

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SONS DE PEIXES TELEÓSTEOS RETIDOS EM
CERCOS-FIXOS DE PESCA ARTESANAL EM ILHA COMPRIDA, SP, POR MEIO
DE TÉCNICAS ACÚSTICAS PASSIVAS**

Luiza Rossato Pereira

São Vicente

2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DO LITORAL PAULISTA



**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SONS DE PEIXES TELEÓSTEOS RETIDOS EM
CERCOS-FIXOS DE PESCA ARTESANAL EM ILHA COMPRIDA, SP, POR MEIO
DE TÉCNICAS ACÚSTICAS PASSIVAS**

Luiza Rossato Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista,
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Biológicas, Habilitação
Gerenciamento Costeiro

Orientador: Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Jr.

São Vicente

2021

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar ao Professor Mario, por todo apoio, confiança, aprendizado, ensinamento e paciência. Não poderia ter escolhido alguém melhor para me guiar durante todos esses anos de graduação. Mesmo durante a Pandemia, com a distância física, longe da sala de aula e do nosso laboratório, fazia questão de estar perto de alguma forma e me orientar da melhor maneira possível, muito obrigada, professor! Agradeço também a galera do Laboratório IAPETUS, pela ajuda na coleta dos dados acústicos, e por todas as nossas reuniões semanais que envolviam conversas sobre os mais diversos assuntos. Um muito obrigada ao Pedro Cardoso e ao Roberto pela disponibilização do cerco-fixo de pesca usado para a realização deste trabalho. Não menos importante, agradecer à minha família, amigos, e todos que contribuíram de certa forma para minha caminhada e crescimento pessoal.

- R827a Rossato, Luiza
Avaliação da produção de sons de peixes teleósteos retidos em cercos-fixos de pesca artesanal em Ilha Comprida, SP, por meio de técnicas acústicas passivas / Luiza Rossato. -- São Vicente, 2021
34 p. : tabs., fotos
- Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São Vicente
Orientador: Mário Rollo
1. Biologia Marinha. 2. Bioacústica. 3. Peixes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Sumário	
Resumo	6
Abstract	7
Introdução	8
Objetivo	12
Metodologia	12
Resultados	19
Discussão	22
Conclusão	26
Literatura Citada	26

Resumo

Os peixes ósseos constituem o maior e mais diverso grupo de vertebrados existente, possuindo uma ampla variedade de mecanismos para a geração de som, porém, há ainda espécies mudas. As fonações consistem em pulsos isolados, sequências de pulsos ou sons tonais predominantemente de baixa frequência, a fim do comportamento de cortejo, agressividade, territorialidade e resposta ao estresse. O objetivo deste trabalho buscou avaliar a produção acústica de diferentes espécies de peixes contidos em cercos de pesca artesanal, possibilitando assim distingui-las. O estudo aconteceu na Região Estuarino-lagunar de Cananéia através das espécies retidas nos cercos fixos. Os sons foram obtidos a partir de um gravador digital conectado a um hidrofone, durante 2 dias, e as amostras analisadas no software Raven Pro 1.6. Foram retidas 3 espécies, sendo tainha (*Mugil liza*), sargo-de-beiço (*Anisotremus surinamensis*) e paru (*Chaetodipterus faber*). Mais de 5.700 emissões de sons foram analisados e estes apresentaram um padrão com onze frequências dominantes diferentes e quatro tipos de sons. A Região Estuarina Lagunar de Cananéia contém ecossistemas com muito potencial para atividades de pesquisa, como a bioacústica de peixes, uma vez que grande parte das espécies de teleósteos ainda não têm seu repertório acústico descrito. As pesquisas futuras devem se concentrar na coleta de dados ambientais simultâneos com análises acústicas e laboratoriais para complementar as descrições dos repertórios, uma vez que isso ajudaria a explicar a variabilidade na produção sonora dos peixes com relação às influências naturais e antropogênicas.

Abstract

Bony fish constitute the largest and most diverse group of vertebrates in existence, having a wide variety of mechanisms for sound generation, however, there are still mute species. Phonations consist of isolated pulses, pulse sequences or predominantly low frequency tonal sounds, in order to courtship behavior, aggressiveness, territoriality and stress response. The objective of this work was to evaluate the acoustic production of different species of fish contained in artisanal fishing enclosures, thus making it possible to distinguish them. The study took place in the Estuarine-Lagunar Region of Cananéia through the species retained in the fixed enclosures. The sounds were obtained from a digital recorder connected to a hydrophone, for 2 days, and the samples were analyzed using the Raven Pro 1.6 software. Three species were retained, being mullet (*Mugil liza*), sea bream (*Anisotremus surinamensis*) and pará (*Chaetodipterus faber*). More than 5,700 sound emissions were analyzed and these presented a pattern with eleven different dominant frequencies and four types of sounds. The Estuarine Lagunar Region of Cananéia contains ecosystems with great potential for research activities, such as fish bioacoustics, since most teleost species still do not have their acoustic repertoire described. Future research should focus on simultaneous environmental data collection with acoustic and laboratory analyzes to complement repertoire descriptions, as this would help explain the variability in fish sound production with respect to natural and anthropogenic influences.

1. Introdução

Os peixes ósseos constituem o maior e mais diverso grupo de vertebrados existente. Ocorrem com enorme diversidade de tamanhos, formas e hábitos, resultantes de inúmeras adaptações ao longo de sua história evolutiva. Distintos processos seletivos operaram sobre os mecanismos associados à comunicação intra- e interespecífica, dentre os quais se destaca a produção de sons (Maruska et al. 2007). Das mais de 33.000 espécies de peixes existentes, estima-se que pelo menos 800 delas, pertencentes a mais de 100 famílias, produzem sons (Bass & Ladich, 2008). Os peixes ósseos possuem grande variedade de mecanismos, simples ou sofisticados, para que os sons sejam produzidos e que atendem a diferentes funções (Ladich 2014; Parmentier & Fine 2016). Contudo, também existem muitos grupos cujas espécies são predominantemente mudas (Fine & Parmentier, 2015). O mecanismo de produção de som determina sua frequência e estas podem ser uma chave para a origem de cada som (Fish et al. 1952). A produção de sons envolve basicamente uma vibração acoplada ao meio (Bradbury & Vehrencamp 1998). Existem cinco mecanismos básicos para a produção de sons nos peixes: (1) vibrações musculares de uma membrana ou saco (Fine et al. 2009; Millot et al. 2011), (2) estridulação (Fine et al. 1999; Parmentier et al. 2010b; Bertucci et al. 2014), (3) fluxo de ar forçado através de um pequeno orifício (Wahlberg & Westerberg 2003; Lagardère & Ernande 2004), (4) vibração muscular de apêndices (Kratochvil 1978, 1985; Ladich et al. 1992) e (5) percussão sobre um substrato (Colley et al. 2011).

Embora vários sistemas de produção sonora tenham sido descritos dentro desses cinco mecanismos básicos, a maioria pode ser agrupada em duas categorias: 1) músculos que se conectam direta ou indiretamente à bexiga natatória. A bexiga natatória vibra na presença de músculos sônicos extrínsecos ou intrínsecos. Os músculos podem estar presos diretamente à parede da bexiga, ou a partir de uma estrutura externa, como o crânio, costelas e vértebras (Webb et al. 2008). A vibração acontece pela contração e relaxamento desses músculos, ou indiretamente por tendões ou placas ósseas, que transmitem a vibração para o músculo, caracterizando assim a vibração indireta (Ladich 2014); 2) mecanismos estridulatórios que envolvem o atrito de ossos, como ossos do crânio, aparelho mandibular, aparelho branquial, raios da nadadeira e vértebras e também dentes (Kasumyan, 2008). Mecanismos adicionais, como o arrancar de barbatanas em betas (Osphronemidae) ou o estalar das mandíbulas em libelinhas (Pomacentridae), podem ser encontrados na literatura (Ladich & Fine 2006; Fine & Parmentier 2015). Os dois principais grupos podem ser divididos por sua vez em várias categorias menores.

Os padrões temporais podem ser uma característica sonora importante para a comunicação acústica em peixes, especialmente em águas ruidosas e/ou rasas, onde as baixas frequências não se propagam tão bem e o conteúdo espectral dos sinais é facilmente modificado (Mann 2006; Ghahramani

et al. 2014). Em muitos casos, as características temporais e espectrais estão relacionadas ao tamanho dos peixes. Portanto, os sons podem informar diferenças fenotípicas entre os animais: indivíduos menores geralmente produzem sons de frequência mais elevada e menor duração em relação aos indivíduos maiores, uma vez que a frequência dominante está inversamente relacionada à duração do pulso e parece ser determinada pela duração da contração muscular (Myrberg et al. 1993; Connaughton et al. 2000). No entanto, o relacionamento entre essas variáveis e o tamanho corporal não é estático. Em algumas espécies, a frequência fundamental pode não mudar com o tamanho dos peixes, porque a taxa de contração muscular é quem determina a frequência fundamental (Skoglund 1961; Fine et al. 2001). Por exemplo, a frequência fundamental de grunhidos não muda com o tamanho de peixes-sapo (Lophiidae; Fine & Waybright 2015) e os coros de peixe-sapo na natureza, compostos por peixes de tamanhos diferentes, podem ter frequências fundamentais variando em apenas 10 Hz (Fine 1978).

Os sons dos peixes ósseos consistem geralmente em pulsos isolados, sequências de pulsos ou sons tonais, predominantemente de baixa frequência e podendo atingir um pouco mais de 1000 Hz. Algumas espécies podem produzir pulsos de frequências mais elevadas (Maruska et al. 2007; Noda et al. 2016). Os comportamentos de cortejo, agressividade e territorialidade estão associados a padrões bioacústicos característicos, intrinsecamente relacionados à estrutura dos órgãos sonoros. Acredita-se que as características do meio aquático e sua composição de ruídos e fontes de diferentes origens exerçam influência nas frequências empregadas, bem como na estrutura acústica das fonações (Lugli 2010; Tellechea et al. 2010).

Todos os vertebrados, inclusive os peixes, possuem estruturas comuns para a detecção de sons, centralizadas no ouvido interno (Ladich 2014). Além de ser dividido primariamente em três canais semicirculares e otólitos associados, ele pode apresentar estruturas adicionais para melhorar a audição. São elas: ossículos weberianos (Holt and Johnston 2011), a conexão com a bexiga natatória por câmaras ou dutos de gás (Ladich 2014) e uma estrutura ainda pouco estudada, presente em peixes do gênero *Chaetodon* (Chaetodontidae), denominada conexão laterofísica (Tricas et al. 2006). Esta vem a ser um arranjo único em que a bexiga natatória está conectada à linha lateral. Os otólitos, por sua vez, são divididos em três concreções calcárias: utrículo, sáculo e lagena. Cada uma está associada a uma vasta quantidade de células sensoriais ciliadas, responsáveis pela recepção do som (Ladich 2014). Já os ossículos weberianos são aparatos que conectam a bexiga natatória ao ouvido interno (Ladich 2014).

Tomando por base a sensibilidade auditiva, podemos dividir os peixes ósseos em dois grupos: generalistas e especialistas (Bertucci et al. 2012). O primeiro, representado por sardinhas e manjubas (Clupeidae e Engraulidae) detecta sons através da conexão direta do ouvido interno com 5 dutos de gás; o segundo, representado por bagres marinhos (Ariidae), pampas (Carangidae), robalos

(Centropomidae), carapebas (Gerreidae), betaras, corvinas e miraguias (Sciaenidae) e cabrinhas (Triglidae) possui estruturas morfológicas e funcionais associadas à bexiga (Bertucci et al. 2012). Essa divisão, portanto, tem base na anatomia e na capacidade de detectar componentes de pressão sonora e na largura de banda detectável (Brill et al. 2008).

Existem muitos problemas em se estudar a bioacústica de peixes no ambiente natural, por diferentes razões: diferentes espécies podem estar congregadas em um mesmo local, dificultando a detecção da origem e individualização da fonte sonora. Da mesma forma, no caso de se conjugarem observações visuais com registros acústicos, os peixes que produzem sons sob determinadas circunstâncias podem estar escondidos entre rochas ou corais ou ainda sob a areia (Cesar Augusto Marcelino Cordeiro, UFF, com. pess.). Estudos em águas turvas oferecem dificuldades adicionais. Desta forma, a imensa maioria dos trabalhos está voltada para estudos feitos sob contenção em tanques ou aquários, implicando na possibilidade de se obterem sons estereotipados, decorrentes de estresse do cativeiro (Parmentier et al. 2014). A desvantagem visual das águas estuarinas torna o estudo da ecologia acústica uma alternativa para compreender e estudar esse ecossistema (Sueur et al., 2008; Sueur et al., 2014; Townsend et al., 2010). Um dos principais desafios é identificar as espécies que estão emitindo os sons.

O estudo da bioacústica de peixes teleósteos teve início após a Segunda Guerra Mundial, pois a Marinha dos Estados Unidos buscava catalogar os sons produzidos por diferentes espécies (Fish & Mowbray 1970). Os primeiros estudos mostraram que um grande número de espécies de peixes produzia sons específicos. No entanto, havia um viés do ponto de vista ecológico, pois os peixes eram estimulados a emitir sons e não o faziam espontaneamente (Fish & Mowbray 1970). Winn (1964) e Tavalga (1977) estão entre os primeiros a investigarem os sons produzidos por peixes com base em comportamentos naturais, bem como seus mecanismos de produção sonora. A monografia de Breder (1967) sobre a produção sazonal de sons de várias espécies de peixes no sudoeste da Flórida também constitui um marco nesta área de estudo. Desde então, a totalidade dos estudos voltou-se à caracterização individual dos sons das espécies de teleósteos através de experimentos em confinamento e/ou laboratório (Fish e Cummings 1972; Connaughton e Taylor 1995; Fine et al., 1997; Heyd & Pfeiffer, 2000; Fine & Ladich, 2003; Tellechea et al. 2010).

O rápido avanço tecnológico a partir da década de 1990 possibilitou o desenvolvimento de instrumentos submersíveis de registro acústico passivo que foram empregados em pesquisas não invasivas e não destrutiva (Bolgan et al, 2016), documentando horários, locais e áreas de desova de diferentes espécies de peixes em múltiplas escalas espaciais e temporais (Saucier et al. 1992; Saucier et al. Baltz 1993; Mann e Lobel 1995; Luczkovich et al. 1999; Gilmore 2003, Luczkovich et al. 2008; Fine & Thorson, 2008). Os sons registrados também têm sido empregados como aproximações para

estimar a diversidade de peixes, bem como caracterizar comunidades e descrever a paisagem acústica subaquática (Rountree et al. 2012; Gasc et al. 2013, Wall et al. 2013; Sueur et al. 2014; Erbe et al. 2015; Wall et al. 2017; Wang et al. 2017; Carriço et al. 2019; Desiderà et al. 2019; Rountree et al. 2019; Bolgan et al. 2020).

O som representa um dos principais componentes sensoriais dos animais que vivem na água, obtendo informações sobre o ambiente e seu entorno, servindo assim como principal meio de comunicação, navegação e busca de alimento. Deste modo, estudos da acústica de ambientes aquáticos podem fornecer informações importantes sobre os processos biológicos que nele ocorrem (Farina & Cage, 2017; National Research Council, 2003). Surge então a Ecologia de Paisagens Acústicas, ou Ecoacústica. Atualmente essa disciplina envolve três componentes: biofonia (sons biológicos, como sons de peixes, golfinhos, invertebrados), a geofonia (sons do ambiente, tais como ondas e ventos) e a antropofonia (sons decorrentes de atividades humanas, como sons de embarcações e plataformas de petróleo), o que torna a paisagem acústica uma variável excelente para analisar os reflexos das interações do homem com o meio natural, bem como as relações ecológicas. (Pijanowski et al., 2011; Farina, 2014; Suer et al., 2014; Staatterman et al., 2014).

Na região estuarino-lagunar de Cananéia, extremo sul do Estado de São Paulo, que compreende o município de Ilha Comprida, a principal arte de pesca é o cerco-fixo, uma estrutura artesanal que permite a captura dos peixes através da delimitação de uma área com hastes de madeira ou bambu interligadas através de redes e telas, formando assim um labirinto (Radasewski 1967). As espécies de peixes mais frequentemente capturadas, são a tainha (*Mugil liza*), entre maio a agosto e a carapeba (*Diapterus rhombeus*), de setembro a março. Outras oito espécies (comumente conhecidas como pescada, corcoroca, corvina, pampo, parati, parú, robalão, robalo, bagres) compõem o grupo chamado de pesca principal (Instituto de Pesca de São Paulo 2017). Entre dezembro de 2015 e dezembro de 2019, segundo o banco de dados do Instituto de Pesca de São Paulo foram retidos nos cercos-fixos da região exemplares das famílias: Ariidae, Carangidae, Centropomidae, Cichlidae, Ephippidae, Erythrinidae, Gerreidae, Haemulidae, Kyphosidae, Lobotideos, Loricariidae, Lutjanidae, Mugilidae, Prochilodontidae, Rachycentridae, Sciaenidae, Scombridae, Serranidae, Soleidae, Trichiuridae. Tendo em vista as condições físico-químicas da região, é possível afirmar que a produção da pesca quantitativa e qualitativa se baseia nas características hidrográficas, principalmente temperatura e salinidade (Mendonça & Katsuragawa 2001).

Como os cercos retém os peixes entre duas despescas consecutivas e estas variam entre 24 e 120 h, os peixes podem ser facilmente observados em seu interior, pois a profundidade da coluna d'água dificilmente excede 1,5 m. Embora o estresse da captura não possa ser descartado, a manutenção dos peixes em seu meio habitual, com variações naturais de luz, temperatura e salinidade, pode permitir o

registro de sons em condições mais apropriadas do que aquelas existentes em laboratório, bem como em viveiros ou tanques. Tendo em vista o conhecimento adquirido sobre os tipos de produção sonora decorrentes de estruturas anatômicas específicas a cada grupo taxonômico, aliado ao reconhecimento de princípios físicos de propagação e atenuação de sons, estima-se ser possível associar um determinado padrão sonoro a uma determinada espécie presente no cerco. Esta talvez seja uma iniciativa de pesquisa inédita no país e que poderá trazer contribuições importantes para o estudo da composição e distribuição das assembleias de peixes nesta região estuarina.

2. Objetivo

Este estudo teve por objetivo avaliar a produção de sons de diferentes espécies de peixes contidos em cercos de pesca artesanal, possibilitando assim distingui-los entre si e verificando eventuais contribuições de seus repertórios no domínio da paisagem acústica estuarino/ marinha, utilizando a acústica passiva como ferramenta não invasiva e não destrutiva. Os objetivos específicos foram a) avaliar a paisagem acústica da Região e b) identificar e caracterizar sons biológicos.

3. Metodologia

O estudo teve lugar no Sistema Estuarino-lagunar de Cananéia, mais especificamente na Ponta da Trincheira, extremo sul do município de Ilha Comprida. O sistema está localizado entre as Ilhas do Cardoso, Comprida e de Cananéia, sul do estado de São Paulo (Cunha-Lignon et al. 2009). O estuário está sob grande influência do Rio Ribeira de Iguape e de outros rios que formam meandros entre as três ilhas. Os canais que as permeiam apresentam larguras variando entre 1 e 3 km e profundidades que apresentam, em média, 6 m e podem alcançar 20 m (Tessler & Souza 1998). A Ponta da Trincheira fica localizada no extremo sul de Ilha Comprida e está voltada para a Baía de Trapandé, no interior do estuário (Figura 1). Foi utilizado um cerco de pesca como unidade amostral. Este cerco foi escolhido devido à sua localização, próximo à embocadura do estuário, no Canal de Trapandé e também à sua acessibilidade (Figura 1). Os cercos são estruturas fixas especializadas para a captura do pescado, formados por varas de madeira, instaladas a 50 cm umas das outras e o espaço entre elas é preenchido por Taquara-mirim (*Philostatis aurea*) ou bambu (Figura 2). A estrutura inteira ainda é recoberta por tela de arame galvanizado para reforçá-la. A captura dos peixes no interior dos cercos é feita por redes de pesca com dimensões iguais ao diâmetro da estrutura. Os cercos começaram a ser utilizados na região em meados de 1940 e sofreram algumas mudanças na sua arquitetura ao longo dos anos, com melhoramentos para maior durabilidade e vida útil, porém mantendo sua forma básica (Radasewsky 1976).



Figura 1. Imagens aéreas da área de estudo obtidas por satélite e disponibilizadas pelo Google Earth. Em A) Vista do Complexo Estuarino-lagunar de Cananéia e localização da área de estudo, no extremo sul da Ilha Comprida. Em B) Vista da Ponta da Trincheira e a localização específica do cerco fixo no qual a amostragem acústica foi realizada.

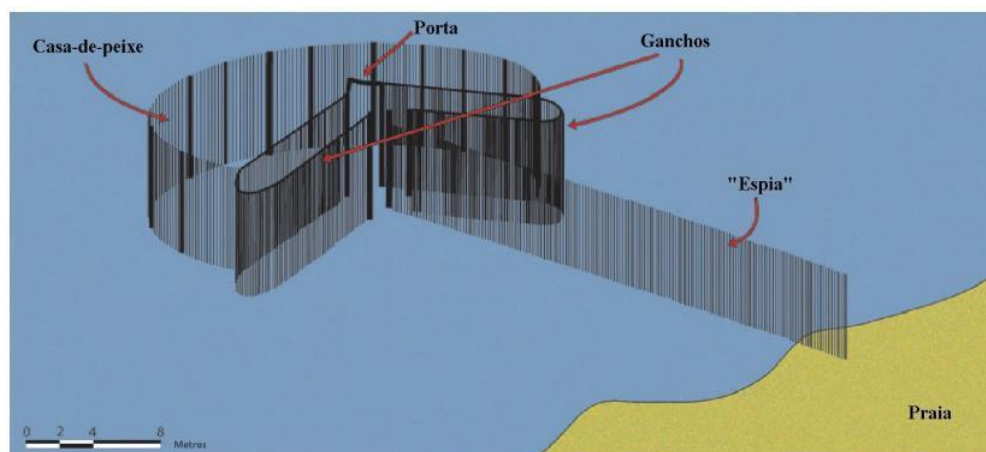


Figura 2. Visão esquemática de um cerco fixo de pesca na região da Ponta da Trincheira. O instrumento de monitoramento autônomo foi instalado junto à porta do cerco, na porção superior e no interior da casa de peixe, a partir de onde desceu o hidrofone. Adaptado de Louzada (2013).

Os sons foram registrados por um gravador de áudio digital portátil (TASCAM DR-40), conectado a um carregador de bateria de 20.000 mAh e um hidrofone (Aquarian Audio H2a) posicionado dentro do cerco-fixo e submerso a aproximadamente 1 m. Esses equipamentos (Sistema Solo) foram colocados em uma caixa estanque, instalada no interior do cerco fixo e gravaram ininterruptamente por um período de 50 horas e 30 minutos das 11 h 30 min do dia 6 de novembro de 2020 às 13 h 58 min do dia 8 de novembro de 2020. O gravador foi programado para coletar sons continuamente a uma taxa de 48 kHz, 24 bits (Figura 3). Como a despesca costuma ser feita ao longo da semana, cada evento de despesca foi monitorado diretamente para se obter tanto o registro do período de tempo em que ocorreu, quanto a identidade das espécies capturadas e a abundância relativa de cada uma. Desta forma, esse período foi descartado das análises.



Figura 3. Caixa estanque presa ao cerco-fixo, com o hidrofone posicionado dentro da água.

Em seguida, cada amostra foi inspecionada cuidadosamente no programa de aquisição, visualização, medição e análise de sons Raven Pro 1.6 (Bioacoustics Research Program, Cornell Lab of Ornithology). Foram produzidos espectrogramas na escala de cores Jet Black (multicor) para cada amostra, dentro dos quais foi possível mensurar os seguintes parâmetros para cada sinal potencialmente emitido por um peixe: tempo inicial (s), tempo final (s), delta tempo (s), frequência 5% (Hz), frequência 95% (Hz), frequência dominante (Hz); potência média (dB), energia (dB), frequência mínima (Hz) e frequência máxima (Hz) (Figura 4). Essas medidas permitiriam caracterizar os sons amostrados, distingui-los e relacioná-los com as espécies coletadas nos cercos de acordo com as respectivas descrições anatômicas de seu aparato de produção de sons.

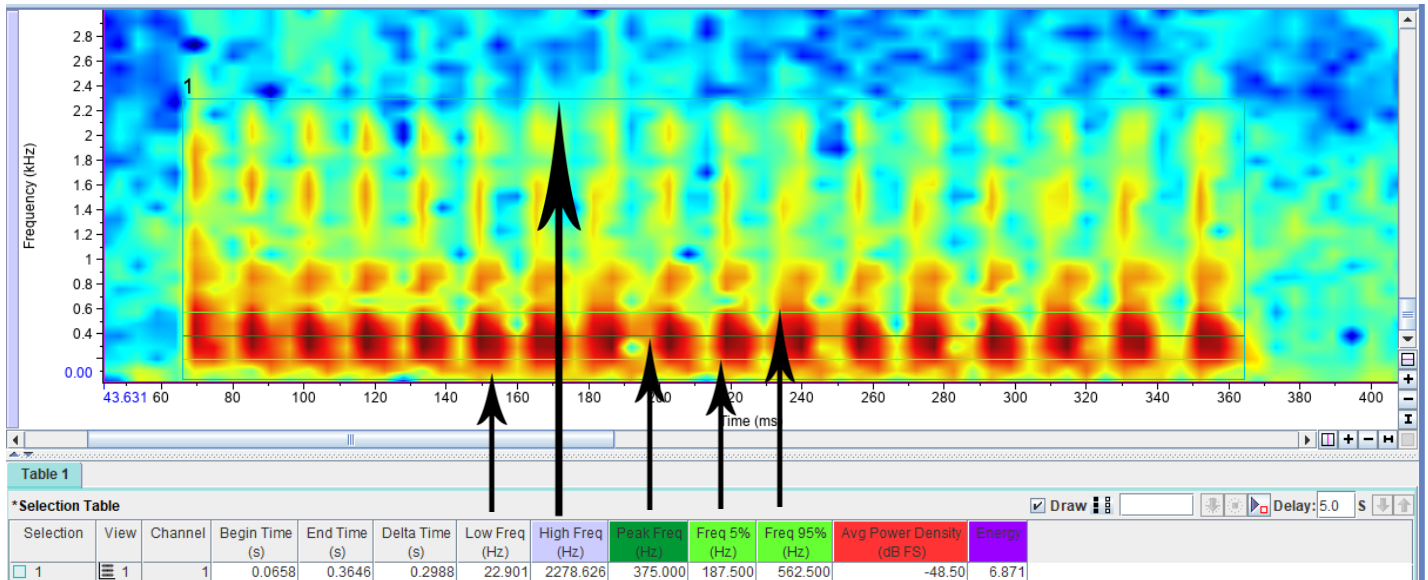


Figura 4: Exemplo de espectrograma produzido no Raven Pro 1.6 com as medidas analisadas em uma emissão acústica.

Não há como ter certeza absoluta que as amostras coletadas pertencerão a peixes contidos no interior do cerco. Contudo, a perda de intensidade sonora por atenuação horizontal e vertical pode ser mensurada através das equações a seguir. Primeiramente, consideremos a perda por transmissão (TL) de uma fonte sonora pontual que se propaga por espalhamento cilíndrico, isto é, limitado por reflexão na superfície e no fundo de águas rasas. A intensidade diminui conforme o quadrado inverso da faixa de espalhamento cilíndrico. Se escolhermos r_0 como 1 metro, I_0 será apenas o nível da fonte acústica (SL). A quantidade pela qual a intensidade diminui em relação ao seu nível na fonte é chamada de perda por transmissão (TL). A perda por transmissão é geralmente expressa em decibéis:

$$TL = 10 \log_{10} (I/I_0) = 10 \log_{10} (r) \text{ dB}$$

Tabela 1: Níveis de intensidade relativa e as perdas de transmissão para espalhamento cilíndrico em várias faixas, assumindo que r_0 seja 1 metro.

Distância, r (m)	Intensidade relativa (I/I_0)	Perda por transmissão (dB)
1	1	0
10	1/10	10
100	1/100	20
1000	1/1000	30

A fonte sonora, no caso um peixe em particular, irradia um sinal com um nível de fonte SL. A intensidade do som é reduzida pela perda de transmissão TL à medida que o som viaja da fonte para o receptor (o hidrofone). A intensidade do som no receptor é então:

$$\text{Intensidade do sinal recebido (dB)} = \text{SL} - \text{TL}$$

Assim sendo, se a intensidade do sinal analisado estiver de acordo com a tabela acima, ou seja, mensurada em um valor inferior àquele obtido no interior do cerco, a 1 m da fonte de registro (praticamente quaisquer peixes fonadores ali contidos), poderemos estimar se o peixe sonoro se encontra no interior do cerco ou fora dele. Emissões de sons de Sciaenidae presentes no cerco-fixado, gravados em um estudo preliminar em 2019, foram usados como medidas de referência de intensidade na fonte (SL). Além disso, observações atentas feitas nos momentos de instalação e de remoção do Sistema Solo, bem como nos períodos de manutenção do equipamento e ainda das despescas permitirão avaliar se é comum que os peixes nadem junto ao cerco, tanto do lado de dentro quanto de fora.

Foi realizado um levantamento para identificar as espécies de peixes comumente registradas na região e que são conhecidas por serem vocais ou que pertencem a gêneros e famílias que contêm espécies vocais (Tabela 2). Diversos bancos de dados e bibliotecas *online* de sons de animais de acesso aberto (por exemplo, Macaulay Library (2019), DOSITS (2019), The British Library (2019), FishBase

(2019) e Chorus Acoustics (2019), foram consultados, de modo a compilar um banco de dados de sons.

Tabela 2: Espécies de peixes teleósteos encontrados na Região Estuarino Lagunar de Cananéia e sua capacidade de produção de som. Aquelas sem informação são nomeadas com “s/i”.

Pescado	Família	Produção de som	Referência Bibliográfica
Bagre	Ariidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Bagre-amarelo	Ariidae	sim	Tavolga, 1962
Bagre-branco	Ariidae	sim	Tavolga, 1962
Sari-sari	Ariidae	sim	Tavolga, 1962
Galo	Carangidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Guaivira	Carangidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pampo	Carangidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Xarelete	Carangidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Xaréu	Carangidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Robalo-flecha	Centropomidae	s/i	-
Robalo-peva	Centropomidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Tilápia	Cichlidae	sim	Longrie et al. 2009
Paru	Ephippidae	sim	Fish et al. 1952
Traíra	Erythrinidae.	s/i	-
Carapeba	Gerreidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Salema	Haemulidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Sargo	Haemulidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pirajica	Kyphosidae	s/i	-
Prejereba	Lobotidae	s/i	-
Cascudo	Loricariidae	sim	Webb 2011
Caranha	Lutjanidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Cioba	Lutjanidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Parati	Mugilidae	s/i	-

Tainha	Mugilidae	s/i	-
Curimatá	Prochilodontidae	sim	Smith 2018
Parambiju	Rachycentridae	s/i	-
Betara	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Corvina	Sciaenidae	sim	Tellechea et. al 2013
Goete	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Miraguaia	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Ovea	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pescada-amarela	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pescada-branca	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pescada-cambucu	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pescada-dentão	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pescada-foguete	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Pescadas agrupadas	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Tortinha	Sciaenidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Sororoca	Scombridae	s/i	-
Badejo	Serranidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Chernes agrupados	Serranidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Garoupa	Serranidae	sim	Fish & Mowbray 1970
Linguado	Soleidae	s/i	-
Espada	Trichiuridae	s/i	-

Um diagrama (Figura 5), adaptado de Desiderà et al. (2019) e Bolgan et al. (2020) e contendo descrições minuciosas da estrutura acústica dos possíveis sons de peixes, ilustra a maneira com que os sons obtidos foram classificados e agrupados. As definições e descrições das categorias dos sons seguem a tabela presente em Bolgan et al. (2020). Um gráfico em caixas (boxplot) foi feito para avaliar a variação dos dados dentro dos parâmetros de frequência (frequência dominante, frequência 5% e frequência 95%).

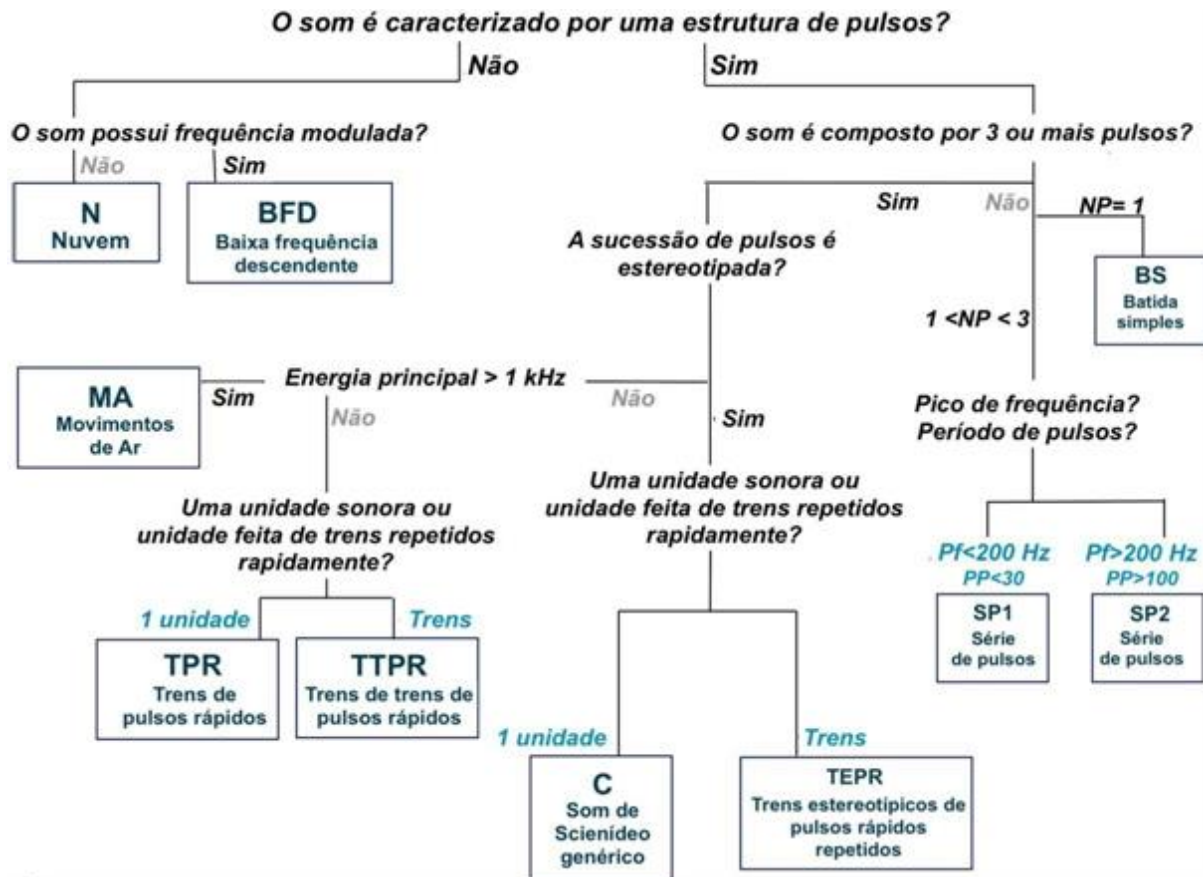


Figura 5. Diagrama descritivo da forma de identificação e classificação da estrutura acústica de sons de peixes. Adaptado de Desiderà et al. (2019) e Bolgan et al. (2020).

4. Resultados

As duas coletas planejadas originalmente para este trabalho visavam os meses de outono e inverno, quando os cercos são mais utilizados pelos pescadores, mas foram prejudicadas em função da pandemia. Assim, apenas uma coleta pôde ser realizada, quase ao final de 2020 e em um período em que a atividade pesqueira nos cercos já é muito reduzida. Além disso, ocorreu apenas uma despesca no cerco-fixo durante o período em que ocorreu o trabalho de campo. Nela, foram capturadas somente três espécies de peixes teleósteos: tainha (*Mugil liza*), da família Mugilidae, sargo-de-beiço (*Anisotremus surinamensis*), pertencente à família Haemulidae e paru (*Chaetodipterus faber*), espécie da família Ephippidae. A concentração de chamados ou emissões de sons aconteceram no período vespertino, estendendo-se até o começo da noite, sendo das 12:00 às 21:30 do dia 6 de novembro e das 13h às 20h do dia seguinte. Nesse período, houve predominância do coro dos peixes, bem como de chamados isolados. Mais de 5700 seleções foram analisadas, e estas se agruparam em 11 frequências dominantes (tabela 3) e quatro tipos de sons (figura 6), possivelmente pertencem à mesma família de teleósteo sonífero, Sciaenidae. O primeiro tipo de som caracteriza-se por uma sequência de pulsos espaçados e

isolados, com frequência dominante de 187 Hz. O segundo é constituído por uma série de pulsos, com frequência atingindo 375 Hz. O terceiro tipo é caracterizado por trens de pulsos rápidos, e o último se caracteriza por uma série de trens de pulsos. Ambos incluíram as frequências dominantes de 281,25, 375, 468,75, 562,50, 656,25, 750, 843,75, 937,5, 1125e 1218,75 Hz. Estas mesmas frequências puderam ser observadas também para os parâmetros Frequência 5% e 95% como mostra a figura 6.

Tabela 3: número de chamados referentes a cada emissão com frequência dominante distinta e valores médios $\pm$ desvio padrão das variáveis acústicas medidas.

Número de chamados	Freq. Dominante (Hz)	Duração (s)	Densidade de Potência Média (dB)	Energia (dB)	Frequência 5% (Hz)	Frequência 95% (Hz)	Frequência Mínima (Hz)	Frequência Máxima (Hz)
1	1218,75	0,305	72,48	19,06	281,25	1312,5	228,099	1596,69
2	1125	0,28 $\pm$ 0,25	72,58 $\pm$ 0,43	19,94 $\pm$ 4,07	234,37 $\pm$ 66,29	1312,5	203,17 $\pm$ 67,50	1782,86 $\pm$ 59,29
17	187,5	0,65 $\pm$ 0,16	66,15 $\pm$ 2,38	12,35 $\pm$ 1,50	93,75	703,12 $\pm$ 193,64	52,53 $\pm$ 18,16	814,62 $\pm$ 212,68
22	937,5	0,37 $\pm$ 0,07	59,13 $\pm$ 8,25	5,4 $\pm$ 8,40	336,64 $\pm$ 134,64	1142,04 $\pm$ 79,95	187,16 $\pm$ 108,20	1432,77 $\pm$ 118,16
24	281,25	0,32 $\pm$ 0,19	63,91 $\pm$ 9,37	12,44 $\pm$ 7,18	179,68 $\pm$ 72,70	1003,90 $\pm$ 397,24	124,21 $\pm$ 81,39	1607,50 $\pm$ 788,52
28	375	0,29 $\pm$ 0,11	67,07 $\pm$ 9,76	15,12 $\pm$ 6,79	194,19 $\pm$ 35,43	1161,83 $\pm$ 247,82	130,52 $\pm$ 47,17	1821,96 $\pm$ 317,65
32	843,75	0,43 $\pm$ 0,16	69,72 $\pm$ 6,96	15,91 $\pm$ 6,79	509,76 $\pm$ 121,27	1274,41 $\pm$ 321,12	355,72 $\pm$ 89,45	1535,36 $\pm$ 394,86
97	750	0,40 $\pm$ 0,13	68,61 $\pm$ 7,57	15,17 $\pm$ 7,83	495,81 $\pm$ 96,59	1186,85 $\pm$ 176,37	319,74 $\pm$ 65,43	1474,17 $\pm$ 251,35
751	468,75	0,35 $\pm$ 0,11	61,74 $\pm$ 8,65	9,82 $\pm$ 7,28	3050,9 $\pm$ 71,84	1002,53 $\pm$ 188,48	187,84 $\pm$ 78,66	1444,96 $\pm$ 225,82
768	656,25	0,34 $\pm$ 0,12	68,89 $\pm$ 7,44	16,15 $\pm$ 8,22	416,62 $\pm$ 88,37	999,63 $\pm$ 194,92	281,49 $\pm$ 63,47	1455,72 $\pm$ 271,81
3965	562,5	0,36 $\pm$ 0,11	62,71 $\pm$ 7,91	19,29 $\pm$ 571,53	372,02 $\pm$ 83,59	988,33 $\pm$ 180,62	225,67 $\pm$ 79,40	1497,62 $\pm$ 232,69

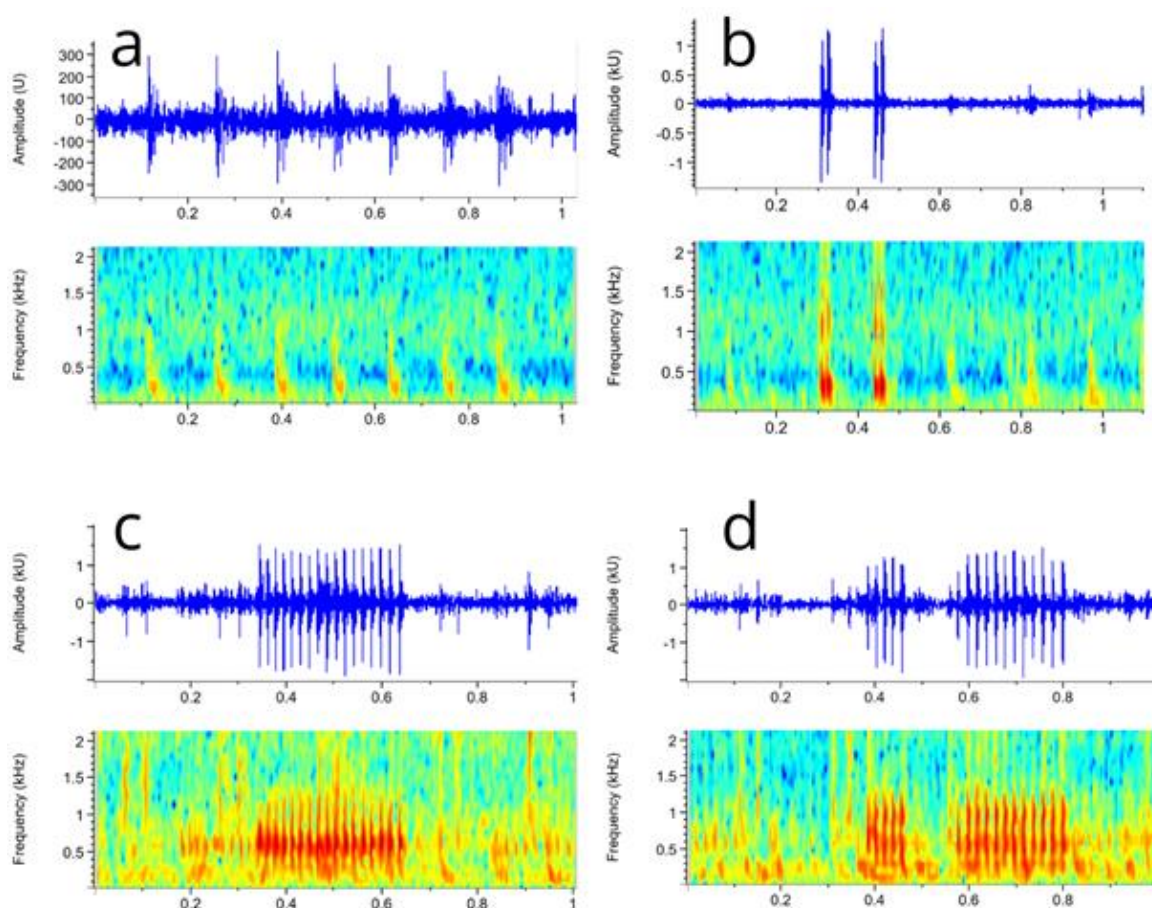


Figura 6: Tipos de sons obtidos nas amostras: (a) sequência de pulsos espaçados e isolados; (b) série de pulsos; (c) trens de pulsos rápidos; (d) série de trens de pulsos. Parâmetros de configuração dos espectrogramas: tipo de janela Hann, tamanho de janela 512 pontos, largura de filtro 3dB 135 Hz, sobreposição 50%.

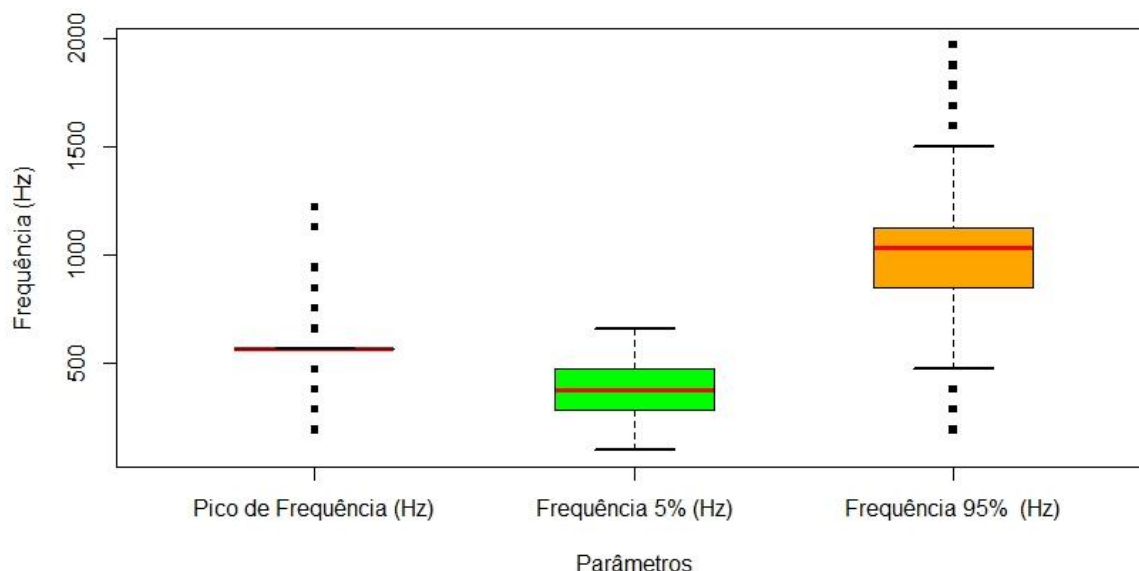


Figura 7: Variabilidade das medidas (parâmetros) de frequência (Frequência Dominante, Frequência 5% e Frequência 95%, todas em Hz) registradas nas amostras de sons coletados. Os pequenos quadrados pretos indicam os outliers.

Considerando as medidas a serem utilizadas para a verificação de animais sonoros dentro do cerco fixo de pesca, temos o raio do cerco como 1,5m, e o nível de fonte (SL) = 49,11 dB. Com isso, a perda por transmissão (TL) resulta em 1,76 dB e a intensidade do sinal recebido (dB) = 47,35 dB. Dessa forma, ao avaliarmos todos os mais de 5.700 chamados emitidos neste estudo, temos que mais de 90% das emissões apresentaram resultados igual ou superior a 47,35 dB e se concentraram nos horários de coro crepuscular, entre o fim da tarde e à noite.

5. Discussão

Das diversas famílias de peixes teleósteos encontradas na Região Estuarino Lagunar de Cananéia, sabe-se que muitas produzem sons: Ariidae, Carangidae, Centropomidae, Cichlidae, Ehippidae, Gerreidae, Haemulidae, Loricariidae, Lutjanidae, Prochilodontidae, Sciaenidae, Serranidae (Fish & Mowbray 1970; Longrie et al. 2009; Fish et al. 1952; Tellechea et. al 2013; Smith et al. 2018). Porém, informações sobre a descrição dos repertórios acústicos por exemplares dessas famílias ainda são demasiadamente escassas. Para as famílias Erythrinidae, Kyphosidae, Lobotidae, Mugilidae, Rachycentridae, Scombridae, Soleidae, Trichiuridae, não se tem informações sobre a capacidade de produção de som (tabela 2).

Das três espécies de peixes teleósteos retidos no cerco fixo de pesca, apenas a família Haemulidae do sargo de beijo (*Anisotremus surinamensis*) possui literatura mais recente sobre o meio de produção sonora. Os representantes da família Haemulidae são conhecidos por sua capacidade de emitir sons em situações de perigo e alimentação, independente do sexo e idade (Milot, M et. al 2021). McFarland e Hillis (McFarland e Hillis, 1982) sugerem que os sons também sejam usados para forrageamento noturno a fim de localizar outros membros do grupo, e também se agregarem para a desova (Heyman e Kjerfve, 2008). Sabe-se da capacidade de emissão de sons por espécies de Haemulidae, porém a descrição acústica das mesmas ainda é necessária (Milot, M et. al 2021). Os mecanismos de produção de sons de espécies dessa família foram associados à estridulação resultante da fricção dos dentes da faringe ao nível da cesta branquial (*H. plumieri* e *H. Flavolineatum*) e movimentos da mandíbula faríngea correspondente ao processamento de alimentos em *H. flavolineatum* (Bertucci et al. 2014). Este último mecanismo e suas características acústicas podem ser comuns a toda a família (Fish & Mowbray 1970; Moulton 1958). No entanto, dados morfológicos de outras espécies são necessários para confirmar esta hipótese. A maioria dos estudos confirma que os Haemulidae são mais sensíveis a frequências entre 300-400 Hz, ou até mais baixa (Bertucci et al. 2014).

Até o presente momento, não há informações detalhadas sobre a produção de som em espécies da família Mugilidae. Em contrapartida, Srivastava (1957) menciona que essa família de peixe pode produzir sons, pois apresentam a parede da bexiga natatória associada a músculos externos bem desenvolvidos. Já para *Chaetodipterus faber* (Ephippidae), existem apenas dois trabalhos com informações sobre as características acústicas e meios de produção. Esta espécie possui bexiga natatória e músculos intrínsecos, que podem ser responsáveis por batidas graves semelhantes a bateria, pulso único ou como uma curta explosão, variando de 50 a 800 Hz, com frequência dominante de 75 a 150 Hz (Fish et al. 1952), caracterizando um leve ruído grave (Burkenroad, 1931).

Baseando-se nos diversos bancos de dados acústicos de peixes, mecanismos de produção de som, anatomia de órgãos produtores de som, e os tipos de sons emitidos neste estudo é possível dizer que nas amostras gravadas não ocorrem sons estridulatórios que envolvam o esfregar de estruturas ósseas, o que permite acreditar que o exemplar da família Haemulidae contido no cerco não emitiu sons enquanto nosso equipamento coletava os dados acústicos. Tampouco observou-se a produção de sons do tipo batida e pulsos únicos, característicos de *Chaetodipterus faber*. Por outro lado, se examinarmos os parâmetros acústicos frequência dominante, frequência 5% e frequência 95%, percebemos que há um padrão em todos os valores e as mesmas onze frequências (187 Hz, 281,25 Hz, 375 Hz, 468,75 Hz, 562,50 Hz, 656,25 Hz, 750 Hz, 843,75, 937,5 Hz, 1125 Hz e 1218,75 Hz) predominaram em todas as amostras. Portanto, acredita-se que todas as vocalizações emitidas neste trabalho são características da mesma família Sciaenidae. Em mais de 70% dos chamados analisados prevaleceu a frequência dominante de 562,5 Hz, o que explica uma maior discrepância na variação dos dados e presença de

outliers para a Frequência Dominante. Entretanto, isso não ocorre para o parâmetro Frequência 5%, que divide a seleção em intervalos de 5% e 95% de energia, indicando pouca variação de frequência e conservando aquelas já apresentadas. Devido ao fato da energia se concentrar na divisão de 95% da amostra e os sons produzidos alcançarem altas frequências, há uma pequena variação e *outliers* na análise deste último parâmetro. Contudo, as frequências mais comuns ainda foram aquelas referentes à Frequência Dominante e Frequência 5%.

Os sons de Sciaenidae geralmente consistem em uma série de pulsos rápidos e há uma relação positiva entre o tamanho dos peixes e a duração do pulso e negativa com a frequência dominante (Connaughton et al. 2000). Este é um ponto importante, pois uma mesma espécie pode apresentar variações de repertório. A faixa de frequência dos pulsos pode abranger vários quilohertz (kHz), mas a frequência dominante ocorre geralmente no intervalo entre 100 e 1.000 Hz (Ramcharitar et al. 2006). Os chamados relacionados a comportamentos de reprodução costumam atingir o pico durante as horas crepusculares ou noturnas (Ramcharitar et al. 2006), formando um coro, o que foi frequente em nossos dados, uma vez que parte dos sons foi amostrada entre o final da tarde e à noite. Um estudo preliminar realizado em outubro de 2019, com a mesma metodologia, obteve emissões com os mesmos padrões acústicos deste trabalho, o que nos leva a confirmar a produção de sons por Scienídeos, pois pescadas e corvinas, ambas pertencentes a esta família, compuseram a pesca do cerco-fixo, junto com tainhas (*Mugil liza*). Vale ressaltar que o som gravado em 2019 remeteu à corvina (*Micropogonias furnieri*), devido à comparação entre amostras visuais e acústicas. De acordo com Tellechea (com. pess.), as amostras apresentavam pulsos espaçados e trens de pulsos característicos de Sciaenidae.

Alguns estudos revelam que os peixes mudam seu comportamento vocal ao ouvir sons de predadores, ou então ao perceber sua presença (Lobel et al. 2010). Para reduzir a ameaça de predação, os animais fonadores podem modificar seu comportamento de sinalização, incluindo: redução do número de sinais, redução dos níveis de som, alternância de diferentes canais de sinalização ou interrupção completa da sinalização. A Região Estuarino Lagunar de Cananéia conta com uma população residente de botos-cinza (*Sotalia guianensis*), predadores de muitas espécies de peixes, incluindo Sciaenidae, Haemulidae e Mugilidae (Lopes et al. 2012). Estudos feitos por Luczkovich e colaboradores (2000) apontaram que o poleiro prateado (*Bairdiella chrysoura*), membro da família Sciaenidae, diminuiu a intensidade de seus sons ao ouvir assobios do golfinho nariz de garrafa (*Tursiops truncatus*), levantando a possibilidade que o mesmo comportamento pode ocorrer com as espécies estudadas aqui nesse trabalho. O ruído ambiente também pode afetar a comunicação sonora (Ladich, 2013), pois pode interferir na capacidade desses animais de discriminar sons à distância e, portanto, afetar o uso de um determinado tipo de som (Lindseth et al. 2018). O mascaramento também pode ocorrer quando o ruído afeta negativamente as habilidades auditivas. Com isso, o peixe pode tentar superar o ruído, modificando características de seus sons. Além disso, o animal pode buscar outros

canais de comunicação, como por exemplo, canais visuais ou químicos (Lindseth et al. 2018). Além desses fatores, existem vocalizações, de diversos contextos sociais, que manifestam diferenças interespecíficas (Fish e Mowbray 1970; Myrberg 1981; Saucier e Baltz 1993; Luczkovich et al. 1999; Fine et al. 2004), o que remete ao fato de uma espécie emitir mais de um tipo de som.

A distância de propagação do som dos peixes pode variar de alguns centímetros (por exemplo, gobies; Lugli & Fine, 2003) a alguns metros (por exemplo, peixes-sapo e donzela; Fine & Lenhardt, 1983; Myrberg Jr, Mohler & Catala, 1986; Alves, Amorim & Fonseca, 2016; varredor; Radford et al., 2015). Apesar de as espécies de Sciaenidae não estarem presentes no cerco-fixo, os peixes desta família são os produtores de sons mais ativos entre os teleósteos (Ramcharitar et al. 2006) e as exceções quanto à distância de propagação do som são justamente deles. Os Sciaenidae foram estimados como detectáveis de dezenas a algumas centenas de metros (Locascio & Mann, 2011; Parsons et al., 2012), em águas rasas, já que em águas mais profundas os sons se propagam em distâncias mais longas (Mann, 2006). Os cálculos da perda por transmissão (TL) e intensidade do sinal recebido (SL) confirmaram a presença de chamados de peixes teleósteos com origem dentro do cerco-fixo, porém há uma questão de ambiguidade nesse resultado, pelo fato da estrutura do cerco ser semicircular e o hidrofone estar posicionado à margem da estrutura. Consequentemente, a origem da fonte não é certa e não provém da armadilha de pesca. Para resolver a ambiguidade resultante, talvez seja necessário um desenho experimental com três hidrofones, em que uma triangulação procederá à localização da fonte sonora com maior precisão.

Muitas espécies de peixes produzem sons específicos (Amorim, 2006; Fine & Parmentier, 2015) que podem ser discriminados de outras fontes sonoras presentes em paisagens sonoras aquáticas, tais como de cetáceos e invertebrados. A diversidade da ictiofauna encontrada na Região Estuarino Lagunar de Cananéia possui grande potencial para a produção de sons. Assim, a detecção e descrição desse repertório pode trazer numerosas contribuições para o estudo da paisagem sonora estuarino/marinha, principalmente em um cenário onde os ecossistemas estão sujeitos a uma pressão antrópica crescente, causada pela sobrepesca e poluição marinha. Destaca-se ainda a importância comercial e econômica que a maioria das espécies de peixes da região proporcionam aos moradores e pescadores locais. O monitoramento passivo acústico (PAM) surge como uma ferramenta não invasiva à biota, de baixo custo e com avanços tecnológicos recorrentes que vem sendo usado cada vez mais para o estudo de som de peixes, bem como mostra-se eficaz para o suporte a pesquisas, conservação, manejo de espécies vocais, monitoramento de atividades antrópicas (Carriço et al. 2019; Borie et al. 2019), e também na investigação da estrutura de comunidade de peixes (Harris, Shears & Radford, 2015 ; McWilliam & Hawkins, 2013). Em um cenário no qual há escassez de informações sobre a produção de som por peixes, principalmente no seu ambiente natural, o PAM vem como uma boa alternativa para a identificação de repertórios acústicos e monitoramento dos peixes. Com a identificação de chamadas

produzidas por estes animais e a distinção de espécies, estudos em áreas protegidas e remotas, por exemplo, podem apresentar mais embasamentos para a manutenção e conservação do meio ambiente e da biodiversidade.

6. Conclusão

A Região Estuarina Lagunar de Cananéia contém ecossistemas com enorme potencial para atividades de pesquisa, como a bioacústica de peixes, uma vez que grande parte das espécies de teleósteos ainda não têm seu repertório acústico descrito. As pesquisas futuras devem se concentrar na coleta de dados ambientais simultâneos com análises acústicas e laboratoriais para complementar as descrições dos repertórios, uma vez que isso ajudaria a explicar a variabilidade na produção sonora dos peixes com relação às influências naturais e antropogênicas. É importante que as amostras de som sejam correlacionadas, a princípio, com amostras visuais, o que garantiria a atribuição de um suposto significado comunicativo às categorias acústicas a uma espécie particular. Estudos de monitoramento podem contribuir para avaliar a presença e abundância de peixes, para identificar épocas de desova de espécies de interesse comercial, conservacionista e científico. Vale ressaltar a importância da ferramenta acústica passiva para as pesquisas futuras com o intuito de identificar e caracterizar as espécies que ocorrem no local, avaliar os padrões sonoros espaciais e temporais desses animais, assim como padrões de movimentação dos cardumes de importância comercial.

7. Literatura Citada

- Alves, D., Amorim, M. C. P., & Fonseca, P. J. (2016). Assessing acoustic communication active space in the Lusitanian toadfish. *Journal of Experimental Biology*, 219(8), 1122-1129.
- Amorim, M. C. P. (2006). Diversity of sound production in fish. *Communication in fishes*, 1, 71-104.
- Amorim, P. M. Clara, Raquel O. Vasconcelos, and Paulo J. Fonseca. (2015). "Fish Sounds and Mate Choice." In *Sound Communication in Fishes*, ed. Friedrich Ladich. , 1–34.
- Bass AH, Ladich F. (2008) Vocal – Acoustic Communication: From Neurons to Behavior. Em: Webb JF, Fay RR, Popper AN (eds) *Fish Bioacoustics*. Springer Handbook of Auditory Research, vol 32. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73029-5_8
- Bertucci, F., J. Attia, M. Beauchaud, and N. Mathevon (2012). "Sounds Produced by the Cichlid Fish *Metriaclichia zebra* Allow Reliable Estimation of Size and Provide Information on Individual Identity." *Journal of Fish Biology* 80(4): 752–66.
- Bertucci, F., Ruppé, L., Van Wassenbergh, S., Compère, P., & Parmentier, E. (2014). New insights into the role of the pharyngeal jaw apparatus in the sound-producing mechanism of *Haemulon flavolineatum* (Haemulidae). *Journal of Experimental Biology*, 217(21), 3862-3869.

- Bolgan, M. et al. Fish biophony in a Mediterranean submarine canyon. (2020). The Journal of the Acoustical Society of America, 147 (4), 2466-2477.
- Bolgan, M., O'Brien, J., Rountree, R. A., & Gammell, M. (2016). Does the Arctic charr *Salvelinus alpinus* produce sounds in a captive setting?. *Journal of Fish Biology*, 89(3), 1857-1865.
- Borie, A., Hungria, D. B., Ali, H., Doria, C. R., Fine, M. L., & Travassos, P. E. (2019). Disturbance calls of five migratory Characiformes species and advertisement choruses in Amazon spawning sites. *Journal of fish biology*, 95(3), 820-832.
- Bradbury, J. W., & Vehrencamp, S. L. (1998). *Principles of Animal Communication*. Massachusetts: Sinauer.
- Brill, R. W. et al. 2008. "Acoustic Pressure and Particle Motion Thresholds in Six Sciaenid Fishes." *Journal of Experimental Biology* 211(9): 1504–11.
- Breder, C. V. (1967). Seasonal and diurnal occurrences of sound production in a small Florida bay. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* 138, 329-378
- Brill, R. W. et al. (2008). "Acoustic Pressure and Particle Motion Thresholds in Six Sciaenid Fishes." *Journal of Experimental Biology* 211(9): 1504–11.
- Burkenroad, Martin D. (1931) "Notes on the sound-producing marine fishes of Louisiana." *Copeia* 1931.1 : 20-28.
- Carriço, R., Silva, M. A., Menezes, G. M., Fonseca, P. J., & Amorim, M. C. P. (2019). Characterization of the acoustic community of vocal fishes in the Azores. *PeerJ*, 7, e7772..
- Chorus Acoustics. (2019). From sounds to ecosystems in changing oceans. Disponível em <http://chorusacoustics.com/> (acesso em 08 de julho de 2019).
- Colleye, O., Vandewalle, P., Lanterbecq, D., Lecchini, D., & Parmentier, E. (2011). Interspecific variation of calls in clownfishes: degree of similarity in closely related species. *BMC evolutionary biology*, 11(1), 365.
- Connaughton, M. A., Taylor, M. H., & Fine, M. L. (2000). Effects of fish size and temperature on weakfish disturbance calls: implications for the mechanism of sound generation. *Journal of Experimental Biology*, 203(9), 1503-1512.
- Connaughton, Martin A., and Malcolm H. Taylor. (1995). "Seasonal and daily cycles in sound production associated with spawning in the weakfish, *Cynoscion regalis*." *Environmental Biology of Fishes* 42.3. 233-240.
- Cunha-Lignon, M., Menghini, R. P., Santos, L. C. M., Niemeyer-Dinóla, C., & Schaeffer-Novelli, Y. (2009). Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9(1), 79-91.

- Desiderà, Elena, et al. (2019) "Acoustic fish communities: sound diversity of rocky habitats reflects fish species diversity." *Marine Ecology Progress Series* 608: 183-197.
- DOSITS. Discovery of Sounds in the Sea. Disponível em [https:// dosits.org/](https://dosits.org/) (acesso em 12 de outubro de 2019).
- Erbe, C., Verma, A., McCauley, R., Gavrilov, A., & Parnum, I. (2015). The marine soundscape of the Perth Canyon. *Progress in Oceanography*, 137, 38-51.
- Farina, A. (2014) *Soundscape Ecology*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Farina, A.; Gage, S. H. (2017). *Ecoacoustics The Ecological Role of Sounds*.
- Fine, M. L., Malloy, K. L., King, C., Mitchell, S. L., & Cameron, T. M. (2001). Movement and sound generation by the toadfish swimbladder. *Journal of comparative Physiology A*, 187(5), 371-379.
- Fine, M. L., & Lenhardt, M. L. (1983). Shallow-water propagation of the toadfish mating call. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 76(2), 225-231.
- Fine, M. L., & Parmentier, E. (2015). Mechanisms of fish sound production. In *Sound communication in fishes* (pp. 77-126). Springer, Vienna.
- Fine, M. L., & Waybright, T. D. (2015). Grunt variation in the oyster toadfish *Opsanus tau*: effect of size and sex. *PeerJ*, 3, e1330.
- Fine, Michael L., et al. (1997) "Pectoral spine locking and sound production in the channel catfish *Ictalurus punctatus*." *Copeia*: 777-790.
- Fine, Michael L., and Friedrich Ladich. (2003) "Sound production, spine locking and related adaptations." *Catfishes* 1: 249-290.
- Fine, Michael L., and Robert F. Thorson. (2008) "Use of passive acoustics for assessing behavioral interactions in individual toadfish." *Transactions of the American Fisheries Society* 137.2: 627-637.
- Fish, James F., and William C. Cummings. (1972) "A 50-dB increase in sustained ambient noise from fish (*Cynoscion xanthulus*)." *The Journal of the Acoustical Society of America* 52.4B: 1266-1270.
- Fish, Marie Poland, and William H. Mowbray. (1970). *Sounds of western North Atlantic fishes. A reference file of biological underwater sounds*. Rhode Island Univ. Kingston Narragansett Marine Lab.
- Fish, Marie Poland, Alton Stuart Kelsey, and William H. Mowbray. (1952) *Studies on the production of underwater sound by North Atlantic coastal fishes*. University of Rhode Island, Narragansett Marine Laboratory.
- Fish Base. (2019). World Wide Web electronic publication. Disponível em [http:// www. fishbase.org](http://www.fishbase.org) version (02/2019) (acesso em 15 de julho de 2019).

- Gasc, Amandine, et al. (2013) "Assessing biodiversity with sound: Do acoustic diversity indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities?." *Ecological Indicators* 25: 279-287.
- Ghahramani, Z. N., Mohajer, Y., & Fine, M. L. (2014). Developmental variation in sound production in water and air in the blue catfish *Ictalurus furcatus*. *Journal of Experimental Biology*, 217(23), 4244-4251.
- Gilmore, R. G. Jr. (2003). "Sound production and communication in the spotted seatrout". In *Biology of the spotted seatrout* Edited by: Bortone, S. 177–195. Boca Raton, Florida: CRC Press
- Harris, S. A., Shears, N. T., & Radford, C. A. (2016). Ecoacoustic indices as proxies for biodiversity on temperate reefs. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(6), 713-724.
- Holt, Daniel E., and Carol E. Johnston. (2011). "Can You Hear the Dinner Bell? Response of Cyprinid 11 Fishes to Environmental Acoustic Cues." *Animal Behaviour* 82(3): 529–34.
- Heyd, Andreas, and Wolfgang Pfeiffer. (2000) "Sound production in catfish (Siluroidei, Ostariophysi, Teleostei) and its relationship to phylogeny and fright reaction." *Revue Suisse de Zoologie* 107.1: 165-211.
- Heyman, W. D., & Kjerfve, B. (2008). Characterization of transient multi-species reef fish spawning aggregations at Gladden Spit, Belize. *Bulletin of marine science*, 83(3), 531-551.
- Instituto de Pesca de São Paulo. (2017). "Dados 2017." <http://www.propesq.pesca.sp.gov.br> (acesso em 20 de abril de 2018).
- John Ramcharitar, Damon P. Gannon & Arthur N. Popper (2006) Bioacoustics of Fishes of the Family Sciaenidae (Croakers and Drums), *Transactions of the American Fisheries Society*, 135: 5, 1409-1431, DOI: 10.1577 / T05-207.1.
- Kasumyan, A. O. (2008) "Sounds and sound production in fishes." *Journal of Ichthyology* 48.11: 981-1030.
- Kratochvil H. (1978). Der Bau des Lautapparates vom Knurrenden Gurami (*Trichopsis vittatus* Cuvier & Valenciennes) (Anabantidae, Belontiidae). *Zoomorphologie* 91: 91±99
- Kratochvil, H. (1985). Beiträge zur Lautbiologie der Anabantoidei—Bau Funktion und Entwicklung von lauterzeugenden Systemen. *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für allgemeine Zoologie und Physiologie der Tiere*, 89(2), 203-255.
- Ladich, F., Bischof, C., Schleinker, G., & Fuchs, A. (1992). Intra-and interspecific differences in agonistic vocalization in croaking gouramis (genus: *Trichopsis*, Anabantoidei, Teleostei). *Bioacoustics*, 4(2), 131-141.
- Ladich, F. (2013). Effects of noise on sound detection and acoustic communication in fishes. In *Animal communication and noise* (pp. 65-90). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Ladich, Friedrich. (2014). "Fish Bioacoustics." *Current Opinion in Neurobiology* 28: 121–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conb.2014.06.013>.
- Ladich, F., & Fine, M. L. (2006). Sound-generating mechanisms in fishes: a unique diversity in vertebrates. *Communication in fishes*, 1, 3-43.
- Ladich, F., Winkler, H. (2017). "Acoustic Communication in Terrestrial and Aquatic Vertebrates." *The Journal of Experimental Biology* 220(13).
- Lagardere, J. P., Ernande, B. (2004). Sounds recorded in salt marshes and attributed to the European eel. *Comptes rendus biologies*, 327(4), 353-359.
- Lindseth, Adelaide V., and Phillip S. Lobel. (2018) "Underwater soundscape monitoring and fish bioacoustics: a review." *Fishes* 3.3: 36.
- Lobel, P.S.; Rice, A.N.; Kaatz, I.M. (2010). Acoustic behavior of coral reef fishes. In *Reproduction and Sexuality in Marine Fishes: Patterns and Processes*; University of California Press: Berkeley, CA, USA; pp. 307–347. ISBN 978-0-520-26433-5.
- Locascio, J. V., & Mann, D. A. (2011). Diel and seasonal timing of sound production by black drum (*Pogonias cromis*). *Fishery Bulletin*, 109(3), 327-338.
- Lopes, Xênia Moreira, et al. (2012) "Feeding habits of Guiana dolphins, *Sotalia guianensis*, from south-eastern Brazil: new items and a knowledge review." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92.8: 1723-1733.
- Louzada, C. N. (2013). How do Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*), from the Cananéia estuary in State of São Paulo, use cerco-fixo fish traps in their fishing activities?. *Revista de Etologia*, 12(1-2), 18-24.
- Longrie, N., Van Wassenbergh, S., Vandewalle, P., Manguit, Q., & Parmentier, E. (2009). Potential mechanism of sound production in *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). *Journal of experimental biology*, 212(21), 3395-3402.
- Lugli, M.. (2010). "Sounds of Shallow Water Fishes Pitch within the Quiet Window of the Habitat Ambient Noise." *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 196(6): 439–51.
- Lugli, M., & Fine, M. L. (2003). Acoustic communication in two freshwater gobies: ambient noise and short-range propagation in shallow streams. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 114(1), 512-521.
- Luczkovich, Joseph J., et al. (1999). "Delimiting spawning areas of weakfish *Cynoscion regalis* (family Sciaenidae) in Pamlico Sound, North Carolina using passive hydroacoustic surveys." *Bioacoustics* 10.2-3: 143-160.

- Luczkovich, Joseph J., David A. Mann, and Rodney A. Rountree. (2008). "Passive acoustics as a tool in fisheries science." *Transactions of the American Fisheries Society* 137.2: 533-541.
- Luczkovich, J. J., Daniel III, H. J., Hutchinson, M., Jenkins, T., Johnson, S. E., Pullinger, R. C., & Sprague, M. W. (2000). Sounds of sex and death in the sea: bottlenose dolphin whistles suppress mating choruses of silver perch. *Bioacoustics*, 10(4), 323-334.
- Macaulay Library. (2019). The Cornell Lab of Ornithology. Disponível em <https://www.macaulaylibrary.org/> (acesso em 14 de outubro de 2019).
- Mann, D. A. (2006). Propagation of fish sounds. In F. Ladich, S. P. Collin, P. Moller, & B. G. Kapoor (Eds.), *Communication in fishes* (Vol. 1, pp. 107–120). Endfield, NH: Science Publishers.
- Mann, David A., and Phillip S. Lobel. (1995). "Passive acoustic detection of sounds produced by the damselfish, *Dascyllus albisella* (Pomacentridae)." *Bioacoustics* 6.3: 199-213.
- Maruska, K. P., K. S. Boyle, L. R. Dewan, and T. C. Tricas. (2007). "Sound Production and Spectral Hearing Sensitivity in the Hawaiian Sergeant Damselfish, *Abudefduf abdominalis*." *Journal of Experimental Biology* 210(22): 3990–4004.
- McFarland, W. N., & Hillis, Z. M. (1982). Observations on agonistic behavior between members of juvenile French and white grunts—family Haemulidae. *Bulletin of Marine Science*, 32(1), 255-268.
- McWilliam, J. N., & Hawkins, A. D. (2013). A comparison of inshore marine soundscapes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 446, 166-176.
- Mendonça, J. T. & Katsuragawa, M. (2001). "Caracterização Da Pesca Artesanal No Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil (1995-1996)." *Acta Scientiarum* 23(2): 535–47.
- Millot, S., Vandewalle, P., & Parmentier, E. (2011). Sound production in red-bellied piranhas (*Pygocentrus nattereri*, Kner): an acoustical, behavioural and morphofunctional study. *Journal of Experimental Biology*, 214(21), 3613-3618.
- Millot, M., Bertucci, F., Lecchini, D., Smeets, S., René-Trouillefou, M., & Parmentier, E. (2021). Characteristics of sound production and associated pharyngeal jaws in the tomtate grunt *Haemulon aurolineatum* (Cuvier, 1830) in Caribbean reefs. *Belgian Journal of Zoology*, 151.
- Moulton, J. M. (1958). The acoustical behavior of some fishes in the Bimini area. *The Biological Bulletin*, 114(3), 357-374.
- Myrberg, A. A. (1981). Sound communication and interception in fishes. In *Hearing and sound communication in fishes* (pp. 395-426). Springer, New York, NY.
- Myrberg Jr, A. A., Ha, S. J., & Shablott, M. J. (1993). The sounds of bicolor damselfish (*Pomacentrus partitus*): predictors of body size and a spectral basis for individual recognition and assessment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 94(6), 3067-3070.

- Myrberg Jr, A. A., Mohler, M., & Catala, J. D. (1986). Sound production by males of a coral reef fish (*Pomacentrus partitus*): its significance to females. *Animal Behaviour*, 34(3), 913-923.
- National Research Council (US). (2003) Ocean Noise and Marine Mammals. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Noda, Juan, Carlos Travieso, and David Sánchez-Rodríguez. (2016). "Automatic Taxonomic 12 Classification of Fish Based on Their Acoustic Signals." *Applied Sciences* 6(12): 443.
- Parmentier, E., Bouillac, G., Dragičević, B., Dulčić, J., & Fine, M. (2010). Call properties and morphology of the sound-producing organ in *Ophidion rochei* (Ophidiidae). *Journal of Experimental Biology*, 213(18), 3230-3236.
- Parmentier, Eric e Michael L. Fine. (2016) "Produção de som de peixes: percepções." *Produção de som e comunicação acústica de vertebrados* . Springer, Cham. 19-49.
- Parmentier, E., Tock, J., Falguière, J. C., & Beauchaud, M. (2014). Sound production in *Sciaenops ocellatus*: preliminary study for the development of acoustic cues in aquaculture. *Aquaculture*, 432, 204-211.
- Parsons, M. J., McCauley, R. D., Mackie, M. C., Siwabessy, P. J., & Duncan, A. J. (2012). In situ source levels of mullet (*Argyrosomus japonicus*) calls. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(5), 3559-3568.
- Pijanowski, B. C.; Farina, A.; et al. (2011) What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecology*, v. 26, n. 9, p. 1213–1232.
- Radasevsky, A.. (1976). "Considerações Sobre a Captura de Peixes Por Um Cerco Fixo Em Cananéia, São Paulo, Brasil." Instituto Oceanográfico, S. Paulo 25: 1–28.
- Radford, C. A., Ghazali, S., Jeffs, A. G., & Montgomery, J. C. (2015). Vocalisations of the bigeye *Pempheris adspersa*: characteristics, source level and active space. *Journal of Experimental Biology*, 218(6), 940-948.
- Ramcharitar, J., Gannon, D. P., & Popper, A. N. (2006). Bioacoustics of fishes of the family Sciaenidae (croakers and drums). *Transactions of the American Fisheries Society*, 135(5), 1409-1431.
- Rountree, Rodney A.; Bolgan, M.; Juanes, F. (2019). How can we understand freshwater soundscapes without fish sound descriptions?. *Fisheries*, 44 (3) : 137-143.
- Rountree, R. A., Juanes, F., Goudey, C. A., & Ekstrom, K. E. (2012). Is biological sound production important in the deep sea?. In *The effects of noise on aquatic life* (pp. 181-183). Springer, New York, NY.
- Saucier, M. H., Baltz, D. M. and Roumillat, W. A. (1992). Hydrophone identification of spawning sites of spotted seatrout *Cynoscion nebulosus* (Osteichthyes: Sciaenidae) near Charleston, South Carolina. *Northeast Gulf Science*, 12: 141–145

- Saucier, Michael H., and Donald M. Baltz. (1993). "Spawning site selection by spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*, and black drum, *Pogonias cromis*, in Louisiana." *Environmental biology of Fishes* 36.3: 257-272.
- Skoglund, C. R. (1961). Functional analysis of swim-bladder muscles engaged in sound production of the toadfish. *The Journal of Cell Biology*, 10(4), 187-200.
- Smith ME, Weller KK, Kynard B, Sato Y, Godinho AL. (2018). Mating calls of three prochilodontid fish species from Brazil. *Environmental biology of fishes*. Feb;101(2):327-39.
- Srivastava, P. N. (1957) "The Air Bladder of Mugilidae and the Relationship of the Oval and Pneumatic Duct." *Transactions of the American Microscopical Society*, vol. 76, no. 4, pp. 346–352. JSTOR, www.jstor.org/stable/3223767.
- Staaterman, E. et al. (2014). Celestial patterns in marine soundscapes. *Marine Ecology Progress Series*, v. 508, p. 17–32.
- Sueur, J., Farina, A., Gasc, A., Pieretti, N., & Pavoine, S. (2014). Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100(4), 772-781.
- Tavolga, WILLIAM N. (1977). "Mechanisms for directional hearing in the sea catfish (*Arius felis*)."
Journal of Experimental Biology 67.1: 97-115.
- Tellechea, Javier S., Carlos Martinez, Michael L. Fine, and Walter Norbis. (2010). "Sound Production in the Whitemouth Croaker and Relationship between Fish Size and Disturbance Call Characteristics." *Environmental Biology of Fishes* 89(2): 163–72.
- Tellechea, J. S., Teixeira-De-Mello, F., Gonzalez-Bergonzoni, I., & Vidal, N. (2013). Sound production in four species of the Loricariidae family. *Brazilian Journal of Biology*, 73(3), 679-680.
- Tessler, M. G., & Souza, L. A. P. D. (1998). Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 46(1), 69-83.
- The British Library. (2019). Disponível em [https:// sounds.bl.uk/ Environment/ Listen-to-Nature](https://sounds.bl.uk/Environment/Listen-to-Nature) (acesso em 6 de setembro de 2019).
- Tower, Ralph Winfred. (1908). "The production of sound in the drumfishes, the sea-robin and the toadfish." *Annals of the New York Academy of Sciences* 18.1 : 149-180.
- Tricas, T. C., S. M. Kajiura, and R. K. Kosaki. (2006). "Acoustic Communication in Territorial Butterflyfish: Test of the Sound Production Hypothesis." *Journal of Experimental Biology* 209(24): 4994–5004.
- Wahlberg, M., & Westerberg, H. (2003). Sounds produced by herring (*Clupea harengus*) bubble release. *Aquatic Living Resources*, 16(3), 271-275.

- Wall, C. C., Simard, P., Lembke, C., & Mann, D. A. (2013). Large-scale passive acoustic monitoring of fish sound production on the West Florida Shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 484, 173-188.
- Wall, C. C., Mann, D. A., Lembke, C., Taylor, C., He, R., & Kellison, T. (2017). Mapping the soundscape off the southeastern USA by using passive acoustic glider technology. *Marine and Coastal Fisheries*, 9(1), 23-37.
- Wang, Z et al. (2017). Diversity of fish sound types in the Pearl River Estuary, China. *PeerJ*, 5, e3924.
- Whytock, R. C., & Christie, J. (2017). Solo: an open source, customizable and inexpensive audio recorder for bioacoustic research. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(3), 308-312.
- Webb, J., Popper, A. N., Fay, M. (eds.). (2008). *Fish Bioacoustics*.
- Winn, H. E. (1964). "Marine bio-acoustics." *ed. Tavalga, WN Oxford: Pergamon*: 213-231.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista



PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APRESENTAÇÃO REMOTA

Discente: LUIZA ROSSATO PEREIRA

Título: "Identificação dos peixes teleósteos retidos em cercos de pesca artesanal em Ilha Comprida, SP, por meio de técnicas acústicas"

Orientador: Prof.Dr. Mario Manoel Rollo Junior

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Gerenciamento Costeiro

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Junior	Aprovado
Prof. Dr. Alfredo Leandro Borie Mojica	Aprovado

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que a discente **Luiza Rossato Pereira** obteve o seguinte conceito:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

São Vicente, 16 de julho de 2021.


Prof.Dr. Mario Manoel Rollo Junior
(Orientador)


Prof. Dr. Alfredo Leandro Borie Mojica