, um homem e três mulheres em Penedo e um homem e cinco mulheres em Piaçabuçu, esta última mais associada ao beneficiamento do pescado (Figura 101). Esses resultados corroboram com os dados obtidos por Jesus *et al.*, (2018) nas feiras livres do município de Santana-BA, demonstrando que o tipo de atividade é mais exercido pelo sexo masculino.

Figura 99 - Coleta de informações qualitativas em entrevistas com os feirantes de Igreja Nova-AL (A, B) e Traipu (C).



Fonte: Muniz (2019).

Figura 100 - Divisão por sexo de feirantes de pescado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL



Fonte: Pereira (2019)

Figura 101 - Atividade do processamento de filetagem do camarão espigão (*Xiphopenaeus kroyeri*) em Piaçabuçu-AL.

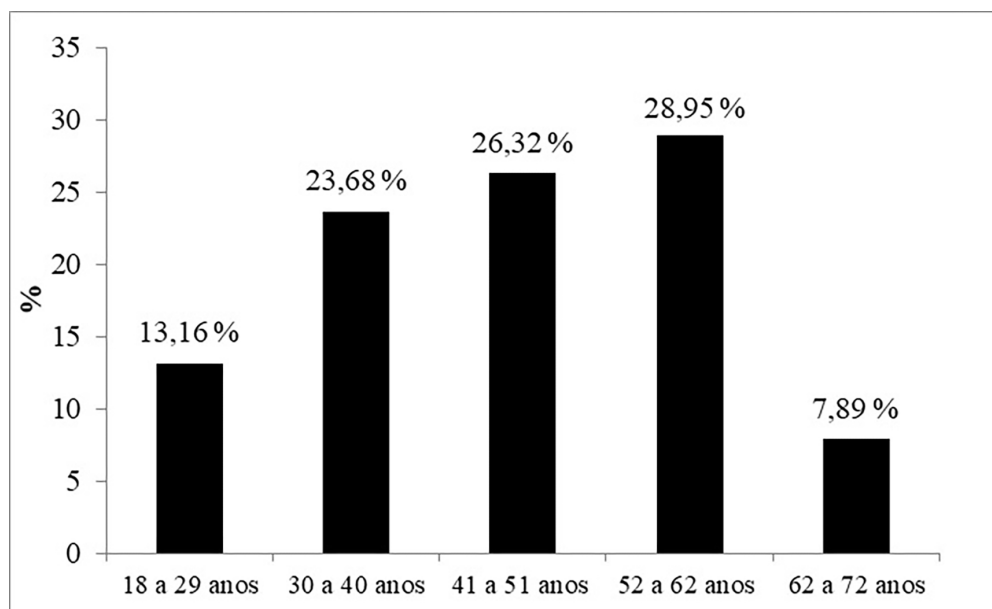


Fonte: Simões (2019).

A atividade de feirante ocupa jovens e idosos com idade entre 18 e 72 anos. A média contabilizando ambos os sexos é de 45 anos, idade que compreende a faixa etária de 41 a 51 anos, representando 26,2% dos entrevistados; porém, a faixa etária entre 52 e 62 anos representa 28,95% dos entrevistados (Figura 102). Resultados semelhantes foram apontados por Jesus *et al.* (2018), em que pessoas com idade acima de 45 anos foram mais

representativas nas feiras livres do município de Santana-BA, indicando que a maioria dos feirantes são adultos.

Figura 102 - Faixa etária dos feirantes de pescado dos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.

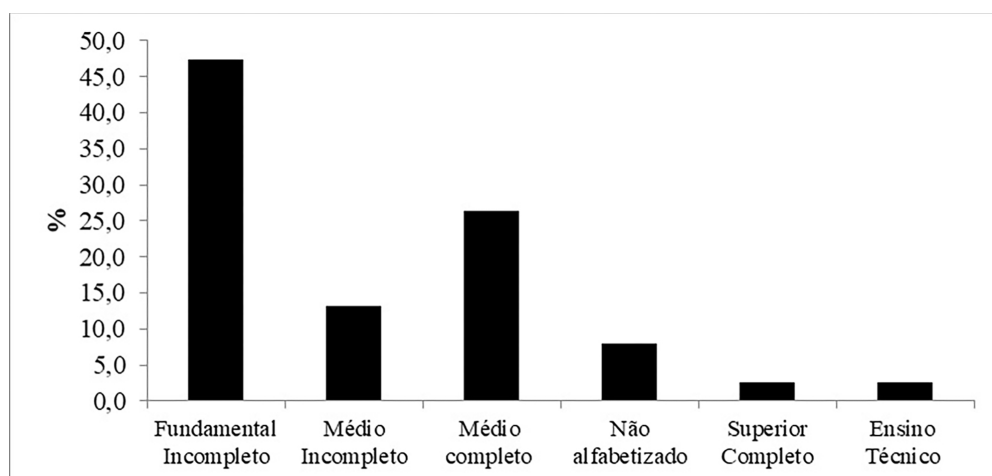


Fonte: Pereira (2019).

Outra característica é o elevado índice de baixa escolaridade. Apenas 26,3% possuem o ensino médio completo, 47,4% possuem o fundamental incompleto, 13,2% o médio incompleto, 7,9% não são alfabetizados e 2,6% possuem nível superior e técnico (Figura 103).

Quanto à escolaridade, esses resultados contrastam com os dados obtidos por Jesus *et al.* (2018), de que quase metade dos participantes declararam que possuíam ensino médio completo e os demais enquadravam-se nas outras categorias de escolaridade.

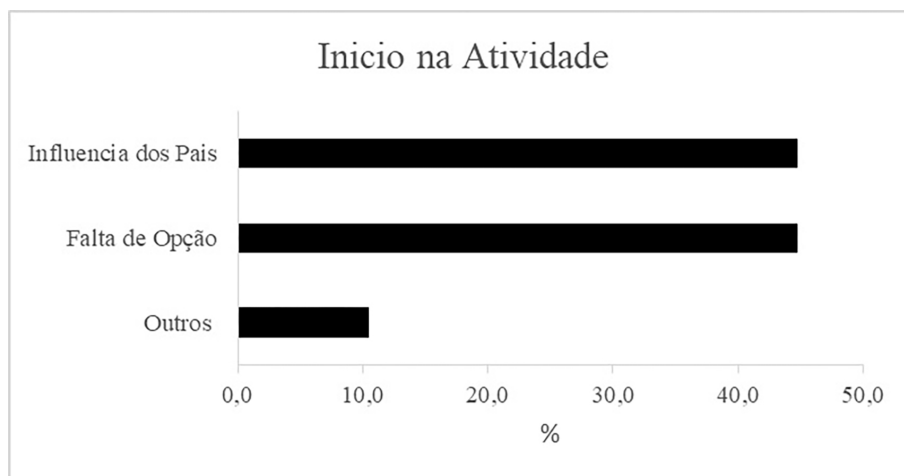
Figura 103 - Escolaridade dos feirantes de pescado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.



Fonte: Pereira (2019).

Do total dos feirantes, 44,7% estão envolvidos na atividade por falta de opção, 44,7% por influências dos pais e 10,5% por outros motivos (Figura 104), o que demonstra uma estagnação de grande parte desses trabalhadores e uma falta de perspectiva de mudanças.

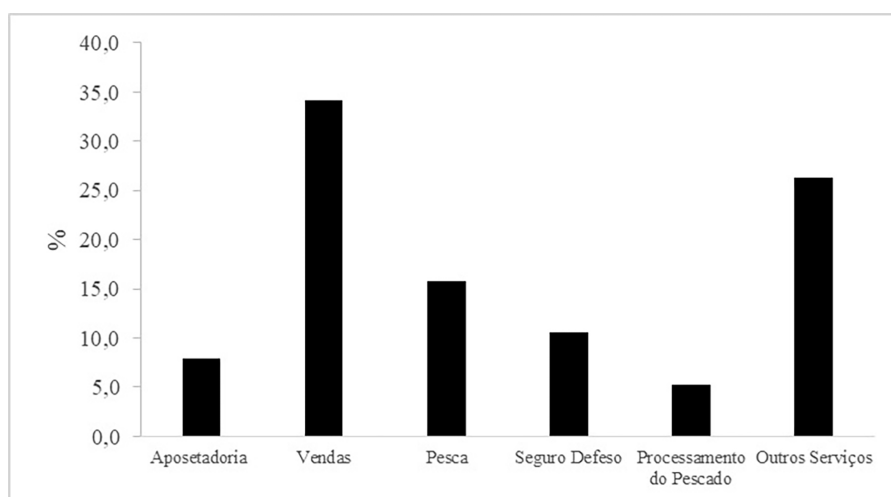
Figura 104 - Motivos para ingressar na atividade de comercialização do pescado.



Fonte: Pereira (2019).

Os feirantes possuem, em média, 20,6 anos de serviço; 34,2% trabalham exclusivamente com a venda do pescado, porém, devido à necessidade de complementar a renda familiar, alguns possuem outras fontes de renda; 7,9% recebem aposentadoria; 15,8% trabalham na pesca; 10,5% recebem o seguro defeso; 5,3% trabalham com processamento do pescado e 26,3% realizam outros serviços (Figura 105). Por outro lado, Jesus *et al.* (2018) descreveram que 75,6% dos entrevistados declararam que a principal fonte de renda é oriunda da venda do pescado e apenas 24,35% declaram fazer outras atividades, não relacionadas ao trabalho em feiras livres.

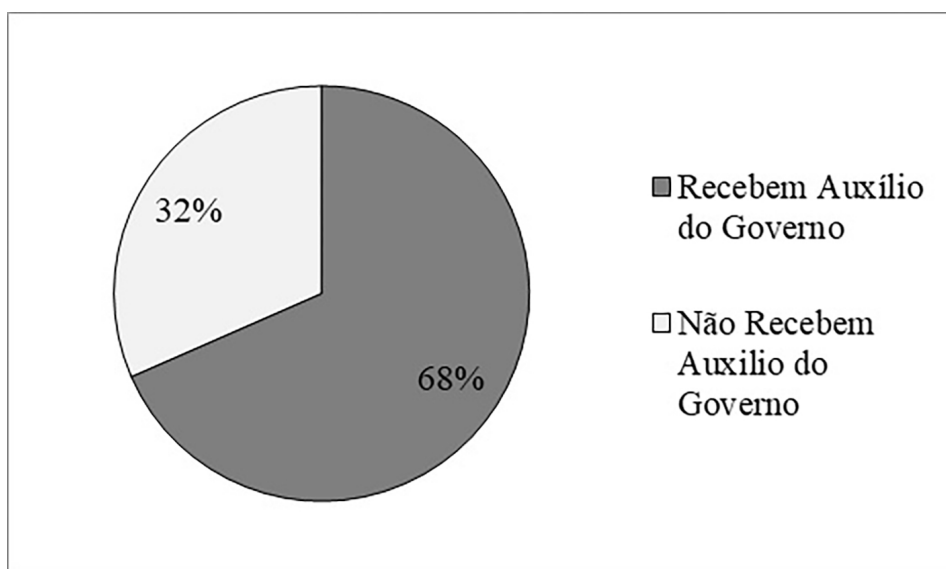
Figura 105 - Porcentagem de outras fontes de renda dos feirantes de pescado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.



Fonte: Pereira (2019).

Em relação ao estado civil, 58% são casados, com família composta por 2 a 10 membros; 29% são solteiros e 13% mantêm outros tipos de relacionamento. Essas famílias sofrem impacto considerável dos programas de transferência de renda, uma vez que 68% de todos os entrevistados afirmaram que recebem algum tipo de benefício do governo (Figura 106).

Figura 106 - Porcentagem dos feirantes de pescado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL que recebem algum benefício governamental.



Fonte: Pereira (2019).

### Aspectos higiênico-sanitários/instalações das feiras livres

Quanto aos aspectos gerais do ambiente da feira, não foram observadas instalações sanitárias em 100% delas, mesmo parte do comércio, sendo este realizado em mercados públicos.

A disponibilidade de água utilizada pelos feirantes foi constatada em todas as bancas, porém apenas Piranhas, Pão de Açúcar, Porto Real do Colégio, Igreja Nova e Penedo possuíam água potável, enquanto em Traipu e Piaçabuçu os feirantes utilizavam água do rio. Em todas as feiras, o mesmo recipiente de água (balde) era destinado à limpeza do pescado, de utensílios e das mãos. Essa condição dificulta a higienização dos manipuladores, equipamentos e produto. Além disso, o compartilhamento de um único recipiente de água para o uso durante a comercialização do pescado é uma ação que possibilita a contaminação cruzada e, portanto, traz risco à saúde do consumidor. A falta de organização e de higiene nas bancas de pescado foi observada em todos os locais amostrados, inclusive os feirantes manipulavam o pescado e dinheiro ao mesmo tempo. A RDC nº 216 (BRASIL, 2004) preconiza que a higienização das mãos dos manipuladores deve ocorrer antes e após o início das atividades, depois da interrupção da manipulação e quando se julgar necessário.

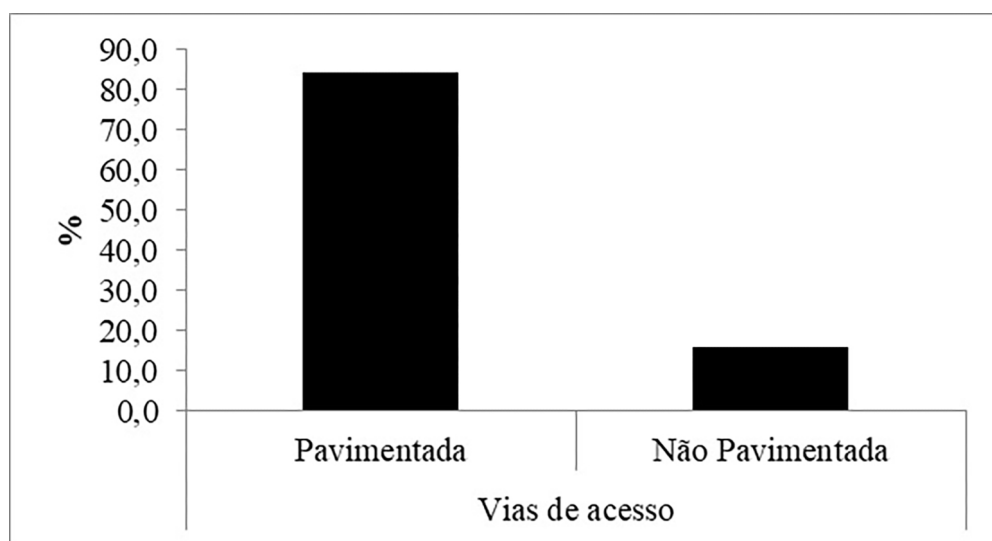
Verificou-se que 15,8% das vias de acesso às feiras são de solo de barro e 84,2% são pavimentadas (Figura 107), sem limitação de acesso, apenas com circulação de pessoas e alguns ciclistas. Existem instalações elétricas em apenas 57% das feiras (Piranhas, Igreja Nova,



Penedo e Piaçabuçu), porém, com iluminação sem proteção, oferecendo risco de acúmulo de sujeira e quebras acidentais.

Frequentemente, a comercialização nas feiras livres é feita de maneira improvisada, sem edificação apropriada, apresentando inconformidades que promovem a deterioração do pescado e a contaminação cruzada, facilitando a veiculação de doenças transmitidas por alimentos (SILVA JUNIOR *et al.*, 2017; EVANGELISTA-BARRETO *et al.*, 2017). Ressalta-se que a adequação e a manutenção destes espaços públicos são de responsabilidade do poder público (SILVA JUNIOR *et al.*, 2017).

Figura 107 - Adequação das feiras livres às vias de acesso.

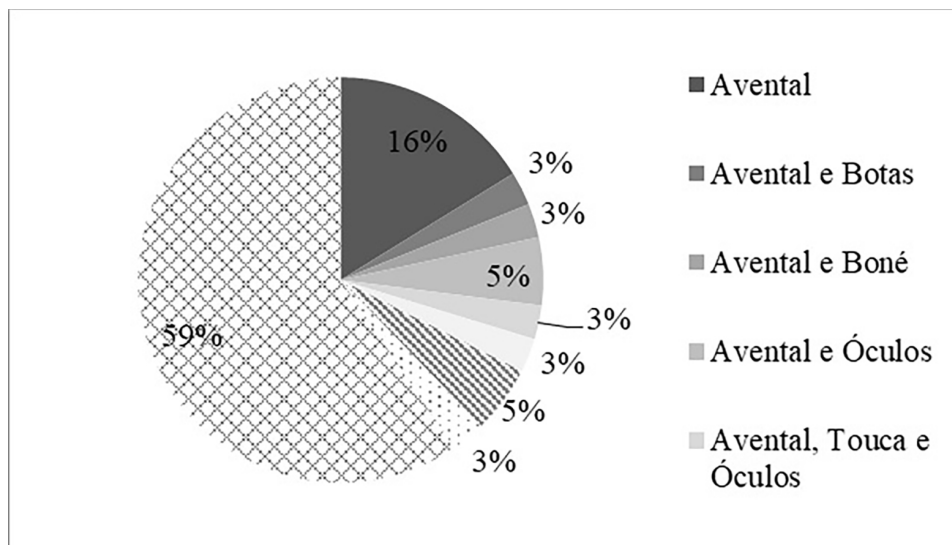


Fonte: Pereira (2019).

Em relação à conduta pessoal, 100% dos feirantes mantinham as unhas aparadas, as mulheres mantinham os cabelos presos e os homens, os cabelos curtos. Segundo a RDC nº 216 (BRASIL, 2004), os manipuladores de alimentos devem estar com as mãos higienizadas corretamente, unhas curtas, sem esmalte ou base, e completamente sem adornos e maquiagem (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2017).

O uso da vestimenta está apresentado na Figura 108 e demonstra que 59% dos feirantes não usam nenhum equipamento de uso pessoal (EPI); apenas 16% usam avental (Figura 109); 5% usam botas; 3% usam avental e botas; 3% usam avental e boné; 3% usam avental, touca e olhos; 3% usam boné, e 3% usam luvas. As más condições, como vestuário e utensílios inapropriados, fragiliza a comercialização do pescado.

Figura 108 - Equipamentos de uso individual (EPI) utilizados pelos feirantes de pescado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.



Fonte: Pereira (2019).

Figura 109 - Uso de avental pela feirante no município de Penedo-AL.

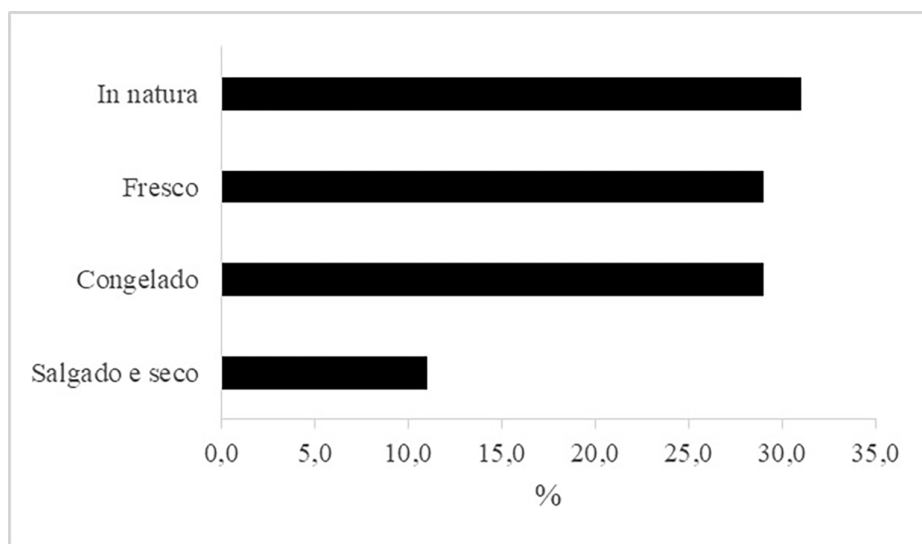


Fonte: Albuquerque (2019).

Os feirantes adquirem o pescado de aquicultores ou pescadores da região de forma irregular, pois 31,0% são recebidos *in natura*, em sacos de nylon reaproveitados, em temperatura ambiente, e toda a pesagem e separação são feitas no chão; 29,0% são recebidos frescos, ou seja, acondicionados em gelo; 29,0% congelados e 11,0% salgados e secos (Figura 110).

Percebe-se que, durante o recebimento, grande parte do pescado não é acondicionado em gelo, podendo causar deterioração dos produtos.

Figura 110 - Natureza do pescado recebido pelos feirantes nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.



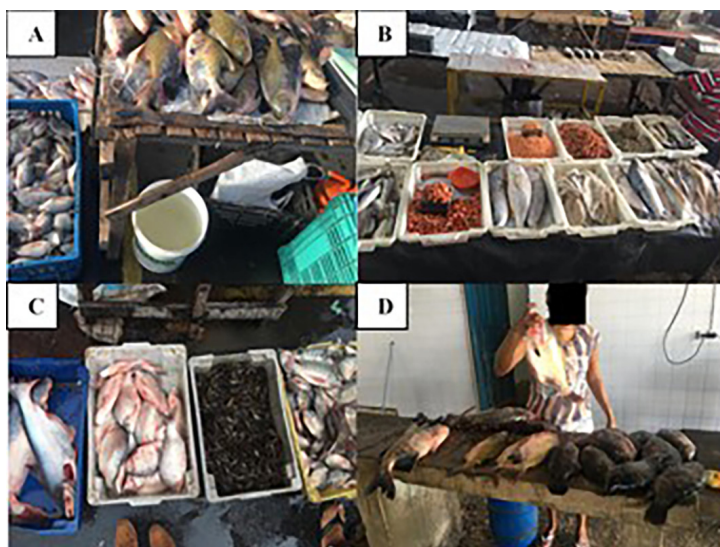
Fonte: Pereira (2019).

A Resolução da Anvisa RDC nº 216 (BRASIL, 2004) preconiza que a recepção da matéria-prima deve ser realizada em área protegida e limpa. Já a Portaria SVS/MS nº 326 (BRASIL, 1997) determina que devem ser utilizados controles adequados para evitar a contaminação química, física, microbiológica ou por outras substâncias indesejáveis. Também devem ser tomadas medidas de controle com relação à prevenção de possíveis danos, colaborando para o auxílio contra o contágio das matérias-primas e danos à saúde pública.

Com relação aos equipamentos e utensílios, em nenhum dos pontos de comercialização utilizavam-se caixas isotérmicas novas, limpas e em bom estado de conservação. A Figura 111 mostra como o pescado era comercializado nas feiras: 79% estavam expostos em mesas de madeira, às vezes cobertas por toalhas de plástico; 13% em caixas isotérmicas sem gelo; 3% em bandejas plásticas sem gelo e 5% sobre superfícies não apropriadas (Figura 112), expostos sem conservação em gelo e sem proteção, estando sujeitos ao contato com vetores, sujidades, manuseio dos consumidores e outras possíveis fontes de contaminação.

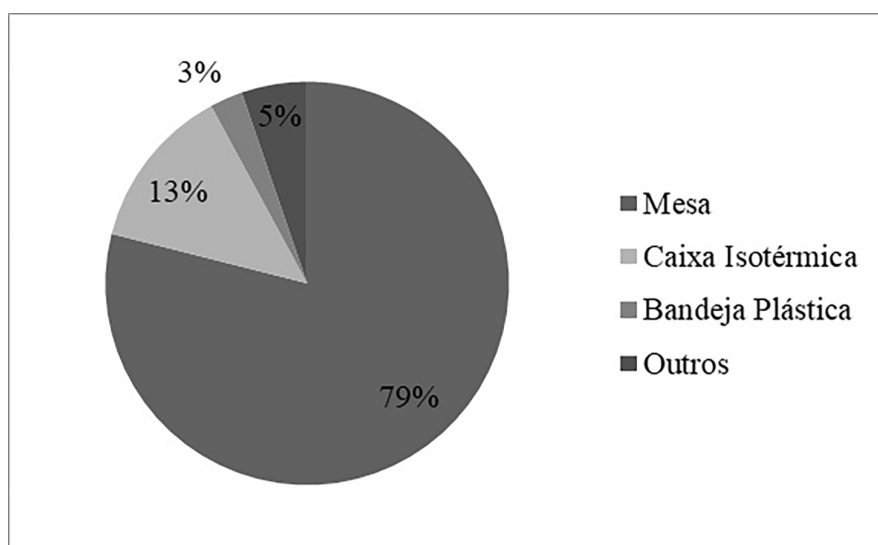
A Portaria SVS/MS nº 326 (BRASIL, 1997) determina que todo equipamento e utensílio utilizado nos locais de manipulação de alimentos devem ser confeccionados de material que não transmita substâncias tóxicas, odores e sabores; que sejam não absorventes e resistentes à corrosão e capazes de resistir a repetidas operações de limpeza e desinfecção. As superfícies devem ser lisas e isentas de rugosidade, frestas e outras imperfeições que possam comprometer a higiene dos alimentos e ser fontes de contaminação.

Figura 111 - Pescados expostos à venda. A: Porto Real do Colégio-AL; B: Igreja Nova-AL; C: Pão de Açúcar-AL; D: Penedo-AL.



Fonte: Simões (2019).

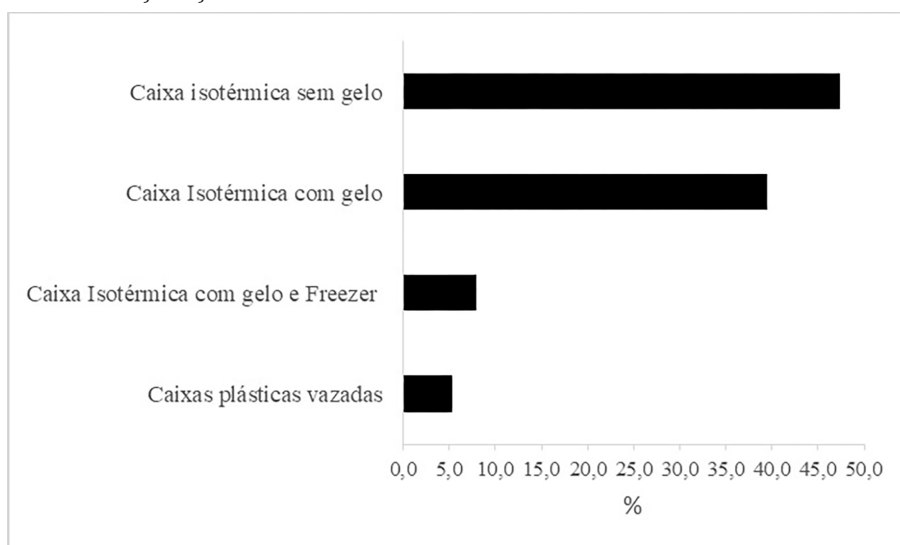
Figura 112 - Formas de exposição do pescado comercializado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.



Fonte: Pereira (2019).

Durante a comercialização, 5,3% do pescado eram armazenados em caixas plásticas vazadas sem gelo; 47,4% em caixa isotérmica sem gelo; 39,5% em caixa isotérmica com gelo e apenas 7,9% levavam o pescado para sua residência ou para local de processamento (Figura 113), onde eram congelados a  $-20^{\circ}\text{C}$ , em freezer doméstico (Figura 114).

Figura 113 - Tipos de armazenamentos do pescado comercializado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.



Fonte: Pereira (2019).

Figura 114 - Armazenamento do pescado no município de Piaçabuçu-AL.



Fonte: Simões (2019).

A Figura 115 mostra a mensuração da temperatura de peixes mantidos em caixa plástica vazada (A), com média de  $25,2^{\circ}\text{C} \pm 3,8^{\circ}\text{C}$  e camarões mantidos em caixa isotérmica com gelo (B), com média de  $5,2^{\circ}\text{C} \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ , porém de forma superficial, ou seja, inadequada.



Figura 115 - Mensuração da temperatura do pescado com termômetro infravermelho.



Fonte: Xavier da Silva (2019).

Quanto à temperatura, o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (Riispoa) define como pescado “fresco” aquele que não foi submetido a qualquer processo de conservação, a não ser pela ação do gelo. Ainda de acordo com o Riispoa, o gelo utilizado na conservação do pescado deve ser produzido a partir de água potável ou de água do mar limpa. Assim, a redução da temperatura do pescado é um fator importante na manutenção da sua qualidade (ARAÚJO *et al.*, 2015), pois reduz a proliferação de microrganismos e resguarda suas características sensoriais e nutricionais (EVANGELISTA-BARRETO *et al.*, 2017).

Portanto, o pescado *in natura* deve estar sempre acondicionado em caixas térmicas, recoberto por gelo, de preferência em escamas, permanecendo assim durante todo o tempo de exposição para venda, sendo isso o suficiente para assegurar a temperatura próxima ao ponto de fusão do gelo na parte mais interna do músculo (PORTARIA MAPA nº 185, 1997). Ou pode estar no interior de expositores refrigerados, acondicionado em recipientes plásticos de fácil limpeza e higienização.

As espécies de pescado mais comercializadas nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova Penedo e Piaçabuçu-AL são demonstradas na Tabela 41:

Tabela 41 - Preço médio (R\$) e espécies (nomes vulgares) comercializadas nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.

PIRANHAS	PÃO DE AÇÚCAR		TRAIPU		PORTO REAL DO COLÉGIO		IGREJA NOVA		PENEDO		PIAÇABUÇU	
	R\$/kg	Pescado	R\$/kg	Pescado	R\$/kg	Pescado	R\$/kg	Pescado	R\$/kg	Pescado	R\$/kg	Pescado
Acará	5,00	Acará	10,00	Bagre	15,00	Corvina	14,00	rio - salgado e seco	30,00	Tambaqui	8,00	Corvina
<b>Camarão de rio salgado e seco</b>												
		Camarão de rio - salgado e seco										
	30,00		30,00	Cari	8,00	Curimatã	12,00	Cavalinha	12,00	Tilápia	10,00	Filé de camarão espigão
<b>Camarão de rio in natura</b>												
	10,00	Corvina	13,00	Tambaqui	7,00	Panga	12,00	Corvina	14,00	-	-	Filé de camarão
<b>Cascudo</b>												
	10,00	Curimatã	16,00	Tambaqui	9,00	Pescada	10,00	Curimatã	15,00	-	-	Pescada
<b>Corvina</b>												
	8,00	Pacu	5,00	Tilápia	9,00	Piau	9,00	Curimatã	16,00	-	-	-
<b>Piau</b>												
	8,00	Piau	10,00	-	-	Piaba	10,00	salgada e seca Manjuba	4,00	-	-	-
<b>Pirambeba</b>												
	9,00	Piranha	4,00	-	-	Piranha	9,00	Merluza	15,00	-	-	-
<b>Tilápia</b>												
	11,00	Tilápia	10,00	-	-	Tambaqui	8,00	Piau	10,00	-	-	-
<b>Tucunaré</b>												
	9,00	Traira	10,00	-	-	Tambaqui	8,00	Sardinha	8,00	-	-	-
-	-	-	-	-	-	Tilápia	9,00	Tambaqui	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	Tucunaré	9,00	Tilápia	10,00	-	-	-
-	-	-	-	-	-	Traira	-	Traira	8,00	-	-	-

Fonte: Xavier da Silva (2019).

Dentre as espécies de peixes mais valorizadas, destacam-se a curimatã (*Prochilodus argenteus*), a corvina (*Micropogonias furnier*), a tilápia (*Oreochromis niloticus*), o piauí (*Leporinus* sp.), o tucunaré (*Cichla ocellaris*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*), com uma média de preço de R\$ 14,33; R\$ 11,80; R\$ 9,60; R\$ 9,25; R\$ 9,00 e R\$ 8,25, respectivamente. Em Piaçabuçu, comercializa-se em maior quantidade o filé de camarão espigão (*Xiphopenaeus kroyeri*) e o rosa (*Farfantepenaeus* sp.), com valores de R\$ 20,00 e R\$ 45,00, respectivamente. Apenas em Porto Real do Colégio vende-se panga (*Pangasius* spp.), com preço de R\$ 12,00. Em Piranhas, Pão de Açúcar e Igreja Nova, vende-se camarão de rio (*Macrobrachium* spp.) salgado e seco, com preço médio de R\$ 30,00. Este último município também é o único que comercializa curimatã salgada e seca por R\$ 16,00 e merluza (*Merluccius* spp.) por R\$ 12,00. As espécies menos valorizadas são o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e a manjuba (*Anchoviella* sp.), comercializadas por R\$ 5,00 e R\$ 4,00, respectivamente. De todas as espécies, a tilápia, o tambaqui e a curimatã são as que representaram o maior quantitativo semanal de vendas, com média de 356,66 kg, 272,50 kg e 70 kg vendidos por semana, respectivamente.

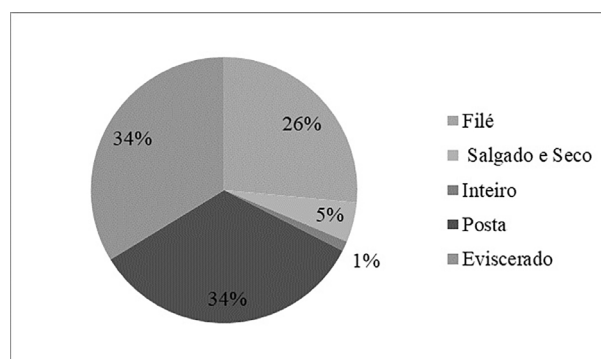
Os peixes comercializados corroboram com as espécies nativas da bacia do rio São Francisco descritas por Barbosa, Soares, Cintra, Hermann e Araújo (2017), como as curimatãs (*Prochilodus* spp.), matrinxãs (*Brycon* spp.), piaús (*Leporinus* spp.), traíras (*Hoplias* spp.), cascudo-preto (*Rhinelepis aspera*), corvinas (*Pachyurus francisci* e *P. squamipinnis*) e piranhas (*Pygocentrus piraya*). Segundo os autores, essas espécies expressam relevância na pesca e na alimentação humana.

Dentre as espécies alóctones de outras bacias hidrográficas brasileiras e de outros países, também descritas por Barbosa *et al.* (2017), o tucunaré (*Cichla* spp.), a pescada-do-Piauí (*Plagioscion squamosissimus*), a tilápia (*Oreochromis niloticus*), o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o pacu-caranha (*Piaractus mesopotamicus*) e o bagre-africano (*Clarias gariepinus*) também são comercializados nas feiras.

No que se refere aos camarões vendidos em Piaçabuçu, são de origem da pesca camaroneira motorizada, principalmente o camarão-sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) e o camarão-rosa (*Farfantepenaeus subtilis* e *Farfantepenaeus brasiliensis*) (SANTOS; BRANCO; BARBIERI, 2013).

Quanto ao tipo de beneficiamento realizado na comercialização do pescado, 34% eram eviscerados e cortados em posta; 26% eram processados em filé; 5% salgados e secos e apenas 1% permaneciam inteiros, porém descamados (Figura 116).

Figura 116 - Formas de beneficiamento do pescado nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL.



Fonte: Pereira (2019)

O peixe era manipulado, na maioria das vezes, em mesas de madeira, cortados com facas, facões e cepos (apoio em madeira para o processamento do pescado) (Figura 117). As escamas eram retiradas com descamadores e todos os feirantes embalavam o produto em sacos plásticos.

A ausência de infraestrutura apropriada, atrelada às inconstâncias avistadas, pode estar servindo como meio de contaminação microbiana aos pescados comercializados, indicando um risco sanitário para o consumidor que escolhe pela mercadoria desses produtos nos locais estudados (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2017), sendo, portanto, imprescindíveis a limpeza e a sanitização dos utensílios e das superfícies de todo o ambiente.

Fatores como tempo de armazenagem, temperatura imprópria, manipulação e processamento com higiene inadequada podem favorecer a proliferação de microrganismos. Esses fatores podem estar presentes em toda a cadeia de produtiva, desde a captura ou despesca, passando pelo processamento e pela comercialização, até a mesa do consumidor, tornando-se um risco para a saúde.

Figura 117 - Cepo (apoio em madeira para o processamento do pescado).



Fonte: Simões (2019).

O Método do Índice de Qualidade (MIQ) consiste em um método de gradação para estimar o frescor e a qualidade dos pescados e tem se mostrado rápido e eficiente para muitas espécies de peixes e camarão (YAMADA; RIBEIRO, 2015). No presente trabalho, o esquema do MIQ desenvolvido para peixe e camarão inteiro obteve uma soma total dos pontos no valor 22 e 10, respectivamente, descrevendo atributos de aspectos gerais, olhos e brânquias para peixes e aroma, cor, melanose, aderência da carapaça e aderência ao corpo para camarão. A soma total dos escores do MIQ originou o Índice de Qualidade (IQ), em que o valor zero, ou próximo a zero, representa o pescado recém-capturado/despescado, ou seja, de melhor qualidade sensorial quanto ao frescor. Pressupõe-se, no MIQ, que os escores para todos os atributos de qualidade aumentem com o tempo de estocagem (dias) em gelo; porém, neste caso, o MIQ foi pontuado unicamente em cada feira, em um único dia e com o pescado exposto em temperatura ambiente. Os valores médios encontrados do MIQ do peixe e do camarão

foram 4,31 e 4,54, respectivamente (Tabelas 42 e 43). Esses resultados indicam que o pescado já não se encontrava com as características organolépticas de pescado fresco, porém estava dentro do limite de índices de qualidade aceitáveis para o consumo humano, com variação de 0 a 6 para camarão inteiro (OLIVEIRA *et al.*, 2009) e de 0 a 8 para peixe (TEIXEIRA *et al.*, 2009). Para uma melhor análise da qualidade do pescado, as avaliações sensoriais, como o método de índice de qualidade, são associadas a avaliações microbiológicas e físico-químicas. De acordo com Yamada e Ribeiro (2015), a garantia de qualidade requer a inspeção de toda a cadeia produtiva, incluindo informações de temperaturas de estocagem e tempo decorrido de captura/despesca, sendo a avaliação do frescor um ponto crítico na produção dos pescados.

Tabela 42 - Valores médios para os atributos de qualidade avaliados pelo esquema do MIQ para peixe inteiro exposto em temperatura ambiente.

Atributos		Escore	Pontuação (média das feiras)
Aspectos gerais	Aspecto superficial	0-2	0,03
	Muco	0-2	0,28
	Rigidez	0-2	0,69
	Firmeza da pele	0-2	0,59
	Escama	0-2	0,69
Olhos	Transparência	0-2	0,03
	Pupila	0-2	0,37
	Forma	0-2	0,27
Brânquias	Cor	0-2	0,34
	Forma	0-2	0,21
	Odor	0-2	0,86
Índice de Qualidade		0-22	4,31

Fonte: Xavier da Silva (2019).

Tabela 43 - Valores médios para os atributos de qualidade avaliados pelo esquema do MIQ para camarão inteiro exposto em temperatura ambiente.

Atributos	Escore	Pontuação (média das feiras)
Aroma	0-3	0,98
Cor	0-1	0,76
Melanose	0-2	0,8
Aderência da carapaça	0-2	1,0
Aderência da cabeça ao corpo	0-2	1,0
Índice de qualidade	0-10	4,54

Fonte: Xavier da Silva (2019).

Após o beneficiamento do pescado, os resíduos eram descartados no chão, facilitando a atração de pragas como insetos e roedores, vetores de enfermidades, ou de animais domésticos que circulam livremente entre feirantes e consumidores. Ao final, as bancas eram lavadas apenas com água, os resíduos eram varridos do chão e depositados em cestos de lixo sem tampa, para serem recolhidos pela equipe de coleta de lixo dos municípios, seguida de



lavagem das vias por carros-pipas. A Portaria SVS/MS nº 326 (1997) preconiza a remoção das sujidades todas as vezes que sejam necessárias, no mínimo uma vez por dia, e que os recipientes utilizados para o seu armazenamento que tenham entrado em contato com os lixos devem ser limpos e desinfectados. Apesar de nenhum feirante nunca ter participado de curso de capacitação sobre boas práticas de higiene, manipulação e beneficiamento do pescado, todos demonstraram interesse. As capacitações são necessárias para a orientação da conduta dos feirantes, sobretudo quanto à prevenção sobre as doenças transmitidas por alimentos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aspectos higiênico-sanitários observados nas feiras livres e nos mercados que comercializam pescado fresco nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piaçabuçu-AL indicam que os produtos comercializados podem ofertar risco à saúde do consumidor, pois apresentam condições impróprias e desconformes com alguns padrões para a manipulação de alimentos. Desta forma, é imprescindível a utilização das boas práticas de manipulação, principalmente no que diz respeito a uma administração que vistorie a organização de feiras/mercados e ao cumprimento às normas sanitárias.

O Método de Índice de Qualidade (MIQ) demonstrou que o pescado estava dentro do limite de índices de qualidade aceitáveis para o consumo humano; entretanto, são necessárias análises físico-químicas e microbiológicas para um completo diagnóstico sobre qualidade do pescado comercializado nestas feiras livres.

Para a afirmação da qualidade das mercadorias comercializadas nas feiras livres, recomenda-se uma modificação completa da infraestrutura da feira, adaptando as instalações às condições higiênico-sanitárias, como prevê a legislação brasileira; regulação do vestuário dos manipuladores de alimentos; uso obrigatório de EPIs; emprego de utensílios e equipamentos conforme as normas técnicas; controle severo de resíduos, vetores e pragas; realização de cursos de capacitação que abordem o manuseio higiênico-sanitário e o beneficiamento de pescados e fiscalização efetiva por parte da vigilância sanitária.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, D. M.; LINS, JOÃO. L. F.; TAVARES, A. S.; DA SILVA, J.; DA SILVA, V.M.; BORDINHON, A. M. Aspectos de aquisição e consumo de peixes na feira livre de Porto Real do Colégio – Alagoas, **Boletim do Instituto da Pesca**, São Paulo, v.41, n.4, p. 961 – 973, 2015.

BARBOSA, J. M.; SOARES, E. C.; CINTRA, I. H. A.; HERMANN, M; ARAÚJO, A. R. R. Perfil da Ictiofauna da Bacia do Rio São Francisco. **Acta Fish. Aquat. Res**, v.5 n.1, p.70-90, 2017.

BRASIL. **Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017** do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989. Inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Brasília: Diário Oficial da União, 2017.

BRASIL. **Portaria nº. 368, de 04 de setembro de 1997 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde**. Regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da

União, Brasília, 8 de setembro de 1997.

BRASIL. **Portaria Nº185, de 13 de maio de 1997 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco. Brasília: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. **Portaria Nº326, 30 de julho de 1997 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.** Regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtor e/industrializador de alimentos. Brasília: Diário Oficial da União, 2019.

BRASIL. **Resolução-RDC n. 275, de 21 de outubro de 2002 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.** Regulamento técnico de procedimentos operacionais padronizados aplicados aos estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos e a lista de verificação das boas práticas de fabricação em estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Brasília: Diário Oficial da União, 2002.

BRASIL. **Resolução-RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.** Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Brasília: Diário Oficial da União, 2004.

EVANGELISTA-BARRETO, N. S. *et al.* Condições higiênicas sanitárias e grau de frescor do pescado comercializado no mercado de peixe em Cachoeira, Bahia. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v.11, n.1, p. 60-74, 2017.

JESUS, T.B.; SANTOS, T.N.; CARVALHO, C. E. V. Aspectos da comercialização do pescado em feiras livres do município de Feira de Santana – BA. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n.2, p.159-179, 2017.

OGAWA, M., Características específicas do pescado, In: OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de Pesca.** São Paulo: Livraria Varela, 1999.

OLIVEIRA, V. M. et al. Método do índice de qualidade (MIQ) desenvolvido para camarão (*Litopenaeus vannamei*) Cultivado. **Rev. de Ciên. da Vida**, v. 29, n. 1, jan-jun, p. 60-71, 2009.

SANTOS, M.C.F., BRANCO, J.O.; BARBIERI, E. Biologia e pesca do camarão sete-barbas nos estados nordestinos brasileiros onde não há regulamentação do período de defeso. **Bol. Inst. Pesca**, v. 39, n.3, p 217-235, 2013.

SILVA JUNIOR, A. C. S.; FERREIRA, L. R.; FRAZÃO, A. S. Avaliação da condição higiênico-sanitária na comercialização de pescado da feira do produtor rural do buritizal, Macapá-Amapá. **LifeStyle Journal**, v. 4, n. 1, p. 71-81, 2017.

TEIXEIRA, M.S. et al. Método de índice de qualidade (QIM): desenvolvimento de um protocolo sensorial para corvina (*Micropogonias furnieri*). **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v.16, n.2, p.83-88, 2009.

YAMADA, T. T.; RIBEIRO, L. Avaliação sensorial do pescado pelo método do índice de qualidade. **Revista Científica de Medicina Veterinária**, n. 25, 2015.

# FAMILY FARMING IN THE LOWER SÃO FRANCISCO: SOCIO-PRODUCTIVE PROFILE AND FOOD SECURITY

Rafael Navas

Guilherme Netter

Emerson Fonseca de Oliveira Filho

## SUMMARY

Family farming in the Lower São Francisco involves a diversity of individuals who seek to ensure their survival by managing natural resources. Based on this diversity, the present study seeks to characterize families in their socio-productive aspects and verify the food security situation. Data collection occurred with the use of qualitative research techniques. Family farming is represented by land reform settlers, small farmers, extractive and artisanal fishers. It is evident that low schooling is prevalent among adults in all the analyzed communities, especially men; also, there are no sewage treatment systems, and residue collection is restricted. Access to water is one of the leading family problems, limiting the development of productive activities, affecting food consumption. Consequently, food insecurity predominates. Economic activities that seek coexistence with environmental conditions, such as beekeeping and extractivism, have proved to be promising for rural development, as well as access to government procurement programs. Artisanal fishing is challenging to carry out due to environmental changes and species occurrence, with an impact on family maintenance.

# CAPÍTULO 16

## A AGRICULTURA FAMILIAR NO BAIXO SÃO FRANCISCO: PERFIL SOCIOPRODUTIVO E SEGURANÇA ALIMENTAR

Rafael Navas<sup>75</sup>

Guilherme Netter<sup>76</sup>

Emerson Fonseca de Oliveira Filho<sup>77</sup>

### INTRODUÇÃO

O Baixo São Francisco caracteriza-se pelos grandes investimentos estatais e privados direcionados, principalmente, para o setor hidrelétrico e para a modernização da agricultura, com a criação de perímetros irrigados.

A região apresenta um conjunto diversificado de sistemas agrícolas, formados por áreas ocupadas com cana-de-açúcar, arroz, milho, feijão e algodão, entre outras lavouras de autoconsumo (NASCIMENTO *et al.*, 2013). Destaca-se, também, pelos assentamentos rurais, com produção de grãos, frutas, leite, hortaliças e criação de pequenos animais, dando um bom exemplo da diversidade existente.

Esse fato evidencia ainda mais o papel fundamental que o rio São Francisco desempenha no cotidiano das populações, com o desenvolvimento da agricultura e da pecuária e o abastecimento humano, principalmente porque os principais rios que integram as grandes regiões hidrográficas e que deságuam no Baixo São Francisco, em sua maior parte, sofrem com o período de estiagem e não dispõem de águas em seus leitos permanentemente.

Nesse cenário, os dados apresentados nesta seção buscam caracterizar a agricultura familiar nos aspectos socioprodutivos e segurança alimentar de famílias localizadas no Baixo São Francisco.

### DESENVOLVIMENTO

#### O trabalho de campo para coleta de dados

O trabalho de levantamento de dados ocorreu nos municípios percorridos pela expedição científica, nos Estados de Alagoas e Sergipe, sendo: Piranhas, Traipu, Igreja Nova, Porto Real do Colégio e Piaçabuçu, no Estado de Alagoas, e Neópolis no Estado de Sergipe.

Previamente à expedição, a equipe da Universidade Federal de Alagoas, juntamente com o Instituto de Inovação para o Desenvolvimento Rural Sustentável de Alagoas (EMATER), definiu os grupos e o contato prévio foi realizado, bem como a agenda de visitas.

As informações aqui apresentadas foram obtidas por meio de entrevistas semiestruturadas com famílias de cada comunidade (realizaram-se entre 11 e 25 entrevistas

<sup>75</sup> Professor da Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias. E-mail: rafael.navas@ceca.ufal.br.

<sup>76</sup> Graduando em Engenharia Florestal. E-mail: gnetter@msn.com.

<sup>77</sup> Graduando em Agroecologia. E-mail: emersonvinil@yahoo.com.br.

em cada comunidade), identificando aspectos socioeconômicos, ambientais e produtivos. Essa técnica é uma combinação de perguntas fechadas e abertas e, de acordo com Triviños (1987), permite ao informante discorrer sobre suas experiências, a partir do foco principal proposto pelo pesquisador, além de permitir respostas livres e espontâneas do informante.

Para o diagnóstico de segurança alimentar, foi utilizada a versão curta da Escala Brasileira de Insegurança Alimentar (Ebia), proposta por Santos et al. (2014).

No município de Neópolis-SE, visando à coleta de informações sobre a percepção de ocorrência das espécies de pescados, utilizou-se adaptação da técnica de listagem livre, na qual cada pescador/a foi estimulado a nomear as espécies que pesca/captura, independentemente da finalidade, classificando-as como frequentes e raras/pouco comuns. Quando as pessoas listam livremente, tendem a citar os termos em ordem de familiaridade e aqueles mais lembrados indicam que são localmente mais proeminentes. Considera-se que as espécies mencionadas com frequência indicam conhecimento comum entre os indivíduos ou consenso dentro de um grupo (QUINLAN, 2005).

## RESULTADOS

### A produção de mel no Sertão alagoano como estratégia de desenvolvimento rural

#### O Projeto Arajuba

O Arajuba (significa mel da cor dourada) é um projeto de fortalecimento da apicultura no Sertão de Alagoas, cuja proposta está relacionada às atividades que o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) desenvolve junto às áreas de assentamentos e acampamentos, pensando no desenvolvimento produtivo, ambiental e econômico dessas áreas, tendo a apicultura mostrado-se uma atividade possível e necessária, sobretudo na região semiárida. O projeto no Alto Sertão alagoano está inserido nos municípios de Inhapi, Mata Grande, Delmiro Gouveia, Olho d'Água do Casado e Piranhas e teve início no final do ano de 2014, contando com aproximadamente 80 participantes.

O Arajuba começou por meio de uma parceria entre o MST e a Fundação Interamericana, que proporcionou suporte para o desenvolvimento de algumas ações, desde a base da cadeia produtiva, nas áreas de assentamentos rurais, com o fornecimento de caixas, insumos, materiais e assistência técnica para as famílias poderem desenvolver a apicultura, à formação, que envolveu a implantação, a manutenção dos apiários e a comercialização dos produtos, que vem ocorrendo nas feiras locais e nas feiras da reforma agrária.

Com esse aporte de material e assistência técnica, o MST desenvolveu núcleos apícolas em algumas áreas de assentamentos, iniciando o projeto e, em seguida, realizando inserções nas ações da cadeia produtiva, com processos de formação e capacitação até a produção do mel. O MST está realizando os procedimentos legais para a instalação de uma agroindústria, visando ao beneficiamento do mel.

Atualmente, o projeto desenvolve-se em dez assentamentos, envolvendo jovens, mulheres e homens e, segundo a coordenadora, “há uma reconexão e um pertencimento do homem com o campo, uma relação com a natureza que a apicultura possibilita, com fator adicional na promoção da preservação ambiental também”.

Para a coordenadora, o projeto vem se aprimorando e um fator diferenciado da melhor qualidade do mel produzido é o fato de trabalharem com florada nativa da caatinga, proporcionando um mel com cor e sabor diferenciados. Outro ponto do projeto é a forma de



produção, baseada no trabalho coletivo nos assentamentos, que envolve o manejo, mas também as relações humanas integradas com a preservação do meio ambiente. Adicionalmente, busca o envolvimento da juventude, que tem sido a base desse trabalho, promovendo a troca de saberes entre diversos assentamentos e contribuindo para que o jovem permaneça no campo produzindo, agregando renda às famílias, por meio do desenvolvimento de uma atividade que aproveita o potencial da região e a “nova” relação homem-natureza, preservando as abelhas. Destaca-se, também, que muitos jovens inseridos na atividade são filhos e netos de assentados, que vêm auxiliando na forma de manejo, captura e manutenção das abelhas africanizadas. Todos os envolvidos no projeto fazem parte das associações de produção da agricultura familiar dos assentamentos.

### **Os apicultores entrevistados**

A faixa etária das famílias entrevistadas mostra a presença expressiva de jovens, que continuam residindo no meio rural. Esse dado reforça ações, políticas e projetos específicos para esse público, buscando fonte de trabalho, renda e meios para sua permanência no campo. Em pesquisa no Estado de Sergipe, Oliveira *et al.* (2010) também observaram presença expressiva de jovens na apicultura, evidenciando que esse grupo em fase de afirmação no mercado de trabalho estava se interessando pela atividade.

De acordo com o presente estudo, é possível observar que a ocupação de todos os moradores dá-se com atividades agropecuárias, em que cerca de 30 jovens e adultos dedicam-se a essa prática, com destaque para a apicultura, que vem sendo desenvolvida com a implantação do projeto Arajuba. Outras pesquisas têm demonstrado que essa atividade pode contribuir com a renda e a permanência dos jovens no meio rural (CANO *et al.*, 2015; CONCEIÇÃO *et al.*, 2012).

Quanto à escolaridade, verifica-se alto número de membros das famílias dedicando-se aos estudos (46%), possivelmente, devido ao quantitativo de crianças e adolescentes e à presença do Programa Bolsa Família, a que 79% dos núcleos familiares têm acesso. Porém, 10% dos membros dessas famílias (adultos, em sua maioria) não são alfabetizados e 14% concluíram o ensino médio.

Com relação à moradia, 93% das casas são de alvenaria e 7% de taipa, pois, em alguns casos, não houve liberação de recursos para a construção das residências por meio do Programa de Habitação Rural. Todas as residências possuem energia elétrica, porém nenhuma dispõe de sistema de tratamento de esgoto, possuindo fossa negra. Quanto ao destino dos resíduos, a alternativa encontrada pelas famílias é a queima, devido à ausência de coleta pela rede pública.

A fonte principal de renda de todas as famílias entrevistadas dá-se com a produção de mel, tendo as demais criações (galinha, ovelha, boi, cabra e porco) a finalidade de autoconsumo e venda de algum excedente. Os agricultores inseridos no projeto têm realidades distintas, porém, nota-se que a produção agrícola e animal é direcionada para o autoconsumo. A explicação mais plausível para esse fato deve-se aos plantios ocorrerem apenas na estação chuvosa e mesmo sendo uma fonte de renda não monetária, pois a família deixa de comprar esses alimentos e acaba por reduzir o ingresso de recursos financeiros, já que o excedente, normalmente, é comercializado em determinadas épocas e a preços baixos, o que limita a manutenção das famílias e a compra de outros bens necessários não produzidos localmente. Nessa lógica, os agricultores têm buscado otimizar os sistemas agrícolas, com a produção de insumos locais: 83% produzem os alimentos para os animais e apenas 17% combinam a

produção com a compra parcial dos alimentos, agregando mais autonomia para as famílias e menor dependência externa de insumos. Mesmo com as dificuldades para a prática da agricultura, o cultivo de palma e pequenas áreas de pastagem têm contribuído para o manejo das criações.

Além da criação animal, os cultivos vegetais também são importantes para a manutenção das famílias, havendo diversidade de cultivos, tanto de frutíferas quanto de hortaliças e raízes, sendo milho e feijão as mais cultivadas. Essa produção caracteriza-se, essencialmente, para autoconsumo e a venda é realizada com os excedentes. Porém, devido às condições climáticas, os plantios ocorrem apenas no período chuvoso. Destaca-se que as práticas agrícolas utilizadas são agroecológicas e nenhum agricultor faz uso de agrotóxicos, contribuindo com a diminuição do possível impacto que o uso desses produtos poderia causar às abelhas e por maior conscientização adotada pelas práticas do MST, que vem incentivando a agroecologia como ferramenta de trabalho no desenvolvimento dos assentamentos.

A baixa disponibilidade de água, que poderia permitir o cultivo ao longo do ano, evidencia a importância de atividades que gerem renda e produtos que considerem os fatores hídricos locais, sendo a apicultura desenvolvida com florada nativa e com apelo da preservação do bioma caatinga, inserindo-se nas propostas de convivência com o semiárido, o que implica na busca de alternativas tecnológicas que possibilitem valorizar potencialidades e vocações compatíveis com as reais condições naturais da região e com seu contexto social, ao invés de tentar transformá-la. Pesquisas têm evidenciado que a produção de mel tem contribuído para a geração de renda entre agricultores familiares e sua melhor distribuição ao longo do ano, além de relacionar aspectos sociais, econômicos e ambientais, contribuindo para a fixação da população no campo, com a adoção de práticas sustentáveis, gerando renda, trabalho e alimento às famílias (COSTA *et al.*, 2016; NAVAS *et al.*, 2015; BOTH *et al.*, 2009).

O número de colmeias por família entre os integrantes do Arajuba varia de 4 a 25, com média de 15 unidades, o que influencia na renda mensal, que é heterogênea entre o grupo, com algumas famílias recebendo entre  $\frac{1}{2}$  a 1 salário mínimo e outras com renda de 1,7 salários mensais, somando o recebimento de aposentadorias e Bolsa Família. A variação observada entre os envolvidos no projeto está relacionada ao número de colmeias existentes, bem como ao nível tecnológico em que se encontra cada família, com algumas tendo iniciado a atividade mais recentemente; porém, os dados evidenciam o potencial de geração de renda aos agricultores, por meio da produção apícola.

Fachini *et al.* (2010) analisaram a apicultura no sudoeste paulista e concluíram que alguns fatores contribuíram para a caracterização da atividade, tornando-a importante para a agricultura familiar, sendo a organização da atividade – relacionada às variáveis internas à propriedade, principalmente à logística utilizada; a experiência do produtor e como essa influencia o manejo da apicultura; a produtividade, através das floradas utilizadas e o número de colmeias que cada apicultor possui; e o associativismo, evidenciado nas relações de parceria entre os apicultores, com formação de grupos pequenos para colheita e extração do mel, bem como para o uso conjunto dos equipamentos de processamento. No projeto Arajuba, não há casa de mel até o momento e a extração é realizada em conjunto com o uso de uma centrífuga dos apicultores, entretanto está prevista a construção de um entreposto, à espera de aprovação pelos órgãos competentes.

A venda de mel é a principal fonte de renda da maioria das famílias e é realizada coletivamente em feiras e/ou direto aos consumidores. A importância da apicultura para a

renda dessas famílias deve-se às limitações para a prática da agricultura na região, devido às secas e à falta de acesso à água para irrigação, evidenciando o potencial da atividade, diferentemente de outras localidades, em que a apicultura apresenta-se como complementar para a composição da renda. A importância do mel como principal produto da apicultura também foi relatada por Oliveira *et al.* (2010), sendo esse produzido por quase a totalidade de agricultores em Sergipe, provavelmente por ser um dos produtos de mais fácil obtenção, que exige pouca atenção, menor tempo do apicultor, menor nível de capacitação e acessórios para a produção. Porém, uma das principais limitações que impactam na renda oriunda da apicultura da região Nordeste está justamente relacionada a essa forma precária como seus produtos são produzidos e comercializados, o que acaba por dificultar que o produtor receba o preço justo pelos produtos e, muitas vezes, a venda ocorra para atravessadores. Segundo Oliveira (2015), cerca de 60% dos apicultores comercializavam o mel de forma artesanal, diretamente para o consumidor, no mercado local. Barbosa e Souza (2013) destacaram que o fracionamento manual do mel e o uso de recipientes não padronizados para a comercialização ocasionam perda de qualidade e valor no mercado, como também de competitividade.

Outro fator limitante aos agricultores é a disponibilidade de água, que exige das famílias a combinação de diferentes estratégias para o abastecimento restrito desse recurso, tanto para consumo doméstico quanto para as criações; porém, mesmo com a construção das cisternas, 43% das famílias ainda necessitam, em algum momento, de carro-pipa para o fornecimento de água, principalmente pelo longo período de seca registrado nos últimos anos, não sendo isso suficiente para o armazenamento completo das cisternas, que têm a finalidade de abastecimento doméstico e são construídas com capacidade de armazenamento de 16 mil litros, quantidade suficiente para suprir as necessidades básicas de uma família de cinco pessoas por períodos de estiagem de até seis meses. Do total de famílias entrevistadas, apenas 21% possuem a cisterna-calçadão, destinada ao armazenamento de água para cultivo e/ou criação animal, sendo uma tecnologia social com capacidade de estocar até 52 mil litros de água, ligada a um calçadão de 200 m<sup>2</sup> que serve como área de captação da água das chuvas. Porém, o baixo percentual de famílias com essa tecnologia dificulta a produção inclusive do mel, devido à morte de abelhas e à perda das colmeias, ocorridas pela falta de água, o que evidencia a falta de acesso a esse tipo de política pública.

As principais políticas públicas que contribuem para a renda familiar citadas pelas famílias foram Bolsa Família, com 79% dos entrevistados, e 14% com acesso à aposentadoria.

Dentre as limitações existentes para o avanço da apicultura no Sertão alagoano, destaca-se a falta de assistência técnica com relação a atividades de manejo e inovações tecnológicas, falta de acesso a crédito para impulsionar a produção, principalmente para a inserção de novos agricultores e, em especial, os jovens, que não dispõem de recursos para a compra de cera e de outros materiais para a atividade.

### **A criação de pequenos animais em Traipu**

A coleta de dados foi realizada no bairro rural Vila Santo Antônio, com famílias rurais atendidas pelo Programa Brasil Sem Miséria, com a realização do projeto de fomento que busca contribuir com a segurança alimentar e nutricional e gerar renda às famílias e teve início no município em 2017, com 68 famílias. Para inserção no projeto, os critérios adotados foram possuir renda igual ou abaixo de R\$ 154,00 *per capita*, possuir Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP) e vocação para as atividades que seriam desenvolvidas. Desse total,

32 famílias dedicaram-se à criação de ovinos (adquirindo, inicialmente, de 3 a 4 animais); 29 famílias dedicaram-se à criação de aves (adquirindo entre 30 e 50 animais) e 7 famílias à criação de suínos (com 2 a 3 animais).

No início do projeto, houve o repasse do recurso financeiro a cada família, no valor total de R\$ 2.400,00 – dividido em duas parcelas, sendo R\$ 1.400,00 para custeio da atividade e R\$ 1.000,00 para a compra de animais. O projeto foi desenvolvido tendo como beneficiárias as mulheres e o recurso foi recebido no cartão do Bolsa Família. Esse fato demonstra que o projeto de fomento buscou inserir como público um dos segmentos em situação de maior vulnerabilidade social, que, de acordo com Zimmermann *et al.* (2014), tem sido pouco atingido pelas ações de combate à pobreza. A criação de pequenos animais foi a atividade escolhida, uma vez que as famílias possuem pouca área (em média, 0,6 hectares) e o acesso à água é limitado. A escolha deu-se conjuntamente entre as famílias e a equipe técnica do Instituto de Inovação para o Desenvolvimento Rural Sustentável de Alagoas (EMATER), que realiza assistência técnica mensalmente, com visitas a cada unidade.

A composição das famílias entrevistadas evidencia a presença de crianças e adolescentes em idade escolar, fato confirmado pelos dados de alfabetização. Todas as famílias possuem acesso ao Bolsa Família. Porém, ressalta-se que, entre os adultos, há predomínio de baixa escolaridade, o que caracteriza, historicamente, a privação do acesso ao ensino.

A ocupação de todos os 31 entrevistados (homens e mulheres), em idade de trabalho, dá-se com a agricultura, evidenciando a importância da atividade para a manutenção e ocupação das famílias, além do vínculo com o meio rural.

Todas as casas são de alvenaria e possuem energia elétrica. Com relação ao destino do esgoto, 61% das residências têm fossa negra e 39% tem o esgoto despejado a céu aberto, não havendo também coleta de lixo pelo poder público, optando-se pela queima dos detritos por todas as famílias. Nesse aspecto, a falta de água apresenta-se como fator limitante, em especial para a produção vegetal. O poder público construiu um chafariz no bairro, que contribui para o consumo doméstico, sendo integrado a outras formas de acesso ao recurso, como cacimba, poço, cisterna e carro-pipa; porém, a iniciativa não garante o abastecimento para outros fins, em especial para a agricultura.

A produção das famílias é destinada para autoconsumo e concentra-se praticamente no período chuvoso, com cultivo de feijão e milho, principalmente, havendo poucas propriedades com algumas frutíferas e hortaliças. A baixa diversidade é decorrente da falta de água para irrigação, limitando os cultivos e as variedades, além da restrição à terra. Ressalta-se que a comunidade encontra-se próxima ao rio São Francisco, porém não possui acesso à água dessa fonte. Zimmermann *et al.* (2014) consideram que a privação do acesso à água é um elemento determinante para perpetuar a condição social de pobreza em que se encontra a grande maioria da população que reside nas pequenas cidades que compõem o meio rural.

Um dos pontos trabalhados no projeto em Traipu pela EMATER tratou sobre o armazenamento das sementes, o que vem sendo realizado por todas as famílias e busca promover maior autonomia, não ficando na dependência da compra ou entrega pelos órgãos públicos, pois, muitas vezes, é realizada com atrasos e, conseqüentemente, com prejuízos aos plantios.

Quanto à produção animal – objeto do projeto de fomento, a principal atividade foi a criação de aves (12), seguida de suínos (4) e ovelhas (1). Mesmo tendo como objetivo a venda do excedente, a maior parte das famílias que se dedicam à criação de galinhas não

comercializam os produtos, pois preferem garantir fonte desses alimentos para seus membros, sendo uma fonte de renda não monetária, pois as famílias deixam de comprar esses itens.

Para a alimentação dos animais, 43% dos entrevistados dependem da compra de ração e 57% compram ração em parte do ano. No sistema de criação adotado, é recomendado o uso de ração, visando garantir alimentação balanceada, bem como foi previsto, no projeto, área para pastejo, porém nem todos possuem esses espaços formados até o momento.

Considerando que o principal critério para a inclusão no projeto era a condicionante renda, todas as famílias são beneficiárias do Bolsa Família (13), com poucos atendidos pela seguridade social (2) e Benefício de Prestação Continuada, com 1 família (que prevê a transferência de um salário mínimo para idosos e deficientes que possuem uma renda familiar *per capita* inferior a  $\frac{1}{4}$  do salário mínimo). O Bolsa Família foi a unificação dos programas de transferência de renda federais em um único, que ocorreu em 2003 e viabilizou sua expansão nacional para alcançar todas as famílias abaixo da linha de pobreza estabelecida e, com isso, significativa parcela da população mais pobre e vulnerável foi incorporada ao sistema de proteção e ao mercado de consumo popular. Helfand (2011) destaca que a política de aposentadoria rural e o Programa Bolsa Família foram as razões mais importantes para a redução da pobreza rural no Brasil, porém observa que somente esses programas já não são suficientes para retirar da condição de pobreza aquele percentual significativo de produtores rurais que ainda se encontram nesta situação.

É importante pontuar o acesso ao Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) Leite: o Programa do Leite é uma das modalidades do PAA direcionada aos Estados do Nordeste e à região norte de Minas Gerais, e é voltado para os segmentos populacionais vulneráveis, que têm direito a receber o produto gratuitamente e atende famílias com renda mensal de até meio salário mínimo por pessoa e que tenham como membro crianças de até seis anos, gestantes, lactantes e idosos (ALAGOAS, 2020). Porém, mesmo havendo público beneficiário para o enquadramento nesse programa, apenas 1 família encontra-se inserida. Uma das razões pode ser devido às reduções recentes de investimentos no programa, tendo sido praticamente zerado no último ano, o que coloca as famílias em maior condição de vulnerabilidade social.

Ao considerarmos a renda *per capita*, mesmo com acesso às políticas públicas, verifica-se que 31% das famílias encontram-se em situação de pobreza (renda *per capita* entre R\$ 89,01 e R\$ 178,00) e 54% em situação de extrema pobreza (renda *per capita* de até R\$ 89,00), com apenas 15% das famílias com renda *per capita* acima de R\$ 178,00. Esse resultado evidencia que, além das privações de outros direitos, como acesso a água, terra e saneamento, essas famílias continuam com baixo acesso à renda, mantendo-se em situação de vulnerabilidade. Esses dados vão de encontro ao citado por Helfand (2011), que aponta que somente o acesso aos programas de transferência de renda não são suficientes para retirar as famílias rurais da condição de pobreza. Mesmo com as ações do BSM na comunidade, ainda não há garantia de segurança alimentar entre as famílias; mesmo tendo a criação dos animais, em especial galinhas, a principal fonte de proteína na dieta das mesmas é, principalmente, o consumo de ovos. A produção para autoconsumo, que é própria e característica da agricultura familiar, tem contribuído para a oferta de alimentos, mas não é suficiente para atender à demanda existente. Além da proteína animal, a produção de feijão e farinha de mandioca destina-se, totalmente, ao autoconsumo e sua ingestão é frequente.

Ao analisarmos o consumo de alimentos entre as famílias pesquisadas em Traipu, é notável que o consumo de alimentos básicos e principais na alimentação, ou ao menos em



parte, é proveniente da produção, mesmo com todas as limitações de acesso a terra e água.

Com base na versão curta do Ebia, 92% das famílias indicaram situação de insegurança alimentar nos últimos meses. A insegurança alimentar dá-se quando, em um lar, há preocupação ou incerteza quanto ao acesso aos alimentos no futuro; quando se verifica a redução quantitativa de alimentos entre os membros da família ou a fome – quando alguém fica o dia inteiro sem comer por falta de dinheiro ou acesso à comida; e a segurança alimentar aplica-se a domicílios que têm acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente. Verificou-se que, além da preocupação com a falta de alimento no futuro entre 92% dos entrevistados, em 30% das famílias algum adulto da casa diminuiu alguma vez a quantidade de alimento nas refeições ou deixou de fazer uma das refeições porque não havia dinheiro suficiente para comprar comida e 46% das famílias responderam que, nos últimos meses, alguma vez comeu menos do que achou que devia porque não havia dinheiro suficiente para comprar comida. Sabe-se que a insegurança alimentar atingiu 35,3% dos domicílios rurais em 2013 no Brasil, sendo que, no Nordeste, esse percentual foi de 50,1% (BRASIL, 2015). Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do ano de 2013, a insegurança alimentar no meio urbano no Brasil foi de 7,9%, sendo maior nas regiões Norte/Nordeste, com 15%, evidenciando que a pobreza é maior nas áreas rurais que nos centros urbanos e a região Nordeste apresentou maior vulnerabilidade alimentar e nutricional quando comparada a outras regiões do País (SANTOS *et al.*, 2018). Esses resultados são reflexo, principalmente, da falta de acesso à água como garantia da produção ao longo do ano. Atualmente, os plantios ocorrem apenas na estação chuvosa, o que, muitas vezes, não garante a produção necessária para o abastecimento da família ao longo do ano, associado à disponibilidade do fator terra.

### **A produção agroecológica e acesso às compras governamentais: a experiência de Igreja Nova**

Em Igreja Nova, 113 agricultores são associados da Associação dos Moradores e Pequenos Produtores do Povoado Cajueiro Novo (Asmocan), produzindo frutas, verduras e hortaliças em sistema agroecológico, além da criação de gado leiteiro.

A comunidade insere-se na área do projeto de irrigação Boacica, com predomínio de policultura, com importância econômica para a fruticultura irrigada.

A existência da agricultura e da pecuária entre as famílias permite o aproveitamento do esterco para a adubação dos cultivos vegetais.

Para irrigação dos cultivos, até alguns anos atrás, a água utilizada era proveniente do rio Boacica; porém, segundo os agricultores, os níveis de nitrato estão altos, prejudicando seu uso para irrigação das culturas existentes. Esses altos índices podem ter como causa o uso intensivo de fertilizantes químicos, considerando que, anteriormente, a agricultura praticada nessas áreas era baseada em tecnologias intensivas. Atualmente, as famílias recebem assistência técnica da EMATER e passaram a utilizar as águas do rio São Francisco para irrigação, o que tem permitido os cultivos e sua comercialização, gerando renda para as famílias.

Dentre o grupo, também há casos de agricultores que se dedicam ao cultivo de cana-de-açúcar. Esses casos devem-se a contratos com usinas sucroalcooleiras, que levaram ao incentivo para a adoção dessa cultura. Porém, com a crise do setor, os pagamentos têm ocorrido com atrasos e alguns agricultores ainda estão aguardando o pagamento da última safra, o que tem causado prejuízos financeiros e sociais, pois são pequenos agricultores que

dependem dos ganhos da terra para sua manutenção. Além desses problemas, o sistema de cultivo adotado para essa cultura é baseado no pacote tecnológico da Revolução Verde, altamente dependente da utilização de adubos solúveis e agroquímicos.

A pesca ainda é presente dentro do povoado, principalmente com a finalidade de autoconsumo, havendo casos de associados que se dedicam à agricultura e à pesca. Esse dado evidencia o papel da agricultura familiar, que busca integrar diferentes atividades agrícolas e não agrícolas na manutenção do seu modo de vida. Segundo os relatos desses moradores, nas últimas duas décadas, a quantidade dos pescados diminuiu consideravelmente, bem como há mudanças nas espécies encontradas no rio.

## Dados socioprodutivos

Dentre as 12 famílias entrevistadas, percebe-se a presença de jovens; porém, ainda há predomínio de membros acima de 40 anos de idade.

Quanto à escolaridade, nota-se, também, como em outras localidades, baixos índices de alfabetização, com 23% dos entrevistados sem alfabetização e 17% com fundamental incompleto. Predominam, entre os homens, os maiores índices de analfabetismo, da mesma forma que em outras localidades estudadas.

A ocupação dos moradores dá-se, principalmente, com a agricultura, entre homens e mulheres. As casas são todas de alvenaria, com acesso à energia, porém não há sistema de esgotamento, com fossa negra em todas as residências. Há coleta de lixo no bairro, mas 14% dos moradores ainda praticam a queima dos resíduos.

Com relação à agricultura, como característica da área, observa-se alta diversidade, com maior importância econômica para a macaxeira, seguida de tomate, milho e feijão, além da cana-de-açúcar. É importante destacar que a produção para autoconsumo é muito presente, sendo uma fonte de renda não monetária, pois, além de reduzir o valor gasto com a compra de alimentos, proporciona maior diversidade de alimentos na dieta dessas famílias. De acordo com Tonezer *et al.* (2019), na agricultura familiar, é observada grande diversidade de alimentos produzidos para autoconsumo, tendo essa produção múltiplas funções, com destaque ao acesso a um alimento mais saudável e à economia na compra de itens para consumo.

Dentre as frutíferas, a banana tem maior importância econômica e, assim como para as culturas anuais, outras espécies são manejadas visando ao abastecimento interno.

Com relação às sementes, 45% das famílias dependem exclusivamente da compra e as demais combinam estratégias de armazenamento e aquisição de determinadas variedades, reforçando a busca de autonomia.

A criação animal ocorre, principalmente, para o consumo, com 42% possuindo criação de galinhas, que fornecem ovos e carne. Dos entrevistados, 80% combinam a produção e a compra de parte dos alimentos para a criação desses animais e 20% dependem exclusivamente da compra de ração.

A água, para todos os usos das famílias – doméstico, irrigação e criação animal –, vem diretamente dos canais de abastecimento do rio São Francisco.

As políticas públicas presentes são: aposentadoria, com 6 famílias tendo acesso, e 4 recebendo o Bolsa Família. Com relação à renda, 16,5% das famílias apresentam renda mensal de R\$ 100,00 *per capita*, o que é considerado dentro da linha de pobreza pelo MDS; 42% das famílias têm renda *per capita* entre R\$ 240,00 e R\$ 500,00; 16,5% possuem renda entre ½ e 1 salário mínimo e, para 25%, a renda *per capita* está entre 1 e 2 salários. A renda

observada está relacionada ao número de atendidos pelo programa de seguridade social, mas também é fruto do acesso aos programas governamentais de compra da agricultura familiar, como PNAE e PAA. Entre o grupo de Cajueiro, 30 agricultores comercializam para o PNAE há 5 anos e 6 agricultores comercializam para o PAA há 2 anos. Dentre os entrevistados, 50% acessam esses programas de compra, o que proporciona melhores remunerações, visto que essas políticas pagam os preços praticados no mercado diretamente aos agricultores – o que foi relatado como uma conquista e orgulho para o grupo, pois permite a oferta de alimentos saudáveis, cultivados com manejo agroecológico, para a alimentação das crianças nas escolas. Esses programas têm sido relatados em diversas pesquisas como benéficos à agricultura familiar, promovendo o desenvolvimento e a melhoria da renda para as famílias (CAMARGO; NAVAS, 2017; SAMBUICHI *et al.*, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2013). A venda dos produtos ocorre também nas feiras do município e no próprio bairro e para usinas, entre aqueles que cultivam cana-de-açúcar (3).

Sobre a situação de segurança alimentar, 67% das famílias apresentam segurança alimentar e 33,00% insegurança alimentar, sendo que, desses, 16,6% responderam que diminuiriam alguma vez a quantidade de alimento consumido e 25% informaram que algum membro comeu menos do que achou que devia pela falta de alimento ou dinheiro para a compra de comida. Os dados levantados são semelhantes aos observados pela PNAD, que indicou insegurança alimentar em 35,3% dos domicílios rurais no Brasil, e estão abaixo da média da região Nordeste, que apresentou 50,1% de insegurança alimentar nos domicílios rurais (BRASIL, 2015).

Esse dado reforça a importância de estratégias de comercialização da produção, agregando e garantindo renda às famílias, por meio do acesso aos programas de compra governamental, bem como da produção para autoconsumo, integrando culturas anuais e frutíferas e a criação animal.

## **A tradição do cultivo de arroz no Baixo São Francisco em Porto Real do Colégio**

A construção do Projeto Público de Irrigação Itiúba ocorreu no período de 1974-76. Originalmente, nesse local, a rizicultura já era praticada de acordo com as oscilações de nível do rio São Francisco. Com as obras de regularização e a geração de energia da Usina de Sobradinho, o regime de níveis foi modificado, permitindo obter safras anuais de arroz irrigado por inundação.

Observa-se que a faixa etária predominante entre os entrevistados é acima de 40 anos, principalmente entre os homens. Durante as entrevistas, foi relatado pelos moradores que os jovens migravam para os grandes centros, em busca de estudo ou qualidade de vida diferente das condições encontradas no meio rural por suas famílias.

Com relação à alfabetização, são evidentes os baixos índices encontrados, com cerca de 40% dos entrevistados sem alfabetização ou com ensino fundamental incompleto. Entre o grupo que está estudando, esse faz parte de crianças e jovens em idade escolar.

Com relação à ocupação dos moradores, a agricultura apresenta-se como a principal atividade, entre homens e mulheres.

Todas as casas são de alvenaria e possuem energia elétrica, porém não há sistema de esgoto, sendo que 93% das casas possuem fossa negra e 7% despejam detritos diretamente no ambiente. A queima dos resíduos sólidos é realizada por 36% das famílias e 64% possuem coleta pela rede pública.

O cultivo de arroz é a principal fonte de renda das famílias, sendo a cultura mais produzida e comercializada. Os demais cultivos têm a finalidade de autoconsumo e a venda de algum excedente, o que é praticado por poucas famílias, e a rizicultura utiliza os canais de irrigação com águas captadas direto do rio São Francisco. Com colheitas de 4 em 4 meses, a produção intensiva exige grande quantidade de insumos, tanto para recompor nutrientes do solo quanto para combater pragas e plantas indesejadas.

O uso de agrotóxicos é frequente, pois há necessidade de uso de fungicidas, inseticidas, raticidas e herbicidas, além dos fertilizantes químicos, com destaque para ureia, fertilizante nitrogenado altamente solúvel. Em um sistema de cultivo intensivo, o uso dos tratamentos convencionais provoca uma perturbação na fisiologia das plantas, trazendo, em consequência, desequilíbrio, transformando em parasitas seres que, antes, mantinham um convívio harmônico com as plantas, as chamadas doenças iatrogênicas (CHABOUSSOU, 2006). Segundo a Conab (2016), a participação média de sementes, fertilizantes e agrotóxicos representa entre 26% e 33% dos custos com a produção de arroz.

Um dos maiores problemas com pragas que esses agricultores têm enfrentado, provavelmente pelo desequilíbrio do uso de insumos químicos e o predomínio da monocultura, agravados pelo alto nível de desflorestamento das margens dos cursos d'água da região, são ratos e pássaros (citados como os principais no ano de 2018) que, provavelmente, por não encontrarem na região outras fontes de alimentos e abrigo, utilizam as plantações de arroz como moradia e fonte de alimento, causando prejuízos aos agricultores. Esse fato pode também ser agravado pela redução dos inimigos naturais desses dois organismos, aumentando sua população. Outro problema relatado foi o aparecimento do arroz-preto, uma gramínea com morfologia parecida com o arroz produzido comercialmente, considerada uma invasora, que reduz a qualidade do produto final.

Com relação às sementes, diferentes estratégias são utilizadas, predominando sua compra e consecutivos plantios e armazenamento das mesmas para novo ciclo (por 2 a 3 anos), sendo, posteriormente, realizada nova compra, visando garantir a genética da semente. Essa prática é utilizada para a cultura do arroz e pode contribuir em economia com sua aquisição.

A criação animal também é presente na comunidade, principalmente para consumo, em especial de galinhas, com poucos agricultores comercializando. Nesses casos, há predomínio da venda de gado e peixe, aproveitando os recursos hídricos locais, havendo também a criação de suínos para consumo. A alimentação dos animais depende, exclusivamente, da compra de ração, para 36% das famílias, enquanto 46% combinam estratégias de compra parcial dos alimentos e 18% têm produção própria dos alimentos para as criações.

A água para irrigação e criação animal para todos os entrevistados tem origem direta no rio São Francisco, por meio dos sistemas da CODEVASF. Para consumo doméstico, 86% das famílias utilizam essa mesma fonte e 14% utilizam água do sistema público, pois residem na cidade de Porto Real do Colégio.

O principal acesso a políticas públicas é com recebimento de aposentadorias (10 indivíduos) e Bolsa Família (3 famílias), o que contribui para a renda mensal. Com relação aos rendimentos, 15% recebem entre  $\frac{1}{2}$  e 1 salário mínimo; 23% entre 1 e 2 salários; 54% entre 2 e 3 salários e 8% acima de 3 salários. Esse dado deve-se, principalmente, à venda do arroz, sendo essa a principal fonte de renda dos agricultores.

## O extrativismo como fonte de renda e manejo sustentável na foz do São Francisco<sup>78</sup>

O município de Piaçabuçu tem sua economia em torno do turismo, atividades pesqueiras e serviços. A agricultura, que, historicamente, era baseada no cultivo de arroz por inundação, foi reduzida a pequenas produções, devido ao aumento da cunha salina, provocado pela redução drástica da vazão do rio São Francisco. Atualmente, essa atividade tem baixa representatividade na geração de divisas; porém, tem importância econômica secundária para a economia familiar, em especial na produção de autoconsumo, contribuindo para a segurança alimentar.

O município possui duas Áreas de Proteção Ambiental (APA), sendo uma federal, a “APA de Piaçabuçu”, e outra estadual, a “APA Marituba do Peixe”, com rica biodiversidade, onde o extrativismo vegetal de Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM) acontece pela grande variedade de espécies de plantas nativas comestíveis de valor econômico, ambiental e cultural. Apesar dessa riqueza, o IDH do município é baixo, de 0,572.

### A Associação Aroeira e o extrativismo na região

A Associação Aroeira surgiu a partir da demanda em capacitar extrativistas da foz do rio São Francisco no beneficiamento da pimenta rosa. A associação foi criada a partir do projeto Aroeira, desenvolvido pelo Instituto Ecoengenh, que em 2010 foi elaborado e contemplado com um projeto financiado pela Petrobras, o Programa Desenvolvimento e Cidadania. Com o projeto aprovado, extrativistas foram procurados e discutidos os processos a serem realizados, sendo que os mesmos conheciam a pimenta rosa apenas com o nome “aroeira” e a comercialização era realizada para atravessadores.

As primeiras reuniões sobre o projeto ocorreram em 2011 e seguiram-se com a fundação da Associação Aroeira. Entre 2011 e 2014, a associação foi incubada pelo projeto financiado pela Petrobras e, a partir de 2015, vem sendo mantida e administrada pelos próprios associados, tendo um total de 85 (oitenta e cinco) membros, sendo 30 (trinta) associados que trabalham exclusivamente com a pimenta rosa. Além desse produto, que é o carro-chefe da Associação, há extrativismo de outras frutas nativas, como ingá, cambuí, massaranduba, gajiru, araçá, jenipapo, cajá e outras, demonstrando a rica biodiversidade existente.

Além do extrativismo, há também a prática da agricultura entre as famílias, algumas comercializando para o PNAE, principalmente com tomate, pimentão e alface, evidenciando a diversidade de produtos da agricultura familiar local.

De acordo com a presidente da Associação,

a partir do trabalho da associação, houve impacto na vida das mulheres de forma positiva, pois as primeiras a se capacitar foram tomando consciência do lugar dela na sociedade, dentro do município, o que acabou incentivando outras mulheres a se juntarem à associação e que culmina no desenvolvimento da comunidade.

As mulheres, hoje, muitas delas, a maioria delas dentro do nosso município, são mulheres que comandam as suas próprias casas, porém há

<sup>78</sup> Os dados socioeconômicos e produtivos apresentados compõem o trabalho “Extrativismo vegetal na foz do rio São Francisco: riqueza ambiental e comunidades vulneráveis”, dos autores FERREIRA, Rita Paula dos Santos; NAVAS, Rafael; SILVA, Rafael Ricardo Vasconcelos, apresentado no XI Congresso Brasileiro de Agroecologia (2019).



casos em que quem manda é o marido, mas está havendo uma mudança de comportamento, pois se ela se sustenta, é autossuficiente, então elas tentam mostrar aos seus companheiros que são parceiras deles e que o mesmo valor que os homens têm elas têm também, é o empoderamento da mulher.

Uma das preocupações da Associação Aroeira é com a questão ambiental, que vem sendo trabalhada com todos os associados, para que haja sempre recursos disponíveis, reduzindo os danos ao meio ambiente e buscando sua preservação.

As maiores dificuldades citadas para a atividade dão-se com a falta de transporte adequado para o traslado de pessoas e frutas, pois, conforme citado, “não é fácil para o extrativista ir na mata andando e trazer duas, três sacas de jenipapo ou de outra fruta”. Outra dificuldade são os grandes proprietários de terras, que não permitem o acesso às áreas de mata. Houve um caso em que o proprietário viu as extrativistas colhendo a pimenta rosa e, após, realizou a derrubada e a queima de todas as plantas dessa espécie, para que a atividade não fosse realizada em sua área. Lima (2010) apontou que as principais dificuldades com o extrativismo da mangaba em Sergipe também estavam relacionadas à falta de transporte, principalmente pela fragilidade dos frutos, que se danificavam facilmente, bem como com as condições ruins das estradas de acesso às áreas de coleta, sendo os frutos carregados nas costas dos extrativistas. Além disso, a autora também pontuou a situação de devastação da espécie, bem como a dificuldade de acesso às mangabeiras que restam, por estarem situadas em terras de terceiros, que estão sendo utilizadas cada vez mais para agricultura intensiva, desenvolvimento de turismo e construção de viveiros de camarão, levando ao corte das plantas.

## O grupo de extrativistas

Dentre os adultos das 25 famílias agroextrativistas entrevistadas, 44% não são alfabetizados, 40% apenas assinam o nome e 16% possuem nível médio incompleto e/ou completo. Segundo a Seplag (2018), as taxas de abandono escolar nos últimos anos, no município de Piaçabuçu, têm sido reduzidas, passando de 5,4%, no ano de 2015, para 1,8% em 2017. Esses dados reforçam a importância dos programas de transferência de renda, como o Bolsa Família, que tem contribuído para a permanência de crianças e adolescentes em ambiente escolar, haja visto que o número de famílias atendidas por esse programa aumentou no município nos últimos anos, sendo a política pública acessada pela maioria das famílias entrevistadas.

Com relação ao acesso a serviços, as casas não possuem esgotamento sanitário adequado, com predomínio de fossa negra, bem como o acesso a água é realizado diretamente pela captação de rios com uso de bombas, não havendo tratamento para o consumo. A coleta de lixo não atende todas as áreas do município, em especial as rurais, e as famílias acabam por queimar os resíduos.

Dentre as espécies cultivadas pelos extrativistas, observa-se presença de diversidade de frutíferas e anuais, principalmente nos quintais, e possuem a finalidade de consumo e venda, demonstrando que as famílias não se ocupam exclusivamente com o extrativismo, mas combinam diferentes atividades produtivas ao longo do ano, evidenciando a grande dependência dos recursos naturais e dos ciclos da natureza para sua manutenção. Segundo Santos *et al.* (2015), a combinação de diversas atividades no meio rural pode proporcionar

maior produção para autoconsumo, reduzindo a dependência de produtos externos e, conseqüentemente, impactando na renda familiar.

Para 95% dos entrevistados, a principal fonte de renda dá-se com a coleta de frutas nativas, sendo esta complementada pelas políticas públicas, principalmente o Bolsa Família. Esse dado, apesar de demonstrar a importância da atividade entre as famílias, evidencia a situação de vulnerabilidade em que as extrativistas encontram-se, já que os preços pagos pelos produtos geralmente são baixos. Ao mesmo tempo, reforça a importância do trabalho associativista e a necessidade de estruturação da cadeia produtiva para os produtos do extrativismo na região. Outras pesquisas têm demonstrado a importância do extrativismo como fonte de renda para as famílias, em especial para as mulheres (MENDES *et al.*, 2014; LIMA, 2010). A organização dos pequenos agricultores em associações constitui-se em uma das formas mais viáveis de sustentação das pequenas unidades de produção, pois facilita a superação da barreira da indivisibilidade dos fatores-chaves de produção, assim como facilita a assistência técnica necessária para as atividades (LAZZAROTTO, 2002), devendo ser apoiada na região.

O extrativismo em Piaçabuçu ocorre durante todo o ano, considerando o calendário produtivo de cada espécie e a diversidade existente, e é realizado com mão de obra familiar.

A comercialização dos produtos do extrativismo ocorre, principalmente, nas feiras livres de Piaçabuçu e Penedo-AL.

Atualmente, a Associação Aroeira aprovou e vem desenvolvendo os projetos: “Cozinhar com Eco-sustentabilidade”, com apoio do Fecoep-AL, tendo o objetivo de expandir e aperfeiçoar a linha produtiva, com a instalação de uma agroindústria, atendendo às normas sanitárias para o processamento e o desenvolvimento de produtos, como doces, geleias, pães e outros, utilizando a riqueza da biodiversidade local obtida pelo extrativismo, bem como capacitar e qualificar 50 mulheres para o desenvolvimento das ações e para o associativismo; “Ecocozinhar”, que possibilitou a realização do intercâmbio entre as mulheres de Piaçabuçu e Maragogi; “Mulheres: mães que alimentam”, que visa promover o empoderamento feminino com geração de renda e produção de alimentos artesanais, atuando diretamente com mais de 200 mulheres agricultoras e agroextrativistas. No aspecto da preservação, está previsto o projeto “Bosque Berçário das Águas”, implementado com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e a Agência Bacia Peixe Vivo, que busca a produção de mudas nativas, o reflorestamento de áreas de mata ciliar e a implantação de sistemas agroflorestais, atuando diretamente em ações de educação ambiental.

## **A pesca artesanal em Neópolis e as mudanças na ocorrência das espécies**

Os pescadores/as artesanais residem às margens do rio São Francisco, em área urbana do município de Neópolis-SE. O IDH do município é de 0,589 e os pescadores fazem parte da Colônia Z7.

A idade dos componentes das famílias evidencia o predomínio de indivíduos na faixa etária acima dos 40 anos ou mais, independente do sexo. Quanto ao grau de estudos, há predomínio de menor escolaridade em indivíduos do sexo masculino, com presença marcante de crianças em idade escolar, em continuidade de seus estudos. Para Freitas *et al.* (2015), são inúmeras as causas da baixa escolaridade entre pescadores e, entre as mais expressivas, constataram que tiveram que optar por trabalhar ou estudar. Diante da realidade de possibilidades restritas, tanto econômicas quanto sociais, optaram, ainda jovens, por ingressar

na atividade econômica. Esse dado reforça a importância do programa Bolsa Família na manutenção de crianças e jovens no ambiente escolar, como observado entre o grupo que se encontra estudando.

A ocupação de todos os integrantes das famílias em idade de trabalho é com a atividade pesqueira, compartilhada entre homens e mulheres do núcleo familiar, mas evidenciando o papel da mulher numa atividade exclusivamente masculina.

Todos os pescadores/as residem em casas de alvenaria, com energia elétrica, coleta de lixo realizada pelo poder público e água fornecida pela Companhia de Abastecimento de Sergipe. Porém, 11% das residências têm o esgoto despejado diretamente no rio. É importante destacar que o município de Neópolis possui aproximadamente 23% dos domicílios com esgotamento sanitário adequado, segundo dados do IBGE (2020), o que evidencia os impactos ambientais da descarga de efluentes oriundos de esgotos domésticos na calha do rio São Francisco.

A principal política pública acessada pelos pescadores é o Seguro Defeso (cerca de 90% possuem carteira de pesca e recebem o benefício), seguido do Bolsa família, com 50%, e aposentadoria, com 25%. Segundo informações dos pescadores, todos os associados à colônia acessavam o Seguro Defeso; porém, o benefício tem sido pago com atrasos, chegando, recentemente, a ser recebido apenas no fim do período de proibição da pesca, comprometendo a manutenção das famílias.

Com relação à renda média mensal familiar, destaca-se que nenhuma família possui rendimentos acima de um salário mínimo, evidenciando a baixa remuneração pela atividade. Esse fato é agravado por ser cada vez mais difícil a captura do pescado na região, com a diminuição do tamanho de captura, de variedade de espécies e abundância de indivíduos. Em Neópolis, do total de entrevistados, 12% possuem renda de até R\$ 400,00, 50% renda de até R\$ 500,00, 13% renda de até R\$ 600,00 e 25% renda de até R\$ 1.000,00.

### **A atividade pesqueira e a percepção da ocorrência das espécies**

A ocorrência de espécies nativas, antes comuns, atualmente é cada vez mais rara ou escassa no Baixo São Francisco. A presença de espécies eurihalinas ou marinhas em Neópolis (distante quase 40 km da foz) é citada por todos os pescadores e reflete as mudanças ambientais por que o rio São Francisco vem passando e impactando diretamente na atividade econômica da região. A Tabela 44 refere-se à lista das espécies pescadas/capturadas mais comuns nas pescarias realizadas na localidade.

Tabela 44 - Espécies citadas pelos pescadores/as e sua ocorrência em ordem decrescente.

Espécies citadas pelas famílias				
	Nome popular	Nº citações	Nome científico	Categoria
Encontram com mais frequência	Robalo*	8	<i>Centropomus parallelus e C. undecimalis</i>	Estuarina
	Tucunaré	6	<i>Cichla monoculus</i>	Exótico
	Piau	6	<i>Megaleporinus obtusidens e Schizodon knerii</i>	Nativo
	Piranha	5	<i>Pygocentrus piraya</i>	Nativo
	Tilápia	5	<i>Oreochromis niloticus</i>	Exótico
	Carapeba*	5	<i>Eugerres brasiliensis, Eucinostomus melanopterus</i>	Estuarina
	Pirambeba	4	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Nativo
	Bagre	4	<i>Bagre marinus</i>	Costeiro
	Traíra	3	<i>Hoplias microcephalus</i>	Nativo
	Camarão**	3	<i>Macrobrachium acanthurus e M. carcinus</i>	Nativo
	Siri**	2	<i>Callinectes sp.</i>	Costeiro
	Pacu	1	<i>Myleus micans</i>	Nativo
	Pilombeta	1	<i>Anchoviella vaillanti, A. lepidentostole</i>	Nativo
	Cara-boi	1	<i>Astronotus ocellatus</i>	Exótico
Não encontram mais	Xira	7	<i>Prochilodus argenteus</i>	Nativa
	Surubim	6	<i>Pseudoplatystoma corruicans</i>	Nativa
	Tubarana	5	<i>Salminus hilarii</i>	Nativo
	Mandi	5	<i>Pimelodus maculatus e P. Poblis</i>	Nativo
	Dourado	2	<i>Salminus franciscanus</i>	Nativo
	Curimã	2	<i>Mugil curema</i>	Costeiro
	Piau-cutia	2	<i>Prochilodus elongatus</i>	Nativo

Fonte: Os autores (2019).

É evidente a percepção dos pescadores/as sobre as alterações na ocorrência das espécies, bem como as dificuldades em conseguir sobreviver da atividade, como pode ser observado pelas entrevistas, que mostram que as alterações do regime hídrico, com a construção das hidroelétricas, são percebidas na realização da pesca:

Há um ano atrás, conseguia pegar 10 a 15 quilos em um dia, hoje pega 1 quilo, às vezes não pega nem pra comer. (entrevistado de 42 anos).

Na época que tinha enchente, dava muito peixe; hoje, não mais. (entrevistado de 50 anos).

Eu fui pescadora por mais de cinquenta anos, parei de pescar quando não pude mais trabalhar na pesca, trabalhava também na agricultura. Os peixes que antigamente a gente pescava, mas que hoje sumiram do rio São Francisco, foi a piaba, o mandim, a xira, o surubim e a tubarana também sumiu daqui do Baixo. A gente ainda consegue ver ela lá pelas

bandas do Sertão, pulando na água; hoje, no Baixo, só dá mesmo o tucunaré, a piranha, o robalo, só essas coisinhas mesmo, muito fraca a pesca, mas sumiu tudo, acabou tudo. (entrevistada aposentada).

Os peixes que encontramos com muita frequência no rio São Francisco é a pirambeba, o tucunaré, o cará-boi, o piau branco, o piau preto, robalo, carapeba, robalo-flecha. Temos também a ocorrência de peixes marinhos no rio São Francisco, a exemplo do xaréu, vermelha, caranha, sargo de dente e há também relatos de guaiamum. Há também aqueles peixes que sumiram do rio, como o piau amarelo, a xira, dourada, tubarana, curimatã-pacu e o mandin, nem o amarelo e nem o branco, e o pintado não se vê mais. (entrevistado de 38 anos).

Pesquisas têm evidenciado, no Baixo São Francisco, a redução da atividade pesqueira, nos aspectos de diversidade e produção, além da baixa qualidade e da deficiência nas estruturas para armazenamento e comercialização da produção (SOARES *et al.*, 2020; SOARES *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2010).

Em levantamento na região, Sampaio *et al.* (2015) verificaram que a pilombeta (*Anchoviella* spp.), na época, era a espécie mais rentável, com captura por unidade de esforço em média de 8 kg/pescador/dia, seguida do curimatã-pacu ou xira (*Prochilodus argenteus*) (SPIX; AGASSIZ, 1829), com média de 5 kg/pescador/dia, e o piau (*Leporinus* spp.), com média de 2,8 kg/pescador/dia. Entre as espécies marinhas, os autores destacaram os robalos (*Centropomus undecimalis*) (BLOCH, 1792) e *C. parallelus* (POEY, 1860) e as carapebas (*Eugerres brasilianus*) (VALENCIENNES, 1830) como sendo espécies comuns nos desembarques da região.

Todas essas espécies foram citadas pelos pescadores, com destaque para o robalo e a carapeba, como as de maior ocorrência na lista livre (sendo essas duas estuarinas e de ocorrência comum na região de Neópolis), além da xira (*P. argenteus*), atualmente com pouca incidência nas capturas e nos mercados da cidade sergipana. O aumento da cunha salina (16 km da foz em 2018) tem ocasionado mudança na dinâmica das espécies (SOARES *et al.*, 2020), com o siri (*Callinectes* sp.), representando maior volume nos desembarques pesqueiros e grande incidência na região de Neópolis, sendo este pescado a principal fonte de renda para dois dos pescadores entrevistados. Na BHRSEF, espécies marinhas e estuarinas podem ocorrer até vários quilômetros rio acima, a partir da sua foz (ALVES *et al.*, 2011) e a ictiofauna estuarina apresenta diversos graus de tolerância às variações de salinidade da água (CAMARGO; ISAAC, 2001).

Ainda segundo Sampaio *et al.* (2015), foram observadas espécies bioinvasoras em seu levantamento, sendo a tilápia (*Oreochromis* sp.), o cará-boi (*Astronotus ocellatus*) e o tucunaré (*Cichla monoculus*) os mais representativos. Dentre as espécies exóticas, tucunaré e tilápia foram as mais citadas entre os pescadores de Neópolis, havendo também citação do cará-boi.

De acordo com Soares *et al.* (2011), em levantamento entre os anos de 2007 e 2009, no entorno de Penedo-AL, a produção pesqueira foi representada por 22 espécies, das quais cinco foram mais comuns, sendo a xira (*Prochilodus argenteus*), o piau (*Leporinus* spp.), a pilombeta (*Anchoviella vaillantii*), o robalo (*Centropomus* sp.) e a carapeba (*Eugerres brasilianus*). Nas entrevistas atuais, observa-se mudança na ocorrência das espécies na percepção dos pescadores, tendo a xira sido citada como uma espécie rara e o robalo e a carapeba (costeiras) com ocorrência abundante. Os autores destacaram que, nos anos do estudo, cerca de cinco espécies



representaram, em média, 80% da biomassa do pescado, sendo a xira (também conhecida como curimatã-pacu) a mais capturada, com percentual médio de 40,0%, seguida de piau e robalo. Segundo os autores, a ocorrência da carapeba era observada no entorno das cidades de Penedo e Igreja Nova (distando 40 km da foz do São Francisco), corroborando com a percepção dos pescadores artesanais.

Barbosa *et al.* (2017), em levantamento no Baixo São Francisco, consideraram a carapeba como uma das espécies invasoras da divisão periférica, observando também peixes exóticos, como os tucunarés (*Cichla* spp.), e diversas outras espécies introduzidas nas últimas décadas com o desenvolvimento da aquicultura, como as tilápias (*Oreochromis niloticus* e *Tilapia rendalli*). Os entrevistados, no presente estudo, relatam a existência muito comum destes peixes em seus apetrechos de pesca. Freitas *et al.* (2015), analisando o conhecimento dos pescadores artesanais em relação à ocorrência das espécies, destacaram a presença de exemplares exóticos e o sumiço daquelas espécies antes abundantes e agora consideradas raras, como o dourado, o surubim e o pirá, bem como a diminuição considerável de mandis e piaus.

Soares *et al.* (2011) consideraram que o incremento anual do robalo em seu levantamento indicava grande abundância desse peixe na região, ao mesmo tempo em que apresentava maior aceitação nos mercados ribeirinhos e, conseqüentemente, aumento da captura por pescadores artesanais.

Em levantamento preliminar nas proximidades de Penedo/AL, Barbosa e Soares (2009) observaram que, dentre as espécies nativas, várias apresentavam importância na alimentação humana, sendo, por isso, alvo de intensa pesca, destacando-se a curimatã (*Prochilodus* spp.), o dourado (*Salminus franciscanus*), o surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), diferentes espécies de mandi (*Pimelodus maculatus* e *Duopalatinus emarginatus*), piau (*Leporinus* spp.) e traíra (*Hoplias microcephalus*), entre outros. Para os autores, a composição das capturas em dois importantes municípios ribeirinhos (Penedo-AL e Neópolis-SE) foi composta por cerca de 16 espécies, sendo a curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) a que ocupou o primeiro lugar das capturas, seguida de pilombeta (*Anchoviella vaillanti*), piau (*Leporinus* sp.) e outras espécies, como carapeba (*Gerreidae*), cara-boi (*Astronotus ocellatus*), pacu (*Myleus* sp.) e tucunaré. Esses dados reforçam a possível sobrepesca de determinadas espécies, como a curimatã-pacu (xira), levando à redução dos estoques naturais na região, atualmente percebidos pelos pescadores.

A redução das espécies tem levado ao deslocamento dos pescadores de Neópolis para outros locais, visando aumentar sua produtividade. Há casos de pescadores que estão se deslocando até o Xinaré (povoado pertencente ao município de Igreja Nova e distante cerca de 15 km a 20 km) para aumentar sua renda. Sobre a necessidade de deslocamento de pescadores artesanais para a realização da atividade, Freitas *et al.* (2015) também relataram que, com a escassez do pescado e a ocupação/privatização de terras às margens do cânion do São Francisco, houve a necessidade de deslocamento por grandes distâncias e longos períodos em busca de peixe, com o objetivo de garantir uma boa pescaria, e esse fato estava ocasionando maior tempo fora de suas residências e levando dias e até mesmo semanas às margens do cânion.

Dentre as espécies citadas como comuns entre os pescadores de Neópolis, são atribuídos ao piau, à carapeba e à traíra os melhores preços de comercialização, em feiras e mercados do próprio bairro ou negociados com atravessadores. Nesse último caso, quando é negociada a venda do camarão, o rendimento é bem menor, devido aos preços pagos serem

mais baixos que os praticados em outros canais de comercialização. Como exemplo, o camarão capturado com “covo” tem uma produtividade média entre 6 e 8 quilos/dia, com preço de comercialização de R\$ 8,00/quilo para atravessadores. Segundo Soares *et al.* (2011), dentre as espécies de peixes mais valoradas em relação ao preço médio de primeira comercialização, houve destaque para o robalo e a carapeba, seguidos de piau e xira, e as espécies de menor valor de venda foram a pirambeba e a traíra.

A pesca entre as famílias possui extrema importância para o consumo, mas, mesmo assim, a insegurança alimentar atingiu 43% delas. Além disso, dos entrevistados, 29% responderam que, nos últimos meses, ficaram sem dinheiro para ter alimentação variada e que comeram menos do que acharam que deviam, porque não havia comida suficiente; outros 14% informaram que algum adulto da casa diminuiu a quantidade de alimento ou pulou alguma refeição, porque não havia dinheiro suficiente para comprar alimento. Entre os pescadores artesanais, a insegurança alimentar pode estar relacionada à baixa remuneração pela atividade e, como citado nas entrevistas, há necessidade de compra de outros itens para compor a alimentação e necessidades das famílias. A segurança alimentar está presente em 57% das famílias entrevistadas. Segundo Bezerra *et al.* (2018), apesar de a maioria dos pescadores ser beneficiários do Bolsa Família, a prevalência de insegurança alimentar foi alta, chegando a 67%.

Fica evidente, por meio dos levantamentos, que as mudanças na ocorrência das espécies, decorrentes dos impactos e mudanças ambientais, têm gerado consequências entre os pescadores artesanais, dificultando a realização da atividade, bem como melhorias na renda, e comprometendo a segurança alimentar. Sampaio *et al.* (2015) destacaram que, apesar da riqueza e do elevado grau de endemismo das espécies na Bacia do São Francisco, o esforço pesqueiro é empregado sobre um número reduzido de espécies. Da mesma forma, Soares *et al.* (2011) atentam para a necessidade de um plano de ordenamento da pesca na região, baseados na diminuição do volume de pescado capturado e na pressão pesqueira exercida sobre determinadas espécies, sendo evidente a decadência da pesca no Baixo São Francisco, com incidência cada vez menor da variedade de espécies observadas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário observado nas comunidades, são evidentes as baixas taxas de alfabetização entre os adultos, principalmente os homens. O acesso aos serviços básicos, principalmente sistema de esgotamento sanitário e coleta de lixo, tem sido inexistente ou insuficiente para atender às famílias.

Com relação ao abastecimento de água, apresenta-se como fator limitante para algumas comunidades, principalmente para garantir a produção agrícola/animal ao longo do ano, refletindo nos rendimentos e na dependência dos programas de transferência de renda pelas famílias. Esses fatores influenciam também na segurança alimentar, tendo a região apresentado índices preocupantes para esse indicador.

A região do Baixo São Francisco mostra a diversidade existente na agricultura familiar, bem como evidencia experiências exitosas que aliam produção, geração de renda e conservação ambiental, destacando-se a produção de mel, o policultivo e o extrativismo, havendo necessidade de fortalecimento desses segmentos e das cadeias produtivas, visando garantir meios de sobrevivência e melhores condições para as famílias.

## REFERÊNCIAS

- ALAGOAS. Secretaria de Assistência Social. **Programa do Leite**. 1999. Disponível em: <http://www.assistenciasocial.al.gov.br/programas-projetos/seguranca-alimentar-e-nutricional-1/programa-do-leite>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- ALAGOAS. Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio. **Perfil Municipal de Maceió**. 2018. Disponível em: <http://dados.al.gov.br/dataset/perfil-municipal-2018/resource/dbdf6e5a-f694-4ca7-b05f-2bbb74ecf5a6>. Acesso em: 12 dez. 2019.
- ALVES, C.B.M.; VIEIRA, F.; POMPEU, P.S. Ictiofauna da bacia hidrográfica do rio São Francisco. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (Org.). **Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.
- BARBOSA, J.M. *et al.* Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco. **Acta Fish. Aquat. Res.**, v. 5, n. 1, p. 70-90, 2017.
- BARBOSA, J.M.; SOARES, E.C. Perfil da ictiofauna da Bacia do São Francisco: estudo preliminar. **Rev. Bras. Enga. Pesca**, v. 4, n. 1, p. 155-172, 2009.
- BARBOSA, W.F.; SOUSA, E.P. Nível tecnológico e seus determinantes na apicultura cearense. **Rev. Pol. Agrícola**, n. 3, p. 32-47, 2013.
- BEZERRA, D.P.; SILVA, D.G.K.C.; SILVA, J.P.C. Perfil nutricional e consumo alimentar de pescadores. **J. Health Sci. Inst.**, v. 36, n. 1, p. 129-135, 2018.
- BOTH, J.P.C.L.; KATO, O.R.; OLIVEIRA, T.F. Perfil socioeconômico e tecnológico da apicultura no município de Capitão Poço, Estado do Para, Brasil. **Amazônia: ciênc. desenv.**, v. 5, n. 9, p. 199-213, 2009.
- BRASIL. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2013**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015..
- CAMARGO, J.S.M; NAVAS, R. Programas institucionais de compra da agricultura familiar no município de Ribeirão Grande/SP: uma análise a partir da produção e consumo. **Rev. NERA**, n. 35, p. 230-245, 2017.
- CAMARGO, M.; ISAAC, V.J. Os peixes estuarinos da região norte do Brasil: lista de espécies e considerações sobre sua distribuição geográfica. **Bol. Museu Par. Emil. Goeldi**, v. 17, n. 2, p. 133-157, 2001.
- CANO, C.B. *et al.* Quilombolas: a produção de mel na apicultura familiar do Vale do Ribeira, São Paulo. **Vig. San. debate**, v. 3, n. 4, p. 3-10, 2015.
- CHABOUSSOU, F. **Plantas Doentes Pelo Uso de Agrotóxicos**. São Paulo: Ed. Expressão Popular, 2006.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compêndio de Estudos CONAB**. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 08 jun. 2020.
- CONCEIÇÃO, V.; CONCEIÇÃO, C.A.; CALAZANS, P.S. Consolidação da apicultura nos assentamentos do município de Corumbá, Mato Grosso do Sul. **Cad. Agroecologia**, v. 7, n. 2, 2012.

COSTA, M.N. *et al.* Apicultura: uma intervenção agroecológica de desenvolvimento rural para Comunidade Remanescente de Quilombolas de Castanhalzinho, Garrafão do Norte - Pa. **Cad. Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

FACHINI, C. *et al.* Perfil da apicultura em Capão Bonito, estado de São Paulo: aplicação da análise multivariada. **Rev. Econ. Agrícola**, v. 57, n. 1, p. 51-63, 2010.

FREITAS, L.O.; NOGUEIRA, E.M.S.; MOURA, G.J.B. Pesca artesanal no cânion do rio São Francisco: modo de vida, desafios e percepções. In: NOGUEIRA, E.M.S.; SÁ, M.F.P. (Org.). **A pesca artesanal no baixo São Francisco**: atores, recursos, conflitos. Petrolina: Editora da Sociedade Brasileira de Ecologia Humana, 2015

HELFAND, S. Determinantes da pobreza. In: MIRANDA, C.; TIBURCIO, B. (Org.). **Pobreza rural**: concepções, determinantes e proposições para a construção de uma agenda de políticas públicas. Brasília: IICA, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/neopolis/panorama>. Acesso em: 28 maio 2020.

LAZZAROTTO, J.J. Associativismo rural e a sua viabilização: estudo de caso comparativo de duas associações de produtores rurais do município de Pato Branco (PR). **Anais...** Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração (ENANPAD), 31, Salvador, 2002.

LIMA, I.L.P. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável da Mangaba**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.

LIMA, V.M.M. *et al.* Plano de manejo pesqueiro e comercialização do pescado na cidade de Penedo, Estado de Alagoas, Brasil. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, v. 5, p. 9-22, 2010.

MENDES, M.F. *et al.* A organização das mulheres extrativistas na região Sudoeste mato-grossense, Brasil. **Est. Feministas**, v. 22, n.1, p. 71-89, 2014b.

MENDES, M.F.; NEVES, S.M.A.S.; NEVES, R.J. A experiência das mulheres extrativistas do assentamento Margarida Alves em Mirassol D'Oeste/MT. **Geog. em questão**, v. 7, n. 1, p. 34-49, 2014.

NASCIMENTO, M.C.; RIBEIRO JÚNIOR, C.E.; AGUIAR NETTO, A.O. **Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco**. Maceió: [s.n.], AL, 2013.

NAVAS, R.; NASCIMENTO, M.C.R.; SILVA, R.J. Certificação florestal do eucalipto na responsabilidade social: um estudo de caso no Sudoeste Paulista. **Sout. Am. J. Bas. Ed. Techn. Techn.**, v. 2, n. 2, p. 156-164, 2015.

OLIVEIRA, F.L. **Apicultura no Sertão Paraibano**: principais dificuldades, sob a ótica dos pequenos apicultores. 2015. Dissertação (Mestrado) – Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2015.

OLIVEIRA, M.E.; PODEROSO, J.C.M.; FERREIRA, A.F.; RIBEIRO, G.T.; ARAUJO, E.D. Apicultores do Estado de Sergipe, Brasil. **Sc. Plena**, v. 6, n. 1, 2010.

QUINLAN, M. Considerations for collecting freelists in the field: examples from ethnobotany. **Field Methods**, v. 17, n. 3, p. 1-16, 2005.

RIBEIRO, A.L.P.; CERATTI, S.; BROCH, D.T. Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) e a participação da agricultura familiar em municípios do Rio Grande do Sul. **Rev. Gestão Des. em Contexto**, v. 1, n. 1, p. 36-49, 2013.

SAMBUICHI, R.H.R. *et al.* Compras públicas sustentáveis e agricultura familiar: a experiência do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). In: SAMBUICHI, R.H.R. *et al.* (Org.). **Políticas agroambientais e sustentabilidade**: desafios, oportunidades e lições aprendidas. Brasília: IPEA, 2014.

SAMPAIO, C.L.S.; PAIVA, A.C.G.; SOARES, E.C. Peixes, pesca e pescadores do Baixo São Francisco, Nordeste do Brasil. In: NOGUEIRA, E.M.S.; SÁ, M.F.P. (Org.). **A pesca artesanal no baixo São Francisco**: atores, recursos, conflitos. Petrolina: Editora da Sociedade Brasileira de Ecologia Humana, 2015.

SANTOS, A.R. *et al.* Pluriatividade como estratégia de renda: o caso de um agricultor familiar na comunidade ribeirinha São João Batista, Pará. **Rev. Technol. Sociedade**, v. 11, n. 23, p. 89-105, 2015.

SANTOS, L.P. *et al.* Proposta de versão curta da Escala Brasileira de Insegurança Alimentar. **Rev. Saúde Pública**, v. 48, n. 5, p. 783-789, 2014.

SANTOS, T.G. *et al.* Tendência e fatores associados à insegurança alimentar no Brasil: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2004, 2009 e 2013. **Cad. Saúde Pública**, v. 34, n. 4, 2018.

SOARES, E.C. *et al.* Expedition on the Lower São Francisco: An X-ray of fisheries and agriculture, pollution, silting and saline intrusion. **Braz. J. Development**, v. 6, n. 1, p. 3047-3064, 2020.

SOARES, E.C. *et al.* Ictiofauna e pesca no entorno de Penedo, Alagoas. **Biotemas**, v. 24, n. 1, p. 61-67, 2011.

TONEZER, C.; PINHEIRO, E.; PAGNUSSAT, L. Quanto vale a produção para o autoconsumo no meio rural? Um estudo de caso no município de Coronel Freitas no Oeste Catarinense. **Extensão Rural**, v. 26, n. 4, p. 90-107, 2019.

TRIVIÑOS, A.N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

ZIMMERMANN, S.A. *et al.* Desenvolvimento territorial e políticas de enfrentamento da pobreza rural no Brasil. **Campo-Território: Rev. Geog. Agrária**, v. 9, n. 17, p. 540-573, 2014.



# FISHERMEN FOOD SECURITY IN THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER SUBREGION: NEXUS ESSAY WATER - ENERGY - FOOD

Maristela de Fátima Simplício de Santana

Anna Erika Ferreira Lima

Max César de Araújo

## SUMMARY

The nexus water - energy - food displays a series of links, opportunities, interdisciplinary challenges, both transversal and multisectoral. These complexities are not limited to just one sector because they are interdependent and linked due to dependencies between the Nexus elements to provide essential resources that promote human, social and economic growth, and sustainable development. Consequently, interactions and shocks in one of these features may inevitably impact one or more sectors. Thus, adopting a nexus approach allows the capitalization of knowledge and sharing skills and experience to create innovative solutions for complex systems, which constitute the challenges of their rationality. This paper discusses the concept of water, energy, and food nexus, considering the context of intrinsic dependencies for the sustainable development of the São Francisco River Basin (RSF). This territory is defined as a semiarid region with a coastal strip, and it is characterized by the construction of dams and hydroelectric power plants, where several activities that promote multipurpose water usage are developed, studied by the methodology of the fishermen perceptions on water, energy, and food (in)security. In the interrelation of these factors, the recent approach of the nexus emerges, discussing its synergies of demands, provision, application, and problematization. In this context, the present essay brings a theoretical contribution with a territorial focus, based on technical visits, observations of participants, and the application of a semi-structured questionnaire. This led to the conclusion that fishermen's water, energy, and food insecurity have a direct relationship with hydroelectric power production and management, and, consequently, with the construction of "sustainable development." The challenging questions of the water-energy-food nexus in their amplitude regarding the spatial and temporal scales, and the question of multidimensional governances, connect with the necessary reflection on the São Francisco River Basin territory.

## CAPÍTULO 17

# SEGURANÇA ALIMENTAR DOS PESCADORES DA SUBREGIÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO: ENSAIO DO NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTOS

Maristela de Fátima Simplício de Santana<sup>79</sup>

Anna Érica Ferreira Lima<sup>80</sup>

Max César de Araújo<sup>81</sup>

### INTRODUÇÃO

O rio São Francisco é considerado um dos maiores e mais importantes do Brasil, devido à sua relevância ambiental, econômica, cultural e social, especialmente para as regiões Nordeste e Sudeste. Sua nascente é o rio Samburá, localizado no município de Medeiros, no alto do Parque Nacional da Serra da Canastra, no Estado de Minas Gerais, e sua foz localiza-se entre os Estados de Alagoas e Sergipe, desaguando no oceano Atlântico. O Velho Chico, assim chamado carinhosamente pelos ribeirinhos, passa por cerca de 510 municípios, envolvendo seis Estados do País: Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Goiás, além do Distrito Federal. Esta área abrange três biomas brasileiros: Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o São Francisco possui em torno de 2.700 km de extensão, correspondendo a 8% do território brasileiro, e a bacia do rio São Francisco (BRSF) drena uma área de aproximadamente 641.000 km<sup>2</sup> (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2016).

A sub-região do Baixo São Francisco é onde se percebe grande dualidade, por localizar-se em ambiente semiárido, onde a água é a principal força motriz das comunidades rurais. Desta forma, fatores ligados a atividades de pesca e aquicultura, geração de energia elétrica, poluição oriunda dos esgotos das cidades, assoreamento, uso de agrotóxicos em culturas às margens do rio, desmatamento da vegetação marginal, avanço da cunha salina, alterações de vazão, endemismo de espécies, entre outros, refletem diretamente na vida social, econômica e ambiental dessa região (DEVEZA, 2019).

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2016) descreve resumidamente oito classes de usos na bacia. São elas: a geração de energia hidroelétrica; o controle de cheias proporcionado por regras específicas de operação, principalmente nos reservatórios; a navegação, que tem como principal atribuição a prestação de serviços públicos de manutenção das condições do rio e de seus afluentes, para a realização da navegação comercial; o projeto de transposição do rio, com as bacias hidrográficas do Nordeste setentrional; projetos de irrigação e piscicultura, públicos e privados; abastecimento de cidades ao longo do seu curso;

<sup>79</sup> Tecnologista Pleno do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações. Instituto Nacional do Semiárido. CEP 58.434-700, Campina Grande, PB. E-mail: maristela.santana@insa.gov.br.

<sup>80</sup> Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). *Campus* Fortaleza. CEP 60040-215. E-mail: annaerika@ifce.edu.br.

<sup>81</sup> Professor Associado da Universidade Internacional da Integração da Lusofonia Afro-Brasileira. Redenção, CE. E-mail: max@unilab.edu.br.

hidrografia ambiental, que representa as condições necessárias para manter a biodiversidade e comunidades tradicionais que dependem dos serviços ambientais e atividades que dependem dos lagos formados pelos reservatórios, tais como o turismo, a pesca esportiva, o lazer e a piscicultura em tanques-rede dentro dos reservatórios.

Diante do complexo contexto de múltiplos usos da água, verifica-se que a possibilidade de conflitos na região é cada vez maior, aumentando a necessidade de se operar o sistema hídrico de forma a atender sua crescente demanda e estabelecer as prioridades, conforme preceitua a Lei nº 9.433/2007 (MMA, 2015). Aspectos ambientais, políticos, sociais, culturais, educacionais, econômicos, legais, morais, éticos, administrativos, financeiros, técnicos, de governança, dentre outros, precisam ser considerados para uma gestão que atenda esse novo cenário, bem como ações e diretrizes que articulem esses aspectos, suas atividades e procedimentos, além do comprometimento entre eles (KONRAD, 2016).

De outro lado, a definição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), cuja aplicabilidade subentende a relação harmônica entre preservação ambiental, progresso social e crescimento econômico, em busca do bem-estar e de constante melhoria na qualidade de vida da humanidade.

Como uma das formas de atender aos ODS, a perspectiva do *nexo* foi apresentada, pela primeira vez, no World Economic Forum, em 2011, cuja abordagem focava na estrutura dos elementos do *nexo*, a promoção entre os vínculos inseparáveis dos recursos naturais e a garantia dos direitos básicos e universais, tais como alimentos, água e segurança energética (BIGGS *et al.*, 2015). Versões posteriores assumiram vários elementos alternativos, porém recursos hídricos como componente central (HOFF, 2011), a exemplo: uso da terra-água-energia (HOWELLS *et al.*, 2013) e alimentos como um componente central de ligações terra-água-energia (RINGLER *et al.*, 2013). O “pensamento do *nexus*” colocava-se como um avanço nas políticas atuais e, muitas vezes, específicas do setor de governança do uso dos recursos naturais.

Al-Saidi e Elagib (2017) sugerem que o foco de governança é um ingrediente em falta no debate sobre o *nexo*. A governança do *nexo* inclui uma ampla variedade de sistemas públicos que gerenciam a oferta e a demanda de água, energia e alimentos (PAHL-WOSTL, 2017). Promover o acesso a melhores fontes de água, instalações de saneamento e eletrificação é visto pela maioria dos cidadãos como um barômetro da boa governança e é refletido nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e ODS. Benson *et al.* (2017) argumentam que uma governança eficaz para o *nexo* ocorre quando a integração dos setores de recursos é ativamente perseguida, de modo que sinergias entre disponibilidade de água, energia, geração e produção de alimentos são aprimoradas, enquanto as compensações são gerenciadas e potenciais conflitos são evitados.

As estruturas atuais do *nexo*, geralmente, são focadas no nível de macrofatores determinantes dos padrões de consumo de recursos naturais. Contudo, sua extração e o uso em “maior escala” pode levar ao esgotamento dos estoques de capital natural e ao aumento do clima de risco sem uma parcela equitativa dos benefícios (HOFF, 2011), o que corrobora com previsão da Organização das Nações Unidas (ONU), que retrata que o aumento da população mundial ampliará a necessidade global por água, energia e alimentos. Significa que o crescente número de pessoas continuará a depender e a impactar recursos já vulneráveis para sustentar a vida e o crescimento econômico e para manter um ambiente sustentável.

Yumkella e Yillia (2014) afirmam que muitos países enfrentam problemas quanto

à produção de elementos do nexo água-energia-alimentos e possuem capacidade limitada ou inexistente de responder adequadamente a essa demanda, tornando-se os desafios ainda maiores quando se colocam as mudanças demográficas e de estilo de vida e a influência das mudanças climáticas na demanda e na oferta desses recursos. A World Energy Council (WEC) comenta que fatores como as mudanças climáticas impactam fortemente os sistemas de água, que, por sua vez, afetam a produção de alimentos, os sistemas de produção e segurança energética e, conseqüentemente, o crescimento econômico (WEC, 2010).

Para a agenda de execução dos ODS, a importância da perspectiva do nexo como conceito do planejamento integrado e da tomada de decisões vem sendo mundialmente mais aceita, por sua abordagem carregar oportunidades e desafios interdisciplinares, transversais e multissetoriais. Essas complexidades estão intrinsecamente vinculadas às dependências entre os elementos água-energia-alimentos, com objetivo de fornecer subsídios básicos que promovam o crescimento humano e econômico, bem como por permitirem o compartilhamento de conhecimento, habilidades e experiências em prol de soluções inovadoras para sistemas complexos e interligados, e nisso se constituem o desafios do nexo (HOWARTH; MONASTEROLO, 2016).

O esforço de inserir o conceito do nexo dá-se em função do desenvolvimento sustentável, que pode ser alcançados através de melhor gestão dos ecossistemas e do uso estratégico de recursos naturais. Os elementos do nexo água-energia-alimentos não estão distribuídos uniformemente nas regiões, haja visto os desequilíbrios sociais, ambientais, econômicos e de segurança alimentar na bacia do rio São Francisco (BRSF).

Kepple e Segall-Corrêa (2011) relatam que o conceito de Segurança Alimentar e Nutricional (SAN), além dos aspectos tecnológicos, também envolve questões culturais, de saúde e política. Esse conceito está inserido num contexto de sócio-economia, de nível educacional e de políticas públicas de acesso a alimentos em quantidade e qualidade. O que o torna um desafio, especialmente considerando que engloba diversas áreas do conhecimento, como Economia, Direito, Agricultura, Educação, Saúde, Nutrição, Assistência Social, Sociologia, Antropologia e Psicologia, entre outras; áreas que possuem uma perspectiva própria e uma expectativa na compreensão e em sua utilização. Entretanto, esses marcos conceituais e disciplinares, bem como seus indicadores, tomados isoladamente, não são suficientes para a compreensão integral do problema, lançando mão dos métodos baseados na percepção da insegurança alimentar, que se encontram voltados para as redes de programas de proteção alimentar e consideram tanto as questões sociais como as biológicas.

Sarti e Torres (2017) afirmam que apenas maximizar a produção de alimentos e criar estratégias para evitar a perda de produtos não é o suficiente para garantir a segurança alimentar e que o acesso de produtores e da população aos alimentos saudáveis é outra questão essencial.

Machado (2010) constata que, mesmo que o cidadão não esteja passando fome ou que não sejam verificados sinais clínicos clássicos de desnutrição, algumas pessoas podem sentir um medo justificável de privações futuras. Portanto, esse medo caracteriza elementos centrais na composição analítica referente à saúde da população e à insegurança alimentar, que conceitualmente abrange pessoas que não tenham meios para adquirir alimentos em quantidade suficiente.

Na prática, as pesquisas de ingestão domiciliar de alimentos conseguem perceber o fenômeno da “insegurança alimentar” com maior fidelidade, pois procuram examinar os

hábitos de ingestão alimentar das famílias. Esse método consiste na aplicação de questionários que Cobrem uma escala que vai desde a percepção de preocupação e angústia diante da possibilidade de não dispor de alimentos regularmente até a percepção de problemas na adequação da dieta. Também envolvem a diversidade e/ou a quantidade de alimentos que, no limite, levam à fome e a problemas de saúde (CAMPOS, 2016).

Por esse método, a insegurança alimentar é percebida em vários níveis, que vão desde a preocupação de que o alimento acabe antes que haja dinheiro para comprar mais, caracterizando a dimensão psicológica da insegurança alimentar, passando pela insegurança relativa ao comprometimento da qualidade da dieta, sem restrição quantitativa, chegando ao ponto mais grave, que é a insegurança quantitativa, níveis ou situação em que a família passa por períodos concretos de restrição na disponibilidade de alimentos para seus membros, destacando-se a situação em que as crianças são atingidas como a mais grave das condições de insegurança alimentar (BICKEL *et al.*, 2000).

A principal vantagem desse método provém do fato de as medidas qualitativas apreenderem, como elemento essencial, o modo como as pessoas mais atingidas percebem a insegurança alimentar. Esse método permite captar não só as dimensões físicas, mas também as dimensões psicológicas da insegurança alimentar; e permite, ainda, classificar os domicílios de acordo com sua vulnerabilidade ou nível de exposição à insegurança alimentar. Seus limites são dados pelo caráter “subjetivo” da insegurança alimentar, que dificulta comparações e não permite captar a dimensão da segurança dos alimentos, ou seja, a qualidade sanitária (PNAD, 2013). Em suma, destaca-se que as diversas metodologias de medição de segurança alimentar são complementares ao evidenciar distintos níveis de agregação geográfica e demográfica, bem como seus indicadores diretos e indiretos. Esses indicadores refletem o sentimento de insegurança alimentar dos entrevistados, de forma a fazer uma gradação em relação à sua segurança de obter e consumir alimentos (KEPPLE, 2014).

Assim, este trabalho discute a interação dos conceitos denexo, SAN e percepção de insegurança hídrica, energética e alimentar, como forma de contribuir com aspectos interpretativos aplicados ao contexto da sub-região do Baixo São Francisco, considerando a necessidade do estabelecimento de referenciais que aproximem esse novo paradigma de situações e contingências concretas e buscando um necessário pragmatismo das perspectivas analíticas e de reflexividade quanto ao uso dos recursos naturais.

Este estudo teve como objetivo analisar a percepção dos pescadores quanto à sua insegurança hídrica, energética e alimentar, e ensaia uma discussão relativa ao desafio da racionalidade do nexo para o território do Baixo rio São Francisco.

## **Levantamento de dados de campo**

Para tanto, adotou-se como metodologia de pesquisa entrevistas com pescadores nas cidades em que o barco atracou. As entrevistas foram realizadas através de um formulário semiestruturado, o que configurou pesquisa de caráter exploratório e de abordagem qualitativa.

As entrevistas foram realizadas durante a II Expedição Científica do Baixo São Francisco, evento em que um barco com vários pesquisadores trafegou por este rio por cerca de 210 km, atracando nas cidades de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova (comunidade Chinaré), Penedo, Neópolis e Piaçabuçu, fazendo um estudo multidisciplinar, entre 18 e 27 de novembro de 2019.



## Entendendo os resultados obtidos

Segundo Almeida *et al.* (2017), os estudos de “percepção” enfatizam que pessoas distintas podem compreender a mesma situação de diferentes modos e que a reação desses indivíduos, quanto a essa determinada situação, pode ser estabelecida a partir de sua interpretação. Diante dessa concepção, os problemas ambientais são percebidos e interpretados de diferentes maneiras, uma vez que as pessoas os encaram de acordo com as peculiaridades de suas percepções e que estas influenciam em aspectos do ambiente, em detrimento de outros que, de fato, são ameaças imperceptíveis aos órgãos sensoriais. Os autores também afirmam que estudos nessa abordagem são fundamentais para a compreensão das interações entre homem e ambiente, de suas expectativas, satisfações, anseios, julgamentos e condutas no espaço em que está inserido. Tais estudos fornecem subsídios para a construção de estratégias que minimizem problemas socioambientais e implementem programas de educação e comunicação, de forma a assegurar a participação dos atores envolvidos no processo de gestão ambiental.

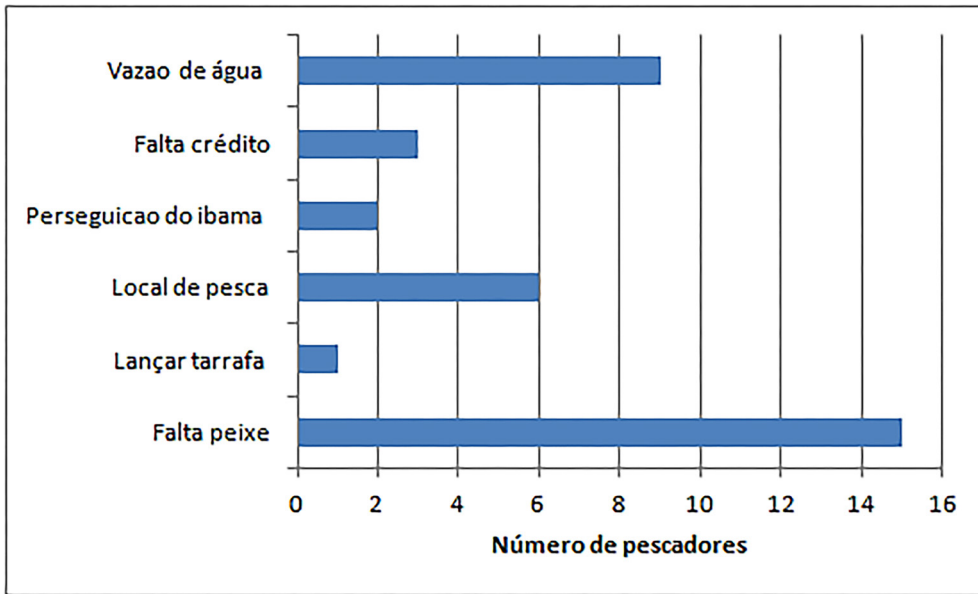
Vasco e Zakrzewski (2010) discutem conceitualmente o termo “percepção ambiental” e afirmam que não é apenas uma questão de apontar quais representações parecem corresponder melhor à realidade, mas de ampliar as perspectivas científicas, políticas ou sociais transmitidas através do uso desse conceito. Os autores analisam que grande parte da produção acadêmica incorpora uma dimensão crítica, busca transformar as realidades e está associada a uma experiência educativa concreta que tenha a mudança como seu eixo central.

As respostas dos 36 pescadores entrevistados revelam a percepção deles quanto à disponibilidade de água para a pesca no BRSF e indicam que a maior insegurança concentra-se na interrupção no abastecimento do rio. A vazão disponibilizada pela empresa da hidroelétrica é colocada como uma decisão alheia a qualquer necessidade da comunidade do entorno do rio na bacia.

Os relatos coletados neste estudo apontam que houve uma imensa vazão de água no passado, antes das instalações das hidroelétricas. É possível observar certa tristeza nestes depoimentos: “[...] era lindo, esse rio!” é a narrativa dos ribeirinhos, que mostram as marcas que as águas atingiram no passado e que hoje a vazão lhes causa tristeza profunda. Um dos entrevistados chega a marejar os olhos quando fala do assunto, verbalizando que: “o rio está morrendo!”.

No contexto nexa água-energia-alimentos, relacionado à segurança alimentar, torna-se importante avaliar as relações dos pescadores com o rio, as razões que promovem a insegurança na prática da atividade pesqueira e, conseqüentemente, a insegurança alimentar e as questões ambientais que promovem a variação da quantidade e a extinção de espécies de peixes necessárias para a promoção de segurança dessa atividade econômica. Essas questões da sub-região do Baixo São Francisco complementam-se quando pescadores são instigados a relatar dificuldades na sua atividade (Figura 118).

Figura 118 - Dificuldades na atividade pesqueira relatadas nas entrevistas com pescadores.



Fonte: Pesquisa Direta, 2019.

A principal dificuldade relatada é a reduzida disponibilidade na quantidade e na variedade de espécies de peixes que, no passado, tinha no rio e que, no momento, não se encontram mais. As alternativas científicas desta questão permeiam a atividade antrópica e as mudanças no ecossistema do rio São Francisco, possivelmente advindas da construção das barragens, da liberação do fluxo de água, da qualidade de água e das relações ecológicas. Há uma necessidade de ter resposta técnica que possa garantir a quantidade, a qualidade e as variedades de peixes para que se tenha a garantia desse recurso no espaço temporal e geográfico.

No início de 2010, dados indicavam como espécies mais abundantes a curimatã-pacu, *Prochilodus argenteus* (*Characiformes*, *Prochilodontidae*) e o piau (*Leporinus obtusidens*) (*Anostomidae*, *Characiformes*) (SOARES *et al.*, 2011). No entanto, relatos de pescadores locais sugerem que, desde 2015, essas populações encontram-se em declínio e o conjunto dessas espécies chegou a representar aproximadamente 55% das capturas na microrregião de Penedo e possivelmente não estejam entre as cinco principais espécies comercializadas (BARBOSA *et al.*, 2017).

Em relação às espécies de peixes, o Mekong, considerado o segundo rio com maior biodiversidade do mundo, é um rio transfronteiriço no leste e sudeste da Ásia, que atravessa países como China, Mianmar, Laos, Tailândia, Camboja e Vietnã (ZIV *et al.*, 2012). Na implementação de suas barragens, previa-se que as espécies e populações de peixes diminuiriam significativamente, bloqueando a migração e alterando os padrões de captura de sedimentos (ICEM, 2010 *apud* PITTOCK *et al.*, 2012).

Todos os entrevistados nesta pesquisa relataram espécies de peixes que não encontram mais no rio São Francisco e as justificativas elencadas por eles é de que a vazão é muito baixa. Pela percepção de tempo, a construção das barragens foi o início desse declínio, juntamente com a seca e a poluição. Medeiros *et al.* (2016) comentam que, dentre outras consequências relatadas por estudiosos da área, encontra-se a redução gradual dos fluxos mínimos no rio, com impactos no avanço da cunha salina na região da foz e, associada a esta questão, a menor

capacidade depurativa do rio, resultado de vazões mais baixas ao longo de períodos mais longos. Todos esses fatores contribuem significativamente para a manutenção de poluentes em concentrações prejudiciais à biota, ao consumo e à irrigação de culturas. Para se ter uma ideia, a vazão do rio São Francisco foi reduzida drasticamente nos últimos anos, de  $1.300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , em 2012, para  $550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  em 2017 (Resolução ANA nº 1.291/2017). Como efeito imediato, foi detectado o aumento da salinidade na sua foz, onde Santana *et al.* (2017) observaram concentração média de salinidade entre 0,17‰ e 28,87‰ (BARBOSA *et al.*, 2018).

Entre outras consequências dessas reduções de vazão para o avanço da cunha salina sobre o rio, verificam-se impactos significativos para os ecossistemas e para a população local, com provável aumento da concentração de poluentes, interferência negativa em atividades econômicas como a pesca e a rizicultura e, em último caso, pode inviabilizar a utilização das águas para fins de abastecimento humano. Possivelmente, os efeitos dessa salinização promovem alterações na biota local, com aumento da competição entre espécies, diminuição dos estoques pesqueiros, desaparecimento de algumas espécies de peixes e crustáceos e o surgimento de outros efeitos em ambientes salinizados (SOARES *et al.*, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2016; BARBOSA; SOARES, 2017; BARBOSA *et al.*, 2018).

Esse cenário tem mostrado sinais de agravamento nos últimos anos e pode ser acelerado devido à exploração excessiva de recursos naturais, como a remoção de mata ciliar em rios tributários e o baixo nível de tratamento de esgoto urbano nos municípios da região, com impactos negativos pela ocorrência de longos períodos de seca, levando a decisões gerenciais que não promoveram adequadamente os usos múltiplos da água do rio (CUNHA, 2015).

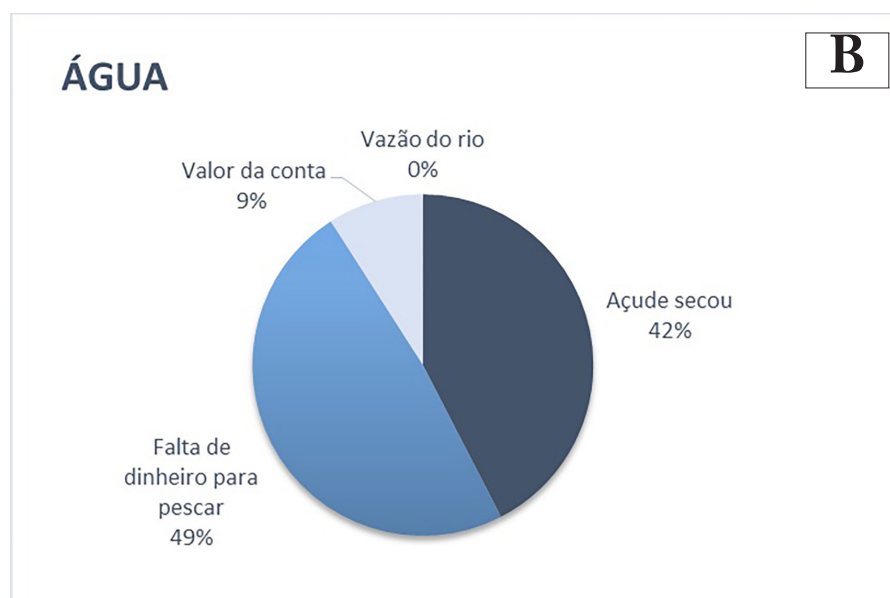
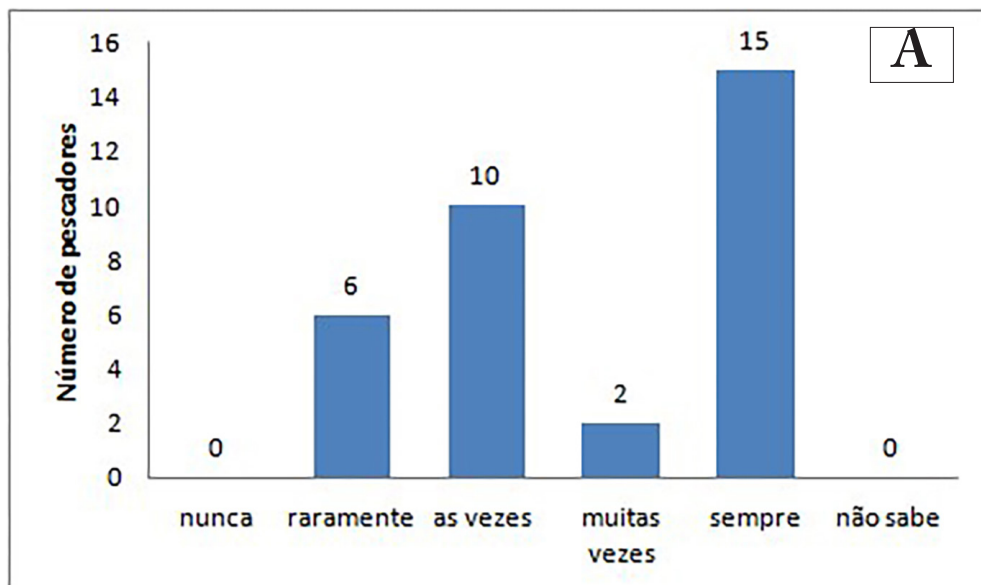
A supressão da vegetação nas margens do rio também contribuiu para o aumento do assoreamento e de processos erosivos do solo, influenciando na diminuição de organismos, por serem importantes redutos de biodiversidade e indicadores de preservação ambiental (CHABARIBERY *et al.*, 2008; MORAIS FILHO, 2014; APARECIDO *et al.*, 2016).

Hoff (2011) elenca, entre os desafios de desempenho da racionalidade do nexos, as dificuldades e as lacunas nas avaliações de ciclo de vida em termos de água e energia, pois essas geralmente não são compreendidas integralmente. A construção das barragens no rio São Francisco deveriam ter considerado estudos da vida aquática e suas atividades econômicas, bem com as atividades agrícolas da região, dentre outras. Essas decisões quanto a construções de barragens e vazões de água não podem ser separadas da política regional e das relações entre as atividades econômicas. Outros fatores incluem mudanças demográficas, pois as cidades possuem demandas para consumo de água.

Hoje, milhões de pessoas vivem do rio São Francisco e dependem diretamente deste sistema para alimentação e subsistência; porém, a maioria dessas famílias é afetada por mudanças na disponibilidade de água, que é uma das fontes econômicas da região. Essa atividade representa papel crucial no estabelecimento de segurança alimentar.

Os dados desta pesquisa foram compilados sobre os elementos do nexos para as respostas de percepção da insegurança hídrica (Figuras 119A e 119B).

Figura 119 - Percepção de insegurança hídrica de pescadores do Baixo São Francisco. A) Relacionada à frequência da insegurança. B) Relativa à motivação desta insegurança.

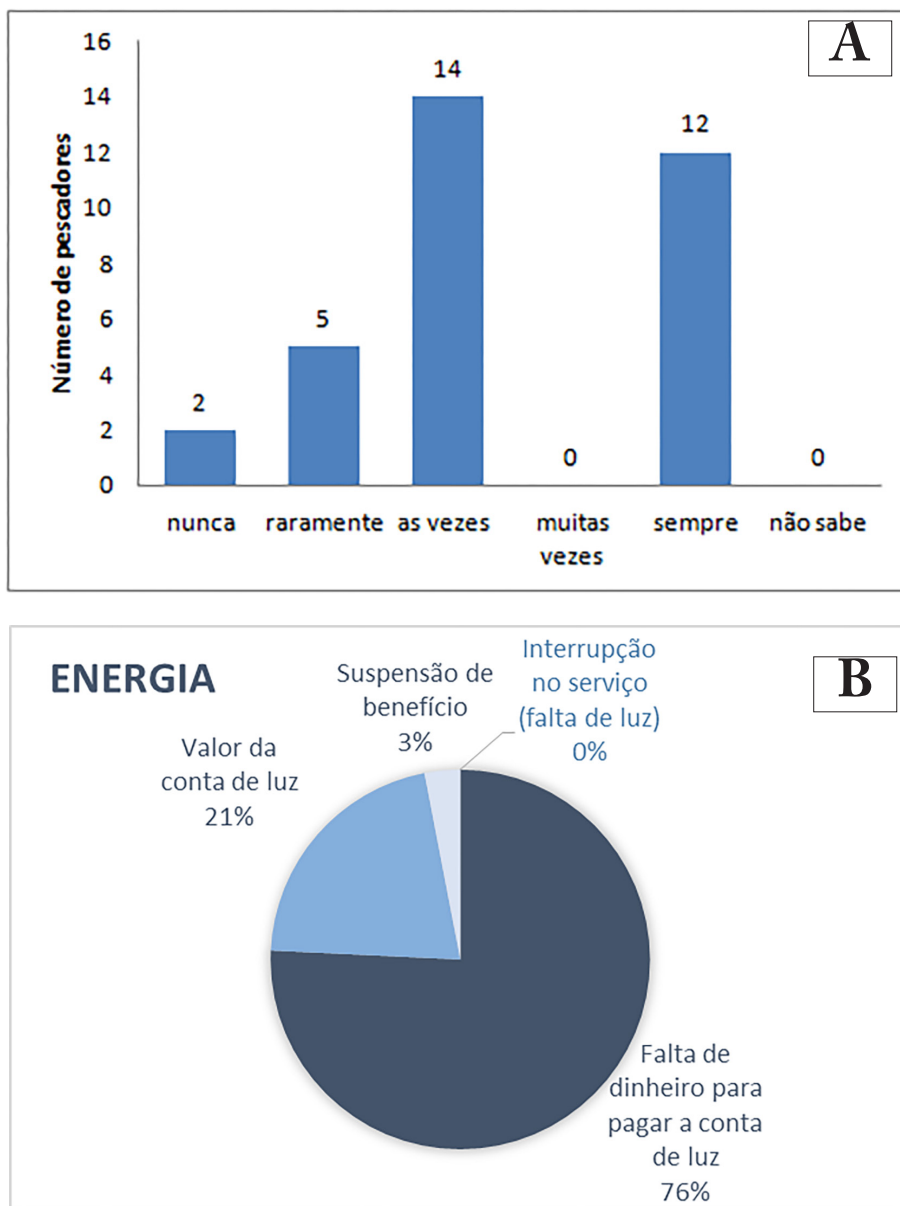


Fonte: Pesquisa Direta, 2019.

Para a insegurança ou preocupação quanto à possibilidade de faltar ou não ter água para o pescador e sua família, verifica-se que 15 pescadores responderam que “sempre” e 10 que “às vezes” possuem insegurança, e quanto ao motivo desta, a soma das respostas de liberação de vazão do rio ou o rio secou foi de 91%, indicando, assim, que a percepção quanto às restrições é, geralmente, relacionada às condições de vazão do rio, por esse representar, principalmente, o recurso natural, de onde depende sua atividade econômica e tiram seu sustento.

Os dados para a insegurança energética ou a preocupação quanto à possibilidade de faltar energia para o pescador e sua família mostram que 14 entrevistados percebem que “às vezes” e que 12 deles responderam “sempre”. A soma dá um total de 26 dos 36 entrevistados, cerca de 72% (Figuras 120A e 120B).

Figura 120 - Percepção de insegurança energética de pescadores do Baixo São Francisco. A) Relacionada à frequência da insegurança. B) Relativa à motivação desta insegurança.



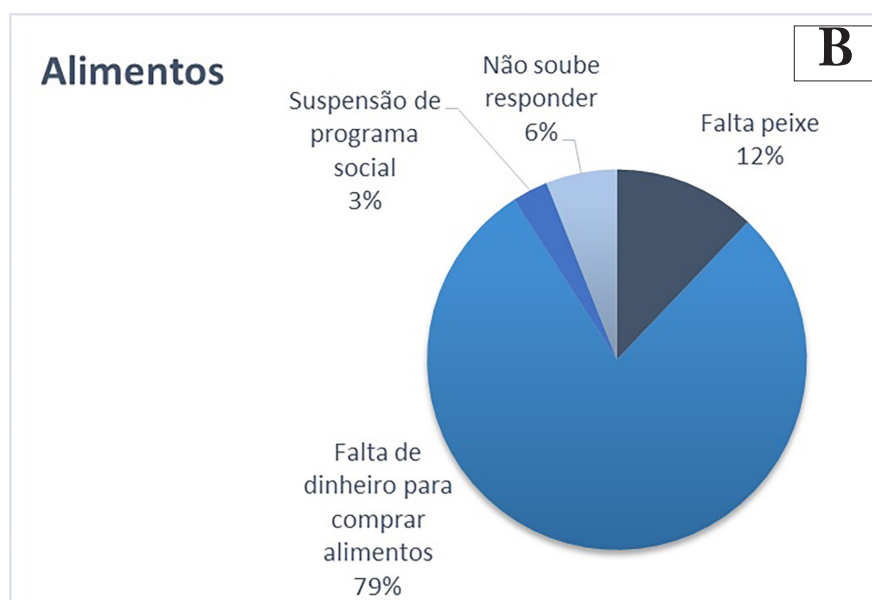
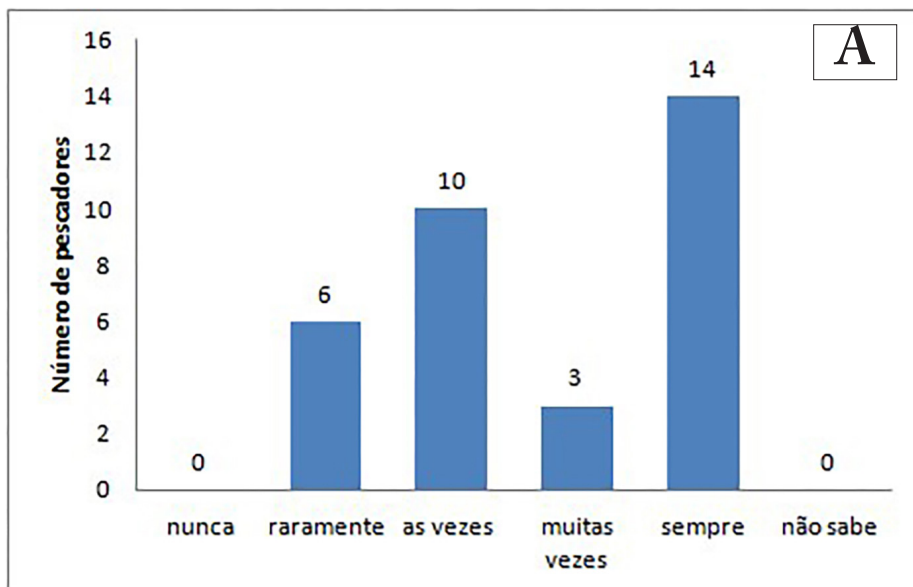
Fonte: Pesquisa Direta, 2019.

Yumkella e Yillia (2014) comentam que, em algumas partes do mundo, os altos custos ou a disponibilidade limitada de energia são fatores limitantes para fins de aumento da produção, fornecimento de água potável e manutenção de serviços de saneamento eficientes. Outrossim, existem estimativas de que um terço dos alimentos produzidos no mundo são estragados devido às limitações de energia e à falta de infraestrutura adequada entre produtores e consumidores, principalmente nas etapas de transporte, instalações de armazenamento e acesso ao mercado, e também devido a hábitos de consumo, normas estéticas e regulação.

Os dados para a insegurança alimentar ou preocupação quanto à possibilidade de faltar alimentos para o pescador e sua família mostram que 14 deles responderam “sempre” e 10 entrevistados percebem que “às vezes”; a soma dá um total de 24 dos 36 entrevistados,



cerca de 67% (Figuras 121A e 121B). Essa percepção quanto aos alimentos pode indicar insegurança na obtenção de sua renda com a pesca ou a quantidade e a qualidade de pescado, que proporcione renda suficiente para a manutenção de sua família.



Fonte: Pesquisa Direta, 2019.

A Bacia do Rio São Francisco, BRSF, é caracterizada pela interdependência na condição hídrica, abrangendo característico conjunto de processos de antropização e urbanização, desenvolvimento econômico e desafios de inclusão social. No território, são 90 municípios integrados, onde vivem cerca de 14,2 milhões de habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). Destes, 752,2 mil habitantes é a população da sub-região do Baixo, distribuída em 53,3% na zona urbana e 46,7% na zona rural dessa sub-região da bacia (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2016), que é mais impactada quanto a pesca, geração de energia elétrica e poluição oriunda dos esgotos das cidades.

O rio sofreu modificações extremas no seu ecossistema com as instalações das usinas hidrelétricas de Sobradinho, Apolônio Sales, Paulo Afonso (I, II, III e IV), Luiz Gonzaga e Xingó, que hoje garantem fornecimento para diversas regiões e representam a base de suprimento de energia do Nordeste. A agricultura é uma das mais importantes atividades econômicas, mas é a regularização das vazões do RSF, proporcionada pelos grandes reservatórios, que garante maior segurança operacional de diversas captações para abastecimento de água pelos municípios. O projeto sofre problemas, como: desmatamento, perda da biodiversidade, favorecimento de processos de lixiviação do solo, alterações na vazão do rio e prejuízo na geração de energia nas usinas hidrelétricas instaladas (DEVEZA, 2019).

Outra consideração relativa à ação antrópica é a transposição do RSF, que “desvia” as águas para áreas assoladas pela seca, através de canais, atendendo às populações dos Estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Nesse contexto, quando colocado na racionalidade do nexo, torna-se possível conceber que a água do rio, recurso natural que proporciona aos pescadores a subsistência da atividade econômica ali desenvolvida, foi atenuada em função da produção de energia e sua insegurança alimentar aumentou em função desta atenuação. As abordagens do nexo consideram questões-chave em alimentos, água, energia e segurança através de uma lente de sustentabilidade, a fim de prever e proteger contra riscos potenciais de insegurança futura.

As escolhas entre desenvolvimento hidrelétrico, conservação da biodiversidade e segurança alimentar são contestadas devido à incompatibilidade de informações, escalas e influências. Os requisitos da produção de energia hidroelétrica transferem riqueza de recursos naturais rurais às mãos de governos nacionais e empresas-chave, em oposição aos ideais de conservação da biodiversidade, conceitos de desenvolvimento sustentável, meios tradicionais de subsistência e pesca das comunidades, bem como as limitações de acesso à informação e a influência financeira e política das populações (PITTOCK *et al.*, 2014; MOLLE *et al.*, 2010).

Yumkella e Yillia (2014) comentam que, para promover mudanças em busca de soluções, com fins de apoiar o planejamento e a tomada de decisões de forma integrada, faz-se necessário entender os fatores da dinâmica do nexo. Porém, água e energia estão intrinsecamente ligadas a sistemas de produção de alimentos, fatores e mudanças climáticas, biodiversidade e até mesmo a soluções tecnológicas e arranjos institucionais necessários para gerenciar e usar os recursos com eficiência. Estudar como essas dimensões e suas conexões são percebidas e gerenciadas terá consequências de longo alcance para vários objetivos de desenvolvimento global, como exemplo: redução da pobreza, melhorias na saúde, tratamento das mudanças climáticas, segurança energética, combate à fome e desnutrição, aumento ao acesso à água e ao saneamento, minimizar a degradação do ecossistema, entre outras.

Segundo o International Geosphere Biosphere Programme (IGBP, 2012), são considerações e recomendações para as políticas públicas: colocar a água como agenda global, envolver ciência e políticas públicas, priorizar o compromisso com a sociedade; salvaguardar a biodiversidade e os serviços do ecossistema; confrontos inevitáveis devem ser resolvidos com base na ciência e com uma visão abrangente; evitar comprometimento por política e *lobbies*; a necessidade de melhorar a disponibilidade de dados e informações; adaptação às mudanças climáticas; implementação de políticas fortes e arcabouços jurídicos; capacitações técnicas em diferentes níveis e mecanismos de financiamento adequados para garantir sustentabilidade. Acrescenta-se que a abordagem sustentável para gestão das águas não se restringe aos aspectos físicos, químicos e biológicos do ciclo hidrológico, bem como a técnicas para acesso

equitativo, mas sim a premissa de compreensão das dinâmicas sociais e políticas, múltiplo uso atual e futuro, crenças e valores humanos com relação aos recursos, ciência interdisciplinar e o envolvimento de todos os atores. Ressalta-se que cientistas e técnicos responsáveis pelas decisões possuem responsabilidade conjunta de trabalhar em prol do desenvolvimento de soluções mais sustentáveis para os problemas hídricos existentes e emergentes.

Ressalta-se também que a sustentabilidade pesqueira no Brasil carece de dados, pois, segundo informações do site do extinto Ministério da Pesca e Aquicultura, o último boletim estatístico publicado foi em 2011. Desde então, não há dados oficiais consolidados sobre a atividade no País e esse problema incomoda tanto o setor produtivo quanto cientistas e organizações conservacionistas, pois limita-se à capacidade de monitorar e planejar a sustentabilidade da atividade, seja com o intuito de intensificar ou de restringir os esforços de pesca. Para Mônica Brick Peres, diretora-geral da organização Oceana Brasil,

a falta de dados é prejudicial para todos. Para fazer manejo de pesca, é necessário saber o que é capturado, o que é jogado fora, o que é desembarcado, como, onde e em que época. Sem essas informações, qualquer coisa é chute.

A Embrapa diz que é unânime entre cientistas, poder público e setor produtivo a falta de informação primária e contínua sobre pesca. Dessa forma, de acordo com as demandas levantadas no Seminário Nacional de Prospecção de Demandas da Cadeia Produtiva da Pesca (2011), é preciso ampliar o conhecimento e gerar, de forma contínua, dados estatísticos sobre o setor que subsidiem políticas públicas, além de implementar um plano nacional de monitoramento pesqueiro. O maior desafio é desenvolver sistemas pesqueiros mais eficientes, a fim de garantir sustentabilidade econômica, social e ecológica do setor (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020).

Pitcock *et al.* (2014) publicaram um estudo sobre as narrativas de *stakeholders* nos processos que permitem políticas e práticas eficazes para gerenciar os vínculos entre água, energia e alimentos. Realizaram três estudos de caso, um na bacia do rio Mekong, um no Sri Lanka e outro no Zimbábue, e verificaram que existem consideráveis oportunidades para melhorar os resultados do desenvolvimento sustentável, encontrando soluções que acomodam vários objetivos donexo. Propõem que os dados possam tornar-se mais disponíveis, contratar especialistas independentes para aconselhar sobre questões conflitantes, engajar partes interessadas que se encontram sub-representadas nas tomadas de decisões, compartilhar benefícios, explorar diferentes perspectivas em fóruns, onde opções alternativas de desenvolvimento podem ser testadas e envolver os tomadores de decisão em diferentes escalas de decisões. Ressaltam que a falta de planejamento integrado e multiuso dos recursos hídricos disponíveis afeta seriamente o justo e equitativo acesso à água para diferentes usuários e leva a crises e conflitos na alocação de água.

O reflexo de ações isoladas, em muitos países ou comunidades, são consumidores e empresas usando os recursos naturais de maneiras tecnicamente ineficientes, sem visão dos possíveis benefícios das ligações entrelaçadas e interdependentes. Essas visões são contrárias às alternativas encontradas quando essas relações são dialogadas com todos os atores, em que apreciam a situação de forma a tomar as decisões que maximizam os co-benefícios e minimizam as restrições. Porém, é necessária uma ação ajustada em todas as esferas e níveis de influência.

Yumkella e Yillia (2014) apresentam sugestões de como os *stakeholders* poderiam melhorar essas interligações: a) a comunidade poderia reunir atores e catalisar o apoio a organizações nacionais e estaduais e, em alguns casos, entidades regionais e sub-regionais; b) os governos poderiam fazer e usar políticas muito mais coordenadas, enquanto a comunidade empresarial poderia tentar ajustar os sistemas de produção para um uso mais eficiente dos recursos; c) as ONGs e organizações da sociedade civil poderiam aprender a desafiar e colaborar com o setor empresarial e as autoridades locais para ajudar a fornecer soluções; d) as instituições de financiamento e agências de desenvolvimento poderiam usar sua experiência em trabalhar com governos para promover mais replicação de iniciativas orientadas ao nexos; e) os indivíduos e a sociedade civil como um todo poderiam tentar entender e gerenciar seus padrões de consumo e as escolhas que eles fazem em um mundo cada vez mais restrito em recursos.

A realocação das quotas existentes de água apresentam aspectos sociais, culturais e ambientais economicamente e politicamente muito sensíveis. No entanto, o planejamento integrado e multiobjetivo e a transparência nos processos são abordagens vitais para evitar a desconfiança pública na implementação de novos projetos, e também para garantir o multiuso à água por diferentes usuários (PITTOCK *et al.*, 2014). E complementam que os contrastes entre escalas e em foco nas compensações sobre água, energia e alimentos devem ser enfrentados pelas partes interessadas (*stakeholders*). No entanto, também existem necessidades comuns de processos que possibilitem negociações mais efetivas entre esses multiusuários, o que também foi verificado nas entrevistas com pescadores do rio São Francisco. Estes relatam que a vazão da água é aumentada quando os gestores da hidroelétrica decidem e que essa decisão dificulta todo o ciclo de vida do peixe e, conseqüentemente, atinge as atividades de pesca e promove insegurança alimentar.

Os casos avaliados no estudo de Pittock *et al.* (2014) e da pesquisa com pescadores do rio São Francisco demonstram que existem amplas oportunidades para melhorar os resultados para o desenvolvimento sustentável, encontrando soluções para o compartilhamento de infraestrutura, uso de recursos naturais e gerenciamento de ecossistemas que acomodam vários objetivos no nexos.

O nexos água-energia-alimento é um conceito cada vez mais utilizado como referência à tomada de decisões integrada entre setores, considerando que uma ação, em uma área, afetará uma ou mais áreas. No entanto, o desenvolvimento sustentável e o crescimento social e econômico podem ser alcançados através de melhores gestões dos ecossistemas e do uso mais estratégico de água, terra e outros recursos naturais, favorecendo oportunidades de compartilhar os benefícios de recursos específicos através das fronteiras para o benefício da região e otimizando o uso de recursos (SCHREINER; BALETA, 2014). Assim, considera-se questão-chave em alimentos, água e energia a segurança através de uma lente de sustentabilidade, a fim de prevenir e proteger contra riscos potenciais de insegurança futura.

Yumkella e Yillia (2014) ressaltam, ainda, que o trabalho de avaliação e desenvolvimento metodológico do nexos está em fases preliminares, apesar dos primeiros passos – aceitar que a energia-água é o melhor facilitador para a segurança alimentar, melhorias em saúde e educação, acesso à água potável, saneamento, economia e empoderamento. Do ponto de vista do nexos, faz-se necessário reconhecer as externalidades positivas e negativas da produção de energia no Baixo Rio São Francisco, repensar e tomar medidas multidimensionais para planejar e implementar uma estratégia de desenvolvimento com tudo incluído e, em particular, um

modo que continuará coordenando os vínculos, sejam eles energia-água-pesca, energia-água-produção agrícola, energia-água-transporte fluvial, energia-água-saúde etc.

Howarth e Monasterolo (2016) desenvolveram uma pesquisa metodológica sobre a abordagem do nexo em 4 encontros entre 80 *stakeholders* e identificaram preocupações, oportunidades e barreiras das principais partes interessadas para melhor informar a tomada de decisão, centrada em quatro temas: comunicação e colaboração, processos de tomada de decisão, dimensões sociais e culturais e natureza das respostas aos choques do nexo. A partilha dos participantes evidenciou as implicações das barreiras e suas soluções, o que pode facilitar um diálogo construtivo e a tomada de decisões mais eficiente para as respostas aos conflitos do nexo. Os autores afirmam que a adoção e a implementação de abordagem multidisciplinar são complexas devido às limitações sociais e práticas que são específicas da área e comuns aos campos das ciências dos envolvidos. Isso inclui as regras que caracterizam o desenvolvimento do conhecimento, maior especificidade da educação e especialização dos pesquisadores, falta de retorno de indicadores de visibilidade, como publicação em principais periódicos, solicitações de financiamento a órgãos públicos e privados e desenvolvimento de carreira.

Simpson e Jewitt (2020) fizeram uma revisão sobre nexo e relatam que este conceito tem sido amplamente promovido em políticas e círculos de desenvolvimento desde o ano de 2011 e possui grande potencial, porém enfrenta desafios para ser amplamente adotado. Como fragilidade, apresenta aspectos ainda não contemplados, tais como meios de subsistência e do ambiente. Até o presente momento, os estudos focaram na segurança global de recursos em escala macro, que não era a intenção quando o conceito foi promovido, no início de sua concepção. Para que essa abordagem ganhe impulso, principalmente à luz dos ODS, deve-se ampliar a segurança de recursos adequados para todos os aspectos e, simultaneamente, reconhecer e proteger o ambiente como base insubstituível do nexo. Essa abordagem multicêntrica aumentará a complexidade, especialmente quando interconexões, *trade-offs* e dirigentes institucionais e governamentais são incorporados na avaliação.

Os mesmos autores fazem a ressalva de que a abordagem do nexo água-energia-alimentos não deve ser um modelo único, mas sim ser escalonado e adequado para diferentes situações, como exemplo: cidades, países e regiões (bacias hidrográficas, no caso do São Francisco). A disponibilidade de informações completas e relevantes de dados também representa um desafio para a implementação, na prática, do nexo, por ser um recurso relativamente novo, com vista ao desenvolvimento. Se o nexo é multicêntrico, sua abordagem fornece um melhor foco aos complexos desafios de desenvolvimento e segurança que a comunidade global está enfrentando, em comparação às estruturas existentes anteriormente, porém, sua possível adoção deve ser explorada mais amplamente. Ainda afirmam que a estrutura do nexo é considerada, por muitos autores da literatura acadêmica, como uma “zona cinzenta”, mas como promessa para orientar o desenvolvimento de estruturas políticas e de governança. Em um mundo que está enfrentando mudanças climáticas, crescimento populacional e a desigualdade em termos de acesso aos recursos naturais, a ligação das avaliações do nexo água-energia-alimentos com os ODS é, portanto, imperativa.

Howarth e Monasterolo (2016) comentam que o nexo representa um meio multidimensional de investigação científica que procura descrever as complexas e não lineares interações entre água, energia e alimentos, com o clima e outros aspectos, com fins de compreender implicações mais amplas para a sociedade. Esses recursos são fundamentais para a vida humana, mas são afetados negativamente por “choques”, como, por exemplo, a



construção de barragens ou as mudanças climáticas, que caracterizam alguns dos principais desafios ao desenvolvimento sustentável. Dada a natureza multidimensional e complexa do nexo, é necessária uma abordagem transdisciplinar do conhecimento para, efetivamente, analisar dados e informar os processos de tomada de decisão. Essa complexidade dá-se devido às particularidades comuns às ciências, suas limitações e práticas, as regras e os métodos de produção, as especificidades da educação e a especialização dos pesquisadores, financiamentos, sistemas de publicações e comunicação. Todos esses fatores são essenciais ao fomento de bases de informações necessárias ao nexo para melhor tomada de decisão, bem como carregam uma série de laços, oportunidades e desafios interdisciplinares, transversais e multissetoriais, permitindo, assim, a capitalização do conhecimento e o compartilhamento de habilidades e experiência com fins de criar soluções inovadoras para sistemas que se apresentam complexos e interligados; nisso se constituem os desafios do nexo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou um ensaio no sentido de motivar o debate e não objetivou esgotar a análise do nexo para o contexto territorial do Baixo São Francisco. Teve como foco essa nova abordagem, com fins de estimular pesquisas e intervenções com visão multidimensional, interdisciplinar, transversal e multissetorial, que apresentam soluções de aplicação às vulnerabilidades no Baixo rio São Francisco.

Diante do contexto apresentado neste estudo, foi possível verificar que a população de pescadores possui considerável percepção de insegurança hídrica, energética e alimentar.

A abordagem do nexo permite alavancar coparticipações que possam, simultaneamente, otimizar o uso dos escassos recursos hídricos, similar à eficiência energética, sem permitir a insegurança alimentar da população desse território, trazendo, assim, uma melhor relação entre as dinâmicas praticadas pelos atores, promoção da equidade entre indivíduos e comunidades nas agendas de desenvolvimento do território da bacia do rio São Francisco.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.; SCATENA, L.M.; LUZ, M.S. DA. Percepção ambiental e políticas públicas - dicotomia e desafios no desenvolvimento da cultura de sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, v.20, n.1, p.43-64, 2017.

AL-SAIDI, M.; ELAGIB, N. A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. **Science Total Environmental**. v.574, p.1131-1139, 2017.

APARECIDO, C.F.F. *et al.* Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 239- 256, maio – jun. 2016.

BARBOSA, J.M. *et al.* Evolução da atividade agrossilvipastoril na região e Brejo Grande, Estado de Sergipe: Carcinicultura. **Agroflorestalis News**, v.3, n.1, 52-60, 2018.

BARBOSA, J.M. *et al.* Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco. **ActaFish**, v.5, n.1, 70-90, 2017.

BARBOSA, J.M.; SOARES, E.C. Perfil da ictiofauna da Bacia do São Francisco: Estudo preliminar. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v.4, n.1, 155-172, 2009.

BENSON, D. *et al.* Governing for the Nexus. In: ABDUL SALAM, P. *et al.* (Eds.). **Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices**. Washington, DC: John Wiley and Sons, Inc., 2017.

BICKEL, G. *et al.* **Measuring food Security in the United States**. Guide to Measuring Household Food Security. Alexandria: United States Department of Agriculture, 2000.

BIGGS, E.M. *et al.* Sustainable development and the water–energy–food nexus: a perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v.54, p. 389-397, 2015.

CAMPOS, M.M. *et al.* Pescadores artesanais da Bacia de Campos: a saúde pela perspectiva da (in)segurança alimentar. **Caderno Metropolitano**, v.18, n.36, pp.481-501, 2016.

CHABARIBERY, D. *et al.* Recuperação de matas ciliares: sistemas de formação de floresta nativa em propriedades familiares. **Informações Econômicas**, v.38, n.6, jun. 2008.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025**. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/planoderecursoshidricos/relatorios/>. Acesso em: 25 mar. 2010.

CUNHA, C.J. **Regularização da vazão e sustentabilidade de agroecossistemas no estuário do Rio São Francisco**. 2015. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 2015.

DEVEZA, A.C.P. **O nexó água-energia-alimento na operação de sistemas hidrotérmicos: estudo de caso da bacia do rio São Francisco**. UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ. 2019. Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pesca e Aquicultura**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 01 maio 2020.

HOFF, H. **Understanding the Nexus**: Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2011.

HOWARTH, C.; MONASTEROLO, I. Understanding barriers to decision making in the UK energy–food–water nexus: The added value of interdisciplinary approaches. **Environmental Science & Policy**, v.61, p.53-60, 2016.

HOWELLS, M. *et al.* Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. **Nature Climate Change**, v.3, p.621–626, 2013.

INTERNATIONAL GEOSPHERE BIOSPHERE PROGRAMME. **Segurança hídrica para um planeta sob pressão Transição para a sustentabilidade: desafios interligados e soluções**. [s.d.]. Disponível em: [http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water\\_FINAL](http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water_FINAL). Acesso em: 25 mar. 2020.

KEPPLE, A.W, SEGALL-CORRÊA, A.M. Conceituando e medindo segurança alimentar e nutricional. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n1, p. 187-199, 2011.

KEPPLE, A.W. **O estado da segurança alimentar e nutricional no Brasil: um retrato multidimensional: Relatório 2014**. Brasília: FAO; 2014.

KONRAD, M. R. **Apropriação dos recursos hídricos no caso da transposição do rio São Francisco**. São Paulo: USP, 2016.

MACHADO, M. **Acesso a Alimentação**: Projetos Indicadores em SAN. Belo Horizonte: Ipead, UFMG, 2010.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Inter-annual variability on the water quality in the Lower São Francisco River (NE-Brazil). **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 28, ed.5, 2016.

MOLLE, F.; MOLLINGA, P.P.; WESTER, P. Hydraulic bureaucracies: Flows of water, flows of power. **Water Alternatives**, v.2, n.3, p.328-349, 2010.

MORAIS FILHO, J.Z. **O Assoreamento nos Lagos Igapó I e II na cidade de Londrina - PR**. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

PAHL-WOSTL, C. Governance of the water-energy-food security nexus: a multi-level coordination challenge. **Environmental Science Policy**, v.92, p.356–67, 2017.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS. **Síntese de indicadores 2013**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94414.pdf>. Acesso em: 01 maio 2020.

PITTOCK, J. *et al.* Tackling trade-offs in the nexus of water, energy and food. **Aquatic Procedia**. v.5, p.58-68, 2015.

RINGLER, C.; BHADURI, A.; LAWFORD, R. The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.5, p.617–624, 2013.

SANTANA, N.R.F.; AGUIAR NETTO, A.O.; GARCIA, C.A.B. Qualidade da água da foz do Rio São Francisco. **Anais...Congresso Nacional de Meio Ambiente 14, Poços de Caldas, 27 a 29 de setembro de 2017**.

SARTI, F.M.; TORRES, E.A.F.S. **Nutrição e Saúde Pública**: Produção e Consumo de Alimentos. Barueri: Manole, 2017.

SCHREINER, B.; BALETA H. Broadening the lens: a regional perspective on water, food and energy integration in SADC. **Aquatic Procedia, Stockholm**, v.5, p.90 – 103, 2015.

SIMPSON G.B.; JEWITT, G.P.W. The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: a review. **Frontiers Environmental Science**, v.7, p.1-9, 2020.

SOARES, E.C. *et al.* Ictiofauna e pesca no entorno de Penedo, Alagoas. **Biotemas**, v. 24, p. 61-67, 2011.

VASCO, A.P.; ZAKRZEWSKI, S.B.B. O estado da arte das pesquisas sobre percepção ambiental no Brasil. **Perspectiva, Erechim**, v.34, n.125, p. 17-28, mar. 2010.

WORLD ENERGY COUNCIL. **Water for Energy**. 2010. Disponível em: [http://www.worldenergy.org/documents/water\\_energy\\_1.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/water_energy_1.pdf). Acesso em: 15 maio 2020.

YUMKELLA, K. K.; YILLIA, P. T. Framing the water-energy nexus for the post-2015 development agenda. **Aquatic Procedia**. v.5, p. 8 – 12, 2015.

ZIV, G. *et al.* Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n.15, p. 5609-5614, 2012.

# FISHERMEN'S PERCEPTION ON CHANGES OF THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER

Jucilene Cavali

Alfredo Borie Mojica

Jerônimo Vieira Dantas Filho

## SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the environmental, socioeconomic, and cultural perception of fishermen regarding ecological changes on the Lower São Francisco River, Brazil. The research was developed through semi-structured interviews with fishermen from 7 municipalities and villages on the São Francisco River banks, applied during the II Scientific Expedition embarked on the São Francisco River. In the perception of fishermen, environmental changes are consequences of the progressive reduction of the flow of the São Francisco River in the last 12 years, which culminates in changes in the quantity and diversity of fish species, the increase of sandbanks, islands, shallow still and hot waters, diversity, and an increase of macroalgae and parasites. The qualitative perception of water is noticed by the fishermen of the city of Piaçabuçu due to the sea salt wedge's advancement on the river. In the economic sphere, families of fishermen, who consumed 5 to 8 kg/day, used to fish from 50 to 70 kg/day and traded up to R\$ 800.00 to 1000.00 per week; today, they survive with as little as R\$ 250.00 to 300.00 monthly and rely on other sources of income besides the river. Fishermen highlight necessary actions for the river's survival, such as restocking, surveillance of predatory fishing and the use of aggressive equipment, especially in the capture of fish matrices, and control of waste disposal. They suggest socio-environmental and contributive action economic projects by the fishermen through their associations, such as repopulation, inspections, environmental education, and changes and expansion of the fishing prohibition period.

## CAPÍTULO 18

# PERCEPÇÃO DOS PESCADORES SOBRE AS MUDANÇAS NO BAIXO RIO SÃO FRANCISCO

Jucilene Cavali<sup>82</sup>

Alfredo Borie Mojica<sup>83</sup>

Jerônimo Vieira Dantas Filho<sup>84</sup>

### INTRODUÇÃO

O rio São Francisco, Opará ou Grande Rio, como é chamado, abrange 639.920 km<sup>2</sup> de área de drenagem, cerca de 8% da área do território nacional, distribuindo-se por 507 municípios de sete Unidades da Federação (UFs): Estados de Alagoas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco e Sergipe, bem como o Distrito Federal. O rio São Francisco tem 2.700 km de extensão e nasce na serra da Canastra, em Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pela Bahia e por Pernambuco, quando altera seu curso para leste, chegando ao oceano Atlântico por meio da divisa entre Alagoas e Sergipe (COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2017). O Baixo Rio São Francisco: de Paulo Afonso até sua foz (32.013 km<sup>2</sup> – 5,1% da região) é habitado por cerca de 16,14 milhões de pessoas (9,5% da população do País). A maior concentração de habitantes está no Alto (56%) e no Médio São Francisco (24%). Ao longo do seu processo de ocupação, o rio São Francisco foi e é utilizado para múltiplos aproveitamentos, como navegação, irrigação, mineração e pesca (CASTRO; PEREIRA, 2017). O Velho Chico possui oito usinas hidroelétricas listadas na ordem cascata do Alto até o Baixo Rio São Francisco: Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó, complexo de Paulo Afonso e Xingó. Esta última, a UHE Xingó (1994), possui uma superfície aproximada de 60 km<sup>2</sup> e uma capacidade de armazenamento de 3,8 bilhões de m<sup>3</sup> de água, considerado o 5º maior canyon navegável do mundo.

O Baixo Rio São Francisco possui cerca de 19.000 pescadores artesanais profissionais cadastrados, locados em 19 colônias e 1 associação de pescadores. A colônia que apresentou maior número de associados foi a de Piaçabuçu, Z-19 (3.980 pescadores associados), seguida pelas colônias de Neópolis, Z-7 (3.140) e Penedo, Z-12 (2.500). Os pescadores do Baixo Rio São Francisco trabalham, em média, 4 dias por semana, 8 horas por dia, apresentando jornada de trabalho similar aos trabalhadores formais (8 horas/dia). A renda média mensal estimada entre os pescadores dos municípios estudados foi de R\$ 225,00 (US\$ 59,24). Porém, 33,3% obtêm uma renda de apenas R\$ 100,00 a R\$ 200,00/mês na pesca e 81% a carteira da colônia de pescadores. Mudanças ambientais e socioeconômicas são notórias com a instalação das usinas hidroelétricas de Sobradinho e Xingó. Mudanças ambientais – como impactos na produção pesqueira, poluição, falta de saneamento básico, assoreamento – e,

<sup>82</sup> Universidade Federal de Rondônia, Departamento de Zootecnia, Presidente Médici – Rondônia.

<sup>83</sup> Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Unidade Acadêmica Penedo. E-mail: alfredo.mojica@penedo.ufal.br.

<sup>84</sup> Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Sanidade e Produção Animal Sustentável, Rio Branco – Acre.



consequentemente, socioeconômicas vêm se instaurando nas comunidades ribeirinhas, que dependem diretamente da pesca para a alimentação e do rio São Francisco para diversas outras atividades.

O objetivo deste estudo foi conhecer os impactos das mudanças ambientais e socioeconômicas percebidas pelos pescadores do Baixo Rio São Francisco, a fim de relacionar as demais informações de análises da água, peixes e sedimentos realizadas durante a II Expedição Científica do Rio São Francisco.

## Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida por meio de entrevistas semiestruturadas com 33 pescadores de colônias dos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Propiá, Neópolis, Penedo e Piaçabuçu, sediados às margens do rio São Francisco no trecho de Piranhas à foz do rio São Francisco, no Pontal do Peba, aplicadas durante a II expedição científica embarcada do rio São Francisco. Este estudo baseou-se na pesquisa qualitativa. A fim de identificar pescadores diretamente envolvidos com o conhecimento diário e prático do que se deseja investigar, foram selecionados pescadores com vivências, experiências e contato diário com o rio São Francisco, priorizando residentes locais de cada município. Utilizou-se o método do estudo de caso de caráter empírico, a fim de expor o processo investigado e os resultados decorrentes dessa investigação. Para isso, utilizou-se como instrumento de pesquisa a técnica de entrevistas.

O questionário semiestruturado abordou temas relativos aos dados da pesca quanto a diversidade e produção, qualidade da água e do pescado, presença de parasitas e macrófitas e as principais percepções ambientais às mudanças do Velho Chico, assim como sugestões de proposta socioambiental e/ou econômica de cunho contributivo advindo dos próprios pescadores, através das colônias.

## Resultados e Discussão

Os pescadores possuem, em média, 32 anos na atividade, de 8 a 45 anos, 66% são cadastrados pelas colônias de pescadores entre os anos de 2004 e 2006, regulamentados na profissão da pesca de subsistência e estando como pescadores ativos nos últimos 15 anos, pescando na frequência de 3 a 5 vezes por semana (Tabela 45).

Tabela 45 - Síntese do perfil dos entrevistados por município no Baixo São Francisco.

Localidades	Pescador 'n'	Tempo de pesca	Tempo de Carteira	Colônia	Veze em que pescam/ semana
Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Penedo, Neópolis, Piaçabuçu	33	32,4 ± 12,8	27,7 ± 8,2	Z-12, Z-17, Z-18, Z-19, Z-20, Z-30	3,6 ± 1,0

Fonte: Jucilene Cavali (2019).

## Percepção de mudanças na produção e diversidade pesqueira

Aos dados da pesca, foi relatada a redução considerável da quantidade e da diversidade de espécies de peixes. Na percepção dos pescadores, a redução do pescado no Baixo Rio São Francisco vem ocorrendo gradativamente nos últimos 12 anos, com variação de 1,5 anos entre as respostas obtidas (Tabela 46).

Tabela 46 - Percepção dos pescadores quanto às mudanças na produção e na diversidade de espécies nos municípios do Baixo Rio São Francisco.

Municípios	Piranhas	Pão de Açúcar	Traipu	Penedo	Neópolis	Piaçabuçu
Tempo de redução do pescado	12,1 ± 1,2	12,0 ± 1,7	12,2 ± 1,4	12,5 ± 1,7	10,7 ± 2,1	11,2 ± 1,5
Pescador 'n'	5	6	8	7	3	4

Fonte: Jucilene Cavali (2019).

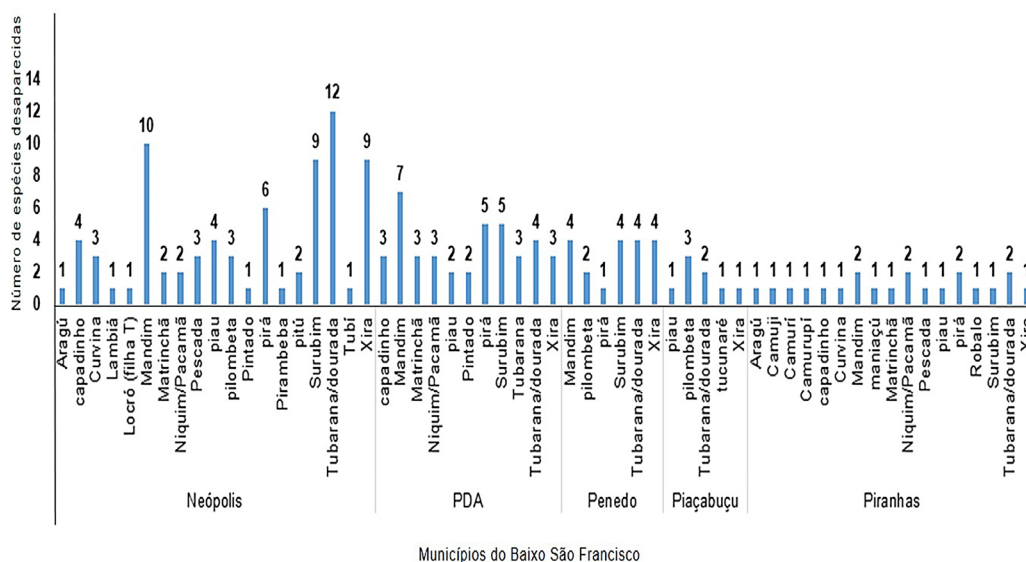
É unânime a percepção dos pescadores de que a UHE Xingó, última usina a ser inaugurada, foi o derradeiro impacto sobre o volume de águas do Baixo Rio São Francisco e, conseqüentemente, sobre a reprodução dos peixes. A percepção dos pescadores quanto à redução do pescado corrobora com os relatos do período residual de presença de peixes, de 5 a 6 anos ( $n = 21$ ) após uma boa cheia, a exemplo da última grande cheia, que ocorreu em 2005, com 9.500 m<sup>3</sup> liberados; e, posteriormente, em 2009, com a abertura de 1 comporta da UHE Xingó por alguns dias.

Segundo Pereira (2020), a descarga fluvial para o Baixo Rio São Francisco, de 3.533 m<sup>3</sup>/s, passou a ser regulada a 2.060 m<sup>3</sup>/s pela UHE Xingó entre 1995 e 2001; foi significativamente menor após a Resolução nº 442/2013, com redução a 1.100 m<sup>3</sup>/s da vazão à jusante das barragens de Sobradinho e de Xingó, e a 800 m<sup>3</sup>/s em 2015, até chegar ao limite de 550 m<sup>3</sup>/s em 2017; uma redução de 62,9% da descarga fluvial para o estuário do rio São Francisco. Hoje, a UHE trabalha com 2 turbinas com média de 800 m<sup>3</sup>/dia (Figura 122B). Os relatos deste estudo descrevem a última cheia do rio, proporcionando águas túrbidas e lagos de desovas, pois os peixes demandam o início das chuvas fortes, que mexem com as águas e proporcionam maior profundidade em coluna d'água, oportunizando áreas alagadas para a formação dos ninhos. Destaca-se que, nas condições da última cheia natural, em 1992, observou-se claramente o aumento dos peixes mandi, surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) e tubarana e houve redução considerável dessas espécies a partir de 2002.

Medeiros *et al.* (2011) já ressaltavam as grandes alterações nas condições naturais oriundas da atividade de geração de energia hidroelétrica do Submédio e do Baixo Rio São Francisco, em função do resultado do manejo integrado do sistema de barragens, sendo a barragem de Sobradinho a principal controladora da capacidade-limite de vazão da água. Avaliando as séries de vazões entre 1936 a 2000 na região de Traipu, os autores destacam a não influência dos eventos climáticos na variabilidade sazonal das vazões eliminadas após 2001 e a perda na pulsação sazonal e interanual, variações estas que somente ocorrem em eventos climáticos extremos de elevadas precipitações, que superam a capacidade de retenção das barragens. Também ocorrem em eventos de secas, quando o gerenciamento da vazão tende a ser mais intenso ainda, visando maximizar a produção de energia hidroelétrica.

Concomitantemente a alterações dos padrões naturais de vazão, ocorreu a diminuição do aporte de nutrientes e sedimentos em suspensão na região costeira, culminando, naturalmente, para as condições oligotróficas da região costeira adjacente. A percepção, pelos pescadores, quanto à diversidade de espécies que desapareceram (Gráfico 7) e tornaram-se mais frequentes (Gráfico 8) variou entre os municípios ao longo do Baixo São Francisco.

Gráfico7 - Percepção dos pescadores quanto às espécies que desapareceram, nos últimos cinco anos, com as mudanças ambientais nos municípios do Baixo Rio São Francisco.



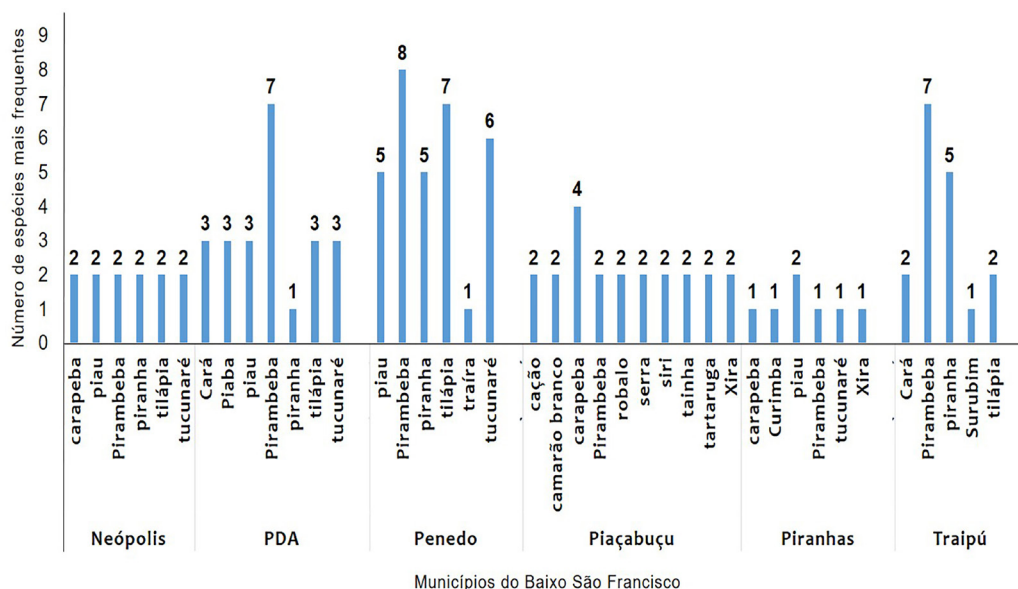
Fonte: Jucilene Cavali (2019).

Figura 122 - Exemplos de peixes capturados no Baixo Rio São Francisco comercializados nas feiras (a) e detalhes da Usina hidroelétrica de Xingó, Rio São Francisco (b).



Fonte: Jucilene Cavali (2019)

Gráfico 8 - Percepção dos pescadores quanto às espécies mais frequentes e que apareceram, nos últimos cinco anos, com as mudanças ambientais nos municípios do Baixo Rio São Francisco.



Fonte: Jucilene Cavali (2019).

Ao longo do rio São Francisco, dos municípios de Traipu a Penedo, observa-se o aumento das espécies pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) e tucunaré, em detrimento da redução de mandi e camurí (chegava-se a pescar 25 kg/dia) e desaparecimento das espécies tubarana (*Salminus hilarii*), pilombeta e xira (*Prochilodus argenteus*), das quais pescavam-se 200 kg a 300 kg/dia, do surubim e do piáu amarelo (*Leporinus obtusidens* e *Leporinus reinhardt*). Estudos relatam que, das 360 espécies que existiam na bacia do rio São Francisco, mais de 70%, ou seja, 208 espécies já desapareceram (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO, 2017).

Algumas espécies foram substituídas por espécies mais agressivas, predadores e/ou hábito alimentar generalista, como tucunaré (*Cichla monoculus*), piranha (*Pygocentrus piraya*), pirambeba (*Anchoviella vaillanti*) e piaba (*Characidae*) (Figura 122A). No município de Piaçabuçu, rumo à foz do rio São Francisco, os relatos enfatizam a substituição das espécies de água doce pelas de água salgada, com presença mais frequente das espécies tainha, serra, robalo (*Centropomus undecimalis* e *C. parallelus*), pirambeba (*Anchoviella vaillanti*), carapeba (*Eucinostomus melanopterus* e *Eugerres brasilianus*), tartarugas e siris, especialmente nos últimos 2 anos. Os pescadores relatam a visualização de tubarões (n = 4) e o desaparecimento das espécies pocomã ou niquim (*Lophiosilurus alexandri*), pilombeta e pirá (*Conorhynchus conirostris*), endêmicas do rio São Francisco. Os pescadores relacionam a redução das águas do Baixo Rio São Francisco como principal fator impactante na redução dos peixes e na sustentabilidade da pesca.

### percepção ambiental e indicadores indiretos

Os pescadores destacam a redução da quantidade de água do rio São Francisco, nos últimos 12 anos (Tabela 47), como consequência das barragens de água da UHE Xingó (1994),

a ocorrência de mudanças ambientais, como erosões no leito do rio e canais, tornando-os mais rasos, soterrados, com presença de baixios, formações de bancos de areia ou croas e novas ilhas. Segundo os relatos, “[...] no trecho Penedo a Traipu, barcos pequenos chegam a encalhar, devido à erosão de barrancos que formam ilhas de areia, impedindo a passagem”; destaca-se a redução das águas turvas na época de cheias, de dezembro a maio, relacionadas com os períodos de reprodução de inúmeras espécies.

A redução da diversidade e da quantidade de peixes está relacionada à redução de lâminas d’água, que cria um ambiente propício às desovas; à piracema, para algumas espécies, e à turbidez da água, necessária para o período de desova.

Tabela 47 - Percepção dos pescadores quanto às mudanças ambientais nos municípios do Baixo Rio São Francisco.

Parâmetro percebido	Característica	nº relatos
Redução na profundidade do rio (metros)	Últimos 11,8 ± 1,9 anos	n=33
Presença/aumento de macroalgas	Últimos 4,0 ± 1,0 anos	n=30
Redução de matrizes em desova/alevinos	Últimos 8 ± 1,2 anos	n=13
Presença de parasitos nos peixes e na água	Especialmente nas cidades de Penedo, Neópolis e Piaçabuçu	n=10
Descarte de produtos/dejetos	Advindos das lavouras e esgotos	n=17

Fonte: Jucilene Cavali (2019).

Os pescadores destacam o desaparecimento dos cultivos de arroz das áreas alagadas e o aumento da cultura de cana-de-açúcar nas áreas que ladeiam o rio São Francisco.

Holanda *et al.* (2005) já descreviam que, devido aos barramentos ao longo da calha do rio, o regime fluvial foi modificado, alterando o regime de cheias e vazantes, comprometendo as atividades econômicas tradicionais (agricultura de várzeas e pesca artesanal); a reprodução dos peixes (piracema) e a estabilidade das margens, que vêm sendo erodidas, resultando em forte sedimentação da calha principal do rio (tornando o rio mais raso), favorecendo, assim, o aparecimento de croas e criando sérias dificuldades para a navegação.

A redução da correnteza em função da menor vazão de água fez um rio mais raso, de águas paradas, mais quentes e límpidas; trouxe ambiente propício à proliferação da macrófitas aquáticas, que passaram a ser mais percebidas nos últimos 5,0 anos e que, em alguns pontos do rio, chegam a acumular 3,5 a 5,0 metros do vegetal. Contudo, a partir do município de Piaçabuçu, observa-se a redução ou até o desaparecimento das macrófitas, devido ao aumento da salinização da água próxima ao mar. De acordo com os pescadores do Baixo Rio São Francisco, a visibilidade da água piorou. Onde era possível enxergar de 3,0 m a 3,5 m em água, hoje não se vê mais do que 1,5 m. Por vezes contraditórios, os relatos de águas mais límpidas e menor visibilidade podem estar atrelados ao extrato de profundidade e localização de mergulho declarado pelos pescadores, que destacam menor visibilidade nas áreas próximas às cidades.

As macroalgas de maior proliferação são a “baronesa” (*Eichhornia crassipes*), com



produtividade de 400 a 600 ton.ha, e a “rabo de raposa ou cabelo” (*Ceratophyllum demersum*), espécies exóticas de origem amazônica e pantanense, consideradas invasoras e associadas a prejuízos como o bloqueio das grades de usinas hidrolétricas, a redução da biodiversidade em corpos d’água, o aumento de evaporação em represas e canais de irrigação, a dificuldade de navegação e de pesca amadora e profissional, além da possível mortalidade de animais nativos por anoxia, potencializada pela transparência e água parada (POMPEO, 2017; FERREIRA *et al.*, 2016). Há um maior adensamento de macrófitas aquáticas na margem esquerda do rio São Francisco, possivelmente devido ao lançamento de efluente não tratado, com elevado teor de nutrientes, especialmente nas regiões próximas às cidades, onde são descartados resíduos urbanos (esgotos) (Figuras 123A e 123B) (MINHONI *et al.*, 2018).

A visibilidade da água está atrelada à sua turbidez e esta ao material em suspensão. Estudos quanti-qualitativos da água demonstram o parâmetro turbidez como de maior variação nos últimos anos. Bulhões *et al.* (2018), ao analisar a qualidade da água do rio São Francisco no perímetro urbano do município de Pão de Açúcar, entre outubro de 2014 e março de 2017, destacaram a turbidez como o parâmetro que apresentou as maiores variações, com valores entre 0,01 NTU e 47 NTU; Santana, Aguiar Netto e Garcia (2017), avaliando a turbidez da água no município de Piaçabuçu, na foz do rio São Francisco, observaram valores de turbidez variando entre 2,9 NFU e 47,07 NFU, destacando baixas concentrações de sedimentos ou partículas de elementos que favorecessem o aumento da turbidez da água.

O rio São Francisco sofreu alterações de águas de alta turbidez para águas transparentes, ocasionadas pela retenção de material sólido nas barragens em cascatas. Vários estudos demonstram a redução de sedimentação no Baixo do RSF: Silva, Medeiros e Viana (2010), com  $2,6 \times 10^5$  t/ano em 2008; Milliman (1970), o aporte de sedimento em suspensão na foz,  $6,9 \times 10^6$  t; Oliveira (2003), no ano de 2001,  $0,4 \times 10^6$  toneladas, ocorrendo uma redução de mais de 90% – os autores concluíram que a barragem de Sobradinho diminuiu a carga de fluxo de sedimentos de  $13,39 \times 10^6$  t/ano para  $3,14 \times 10^6$  t/ano; Melo (2019), vazão e concentração de sedimentos em suspensão no Baixo RSF, após a barragem de Xingó, obtidos do sistema Hidroweb no site da Agência Nacional da Água (ANA), de 1999 a 2018.

Os resultados mostram que as cargas estimadas de sedimentos em suspensão foram aumentando ao longo do rio, começando na estação de Piranhas, com  $1,98 \times 10^6$  t/ano; na estação de Traipu, com  $7,4 \times 10^6$  t/ano, e na estação de Propriá, a mais próxima da foz do rio São Francisco, com  $8,0 \times 10^6$  t/ano para todo o período de estudo. O trecho considerado mais assoreado foi entre as estações de Piranhas e Traipu, onde o aumento do acumulado de sedimentos em suspensão chegou a 73,3% entre as estações. Para os dias atuais, compreendendo os anos de 2017/2018, a carga de sedimentos em suspensão estimada para o Baixo São Francisco foi de  $1,8 \times 10^4$  t/ano em Piranhas,  $8,5 \times 10^4$  t/ano em Traipu e  $7 \times 10^4$  t/ano em Propriá, resultados considerados baixíssimos. Outro ponto encontrado foi que a quantidade de sedimento que chegou à foz do rio São Francisco foi muito pequena,  $1,83 \times 10^6$  t/ano. Acredita-se que esta água limpa que vai para o oceano pode causar problemas relacionados com o equilíbrio para o estuário do rio.

As principais consequências ocasionadas pela retenção de sedimento é a diminuição dos sedimentos finos que carregam nutrientes e matéria orgânica fundamental à fauna aquática e à erosão na foz do São Francisco. A redução dos sedimentos ocasiona diminuição na alimentação da foz (delta) do rio e mudança considerável na população de peixes, assim como em suas características morfofisiológicas, como tamanho, deposição de tecidos corporais,

época de reprodução.

Os principais impactos encontrados no Baixo Rio São Francisco, apresentados segundo Silva, Medeiros e Viana (2010), foram: diminuição do aporte de sedimento e das vazões; salinização e acréscimo de temperatura; mudanças nas taxas de infiltração e redução da água no subsolo; assoreamento; processos de erosão das margens e desbarrancamento; modificação na foz; redução da biodiversidade; comprometimento da navegabilidade abaixo da cidade de Pão de Açúcar-AL; diminuição dos alimentos para a fauna aquática, devido à redução de sedimento. Os autores concluem que houve diminuição nas concentrações de sedimentos depois da barragem de Xingó e que é preciso haver um monitoramento das variáveis descritas e aumentar sazonalmente as vazões para lavar a calha do rio e aumentar a produtividade biológica.

A regularização das vazões nos rios, ocasionada por barragens, provoca descontinuidade longitudinal, produzindo a montantes fluxos lênticos e a jusante fluxos mais lóticos, com alterações na sua variabilidade.

Figura 123 - Descarte de esgoto doméstico nas águas do rio São Francisco, na cidade de Piaçabuçu (a) e cidade de Piranhas (b).



Fonte: Jucilene Cavali (2019)

Esse controle artificial afeta toda a dinâmica do sistema fluvial, tanto no leito quanto nas planícies de inundação e nas lagoas marginais. Os ecossistemas dessas zonas precisam estar em equilíbrio; contudo, são praticamente dependentes dos fluxos de água dos rios, onde recebem os sedimentos, os nutrientes e os alimentos para manutenção da biodiversidade local.

A presença de parasitos na água e no pescado é percebida pelos pescadores (n = 23), mais fortemente, nas regiões de Penedo, Neópolis e Piaçabuçu, e em algumas espécies de peixes específicas, como xira, xaréu, peixe-porco, curimba, tucunaré, piranha e pirambeba, sendo estas três últimas, segundo os pescadores, mais infestadas por parasitos, por serem “peixes de ninho” e permanecerem mais tempo em águas mais paradas e próximas às algas. Os pescadores destacam o aumento de parasitos nos últimos quatro anos nas espécies de peixes que vivem dentre estas algas, inferindo ser um ambiente propício à proliferação de parasitos como o argulos. Citaram, ainda, o “verme do olho do tucunaré, baratinha na guelra das piranhas, o carrapato branco, infecções nas barbatanas, que sangram; e a sanguessuga, que vive no lodo”.

A baratinha ou piolho de peixe, como é chamado o *Argulus elongatus* Heller, foi o parasito mais citado pelos pescadores; o branquiúro, ectoparasito oportunista, é descrito em quatro diferentes espécies na bacia do rio São Francisco, inclusive parasitando espécies de peixes até então não acometidas (DUARTE *et al.*, 2020). Na percepção dos pescadores (n = 8), a infestação do parasito está diretamente relacionada à imunidade do peixe, pois se desenvolve no muco; a maior produção de muco nos peixes também foi relatada pelos pescadores (n = 9), porém, para épocas específicas do ano.

Na região de Piaçabuçu, onde a água torna-se mais salgada, foi citado o “verme da água e do intestino”, além de moluscos como o “caramujinho da areia” e o “maçunim”, citados também nas regiões de Penedo e Neópolis, onde já se formam, inclusive, áreas de catadoras de maçunim, como a da vila Carrapicho. Este aumento pode estar relacionado à entrada de água salgada do mar, ou cunha salina, que adentra ao Rio.

Quando indagados sobre a percepção de produtos ou processos que poderiam contribuir com a contaminação ou sujidade da água, os pescadores destacaram o lançamento de produtos químicos agrícolas das culturas de cana-de-açúcar, arroz, horticultura por erosão; o descarte do azoto da cana e, principalmente, os pontos de despejo do esgoto urbano nas cidades de Traipu, Porto Real do Colégio, Neópolis, Piaçabuçu e Penedo. As principais fontes de poluição são os esgotos domésticos, as atividades agropecuárias e de mineração. Os indicadores de saneamento básico na bacia do Baixo Rio São Francisco podem ser caracterizados quanto a aspectos precários, onde domicílios urbanos servidos por coleta de esgoto são inferiores a 20%; e os percentuais tratados de volumes de esgotos urbanos menores que 5%, bem aquém da média nacional, de 20,7% (COMITÊ NACIONAL DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO, 2017).

Bulhões *et al.* (2018), ao analisar a qualidade da água no perímetro urbano do município de Pão de Açúcar, identificaram águas levemente ácidas, pH de 6,9, valores de oxigênio dissolvido satisfatórios e teores de condutividade elétrica oscilando entre 68  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 91  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os resultados indicam que, embora estações de descarte estejam localizadas na área urbana, a capacidade de diluição do rio é superior ao aporte de material poluente. E os parâmetros estão dentro do que estabelece a Resolução Conama nº 357/05, que preconiza pH entre 6 e 9 para águas doces de classe II.

A poluição industrial é mais concentrada no Alto e no Submédio do rio São Francisco,

podendo-se dar ênfase ao mais problemático rio das Velhas, que coleta a maior parte do esgoto da região metropolitana de Belo Horizonte, sendo, por isso, um dos rios mais poluídos da bacia do São Francisco. Observa-se o lançamento de efluentes industriais que podem comprometer a qualidade do rio; contudo, as consequências ambientais destes impactos são potencializadas em determinadas bacias, em função de suas características.

## **Percepção da qualidade e rendimentos do pescado**

Quanto ao processamento e à percepção sensorial, alguns pescadores destacaram mudanças no sabor dos peixes ( $n = 8$ ) e do camarão ( $n=4$ ). Inferem que os peixes, além de estarem de 50% a 70% menores em tamanho, têm menos carne, apresentam menos gordura e, conseqüentemente, menos sabor. “[...] o tucunaré ficou pequeno e os peixes começam a ovar novinhos, ainda pequenos”. Os pescadores destacam a gordura do peixe do rio como mais saborosa e mais solúvel. Segundo Silva (2017), a dieta dos peixes de rio proporciona deposição de gordura mais insaturada e perfil de ácidos graxos de cadeias mais longas, relacionando-se à menor propensão de doenças cardiovasculares.

Para o camarão, a mudança está na “cabeça menos saborosa e com aparência estragada”, mais expressivo em algumas épocas do ano. Alguns destacaram o gosto amargo, gosto de junco podre, de lodo ou de fezes para alguns peixes, como o piau.

O consumo familiar médio dos pescadores é de 3 kg de pescado por semana, sendo comercializados, semanalmente, em feiras ou atravessadores, de 5 kg a 15 kg, suficientes para garantir renda de R\$ 250,00 a R\$ 600,00 por mês. Pescadores ressaltam que já chegaram a pescar 50 kg a 70 kg/dia, o que rendia de R\$ 800,00 a R\$ 1.000,00 por semana, além do consumo familiar, de 5 kg a 8 kg/dia.

As esposas têm grande participação na atividade, pois 80% dos pescadores relatam ser elas as responsáveis por tratar e preparar o peixe. Durante a evisceração, percebe-se os peixes, mesmo pequenos, já em fase de reprodução e peixes pequenos, porém ossudos, parecendo “peixe velho”, características estas atreladas à antecipação da reprodução, por questão de sobrevivência da espécie. Todos relataram ( $n = 33$ ) consumir a água direto do rio, para beber ao saírem para pescar e, sempre que necessário, em casa. Utilizam o rio para lavar roupa, louça, banhar crianças e animais, especialmente cavalos e cachorros, como entretenimento familiar aos finais de semana e, eventualmente, como renda turística, com os passeios.

O rio São Francisco faz parte da cultura do pescador ribeirinho e nota-se a dependência econômica e cultural, mesmo não se dando a devida importância ambiental ao mesmo. Dictoro e Hanai (2017) destacaram, em seus estudos, as diversas integrações homem-natureza no âmbito ambiental, além da visão utilitarista do rio São Francisco e as inter-relações indivíduo-natureza, ressaltando aspectos simbólicos, tradicionais, culturais e afetivos. Pescadores mais antigos possuem grande relação emocional-dependente com o rio São Francisco, que vai desde a sua colonização às crenças; possuem, por exemplo, grande afinidade com as fases da lua, características da água e períodos de maior ou menor produtividade do pescado. Dessa forma, pode-se afirmar que o conhecimento tradicional é extremamente importante, por reunir aspectos que podem ser importantes para o planejamento e a conservação da água.

Ao serem questionados sobre o que mais os incomoda, as respostas foram unânimes para a presença do lixo nas margens do rio, nas áreas urbanas, e o descarte de dejetos, visto as cidades não possuírem tratamento sanitário adequado. O Baixo possui, ainda, 67 povoados que lançam seus esgotos diretamente no rio São Francisco. Os pescadores reclamam do



descaso da comunidade nas áreas urbanas em lançarem lixo e animais mortos ao rio, sendo de consenso geral o descaso do homem e do governo com as questões ambientais.

Destaca-se a fiscalização escassa e ineficiente dos órgãos competentes, especialmente na época de defeso. Em relatos, um pescador informa que chegava a comprar semanalmente 16 kg de ova, mesmo em época de defeso, e enfatiza: “imagina quantos peixes deixamos de produzir! Mas o pescador é destruidor, captura até os alevinos soltos pela CODEVASF”. Em contrapartida, 40% dos pescadores (n = 25) afirmam ser importante o peixamento de espécies diversas realizado pela empresa, visto que, por 2 a 3 anos, ainda é possível pescar estes espécimes. Os berçários citados foram a região de Marituba e Ipanema, consideradas braços de desovas hoje extintos.

É unânime, entre os pescadores, o incômodo com arpões. Segundo eles, não há fiscalização para o uso do arpão. “[...] os arponeses não precisam de carteira, não respeitam época de defeso e chegam a capturar 3 vezes mais que o pescador, pois pegam peixes maiores, pescando também durante a noite”; ademais, vendem o peixe R\$ 2,00 a R\$ 3,00 mais barato, ganhando o mercado das feiras e restaurantes sem pagar a mensalidade da colônia (R\$ 25,00/mês) ou o custo fixo com redes e embarcações.

Os pescadores fazem inferência, ainda, sobre a substituição dos barcos a vela pelas rabetas, que, além de contribuir com a poluição da água, estressam e assustam os peixes. Sobre a percepção sobre qual equipamento de pesca impacta mais na produção de alevinos, os pescadores (n = 27) responderam que a batida de rede de malhar e a bomba de veneno são as formas de captura mais agressivas e que capturam tanto matriz ovada como peixes ainda pequenos. Destaque foi dado também à pesca de arpão, método comum no rio São Francisco, que captura peixes grandes diariamente, indo buscar, inclusive, em áreas mais profundas, nos ninhos de desova.

## **Soluções para os impactos no rio São Francisco**

Quando indagados sobre as propostas de mudanças para recuperação do Velho Chico, as sugestões foram unânimes na necessidade de “mais água ser liberada nas comportas das usinas”, além da obrigatoriedade do aumento das águas nos períodos de reprodução, especialmente das desovas. Outra sugestão importante foi a mudança do quadrimestre de defeso de novembro para fevereiro ou a ampliação do limite-defeso até 1º de abril, tendo em vista o mês de março, “mês das chuvas fortes”, também ser o mês em que se captura maior número de espécimes ovadas. Destacaram-se espécies como a xira, que é comum encontrar “ova encruada ou dura”, resultado da não desova do ano anterior, “[...] esse peixe da enxurrada que fica choco”. Foram sugeridas, ainda, a dragagem de áreas assoreadas, na construção de novas barragens, a fim de proporcionar mais área alagada para reprodução dos peixes, nas escadas para passagem dos peixes em piracema, e o fomento ao cultivo em tanques-rede e facilidade de licenciamento para tal. Quanto à contribuição ambiental, citou-se a necessidade de saneamento básico e a conscientização para descarte do lixo, principalmente pela comunidade, e a recuperação das margens do rio. Contudo, foi baixa a disponibilidade de adesão dos pescadores a estes projetos, a partir da responsabilidade das próprias colônias. No município de Penedo, foi ressaltado o projeto de limpeza da margem do rio, realizado pela CODEVASF junto às colônias, e sugerido que os mutirões sejam realizados duas vezes ao ano, no auge do período seco e após as festas de fevereiro para maior eficiência.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os pescadores do Baixo Rio São Francisco têm percebido mudanças ambientais que afetam diretamente as atividades socioeconômicas e culturais das famílias ribeirinhas.

## REFERÊNCIAS

BULHÕES L.E.L. *et al.* Avaliação da qualidade da água do rio são francisco na área urbana de um município do sertão alagoano. **Anais...** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018, Maceió-AL, Brasil.

CASTRO, C.N.; PEREIRA, C. N. Revitalização do Rioastro São Francisco. **Boletim regional, urbano e ambiental do IPEA**, v.17, p.69-76, 2017.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **A bacia:** principais características. 2017. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/a-bacia/>. Acesso em: 20 maio 2020.

DICTORO, V.P.; HANAI, F.Y. Simbolismos da água: valores, saberes e tradições dos moradores de Pirapora-MG nas margens do Rio São Francisco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.6, n.1, p.487-503, 2017.

DUARTE, R. *et al.* *Argulus elongatus (Branchiura, Argulidae)* in fish in the upper São Francisco river, Brazil. **Brazilian Journal Veterinary Parasitology**, v.29, n.2. 2020.

FERREIRA, F.A. *et al.* Macrófitas Aquáticas. In: LATINI, A. O. *et al.* (Org.). **Espécies exóticas invasoras de águas continentais no Brasil**. Brasília: MMA, 2016.

HOLANDA, F.S.R. *et al.* Riparian Vegetation Affected by Bank Erosion in the Lower São Francisco river, Northeastern Brazil. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.327-336, 2005.

MEDEIROS P.R.P. *et al.* Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, v.28, n. 65-78, 2014.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.15, n.1, p. 42-53.2011.

MEDEIROS, P. R. P.; SEGUNDO, G. H. C. MAGALHÃES, E.M. M. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v.29, n.1, p.35-44, 2015.

MELO S.C. **Estimativa de Produção de Sedimentos em Suspensão no trecho Baixo do Rio São Francisco:** subsídios para Gestão Ambiental. 2019. Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife-PE, 2019.

MINHONI, R. T. A. *et al.* Monitoring of aquatic macrophytes in São Francisco river in an urban stretch of Petrolina – PE. **Scientia Plena (Online)**, v.14, n.03, p. 2018.

PEREIRA, J. S. **Influência das Variáveis Ambientais Sobre a Produção Pesqueira do Estuário e Foz do Rio São Francisco.** 2020. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) –

Universidade Federal de Alagoas, Penedo-AL, 2020.

PIRES, A. P. N. Estrutura e objetivos da transposição do Rio São Francisco: visões de uma mesma história. **Geosp – Espaço e Tempo**, v.23, n.1, p.182-197, 2019.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: Instituto de Bio- ciências da USP, 2017.

REZENDE, P.C.; OLIVEIRA, I. M. Descrição socioeconômica dos pescadores no Baixo São Francisco, Nordeste-Brasil. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, v.17, p. 671-689, 2015.

SANTANA, N. R. F.; AGUIAR NETTO, A. N.; GARCIA, C. A. B. Qualidade da água da foz do Rio São Francisco. **Anais...Congresso Nacional do Meio Ambiente**, 14, Poços de Caldas, BA, 2017.

SILVA, B. C. **Farinha e óleo de resíduos de peixe na alimentação de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*)**. 2015. Tese (Doutorado ) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2017.

SOARES, E. C. *et al.* Ictiofauna e pesca no entorno de Penedo, Alagoas. **Biotemas**, v.24, n.1, p.61-67, 2011.

# STUDIES ON THE MENTAL HEALTH OF RIVERINE FARMER FAMILIES OF THE LOWER SÃO FRANCISCO IN ALAGOAS, BRAZIL

Elton Lima Santos

Verônica de Medeiros Alves

Leilane Camila Ferreira e Lima Francisco

Alice Correia Barros

## SUMMARY

The study's objective was to evaluate the presence of common mental disorders in riverside agricultural workers in the Lower São Francisco region in Alagoas, Brazil. The study's importance is justified by the increase in Common Mental Disorders (CMD) cases worldwide and Brazil. Furthermore, this is a complex theme that involves family agricultural work and its relationship with the degradation, silting, and decreasing water flow in the São Francisco River, which directly impacts the workers' production and income generation. This is a cross-sectional descriptive epidemiological study. The sample was random and consisted of 43 family farming workers living in Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo, and Piaçabuçu. A questionnaire with sociodemographic variables, and a questionnaire to identify common mental disorders at the primary care level, the Self Report Questionnaire (SRQ-20), were used for data collection. The results of the research were analyzed with the SPSS statistical package, version 20. Descriptive statistics with a significance level of  $p < 0.05\%$  were used. The survey identified a frequency of 7 (16.3%) people with CMD. The instrument's items with the most significant positive statements were: lack of appetite; feels nervous, tense, or worried; gets tired quickly; frequent headache; easily frightened, has unpleasant sensations in the stomach. Most were male (40-93%), married (28-65.1%), cultivated rice (13-30.2%), and worked with fishing (7-16.3%). This research identified a considerable number of people with CMD, pointing to the need to promote care aimed at signs and symptoms of common mental disorders present in this community. Thus, this study can offer subsidies for the adoption of public policies to promote mental health that contribute to improving the quality of life of family farming workers.

# CAPÍTULO 19

## ESTUDOS SOBRE A SAÚDE MENTAL DE AGRICULTORES FAMILIARES RIBEIRINHOS DO BAIXO SÃO FRANCISCO EM ALAGOAS, BRASIL

Elton Lima Santos<sup>85</sup>

Verônica de Medeiros Alves<sup>86</sup>

Leilane Camila Ferreira de Lima Francisco<sup>87</sup>

Alice Correia Barros<sup>88</sup>

### INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define saúde como um bem-estar físico, mental e social, não apenas a ausência de enfermidades ou afecções. Saúde mental é um estado de bem-estar em que o indivíduo tem capacidade de enfrentar as tensões normais da vida, seguir uma vida profissional produtiva e contribuir socialmente com a comunidade em que vive; estado em que o indivíduo está consciente de suas capacidades (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2009). A Organização Mundial da Saúde (2001) estimou que cerca de 450 milhões de pessoas no mundo sofram com algum transtorno mental e a este número atribuiu-se a negligência com que são tratados, pois apenas uma minoria tem acesso ao tratamento.

Estudos epidemiológicos têm demonstrado que a prevalência de transtorno mental durante a vida varia de 12,2% a 48,6%, dependendo da população e do instrumento utilizado para identificar o transtorno (GONÇALVES; KAPCZINSKI, 2008). Dados de prevalência internacionais adotados pelo Ministério da Saúde relatam que 3% da população apresentam transtornos mentais severos e persistentes, necessitando de cuidados contínuos, e cerca de 9% a 12% apresentam transtornos mentais leves, necessitando de cuidados eventuais (BRASIL, 2009). Rombaldi e colaboradores (2009) relatam que os transtornos mentais representam quatro das dez principais causas de incapacidade no mundo, correspondendo a 12% da carga global de doenças, com um crescimento previsto para 15% em 2020.

A prevalência dos transtornos mentais vem aumentando nos últimos anos e, dentre os vários fatores que influenciam a ocorrência do transtorno mental, Ludermir e Melo Filho (2002) relatam que a baixa escolaridade, a baixa renda e a exclusão do mercado de trabalho, expressões da estrutura das classes sociais, proporcionam situações de estresse que podem levar a um transtorno mental. As desigualdades sociais envolvem os principais sentimentos

---

<sup>85</sup> Docente do curso de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas, Mestre e Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

<sup>86</sup> Docente do curso de Enfermagem da Universidade Federal de Alagoas, Mestre em Ciências da Saúde pela Universidade Federal de Alagoas, Doutora em Saúde Mental pelo Instituto de Psiquiatria da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

<sup>87</sup> Especialista em Psiquiatria e Saúde Mental, Mestre em Enfermagem pela Universidade Federal de Alagoas. Membro do Grupo de Estudos em Saúde Mental, Álcool e outras Drogas, da Universidade Federal de Alagoas.

<sup>88</sup> Especialista em Psiquiatria e Saúde Mental. Mestre em Enfermagem pela Universidade Federal de Alagoas. Membro do Grupo de Estudos em Saúde Mental, Álcool e outras Drogas, da Universidade Federal de Alagoas.

relacionados à depressão e a outros transtornos mentais (LUDERMIR, 2008).

As diferentes formas de sofrimento psíquico constituem importante causa de perda de qualidade de vida na população em geral (BRASIL, 2009). Dentre os principais agravos mentais, podem-se citar esquizofrenia, transtornos de humor e transtornos mentais e afetivos por uso de substâncias.

Apesar do avanço e da transformação da assistência à saúde mental, o portador de transtorno mental ainda é vítima de preconceito, pois existe o estigma da sociedade, o que prejudica relacionamentos sociais, aumentando o sofrimento dos envolvidos (JORGE *et al.*, 2008). Verifica-se, de modo geral, uma enorme desigualdade na relação de quem necessita efetivamente de tratamento e está em condições de sofrimento mental e quem recebe cuidados e tratamentos básicos (OMS, 2009).

Franco, Druck e Seligmann-Silva (2010) e Silva *et al.* (2012) afirmam que o adoecimento decorrente do trabalho e, mais especificamente, os transtornos mentais e do comportamento devem ser encarados muito além do que um problema pessoal, mas sim como um problema de saúde pública, que traz grandes consequências tanto econômicas quanto à qualidade de vida dos atingidos.

A população que vive no meio rural e/ou ribeirinhos, conseqüentemente, têm, no Brasil, bastante dificuldade de acesso às ferramentas de prevenção e ao tratamento de transtornos mentais oferecidos pelo serviço público de saúde. Isso pode ser devido à dificuldade de acesso aos serviços de saúde, à dificuldade de deslocamento de equipes de saúde para a promoção da saúde nas áreas rurais e ao maior custo dos tratamentos psiquiátricos (QUINDERÉ *et al.*, 2013).

Pesquisas realizadas com trabalhadores agrícolas na Austrália, Canadá, Europa e Estados Unidos indicam que eles e suas famílias apresentam fatores estressantes relacionados ao ambiente físico, à estrutura familiar agrícola, às dificuldades econômicas e às incertezas associadas com a propriedade agrícola, podendo trazer danos à sua saúde mental (FRASER *et al.*, 2006).

Pensando nisso, este capítulo busca identificar e descrever o perfil, avaliando o estado de saúde mental de agricultores familiares ribeirinhos da região do Baixo São Francisco, Alagoas, Brasil, com dados e informações obtidas *in loco* durante a I Expedição Científica do Baixo São Francisco.

## **Saúde mental e a agricultura familiar: aspectos envolvendo a população do baixo São Francisco**

A I Expedição Científica do Baixo São Francisco teve uma duração de seis dias a bordo de uma embarcação e com desembarques nas cidades citadas anteriormente, composta por uma equipe multidisciplinar de pesquisadores e estudantes, em diversas áreas do conhecimento, no mês de outubro de 2018. Nesse período, os trabalhadores rurais e ribeirinhos foram convidados a responder dois instrumentos de coleta para a obtenção de informações a respeito da saúde mental dos mesmos.

As entrevistas aconteceram de forma aleatória, em local reservado, para preservar a confidencialidade das informações coletadas e o anonimato dos entrevistados, trabalhadores de agricultura familiar residentes em Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piacaçu, no Estado de Alagoas, Brasil. As entrevistas foram precedidas de rodas de conversas para explicação sobre a pesquisa e outros aspectos envolvendo os estudos realizados durante



a Expedição Científica do Baixo São Francisco, entre os pesquisadores e os agricultores/pescadores familiares.

Foram utilizados dois instrumentos: um questionário com variáveis sociodemográficas e o questionário de identificação de transtornos mentais comuns, chamado Self Report Questionnaire (SRQ-20). O SRQ foi desenvolvido por Harding *et al.* (1980) e validado no Brasil por Mari e Willians (1986). É composto por 20 questões elaboradas para a detecção de distúrbios “neuróticos”, chamados, atualmente, de TMC. Os escores obtidos sinalizam a probabilidade de presença de TMC ou desconforto emocional, variando de 0 (nenhuma probabilidade) a 20 (extrema probabilidade). Não inclui questões sobre sintomas psicóticos nem sobre o consumo de álcool e outras drogas. Nesta pesquisa, foi adotado o ponto de corte de 07 ou mais respostas positivas como indicativo da presença de TMC, baseando-se no estudo de Mari e Willians (1986).

Transtornos Mentais Comuns (TMCs) é uma terminologia utilizada para a caracterização de quadros sintomáticos não psicóticos e sem patologia orgânica associada (MARAGNO *et al.*, 2006). Os TMCs reúnem sintomas depressivos e psicossomáticos, tais como insônia, fadiga e dificuldade de concentração que, além de causarem intenso sofrimento psíquico, geram incapacidade funcional (CARLOTTO *et al.*, 2011).

Foram entrevistados 43 trabalhadores de agricultura familiar residentes em Porto Real do Colégio, Igreja Nova, Penedo e Piacabuçu (Tabela 48). A média de idade foi de 45,7 ( $\pm 14,3$ ). A maioria era do sexo masculino (40 – 93%), casado (28 – 65,1%), cultivava arroz (13 – 30,2%) e trabalhava com pesca (7 – 16,3%) (Tabela 48).

Tabela 48 - Características gerais e transtornos mentais comuns de agricultores familiares ribeirinhos da região do Baixo São Francisco, Alagoas, Brasil.

Sexo	Porto Real do Colégio	Igreja Nova	Penedo	Piacabuçu	Total
Masculino	10 (25%)	9 (22,5%)	11 (27,5%)	10 (25%)	40 (93%)
Feminino	2 (66,7%)	-	1 (33,3%)	-	3 (7%)
<b>Total</b>	12 (27,9%)	9 (20,9%)	12 (27,9%)	10 (23,3%)	43 (100%)
<b>Média de idade</b>	45,7 $\pm$ 14,28 (Máx.: 69 e Mín.: 21 anos)				
Estado civil	Casado	Separado	Solteiro	Viúvo	Sem reposta
<b>Total</b>	28 (65,1%)	2 (4,7%)	6 (13,9%)	2 (4,7%)	5 (11,6%)
<b>Cultivo de arroz</b>	13(30,2%)				
<b>Pesca</b>	7 (16,3%)				
Transtorno mental por sexo	Porto Real do Colégio	Igreja Nova	Penedo	Piacabuçu	Total
Masculino	1 (16,7%)	3 (50%)	2 (33,3%)	-	6 (85,7%)
Feminino	1 (100%)	-	-	-	1 (14,3%)
<b>Total</b>	2 (28,6%)	3 (42,8%)	2 (28,6%)	-	7 (16,3%)
<b>Usa remédio psiquiátrico</b>					
<b>Sim</b>	3 (7,0%)				
<b>Já teve depressão</b>					
<b>Sim</b>	2 (4,6%)				

Itens do Instrumento SQR – 20 com mais afirmações positivas	
Falta de apetite	13 (30,2%)
Sente-se nervoso, tenso ou preocupado	13 (30,2%)
Cansa-se com facilidade	13 (30,2%)
Dor de cabeça frequente	12 (27,9%)
Assusta-se com facilidade	12 (27,9%)
Tem sensações desagradáveis no estômago	12 (27,9%)

Fonte: Autores (2019).

A pesca artesanal, a que grande parte dos participantes da pesquisa são adeptos, mesmo também considerando-se agricultores familiares, baseia-se na organização familiar como um sistema produtivo inscrito em práticas culturais tradicionais. Esta unidade de produção secular está fundada em rede local e durável da produção de pescado, com suas tarefas e divisões do trabalho, modos de solidariedade e cooperação que contêm objetivos econômicos de sobrevivência (PENA; GOMEZ, 2014).

Por definição, a pesca artesanal é aquela em que, na captura e no desembarque de toda a classe de espécies aquáticas, os trabalhadores atuam sozinhos e/ou utilizam mão de obra familiar ou não assalariada, explorando ambientes ecológicos localizados próximos à região costeira, com embarcações de pouca autonomia. A captura é feita por meio de técnicas de reduzido rendimento relativo e sua produção é total ou parcialmente destinada ao mercado (CLAUZET; RAMIRES; BARRELLA, 2005).

O trabalho também pode, em situações extremas de estresse mental, ser fonte de sofrimento, quando contém fatores de risco para a saúde e, de certo modo, o trabalhador não dispõe de instrumental suficiente para se proteger desses riscos (NUNES, 2009). Desta forma, durante a expedição, identificaram-se 7 (16,3%) pessoas com TMC, como observado na Tabela 48. Esses aspectos podem se constituir quando os trabalhadores não têm uma fonte segura e estável de renda, no caso dos pescadores ou quando do uso indiscriminado e sem os equipamento individuais de segurança ao aplicar agrotóxicos na agricultura.

Um estudo realizado no município de Três de Maio, no Rio Grande do Sul, entrevistou 361 agricultores e identificou que 47,9% (173) dos participantes apresentaram TMC (MORIN; STUMM, 2018). Outro estudo, realizado com 362 mulheres agricultoras do município de Saudades, em Santa Catarina, identificou que 21,54% das mulheres responderam ao SRQ-20 com escores acima ou igual a 7, indicando a hipótese de TCM (MAHL; STEIN; COSTA, 2017).

Os itens mais pontuados foram: falta de apetite; sente-se nervoso, tenso ou preocupado; cansa-se com facilidade; dor de cabeça frequente; assusta-se com facilidade; tem sensações desagradáveis no estômago (Tabela 48). Os sintomas mais recorrentes no estudo de Mahl, Stein, Costa (2017) foram: sente-se tenso, nervoso ou preocupado (91,02%); tem dificuldades de pensar com clareza (74,64%); cansa-se com facilidade (74,64%). Os sintomas mais presentes citados acima podem estar relacionados com a presença do transtorno de ansiedade. O indivíduo não consegue melhorar essa preocupação, sente-se como se estivesse com os nervos “à flor da pele”, fadigado, irritável, com dificuldade de concentração, tenso e com sono irregular (DSM-5, 2014).

A exposição do trabalhador a condições psicossociais adversas pode prejudicar sua saúde e seu bem-estar e gerar sofrimento psíquico, sentimentos de insatisfação e desmotivação no trabalho e problemas de relacionamento, entre outras dificuldades (SERAFIM, 2012). A

energia negativa acumulada no aparelho psíquico pode se exacerbar, desencadeando reações somáticas ou perturbações físicas, devido à sobrecarga psíquica (D'ÁVILA, 2005).

Segundo o Manual de Diagnóstico e Estatística dos Transtornos Mentais – 5 da Associação Americana de Psiquiatria (DSM-5, 2014), os transtornos de ansiedade compartilham como características principais o medo e a ansiedade numa forma demasiada e exagerada, além das perturbações comportamentais. Sendo que a ansiedade pode ser definida como “a antecipação de uma ameaça futura” e o medo como a “resposta emocional à ameaça iminente real ou percebida”. Diferentemente do medo e da ansiedade de adaptação, os transtornos de ansiedade são excessivos e persistentes (DSM-5, 2014).

Oliveira e Pereira (2012) referem que a ansiedade é a resposta subjetiva a um fator de estresse. Todo indivíduo tem um limiar de estresse e, quando limitado, torna a pessoa mais vulnerável aos sintomas de estresse, com conseqüente maior vulnerabilidade para o desenvolvimento de ansiedade (BAPTISTA; CARNEIRO, 2011).

Duas dessas já tiveram depressão ao longo da vida e uma alegou fazer tratamento medicamentoso (Tabela 48). A depressão é considerada como um problema prioritário de saúde pública e estão, mundialmente, entre as cinco doenças mais incapacitantes (RODRIGUES, 2011). Além disso, a adesão ao tratamento é considerada também um problema de saúde pública, devido às limitações e perdas progressivas na vida pessoal do paciente. A não adesão está associada, principalmente, aos efeitos colaterais dos medicamentos e à sintomatologia nos momentos de crise (MIASSO; CASSIANI; PEDRÃO, 2008).

Na depressão, o indivíduo pode apresentar perda de interesse pelas atividades do cotidiano, sentimento de inutilidade e culpa, perda da autoestima, ideias de morte e suicídio, perturbações do sono e alterações do apetite; além destes, podem estar presentes os sintomas somáticos. É caracterizado por episódios distintos de pelo menos duas semanas de duração, alguns ocorrendo por um período maior de tempo, e pode ocorrer episodicamente, ser recorrente ou crônica (SENA, 2014). O paciente deprimido tem três vezes mais probabilidades de não seguir o regime médico do que o não deprimido. Existe, pois, a necessidade de treinamento da equipe de saúde para detectar transtornos depressivos e falta de adesão ao tratamento (SOUZA *et al.*, 2013).

Segundo o Manual de Diagnóstico e Estatística dos Transtornos Mentais – 5 (DSM-5, 2014), têm-se fatores ambientais, genéticos e fisiológicos que podem influenciar no desenvolver do Transtorno Depressivo Maior.

Ambientais: experiências adversas na infância constituem um conjunto de fatores de risco potenciais para Transtorno Depressivo Maior. Eventos estressantes na vida são bem reconhecidos como precipitantes de episódios depressivos maiores (DSM-5, 2014).

Genéticos e fisiológicos: os familiares de primeiro grau de indivíduos com transtorno depressivo maior têm risco 2 a 4 vezes mais elevado de desenvolver a doença que a população em geral. Os riscos relativos parecem ser mais altos para as formas de início precoce e recorrente. A herdabilidade é de aproximadamente 40%. (DSM-5, 2014).

Blum (2001) relata que as propriedades familiares passam por inúmeros problemas de terra (concentração e qualidade), de mão-de-obra (escassez, qualidade, custo e humanização), de capital (escassez, política agrícola) e de capacidade empresarial (falta de análise de custos, de margens brutas, de lucratividade, de análise de investimentos, de associativismo e de visão sistêmica, comercialização e agregação de valor e uso de tecnologia). Isso pode ser considerado um gatilho para o desencadeamento de transtornos mentais comuns.

O trabalho, por sua vez, desempenha função essencial na vida das pessoas, pois é por meio dele que cada pessoa constrói sua identidade, possibilitando, ainda, realização, descobrimento de habilidades e integração social (JILOU, 2013). No entanto, a natureza do trabalho tem significativa interferência na saúde do trabalhador (LAGO, 2015).

Em meio às principais doenças relacionadas ao trabalho, os transtornos mentais (TM) têm atingido grande parcela da população, gerando absenteísmo e afastamento prolongado de suas atividades. Buscando-se investigar os motivos de afastamento por transtorno mental, Miranda, Alvarado e Kaufman (2012) observaram que os diagnósticos mais presentes foram os distúrbios depressivos e do comportamento, seguidos dos transtornos ansiosos.

Sendo o trabalho uma atividade inerente ao indivíduo enquanto ser social, como o homem passa uma expressiva parte da sua vida no ambiente de trabalho, ele está passível a várias ocorrências que podem interferir positiva ou negativamente sobre sua saúde física e/ou mental (GAVIN, 2013). Assim, faz-se necessário criar um ambiente de trabalho favorável ao trabalhador para evitar riscos à saúde física e mental (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2010). Os transtornos mentais são influenciados por uma combinação de fatores biológicos, psicológicos e sociais. Afetam pessoas de todas as idades, em todos os países, e causam sofrimento aos indivíduos, às famílias e às comunidades (POLETTTO, 2009).

A determinação social e os territórios viventes são fatores preponderantes dentro do contexto do estudo da saúde mental, de forma que o processo de saúde-doença-cuidado no meio rural tem que ser avaliado com particularidade e bastante atenção. Sendo assim, Dantas *et al.* (2020) ressaltaram esses mesmos aspectos, para a avaliação de transtornos mentais no meio rural, destacando que a contextualização do processo saúde-doença-cuidado está intimamente relacionada à sua territorialização, relatando ainda que, no meio rural, as condições de vulnerabilidade agravam-se. Indicadores socioeconômicos de assentamentos rurais do Nordeste brasileiro revelam considerável índice de não alfabetizados, de insegurança alimentar e de mortalidade infantil; dificuldade no acesso aos serviços públicos e assistência técnica; precariedade das condições de trabalho e maior dependência dos programas de transferência de renda. Ou seja, uma complexidade de fatores e combinação de riscos produtores de sofrimento que impactam a saúde mental.

Corroborando os dados verificados no presente estudo, realizado no Baixo São Francisco, Poletto (2009), em uma pesquisa buscando identificar os fatores relacionados ao processo de trabalho que podem contribuir para a ocorrência de problemas de saúde mental de trabalhadores agrícolas familiares da microrregião de Ituporanga, Santa Catarina, puderam constatar que o trabalho sazonal, a carga de trabalho, as condições climáticas, o isolamento e suporte social, os problemas financeiros, o uso de agrotóxicos, as intoxicações, os problemas de saúde e acidentes são fatores que podem contribuir para os agravos à saúde mental dos trabalhadores agrícolas familiares estudados, obtendo uma prevalência de 33,8% de problemas de saúde mental nos trabalhadores.

Morais *et al.* (2020), quando avaliaram o impacto do desenvolvimento de ações extensivas em Unidades Básicas de Saúde (UBS) sobre condições de saúde mental em uma comunidade rural do Sertão pernambucano (Lagoa Grande-PE), puderam verificar que a saúde mental é considerada precária pela maioria dos participantes das atividades extensivas, havendo um índice alto de transtornos mentais comuns. O adoecimento tende a se agravar devido às condições insatisfatórias de trabalho, educação, moradia e lazer, além do acesso restrito a espaços de convivência comunitária, a bens e serviços. A exposição a agrotóxicos

e a ausência de lazer foi vista com um dos principais fatores de risco para o adoecimento mental no território estudado. Esses mesmos autores destacam ainda que, dentre os agravos à saúde mais frequentes em comunidades rurais, destacam-se os Transtornos Mentais Comuns (TMC), que se constituem como um conjunto de manifestações com sintomas ansiosos, depressivos ou somatoformes proeminentes. Apesar de uma elevada prevalência entre adultos, apenas uma pequena parte dos TMC é identificada e tratada.

Da mesma forma, Silva (2019), estudando a qualidade de vida dos agricultores expostos a agrotóxicos na produção de coco no perímetro irrigado de São Gonçalo, constataram que os aspectos de problemas emocionais e mentais são os aspectos relacionados à saúde mais potencialmente expressos pelos trabalhadores, de forma que os autores determinaram que: o pior escore constatado na escala de Raw Scale sobre qualidade de vida foram os domínios aspectos físicos, os aspectos emocionais e a dor, ou seja, os participantes não apresentam bons conceitos da sua própria saúde, já que houve a diminuição da quantidade de tempo que se dedicava ao seu trabalho ou a outras atividades, e que realizaram menos tarefas do que gostariam de fazer por motivo de problema com o seu trabalho ou alguma atividade diária regular. Com relação à dor, observa-se a variação da intensidade de leve a moderado.

A procura pelos sentidos de saúde e doença entre as pessoas, famílias, culturas e classes sociais permite uma abordagem sistêmica da variação de saberes e necessidades das populações e indivíduos, que, por sua vez, garante os princípios da saúde pública brasileira, que são baseadas em: integralidade, regionalidade e territorialidade; todavia, no comprometimento de formulação e execução de políticas que atendam às mais distantes populações (RIQUINHO; GERHARDT, 2010), em que se encontram grande parte da população que habita e vive às margens do Baixo São Francisco, que são, na maior parte, agricultores familiares de baixa renda e pescadores de subsistência. Sendo assim, os comportamentos relacionados à saúde e ao adoecimento, principalmente relacionados à saúde mental, despertam, sem precedentes, olhares, inquietações, frustrações e interpelações humanas, seja pela condição de desamparo a que o homem está submetido, seja pela constante busca pelo prolongamento da vida ou a baixa perspectiva de melhoria de condições sociais de vida.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo possibilitou a compreensão sobre a ocorrência de transtornos mentais comuns em trabalhadores agrícolas ribeirinhos da região do Baixo São Francisco. Esses moradores que trabalham com a agricultura e a pesca vêm apresentando TMC que necessitam de um cuidado multidisciplinar voltado para a promoção da saúde mental.

A presença de transtornos mentais comuns em trabalhadores da agricultura familiar levanta a necessidade de uma atenção diferenciada para eles, buscando meios que amenizem os fatores que desencadeiam os sintomas e estratégias para melhorar a qualidade de vida. Estudos como este figuram sua importância por possibilitar traçar um perfil epidemiológico desses trabalhadores, levantando-se um espaço para a discussão sobre os transtornos mentais.

## REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. N.; CARNEIRO, A. M. Validade da escala de Depressão: Relação com Ansiedade e estresse laboral. **Estudos de psicologia**, v. 28, n. 3, p. 345-352, set. 2011.



BLUM, R. Agricultura familiar: estudo preliminar da definição, classificação e problemática. In: TEDESCO, J. C. (Org.). **Agricultura familiar: realidades e perspectivas**. Passo Fundo: UPF, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde na escola**. Brasília: Ministério da Saúde, 2009.

CARLOTTO, M. S. et al. Transtornos mentais comuns e fatores associados em trabalhadores: Uma análise na perspectiva de gênero. **Caderno de Saúde Coletiva**, v.19, n.2, p.172-8, 2011.

CASTRO, J. S. M.; CONFALONIERI, U. Uso de agrotóxicos no Município de Cachoeiras de Macacu (RJ), Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v.10, n.2, p.473-482, 2005.

CLAUZET, M.; RAMIRES, M.; BARRELLA, W. Pesca artesanal e conhecimento local de duas populações caiçaras (Enseada do Mar Virado e Barra do Una) no litoral de São Paulo, Brasil. **MultiCiência**, v. 4, p. 1-22, maio 2005.

D'AVILA, M. L. S. I.; KUSTER, M. F. C.; GIOVANETTI, M. O. **Quando a saúde adoecer: situação de saúde mental dos servidores da Secretaria da Saúde do município de Curitiba**. 2005. Monografia (Trabalho de Conclusão de curso) - Pós-graduação em saúde do trabalhador, Faculdade Evangélica do Paraná, 2005.

DANTAS, C. M. B. *et al.* Território e determinação social da saúde mental em contextos rurais: cuidado integral às populações do campo. **Athenea Digital**, v. 20, n. 1, e2169, 2020.

DIMENSTEIN, M. *et al.* Iniquidades Sociais e Saúde Mental no Meio Rural. **Psico-USF**, v. 22, n. 3, p. 541-553, set. 2017.

FRANCO, T.; DUCK, G.; SELIGMANN-SILVA, E. As novas relações de trabalho, o desgaste mental do trabalhador e os transtornos mentais no trabalho precarizado. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 35, n. 122, p. 229-248, 2010.

FRASER, C.E. *et al.* Farming and mental health problems and mental illness. **International Journal of Social Psychiatry**, v. 51, n. 4, p. 340-349, 2005.

GAVIN, R. S. **Depressão, estresse e ansiedade: um enfoque sobre a saúde mental do trabalhador**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

GONÇALVES D.M.; KAPCZINSKI, F. Transtornos mentais em comunidade atendida pelo Programa Saúde da Família. **Caderno Saúde Pública**, v. 24, n. 7, p. 1641-1650, 2008.

HARDING, T.W. *et al.* Mental Disorders in primary health care: a study of their frequency and diagnosis in four development contries. **Psychological Medicine**, v.10, p. 231-241. 1980.

JILOU, V. Capitalismo Flexível, Trabalho Precarizado E Sofrimento Psíquico De Professores Universitários. **Revista Encontro de Pesquisa em Educação**, v. 1, n.1, p. 187-201, 2013.

JORGE, M.S.B. et al. Representações sociais das famílias e dos usuários sobre participação no tratamento de pessoas com transtorno mental. **Revista Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo**, v. 42, n. 1, p. 135-42, 2008.

LAGO, R. R.; CUNHA, B. S.; BORGES, M. F. de S. O. Percepção do Trabalho Docente em uma Universidade da Região Norte Do Brasil. **Trabalho, Educação e Saúde**, v. 13, n. 2, p. 429-450, Aug. 2015.

- LUDERMIR, A. B. Desigualdades de Classe e Gênero e Saúde Mental nas Cidades. **Physis Revista de Saúde Coletiva**, v. 18, n. 3, p. 451-467, 2008.
- LUDERMIR, A.B.; MELO FILHO, D.A. Saúde mental, condições de vida e estrutura ocupacional. **Revista Saúde Pública**, v. 36, n. 2, p. 213-21, 2002.
- MAHL, A. C.; STEIN, J.; COSTA, A. B. Ocorrência de transtornos mentais em mulheres agricultoras familiares e estratégias de cuidado ofertadas no município de Saudades – SC. Vittal. **Revista de Ciências da Saúde**, v. 29 n. 2, p. 23-34, 2017.
- MANUAL de Diagnóstico e Estatístico das Perturbações Mentais. **Lisboa**: Climepsi Editores, Baldwin, R. C., 2014.
- MARAGNO, L. *et al.* G. Prevalência de transtornos mentais comuns em populações atendidas pelo Programa Saúde da Família (QUALIS) no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. 8, p. 1638-1648, 2006.
- MARI, J.; WILLIAMS, P.A. A validity study of a psychiatric screening questionnaire (SRQ-20) in primary care in the city of São Paulo. **British Journal of Psychiatry**, v. 148, p.23-26, 1986.
- MARTINS, J. S. O futuro da sociologia rural e sua contribuição para a qualidade de vida rural. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, p.31-36. 2001.
- MIASSO, A.I.; CASSIANI, S.H.B.; PEDRÃO, L.J. Bipolar affective disorder and medication therapy: identifying barriers. **Revista Latino-americana de Enfermagem**, v. 16, n. 4, p. 739-745, 2008.
- MIRANDA, G.; ALVARADO, E.; KAUFMAN, J. S. Duración de las licencias médicas FONASA por transtornos mentales y del comportamiento. **Revista Medica de Chile**, v. 40, p. 207-213, 2012.
- MORAIS, S. R. S. et al. Saúde mental em territórios rurais: a experiência do pet-saúde GRADUASUS UNIVASF. **Extramuros, Revista de Extensão da UNIVASF**, v. 8, n. 1, p. 085-099, 2020.
- MORIN, P. V.; STUMM, E. M. F. Transtornos mentais comuns em agricultores, relação com agrotóxicos, sintomas físicos e doenças preexistentes. **Psico**, v. 49, n. 2, p. 196-205, 2018.
- NUNES, A. V. L.; LINS, S. L. B. Servidores públicos federais: uma análise do prazer e do sofrimento mental. **rPOT**, v. 9 n. 1, p. 51-67. jan. 2009.
- OLIVEIRA, V.; PEREIRA, T. Ansiedade, depressão e burnout em enfermeiros: Impacto do trabalho por turnos. **Revista de Enfermagem Referência**, v. serIII, n. 7, p. 43-54, jul. 2012.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO; INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Perfil da agricultura familiar no Brasil**: Dossiê Estatístico. UFT/BRA/036. Brasília: INCRA, 1996.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Ambientes de trabalho saudáveis**: um modelo para ação: para empregadores, trabalhadores, formuladores de política e profissionais. Brasília: SESI/DN, 2010
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Integração de Saúde Mental nos cuidados de saúde primários**: Uma perspectiva global. 2009. Disponível em: <http://www.who.int/>

eportuguese/publications/Integracao\_saude\_mental\_cuidados\_primarios.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Mental health resources in the world: Initial results of Projet ATLAS**. Genebra: OMS, 2001.

PENA, P. G. L.; GOMEZ, C. M. Saúde dos pescadores artesanais e desafios para a Vigilância em Saúde do Trabalhador. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 12, p. 4689-4698, 2014.

POLETTI, A. R. **Processo de trabalho e saúde mental de trabalhadores agrícolas familiares da microrregião de Ituporanga, Santa Catarina**. 2009. Tese (Doutorado) - Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

QUINDERE, P. H. D. *et al.* Acessibilidade e resolubilidade da assistência em saúde mental: a experiência do apoio matricial. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 7, p.2157-2166, 2013.

RIQUINHO, D. L.; GERHARDT, T. E. Doença e Incapacidade: dimensões subjetivas e identidade social do trabalhador rural. **Saúde e Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 320-32, 2010.

RODRIGUES, K. L. R.; FERREIRA, S. T. O. Depressão: é possível intervir na incapacidade para o trabalho? **Anais... Congresso de Gestão Pública – COBSAD**, 4, 2011, Brasília.

ROMBALDI, A. J. *et al.* Prevalência e fatores associados a sintomas depressivos em adultos do sul do Brasil: estudo transversal de base populacional. **Revista Brasileira Epidemiologia**, v. 13, n. 4, p. 620-629, 2010.

SENA, T. Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais-DSM-5, estatísticas e ciências humanas: inflexões sobre normalizações e normatizações. Interthesis: **Revista Internacional Interdisciplinar**, v. 11, n. 2, p. 96-117, 2014.

SERAFIN, A. C. *et al.* Riscos psicossociais e incapacidade do servidor público: um estudo de caso. Psicologia: **Ciência e Profissão**, v.32, n. 3, p. 686-705. 2012.

SILVA, E. B. F. *et al.* Transtornos mentais e comportamentais: perfil dos afastamentos de servidores públicos estaduais em Alagoas, 2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 21, n. 3, p. 505-514, 2012.

SILVA, E. D. **Qualidade de Vida dos agricultores expostos a agrotóxicos na produção de coco**: Estudo de caso no Perímetro Irrigado de São Gonçalo. 2019. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2019.

SOARES, W.; ALMEIDA, R. M.; MORO, S. Trabalho rural e fatores de risco associados ao regime de uso de agrotóxicos em Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.19, n.4, p.1117-1127, 2003.

SOUZA, B. F. *et al.* Pacientes em uso de quimioterápicos: depressão e adesão ao tratamento. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 47, n. 1, p. 61-8, 2013.

# METEOROLOGY AND PHOTOVOLTAIC ENERGY IN THE II SCIENTIFIC EXPEDITION OF THE LOWER SÃO FRANCISCO.

Ricardo Araújo Ferreira Junior

Igor Cavalcante Torres

José Vieira Silva

José Leonaldo de Souza

Allwert Henrique Leão de Argôlo Militão

Daniel Lucas Henrique de Macedo

## SUMMARY

This chapter presents the observations of meteorological variables during the second scientific expedition of the Lower São Francisco River, emphasizing solar radiation because it is directly related to the generation of photovoltaic energy. The study was performed utilizing a set of two 140 W<sub>p</sub> (Watt peak) photovoltaic panels of monocrystalline silicon technology (Si-M) and was evaluated through an electrical data acquisition device, a prototype developed by students of the Energy Engineering course at the Laboratory of Photovoltaic Systems of the Federal University of Alagoas. In most municipalities of the Lower São Francisco region, the semi-arid climate predominate, and irrigation is a technique that enables the generation of food and income for local farmers. Solar radiation converted into electricity by photovoltaic systems can be used in irrigation motor pumps and other rural activities. Thus, research on the potential of the use of solar energy is of great relevance. On all days of the expedition, global solar irradiation had values above the region's average annual range, which, according to the 2017 Brazilian Solar Energy Atlas, is 5,250 to 5,500 Wh.m<sup>-2</sup>. However, during the evaluations, there were moments when the solar irradiance exceeded the value of 1000 W.m<sup>-2</sup>; consequently, there is a projection of this effect on the photogenerated current of the module, that is, maximum current values slightly above 10 amperes, exceeding the value specified by the manufacturer by almost 18%. Therefore, it is concluded that solar radiation is a desirable resource in the region under study, especially in places with difficult access, since the potential is already documented and ratified with the measurements performed in the present study. The use of photovoltaic generators is already a reality; according to the results, it is possible to use this technology to supply electric power for small and large loads, merely being very attentive to best capture the solar resources. The developed monitoring prototype shows good performance in solar panel voltage, current, power, and temperature measurements.

## CAPÍTULO 20

# METEOROLOGIA E ENERGIA FOTOVOLTAICA NA II EXPEDIÇÃO CIENTÍFICA DO BAIXO SÃO FRANCISCO

Ricardo Araújo Ferreira Junior<sup>89</sup>

Igor Cavalcante Torres<sup>90</sup>

José Vieira Silva<sup>91</sup>

José Leonaldo de Souza<sup>92</sup>

Allwert Henrique Leão de Argôlo Militão<sup>93</sup>

Daniel Lucas Henrique de Macedo<sup>94</sup>

### INTRODUÇÃO

Os processos naturais biológicos, físicos e sociais são resultados, também, da interação com a atmosfera terrestre, expressada pelas condições meteorológicas de certa localidade através dos elementos radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar, pressão atmosférica e precipitação, dentre outros. Por exemplo, a radiação solar que incide na superfície é a força motriz para os diversos ambientes, pois garante a energia necessária para a produção primária das cadeias tróficas (WOODWARD; SHEEHY, 1983). Esse elemento meteorológico vem ganhando importância no setor energético, sendo utilizado tanto na forma passiva (aproveitamento para iluminação natural) quanto ativa (aquecimento e eletricidade). Nas pesquisas de saúde, existem evidências de que a iluminação natural tem efeito sobre o comportamento humano, regulando o ciclo biológico na produção de vitamina D, no ritmo cardíaco e circulatório.

As medidas da radiação solar global (total) e das outras variáveis meteorológicas são fundamentais em várias áreas de interesse da sociedade, tais como: caracterização ambiental, simulações de cenários climáticos futuros, demanda hídrica, evapotranspiração, planejamento de instalações para o aproveitamento da energia solar, modelos de crescimento e de produtividade de comunidades vegetais (agrícolas ou naturais), estudos de fotossíntese etc.

Na maioria dos municípios da região do Baixo São Francisco, predomina o clima semiárido. Todavia, o uso de água via irrigação é uma alternativa para a segurança alimentar e a geração de renda dos agricultores rurais (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2012). Nesse cenário, a radiação solar pode ser aproveitada em sistemas fotovoltaicos, gerando eletricidade para as motobombas da agricultura irrigada e atividades correlatas.

<sup>89</sup> Professor da Universidade Federal de Alagoas (Ufal), *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (Ceca), Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia.

<sup>90</sup> Professor da Ufal-Ceca, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSFV).

<sup>91</sup> Professor Associado. Coordenador do Crad-Ufal. *Campus* Arapiraca.

<sup>92</sup> Professor Aposentado da Ufal, Instituto de Ciências Atmosféricas.

<sup>93</sup> Graduando da Ufal, curso de Engenharia de Energia, LSFV.

<sup>94</sup> Graduando da Ufal, curso de Engenharia de Energia, LSFV.



Neste capítulo, são apresentados a dinâmica das variáveis meteorológicas no Baixo São Francisco e o monitoramento de variáveis elétricas de pequeno arranjo fotovoltaico (FV), através de um protótipo de baixo custo, durante a II Expedição Científica do Baixo Rio São Francisco.

## Meteorologia e Energia Solar

### - Meteorologia durante a expedição

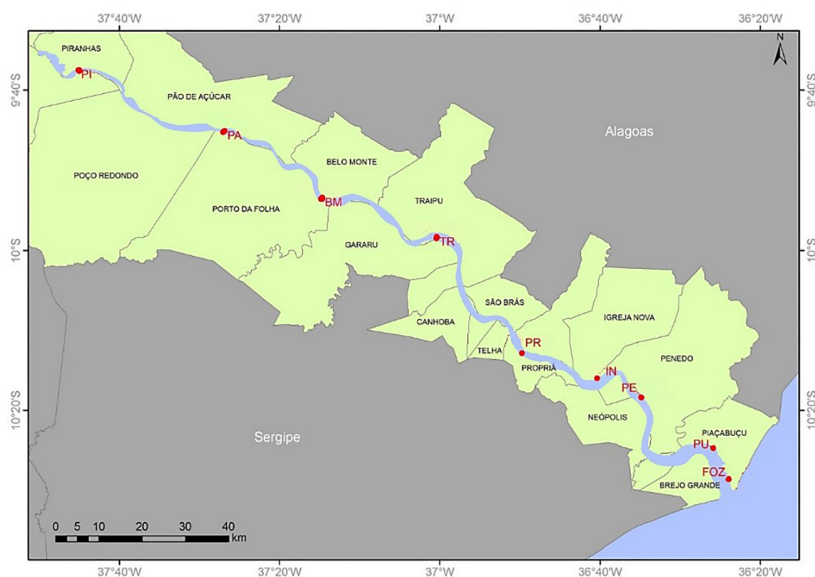
Meteorologia (a palavra vem do grego, em que “meteoros” significa o que está suspenso no ar, e “logia” é igual a estudo) é a parte da ciência que tem como objeto de estudo a atmosfera, ou seja, ocupa-se dos fenômenos físicos atmosféricos e suas variações espaço-temporal.

O tempo (tempo meteorológico, não confundir com o tempo cronológico) é o estado da atmosfera num local e instante, sendo caracterizado por grandezas que podem ser observadas. Essas são denominadas elementos meteorológicos e os principais são temperatura do ar, pressão da atmosférica, umidade do ar, velocidade e direção do vento, precipitação pluvial (popularmente chamada de chuva) e radiação solar.

Os elementos meteorológicos são condicionados pelos chamados fatores meteorológicos. Estes, na maioria das vezes, são características geográficas, tais como: latitude, altitude, continentalidade, oceanalidade (maritimidade), correntes oceânicas, sistemas atmosféricos etc.

Na II expedição científica que ocorreu no Baixo Rio São Francisco, as variáveis meteorológicas observadas foram radiação solar, velocidade do vento e temperatura do ar. As medições foram iniciadas no dia 19 do mês de novembro do ano 2019, no município de Piranhas (PI), e finalizadas no dia 26 do mesmo mês, no município de Penedo (PE) (Figura 124). Entretanto, a expedição foi até a foz do rio São Francisco e retornou a Penedo.

Figura 124 - Mapa do Baixo São Francisco, com destaque das localidades em que a expedição realizou atividades de pesquisa. Notas: Piranhas (PI), Pão de Açúcar (PA), Belo Monte (BM), Traipu (TR), Propriá (PR), Igreja Nova (IN), Penedo (PE), Piaçabuçu (PU).



Fonte: Compilação dos autores (2020).

Os equipamentos automáticos (sensores) realizavam medidas meteorológicas a cada 10 segundos e um sistema de aquisição de dados (*Datalogger*) (Figura 125), ao qual os sensores estavam conectados, armazenava médias a cada um (1) minuto.

As observações da radiação solar foram feitas através de um piranômetro (Figura 126), previamente calibrado por um piranômetro de segunda classe especificado pelo ISO 9060 (modelo CMP 21, Kipp & Zonen). A temperatura do ar ( $T_a$ ) foi monitorada por um termômetro instalado no piso superior da embarcação da expedição e protegido da incidência da radiação solar direta e da precipitação pluvial. A velocidade do vento foi mensurada por um anemômetro do tipo de conchas, também instalado no piso superior do barco (Figura 126).

Figura 125 - Sistema de aquisição de dados instalado na embarcação da II Expedição Científica do Rio São Francisco.



Fonte: Ricardo A. Ferreira Junior (2019).

Cabe destacar que todo o sistema de monitoramento meteorológico (Tabela 49) foi cedido pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), locado no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA).

O termo radiação, isoladamente, é uma forma de transferência de energia, por meio de ondas eletromagnéticas. Já a radiação solar é o termo geral para expressar a energia oriunda do sol. Sabe-se que, após as reações nucleares que ocorrem no interior do sol, enormes quantidades de energia são transferidas até a superfície solar, que tem uma temperatura de cerca de 6.000 K. Segundo a Lei de Stefan-Boltzman, a densidade de fluxo de energia radiante emitida por um corpo é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta (unidade em Kelvin). Assim, uma enorme quantidade de energia na forma de radiação é emitida pelo sol, a uma velocidade de 300 milhões de metros por segundo, e uma parte chega até o planeta Terra.

Figura 126 - Sensor de medição da radiação solar (piranômetros) e sensor de medição da velocidade do vento (anemômetro) instalados na embarcação da II Expedição Científica do Rio São Francisco.



Fonte: Fonte: Ricardo A. Ferreira Junior (2019).

Tabela 49 - Equipamentos utilizados no monitoramento meteorológico na II Expedição Científica que ocorreu no Baixo Rio São Francisco.

Variável	Equipamento	Fabricante	Modelo
Radiação Solar	Piranômetro	Kipp & Zonen	CM3
Temperatura do ar	Termômetro	Campbell Scientific	Probe 107
Velocidade do vento	Anemômetro	Campbell Scientific	03101-L
-	Datalogger	Campbell Scientific	CR1000

Fonte: Fonte: Ricardo A. Ferreira Junior (2020).

A unidade para energia no sistema internacional (SI) de medidas é o Joule (J). Já a energia radiante solar é expressa por unidade de tempo (s) e por unidade de área (m<sup>2</sup>) e é chamada de densidade de fluxo de radiação. Quando essa densidade de fluxo de energia está saindo (emitida) de uma superfície (ou um corpo), é denominada emitância; por outro lado, se esse fluxo estiver chegando a uma superfície, é denominado irradiância solar global (R<sub>g</sub>, J.s<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> = W.m<sup>-2</sup>). Com a integração desses valores, tem-se a irradiação solar global (H<sub>g</sub>, Watt-hora por metro quadrado – Wh.m<sup>-2</sup>) por certo intervalo de tempo, geralmente horário ou diário, conforme Equação 1:

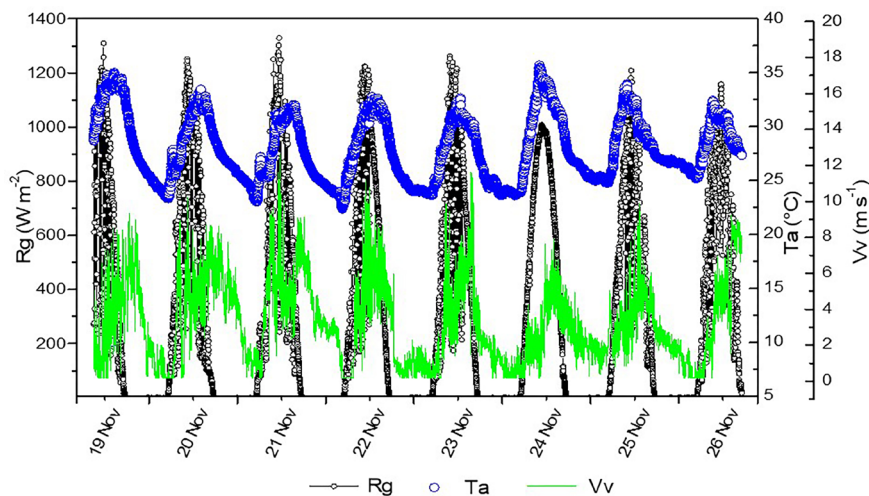
$$H_g = \int_{t_o}^{t_f} R_g(t) dt \quad (1)$$

em que: t<sub>o</sub> é a momento do nascer do sol e t<sub>f</sub> é o momento do pôr do sol.

Em todos os dias observados durante a expedição (Figura 127), ocorreram altos valores de picos de irradiância solar global (acima de 1.000 W.m<sup>-2</sup>), com o valor máximo igual a 1.329 W.m<sup>-2</sup> às 11 horas e 23 minutos no dia 21 de novembro (Figuras

127 e 128), quando a embarcação estava em deslocamento entre os municípios de Pão de Açúcar (PA) e Traipu (TR). Nesse dia, a irradiação solar global diária, ou seja, os valores integrados de  $R_g$ , foi de  $6.104 \text{ Wh.m}^{-2}$  ( $21,97 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ). Vale destacar que, nos dias da expedição, o meio-dia solar estava ocorrendo aproximadamente às 11 horas e 37 minutos [hora padrão de Brasília – fuso horário: (UTC/GMT -03:00)], ou seja, nesse momento, o sol está sobre o meridiano local.

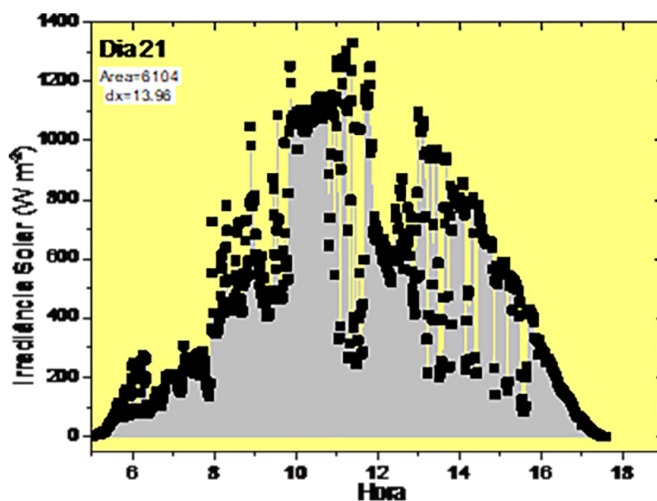
Figura 127 - Irradiância solar global ( $R_g$ ,  $\text{W.m}^{-2}$ ), Temperatura do ar ( $T_a$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) e Velocidade do vento ( $V_v$ ,  $\text{m.s}^{-1}$ ) medidos na embarcação ao longo da II Expedição Científica do Rio São Francisco.



Fonte: Compilação dos autores (2019).

Pode-se conhecer a condição de nebulosidade desse dia através da transmitância atmosférica global ( $K_t$ ), também chamada de índice de claridade. Para essa determinação, precisa-se fazer a razão entre a  $H_g/H_o$ , em que  $H_o$  é a irradiação solar global extraterrestre ou irradiação solar global no topo da atmosférica (ou  $R_g/R_o$ , para a determinação instantânea, em que a  $R_o$  é a irradiância solar global extraterrestre) (Figura 129). O valor da energia radiante no topo da atmosfera é determinado multiplicando-se a constante solar, um fator de correção da excentricidade da órbita do planeta Terra e o cosseno do ângulo zenital. Para detalhes da metodologia, consultar Iqbal (1983), em que as variáveis de entrada para os cálculos são, apenas, a latitude e o dia do ano. Assim, o dia em questão teve  $H_o$  igual a  $39,26 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , com um  $K_t$  (0,56), que o classifica em relação à nebulosidade (ou à cobertura do céu por nuvens) como parcialmente nublado ( $0,30 \leq K_t < 0,70$ ). O céu é classificado nublado com valores de  $K_t$  menores que 0,3, enquanto valores iguais ou maiores que 0,7 indicam céu claro.

Figura 128 - Irradiância Solar Global no dia 21, medida na embarcação da II Expedição Científica do Rio São Francisco do município de Pão de Açúcar (PA) ao de Traipu (TR).

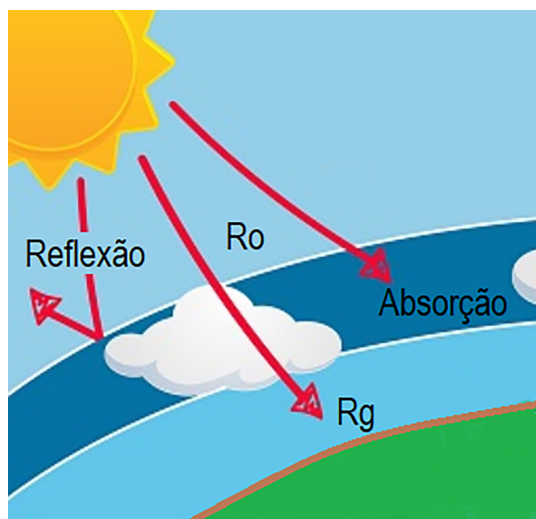


Fonte: Compilação dos autores (2019).

Os valores de  $R_g$ , na superfície, acima de  $1.000 W.m^{-2}$  estão relacionados a um fenômeno que, na literatura especializada, pode ser o encontro das seguintes terminologias: radiação extrema sobre irradiância, efeito borda de nuvem e efeito lente. São valores próximos ou superiores ao da constante solar ( $1.367 W.m^{-2}$ ) ou da irradiância extraterrestre. Isto ocorre em condições de nebulosidade parcial, como consequência de espalhamento/reflexão da radiação por bordas das nuvens quando existe uma geometria propícia entre sol-nuvens-Terra. Essa geometria possibilita que a irradiância solar global seja aumentada por contribuição da componente, que é difusa pelas bordas das nuvens (Figura 130). Geralmente, o efeito lente tem curtos intervalos de tempo quando o ângulo de elevação solar está próximo de  $90^\circ$  ou ângulo horário próximo de  $0^\circ$  (meio-dia solar).



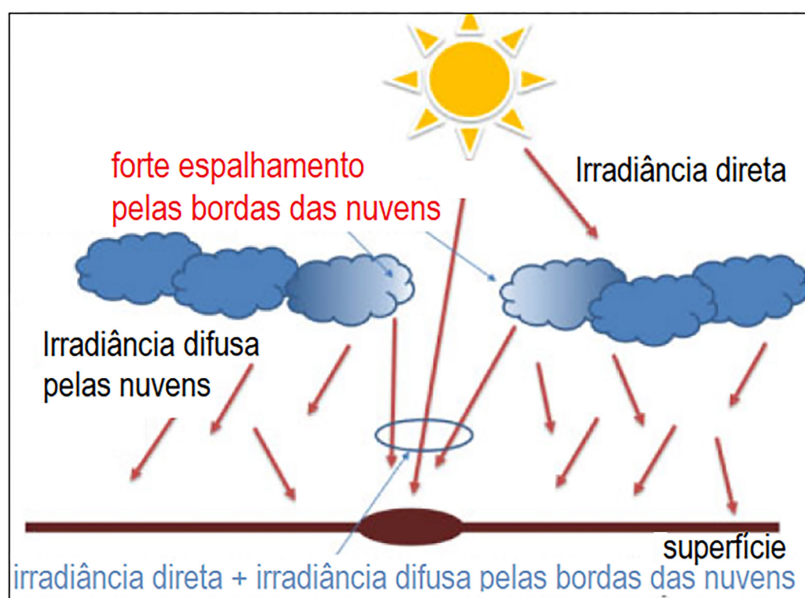
Figura 129 - Ilustração da radiação solar que chega no topo da atmosfera do planeta terra ( $R_o$ ) e a radiação solar que chega na superfície ( $R_g$ ) após os processos de atenuações (reflexão e absorção).



Fonte: elaborado pelo autor.

Placentini *et al.* (2003) relatam que, para que o fenômeno ocorra, as condições especiais são funções do tipo, da densidade, da configuração e das porcentagens de coberturas de nuvens (entre 50% e 90% do céu). Em pesquisas realizadas usando dados de  $R_g$  mensurados em diferentes Estados do território brasileiro (Bahia, Ceará, Minas Gerais, Mato Grosso, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul), foram observados valores acima de 1.367, com o máximo de  $1.822 \text{ W.m}^{-2}$  (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

Figura 130 - Ilustração do fenômeno de aumento da irradiância solar global por efeito do espalhamento das bordas das nuvens.



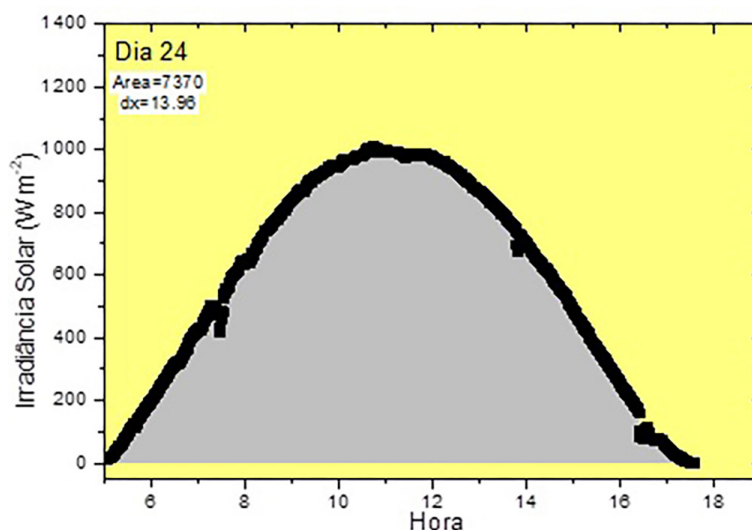
Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2018)

A expedição ocorreu em novembro, mês que apresenta a menor normal climatológica (valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo, no mínimo, três décadas consecutivas) de precipitação pluvial (chuva) na maioria das regiões do Estado de Alagoas. Por exemplo, no município de Pão de Açúcar, a normal climatológica de precipitação mensal, entre os anos de 1981 a 2010, no mês de novembro, é de apenas 12,8 mm (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2020). Nos monitoramentos pluviométricos do mês de novembro, são comuns a ausência de eventos de chuva em localidades do Estado, principalmente nas afastadas do litoral. Portanto, não ocorreu nenhum evento de precipitação pluvial durante a expedição, proporcionando condições para elevados valores de energia solar incidente em todos os dias da expedição. Esses são alguns dos fatores que favoreceram as elevadas temperaturas no decorrer da expedição, que apresentou uma temperatura do ar média de 27,9 °C, valor superior ao registrado na primeira expedição (ano 2018), que ocorreu no mês de outubro e teve média de 27,3 °C. Se a comparação da temperatura do ar entre as duas expedições for em relação aos valores extremos (mínimo e máximo), as diferenças são maiores, com 1,05 °C e 2,1 °C de diferença, respectivamente, para temperaturas mínimas e máximas.

A temperatura do ar teve o valor máximo (35,7 °C), durante a expedição, no dia 24 de novembro, às 10h10min da manhã. Nota-se que, nesse dia, a irradiância solar global apresentou o menor pico ( $1.010 \text{ W.m}^{-2}$ ) entre os dias da expedição; porém, esse dia, do nascer ao pôr do sol, foi o que recebeu mais energia solar, com o valor integrado (Hg) de  $7.370 \text{ Wh.m}^{-2}$  ( $26,53 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) (Figuras 127 e 131). Isso deveu-se à condição da transparência da atmosfera em dias de céu claro ( $K_t = 0,7$ ). E, conforme relatado no *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, elaborado em conjunto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), o Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (Labren) e o Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), em 2017, em um dia claro (céu limpo), os constituintes da atmosfera atenuam a irradiância solar, fazendo com que a incidente na superfície atinja seu valor máximo de aproximadamente  $1.000 \text{ W.m}^{-2}$  (PEREIRA *et al.*, 2017). Essa condição ocorreu no dia 24 e pode ser observada a tendência dos valores ao longo do dia, em que a curva foi a mais próxima de uma senoide (formato de sino) (Figura 131).

Cabe ressaltar que todos os dias da expedição (Figura 127) apresentaram irradiação solar global acima da faixa média anual ( $5.250$  a  $5.500 \text{ Wh.m}^{-2}$ ) da região apresentada no Atlas citado acima.

Figura 131 - Irradiância solar global no dia 24, medida na embarcação da II Expedição Científica do Rio São Francisco, no município de Penedo (AL).



Fonte: Compilação dos autores (2019).

Em relação à velocidade do vento medida na expedição, é importante lembrar que, quando a embarcação está em movimento, a velocidade registrada pelo equipamento é influenciada pelo deslocamento da embarcação. Nesse caso, a velocidade é uma resultante da velocidade da embarcação e da do vento. Logo, os valores de velocidade do vento, em certos momentos, não são exatos, porém, de maneira geral, é notável que a tendência do vento é parecida com a da temperatura do ar (Figura 127).

### - Energia solar fotovoltaica

No que remete ao aproveitamento da energia solar para geração de eletricidade, o efeito fotovoltaico (FV) é um processo de aplicação que vem ganhando força exponencialmente, principalmente em aplicações fotovoltaicas conectadas à rede elétrica, sendo motivado pela Resolução nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que objetiva reduzir as barreiras para inserção de micro e minigeração distribuída, incentivando o mercado brasileiro (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012). Esse é, comumente, chamado de sistema FV e fundamenta-se na transformação da radiação solar, diretamente, em energia elétrica, por meio de um dispositivo semicondutor (chamado de célula fotovoltaica) que produz uma corrente elétrica quando a radiação solar na faixa do visível (luz) incide sobre ele. Aplicações em sistemas isolados (*Offgrid*) também vêm ganhando um forte impulso ultimamente, e o desenvolvimento tecnológico em baterias está proporcionando um bom desempenho, principalmente, nas baterias de Íons de Lítio, quando aliadas a painéis fotovoltaicos (MACHIARELLI, 2018).

Diante da realidade da região do Baixo São Francisco, do ponto de vista climatológico, motivou-se o estudo para investigar as variáveis elétricas fornecidas pelos módulos fotovoltaicos durante a II Expedição Científica do Rio São Francisco, visto que as condições meteorológicas afetam, de forma significativa, a produção de energia elétrica (ALVES, 2019). A configuração do cenário experimental montado na expedição contou com dois painéis fotovoltaicos de

140 W<sub>p</sub> (Watt pico) de tecnologia silício monocristalino (Si-m) (Figura 132). Os dados técnicos operacionais dos módulos empregados no experimento foram descritos em W<sub>p</sub> (Watt-pico), que é uma unidade de potência não muito usual e foi criada para caracterizar os painéis fotovoltaicos (Tabela 50).

Figura 132 - Módulos fotovoltaicos instalados na II Expedição Científica do Rio São Francisco.



Fonte: Ricardo A. Ferreira Junior (2019).

Tabela 50 - Características técnicas dos módulos utilizados na análise realizada na Expedição.

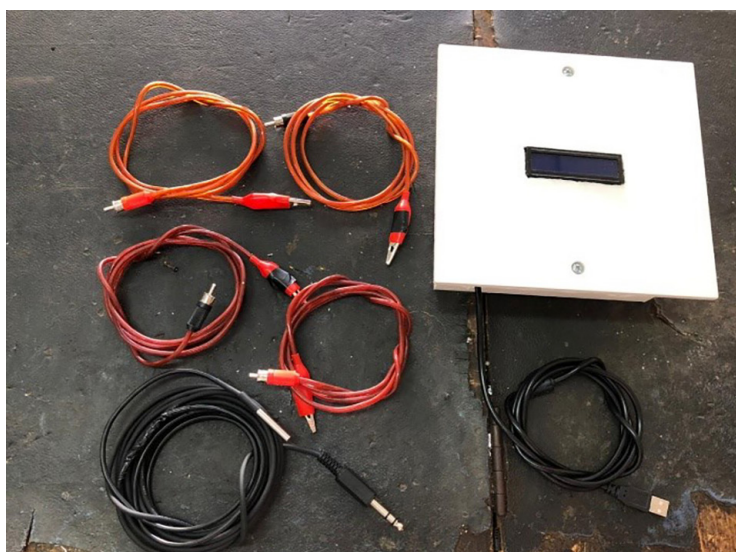
Referência	BMSM140M36
Potência	140 W <sub>p</sub>
Corrente Ponto de Máxima	7.77 A
Corrente Curto-Circuito	8.66 A
Tensão Ponto de Máxima	18.0 V
Tensão Circuito Aberto	21.6 V

Fonte: Igor Cavalcante Torres (2020).

A potência gerada por um painel FV varia conforme as condições de irradiância solar e a temperatura do ar a que o painel está exposto. Assim, para caracterizar módulos fotovoltaicos, as potências são expressas em W<sub>p</sub>, que é definida como a potência de um painel quando submetido às condições padronizadas de teste Standard Test Conditions (STC). Essas condições de teste padrão têm como a temperatura da célula 25 °C, sem vento e com uma irradiação solar de 1.000 W.m<sup>-2</sup> (MACÊDO, 2008; ZILLES; MACÊDO, 2012).

Sistemas de monitoramento em tempo real possibilitam a visualização de falhas com maior precisão (REGES, 2017). Sistemas comerciais ainda custam muito caro, o que, muitas vezes, inviabiliza a investigação de um experimento. Assim, o desenvolvimento de um protótipo foi pensado para criar uma ferramenta de medição, visando ao baixo custo e à acurácia aceitável nas medições. Dessa forma, a coleta de dados deu-se através do protótipo (Figura 133), sendo responsável por mensurar e armazenar as informações das variáveis na memória de massa interna, propiciando futuras análises.

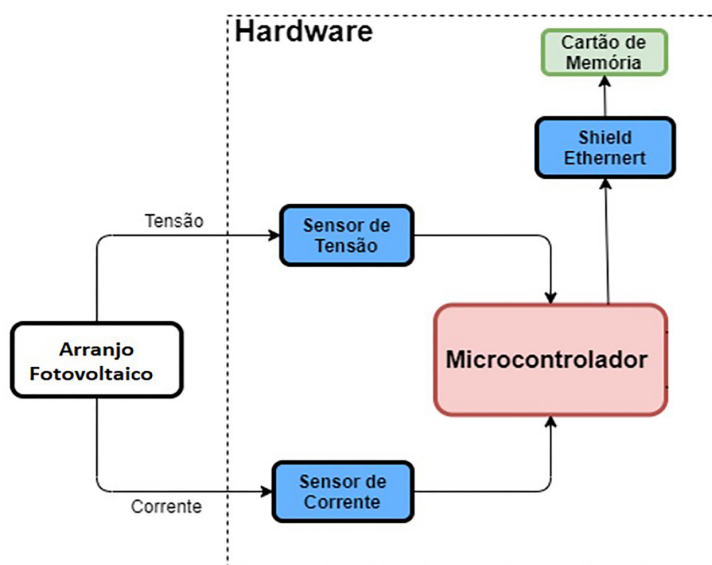
Figura 133 - Protótipo de um dispositivo de aquisição de dados elétricos de sistema fotovoltaico.



Fonte: Igor Cavalcante Torres (2019).

O protótipo foi desenvolvido pelos alunos do curso de Engenharia de Energias, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSFV) da UFAL, situado no CECA. De forma simplória, a composição fundamental do equipamento é feita em dois circuitos principais, o de medição de corrente e o de tensão elétrica; o segundo estágio é o processamento dos dados, etapa efetuada pelo processador, e, por fim, o armazenamento dos dados sequenciados em sua memória de massa. O dispositivo de aquisição de dados monitora em intervalos de 1 (um) segundo o comportamento da tensão, corrente, potência e temperatura do painel solar, em tempo real, e envia as informações a um cartão de memória (Figura 134).

Figura 134 - Diagramação de bloco do projeto do medidor (protótipo) construído para análise de variáveis elétricas de um painel solar.



Fonte: Compilação dos autores (2020).



O dispositivo foi montado integralmente no laboratório e testado previamente por diversos dias. A metodologia de avaliação contou com uma campanha de medições de uma semana, na área experimental do laboratório, executada pelos alunos da graduação de Engenharia de Energia (Figura 135).

No contexto da produção de eletricidade, os resultados encontrados pelo protótipo medidor na expedição são relativos às medidas realizadas no dia 22 de novembro de 2019, quando a embarcação estava em deslocamento entre os municípios de Traipu (TR) e Propriá (PR). Nos resultados, há uma similaridade entre o comportamento da corrente fotogerada (Figura 136A) e a irradiância solar global (Figura 136B). Percebe-se uma mesma dinâmica na variabilidade das medições, com forte correlação entre as variáveis.

Figura 135 - Ação de avaliação do medidor (protótipo) de variáveis elétricas de um painel solar, realizada na área experimental do laboratório.



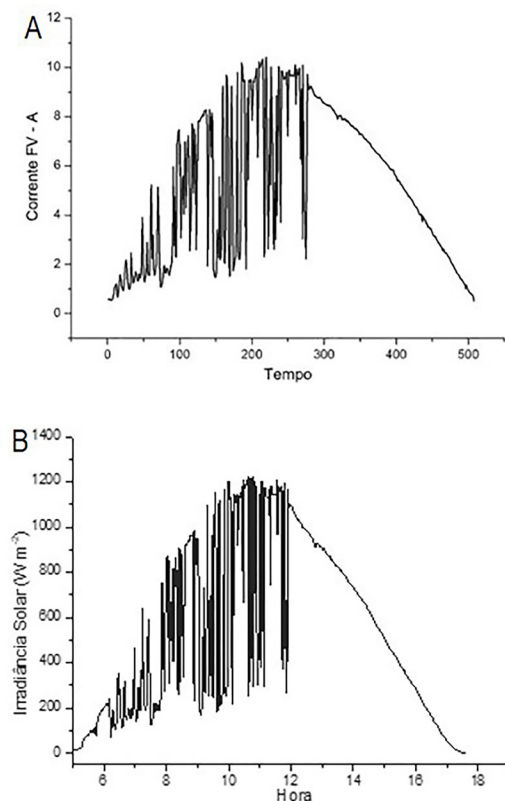
Fonte: Igor Cavalcante Torres (2010).

Matematicamente, a correlação pode ser determinada pelo modelo matemático abaixo, com que é possível determinar a corrente produzida pelo painel FV com o dado instantâneo de radiação solar:

$$\frac{H_{\beta}}{H_{STC}} = \frac{I_{FV}}{I_{MP}} = I_{FV} = I_{MP} \frac{H_{\beta}}{H_{STC}}$$

Na expressão acima,  $I_{FV}$  a corrente na saída do painel fotovoltaico. A partir do valor da corrente no ponto de máxima potência ( $I_{MP}$ ) nominal do datasheet, é possível calcular instantaneamente a corrente fotogerada, usando o termo de radiação normalizada ( $\frac{H_{\beta}}{H_{STC}}$ ).

Figura 136 - A) Perfil da corrente elétrica produzida pelo painel fotovoltaico (Ampere, A); B) Irradiância solar global ( $W.m^{-2}$ ). Dia 22 de novembro de 2019, durante a II Expedição Científica do Rio São Francisco.

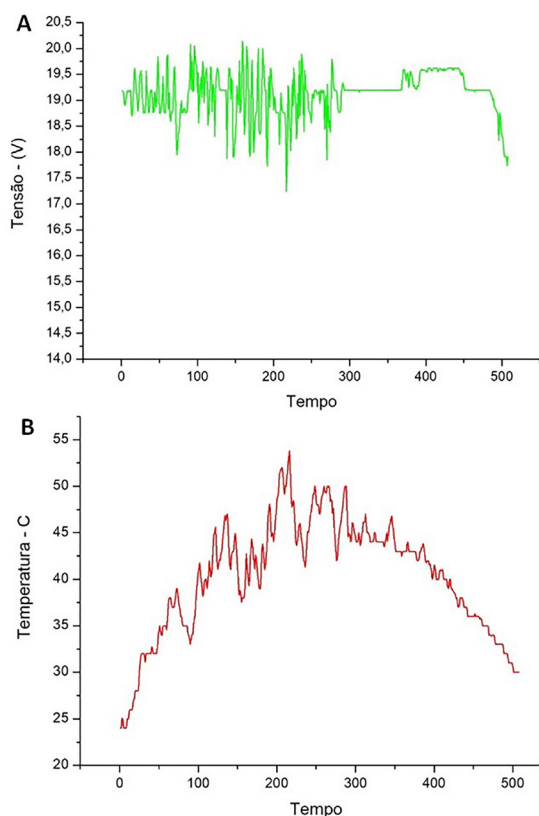


Fonte: Compilação dos autores (2020).

Percebe-se, também, que foram obtidos valores máximos de corrente ligeiramente acima de 10 amperes, superando o valor de catálogo do datasheet (Tabela 50). Isso significa um excesso de corrente de quase 18% com relação ao dado de catálogo, que é referenciado nas condições padrão de teste (STC). Esse fenômeno pode ser justificado mediante a disponibilidade do recurso solar local, conforme visualizado no perfil da irradiância solar do dia 22 (Figura 136B). Existem momentos em que a irradiância solar ultrapassa o valor de  $1.000 W.m^{-2}$ ; conseqüentemente, há uma projeção desse efeito na corrente fotogerada do módulo.

Analisando o perfil da tensão (Figura 137A), visualiza-se que há intermitência na amplitude da tensão no mesmo período em que se tem a variabilidade da irradiância solar, porém em menor intensidade.

Figura 137 - A) Perfil da tensão elétrica nos terminais do módulo fotovoltaico ao longo do dia em V; B) Perfil da temperatura operacional do painel fotovoltaico (°C).



Fonte: Compilação dos autores (2020).

A comparação pode ser feita pelos gráficos (Figuras 136A e 137A), visto que a corrente elétrica reflete o comportamento da densidade de fluxo de radiação solar. Assim, é possível perceber a estabilidade do sinal de tensão após o período da perturbação da corrente elétrica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, portanto, que a radiação solar é um recurso que deve ser ambicionado na região em estudo, principalmente em locais de difícil acesso, uma vez que já é documentado o potencial e ratificado com as medidas realizadas na expedição. A utilização de geradores fotovoltaicos já é uma realidade e, com isso, de acordo com os resultados, é possível utilizar esta tecnologia para fornecimento de energia elétrica de pequenas e grandes cargas, bastando estar muito atento no que tange à melhor captação do recurso solar. O protótipo de monitoramento desenvolvido mostra bom desempenho nas medições de tensão, corrente, potência e temperatura do painel solar.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de Abril de 2012. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012.

ALVES, M. O. L., **Energia solar**: Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas

- fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*. João Monlevade: Universidade Federal do Ouro Preto, 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Página inicial**. 2020. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 27 maio 2020.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Vancouver: Ed. AP, 1983.
- MACEDÔ, W. N. **Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor aplicado à Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 2006. Tese (Doutorado) – Programa de pós graduação em energia, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2006.
- MACHIAVELLI, J. A. **Sistemas de armazenamento de energia em redes de distribuição para o gerenciamento da curva de carga**. 2018. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete – Rio Grande do Sul, 2018.
- NASCIMENTO, L. R. *et al.* Extreme solar overirradiance events: Occurrence and impacts on utilityscale photovoltaic power plants in Brazil. **Solar Energy**, v.186, p.370-381, 2019.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Sumário Executivo do Volume 1 - Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1o Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Brasil, Volume Especial para a Rio+20, 34p, 2012.
- PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2017
- PIACENTINI, R. D.; CEDE, A.; BARCENA, H. Extreme solar total and UV irradiances due to cloud effect measured near the summer solstice at the high-altitude desert plateau Puna of Atacama (Argentina). **J. Atmos. Solar Terr. Phys**, v.65, p. 725-731, 2003.
- REGES, J. P. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para sistemas fotovoltaicos**. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2017.
- WOODWARD F.I.; SHEEHY, J.E. **Principles and Measurements in Environmental Biology**. p. 274, 1983.
- ZHANG, J. *et al.* Physical process and statistical properties of solar irradiance enhancement observed under clouds. **Jpn. J. Appl. Phys.**, Part 1 57, 08RG11, 2018.
- ZILLES, R.; MACÊDO, W. N. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, , 2012.

# ENVIRONMENTAL EDUCATION IN RIVERINE SCHOOLS IN THE LOWER SÃO FRANCISCO

José Vieira Silva

Antônio Jackson Borges Lima

Evaristo Pérez Rial

Júlia de Souza Vieira

## SUMMARY

Environmental Education in riverine schools in the Lower São Francisco region is a challenge similar to that found in other riverine schools worldwide. This text's approach sought to gather in loco information on social indicators and local environmental problems and how local schools deal with, or address, these issues in the context of environmental education. Directly, we tried to probe the work done in the sphere of primary education, with students of the initial grades, to overcome environmental degradation problems in the LSF. The analysis included the public authority's view on environmental education, what responsibility they assume with the communities in promoting knowledge, and if they provide the necessary tools to help overcome such environmental problems, or even develop a sense of preservation or recovery of degraded environments. The population's perception regarding the impacts of the environment on a day-to-day basis is unanimous, considering the knowledge of environmental problems by children and young people, but in a still very superficial context. Moreover, as the last discussed subject, the approach concerns the findings on environmental education actions developed in the riverside communities of the LSF.

Based on the findings in loco, raised during the two Scientific Expeditions of the Lower São Francisco, in 2018 and 2019, it is possible to state, categorically, that there is a considerable gap in the approach between the current environmental problems found in the region and the involvement of riverine communities in the search for local solutions. It is possible to observe that environmental education in the visited riverside communities and schools is still superficially treated, either in the dimension of pedagogical projects or in the lack of public policies with stimuli and official resources (federal, state, and county) to develop them effectively. The few isolated actions performed do not present a clear and significant connection with the problems faced by riparian communities. It is noticeable a remarkable dissociation on the part of public managers concerning environmental problems and related areas and regional development as a whole. The recommendation is that regional development promoters could address the river's current environmental problems in a coordinated or integrated fashion with environmental education. They could strongly encourage the adoption of integrated and responsible environmental protection actions aimed at the development of the Lower San Francisco.



# CAPÍTULO 21

## EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM ESCOLAS RIBEIRINHAS DO BAIXO SÃO FRANCISCO

José Vieira Silva<sup>95</sup>

Antônio Jackson Borges Lima<sup>96</sup>

Evaristo Pérez Rial<sup>97</sup>

Júlia de Souza Vieira<sup>98</sup>

### INTRODUÇÃO

A realização de duas expedições científicas no Baixo São Francisco (BSF), nos anos de 2018 e 2019, levou-nos a conhecer e a vivenciar, por alguns dias, a realidade e os desafios da educação nas escolas públicas e privadas das comunidades ribeirinhas, algo completamente distante da realidade vivida nos centros urbanos. Esse foi um desafio que perpassa por conteúdos programáticos, planejamentos pedagógicos, infraestrutura de apoio, disponibilidade de recursos e, sobretudo, pelas dificuldades de inclusão digital.

No contexto mais objetivo e focal das ações de estudo, as duas expedições científicas no Baixo São Francisco trataram de questões como a degradação e os problemas ambientais do rio. Diferente de outros modelos de ações de Educação Ambiental (EA), as abordagens adotadas durante as duas expedições foram voltadas para uma integração de conteúdos técnico-científicos no contexto da educação ambiental. Assim como em comunidades ribeirinhas do Brasil e em diferentes regiões do mundo (América do Norte, África, Ásia e Oceania), a educação ambiental faz parte dos planejamentos pedagógicos e também dos planos de governos (JACOBI, 2003; SORRENTINO *et al.*, 2005; LIMA; ANDRADE, 2010; MEDEIROS *et al.*, 2011; CUTTER-MACKENZIE, 2011; JACOBI, 2013; NWACHUKWU, 2014; NEEF, 2015; OLIVEIRA, 2015; ROSA *et al.*, 2015; BERCHEZ *et al.*, 2016; NOGUEIRA; SOUZA, 2019; EMAS, 2020).

A educação ambiental é uma temática relativamente nova no contexto do ensino, nos diferentes níveis organizacionais. Somente na segunda metade do século XX é que começou a ter importância mundial, por ocasião da Conferência de Educação, ocorrida no ano de 1965, na Inglaterra. Depois, foi abordada também em outras Conferências Mundiais do Clima, promovidas pela ONU e Unesco, como Estocolmo, em 1972, Belgrado, em 1975, Tbilisi, em 1977, e na Rio92 (BARBIERI; SILVA, 2011; EMAS, 2020).

No Brasil, a educação ambiental foi incluída, pela primeira vez, no Plano Plurianual do Governo Federal somente em 1996. Isso ocorreu através da Lei nº 9.276, de 9 de maio de 1996, que previa a promoção da educação ambiental por meio da divulgação e do uso de conhecimento sobre tecnologias de gestão sustentável dos recursos naturais. Apenas em 1999, com a Lei nº 9.795, de 27 de abril, que dispõe sobre a educação ambiental, foi instituída a Política Nacional de Educação Ambiental. Dessa forma, então, o Governo Federal oficializou o entendimento de educação ambiental:

<sup>95</sup> Professor Associado e Coordenador-Geral do Crad. Ufal – *Campus* Arapiraca.

<sup>96</sup> Fundador e Gestor do Museu do São Francisco. Traipu, Alagoas.

<sup>97</sup> Técnico Sênior em Aquicultura Marinha. Instituto Espanhol de Oceanografia. Vigo – Espanha.

<sup>98</sup> Bióloga – Dibict/ICBS. Ufal – *Campus* A.C. Simões.

Entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade. (BRASIL, 2005).

Dessa forma, as diretrizes-gerais da educação ambiental foram estabelecidas em vários momentos e disponibilizadas para a Rede Nacional, formada por escolas públicas, das esferas municipais e estaduais (OLIVA, 2000; PHILIPPI JR; PELICIONI, 2014). Em uma análise da conjuntura atual, a constatação que se tem é de que muito pouco tem mudado no contexto da adoção de uma matriz didática pedagógica que insira a educação ambiental como conteúdo a ser trabalhado nas escolas, principalmente, de ensino fundamental (LUCCA; BRUM, 2013; JACOBI, 2013; MUCCI, 2014; NWACHUKWU, 2014; NEEF, 2015; BERCHEZ *et al.*, 2016; EMAS, 2020).

A falta de dimensionamento e de valoração dos bens e serviços ambientais prestados gratuitamente pela natureza em geral é diretamente proporcional ao nível de desinformação, que tem impacto direto no grau de degradação ambiental. Isso é melhor entendido quando analisamos as diretrizes políticas adotadas e que confrontam a própria Constituição Federal de 1988, que prevê a inserção da educação ambiental no Plano Plurianual. No Artigo 225, parágrafo 1º, inciso VI, consta que o poder público está incumbido de promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente.

No geral, o Brasil tem uma legislação ambiental das mais atualizadas do mundo; porém, sua política ambiental sempre andou na contramão do que preconizam as leis (MELLO-THÉRY, 2019). Eis que, passados 32 anos desde a inserção da educação ambiental no Plano Plurianual, surge um revés sem precedentes para o meio ambiente e, principalmente, para a educação ambiental. O tema foi excluído ou alijado completamente no Plano Plurianual de 2020 a 2023, conforme a Lei nº 13.971, de 27 de dezembro de 2019 (BRASIL, 2019).

Todo o arcabouço jurídico e legal ressalta a adoção de ações práticas e a importância da educação ambiental nas escolas de ensino fundamental, mas muito pouco tem sido feito e estimulado. E, no mundo todo, é justamente essa adoção e ajuda da educação ambiental que tem sido propulsora para algum sucesso de médio e longo prazo nos projetos de recuperação ambiental (CUTTER-MACKENZIE, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2011; NEEF, 2015). A conscientização e a aceitação de conteúdos ambientais inovadores por parte dos ribeirinhos são processos demorados e que requerem persistência. Precisam ser inseridos e estimulados sistematicamente nas culturas locais, levando-se em conta, principalmente, suas tradições e os conhecimentos locais (LIMA; ANDRADE, 2010; LUCCA; BRUM, 2013).

No contexto mundial, muitos trabalhos e publicações têm chamado a atenção da ONU e dos governos nacionais, de uma forma em geral, para os problemas ambientais e suas consequências socioeconômicas, mas também são apontadas saídas. Dentre as saídas ou propostas a serem trabalhadas, praticamente todas elas têm, ou convergem, ou estão ligadas diretamente à educação ambiental como política pública de referência (CUTTER-MACKENZIE, 2011; JACOBI, 2013; NWACHUKWU, 2014; NEEF, 2015).

Com este contexto posto, as percepções levantadas durante as duas expedições científicas no Baixo São Francisco, nos anos de 2018 e 2019, apontam para a existência

de problemas ambientais comuns aos demais locais do mundo. No entanto, no Baixo São Francisco, a realidade da educação ambiental nas escolas ribeirinhas é bastante destoante, uma vez que a execução dos conteúdos e das temáticas ambientais do contexto pedagógico ainda está distante de ser vivenciada na prática educativa local (SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020; SILVA; CAMPELO; RIAL, 2020).

Há uma grande lacuna entre os conteúdos dos planejamentos pedagógicos e o contexto ambiental local. E isso constitui uma das maiores limitações quanto à adoção de uma política de ensino de conteúdos ambientais mais abrangentes e associados às realidades locais. Com isso em mente, o conteúdo deste material visa retratar um pouco da realidade encontrada nas escolas públicas e privadas visitadas durante as duas expedições.

## **Os indicadores sociais e os problemas ambientais do BSF**

A região do BSF, localizada entre os Estados de Sergipe e Alagoas, cobre uma área aproximada de 25.500 km<sup>2</sup>, onde vive uma população de cerca de 1,5 milhão de habitantes, dos quais 440.000 residem em áreas ao longo das margens do rio São Francisco. O BSF **vai de** Paulo Afonso (BA) até a foz, margeia a divisa entre os Estados de Sergipe e Alagoas, representa 3,4% da área total da bacia do Velho Chico e tem extensão aproximada de 270 km (MEDEIROS *et al.*, 2014; SOARES *et al.*, 2020).

Em relação à região Nordeste, ao se analisar os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os aspectos socioambientais das comunidades na região do BSF, os indicadores socioeconômicos apresentam valores considerados baixos. Há registro histórico de um PIB baixo, mas com sensíveis melhorias recentes nos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH). Ainda assim, os municípios são classificados com IDHs baixos (0,45 a 0,599, na grande maioria) e médios (entre 0,6 e 0,699, poucos). Apesar da proximidade com a maior fonte de água doce superficial na região Nordeste, 1 em cada 5 moradores dos municípios de Alagoas não tem acesso à água para beber, enquanto que em Sergipe esse número é de 1 para 10 (IBGE, 2019).

De acordo como o IBGE (2019), no ano de 2019, cada alagoano recebeu R\$ 730,86, em média, que corresponde a 73,2% do salário mínimo vigente no período. Por outro lado, em metade dos municípios ribeirinhos do Baixo São Francisco, a renda *per capita* média mensal não ultrapassou os R\$ 140,00, caracterizando-se como “abaixo da linha de pobreza”. Outro ponto indicador, que é reflexo direto da distribuição de renda e que merece grande atenção, diz respeito ao Índice Ideb, das séries iniciais e finais do ensino primário, onde os valores médios da última avaliação, divulgada em 2017, foram considerados preocupantes e muito baixos e estão entre 3 e 5 (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, 2020).

Dadas as condições socioeconômicas críticas e adversas, a população ribeirinha residente utiliza, em grande escala, os recursos naturais locais, como forma de subsistência. Isso tem gerado uma pressão antrópica muito grande sobre recursos disponíveis que, de maneira geral, possuem diferentes níveis de importância ecológica, conservação e degradação.

Neste aspecto e contexto, ao longo dos tempos, em Alagoas, as áreas de caatinga têm sido negligenciadas no que diz respeito à preservação e à recuperação. Na caatinga, esse grau de degradação atinge proporções que ultrapassam os 70% da área total (BARBOSA *et al.*, 2017). E este fato tem sido agravado devido ao elevado grau de degradação nas Áreas de

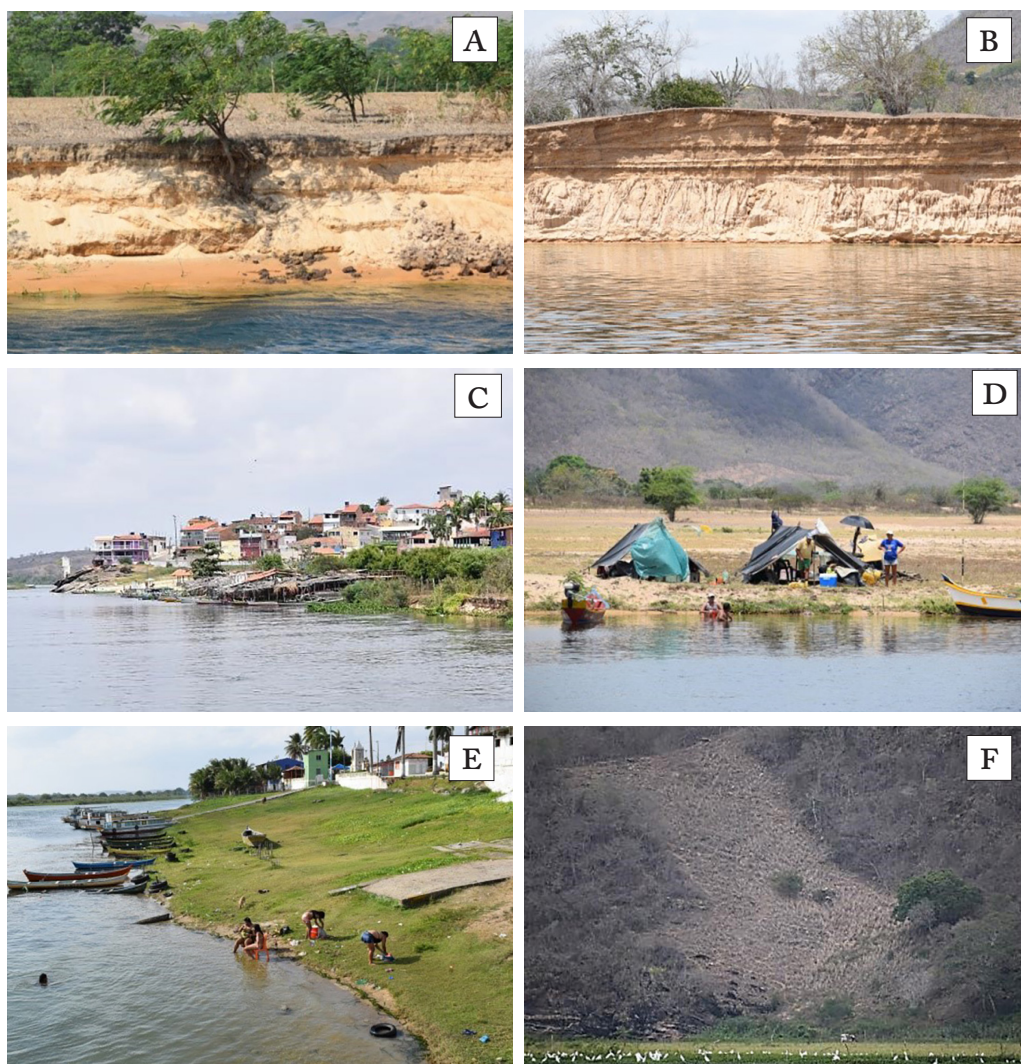


Preservação Permanentes (APPs), matas ciliares e nascentes, tanto dos seus afluentes de 1ª e 2ª ordem, como do próprio rio São Francisco (SILVA; VIEIRA; RIAL, 2020).

Outros problemas ambientais, como a cunha salina, surgiram em decorrência da construção de barragens para regularização de vazões e produção de energia elétrica (CAVALCANTE *et al.*, 2020; SOARES *et al.*, 2020). Além das barragens, as estradas, os núcleos urbanos e a expansão da agropecuária foram outros fatores que contribuíram fortemente para o surgimento de problemas ambientais no BSF.

Aliado a tudo isso, na grande maioria dos ambientes ciliares remanescentes, não há resiliência que permita à vegetação restabelecer-se por mecanismos naturais de regeneração. Em decorrência da ausência de vegetação ciliar, das secas na bacia e da regularização de vazões com redução da vazão do rio, verifica-se um acelerado processo de erosão das margens do rio e poluição das águas por esgotos domésticos e outros contaminantes (Figura 138).

Figura 138 - Erosão das margens (A e B); núcleos urbanos (C); assoreamento (D); uso distinto das águas do rio (E); desmatamento em APPs (F) na região do Baixo São Francisco.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Estas ações antrópicas provocaram uma redução severa da vegetação ciliar e das APPs, tanto nas margens do rio São Francisco como dos seus afluentes, levando a uma fisionomia bastante modificada, com o surgimento dos bancos de areia e ilhas. Face à severa supressão da vegetação e à intensidade de caça e pesca, muitas espécies nativas de plantas e animais estão praticamente extintas na região.

As consequências imediatas são o assoreamento do leito principal do rio, com perdas de recursos da flora e da fauna locais, redução dos pescados e das terras produtivas e, conseqüentemente, aumento do empobrecimento das comunidades ribeirinhas. Em termos de materiais de estudo e assuntos locais para compor os conteúdos dos planos pedagógicos relacionados à educação ambiental, o Baixo São Francisco apresenta um amplo leque de problemas ambientais. Portanto, são inúmeras as possibilidades que existem para se trabalhar os conteúdos voltados para a educação ambiental nos diversos cenários vividos pelos ribeirinhos no seu cotidiano.

### **Escolas ribeirinhas e a educação ambiental**

Conhecer e entender o universo e a abrangência das ações de educação ambiental das duas expedições científicas foi o ponto de partida para visualizar a importância e a dimensão do despertar do olhar ambiental. Nos municípios de Piranhas, Pão de Açúcar, Traipu, Porto Real do Colégio, Igreja Nova (Chinaré), Penedo e Piaçabuçu, as visitas ao barco foram realizadas por escolas de ensino fundamental (infantil e primário) e médio, das esferas municipal e estadual. Nas duas expedições, os pesquisadores visitaram oito escolas, havendo retorno dos pesquisadores em quatro delas para palestras e ações de educação ambiental.

Por outro lado, ao todo, foram 18 escolas que levaram seus alunos para visitar e conhecer os instrumentos científicos de pesquisa e as atividades desenvolvidas pelos pesquisadores no barco da expedição. Nos oito municípios visitados, as 18 escolas representaram, ao todo, um universo de quase cinco mil alunos, sendo que cerca de 30% deles tiveram a oportunidade de visitar o barco da expedição.

Das escolas das margens de Sergipe, somente uma teve a oportunidade de visitar o barco da expedição científica, numa parada não programada, no povoado de Curralinho, do município de Poço Redondo (Figura 139). A Escola Municipal de Ensino Fundamental Salvelina Costa, com seus 32 alunos, duas professoras e um funcionário de apoio, deu uma clara demonstração de que todo esforço para se levar conhecimento e oportunidade de aprendizagem, aos mais longínquos rincões deste País, sempre irá valer a pena. A demonstração de interesse, curiosidade, habilidades surpreendentes com o manuseio de equipamentos eletrônicos e o conhecimento sobre a realidade local destoaram positivamente em relação às percepções despertadas pelos demais alunos que visitaram o barco da expedição.



Figura 139 - Visita dos alunos da Escola Municipal de Ensino Fundamental Salvelina Costa, no povoado de Curralinho, município de Poço Redondo-SE. A – acesso ao barco; B – assinatura do livro de presença; C – atividade para identificação de aves; D – professoras; E – uso de óculos de realidade virtual; F – aluno no comando do rover.

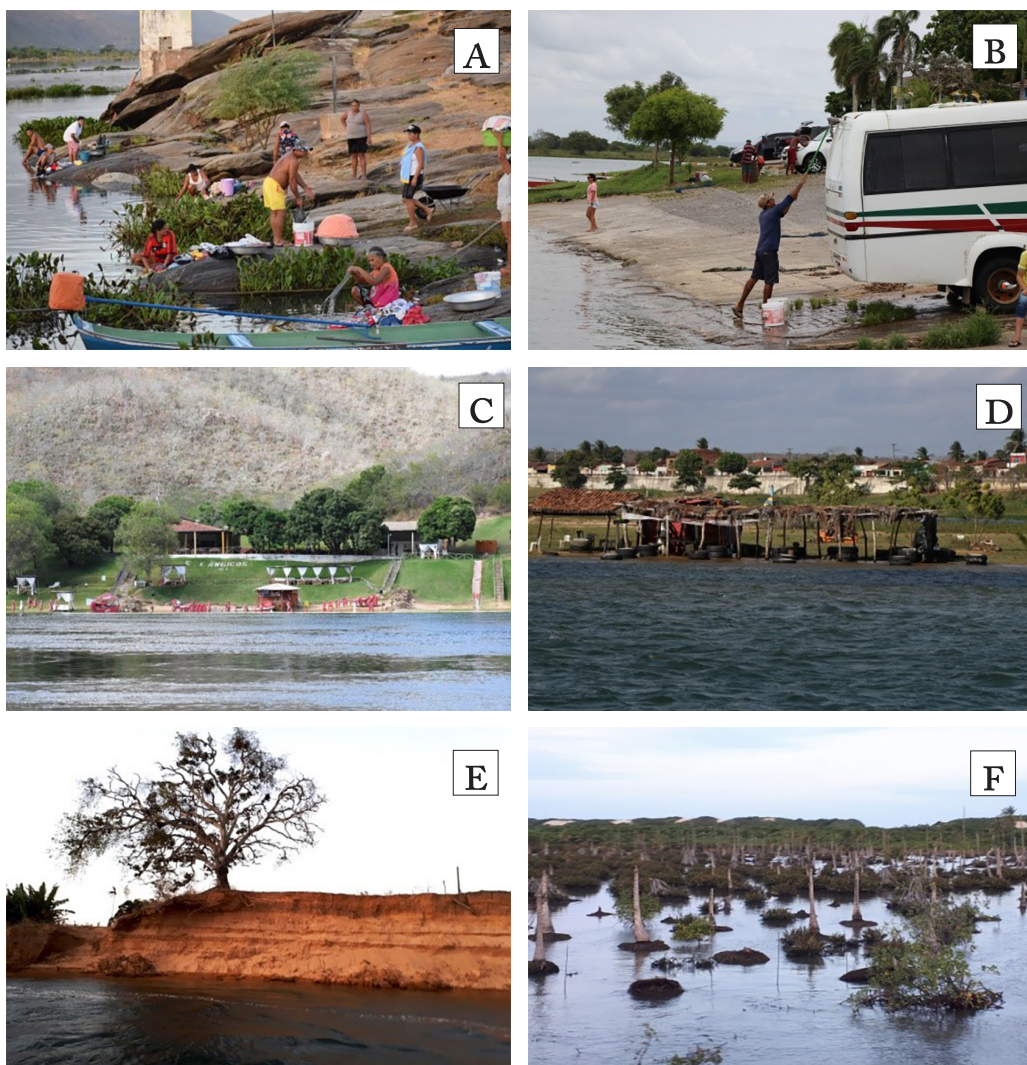


Fonte: José Vieira Silva (2020).

Em relação ao universo de professores que estas 18 escolas congregam, foram mais de 260 profissionais e, destes, cerca de 40% visitaram o barco durante as duas expedições, acompanhando seus alunos. A grande maioria aproveitou a visita ao barco para trabalhar conteúdos didáticos relacionados a temas práticos e diretamente à realidade local. Além dos professores, estas escolas contaram, ainda, com pessoal de apoio, que também esteve presente e ajudou na execução das atividades práticas de educação ambiental realizadas nas escolas.

Nas duas expedições, deparamos-nos, a todo instante, com uma enormidade de problemas ambientais nos contextos encontrados e em cada cenário por onde passamos (Figuras 138 e 140).

Figura 140 - Problemas ambientais comuns na região do Baixo São Francisco. A – lavagem de roupas; B – lavagem de veículo; C – ocupação das margens além do permitido; D – ocupação irregular das ilhas; E – erosão das margens; F – efeitos da cunha salina.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Ao visitar e conhecer as diferentes realidades das comunidades ribeirinhas do BSF e suas dificuldades, de algum modo, notou-se que não é difícil para a comunidade científica identificar os problemas ambientais, bem como apontar ou sugerir diferentes formas de como trabalhar os conteúdos voltados para a educação ambiental.

Dos temas ambientais trabalhados nas palestras, praticamente todos foram correlacionados com o dia a dia das comunidades, quanto à sua origem e as consequências para a saúde humana. Por exemplo, na questão da poluição por lançamentos diretos de esgotos domésticos sem tratamento no rio, comum a todo o BSF, tanto os alunos quanto a população em geral demonstraram conhecer parcialmente a gravidade do problema e correlacionar com suas consequências. De certa forma, é preocupante ver que há uma banalização, apatia ou “cegueira” quanto à ocorrência dos problemas e seus impactos diretos e indiretos na saúde e na vida das pessoas.



Visando despertar para as questões ambientais, a abordagem adotada durante as palestras na 2ª expedição incluiu a exibição de um vídeo de oito minutos sobre os problemas ambientais do BSF. O desafio a ser vencido foi correlacionar os problemas ambientais apresentados com os existentes nas comunidades locais no dia a dia, tais como: ocorrência de metais pesados de diferentes origens, contaminação por resíduos de defensivos agrícolas, pesca predatória, microplásticos, produção e tratamento de lixo doméstico e resíduos sólidos, desmatamento e matas ciliares, assoreamento, qualidade da água, dentre outros assuntos (Figura 141).

Figura 141 - Palestras nas escolas e plantio de mudas de espécies nativas da caatinga e da mata atlântica. A e B – palestras sobre educação ambiental, com participação de alunos, professores e pesquisadores da expedição.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Nas palestras, através de uma abordagem lúdica com crianças das séries iniciais e uma conversa com os professores, buscou-se conhecer um pouco da história das escolas e a forma como são trabalhados didaticamente os conteúdos sobre a temática da educação ambiental, no âmbito local.

Durante a 2ª expedição, como atividade simbólica e com o objetivo de envolver alunos e professores de maneira prática, focou-se na questão do assoreamento e da importância das matas ciliares. Para tanto, foram realizados plantios e a distribuição de mudas de espécies vegetais nativas da caatinga e da mata atlântica (Figura 142).

Figura 142 - Plantio de mudas de espécies nativas da caatinga e da mata atlântica. A – transporte das mudas; B – preparo de hidrogel com participação de aluna e técnico da EMATER; C e D – plantio de mudas com participação de alunos, professoras e pesquisadores da expedição; E – plantio em escola; F – plantio de mudas às margens do São Francisco.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Nesta ação, também foi usada a tecnologia do hidrogel, que consiste de um polímero hidrorretentor que retém até 400 vezes seu peso ou volume inicial em água. Todo o material foi preparado com a participação efetiva dos alunos que realizaram o preparo das covas, com adição de matéria orgânica, solo e hidrogel constituído, seguido do plantio das mudas. Estas atividades práticas tiveram sempre o suporte dos professores das escolas e dos técnicos da EMATER-AL.

Após as palestras e a realização dos plantios das mudas das espécies nativas, as escolas foram convidadas para uma visita com seus alunos ao barco da expedição. E esta foi também a oportunidade para que todos pudessem conhecer toda a infraestrutura de pesquisa utilizada nas atividades científicas das expedições.

Durante as visitas das escolas ao barco, a apresentação e a demonstração de uso de

instrumentos e equipamentos científicos utilizados nas atividades de pesquisa na expedição foi um grande atrativo para os alunos, pois muitos tiveram sua primeira experiência com o mundo científico (Figura 143). A participação de todos os pesquisadores das expedições nas atividades desenvolvidas durante as visitas ao barco permitiu uma maior atenção e aumentar o leque de ações e informações de educação ambiental ofertada aos estudantes e demais ribeirinhos.

Outro tema abordado nas palestras das escolas diz respeito às espécies de peixes da região conhecidas pelos alunos. Infelizmente, de um universo de cerca de 240 espécies registradas no São Francisco, não foram citadas mais do que oito, sendo as mais conhecidas: traíra, cascudo, piauí, carapeba, pirambeba, pescada, tucunaré e piranha (Figura 144). Há registros de atividades oficiais esporádicas de peixamento no rio realizadas pela CODEVASF, porém elas não envolvem diretamente as escolas, como atividades de educação ambiental. Estas ações estão muito aquém do mínimo necessário para que se permita recompor a fauna piscosa do rio, bem como seu equilíbrio ambiental.

Com o agravamento do assoreamento e a redução da vazão do rio no período de 2013 a 2019, aumentaram os problemas ambientais e, conseqüentemente, reduziu-se a disponibilidade de peixes, tanto em número quanto em relação à quantidade de espécies existentes. Há espécies consideradas extintas, como no caso do pirá, que é símbolo do rio, e que depois de cinco décadas, em maio de 2020, um exemplar reapareceu em Pão de Açúcar (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO, 2020).



Figura 143 - Alguns dos equipamentos científicos que foram usados nas ações de educação ambiental nas expedições. A – rover; B – microscópio óptico; C e D – barco robótico Iracema; E – explicação sobre genética de peixes; F – explicação sobre captação de energia solar.



Fonte: José Vieira Silva (2018 e 2019).

Este problema de redução das espécies de peixes também tem sido agravado pela falta de trabalho de educação ambiental e conscientização junto às colônias de pescadores, principalmente, no que diz respeito ao controle sobre a atividade e a intensidade de pesca. Desta forma, é altamente recomendado às autoridades públicas constituídas e aos gestores ambientais das esferas públicas e privadas que atuam no BSF que procurem desenvolver ações efetivas de educação ambiental, voltadas para a recomposição e a manutenção das diferentes espécies de peixes nativos do rio, para evitar sua extinção gradual.

Figura 144 - Peixes do Baixo São Francisco. A – tabuleiro de secagem de peixes, em Piaçabuçu; B – piranha; C – cascudo; D – piau em fase reprodutiva.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Na expedição de 2019, além de todo o contexto técnico-científico e instrumental, também foi montada uma exposição fotográfica sobre os animais da fauna alagoana ameaçados de extinção. A exposição, denominada “Olhares Ambientais: conhecer para preservar e defender!”, foi uma ação de educação ambiental resultante da parceria entre o Crad/UFAL e o Grupo Passarinheiro de Alagoas, com financiamento de empresas privadas.

Na ocasião, cada visitante assinou o livro de presença e recebeu um folder sobre a exposição fotográfica, com cerca de 80 fotos de animais da fauna terrestre e aquática de Alagoas que estão criticamente ameaçados de extinção (Figura 145). Além disso, foram expostas algumas fotos da expedição de 2018. Todo o material produzido foi pensado como forma de chamar a atenção para os problemas da fauna, onde a destruição dos habitats naturais (terrestre e aquático) está ameaçando muitas espécies de animais da caatinga e de outros biomas de extinção. Atualmente, na natureza, muito destes animais são encontrados somente em poucas áreas de refúgios particulares ou reservas ambientais, onde há proteção de áreas com vegetação nativa, nascentes e proteção ambiental permanente.



Figura 145 - Imagens das capas do folder sobre a Exposição fotográfica “Olhares Ambientais”, que ocorreu durante a Expedição Científica de 2019, distribuído com a população ribeirinha.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Durante todo o tempo em que o barco e a exposição fotográfica estiveram abertos à visitação, os pesquisadores fizeram-se presentes para apresentar e explicar cada foto para os visitantes (Figura 146). Todos os alunos das escolas que visitaram o barco, bem como as crianças das comunidades ribeirinhas que se fizeram presentes à exposição, também receberam, além do folder, lápis e bloquinho de anotações com o tema da exposição.

O objetivo maior da exposição foi levar ao público visitante um pouco de informações sobre os animais da nossa fauna que estão correndo sérios riscos de desaparecer dos ambientes naturais, sem que mesmo a sua existência seja conhecida pelas gerações mais novas. Despertar a consciência ambiental e mostrar a importância de se manter os ambientes naturais preservados e protegidos é um passo importante na formação humana e uma contribuição inestimável para a construção de uma sociedade mais equilibrada, justa e ambientalmente responsável.

Figura 146 - Visita de alunos e da população ribeirinha à exposição fotográfica “Olhares Ambientais”, durante a 2ª Expedição Científica do BSF. A e B – alunos com material distribuído; C e D – alunos conhecendo a exposição.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

A exposição fotográfica foi a forma encontrada para despertar a participação e o engajamento de mais pessoas na missão de conservação ambiental. Que cada um possa fazer a sua parte, como defensor e amante da natureza, deixando despertar o espírito daqueles que defendem e querem um mundo melhor.

De forma geral, as visitas às escolas das comunidades ribeirinhas permitiram uma grande integração expedição-comunidades. Esta integração resultou em maior conhecimento da realidade local, bem como em ver os níveis de abordagem sobre os problemas ambientais enfrentados pelas comunidades em relação ao rio. Além disso, foi possível conhecer quais recursos estão disponíveis e a forma como são utilizados para melhorar o nível de conscientização dos ribeirinhos para superar os problemas de degradação do rio.

As expedições foram uma grande vitrine no contexto de divulgação e uma forma eficiente de chamar a atenção para os problemas ambientais do Velho Chico. Além disso, permitiram a execução de procedimentos científicos para levantamento das condições hidroambientais do BSF, bem como ações ambientais foram desenvolvidas de maneira transversal e inclusiva. Estas atividades visando à educação ambiental foram também realizadas nas comunidades ribeirinhas e em colônias de pescadores, por pesquisadores, através de entrevistas e abordagens sobre os problemas socioambientais existentes.

A partir deste primeiro e amplo contato científico, foi possível trabalhar, de maneira direta e indireta, alguns conceitos e conteúdos da educação ambiental e relacioná-los aos problemas ambientais do rio. Para muitos dos alunos, presenciar, ver, manipular e entender como foram realizadas as determinações dos bioindicadores ambientais para monitoramento

do rio foi uma experiência ímpar, muito enriquecedora e marcante.

Desta forma, as ações de educação ambiental das expedições, em parceria com as escolas das comunidades ribeirinhas, certamente foram uma boa estratégia para despertar e alertar sobre os efeitos dos problemas ambientais do rio na vida dos ribeirinhos.

### **A educação e a superação dos problemas de degradação ambiental do BSF**

A realidade das comunidades ribeirinhas do BSF requer uma atenção diferenciada pelos órgãos governamentais. Mesmo dispondo do recurso básico mais importante, a água, estas comunidades continuam a viver em um estado de pobreza preocupante e com sérios problemas de degradação ambiental. Mas vale ressaltar que muitos destes problemas são provocados por agentes de origem externa ou por fatores alheios aos domínios locais, como, por exemplo, a questão da regularização de vazões para a produção de energia elétrica, operada nacionalmente por agências e autarquias federais – ANA, ONS, CHESF e Aneel.

Outro ponto-chave e de grande limitação para a implantação de qualquer política pública de curto prazo, e que se torna o principal gargalo identificado nas duas expedições científicas (2018 e 2019), foi o baixo nível educacional da população em geral. Em grande parte, isso tem sido causado por diversos fatores inerentes às peculiaridades do sistema educacional brasileiro, em todo o território nacional (LUCCA; BRUM, 2013; JACOBI, 2013; MUCCI, 2014; NEEF, 2015; BERCHEZ *et al.*, 2016; EMAS, 2020).

Dentre os pontos identificados como sérios limitantes do desenvolvimento sustentável está a qualidade do ensino nas escolas ribeirinhas, principalmente nas séries iniciais do ensino fundamental. Isto ocorre em função das profundas limitações de recursos financeiros locais e das deficiências inerentes ao suporte educacional oficial para inclusão digital e tecnológica disponibilizado para estas escolas ribeirinhas. É premente e urgente a necessidade da inserção destas escolas no contexto de desenvolvimento tecnológico. Somente assim, será permitido que as mesmas tenham acesso a informações, plataformas e ferramentas universais disponíveis no mundo digital, bem como participar da difusão e do uso de tecnologias inovadoras de ensino e aprendizagem e de desenvolvimento humano e social.

É possível também constatar que, em todas as escolas visitadas, há empenho e doação de todos os professores, diretores e demais colaboradores das escolas em promover o melhor ensino possível. Porém, no contexto da educação ambiental, faltam planejamentos, planos pedagógicos inclusivos, treinamentos e qualificações específicas na área ambiental, bem como incentivos dos órgãos gestores da educação, nos âmbitos municipal e estadual.

São comunidades carentes de informações e suporte educacional, mas que têm, em todo o seu povo, o compromisso, o material humano e o desejo de aprender e vencer pelo conhecimento. A melhoria do ensino destas escolas públicas e para a população em geral das comunidades ribeirinhas pode ocorrer através do fomento público e da captação de recursos financeiros privados que viabilizem a aquisição de recursos de informática e audiovisuais para o acesso e a conectividade com o mundo digital.

A efetiva inserção e conectividade destas escolas com o mundo globalizado das informações e suas técnicas e ferramentas educacionais necessitará também do suporte de materiais didáticos, brinquedos pedagógicos e literatura educacional atualizada e que leve em consideração o contexto local. Este poderá ser somente um ponto de partida, dentre tantos levantados, para melhorar a qualidade do ensino e a educação ambiental das escolas ribeirinhas.

Assim, tais recursos didáticos poderiam ser as ferramentas necessárias às escolas ribeirinhas do BSF para atenderem às demandas de um público estudantil infantojuvenil. São



gerações e talentos natos que estão sendo perdidos prematuramente e logo nas séries iniciais e do ensino primário. Aos gestores públicos, por que não pensar em efetivamente melhorar o planejamento e a qualidade do ensino e, conseqüentemente, da educação ambiental?

Neste aspecto educacional, o cenário do BSF é semelhante aos encontrados nas demais regiões do Brasil e em algumas partes do mundo, como na África, Ásia e parte da Oceania, assim como também são as mesmas recomendações feitas para superar os problemas ambientais (SORRENTINO *et al.*, 2005; LIMA; ANDRADE, 2010; MEDEIROS *et al.*, 2011; CUTTER-MACKENZIE, 2011; JACOBI, 2013; NWACHUKWU, 2014; NEEF, 2015; OLIVEIRA, 2015; ROSA *et al.*, 2015; BERCHEZ *et al.*, 2016; NOGUEIRA; SOUZA, 2019; EMAS, 2020).

### **Educação ambiental e a responsabilidade dos poderes públicos constituídos**

Nas conversas com os professores e diretores das escolas, foi possível identificar que existe uma lacuna enorme ou mesmo a falta absoluta de planejamento e de programas públicos de educação ambiental no âmbito das comunidades ribeirinhas. Estas ações precisam fazer parte da matriz educacional, de caráter permanente e contínuo e que trate das questões que atingem e provocam os problemas de degradação ambiental do rio. Sem esta iniciativa dos poderes constituídos, através de planejamento e projetos pedagógicos consistentes que levem em consideração as realidades locais, torna-se difícil a conscientização da população e das comunidades ribeirinhas, que são usuárias diretas das águas e dos serviços ambientais oferecidos pelo Velho Chico.

Reforçamos que é preciso mais do que simplesmente fazer a identificação dos problemas, mas sim trabalhar de maneira propositiva e contribuir para a adoção de soluções e ações mitigadoras de preservação e recuperação do rio. De forma objetiva, para que as ações e iniciativas não sejam inócuas, além de crianças e adolescentes, é fortemente recomendando, também, envolver a população adulta.

Outro ponto ou questão que pesa e muito para a ineficiência ou menor alcance das poucas iniciativas e ações de educação ambiental é a falta ou ausência quase total de saneamento básico nos municípios da bacia do Velho Chico. Nas escolas, os alunos até sabem da importância do tratamento dos esgotos e da coleta de lixo, porém não conseguem associar ou visualizar como a sua produção de lixo e esgoto provoca os problemas de poluição no rio. Há necessidade urgente de planejamento e elaboração de planos públicos de manejos ambientais sustentáveis e integrados com as realidades locais, no que diz respeito ao tratamento de esgotos, água potável e resíduos sólidos. É preciso envolver a população na sua execução e mostrar sua importância como parte do problema e, mais ainda, como fonte de solução para a resolução e mitigação dos problemas no BSF.

Os esgotos são lançados diretamente no rio, sem nenhum tratamento ou anteparo para a redução da carga de poluentes de origem antrópica ou orgânica (Figura 147). E esta realidade não é diferente da dos demais municípios ribeirinhos do BSF e de toda a bacia do rio, que apresentam enormes dificuldades financeiras para estabelecer uma política local de tratamento de resíduos sólidos.

Figura 147 - Lançamentos diretos de esgotos sem tratamento no rio no BSF. A – fábrica de gelo; B – peixaria.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Neste contexto, as prefeituras limitam-se a fazer a coleta e o transporte dos resíduos sólidos para aterros sanitários terceirizados. E inexistiu ou não foi relatada qualquer iniciativa conhecida dos ribeirinhos que trate ou esteja relacionada à coleta seletiva ou à existência de cadeia logística reversa para coleta de embalagens e produtos usados.

Na abordagem dos temas nas escolas, foi perguntado sobre a realização de eventos promovidos por órgãos públicos com alguma temática ambiental, mas nenhum foi lembrado, nem com raríssimas exceções. Como estratégia de política pública, é perceptível a necessidade urgente do desenvolvimento educacional voltado para a realidade local com ampla matriz ambiental, tanto sustentável quanto responsável. É preciso focar no envolvimento das escolas das comunidades e cidades ribeirinhas, principalmente no ensino fundamental, dados seus índices de Ideb e IDH, ressaltando-se, assim, de maneira incisiva, que a efetividade destes programas de educação ambiental depende da constância de execução e que sejam encarados como estratégias para a formação básica da população, com participação e envolvimento efetivo também das famílias ribeirinhas (Figura 148).

Figura 148 - Visita de alunos, pais de alunos, professores e funcionários da Escola Municipal do povoado Chinaré, em Igreja Nova, ao barco da 2ª Expedição Científica, no ano de 2019.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

No contexto todo de integração expedição-escolas, foi possível verificar que há uma dissociação de responsabilidades sobre os problemas ambientais do rio e seus agentes

causadores. Este é um ponto que poderá ser trabalhado futuramente, para melhorar o nível de conscientização dos alunos e da população ribeirinha em geral, para que eles se sintam parte tanto das causas como das soluções, também. É preciso superar esta falta coletiva de compromisso de cada indivíduo, que acaba por fortalecer e agravar ainda mais o processo de degradação das áreas ribeirinhas e do próprio rio.

Há um forte traço cultural presente nestas populações, no que diz respeito a esperar que o poder público constituído resolva todos os seus problemas, inclusive aqueles de cunho pessoal. A percepção é de que o comportamento cultural tem mascarado e desvirtuado completamente o papel que cada indivíduo precisa assumir para a resolução da questão ambiental do rio. E esta mudança está a cargo da educação ambiental, em todas as escalas e esferas da população ribeirinha.

No que tange ao levantamento e à identificação dos problemas de degradação ambiental no Baixo São Francisco, um fato preocupante e que precisa mudar é que os crimes ambientais ou mesmo as atividades que levam à degradação ambiental são encarados como atividades normais e legais e são passíveis de ser repetidas futuramente pelas crianças (Figura 149). De alguma forma, há uma percepção forte da ausência da atuação dos órgãos de fiscalização ambiental, nas esferas municipal, estadual e federal.

Figura 149 - Atividades e ocorrências frequentes às margens do rio, no BSF, que são classificadas como irregulares, conforme as leis ambientais. A – extração de areia; B – captação de água sem outorga; C – desmatamento em APP; D – ocupação irregular das margens do rio.



Fonte: José Vieira Silva (2019).

Dentre os alunos, somente alguns do ensino médio já ouviram falar da ocorrência de fiscalizações preventivas, mesmo que em determinados períodos esporádicos do ano. A própria população ribeirinha aponta para a necessidade de reforçar ou fortalecer as Fiscalizações



Preventivas Integradas (FPI) e que, se as mesmas tivessem um caráter permanente, ajudariam a reduzir os problemas ambientais identificados no BSF.

As políticas sociais e ambientais, no âmbito das esferas federal, estadual e municipal, assim como das ações de agências públicas e privadas, não apresentam capilaridade ou acolhida no âmbito das comunidades ribeirinhas, que estão alheias aos problemas ambientais atuais e aos fatos causadores dos mesmos. É perceptível que há esforços de uns poucos ativistas e defensores do Velho Chico, porém a extensão dos problemas ambientais e sociais, em muito, suplanta as ações desenvolvidas.

Como exemplo de uma ação concreta de ativistas e defensores do Velho Chico, podemos citar a criação e manutenção de um museu ambiental. É de grande importância para o contexto da educação ambiental no BSF e dá uma contribuição inestimável para contar a história do Velho Chico e suas agruras ao longo dos tempos mais recentes. Trata-se da iniciativa de um ambientalista e profundo conhecedor do rio, o Mestre e Comendador das Águas Antônio Jackson Borges Lima.

O Museu Ambiental Casa do “Velho Chico” está situado na cidade de Traipu-AL e nasceu em 04 de outubro de 2001, por ocasião das comemorações dos 500 anos da descoberta do rio São Francisco. A princípio, o museu tem uma base física em Traipu; tem um papel itinerante e pode ser deslocado por toda a bacia do São Francisco. Já foi visitado por mais de 150 mil pessoas, nos Estados de Alagoas, Pernambuco, Sergipe e Bahia. E, para cumprir a sua missão de conscientização e educação ambiental, seu público-alvo tem sido as crianças de escolas públicas e particulares.

Junto com o museu ambiental, vem a história viva do seu criador e lenda do rio, que se traduz fielmente em uma lição de educação ambiental para quem deseja conhecer um pouco mais da história do Velho Chico. A origem do museu teve início nos seus sonhos de criança e no amor pelo Velho Chico, que se manifestou ainda em Igreja Nova, sua terra natal.

Aqui vem o relato que retrata o nível de degradação que sofreu o Velho Chico nos últimos 70 anos, principalmente no BSF.

No mês de novembro, quando o rio começava a encher, suas águas se deslocavam em torno de 40 quilômetros, do seu leito normal, até a cidade de Igreja Nova, e invadiam o quintal da casa onde morava. Ali, o Velho Chico se transformava no meu parque aquático particular, onde aprendi a pescar e a tomar banho de rio.

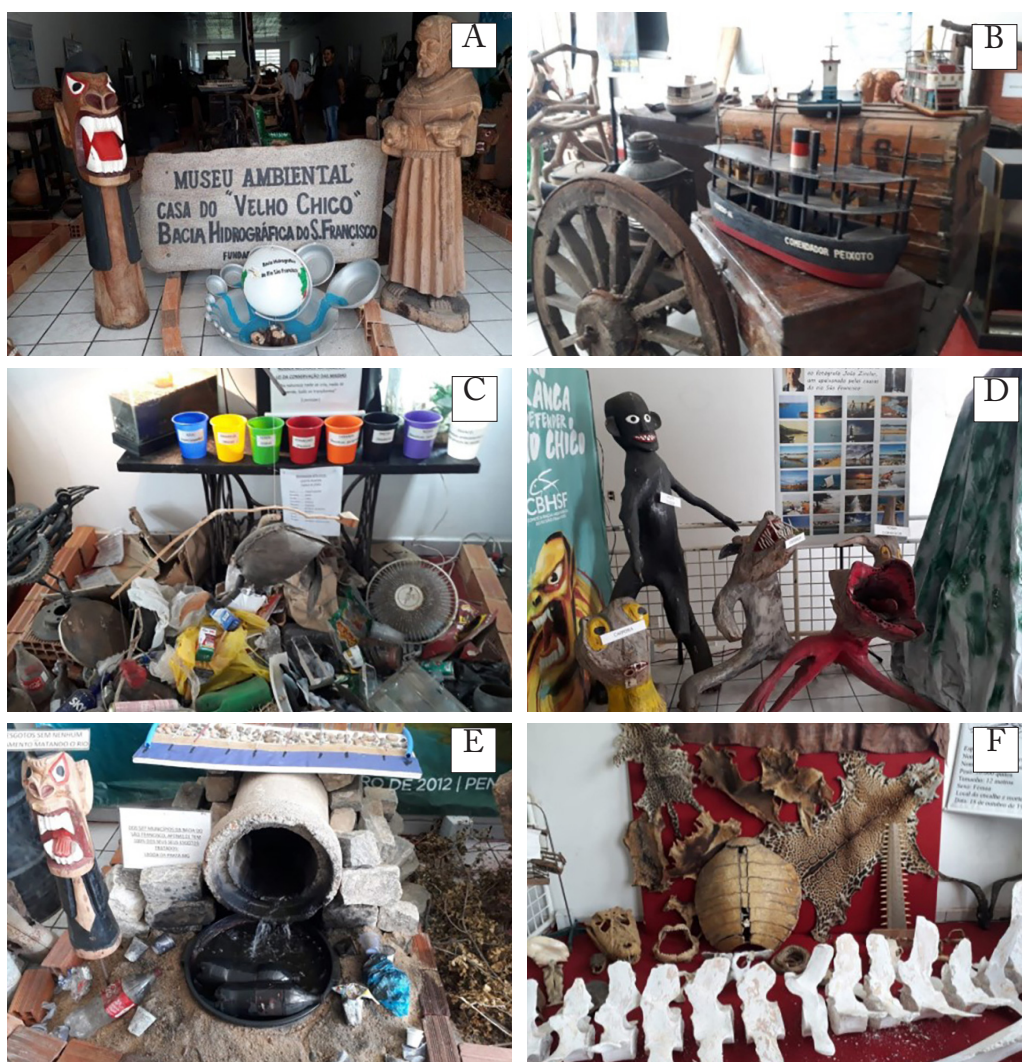
Os tempos se passaram e os laços de relação de amor com o rio fortaleceram-se, a ponto de transformá-lo em referência e um dos maiores defensores sem trégua das águas do Velho Chico até os dias de hoje.

A materialização do sonho do museu começou por ocasião das comemorações dos cinco séculos da descoberta do Velho Chico. O trabalho para montar a exposição foi árduo, mas juntou inúmeras peças relacionadas ao rio e ao seu povo. A exposição foi montada em Traipu-AL e, durante uma semana, contou com a visita de seis mil pessoas. Estava dada a largada para a abertura do museu, com um viés totalmente voltado para a história do rio São Francisco, focando todos os seus problemas ambientais, a sua cultura e as suas lendas.

A constatação mais fiel de uma visita ao Museu Ambiental Casa do Velho Chico é que é uma verdadeira aula sobre educação ambiental. São vários painéis mostrando todo o processo de degradação do rio, como desmatamento, queimadas, assoreamento, resíduos

sólidos, pesca predatória, esgotos, agrotóxicos, monocultura, exploração de seus aquíferos e muitos outros assuntos, além de um rico acervo histórico sobre o Velho Chico (Figura 150).

Figura 150 - Museu Ambiental Casa do Velho Chico (A); réplica do vapor Comendador Peixoto (B); representação do lixo lançado no rio (C); as lendas da bacia do São Francisco – Nego d'Água, Fogo Corredor, Lobisomem e Caipora (D); lançamento de esgotos (E); animais em extinção (F).



Fonte: Jackson Borges (2020).

## Os problemas ambientais e os jovens ribeirinhos

Visando a uma maior efetividade das ações de educação ambiental e com base nas observações da I expedição, no ano de 2018, as visitas no ano de 2019 foram priorizadas para que fossem realizadas em escolas de ensino infantil e das séries iniciais. Assim, foram visitadas escolas com turmas do ensino infantil até o 9º ano do ensino fundamental. Os alunos das escolas do ensino médio foram recebidos somente na visita ao barco.

Para tornar a participação mais coletiva, as visitas foram realizadas em ambientes comunitários das escolas, com a reunião de várias turmas para debater sobre as temáticas ambientais, explicitando as consequências dos problemas decorrentes da degradação do rio



e os impactos na vida dos ribeirinhos. Desta forma, foi possível conhecer a realidade local em termos de ensino, o grau de conhecimento e o envolvimento de crianças e jovens com os problemas ambientais do rio.

Nos questionamentos feitos a alunos e professores das escolas durante as palestras sobre a situação de degradação atual do rio São Francisco, foi possível verificar que conhecem de forma isolada ou superficial os principais problemas expostos de degradação do rio. Em sua maioria, os alunos não souberam ou não quiseram responder a respeito das dificuldades enfrentadas atualmente no BSF. Muitos demonstraram não ter conhecimento dos impactos causados pelo assoreamento, desmatamento, poluição ambiental (antrópica), metais pesados, resíduos de defensivos agrícolas e outros.

Ao solicitar que analisassem os problemas de assoreamento, desmatamento das matas ciliares e a poluição de maneira interligada, houve certa dificuldade em fazer a conexão lógica entre os agentes causadores e suas consequências. Os professores afirmaram que o planejamento e o desenvolvimento de atividades educacionais de contexto ambientais voltadas para o conhecimento e a solução de tais problemas são poucos ou muito raros, tanto no nível das escolas como no contexto comunitário.

Com isso, percebe-se que é urgente pensar em formas oficiais e alternativas para fomentar a educação ambiental e que possam instruí-los acerca das possíveis soluções e engajamento de todos para suplantarem os problemas. É pensar em atividades de curto, médio e de longo prazo que possam ser realizadas tanto de forma individual como coletivamente.

Como não existem exemplos, ações em andamento ou modelos implantados, fica difícil estimular ações efetivas de educação ambiental, com base no exemplo físico local. É preciso, primeiro, uma ação urgente dos agentes públicos para que as possíveis soluções de recuperação ou atenuação da degradação ambiental no BSF tenham chances de sucesso.

Durante as apresentações e nas discussões em cada uma das escolas, foram sugeridas soluções e lançadas como desafios para serem desenvolvidos ao longo do ano, junto às comunidades como um todo. Como incentivo da expedição, foram realizados plantios simbólicos de mudas de espécies nativas (arbóreas) e doação de mudas para plantio em outros locais. O intuito é que alunos e professores abracem a causa e possam transmitir esta ação inicial aos demais membros das comunidades.

Outro ponto discutido e solicitado foi para que deem atenção quanto aos cuidados com a produção e o tratamento do lixo doméstico gerado em casa e nas escolas, a fim de que incentivem o descarte correto do mesmo. Como sugestão, foi levantada a possibilidade de incentivo destas ações de conscientização nas próprias escolas, através do desenvolvimento de atividades recreativas e da realização de gincanas ambientais com a participação de pais e alunos.

A percepção geral é de que tanto os professores e diretores quanto alunos e as comunidades estão ávidos por conhecimentos e suporte técnico e financeiro para melhorar o contexto de ensino da educação ambiental. Todos estão abertos e propensos a contribuir no planejamento e no desenvolvimento das ações de educação ambiental em seus respectivos locais, assim como também repassar os conhecimentos sobre as ações desenvolvidas.

### **Constatações sobre a educação ambiental nas comunidades ribeirinhas**

Há uma lacuna grande entre os problemas ambientais atuais enfrentados no BSF e o envolvimento das comunidades ribeirinhas na busca de soluções locais. Nas escolas visitadas, a

temática ambiental é tratada de forma superficial nos projetos pedagógicos e não há estímulos e recursos oficiais (federal, estadual e municipal) para desenvolvê-la de maneira efetiva. As poucas ações isoladas não apresentam conexão clara com os problemas enfrentados pelas comunidades ribeirinhas.

Os gestores públicos das áreas ambiental e afins, bem como os promotores de desenvolvimento regional, tratam os atuais problemas ambientais do rio de forma isolada e superficial. Além disso, não foi constatada integração entre as poucas ações de proteção ambiental desenvolvidas na região do BSF.

Para fins de planejamento futuro dos agentes públicos que atuam na bacia do BSF, é fortemente recomendado que incluam, dentre os temas, as políticas de educação ambiental, focadas nas questões dos problemas atuais de degradação ambiental do rio, incluindo, obrigatoriamente, a participação das escolas dos municípios, principalmente aquelas das séries iniciais e com crianças de até 10 anos. Este tem sido o modelo e a estratégia usados em outras partes do mundo e que funcionaram com excelentes resultados (BARBIERI; SILVA, 2011; CUTTER-MACKENZIE, 2011; JACOBI, 2013; LUCAS; BRUM, 2013; NEEF - National Environmental Education Foundation. 2015).

As áreas ribeirinhas estão cercadas dos mais diversos exemplos e aspectos biológicos, sociais, históricos, políticos e culturais que podem ser trabalhados sistemicamente pela educação ambiental. Para que as escolas sejam, de fato, ambientes de transformação, é preciso que o ambiente ribeirinho seja visualizado como um todo, na sua complexidade, e constituído de partes que interagem sistematicamente. A educação ambiental pode ajudar na discussão crítica e na análise da raiz dos problemas, como também a enfrentá-los de modo coletivo (SNCMA, 2017).

No que diz respeito à melhoria da realidade das escolas ribeirinhas, proporcionar cursos de formação continuada na área ambiental para professores, educadores e gestores pode melhorar a qualidade do planejamento pedagógico e das ações de ensino na área. Desta forma, espera-se que haja motivação e valorização da educação ambiental para as comunidades locais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como verificado na I Expedição Científica do Baixo São Francisco, em 2018, é possível afirmar, de maneira categórica e de forma cristalina, que há uma enorme lacuna ou distância de abordagem entre os problemas ambientais atuais encontrados na região do rio São Francisco e o envolvimento das comunidades ribeirinhas na busca de soluções locais. Também é possível constatar que a educação ambiental, nas comunidades ribeirinhas e escolas visitadas, ainda é tratada superficialmente, seja no dimensionamento de projetos pedagógicos ou na falta de políticas públicas com estímulos e recursos oficiais (federal, estadual e municipal) para desenvolvê-las de maneira efetiva. As poucas ações isoladas realizadas não apresentam conexão clara e efetiva com os problemas enfrentados pelas comunidades ribeirinhas.

Percebe-se, ainda, que existe uma grande dissociação por parte dos gestores públicos com relação aos problemas das áreas ambientais e afins e o desenvolvimento regional como um todo. Fica a recomendação para que os promotores de desenvolvimento regional possam tratar os atuais problemas ambientais do rio de forma conjunta ou integrada com a educação ambiental. Que possam fomentar fortemente a adoção de ações de proteção ambiental visando ao desenvolvimento da região do Baixo São Francisco.

E, para fins de planejamento futuro, por parte dos agentes públicos do Baixo São Francisco, é fortemente recomendado que desenvolvam uma política de educação ambiental séria e focada nos problemas e nas questões diretas do dia a dia da degradação ambiental do rio e como superá-las. E, para ser ainda mais efetivo, que este planejamento inclua, obrigatoriamente, a participação das escolas ribeirinhas, com foco principal naquelas das séries iniciais e com crianças de até 10 anos, pois é a geração com maior potencial para absorver, desenvolver e definir o futuro da educação ambiental na região como ferramenta efetiva de superação ou mitigação dos problemas.

E, por fim, que o público mobilizado nas expedições científicas de 2018 e 2019 foi formado essencialmente por crianças que buscavam conhecer e explorar o mundo científico e suas ferramentas. Por todos os momentos de interação com as comunidades ribeirinhas, é perceptível sua preocupação com os problemas de degradação ambiental do rio e que depositam na educação ambiental suas esperanças para superar tais problemas.

## REFERÊNCIAS

BARBIERI, J.C.; DILVA, D. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios. **Rev. Adm. Mackenzie**, Edição Especial, v.12, n.3, p. 51-82, 2011.

BARBOSA, H.A. *et al.* Índice de vegetação no monitoramento da seca no semiárido brasileiro. In: MOURA, F. de B. P.; SILVA, J. V. (org.). **Restauração na Caatinga**. Maceió: Edufal, 2017.

BERCHEZ, F.A.S. *et al.* Marine and coastal environmental education in the context of global climate changes - synthesis and subsidies for ReBentos (Coastal Benthic Habitats Monitoring Network). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64(sp2), p.137-156, 2016.

BORGES, P.G.; GUILHERME, F.A.G.. Educação ambiental: a chave da mitigação de conflitos e proteção de unidades de conservação no cerrado. **Geoambiente On-Line**, v.37, p. 126-145, 2020.

BRASIL. Plano Plurianual da União para o período de 2020 a 2023. **Lei nº 13.971, de 27 de dezembro de 2019**. República Federativa do Brasil.. Brasília – DF: Imprensa Nacional, 2019.

BRASIL. **Programa Nacional de Educação Ambiental – ProNEA**. Brasília: Edições MMA, 2005.

CAVALCANTE, G. *et al.* Temporal streamflow reduction and impact on the salt dynamics of the São Francisco River Estuary and adjacent coastal zone (NE/Brazil). **Regional Studies in Marine Science**, v. 38, July 2020.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **O Pirá, peixe-símbolo da BHSF, reaparece na região do Baixo São Francisco após quase cinco décadas de sumiço**. 2020. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/novidades/o-pira-peixe-simbolo-da-bhsf-reaparece-na-regiao-do-baixo-sao-francisco-apos-quase-cinco-decadas-de-sumico/>. Acesso em: 22 jul. 2020.

CUTTER-MACKENZIE, A. Issue Special: The “ness” of Environmental Education. **Australian Journal of Environmental Education**, v. 27, n.1, 2011.

EMAS, Jr. **PEA como solução para educação ambiental nas escolas**. Belo Horizonte: EMAS

Jr. Consultoria, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua 2019**. PNADC. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pesquisa/10070/64506>. Acesso em: 24 junh. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **IDEB: Resultados e Metas**. Disponível em: <http://ideb.inep.gov.br/resultado/>. Acesso em: 24 jun. 2020.

JACOBI, M. Environmental Education: Policy and Practice. **Regae: Rev. Gest. Aval. Educ.**, v. 2, n.4, p. 63 -71, 2013.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, v.118, n.3, p. 189 – 205, 2003.

LIMA, M.; ANDRADE, E. Os ribeirinhos e sua relação com os saberes. **Revista Educação em Questão**, v.38, n.24, p. 58-87, 2010.

LUCCA, E.; BRUM, A. Educação ambiental: como implantá-la no meio rural? **Revista de Administração IMED**, v.3, n.1, p. 33-42, 2013.

MEDEIROS, A.B. *et al.* A Importância da educação ambiental na escola nas séries iniciais. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v.4, n.1, p. 1 -17, 2011.

MEDEIROS, PRP *et al.* Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, v.28, n.1, p.65-78, 2014.

MELLO-THÉRY, N.A. Perspectivas ambientais 2019: retrocessos na política governamental. **Confins**, v. 501, 2019. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/21182>. Acesso em: 09 sept. 2019

MUCCI, J. Introdução às ciências ambientais. In: PHILIPPI JR, Arlindo; PELICIONI, Maria Cecília Focei. (Org.). **Educação ambiental e sustentabilidade**. Tamboré: Manole Ltda., 2014.

NEEF, Prenome. **Environmental Literacy in the United States: An Agenda for Leadership in the 21st Century**. Washington, DC: National Environmental Education Foundation, 2015.

NOGUEIRA, M.N.L.; SOUZA, L.O. Educação Ambiental: um estudo de caso em uma comunidade ribeirinha do Estado do Amazonas. **Ensino Em Re-Vista**, v.26, n.2, p. 320-344, 2019.

NWACHUKWU, M. A. Environmental Education & Awareness Manual - With Wall Chart. **General Knowledge about Environmental Education and Sustainability**. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.

OLIVA, J. A educação ambiental na escola. In: BRASIL. Ministério da educação. **Textos da Série Educação Ambiental do Programa Salto para o Futuro**. Brasília: MEC, 2000.

OLIVEIRA, J.. Os ribeirinhos da Amazônia: das práticas em curso à educação escolar. **Revista de Ciências da Educação**, São Paulo, v. 1, n. 32, p. 73-95, 2015.

PHILIPPI JR, A.; PELICIONI, M. Bases políticas, conceituais, filosóficas e ideológicas da educação ambiental. *In*: PHILIPPI JR, A.; PELICIONI, M.C.F. (Org.). **Educação ambiental e sustentabilidade**. Tamboré: Manole Ltda., 2014.

ROSA, T., *et al.* A educação ambiental como estratégia para a redução de riscos socioambientais. **Ambiente & sociedade**, v.18, n.3, p. 211-230, 2015.

SANTOS, S.P.; GARDOLINSK, M.T.H.A.. **A importância da educação ambiental nas escolas para a construção de uma sociedade sustentável**. 2016. Disponível em: <http://www2.al.rs.gov.br/biblioteca/AutoresALRS/tabid/5639/Default.aspx>. Acesso em: 10 set. 2020.

SILVA, J. V.; VIEIRA, J.V.; RIAL, E.P. Matas ciliares, assoreamento e educação ambiental no baixo São Francisco. **Relatório da I Expedição do Baixo São Francisco**, Relatório Técnico, 19 p. 2020.

SILVA, J.V.; CÂMPELO, M.J.R.; RIAL, E.P. Educação ambiental nas escolas ribeirinhas do baixo São Francisco. Relatório da II Expedição do Baixo São Francisco 2020. VIII Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente, 23 a 27 de outubro de 2017, Anápolis, GO. **PPSTMA, UniEvangélica**, v. 8, n.1., 2017.

SOARES, E.C. *et al.* **Relatório da II Expedição do Baixo São Francisco**. Relatório Técnico, 550 p. July 2020.

SORRENTINO, M. Educação ambiental como política pública. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 2, p. 285-299, maio/ago. 2005.



## SOBRE OS AUTORES

---

### **Alice Correia Barros**

Enfermeira graduada em 2014 pela Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (Uncisal). Mestre em Enfermagem pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL) (2020). Trabalhou como docente do curso de Enfermagem da Universidade Federal de Alagoas (UFAL/Campus Arapiraca). Possui residência de Enfermagem em Psiquiatria e Saúde Mental pela Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (Uncisal) (2015/2017) e em Saúde da Família pela Faculdade Integrada de Patos (FIP) (2015/2017). Título de Enfermeira Terapeuta (Cofen) (2020). Atualmente, é enfermeira do Departamento de Qualidade de Vida da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Tem experiência na área de Enfermagem com ênfase em Saúde Mental.

---

### **Alfredo Borie Mojica**

Biólogo Marinho (Unab, Chile) e Engenheiro de Pesca (UFRPE). Mestre em Ciências Pesqueiras nos Trópicos (Ufam) e Doutor em Recursos Pesqueiros e Aquicultura (UFRPE). Tem experiência na conservação de tartarugas marinhas e genética de populações e nas áreas de Aquicultura e Recursos Pesqueiros (peixes ornamentais, biologia reprodutiva e cultivo de peixes amazônicos). Trabalhou com monitoramento da atividade pesqueira artesanal e com o impacto das hidroelétricas no rio Madeira. Atualmente, trabalha com Ecologia Acústica Aquática, Paisagem Sonora e Bioacústica de peixes marinhos e de água doce, utilizando o Método Acústico Passivo como sistema de monitoramento.

---

### **Allwert Henrique Leão Argôlo Militão**

Graduando de Engenharia de Energia. Pesquisador do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), sob orientação do Professor Igor Cavalcante Torres. Bolsista do Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel (2016).

---

### **Ana Karolina Lopes da Silva**

Graduanda em Ciências Biológicas, modalidade licenciatura. Atualmente, é estagiária do Laboratório de Ficologia do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas. Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Taxonomia de Criptógamos, atuando, principalmente, nos seguintes temas: fitoplâncton e taxonomia de microalgas.

---

---

**Ana Lúcia Eufrázio Romão**

Química pela Universidade Estadual do Ceará, especialista em Engenharia de Petróleo e Gás. Mestre em Ciências Naturais. Doutoranda em Ciências Naturais. Possui trabalhos realizados com produtos naturais na adsorção de metais pesados e avaliação de qualidade da água.

---

**Anderson dos Santos**

Engenheiro Agrônomo e Mestre em Agricultura e Ambiente pela Universidade Federal de Alagoas. Doutorando da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Foi bolsista de Iniciação Científica (IC) e tem experiência nas áreas de Agrometeorologia, com ênfase em Radiação Solar e Controle de ambientes, Sementes e Ecofisiologia de plantas nativas submetidas a ambientes sob condições adversas.

---

**Andréa Carla Guimarães Paiva**

Possui Mestrado e Doutorado em Oceanografia Biológica, ambos realizados na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atualmente, é Professora Adjunta na unidade de ensino da UFAL em Penedo, realizando pesquisas sobre Ecologia, Alimentação e Reprodução de peixes associados a estuários.

---

**Anita Neves Santisteban**

Aluna de graduação em Zootecnia, Bolsista Pibic-UFAL do Laboratório de Aquicultura e Análise de Águas (Laqua-CECA-UFAL).

---

**Anna Érica Ferreira Lima**

Doutora em Geografia, atualmente é Professora no Departamento de Hospitalidade, Turismo e Lazer do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE). Atua nas áreas de Geografia Humana, com ênfase em Geografia Agrária, Ensino e Geografia do Turismo; Cultura Alimentar, Segurança Alimentar e Nutricional, Soberania Alimentar e Relações Étnico-Raciais.

---

**Antônio Jackson Borges Lima**

Ambientalista. Bancário aposentado do BNB. Palestrante e autor de vários artigos sobre meio ambiente. Foi secretário de Meio Ambiente de Traipu e diretor do Sindicato dos Bancários de Alagoas. É fundador e diretor do Museu Ambiental Casa do Velho Chico, em Traipu. Honrarias: Comendador das Águas – Governo de Alagoas; Título de Velho do Rio/AFBNB; Destaque Ambiental/TMA; Título de Cidadão dos Municípios de Traipu/AL, Gararu/SE, Pão de Açúcar/AL e Cidadão Sergipano. Membro do CBHSF por três mandatos seguidos.

---

### **Aristides Pavani Filho**

Graduado (1982) e Mestre (1990) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Ingressou no Centro de Tecnologia da Informação (CTI) Renato Archer, em 1986. Participou do Projeto Fábrica de Máscaras Litográficas. Chefiou a Divisão de Micro Sistemas, Coordenou o CSS, CTI-NE, Coare e o Projeto Cognitus-Petrobras para o desenvolvimento de Robótica Ambiental, sensores e análise de dados para a Amazônia. Coordenou os Projetos Dragão do Mar e Iracema – Barco Autônomo para Monitoramento Ambiental, entre outros. Atualmente, é assessor do ministro da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e diretor do Departamento de Tecnologias Estratégicas e de Produção (Detep), da Secretaria de Tecnologias Aplicadas (Setap) – MCTIC.

---

### **Carlos Alberto da Silva**

Oceanógrafo, Mestre em Aquicultura, Doutor em Geoquímica Ambiental e pós-doutorados em Gestão/Impacto Ambiental e Piscicultura Marinha. Pesquisador nas áreas de Sistemas de Produção e Boas Práticas de Manejo em Aquicultura, Contaminação Ambiental e Piscicultura Marinha. Tem experiência na Piscicultura e Carcinicultura em sistemas de viveiros e tanques-rede. Atua na Geoquímica com contaminação e Biomagnificação de metais pesados na cadeia trófica.

---

### **Carlos Alexandre B. Garcia**

Químico Industrial pela Universidade Federal de Sergipe e Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Titular e Coordenador Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe. Atua na área de Química, com ênfase em Desenvolvimento de Métodos e Técnicas Espectroanalíticas para determinação de constituintes inorgânicos em matrizes ambientais.

---

### **Carlucio Roberto Alves**

Graduado em Química (bacharel) pelo Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo (IQSC/USP), Mestre em Química pelo IQSC/USP, Doutor em Química pelo IQSC/USP e Universidad Autónoma de Madrid, com estágios de Pós-Doutorado pela Embrapa Instrumentação e pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (Portugal). Atualmente, é Professor Associado do Departamento de Química da Universidade Estadual do Ceará. É coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, atua como Professor Permanente no Programa de Pós-Graduações da Rede Nordeste de Biotecnologia. Líder do Grupo de Biotecnologia Ambiental – Sistema de Laboratórios em Nanotecnologia e Biomateriais (SisNaBio).

---

---

### **Daniel Luas Henrique de Macedo**

Graduando do curso de Engenharia de Energia na Universidade Federal de Alagoas. Pesquisador no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, CECA-UFAL e atual diretor-presidente da Renotec Jr.

---

### **Elica Amara Cecília Guedes**

Doutora em Biotecnologia (Renorbio), pela Universidade Estadual do Ceará, com área de concentração em Biotecnologia de Recursos Naturais. É professora Associada IV da UFAL. Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Taxonomia de Criptógamos, atuando, principalmente, nos seguintes temas: Fitoplâncton, Algas Marinhas Bentônicas e Bioprospecção de Extratos de Algas.

---

### **Elton Lima Santos**

Zootecnista pela Universidade Federal de Alagoas (2005), Mestre (2007) e Doutor (2010) em Zootecnia (Nutrição Animal) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Atualmente, é professor dos cursos de graduação em Zootecnia e Agroecologia e nos cursos de Mestrado Profissional em Energia da Biomassa e Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. Tem experiência na área de Zootecnia, produção e nutrição de animais não-ruminantes e Piscicultura, atuando nos seguintes temas: Ingredientes Alternativos, Aditivos, Digestibilidade, Manejo Alimentar, Piscicultura, Desenvolvimento Sustentável de Assentamentos Rurais e Biodigestores Rurais.

---

### **Emerson Carlos Soares**

Engenheiro de Pesca, graduando em Biomedicina, com Especialização em Gestão de Recursos Pesqueiros, Mestre em Biologia de Água Doce, Doutor em Biotecnologia com ênfase em Aquicultura, Pós-Doutorado em Ciências Aquáticas com ênfase em Reprodução de Peixes. Finalista do Prêmio Espírito Público, na área de Meio Ambiente, foi vice-coordenador do Comitê Científico de Bacias Hidrográficas do Nordeste, coordenador da Força-tarefa de Pesquisas do Óleo em Alagoas e coordenador da Expedição do São Francisco. Professor Associado da Universidade Federal de Alagoas.

---

### **Emerson Fonseca Oliveira Filho**

Graduando em Agroecologia (bacharelado, UFAL). Produtor audiovisual de documentários. Atualmente, está produzindo um documentário sobre a história da Agroecologia no Estado de Alagoas, envolvendo Universidade Federal de Alagoas, Ifal Maragogi, EMATER, Seagri, CPT, MST, Instituto Terra Viva, Pronera, Coopabacs, Aagra, Associação Aroeira, Rede Mutum de Agroecologia e agricultores oriundos da agricultura familiar. Sob orientação do Professor Rafael Navas, trabalha com levantamentos de campo, sobre Socioeconomia de Comunidades e Agricultura Familiar.

---

**Emilly Valentim de Souza**

Graduanda em Zootecnia. Bolsista do programa pró-graduando da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Colaboradora Pibic no Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), sob orientação da Profa. Dra. Themis de Jesus da Silva. Tem experiência em Microparasitologia da Fauna Aquática do Brasil e Ecotoxicologia, com ênfase nas enzimas antioxidantes Catalase e Superóxido Dismutase, peroxidação lipídica (Malondialdeído) e teste de micronúcleo.

---

**Evaristo Perez Rial**

Doctorando en Acuicultura Marina en el Instituto Español de Oceanografía; Licenciado en Ciencias Del Mar por La Universidad de Vigo, Máster en Estadística Aplicada por la Universidad de Granada y Técnico Superior en Producción Acuícola. Más de 12 años de experiencia en Acuicultura tanto en empresas privadas como en centros de investigación. Actualmente formo parte del equipo de investigadores del Instituto Español de Oceanografía en Vigo donde participo em proyectos multidisciplinares sobre reproducción, cultivo y efectos ambientales sobre la biología de peces marinos.

---

**Guilherme Henrique Netter**

Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Alagoas, é atualmente bolsista Pibic dos projetos A Certificação Orgânica por Controle Social na Venda Direta: Impactos na Agricultura Familiar de Alagoas e Segurança Alimentar e Nutricional em Famílias de Assentamentos Rurais do Estado de Alagoas. Possui experiência em Agricultura Camponesa Agroecológica e Agricultura Orgânica.

---

**Hortência E. P. de Santana**

Graduanda em Química Industrial pela Universidade Federal de Sergipe e atualmente bolsista do projeto de Ações Estruturantes e Inovação para o Fortalecimento das Cadeias Produtivas da Aquicultura no Brasil pela Embrapa Tabuleiros Costeiros (SE).

---

**Igor Cavalcante Torres**

Engenheiro Elétrico (2012), Mestre em Energias na área de Conversão Fotovoltaica (2016) e Doutor em Energias pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atuou profissionalmente na concessionária de energia elétrica Eletrobrás Distribuição Alagoas (ED-AL) e na Companhia de Saneamento do Estado de Alagoas (Casal). Atualmente, é Professor Assistente na Universidade Federal de Alagoas, ministrando disciplinas para o curso de Engenharia de Energias Renováveis, desenvolve pesquisas tanto na área de Simulação de Sistemas Elétricos de Potência, como em Modelagem e Medição do Recurso Solar.

---

**Igor da Mata Oliveira**

Possui graduação em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2004), Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2006) e Doutorado em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (2012). Foi presidente da Associação Brasileira de Engenharia de Pesca (2013-2017). É Professor Adjunto da Universidade Federal de Alagoas. Tem experiência nas áreas de Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca (Estatística, Investigação, Tecnologia, Avaliação, Extensão e Administração Pesqueira) e Oceanografia.

---



---

**Jerônimo Vieira Dantas Filho**

Graduado em Engenharia de Pesca e Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Rondônia (Unir). Doutorando em Ciência Animal pelo Programa de Pós-Graduação em Sanidade e Produção Animal Sustentável na Amazônia Ocidental, Universidade Federal do Acre (Ufac). Especializando em Biotecnologia Aplicada à Agroindústria pelo Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Desenvolve pesquisas sobre a qualidade nutricional dos cortes comerciais de tambaqui e pirarucu. Atuou como membro dos grupos de pesquisa da Unir, em Tecnologias Agroambientais e em Produção Animal e Aproveitamento de Resíduos.

---

**Jhennifer da Silva Pereira**

Possui graduação em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal de Alagoas (2020), é estudante de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura (PPG/RPAq) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Participa do Laboratório de Enzimologia (Labenz) da Universidade Federal de Pernambuco, desenvolvendo pesquisas nas áreas de Tecnologia do Pescado e Enzimologia, e do Laboratório de Investigação e Manejo da Pesca (Imap), da Universidade Federal de Alagoas, desenvolvendo pesquisas nas áreas de Oceanografia Biológica e Estatística Pesqueira. Possui experiência em Análise de Dados Hidrológicos, Estatística Pesqueira, Geoprocessamento e Aproveitamento Integral do Pescado.

---

**José Leonaldo de Souza**

Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1996), Mestre em Agronomia (Meteorologia Agrícola) pela Universidade Federal de Viçosa (1988) e Graduado em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba (1980). Professor Aposentado da Universidade Federal de Alagoas. Tem experiência na área de Agronomia e Meteorologia. Especialista em Radiação Solar (Radiometria ou Solarimetria), atuando com ênfase em Instrumentação Solar, Medidas Solarimétricas, Tratamento e Banco de Dados Solarimétricos para Aplicação em Energia Solar.

---

**José Milton Barbosa**

Possui Graduação em Engenharia Militar pelo Centro de Preparação de Oficiais da Reserva (1971), Graduação em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1980) e Doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1997). Pesquisador do Instituto de Pesca de São Paulo (1987-2000); professor da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ/USP) e fundador e docente na área de Aquicultura e Recursos Pesqueiros da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) (1990-2000). Atualmente, é Professor Adjunto da Universidade Federal de Sergipe.

---

---

**José Vieira Silva**

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Perito Criminal na Área Ambiental pela ANP/DPF. Professor Associado da Universidade Federal de Alagoas (UFAL – Campus Arapiraca), nas áreas de Ecofisiologia Vegetal e Agrometeorologia. Estuda e pesquisa na área de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas e Nativas sob Condições de Estresses (Hídrico e Salino) e atua na recuperação de áreas degradadas e educação ambiental. É pesquisador e coordenador do Centro de Referência em Recuperação de Áreas Degradadas (Crad) do Baixo São Francisco, da Universidade Federal de Alagoas.

---

**Jucilene Cavali**

Engenheira Agrônoma, Doutora em Zootecnia. Professora Associada da Universidade Federal de Rondônia. Atua como docente nos cursos de Engenharia de Pesca e Zootecnia. Pesquisadora/Orientadora no Programa de Mestrado Acadêmico em Ciências Ambientais da Unir-Embrapa e no Programa de Doutorado em Sanidade e Produção Animal Sustentável na Amazônia Ocidental (Ppgespa-Ufac). Desenvolve pesquisas em Mercado de Agroindústrias do Pescado (Rendimentos de Carcaça e Qualidade de Carnes) e Manejo de Pastagens na Amazônia.

---

**Júlia de Souza Vieira**

Bióloga pela Universidade Federal de Alagoas, onde atuou na área da Botânica durante a graduação, com pesquisas em Anatomia Vegetal e Paleobotânica. Atualmente, é Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, com enfoque em Conservação de Tartarugas Marinhas.

---

**Julieta de Fátima Xavier da Silva**

Engenheira de Pesca pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura (UFRPE). Doutora em Ciências Biológicas (UFPE). Atua na área de Tecnologia do Pescado, com ênfase em Enzimologia Aplicada a Organismos Aquáticos, Aproveitamento Integral do Pescado e Inspeção do Pescado. Atualmente, é Professora Adjunta do curso de Engenharia de Pesca da UFAL – Penedo, lecionando as disciplinas de: Tecnologia e Inspeção do Pescado, Beneficiamento e Industrialização do Pescado, Microbiologia-Geral e do Pescado e Instalações Pesqueiras e Engenharia Sanitária.

---

**Karina Leitão de Oliveira**

Graduanda em Zootecnia. Bolsista Pibic pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Atualmente, faz parte da equipe de estudantes do Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), tendo como orientadora a professora Themis de Jesus da Silva. Tem experiência em Microparasitologia da Fauna Aquática do Brasil e Ecotoxicologia.

---

---

### **Leilane Camila Ferreira de Lima Francisco**

Enfermeira, graduada pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus Arapiraca (2015). Mestra em Enfermagem pelo Programa de Pós-graduação em Enfermagem (Ppgenf) da Escola de Enfermagem (Eenf) da UFAL (2020). Especialista em Psiquiatria e Saúde Mental pelo Programa de Residência de Enfermagem da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (Uncisal) (2018). Pós-graduada em Enfermagem do Trabalho, pela Faculdade Maurício de Nassau (2017). Atualmente, é enfermeira do Centro de Atenção Psicossocial (Caps-AD) Amor e Esperança, no município de Arapiraca-AL.

---

### **Lucas de Oliveira Arruda**

Graduando de Zootecnia. Bolsista do Programa Pró-Graduando da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Atualmente, faz parte da equipe de estudantes do Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua). Tem experiência em Microparasitologia da Fauna Aquática do Brasil e Ecotoxicologia.

---

### **Manoel Messias da Silva Costa**

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Alagoas (2003). Mestre (2008) e Doutor (2015) em Botânica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Taxonomia, Sistemática e Ecologia de Micro e Macroalgas. Foi Professor Substituto da Universidade Federal de Alagoas, de 2008 a 2010. Professor Formador I (Bolsista Capes) de Ensino a Distância do Instituto Federal de Alagoas (Ifal), juntamente com a Universidade Aberta do Brasil (UAB), desde 2018. Professor Substituto do Ensino Básico, Técnico, Tecnológico e Superior do Instituto Federal de Alagoas (Ifal) (2020).

---

### **Marcos Vinícius T. Gomes**

Técnico em Química pela Escola Técnica Federal de Sergipe (1988). Químico Industrial (2000) e Engenheiro Químico (1999) pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Mestre em Química (2009) e Doutor em Biotecnologia (2013) (Renorbio – UFS). É funcionário concursado da CODEVASF, onde desenvolve projetos de pesquisa na área de Limnologia. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Laboratório de Limnologia, Espectrofotometria de Absorção Atômica, Cromatografia Líquida e Gasosa, Controle de Qualidade em Indústria Cerâmica e Monitoramento Ambiental.

---

### **Marcus Aurélio Soares Cruz**

Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Pesquisador em Manejo de Bacias Hidrográficas na Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Aracaju, Sergipe. Tem experiência em Hidrologia, Modelagem hidrológica, Impactos Ambientais e Geotecnologias.

---

---

**Marco Yves A. V. Praxedes**

Graduando em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal de Alagoas, Unidade Penedo. Tem experiência em Biologia Reprodutiva de Peixes, Larvicultura e Cultivo de Crustáceos Decápodos, com ênfase em Camarões de Água Doce, em Marinharia, Ecologia e Diversidade de Ecossistemas Aquáticos Continentais. Atualmente, é integrante da equipe do Laboratório de Carcinologia e Carcinicultura (Labccarci) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

---

**Mariana Melo Fireman**

Licenciada em Ciências Biológicas. Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Taxonomia de Criptógamos, atuando principalmente nos seguintes temas: Fitoplâncton e Algas Marinhas Bentônicas.

---

**Maristela de Fátima Simplicio de Santana**

Engenheira Agrônoma, Mestre em Engenharia Agrícola, Doutora em Engenharia de Alimentos. Tecnologista Plena do Centro de Tecnologia Renato Archer, Núcleo Nordeste (CTI-NE/MCTIC). Tem experiência em Utilização de Subprodutos Agrícolas, Agroindústria de Semiárido, Tecnologia da Informação Aplicada ao Monitoramento Ambiental e às Ciências Agrárias.

---

**Max César de Araújo**

Doutor em Engenharia Agrícola, atualmente é professor no Instituto de Desenvolvimento Rural da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab). Tem experiência na área de Projeto de Máquinas e Equipamentos Agrícolas, Agroindústria, Mecanização e Máquinas Agrícolas, Energias Alternativas para a Agricultura e Agroecologia.

---

**Petrônio Alves Coelho Filho**

Bacharel em Ciências Biológicas (UFRPE), especialista em Ecossistemas Aquáticos (UFPE), Mestre em Oceanografia (UFPE) e Doutor em Oceanografia Biológica (USP). Possui experiência em Estudos da Diversidade, Conservação e Ecologia de Ecossistemas Aquáticos, com ênfase nos Estudos dos Crustáceos Decápodos. Professor do curso de graduação em Engenharia de Pesca da UFAL e dos Programas de Pós-Graduação em Diversidade e Conservação (Mestrado) e em Gestão Ambiental (Especialização) da UFAL.

---

---

**Priscylla Costa Dantas**

Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Sergipe. Mestre e Doutora em Entomologia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras e Especialista em Educação Ambiental (com ênfase em Espaços Educadores Sustentáveis) pela Universidade Federal de Sergipe. Pós-doutora na modalidade Desenvolvimento Científico Regional (DCR-FAPEAL) pela Universidade Federal de Alagoas. Atualmente, Professora Substituta do Centro de Ciências Agrárias (CECA-UFAL) e atua como pesquisadora no Laboratório de Aquicultura e Análise de Água (Laqua), na área de Técnicas Histológicas e Histoquímicas de Peixes.

---

**Rafael José Navas da Silva**

Agrônomo pela Unesp, Mestre e Doutor em Ecologia Aplicada pela USP. Professor da Universidade Federal de Alagoas, atuando na Temática Socioambiental, com ênfase em Agroecologia, Políticas Públicas e Território, desenvolvendo projetos com agricultores familiares e povos tradicionais.

---

**Ricardo Anderson Pereira**

Graduado em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal de Alagoas. Desde 2013, é extensionista rural do Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins (Ruraltins), Brasil.

---

**Ricardo Araújo Ferreira Junior**

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) e Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura). Professor Efetivo da UFAL. Ministra disciplinas relacionadas a Agrometeorologia e Energia de Biomassa. Tem experiência na área de Agrometeorologia, atuando, principalmente, nos seguintes temas: Medidas e Modelagens Agrometeorológicas e Radiométricas, Modelagem do Crescimento e Desenvolvimento Vegetal.

---

**Ricardo Teodósio F. Cavalcante Jr**

Graduando em Zootecnia pela Universidade Federal de Alagoas, bolsista Pibic e membro do Laboratório de Aquicultura e Análise de Água do Centro de Ciências Agrárias (Laqua-UFAL).

---

**Robson Dantas Viana**

Engenheiro Químico e Mestre em Química pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Analista A da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Experiência em Otimização de Metodologias Analíticas; Gerenciamento de Resíduos de Laboratório e Análise Química de Amostras de Solo, Tecido Vegetal e Água.

---



---

### **Silvânio S. Lopes da Costa**

Doutor em Química (UFBA), com atuação na área de Química Analítica, atuando nos seguintes temas: Otimização e Desenvolvimento de Métodos, Técnicas Espectroanalíticas e Análise Multivariada de Dados. Atualmente, é químico e membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe.

---

### **Tereza Iracema Reis Simões**

Graduanda do curso de Engenharia de Pesca, modalidade bacharelado. Atualmente, estagiária no Laboratório de Tecnologia do Pescado da Universidade Federal de Alagoas, Unidade Penedo. Com experiência na área de Tecnologia e Inspeção do Pescado, com ênfase nos Aspectos Higiênicos e Sanitários da Comercialização de Pescado em Feiras Livres.

---

### **Themis de Jesus da Silva**

Licenciada em Ciências Biológicas (Ufam), Mestre em Genética e Evolução (Ufscar) e Doutora em Biotecnologia (Ufam). Atualmente, professora da UFAL, com experiência na área de Genética (Genética Molecular e Genotoxicidade) e Microparasitologia da Fauna Aquática do Brasil.

---

### **Ticiano Rodrigo de Almeida Oliveira**

Engenheiro de Pesca pela Universidade do Estado da Bahia (2007); Mestre em Ecologia Humana e Gestão Socioambiental pela Universidade do Estado da Bahia (2012). Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema) pela Universidade Federal de Sergipe. Atuou como professor na Universidade Federal de Alagoas, Polo Penedo, no curso de Engenharia de Pesca (2014-2018). Atuou como consultor do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud) (2006-2014). Tem experiência na área de Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, atuando principalmente nos seguintes temas: Gestão Socioambiental, Povos e Comunidades Tradicionais, Pesca Artesanal, Ecologia Humana, Comunidade Pescadora e Extensão Rural e Pesqueira.

---

### **Valéria Nogueira Machado**

Engenheira de Pesca (bacharelado) pela Universidade Federal do Amazonas (Ufam) (2007), Mestre em Ciências Pesqueiras nos Trópicos pela Ufam (2009), Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia pela Ufam (2016) e Pós-Doutora em Genética de Populações de Peixes de Áreas Impactadas (rio Doce). Atua principalmente nas áreas de Genética de Populações, Genética da Conservação, DNA Barcode, Filogeografia de Characiformes.

---

---

**Vanildo Souza de Oliveira**

Engenheiro de Pesca pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE, 1985), Mestre e Doutor em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal de Pernambuco. Especialista em Ciências Pesqueiras no Japão e Pesca de Profundidade na Coreia do Sul. Atualmente, é Professor Associado da UFRPE. Foi consultor da FAO na África e assessor técnico do Conama. Possui trabalhos realizados com recursos e produção pesqueira, pesca artesanal e industrial, métodos sustentáveis de pesca.

---

**Verônica de Medeiros Alves**

Enfermeira. Docente do curso de Enfermagem da UFAL. Mestre em Ciências da Saúde pela Universidade Federal de Alagoas. Doutora em Saúde Mental e Psiquiatria pelo Instituto de Psiquiatria da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

---

**Vivian Costa Vasconcelos**

Engenheira de Pesca (2016) e Mestre em Zootecnia (2020) pela Universidade Federal de Alagoas. Desenvolveu pesquisa no Laboratório de Aquicultura (Laqua). Tem experiência na área de Recursos Pesqueiros, com ênfase em Tecnologia e Industrialização do Pescado, Aproveitamento Integral do Pescado, Microparasitologia, Enzimologia, Análises Limnológicas e Histologia.

---

Esta obra é resultado de uma parceria de trabalho entre instituições de ensino superior, pesquisa e extensão do Brasil e estrangeira. Os conteúdos tratam das áreas de conhecimento científico que foram trabalhadas durante as Expedições Científicas no Baixo São Francisco, realizadas nos anos de 2018 e 2019, além de projetos desenvolvidos na região desde 2008. Estas expedições consistiram em um levantamento de dados hidroambientais e de informações sobre a situação in loco de degradação dos indicadores ecológicos, socioambientais e econômicos. Todo o trabalho foi coordenado pela Universidade Federal de Alagoas e contou com a participação efetiva do CBHSF, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros (SE), EMATER – AL, FAPEAL, CODEVASF, UFS, CTI Renato Archer, MCTI, IFCE, UFRPE, UFAM, UECE, SECTI – AL, SEMARH – AL, Marinha do Brasil, Instituto Espanhol de Oceanografia-IEO (Vigo-Espanha). O conteúdo do livro contempla a participação de cerca de 50 pesquisadores que estiveram presentes nas expedições e 12 colaboradores que participaram das análises de materiais e de dados. Ao todo são 21 capítulos estruturados por grandes áreas do conhecimento científico, de maneira que a organização da escrita técnico-científica possa facilitar a leitura e entendimento por parte de todos os leitores.

Patrocínio:



Apoio de produção:

