RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo será disponibilizado somente a partir de **25/09/2028**

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

Laís Caldas Pescarmona

Comunicação acústica em amborés Bathygobius soporator (Valenciennes 1837; Teleostei: Gobiidae: Gobiinae) no sudeste do Brasil

SÃO VICENTE - SP

2026

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

Laís Caldas Pescarmona

Comunicação acústica em amborés Bathygobius soporator (Valenciennes 1837; Teleostei: Gobiidae: Gobiinae) no sudeste do Brasil

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, para obtenção do título de Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros.

Área de Concentração: Biodiversidade

Orientador: Dr. Mario Manoel Rollo Junior

SÃO VICENTE - SP

2026

P473c

Pescarmona, Laís Caldas
Comunicação acústica em amborés Bathygobius soporator (Valenciennes 1837; Teleostei: Gobiidae: Gobiinae) no sudeste do Brasil / Laís Caldas Pescarmona. -- , 2026
108 f. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente,
Orientador: Mario Manoel Rollo Júnior

1. Bathygobius soporator. 2. Bioacústica de peixes. 3. Comportamento animal. 4. Ecoacústica. 5. Poças de maré. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE LAÍS CALDAS PESCARMONA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, DO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA.

Aos 25 de setembro de 2026, às 15h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de LAÍS CALDAS PESCARMONA, intitulada "Comunicação acústica em amborés *Bathygobius soporator* (Valenciennes 1837; Teleostei: Gobiidae: Gobiinae) no sudeste do Brasil". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. MARIO MANOEL ROLLO JUNIOR (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Ocean Science Consulting Limited, Prof. Dr. ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / UNESP / Câmpus do Litoral Paulista - IBCLP, Profa. Dra. TACYANA PEREIRA RIBEIRO DE OLIVEIRA (Participação Virtual) do(a) UEPB / Universidade Estadual da Paraíba, Prof. Dr. ALFREDO LEANDRO BORIE MOJICA (Participação Virtual) do(a) UFAL / Universidade Federal de Alagoas, Profa. Dra. URSULLA PEREIRA SOUZA (Participação Virtual) do(a) UNISANTA / Universidade Santa Cecília, Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

gov.br
Documento assinado digitalmente
MARIO MANOEL ROLLO JUNIOR
Data: 30/09/2026 12:13:55-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. MARIO MANOEL ROLLO JUNIOR

A Deus e à minha mãe, que sempre acompanharam a minha jornada.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por estar sempre iluminando meus caminhos. À minha mãe e à minha avó, por acompanharem e apoiarem minha jornada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Com grande carinho ao meu orientador, Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Jr., que considero um amigo para vida e que mesmo longe me orientou com muita destreza.

Ao Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia Aquática (LECTA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus do Litoral Paulista (CLP), por disponibilizar as instalações e os equipamentos para os experimentos nos aquários. Estendemos nossos agradecimentos especiais ao Prof. Rafael Mendonça pela assistência inestimável na montagem dos tanques experimentais.

Aos meus amigos que conheci em São Vicente e me ajudaram nas pesquisas: Agatha Manzi, Bruno Paes, Felipe Santana, Felipe Vaz, Guilherme Panizza, João Castro, Thomas Vidal e Vinicius Bispo.

Aos meus amigos de longe que deixei em São José do Rio Preto, em especial Beatriz Oliveira, Guilherme Amaro, Wellinton Frisoni, Gabriel do Vale, Gustavo Cormineiro e Ronan Teixeira, pelas conversas e amizade que tivemos durante todos esses anos. Ao meu amigo João Calis, que na loucura da minha mudança de cidade nos levou em um carro alugado com todas as tralhas.

Ao Prof. Dr. Francisco Langeani Netto e à Profa. Dra. Mônica Galindo, que me orientaram no início da minha vida acadêmica. Parte da profissional que sou hoje foi graças ao tempo que dedicaram à minha formação.

Expresso também minha gratidão à Dra. Maria Clara P. Amorim e ao Dr. Manuel Vieira pela hospitalidade e orientação durante o período de pesquisa em Portugal, onde compartilharam sua experiência em técnicas de análise acústica.

Ao Dr. Hin-Kiu Mok por compartilhar generosamente seu tempo e conhecimento para discutir e explicar os experimentos que realizou com *Gobiosoma bosc* em 1981. Suas contribuições foram fundamentais para uma compreensão mais profunda das bases históricas desta área de estudo.

Agradeço o Dr. Arthur N. Popper e o Dr. David A. Mann, que compartilharam suas experiências com o Dr. Tavolga, um profissional que inspirou gerações de pesquisadores, incluindo os autores deste estudo.

"O mar está cheio de maravilhas que apenas os que se dispõem a mergulhar nele podem conhecer."

Rachel Carson

Sumário

RESUMO 12

ABSTRACT 14

INTRODUÇÃO GERAL 16

OBJETIVOS 22

Objetivo geral 22

Objetivos específicos 22

METODOLOGIA DAS COLETAS E MANUTENÇÃO DOS INDIVÍDUOS EM LABORATÓRIO 23

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 26

CAPÍTULO I. AGONISTIC SOUND PRODUCTION BY THE FRILLFIN GOBY (*BATHYGOBIUS SOPORATOR*) FROM SOUTHEASTERN BRAZIL 32

Abstract 33

Introduction 34

Materials and Methods 36

Specimen collection 36

Aquarium setup 37

Recordings and Statistical Analysis 38

Ethics Committee 39

Results 39

Behavioural Observations 39

Acoustic analysis 40

Discussion 41

Conclusion 43

Acknowledgements 44

Funding 44

References 45

CAPÍTULO II. COURTSHIP ACOUSTIC SIGNALLING IN THE FRILLFIN GOBY (*BATHYGOBIUS SOPORATOR*): TEMPORAL ORGANISATION OF PULSE-BASED VOCALIZATION 57

Acknowledgements 58

Funding **58**

Abstract **59**

Introduction **60**

Materials and Methods **62**
Collection 62
Laboratory Housing and Experimental Setup 62
Acoustic Recordings 62
Signal Processing and Statistical Analysis 63
Preparation of a table on acoustics in the Gobiidae family 64
Ethics Committee 64

Results **64**
Behavioural Observations 64
Acoustic Analysis 65

Discussion **66**

Conclusions **67**

Data availability **68**

References **69**

CAPÍTULO III. TEMPORAL VARIATION IN THE SOUNDSCAPE OF AN INTERTIDAL TIDE POOL IN SOUTHEASTERN BRAZIL **81**

Abstract **82**

Introduction **83**

Materials and Methods **84**
Study Area 84
Acoustic Recording Collection 85
Data Processing and Statistical Analyses 86
Environmental Conditions 87

Results **87**

Discussion **89**

Conclusions **93**

Acknowledgments **94**

Funding **94**

References **95**

CONCLUSÃO GERAL **106**

TABELAS

CAPÍTULO I. AGONISTIC SOUND PRODUCTION BY THE FRILLFIN GOBY (*BATHYGOBIUS SOPORATOR*) FROM SOUTHEASTERN BRAZIL 32

TABLE 1. Acoustic characteristics of "Pulse train" and "Single Pulse" sounds produced by male Bathygobius soporator during agonistic interactions…….. 51

TABLE 2. Documented production of agonistic sounds in gobiid species. Species are listed alphabetically within subfamilies. For each case, the described sound type, duration (ms), and frequency range (Hz) are reported based on published literature. 52

CAPÍTULO II. COURTSHIP ACOUSTIC SIGNALLING IN THE FRILLFIN GOBY (*BATHYGOBIUS SOPORATOR*): TEMPORAL ORGANISATION OF PULSE-BASED VOCALIZATION 57

TABLE 1. Documented production of sounds in gobiid species. Species are listed alphabetically within subfamilies. For each case, the described sound type, duration (ms), and frequency range (Hz) are reported based on published literature. Data extracted from FishSounds.net. 75

TABLE 2. Acoustic characteristics of "Pulse train" and "Single Pulse" sounds produced by male Bathygobius soporator during courtship interactions. 77

CAPÍTULO III. TEMPORAL VARIATION IN THE SOUNDSCAPE OF AN INTERTIDAL TIDE POOL IN SOUTHEASTERN BRAZIL 81

TABLE 1. Climatic data for the sampling days obtained from the Windfinder website. 87

FIGURAS

FIGURA 1. a) visão lateral esquerda in vitro do macho Bathygobius soporator, com 86 mm comprimento padrão (CP); b) visão latero-frontal esquerda in vivo do macho B. soporator com 114 mm comprimento total (CT). c) três indivíduos de Bathygobius soporator in loco, em uma poça de maré na Ilha Porchat, São Vicente, SP. 19

FIGURA 2. Representação esquemática de uma armadilha do tipo covo confeccionada com garrafa PET, ilustrando a disposição da isca e de um gobiídeo hipotético em seu interior. Imagem gerada com auxílio de inteligência artificial. 23

FIGURA 3. Características morfológicas das papilas urogenitais de machos e fêmeas de Bathygobius soporator. As imagens superiores apresentam vistas ventrais de um macho (à esquerda) e de uma fêmea (à direita), evidenciando diferenças no tamanho e na coloração das papilas urogenitais. As imagens inferiores destacam a proeminência da papila urogenital do macho, em vista lateral (seta amarela), e a papila urogenital da fêmea, em vista ventral (seta vermelha). Fonte: Adaptado de Tavolga (1954), com auxílio de inteligência artificial. 24

Figura 4. Representação esquemática do aquário experimental utilizado para o registro das interações comportamentais e das emissões acústicas de Bathygobius soporator em laboratório. Imagem gerada com auxílio de inteligência artificial. 25

CAPÍTULO I. AGONISTIC SOUND PRODUCTION BY THE FRILLFIN GOBY (*BATHYGOBIUS SOPORATOR*) FROM SOUTHEASTERN BRAZIL 32

FIGURE 1. Oscillogram illustrating the temporal structure of the acoustic signals: (a) pulse interval (or pulse period), measured from the peak of one pulse to the peak of the subsequent pulse; (b) pulse duration, measured from the onset to the offset of the signal; (c) interval interpulse. 53

FIGURE 2. Visual behaviours displayed by male Bathygobius soporator during agonistic interactions. A) Frontal display phase with accompanying colour change. B) Lateral display with body quiver; the male positions itself beside the opponent. C) Nest quiver display, with the male inside the nest, exposing only the head. 53

FIGURE 3. Spectrogram, and oscillogram of a pulses train burst produced by a male Bathygobius soporator. The pulse train consists of 25 pulses of duration 1552.1 ms. Filter bandwidth: 48 kHz; FFT size: 512 points; 75%-time overlap; Hamming window. 54

FIGURE 4. Spectrogram, and oscillogram of a single pulses produced by a male Bathygobius soporator. Sampling rate: 48 kHz; FFT size: 512 points; 75.0%-time overlap, Hamming window. 55

FIGURE 5. Spectrogram, and oscillogram of a double pulses produced by a male Bathygobius soporator. The doble pulses comprises over a duration of 109.7 ms. Sampling rate: 48 kHz; FFT size: 512 points; 75.0%-time overlap; Hamming window. 56

FIGURE 6. Violin plots and boxplots of acoustic parameters for sound type double pulse and pulse of train. The plots illustrate Interval period interpulse (s). 56

CAPÍTULO II. COURTSHIP ACOUSTIC SIGNALLING IN THE FRILLFIN GOBY (*BATHYGOBIUS SOPORATOR*): TEMPORAL ORGANISATION OF PULSE-BASED VOCALIZATION 57

Fig 1 Oscillogram illustrating the temporal structure of the acoustic signals: (a) pulse interval (or pulse period), measured from the peak of one pulse to the peak of the subsequent pulse; (b) pulse duration, measured from the onset to the offset of the signal. 78

Fig 2 Visual behaviours displayed by male Bathygobius soporator during courtship: (A) approach phase, characterized by a distinct colour change in the male; and (B) overlapping phase with the female. Blue arrows indicate the male, whereas red arrows indicate the female. 78

Fig 3 Spectrogram, and oscillogram of a "pulse train" produced by a male Bathygobius soporator. Settings: Sampling rate 48 kHz; FFT size 512 points; 60%-time overlap; Hamming window 79

Fig 4 Spectrogram, and oscillogram of a "double pulse" produced by a male Bathygobius soporator. Settings: Sampling rate 48 kHz; FFT size 512 points; 60%-time overlap; Hamming window. 79

Fig 5 Comparison of pulse duration between isolated single pulses and pulses occurring within pulse trains. 80

Fig 6 Comparison of sequence duration between double pulses and pulse trains, illustrating differences in temporal organisation among multi-pulse vocalisations. 80

CAPÍTULO III. TEMPORAL VARIATION IN THE SOUNDSCAPE OF AN INTERTIDAL TIDE POOL IN SOUTHEASTERN BRAZIL 81

Fig. 1. Representative map of the acoustic monitoring site, Ilha Porchat, São Vicente, São Paulo. 100

Fig. 2. Photo taken during acoustic monitoring of the tide pool. Source: João Vitor de Castro. 100

Fig. 3. Satellite image obtained from Google Earth showing the study area, with the red arrow indicating the location where acoustic sampling was conducted. Image acquired on 20 June 2025. 101

Fig. 4. Image of the tide pool selected for acoustic sampling. Image acquired on 22 April 2024 at 09:30: a.m. 101

Fig. 5. Number of acoustic events recorded per species per hour. 102

Fig. 6. Spectrograms (above) and oscillograms (below) of sounds produced by Perna perna: (a) isolated snap, FFT size 128 points; 70%-time overlap; (b) snap sequence, FFT size 256 points;

40%-time overlap; and (c) cough, FFT size 256 points; 40%-time overlap. Settings: Sampling rate 48 kHz; Hamming window..... 102

Fig. 7. Spectrograms (above) and oscillograms (below) of sounds produced by invertebrates: (a) cf. Cirripedia snap, FFT size 64 points; 70%-time overlap; (b) cf. Clibanarius sp. snap, FFT size 128 points; 40%-time overlap. Settings:Sampling rate 48 kHz, Hamming window. 103

Fig. 8. Spectrograms (above) and oscillograms (below) of single pulse produced by Abudefduf saxatilis. Settings: Sampling rate 48 kHz; FFT size 512 points; 60%-time overlap; Hamming window. 103

Fig. 9. Spectrograms (above) and oscillograms (below) of sounds produced by fish. Bathygobius soporator: (a) single pulse, (b) double pulse, and (c) pulse train. Sampling rate 48 kHz; FFT size 512 points; 60%-time overlap; Hamming window..... 104

Fig. 10. Number of acoustic signal types recorded for the species analysed. Abbreviations: Double, double pulse; Single, single pulse; Ptrain, pulses within train; Train, pulse train; Seqsnap, snap sequence. 104

Fig. 11. Distribution of peak frequency by species and number of acoustic events recorded. 105

Fig. 12. Anthropogenic sounds recorded in the tide pool. (a) The yellow rectangle highlights the anthropogenic sound produced by a jet ski engine. (b) The red rectangle highlights anthropogenic sound associated with human conversation. Settings: Sampling rate 48 kHz; FFT size 512 points; 60%-time overlap; Hamming window. 105

Resumo

Bathygobius soporator (amboré) é um gobiídeo bentônico, não migratório e associado ao substrato, amplamente distribuído pelo Oceano Atlântico e frequentemente encontrado em poças rochosas da zona entremarés. Embora tenha sido a primeira espécie da família Gobiidae cuja produção sonora durante a corte foi formalmente descrita, seu repertório acústico e as funções de suas vocalizações ainda são parcialmente conhecidos. Neste estudo, foram integradas abordagens experimentais e de campo com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre a comunicação acústica de *B. soporator* em populações brasileiras e investigar sua contribuição para a paisagem sonora de poças de maré no sudeste do Brasil. Em laboratório, a produção sonora foi investigada em contextos de corte e de interações agonísticas, mediante registros hidroacústicos associados a observações comportamentais. Nos experimentos de corte, envolvendo seis machos e quatro fêmeas, foram registradas 224 emissões acústicas produzidas pelos machos, distribuídas em 204 pulsos simples, 14 pulsos duplos e seis trens de pulsos. Os pulsos simples predominaram e foram registrados em todos os machos, enquanto os pulsos duplos ocorreram em cinco indivíduos e os trens de pulsos em apenas dois. A ausência de diferenças significativas entre a duração dos pulsos isolados e daqueles que compõem os trens sustenta a interpretação do pulso como unidade acústica elementar, a partir da qual se estruturam padrões temporais mais complexos. Os pulsos duplos, documentados pela primeira vez para a espécie, constituem uma organização temporal intermediária entre pulsos isolados e trens de pulsos. Adicionalmente, diferenças na organização temporal dos trens em comparação com as descrições originais realizadas na Flórida sugerem a possibilidade de variação geográfica na sinalização acústica durante a corte. Nos experimentos envolvendo interações agonísticas entre oito machos, foram registrados 121 sinais acústicos durante encontros diádicos, incluindo 109 pulsos simples, nove pulsos duplos e três trens de pulsos. Os pulsos simples apresentaram duração média de 8,6 ms, os pulsos duplos de 167 ms e os trens de pulsos alcançaram 1.552,1 ms. Esses resultados constituem a primeira caracterização da produção sonora agonística de *B. soporator* e demonstram que sua comunicação acústica não se restringe ao contexto reprodutivo. Para investigar a ocorrência desses sinais em condições naturais, foi realizado o monitoramento da paisagem acústica de poças de maré na Ilha Porchat, em São Vicente (SP). As gravações foram realizadas durante a maré baixa, em sessões mensais de uma hora, ao longo de seis meses de amostragem distribuídos entre março de 2024 e maio de 2025, utilizando um hidrofone Aquarian H1a conectado a um gravador Tascam DR-40X. Foram identificadas emissões atribuídas a seis espécies ou grupos de organismos soníferos, incluindo

o mexilhão *Perna perna*, o ermitão *Clibanarius sp.*, cracas (Cirripedia) e os peixes *Abudefduf saxatilis* e *B. soporator.* Para esta última espécie, foram identificados sinais classificados como pulsos simples, pulsos duplos e trens de pulsos, evidenciando sua contribuição expressiva para a paisagem acústica local. A composição sonora variou entre os períodos amostrais, com predominância de emissões atribuídas aos invertebrados e a *B. soporator.* Em conjunto, os resultados ampliam substancialmente o conhecimento sobre o repertório acústico de *B. soporator*, demonstram a utilização de sinais sonoros em diferentes contextos comportamentais e evidenciam sua participação na paisagem sonora de ambientes intermareais. A integração entre bioacústica comportamental e ecologia da paisagem acústica ressalta, ainda, o potencial dos registros sonoros como ferramentas para investigar a comunicação animal, possíveis variações geográficas na sinalização acústica, a estrutura das comunidades e a diversidade faunística, além de subsidiar o monitoramento ambiental de ecossistemas costeiros nos quais a observação visual é frequentemente limitada.

Palavras-chave: comunicação acústica, poça de maré, produção de som pulso, trem de pulsos.

Abstract

Bathygobius soporator (frillfin goby) is a benthic, non-migratory, substrate-associated gobiid widely distributed throughout the Atlantic Ocean and commonly found in rocky intertidal pools. Although it was the first species within the family Gobiidae for which sound production during courtship was formally described, its acoustic repertoire and the functions of its vocalisations remain incompletely understood. This study combined experimental and field approaches to advance our understanding of acoustic communication in Brazilian populations of *B. soporator* and investigate its contribution to the soundscape of intertidal pools in southeastern Brazil. In the laboratory, sound production was investigated during courtship and agonistic interactions through hydroacoustic recordings coupled with behavioural observations. Courtship experiments involving six males and four females yielded 224 acoustic signals produced by males, comprising 204 single pulses, 14 double pulses and six pulse trains. Single pulses predominated and were recorded in all males, whereas double pulses occurred in five individuals and pulse trains in only two. The absence of significant differences in duration between isolated pulses and those occurring within trains supports the interpretation of the pulse as the fundamental acoustic unit from which more complex temporal patterns are structured. Double pulses, documented for the first time in this species, constitute an intermediate temporal arrangement between isolated pulses and pulse trains. Furthermore, differences in the temporal organisation of pulse trains compared with the original descriptions from Florida suggest potential geographical variation in acoustic signalling during courtship. In experiments involving agonistic interactions among eight males, 121 acoustic signals were recorded during dyadic encounters, including 109 single pulses, nine double pulses and three pulse trains. Single pulses had a mean duration of 8.6 ms, double pulses 167 ms, and pulse trains reached 1,552.1 ms. These findings provide the first characterisation of agonistic sound production in *B. soporator* and demonstrate that its acoustic communication is not restricted to reproductive behaviour. To investigate the occurrence of these signals under natural conditions, the soundscape of intertidal pools at Ilha Porchat, São Vicente, São Paulo, Brazil, was monitored. Recordings were conducted at low tide during monthly one-hour sessions over six sampling months between March 2024 and May 2025, using an Aquarian H1a hydrophone connected to a Tascam DR-40X recorder. Acoustic emissions attributable to six soniferous species or groups were identified, including the mussel *Perna perna*, the hermit crab *Clibanarius sp*., barnacles (Cirripedia), and the fishes *Abudefduf saxatilis* and *B. soporator.* For the latter species, signals classified as single pulses, double pulses and pulse trains were identified, highlighting its

substantial contribution to the local soundscape. Soundscape composition varied among sampling periods, with emissions attributed to invertebrates and *B. soporator* predominating. Collectively, these findings substantially expand current knowledge of the acoustic repertoire of *B. soporator,* demonstrate the use of acoustic signals across different behavioural contexts, and provide evidence of its contribution to the natural soundscape of intertidal environments. By integrating behavioural bioacoustics with soundscape ecology, this study further highlights the potential of acoustic recordings as tools for investigating animal communication, possible geographical variation in acoustic signalling, community structure and faunal diversity, as well as supporting environmental monitoring in coastal ecosystems where visual observations are often limited.

Key-words: acoustic communication, pulse, pulse train, sound production, tide pool.

Introdução Geral

A Bioacústica é uma área interdisciplinar, historicamente associada à Etologia, dedicada ao estudo da produção e recepção de sons pelos animais. Por meio de métodos predominantemente não invasivos e do emprego crescente de tecnologias de gravação e análise acústica, frequentemente inovadoras, essa disciplina permite investigar diferentes aspectos do comportamento, da ecologia e da comunicação animal (Pavan, 2008; Kent *et al.*, 2021). Os sons desempenham funções fundamentais em diversos contextos comportamentais, incluindo reconhecimento e comunicação social, ecolocalização, reprodução e defesa territorial (Bradbury & Vehrencamp, 1998; Browning *et al.*, 2017).

A eficácia da comunicação acústica está relacionada a atributos fenotípicos dos indivíduos emissores (tamanho, idade, peso, período reprodutivo, entre outros) e características acústicas intrínsecas tais como frequência dominante, intensidade, duração, taxa de chamados e número de pulsos (Gerhardt, 1998; Aguiar & Prezoto, 2019). Para que essas informações sejam percebidas, os receptores devem possuir sistemas sensoriais capazes de detectar e processar a energia acústica dentro de faixas de frequência e intensidade biologicamente relevantes (Au & Hastings, 2008). Além disso, a propagação de sons apresenta características físicas distintas nos meios sólidos, líquidos e gasosos, em função de propriedades físicas como velocidade do som, impedância acústica, atenuação. No ambiente aquático, essas propriedades favorecem a propagação da energia acústica e tornam o som um importante meio de obtenção e transmissão de informações (Au & Hastings, 2008; Farina, 2014; Ladich & Winkler, 2017).

Entre os vertebrados aquáticos, os peixes apresentam uma grande diversidade de mecanismos de produção de sons, muitos dos quais estão associados à comunicação em contextos reprodutivos, agonísticos e sociais (Myrberg & Lugli, 2006; Parmentier *et al.*, 2013; Ladich, 2014; Ladich & Winkler, 2017; Ladich, 2018). Contudo, mecanismos especializados de produção sonora estão ausentes em numerosos grupos. A capacidade de detectar estímulos acústicos, por outro lado, é amplamente distribuída entre os peixes e permite a obtenção de informações provenientes tanto de fontes bióticas ou abióticas do ambiente, independentemente da capacidade da própria espécie de produzir sinais acústicos especializados (Ladich, 2013; Parmentier *et al.*, 2013; Ladich, 2014).

A produção sonora encontra-se amplamente distribuída entre os Actinopterygii, com registros em espécies pertencentes a pelo menos 172 famílias (Rice *et al.*, 2022). Apesar dessa ampla distribuição filogenética, o conhecimento sobre a diversidade acústica dos peixes permanece limitado. Em um inventário global, Looby *et al.* (2022) compilaram registros

acústicos para 1061 espécies, considerando tanto sons produzidos ativamente por mecanismos especializados quanto sons passivos decorrentes de outras atividades, como alimentação e locomoção. Entre as espécies inventariadas, 989 apresentaram registros de produção sonora ativa e 213 de produção sonora passiva, categorias que não são mutuamente exclusivas. Considerando a elevada diversidade taxonômica dos Actinopterygii, com aproximadamente 35.600 espécies descritas (Fricke, Eschmeyer & Fong, 2025), apenas uma pequena parcela da diversidade existente foi investigada quanto à produção sonora. Estima-se que aproximadamente 4% das espécies de peixes tenham sido examinadas sob essa perspectiva (Looby *et al.*, 2022, 2023). A distribuição geográfica desse conhecimento também é desigual: o Atlântico Centro-Ocidental apresentou o maior número registrado de espécies ativamente soníferas (274 espécies), seguido pelo Pacífico Centro-Oriental (229 espécies) (Looby *et al.*, 2022). Esses dados evidenciam importantes lacunas no conhecimento sobre a diversidade acústica dos peixes, decorrentes, entre outros fatores, dos desafios metodológicos inerentes à identificação, gravação e atribuição de sons a organismos aquáticos (Looby *et al.*, 2023)

Entre os grupos de teleósteos nos quais a comunicação acústica tem sido mais investigada destacam-se os gobiídeos. A família Gobiidae compreende numerosas espécies capazes de produzir sinais acústicos, particularmente em contextos reprodutivos, como corte e acasalamento; e agonísticos, como competição e defesa territorial (Horvatić e*t al.*, 2019, Horvatić e*t al.*, 2021). A diversidade estrutural desses sinais e sua associação com diferentes contextos comportamentais tornam os gobiídeos um grupo particularmente relevante para o estudo da evolução e das funções da comunicação acústica em peixes.

O repertório acústico dos gobiídeos pode compreender diferentes tipos de sinais (Lugli *et al.*, 1997; Malavasi *et al.*, 2008), cuja ocorrência e organização variam entre espécies e contextos comportamentais (Malavasi *et al.*, 2008; Amorim & Neves, 2007, 2008; Bolgan *et al.*, 2013). Sons pulsados, constituídos por pulsos discretos organizados em sequências ou trens, estão entre os sinais mais frequentemente descritos e podem ocorrer tanto durante interações agonísticas quanto reprodutivas (Lugli *et al.*, 1997; Malavasi *et al.*, 2008; Bolgan *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2013). A organização temporal desses sinais, incluindo o número, a duração e a taxa de repetição dos pulsos, pode variar de acordo com o contexto em que são produzidos (Lugli *et al.*, 1997; Malavasi *et al.*, 2008; Bolgan *et al.*, 2013).

Em algumas espécies, taxas elevadas e regulares de repetição dos pulsos resultam em sinais com estrutura espectral aproximadamente tonal (Lugli *et al.*, 1997; Malavasi *et al.*; 2008), particularmente associados ao cortejo e ao acasalamento (Horvatić *et al.*, 2019). Também são descritos sinais de baixa frequência constituídos por batidas isoladas ou organizadas em

sequências (Amorim & Neves, 2007, 2008), além de sinais mais complexos nos quais diferentes componentes acústicos são combinados em uma mesma emissão (Lugli *et al.*, 1995; Lugli *et al.*, 1997; Horvatić *et al.*, 2019). Embora menos frequentemente relatados, esses sinais complexos têm sido registrados em ambos os contextos (Lugli *et al.*, 1995; Sebastianutto *et al.*, 2008). Em conjunto, essa diversidade demonstra que a comunicação acústica dos gobiídeos apresenta considerável variação interespecífica e contextual, tanto na estrutura dos sinais quanto nas funções comportamentais às quais estão associados (Lugli *et. al.*, 1997; Amorim & Neves, 2007, 2008; Malavasi *et al.*, 2008; Bolgan *et. al.*, 2013; Pereira *et. al.*, 2013; Horvatić e*t. al.*, 2019).

O mecanismo de produção de sons na maioria das espécies da família é desconhecido. Em algumas delas, como por exemplo *Odontobutis obscura*, os sons são produzidos pela fricção dos dentes das mandíbulas faríngeas superior e inferior (Takemura, 1984). Parmentier *et al.* (2013) sugeriram que a contração do músculo elevador peitoral é usada para produzir sons em *Gobius paganellus*, reforçando a hipótese anteriormente enunciada por Lugli *et al.* (1996). Já Tavolga (1958), com referência a *Bathygobius soporator* e Stadler (2002), com *B. curacao,* propuseram a hipótese de que os sons produzidos por essas espécies ocorreriam por meio da ejeção forçada de água através da abertura branquial.

Da mesma forma, ainda são escassos os estudos sobre a capacidade de detecção sonora em Gobiidae, tanto em espécies que produzem sons quanto naquelas cuja produção sonora não foi documentada. Amorim et al. (2018), ao investigarem a audição de *Pomatoschistus pictus* e *P. marmoratus*, observaram que a faixa de maior sensibilidade auditiva, entre 100 e 300 Hz, correspondia às frequências de pico dos sinais acústicos produzidos por ambas as espécies, com redução gradual da sensibilidade em frequências mais elevadas, até 1.000 Hz. Padrão semelhante foi descrito para *Gobius cruentatus* (Codarin *et al.*, 2009) e *Gobius melanostomus* (Zeyl *et al.*, 2013), que apresentaram maior sensibilidade auditiva em frequências inferiores a 300 Hz, coincidentes com as principais frequências dos sons produzidos por indivíduos coespecíficos.Entre os gobiídeos cuja comunicação acústica foi historicamente investigada encontra-se *Bathygobius soporator* Valenciennes (1837), espécie popularmente conhecida no sudeste do Brasil como amboré (Figura 1). Trata-se de um peixe demersal associado principalmente a ambientes costeiros tropicais e subtropicais do Atlântico, incluindo ambientes como manguezais, estuários, rios (Fanta, 1997), recifes e costões rochosos e, particularmente, poças de maré. A espécie apresenta ampla distribuição geográfica e ocorre também em ilhas oceânicas, estando adaptada a ambientes sujeitos a acentuadas variações de salinidade,

temperatura, concentração de oxigênio dissolvido e turbidez (Tavolga, 1958; Miller, 1990; Fanta, 1997; Rantin *et al.*, 1998; Lima *et al.*, 2005; Galindo & Moreira, 2009).



FIGURA 1. a) visão lateral esquerda in vitro do macho *Bathygobius soporator*, com 86 mm comprimento padrão (CP); b) visão latero-frontal esquerda in vivo do macho *B. soporator* com 114 mm comprimento total (CT). c) três indivíduos de *Bathygobius soporator* in loco, em uma poça de maré na Ilha Porchat, São Vicente, SP.

Bathygobius soporator integra as teias tróficas dos ambientes costeiros nos quais ocorre, ocupando diferentes posições ao longo de seu desenvolvimento. Indivíduos juvenis podem consumir predominantemente organismos planctônicos (Emmanuel & Ajibola, 2010), enquanto adultos apresentam dieta principalmente onívora oportunista, composta por algas (Barrilli *et al.*, 2021), crustáceos, pequenos peixes (Pereira *et al*., 2017), insetos, bivalves e gastrópodes, além da ingestão ocasional de detritos (Lopes & Oliveira-Silva, 1997). O caráter oportunista de sua alimentação ocorre por conta da ingestão de presas mais abundantes na localidade (Lopes & Oliveira-Silva, 1997).

A espécie, por sua vez, constitui recurso alimentar para diferentes predadores, contribuindo para a transferência de energia entre níveis tróficos nos ecossistemas costeiros (De Sylva, 1975; Emmanuel & Ajibola, 2010; Pereira *et al*., 2017). Amborés também são utilizados como iscas

para a captura de peixes comercialmente importantes no Brasil, como o robalo e o linguado, podendo até ser consumidos por comunidades costeiras (Emmanuel & Ajibola, 2010).

Segundo Barrilli *et al.* (2021), *Bathygobius soporator* apresenta desenvolvimento relativamente rápido, com a primeira maturação sexual ocorrendo antes do primeiro ano de vida e a maturidade completa sendo atingida em menos de cinco anos. Os autores também observaram diferenças na alocação energética entre os sexos, com os machos tendendo a direcionar maior quantidade de energia para o crescimento, o que resulta em indivíduos maiores em comparação às fêmeas. Além disso, o desenvolvimento gonadal está relacionado a fatores ambientais, particularmente o fotoperíodo e a temperatura, indicando a influência dessas variáveis sobre os processos reprodutivos da espécie.

Fanta (1997) demonstrou que a temperatura e a salinidade exercem influência significativa sobre a frequência e a intensidade dos comportamentos de *B. soporator*, podendo apresentar efeitos mais pronunciados do que aqueles associados ao ritmo circadiano. Em condições de temperaturas elevadas, especialmente durante o período da tarde, os indivíduos reduzem sua atividade natatória e permanecem mais frequentemente no interior de seus abrigos. A salinidade, por sua vez, apresenta relação com o comportamento agonístico e territorial. Durante o período da manhã, quando os valores de salinidade são mais elevados, observa-se maior frequência de comportamentos relacionados à defesa territorial, enquanto esses eventos tendem a diminuir ao longo do dia.

Essas respostas às variações de temperatura também são corroboradas por Rantin *et al.* (1998), que avaliaram as respostas fisiológicas de *B. soporator* a diferentes temperaturas. Os autores observaram que a frequência cardíaca permaneceu relativamente constante entre 25 e 30 °C, seguida por um aumento progressivo à medida que a temperatura se elevava, atingindo valores máximos próximos a 40 °C. Posteriormente, a frequência cardíaca retornou a valores semelhantes aos registrados a 25 °C. Esses resultados evidenciam a capacidade da espécie de ajustar suas respostas fisiológicas diante de variações térmicas, reforçando a importância da temperatura como fator ambiental capaz de influenciar sua atividade e seu comportamento.

A importância de *B. soporator* para o estudo da comunicação acústica em Gobiidae remonta aos trabalhos pioneiros de Tavolga (1958), que descreveu os sons produzidos por *B. soporator* do litoral oeste da Flórida (Gasparilla Sound, próximo à Fort Myers, Golfo do México) e observou que os sons eram emitidos apenas por machos e no contexto específico de cortejo. Observou também que apenas os sons cujas frequências variavam de 100 a 500 Hz eram respondidos pelos indivíduos.

A ampla distribuição geográfica de *Bathygobius soporator* compreende populações submetidas a diferentes condições ambientais e potencialmente sujeitas a graus distintos de isolamento. Lima-Filho *et al.* (2012), ao compararem populações de *Bathygobius soporator* do Atol das Rocas e das regiões continentais do Maranhão, Rio Grande do Norte e Bahia, identificaram divergências morfológicas e genéticas entre elas. Considerando à reduzida mobilidade da espécie, o limitado fluxo gênico entre populações geograficamente separadas pode contribuir para a manutenção de diferenças interpopulacionais. Entre as divergências morfológicas observadas por Lima-Filho *et al.* (2012) encontram-se variações na posição da boca e no tamanho corporal. A existência dessa estruturação populacional suscita questões relevantes para o estudo da comunicação acústica da espécie. Características morfológicas, fisiológicas e comportamentais podem influenciar diferentes propriedades dos sinais acústicos produzidos pelos peixes, enquanto condições ambientais locais podem afetar tanto sua produção quanto sua transmissão e recepção (Parmentier & Fine, 2016; Ladich, 2019). Assim, populações geograficamente separadas de *B. soporator* podem potencialmente apresentar variações em características temporais e espectrais de seus sinais. Essa possibilidade é particularmente relevante diante da ampla distribuição da espécie e do conhecimento ainda limitado sobre seu repertório acústico fora da região em que foi originalmente estudado. Entretanto, a existência e a magnitude de eventual variação acústica entre populações de *B. soporator* permanecem pouco conhecidas.

Desde os estudos pioneiros de Tavolga (1958) com indivíduos da costa oeste da Flórida, o conhecimento sobre a comunicação acústica de *B. soporator* permaneceu comparativamente limitado. Apesar dos avanços substanciais ocorridos nas últimas décadas nas técnicas de gravação, processamento e análise de sinais bioacústicos, aspectos fundamentais do repertório sonoro da espécie, de sua associação com diferentes contextos comportamentais e de sua ocorrência no ambiente acústico natural ainda permanecem pouco conhecidos. O estudo de uma população do litoral sudeste do Brasil permite ampliar esse conhecimento para o Atlântico Sudoeste, caracterizando a comunicação acústica da espécie em contextos agonístico e reprodutivo e examinando sua produção sonora no contexto da paisagem acústica de seu habitat natural.

Objetivos

Objetivo geral

Caracterizar a comunicação acústica de *Bathygobius soporator* em contextos agonístico e reprodutivo, bem como investigar sua contribuição para a paisagem sonora subaquática de seu habitat natural.

Objetivos específicos

- Caracterizar as propriedades temporais dos sons produzidos durante interações agonísticas em condições experimentais;
- Descrever os comportamentos associados às interações agonísticas e à defesa territorial, investigando sua relação com a produção sonora;
- Caracterizar as propriedades temporais dos sons produzidos por *Bathygobius soporator* durante o comportamento reprodutivo em condições experimentais;
- Descrever os comportamentos associados ao cortejo e investigar sua relação com a produção sonora;
- Caracterizar a paisagem sonora subaquática de poças de maré da Ilha Porchat, com ênfase na contribuição acústica de *Bathygobius soporator*.

Para atender a esses objetivos, a tese está estruturada em três capítulos complementares. O primeiro investiga a comunicação acústica de *Bathygobius soporator* durante interações agonísticas, caracterizando os sons emitidos e sua associação com comportamentos de defesa territorial. O segundo examina a produção sonora durante o cortejo, com ênfase na organização temporal dos sons e em sua relação com os comportamentos reprodutivos. O terceiro amplia a investigação para o ambiente natural, caracterizando a paisagem sonora de poças de maré da Ilha Porchat, em São Vicente (SP), e examinando a contribuição de *B. soporator* e de outros organismos soníferos para sua composição e variação temporal. Em conjunto, os três capítulos integram abordagens experimentais e de campo, contribuindo para uma compreensão mais abrangente do repertório acústico da espécie e de sua participação na paisagem sonora de ambientes intermareais do Atlântico Sudoeste.

Referências Bibliográficas

Aguiar, P.L. & Prezoto, H.H.S. 2019. Influência da bioacústica no sucesso de acasalamento dos anuros. Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF. Disponível em: http://seer.uniacademia.edu.br/index.php/biologica/article/viewFile/2290/1517 Acessado: 23 de maio de 2023.

Amorim, M.C.P. & Neves A.S.M. 2007. Acoustic signaling during courtship in the painted goby, *Pomatoschistus pictus*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K., 87*: 1017-1023. https://doi.org/10.1017/S0025315407056822

Amorim, M.C.P. & Neves A.S.M. 2008. Male painted gobies (*Pomatoschistus pictus*) vocalize to defend territories. *Behaviour*, *145*: 1065-1083.

Amorim, M. C. P., Vasconcelos, R. O., Bolgan, M., Pedroso, S. S., & Fonseca, P. J. (2018). Acoustic communication in marine shallow waters: Testing the acoustic adaptive hypothesis in sand gobies. *Journal of Experimental Biology*, *221*(22), jeb183681. https://doi.org/10.1242/jeb.183681

Au, W.W.L. & Hastings, M.C. 2008. Principles of Marine Bioacoustics. New York: Springer, *v.* 510.

Barreto, R.E.; Barbosa-Júnior, A.; Urbinati, E.C. & Hoffmann, A. 2014. Cortisol influences the antipredator behavior induced by chemical alarm cues in the Frillfin goby. *Hormones and Behavior*, *65*: 394-400. https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2014.03.007

Barrilli, G. H. C., Vale, J. G. do, Stahelin, G., & Branco, J. O. 2021. Biological and ecological aspects of Bathygobius soporator (Valenciennes, 1837) (Perciformes, Gobiidae) from Santa Catarina, Southern Brazil. Papéis Avulsos De Zoologia, *61*, e20216115. https://doi.org/10.11606/1807-0205/2021.61.15

Bolgan, M.; Pedroso, S.S.; Picciulin, M.; Fonseca, P.J. & Amorim, M.C.P. 2013. Differential investment in acoustic communication during social interactions in two closely-related sand goby species. *Behaviour*, *150*: 133-152. https://doi.org/10.1163/1568539X-00003041

Bradbury, J.W. & Vehrencamp, S.L. 1998. Principles of Animal Communication. *Sinauer Associates*, *1*: 75-112.

Browning, E.; Gibb, R.; Glover-Kapfer, P. & Jones, K.E. 2017. **WWF Conservation Technology: Acoustic Monitoring**. WWF-UK, Woking, United Kingdom. 75 p.

Codarin, A., Wysocki, L. E., Ladich, F., & Picciulin, M. (2009). Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy). *Marine pollution bulletin*, *58*(12), 1880-1887. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.07.011

Emmanuel, O.L. & Ajibola, E.T. 2010. Food and feeding habits and reproduction in Frillfin goby, *Bathygobius soporator* (Cuvier and Valenciennes, 1837) in the Badagry Creek, Lagos, Nigeria. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, *2*(12): 414-421.

Fanta, E. 1997. Behaviour and circadian rhythm of the fish *Bathygobius soporator* Valenciennes (Gobiidae) under the influence of environmental salinity and temperature. *Rev. Bras. Zool*., *14*: 221-224. https://doi.org/10.1590/S0101-81751997000100021

Farina, A. 2014. **Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications**. Italy: Springer. 326 p.

Fricke, R.; Eschmeyer, W. N. & Fong, J. D. 2025. Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera/Species by Family/Subfamily.

Disponívelem: http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp. Acessado em: 19 de março de 2025.

Galindo, T.P. & Moreira, L.M. 2009. Evaluation of genotoxicity using the micronucleus assay and nuclear abnormalities in the tropical sea fish *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Teleostei, Gobiidae). *Genetics and Molecular Biology*, *32*(2): 394-398. https://doi.org/10.1590/S1415-47572009000200029

Gerhardt, H.C. 1998. Acoustic signals of animals: recording, field measurements, analysis and description. **Animal acoustic communication**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1-25. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76220-8_1

Horvatić, S.; Malavasi, S.; Parmentier, E.; Marčić, Z.; Buj, I.; Mustafić, P.; Ćaleta, M.; Smederevac-Lalić, M.; Skorić, S. & Zanella, D. 2019. Acoustic communication during

reproduction in the basal gobioid Amur sleeper and the putative sound production mechanism. *Journal of Zoology*, *309*: 269-279. https://doi.org/10.1111/jzo.12719

Kent, C.S.; Marques, T.A. & Harris, D. 2021. Fundamental Data Analysis Tools and Concepts for Bioacoustical Research, 319-354. *In:* Erbe, C. & Thomas, J.A. (eds.) **Exploring Animal Behavior Through Sound.** Switzerland: Springer, Vol. 1, 506 p.

Ladich, F. 2013. Effects of Noise on Sound Detection and Acoustic Communication in Fishes, 65-90. *In:* Brumm, H. (ed.) **Animal Signals and Communication**. United Kingdom: Springer, Vol. 2, 452 p. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7_4

Ladich, F. 2014. Fish bioacoustics. *Elsevier: Current Opinion in Neurobiology*, *28*:121-127. http://dx.doi.org/10.1016/j.conb.2014.06.013

Ladich, F. 2018. Acoustic communication in fishes: Temperature plays a role. *Fish and Fisheries*, *19*: 598-612. https://doi.org/10.1111/faf.12277

Ladich, F. 2019. Ecology of sound communication in fishes. Fish and fisheries, *20*(3), 552-563 p. https://doi.org/10.1111/faf.12368Ladich, F. & Winkler, H. 2017. Acoustic communication in terrestrial and aquatic vertebrates. *Journal of Experimental Biology*, *220*: 2306-2317. https://doi.org/10.1242/jeb.132944

Ladich, F. & Winkler, H. 2017. Acoustic communication in terrestrial and aquatic vertebrates. *Journal of Experimental Biology*, *220*: 2306-2317. https://doi.org/10.1242/jeb.132944

Lima, D.; Freitas, J.E.P.; Araújo, M.E. & Solé-Cava, A.M. 2005. Genetic detection of cryptic species in the frillfin goby *Bathygobius soporator*. *J Exp Mar Biol Ecol*., *302*:211-223. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.12.031

de Lima-Filho, P.A.; de Bello Cioffi, M.; Bertollo; L.A.C. & Molina, W.F. 2012. Chromosomal and morphological divergences in Atlantic populations of the frillfin goby *Bathygobius soporator* (Gobiidae, Perciformes). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *434*: 63-70. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.08.004

Lugli, M.; Torricelli, P.; Pavan, G. & Miller, P. J. 1995. Spawning vocalizations in male freshwater gobiids (Pisces, Gobiidae). *Environmental Biology of Fishes 43:* 21 9-231. https://doi.org/10.1007/BF00005853

Lugli, M.; Torricelli, P.; Pavan, G. & Miller, P. J. 1996. Breeding sounds of male *Padogobius nigricans* with suggestions for further evolutionary study of vocal behaviour in gobioid fishes. *J. Fish Biol*., *49*: 648-657. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb00061.x

Lugli, M.; Torricelli, P.; Pavan, G. & Mainardi, D. 1997. Sound production during courtship and spawning among freshwater gobiids (Pisces, Gobiidae). *Mar. Freshw. Behav. Physiol*, *29*: 109-126. https://doi.org/10.1080/10236249709379003

Looby, A.; Cox, K.; Bravo, S.; Rountree, R.; Juanes, F.; Reynolds, L.K. & Martin, C. W. 2022. A quantitative inventory of global soniferous fish diversity. *Rev Fish Biol Fisheries, 32:* 581–595. https://doi.org/10.1007/s11160-022-09702-1

Looby, A.; Cox, K.; Bravo, S.; Rountree, R.; Juanes, F.; Riera, A.; Vela, S.; Davies, H.L.; Reynolds, L.K. & Martin, C. W. 2023. Fish sound production research: Historical practices and ongoing challenges. In *The effects of noise on aquatic life: Principles and practical considerations* (pp. 1-20). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6_92-1

Lopes, P.R.D. & de Oliveira-Silva, J.T., 1998. Alimentação de *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837)(Actinopterygii: Teleostei: Gobiidae) na localidade de Cacha Pregos (Ilha de Itaparica), Bahia, Brasil. *Biotemas*, *11*(1), pp.81-92.

Malavasi, S.; Collatuzzo, S. and Torricelli, P. 2008. Interspecific variation of acoustic signals in Mediterranean gobies (Perciformes, Gobiidae): comparative analysis and evolutionary outlook. *Biological Journal of the Linnean Society*, *93*: 763–778. https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2008.00947.x

Miller, P.J. 1990. Gobiidae, 925-951. *In*: Quero, J.C.; Hureau, J. C.; Karrer, C.; Post, A. and Saldanha, L. (eds.) **Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)**. JNICT, Lisbon, SEI, Paris; and UNESCO, Paris. Vol. 2.

Myrberg, J.A.A. & Lugli, M. 2006. Reproductive behavior and acoustic communication. *In:* Ladich, F., Collin, S.P., Moller, P. & Kapoor, B.G. (eds). **Communication in Fishes**. Enfield, NH: Science Publishers, Vol. 1, 149-176.

Parmentier, E.; Kéver, L.; Boyle, K.; Corbisier, Y.; Sawelew, L. & Malavasi, S. 2013. Sound production mechanism in *Gobius paganellus* (Gobiidae). *The Journal of Experimental Biology*, *216*: 3189-3199. https://doi.org/10.1242/jeb.087205

Parmentier, E. & Fine, M.L. 2016. Fish Sound Production: Insights. *In*: Suthers, R., Fitch, W., Fay, R., Popper, A. (eds) Vertebrate Sound Production and Acoustic Communication. Springer Handbook of Auditory Research, vol 53. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27721-9_2

Pavan, G. 2008. Short field course on bioacoustics. *Taxonomy Summer School*, 1-15.

Pereira, R.; Rismondo, S.; Caiano, M.; Pedroso, S. S.; Fonseca, P. J. & Amorim, M. C. P. 2013. The role of agonistic sounds in male nest defence in the painted goby *Pomatoschistus pictus*. *Ethology*, *120*: 53-63. https://doi.org/10.1111/eth.12180

Pereira, R.T.; Leutz, J. D. A. C. M.; Valença-Silva, G.; Barcellos, L. J. G. & Barreto, R. E. 2017. Ventilation responses to predator odors and conspecific chemical alarm cues in the frillfin goby. *Physiology & Behavior*, *179*, 319-323. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.06.023

Rantin, F.T.; Gesser, H.; Kalinin, A.L.; Guerra, C.D.R.; De Freitas, J.C. & Driedzic, W.R. 1998. Heart performance, Ca2+ regulation and energy metabolism at high temperatures in *Bathygobius soporator,* a tropical marine teleost. *J Therm Biol*., *23*:31-39. https://doi.org/10.1016/S0306-4565(97)00043-0

Rice, A. N.; Farina, S. C.; Makowski, A. J.; Kaatz, I. M.; Lobel, P. S.; Bemis, W. E. & Bass, A. H. 2022. Evolutionary patterns in sound production across fishes. *Ichthyology & Herpetology*, *110*(1): 1-12. https://doi.org/10.1643/i2020172

Sebastianutto L., Picciulin M., Costantini M., Rocca M., Ferrero E. A.2008. Four types of sounds for one winner: vocalizations during territorial behavior in the red-mouthed goby *Gobius cruentatus* (Pisces Gobiidae). Acta Ethol, Vol 11: 115–121p. https://doi.org/10.1007/s10211-008- 0048-z

Stadler, J. M. 2002. Evidence for a hydrodynamic mechanism of sound production by courting males of the notchtongue goby, *Bathygobius curacao* (Metzlar). *Bioacoustics*, *13*: 145-152.

De Sylva, D. P. 1975. Nektonic food webs in estuaries. In: Cronin E (ed). **Estuarine research.** New York: Academic Press, Vol1, 420- 447 p.

Takemura, A. 1984. Acoustical behavior of the freshwater goby *Odontobutis obscura*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish*, *50*: 561-564. https://doi.org/10.2331/suisan.50.561

Tavolga, W.N. 1954. Reproductive behavior in the gobiid fish, *Bathygobius soporator*. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, *104*: 427-60.

Tavolga, W.N. 1956. Visual, chemical, and sound stimuli as cues in the sex discriminatory behavior of the gobiid fish, *Bathygobius soporalor*. *Zoologica*, *41*: 49-64.

Tavolga, W.N. 1958. The significance of underwater sounds produced by males of the gobiid fish, *Bathygobius soporator*. *Physiophical Zoologica*, *31* (4): 259-271.

Torricelli, P.; Lugli, M.; Gandolfi, G. 1986. A quantitative analysis of the occurrence of visual and acoustic displays during the courtship in the freshwater goby, *Padogobius martensi* (Günther, 1961) (Pisces, Gobiidae). *Boll. Zool*., *53*:85-89. https://doi.org/10.1080/11250008609355488

Zeyl, J. N., Love, O. P., & Higgs, D. M. (2013). Condition-dependent auditory processing in the round goby (*Neogobius melanostomus*): links to sex, reproductive condition and female estrogen levels. *Journal of Experimental Biology*, *216*(6), 1075-1084. https://doi.org/10.1242/jeb.076935

Conclusão Geral

Este estudo amplia o conhecimento sobre a comunicação acústica de *Bathygobius soporator* e sobre a paisagem sonora de poças de maré em ambientes costeiros da América do Sul. A análise dos registros acústicos permitiu caracterizar diferentes padrões temporais de vocalização em *B. soporator*, tendo o pulso elementar como unidade acústica fundamental. As vocalizações associadas a contextos de corte e interações agonísticas foram organizadas em três principais categorias temporais: *single pulse*, *double pulse* e *pulse train*. A identificação de *double pulses* durante a corte e de sinais associados à defesa territorial amplia o repertório acústico conhecido para a espécie e evidencia a importância da organização temporal dos pulsos na estruturação dos sinais acústicos.

No contexto das poças de maré, os resultados demonstraram elevada diversidade de sinais acústicos associados a diferentes organismos, incluindo *Perna perna*, Cirripedia, *Clibanarius* sp., *Abudefduf saxatilis* e *Bathygobius soporator*. Foram identificados diferentes tipos de eventos acústicos, como *snap*, *snap sequence*, *cough*, *single pulse*, *double pulse* e *pulse train*, evidenciando a complexidade da paisagem sonora desses ambientes, resultante da contribuição simultânea de diferentes organismos e de fontes ambientais.

Um dos principais aspectos evidenciados no Capítulo III, que integra os resultados apresentados nos Capítulos I e II, foi a importância dos acervos acústicos de referência para a identificação e caracterização de sinais sonoros em ambientes naturais. Embora não tenha sido possível determinar com precisão o contexto comportamental em que *B. soporator* emitia seus sons durante as gravações em campo, as características acústicas dos sinais registrados apresentaram correspondência com aquelas previamente descritas para a espécie em condições laboratoriais. Outro ponto importante é a ocorrência nas gravações de campo das três organizações temporais baseadas no mesmo pulso: *single pulse*, *double pulse* e *pulse train*,caracterizadas experimentalmente nos capítulos anteriores. Dessa forma, os registros experimentais disponíveis contribuíram para a identificação dos sons de *B. soporator* no ambiente natural, ainda que não permitam, isoladamente, estabelecer sua função comportamental. Da mesma maneira, a disponibilidade de registros de *A. saxatilis* no acervo FishSounds favoreceu a identificação e a comparação dos sinais dessa espécie, mesmo quando os registros disponíveis eram provenientes de estudos anteriores.

As atribuições taxonômicas dos sinais foram baseadas na comparação de suas características espectro-temporais com registros acústicos de referência disponíveis e, quando possível, em observações associadas aos organismos presentes no ambiente. Enquanto registros

de referência estavam disponíveis para *P. perna*, *B. soporator* e *A. saxatilis*, a escassez de material comparativo para Cirripedia e *Clibanarius* sp. limita a robustez dessas atribuições e evidencia uma lacuna importante nas bases de dados acústicos de organismos marinhos, particularmente na América do Sul.

Os resultados também demonstram o potencial do monitoramento acústico como ferramenta complementar para estudos de comunidades costeiras. Além de contribuir para o registro da presença e da atividade acústica dos organismos, essa abordagem pode auxiliar na avaliação de alterações na paisagem sonora associadas à ocupação e às atividades humanas no ambiente costeiro. Dessa forma, o monitoramento acústico apresenta potencial para ampliar a compreensão das relações entre a comunidade biológica e as características acústicas de ambientes sujeitos a diferentes níveis de influência antrópica.

Estudos futuros baseados em séries temporais mais longas e amostragem padronizada poderão avaliar variações sazonais e interanuais na atividade acústica e, em escalas temporais adequadas, investigar possíveis respostas das paisagens sonoras costeiras a mudanças ambientais de maior escala.

Por fim, este estudo demonstrou que, embora os sons de *B. soporator* tenham sido descritos anteriormente por William N. Tavolga na Flórida, em 1958, a limitada disponibilidade de registros acústicos de referência e a concentração dos estudos em uma área geográfica restrita dificultaram uma caracterização mais abrangente do repertório sonoro da espécie, especialmente quanto aos sinais associados a contextos agonísticos. Dessa forma, ampliamos o conhecimento sobre a comunicação acústica de *Bathygobius soporator* e a paisagem sonora de poças de maré na costa brasileira. Demonstrando que o monitoramento acústico realizado juntamente com os experimentos acústicos conduzidos em laboratório contribuiu para ampliar o conhecimento sobre os sons produzidos por *B. soporator* em ambiente natural e para a construção de uma base de referência que poderá para investigações futuras.