



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - PRPGP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO - PPGEC**

CAMILLA RAYANE MARANHÃO BATISTA

**EFEITOS DO TRÁFEGO NÁUTICO NO COMPORTAMENTO DO PEIXE-
DONZELA *STEGASTES FUSCUS* (CUVIER, 1930) EM AMBIENTE NATURAL**

CAMPINA GRANDE PB

2018

CAMILLA RAYANE MARANHÃO BATISTA

**EFEITOS DO TRÁFEGO NÁUTICO NO COMPORTAMENTO DO PEIXE-
DONZELA *STEGASTES FUSCUS* (CUVIER, 1930) EM AMBIENTE NATURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba como requisito final necessário para a obtenção do grau de mestre em Ecologia e Conservação.

Orientadora: Profa. Dra. Tacyana Pereira
Ribeiro de Oliveira

CAMPINA GRANDE PB

2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

B333e Batista, Camilla Rayane Maranhão.

Efeitos do tráfego náutico no comportamento do peixe-donzela *Stegastes fuscus* (Cuvier, 1930) em ambiente natural [manuscrito] : / Camilla Rayane Maranhão Batista. - 2018.

111 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Pós Graduação em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Tacyana Pereira Ribeiro de Oliveira, Coordenação do Curso de Ciências Biológicas - CCBSA."

1. Peixe recifal. 2. Bioacústica de peixes. 3. Comportamento agonístico. 4. Unidades de conservação.

21. ed. CDD 577.6

CAMILLA RAYANE MARANHÃO BATISTA

**Efeitos do tráfego náutico no comportamento do peixe-donzela *Stegastes fuscus*
(Cuvier, 1930) em ambiente natural**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito final à obtenção do título de mestre em Ecologia e Conservação.

Área de concentração: Ecologia e Conservação de Ecossistemas Costeiros e Marinhos.

Aprovada em: 28/02/2018.

BANCA EXAMINADORA



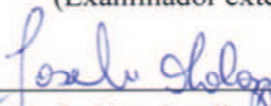
Profª. Dra. Tacyana Pereira Ribeiro de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
(Orientadora)



Profª. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
(Examinadora interna)



Prof. Dr. Antonio da Silva Souto
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
(Examinador externo)



Profª. Dra. Joseline Molozzi
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
(Suplente)

DEDICATÓRIA

Ao que não esperou que eu passasse horas tentando fazê-lo entender os resultados deste trabalho.

Àquele que por 22 anos da minha vida foi sinônimo de luta, força e vontade enorme de viver.

A quem o sentimento de alegria hoje é inevitável quando vem em memória, porque a maioria das horas dos seus dias era divertindo a quem estivesse por perto daquele jeito que só ele tinha, com suas lendárias piadas. Sempre foi sinônimo de ser humano único! Insubstituível!

Poderia escrever algo muito maior que essa dissertação para falar sobre você e tudo que significa para mim, mas prefiro me resumir à pessoa que foi mais importante para que eu entrasse nesse mestrado. Fiz a prova por sua causa e logo depois você se foi. Mas agradeço a Deus pelos 22 anos que tive você em minha vida!

Então, em memória do meu eterno amor, meu PAI, João de Deus Maranhão, dedico essa conquista!



AGRADECIMENTOS

Agradeço ao que me manteve firme, manteve-me nos trilhos. Obrigada, Deus, por TUDO.

Agradeço ao PPGEC por possuir um grupo de ótimos professores que me proporcionaram uma bagagem enorme ao longo desses dois anos. Agradeço não somente aos professores que compõem o programa, como agradeço de forma especial ao querido secretário da pós, Júlio Porto, que, com muita gentileza e sempre prontamente disponível, foi indispensável durante esse mestrado. Obrigada, Júlio!

Agradeço à UEPB pela disponibilização do transporte, que foi fundamental para o deslocamento até o estado de Pernambuco, onde foi realizada a pesquisa. E especialmente a Joaldo, coordenador do setor, e aos motoristas que compartilharam as idas e vindas comigo. Obrigada!

Meu muito obrigada à CAPES pela bolsa de mestrado que financiou essa pesquisa e que sem a qual esse trabalho não teria sido possível.

Agradeço à APA de Guadalupe e a sua gestão, em especial à Joany Deodato, pela disponibilidade do alojamento durante o período de campo da pesquisa, cuja contribuição foi imprescindível.

Agradeço também à APA Costa dos Corais, à Secretaria do Meio Ambiente e ao CEPENE/ICMBio de Tamandaré, que viabilizaram a coleta de dados na área restrita da unidade de conservação, disponibilizando, além do alojamento, a embarcação que nos levou até o ponto de amostragem. Aproveito para agradecer a Paulo, que com muita gentileza guiou a embarcação durante a pesquisa.

Agradeço a minha orientadora Tacyana, por tudo, principalmente por acreditar que eu seria capaz de executar e concluir esse trabalho. Trabalhar em ambiente natural pode envolver diversas dificuldades, mas correu tudo bem e estamos aqui com aquele projeto inicial sendo finalizado.

Agradeço aos professores Antonio Souto e Nichola Schiel que participaram da banca de qualificação e contribuíram para os ajustes necessários no primeiro capítulo. Aproveito para agradecer à banca final da dissertação, por aceitarem o convite e antecipadamente agradeço as contribuições! Muito obrigada!

Agradeço especialmente a quem esteve presente ajudando na maioria dos campos realizados durante esse mestrado e na digitação das enormes planilhas (rsrs), estando presente também fora dele, disponibilizando apoio emocional, dando força e incentivo nos momentos difíceis. Meu bem (Ignácio Evaristo), meu muito obrigada por tudo.

Obrigada a minha amiga Jessyca Oliveira, que estava presente no primeiro campo, que andou os 5 quilômetros comigo, firme e forte como sempre, dando aquele apoio! Muito obrigada amiga!

Obrigada a Toni (Otoniel), que esteve presente no último campo, o da despedida de parte da pesquisa, e foi uma ajuda e tanto. Muito obrigada por além de ajudar no campo, cozinhar e, pela primeira vez, eu poder tomar banho logo depois de voltar do mar (entendedores, entenderão), e já sair com um cheirinho de comida no ar. Muito obrigada!

Obrigada, Mariana Arruda, que havia acabado de entrar no laboratório e logo se prontificou a me ajudar em campo, sem nem saber o que tinha pela frente, mas que desenrolou rapidinho. Muito obrigada, Mari!

Agradeço a Walter Lechner, por disponibilizar parte dos equipamentos que utilizamos durante as amostragens e pela companhia em dois dos campos durante o período piloto da pesquisa.

Obrigada à professora Bruna Bezerra, pelo empréstimo do hidrofone no meu último campo. Sem sua ajuda, teria dado errado bem no finalzinho (rsrs). Muito obrigada!

Agradeço também à Nathy, pelo empréstimo da câmera na fase inicial dos meus campos até que a minha câmera chegasse; teria atrasado tudo se não fosse por você, amiga! Obrigada!

Agradeço carinhosamente à professora Thelma Dias e seu marido “Pop”, pela carona em um dos meus campos e pela companhia e ajuda durante o período em que estive só. Vocês são maravilhosos! Muito obrigada!

Obrigada as minhas amigas que estão sempre presentes Marina, Jessyca, Daniela e Nathalia, por todo o apoio psicológico de sempre. Vocês são demais!

Meu mais profundo obrigada a minha tia Lourdes e ao meu primo Alexandre, pelo apoio nos períodos de disciplina em Campina Grande, os quais me receberam com muito carinho em sua casa, não tendo distinção do que minha mãe faria por mim. Muito obrigada, tia!

E, finalmente, mas nem um pouco menos importante, muito obrigada a minha família que nunca deixou de me dar forças e apoio em tudo que fiz e faço. Obrigada a melhor mãe do mundo, que sempre está presente em tudo. Muito obrigada por me emprestar seu carro para os campos e ir de ônibus trabalhar, eu nem sei se eu faria o mesmo por um filho meu (rsrsrs). Prometo não lhe deixar mais a pé. Muito obrigada as duas mulheres da minha vida por simplesmente TUDO. Amo vocês

!

RESUMO GERAL

O turismo associado ao tráfego de embarcações vem aumentando ao longo dos anos nos ambientes costeiros e marinhos em todo o mundo. Essa atividade gera diversos impactos ao ecossistema e às espécies, como a poluição química, física e acústica, podendo afetar a diversidade e estrutura das comunidades. Dentre os grupos animais afetados, os peixes constituem excelentes modelos para avaliação dos efeitos de atividades náuticas, particularmente considerando espécies-chave nos ecossistemas recifais, como os peixes-donzela (família Pomacentridae). Estes peixes são conhecidos por estruturarem as comunidades bentônicas de ecossistemas recifais, além de apresentarem comportamentos de grande relevância ecológica, incluindo produção de som. Este trabalho objetivou analisar os efeitos do tráfego náutico no comportamento e na produção de som de uma espécie de peixe-donzela brasileira, *Stegastes fuscus*, cujas características comportamentais e ecológicas a tornam um excelente modelo para estudos que envolvam a bioacústica e impactos antrópicos. As amostragens foram realizadas nos recifes costeiros de Tamandaré, Pernambuco, através de filmagens e gravações de áudios simultâneas em duas áreas relacionadas à intensidade do tráfego náutico (área aberta e área fechada ao tráfego de embarcações). Foram registrados quatro tipos de sons produzidos por *S. fuscus* associados a comportamentos agonísticos e reprodutivos, além de um repertório comportamental composto por 15 comportamentos, sendo o principal deles a natação (área aberta – 48.05%; área fechada – 42.38%), seguido da alimentação (área aberta – 30.77%; área fechada – 35.52%) e maior frequência de comportamentos intraespecíficos associados à agressividade (área aberta – 81%; área fechada – 88%). Na área aberta, foi observada maior diversidade de comportamentos agonísticos em comparação à área fechada. Em relação ao tráfego náutico, foi observado aumento no padrão de atividades dos peixes-donzela quanto à frequência de comportamentos de natação e comportamentos agonísticos na alta estação da área aberta, além de menores frequência dominante e duração dos pulsos dos sons produzidos pelos peixes-donzela nessa área. Foi observada a produção do som de *chirp* em sequências pelos peixes-donzela da área aberta, padrão não foi observado na área fechada. As embarcações apresentaram frequência dominante média de 400Hz, podendo se sobrepor aos sons dos peixes que apresentaram médias entre 300 a 430 Hz na área aberta. Assim, concluímos que o tráfego náutico representa uma pressão adicional à população dos peixes-donzela nos recifes de Tamandaré, e sugerimos que medidas relacionadas ao ordenamento do tráfego e educação de turistas e donos de embarcações sejam aprimoradas na área.

Palavras-chave: embarcações a motor; peixes recifais; bioacústica de peixes; comportamento agonístico; unidades de conservação; zoneamento.

ABSTRACT

Nautical tourism has increased over the years in coastal and marine environments worldwide. Impacts derived from this activity, such as chemical, physical and noise pollution, may affect ecosystems and species, leading to shifts in community diversity and structure. Fishes comprise excellent models to assess the effects of boat noise activities on reef ecosystems, particularly considering key-species, such as damselfishes (family Pomacentridae). These fish are recognized by their role in structuring benthic communities in reefs, presenting ecologically relevant behaviours, which include sound production. This work assessed the effects of boat traffic on the behaviour and sound production of a Brazilian damselfish, *Stegastes fuscus*, which, due to its behavioural and ecological characteristics, is a potential model to studies involving bioacoustics and anthropogenic impacts. Samplings were carried out at Tamandaré coastal reefs (state of Pernambuco, Brazil) through simultaneous video and audio recordings in two areas under different boat traffic intensities (an open and a closed area to boat traffic). Four types of sounds were produced by *S. fuscus*, which were associated with agonistic and reproductive behaviours. Moreover, *S. fuscus* presented a behavioural repertoire composed of 15 behaviours, from which swimming was the most frequent (open area – 48.05%; closed area – 42.38%), followed by feeding (open area – 30.77%; closed area – 35.52%) and aggressive behaviours (open area – 81%; closed area – 88%). Damselfish showed higher behaviour diversity at the open area. In relation to boat traffic effects, *S. fuscus* in the high season at the open area showed higher frequency of swimming and agonistic behaviours, and lower dominant frequency and pulse duration of sounds produced. Boat noise mean dominant frequency (400 Hz) potentially overlaps *S. fuscus* sounds' mean dominant frequency at the open area. We conclude that nautical traffic represents an additional pressure on damselfish populations in Tamandaré reefs, and propose measures related to boat traffic zoning and instruction of tourists and owners about boating activities in the area.

Keywords: motor vessels; reef fish; fish bioacoustics; agonistic behaviour; marine protected areas; zoning.

LISTA DE FIGURAS

Introdução geral:

Figura 1. Indivíduo adulto de *Stegastes fuscus* no recife de Tamandaré -PE.....23

Capítulo I:

Figura 1. Mapa da área de estudo no litoral sul do estado de Pernambuco, nordeste do Brasil – recifes costeiros de Tamandaré. Polígono: limites da zona de preservação da APA Costa dos Corais. Ponto preto mostra o local de amostragem. Mapa: Batista, C. R. M., 2017.....42

Figura 2. Oscilogramas dos sons produzidos por *Stegastes fuscus*. *Pop* único produzido durante perseguição (A), *pop* duplo produzido durante perseguição (B), *chirp* produzido durante natação explosiva (C), *chirp* produzido sem período interpulso produzido durante perseguição (D) e sequência de dez *pops* produzido durante natação paralela (E), intercalados por três *chirps* durante interação reprodutiva (natação lateral) entre dois indivíduos. (F) Destaque para um dos *pops*; (G) destaque para um dos *chirps*. (Frequência de amostragem 96 Hz, bandwidth de 100 Hz, 75% *overlap*, Hanning *window*).....46

Figura 3. Frequência relativa de cada tipo de som produzido por *Stegastes fuscus* em relação aos comportamentos agonísticos (A) e reprodutivos (B).....47

Figura 4. Sons produzidos por *Stegastes fuscus*. Sonogramas e espectros de energia de *pops* único (A) e duplos (B), *chirps* (C) e sequência de *pops* intercalada por três *chirps* produzidos por outro indivíduo (D). (Frequência de amostragem 96 Hz, Bandwidth de 100 Hz, 75% *overlap*, Hanning *window*).....49

Figura 5. Representação dos comportamentos agonísticos produzidos por *Stegastes fuscus* em Tamandaré-PE. F- indivíduo foco, I- indivíduo intruso. Círculo representa área territorial, setas indicam o movimento.....50

Figura 6. Diferenças da duração do pulso (A) e período interpulso (B) entre os tipos de sons produzidos por *S. fuscus* em contexto agonístico.....51

Figura 7. Representação dos comportamentos reprodutivos produzidos por *Stegastes fuscus* em Tamandaré-PE. Círculo representa área territorial, setas indicam o movimento.....53

Figura 8. Representação do comportamento de interação pacífica produzido por *Stegastes fuscus* em Tamandaré-PE. Círculo representa área territorial.....54

Capítulo II:

Figura 1. Mapa representativo dos recifes costeiros de Tamandaré, litoral sul do estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. Polígono: limites da zona de proteção integral da APA Costa dos Corais, a qual engloba as zonas de proteção integral das outras unidades de conservação marinha da região. Pontos pretos mostram as áreas onde foram realizadas as amostragens. A1: zona de uso sustentável, aberta ao tráfego náutico (área aberta); A2: zona de proteção integral, fechada à visitação e tráfego náutico recreativo (área fechada).....71

Figura 2. Mapa de localização da área de amostragem na área aberta dos recifes de Tamandaré -PE. T: trajeto percorrido pelas embarcações comerciais; C: localização do corredor entre duas formações recifais, por onde as embarcações trafegavam para acessar a piscina 1; círculo vermelho: área de localização dos pontos de amostragem; P1 – piscina 1, destino dos passeios comerciais e desembarque das pessoas; P2 e círculo amarelo: área de piscina 2, onde as lanchas particulares permaneciam ancoradas. Imagem durante a maré alta. Fonte: Google Earth, 2018 (adaptado).....72

Figura 3. Caracterização do tráfego de embarcações da área aberta à visitação e ao tráfego náutico recreativo, na praia de Tamandaré – PE. (A) lanchas particulares ancoradas na piscina 2 a cerca de 300 metros de distância do ponto de amostragem; (B) lancha particular de médio porte em área rasa, utilizando a inclinação do motor para locomoção, (C) banhistas e embarcações na piscina 1, a 100 metros do ponto de amostragem, (D) lancha de passeio comercial de pequeno porte, (E) jet-ski trafegando na área de amostragem, (F) catamarã ancorado na piscina 1.....78

Figura 4. Duração relativa (A) e frequência relativa (B) dos comportamentos agonísticos observados em *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações turísticas (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram diferença estatística.....84

Figura 5. Frequência relativa do comportamento de natação observado em *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações do ano (alta e baixa

estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram diferença estatística.....	85
Figura 6. Tamanho do território de <i>Stegastes fuscus</i> entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram a diferença estatística.....	86
Figura 7. Frequência absoluta dos tipos de sons produzidos por <i>Stegastes fuscus</i> em relação aos comportamentos entre as áreas de amostragem (A – fechada; B - aberta) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco.....	89
Figura 8. Taxa de vocalização dos indivíduos de <i>Stegastes fuscus</i> entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram a diferença estatística.....	90
Figura 9. Diferença da duração dos pulsos dos sons agonísticos produzidos por <i>Stegastes fuscus</i> entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco.....	90
Figura 10. Período interpulso dos sons de <i>chirp</i> e <i>pop duplo</i> , produzidos durante contexto agonístico por <i>Stegastes fuscus</i> entre as áreas de amostragem (aberta e fechada) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco.....	91
Figura 11. Sonograma e oscilograma do som de <i>chirp</i> único (A) e sequência de <i>chirps</i> (B) produzidos durante comportamento agonístico de perseguição por um indivíduo de <i>Stegastes fuscus</i> . (Frequência de amostragem 96 Hz, Bandwidth de 100 Hz, 75% overlap, Hanning window).....	92
Figura 12. Sonograma e oscilograma do ruído de embarcação e <i>chirp</i> produzido por um indivíduo de <i>Stegastes fuscus</i> nos recifes costeiros de Tamandaré, na área aberta à visitação, durante comportamento de perseguição (Frequência de amostragem 96 Hz, <i>bandwidth</i> de 100 Hz, 75% <i>overlap</i> , <i>Hanning window</i>).....	93

LISTA DE TABELAS

Capítulo I:

Tabela 1. Características dos sons produzidos por *Stegastes fuscus* nos recifes costeiros de Tamandaré (PE), em contextos reprodutivo e agonístico. Dados apresentados como média \pm erro padrão (amplitude de valores). n = número de indivíduos analisados; testes estatísticos: resultados dos testes *t* (entre períodos do pulso e duração do som em relação aos pops duplos e chirps) e ANOVA/Kruskal-Wallis (demais características entre os três tipos de sons). * $p < 0.05$. CVinter = variação do parâmetro do som entre os indivíduos; CVintra = variação do parâmetro do som dentre os sons do indivíduo.....48

Capítulo II:

Tabela 1. Caracterização das embarcações que trafegaram na área de amostragem na praia de Tamandaré – PE.

Tabela 2. Etograma dos comportamentos apresentados por *Stegastes fuscus* amostrados nos recifes de Tamandaré - PE. * demonstra os comportamentos exclusivos da área aberta à visitação e ao tráfego náutico e ** demonstra os comportamentos exclusivos da área fechada.....79

Tabela 3. Frequência (FR) e duração relativa (DR) dos comportamentos de *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (área aberta ao tráfego; área fechada ao tráfego) e as estações turísticas (alta e baixa) em Tamandaré - PE. Dados apresentados como média \pm EP (mínimo – máximo).....83

Tabela 4. Características dos sons produzidos por *Stegastes fuscus* nos recifes costeiros de Tamandaré (PE), em contexto agonístico. Dados apresentados como média \pm erro padrão (amplitude de valores). n = número de indivíduos analisados alta estação/baixa estação; * corresponde à diferença estatística ($p < 0.05$) dos parâmetros acústicos entre as áreas e entre as estações.....87

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% Porcentagem

> Maior que

< Menor que

APA Área de Proteção Ambiental

CPRH Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos

cm Centímetro

dB Decibéis

Hz Hertz

m Metros

ms Milissegundos

s Segundos

PIP Período interpulso

DP Duração do pulso

CV Coeficiente de variação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. OBJETIVOS	24
3. LITERATURA CITADA	25
4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	35
5. CAPÍTULO I: Comportamento acústico do peixe-donzela <i>Stegastes fuscus</i> em ambiente natural	36
1. Introdução	38
2. Metodologia	39
2.1. Área de amostragem	39
2.2. Registro do comportamento e dos sons produzidos por <i>Stegastes fuscus</i>	40
2.3. Análise dos sons	42
2.4. Análise dos dados	42
3. Resultados	43
4. Discussão	52
5. Conclusão	56
6. Referências Bibliográficas	57
6. CAPÍTULO II: Efeitos do tráfego náutico no comportamento e características acústicas do peixe-donzela <i>Stegastes fuscus</i>	62
1. Introdução	64
2. Metodologia	67
2.1. Área de estudo	67
2.2. Caracterização das atividades náuticas na área aberta	69
2.3. Registro do comportamento e dos sons produzidos por <i>Stegastes fuscus</i>	70
2.4. Análise dos sons	71
2.5. Análise dos dados	72
3. Resultados	73
4. Discussão	93
5. Conclusão	101
6. Referências Bibliográficas	103

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Tráfego de embarcações e seus efeitos

A prática crescente de atividades náuticas, particularmente com o uso de embarcações a motor, vem se destacando nos últimos anos nas regiões marinhas e costeiras (e.g. Venturini *et al.*, 2015; Lloret *et al.*, 2008; Davenport & Davenport, 2006), que são caracterizadas como as áreas com o maior desenvolvimento da indústria do turismo no mundo (Hall, 2001).

Devido à grande procura por locais atrativos para lazer, os ecossistemas recifais e suas comunidades sofrem impactos relacionados a diversas práticas recreativas, como, por exemplo, a visitação de áreas recifais. A visitação pode acarretar várias formas de degradação do ecossistema (Hannak *et al.*, 2011), como o pisoteio (Williamson *et al.*, 2017), aumento na prevalência de doenças em corais (Lamb *et al.*, 2014), a diminuição da riqueza de espécies de peixes (Albuquerque *et al.*, 2015; Medeiros *et al.*, 2007), além de possivelmente afetar o comportamento e o *fitness* de espécies que possuem baixa mobilidade e comportamento territorialista (Albuquerque *et al.*, 2015).

A visitação em ambientes costeiros é frequentemente associada ao tráfego de embarcações, principalmente para o transporte de passageiros, cujos impactos são comumente associados à ancoragem inapropriada, que pode acabar quebrando estruturas coralíneas (Flynn, 2015) e à contaminação da água através de poluentes produzido pelo escape (Halfwerk & Slabbekoorn, 2015; Khan *et al.*, 2007). Entretanto, os impactos provenientes de atividades náuticas nos ambientes e organismos aquáticos também incluem colisões entre animais e hélices de embarcações (Martin *et al.*, 2016), o ruído causado pelos sistemas de propulsão (Farina, 2017) e o aumento da turbulência e turbidez da água, que pode gerar sedimentação (Odeh *et al.*, 2002; Gabel *et al.*, 2017), que, relacionada aos corais, é um dos efeitos críticos para a manutenção das colônias (Bartley *et al.*, 2014). Desta forma, o tráfego náutico presente nas áreas costeiras constitui uma pressão adicional a ecossistemas ameaçados, como é o caso dos ambientes recifais e estuarinos, os quais se encontram amplamente degradados em todo o mundo (Obura & Grimsditch, 2009; Harriot, 2002; McLusky & Elliott, 2004).

Uma revisão recente sobre os efeitos do turismo em relação a espécies aquáticas demonstrou que organismos da flora e fauna bentônica (incluindo antozoários), peixes

teleósteos e elasmobrânquios, mamíferos marinhos (cetáceos e pinípedes), quelônios e aves marinhas são afetados pela presença e comportamento de seres humanos e embarcações (Trave *et al.*, 2017). Dentre os efeitos demonstrados, estão a alteração comportamental e interrupção de comportamentos e comunicação, mudanças na estrutura e dinâmica populacional, estresse fisiológico, suscetibilidade à predação, diminuição de comportamento reprodutivo, fuga, danos físicos, entre outros (Trave *et al.*, 2017).

Os peixes constituem um dos grupos potencialmente vulneráveis aos efeitos das atividades náuticas. Os peixes recifais, particularmente, apresentam uma variedade de comportamentos que vão desde comportamentos reprodutivos (Galván-Villa & Hastings, 2018), territorialidade e comportamento agonístico (Souza *et al.*, 2011; Pereira & Ferreira, 2012), até interações harmônicas como mutualismo (Gingins *et al.*, 2017), os quais são susceptíveis a alterações causadas pelo tráfego de embarcações. Além disso, muitas espécies utilizam sons para orientação e comunicação (Staartman *et al.*, 2014), e podem ser afetadas pelo ruído produzido pelas embarcações.

Embora sejam mais comumente estudadas em aves e mamíferos marinhos (Shannon *et al.* 2016), determinadas alterações comportamentais para compensar a interferência de ruído antrópico podem ser adotadas por algumas espécies de peixes. Por exemplo, evitar áreas que tenham a presença de atividades náuticas (Becker *et al.*, 2013), e, em relação ao ruído, diminuir a distância de comunicação entre os indivíduos (Holt & Johnston, 2015), aumentar a amplitude de sinais acústicos em relação ao ruído, conhecido como efeito *Lombard* (Holt & Johnston, 2014; Goldman, 2015), e alterar componentes temporais das vocalizações de modo a evitar as faixas de frequências afetadas pelo ruído (Picciulin *et al.*, 2012).

Entretanto, para a maioria das espécies de peixes estudadas, os efeitos de atividades náuticas afetam negativamente o comportamento, a fisiologia e a sobrevivência. Como exemplos, o ruído pode causar diversas mudanças comportamentais, como diminuição na taxa de forrageamento (Voellmy *et al.*, 2014; Bracciali *et al.*, 2012) e na comunicação (Wysocki & Ladich, 2005), na capacidade de manutenção de territórios, esconderijos e abrigos para reprodução (Becker *et al.*, 2013; Bruintjes & Radford, 2013), afetando, assim o sucesso reprodutivo. O ruído também pode causar estresse fisiológico (Celi *et al.*, 2016; Nichols *et al.*, 2015), interferir nas interações predador-presa, diminuindo a capacidade de detecção de predadores

(Simpson *et al.*, 2016) e também mascarar a percepção do ambiente não só de peixes adultos, mas também de larvas (Holles *et al.*, 2013; Sebastianutto *et al.*, 2011; Simpson *et al.*, 2016).

Desta forma, o gerenciamento de áreas costeiras com atividades náuticas intensas se torna essencial para garantia da manutenção das espécies e, conseqüentemente, dos ecossistemas recifais (Williams *et al.*, 2015). Assim, destaca-se a importância de estudos com foco na determinação desses efeitos em espécies que representem as comunidades biológicas, com o intuito de gerar alternativas viáveis para que a visitação e uso dessas áreas não deixem de ser praticados, mas geridos de modo a minimizar os impactos provenientes das atividades antrópicas.

1.2. Comportamento e produção de som em peixes: peixes-donzela como modelo

Os peixes-donzela pertencem à família Pomacentridae, composta por 29 gêneros e 393 espécies, e considerada uma das mais representativas nas comunidades recifais no mundo todo, raramente sendo encontrados representantes em ambientes estuarinos (Parmentier & Frédérich, 2016). Os pomacentrídeos possuem dois grupos funcionais mais amplos: um composto por espécies planctívoras, que se alimentam predominantemente na coluna de água; e outro, por espécies bentônicas, que se alimentam predominantemente de corais vivos, algas ou outros tipos de alimentos bentônicos (Hata & Ceccarelli, 2016). Dentre as espécies bentônicas, podem-se distinguir as espécies denominadas “agricultoras de algas” ou “fazendeiras”, presentes nas subfamílias *Stegastinae* e *Pomacentrinae*, as quais possuem extrema importância para os ecossistemas recifais por prevenirem a dominância das algas em relação aos corais (Hata & Ceccarelli, 2016; Ceccarelli *et al.*, 2005).

A família Pomacentridae inclui espécies que vivem em agregações, que podem variar entre cerca de 10 a mais de 50 indivíduos, e espécies solitárias, cuja maioria de seus representantes apresenta comportamento territorialista (Parmentier & Frédérich, 2016). Por exemplo, o peixe-donzela *Stegastes planifrons* e os peixes-palhaço do gênero *Amphiprion*, os quais são territorialistas permanentes (Parmentier & Frédérich, 2016), e algumas espécies que podem apresentar territorialidade restrita a períodos

reprodutivos, como *Plectroglyphidodon lacrymatus*, *P. leucozoma*, *Pomacentrus albicaudatus* (Lecchini *et al.*, 2016).

O comportamento territorial nos peixes-donzela está associado a uma série de *displays* agressivos intra e interespecíficos, os quais compõem (com variações intraespecíficas) o repertório comportamental mais comumente observado nas espécies do grupo. Dentre os *displays* mais comumente apresentados pelos peixes-donzela, podem ser citados: perseguição – em que o indivíduo persegue intrusos de seu espaço territorial (e.g. *Stegastes partitus*: Myrberg, 1972; *Dascyllus flavicaudus*: Parmentier *et al.*, 2010); display frontal ou luta – quando o indivíduo nada rapidamente em direção a um intruso, enfrentando o adversário frente-frente (*Stegastes partitus*: Myrberg, 1972; *Dascyllus flavicaudus*: Parmentier *et al.*, 2010); display lateral – similar ao frontal, porém com orientação lateral ao intruso (*Stegastes partitus*: Myrberg, 1972).

Os peixes-donzela também apresentam *displays* reprodutivos, como o comportamento de “mergulho” – quando o macho sobe a cerca de 1 metro na coluna de água e mergulha rapidamente em direção ao território (*Stegastes partitus*: Myrberg, 1972; *Dascyllus flavicaudus*: Parmentier *et al.*, 2010); “visita” – a fêmea visita e escolhe o ninho para depositar os ovos (*Chrysiptera cyanea*: Gronell, 1989; *Dascyllus albisella e flavicaudus*: Parmentier *et al.*, 2010); limpeza e aeração do ninho – o peixe nada até o local do ninho e utiliza a nadadeira peitoral para mover a água em direção aos ovos (*Stegastes partitus*: Myrberg, 1972). Adicionalmente, ainda são descritos comportamentos que não estão associados a interações com outros indivíduos. Tais comportamentos são considerados locomotores, por envolverem questões de mobilidade/deslocamento dos peixes, como o comportamento de natação e suas possíveis variações, comportamento de alimentação e de limpeza de território (ver Myrberg, 1972).

Além de apresentarem um repertório comportamental bastante diversificado no grupo dos peixes, os peixes-donzela também apresentam produção de sons, a qual foi registrada em oito dos 29 gêneros descritos para a família (Parmentier *et al.*, 2010; Maruska *et al.*, 2007). A produção de sons é bem descrita para diversos outros grupos de peixes (Amorim, 2006), a qual pode ser utilizada, por exemplo, para atrair parceiros, durante a corte e a cópula (e.g. *Halobatrachus didactylus*: Amorim & Vasconcelos, 2008; *Oreochromis mossambicus*: Amorim *et al.*, 2003; *Dascyllus albisella*: Lobel &

Mann, 1995); durante a alimentação (e.g. *Hippocampus reidi*: Oliveira *et al.*, 2014; *Pseudorasbora parva*: Scholz, k. & Ladich, 2006); e durante interações agonísticas, para defesa de território (e.g. *Dascyllus albisella*: Mann & Lobel, 1998; *Eutrigla gurnardus*: Amorim *et al.*, 2004). A produção de som associada a esses contextos torna-se uma característica de extrema importância para as espécies, de modo que qualquer fator no ambiente que interfira na comunicação acústica poderá afetar a reprodução (Blom, 2017), sobrevivência (Hawkins & Popper, 2014) ou a aptidão em relação à alimentação e interações predador-presa dos peixes (Simpson *et al.*, 2016).

Os peixes, de modo geral, produzem sons através de vários mecanismos, que podem ser divididos em duas categorias: os mecanismos de origem estridulatória (i. e. atrito entre estruturas ósseas, como dentes, espinhos e raios das nadadeiras) e os mecanismos gerados a partir da vibração da bexiga natatória (i.e. através da contração de músculos e tendões ligados à parede da bexiga) (Parmentier & Fine, 2015; Ladich, 2014). Nos Pomacentridae, a produção de som está associada a um mecanismo estridulatório, que envolve o ligamento ceratomandibular, estrutura que une lateralmente o osso hioide à região mediana da mandíbula, proporcionando um rápido fechamento da boca, induzindo uma colisão entre os dentes que resulta na produção de som (Olivier *et al.*, 2014; Parmentier *et al.*, 2017). Além disso, vibrações resultantes do fechamento da mandíbula são transferidas para a caixa torácica, particularmente as costelas, gerando oscilações na bexiga natatória, que funciona como um amplificador (Fréderich & Parmentier, 2016), tornando o mecanismo de produção de som nos peixes-donzela exclusivo da família (Parmentier *et al.*, 2017).

Os sons produzidos pelos peixes-donzela em geral apresentam estrutura pulsada e de banda larga de frequência, descritos na literatura como “*pops*” e “*chirps*” (Parmentier *et al.*, 2016). Tanto machos quanto fêmeas apresentam produção de som associada a comportamentos agonísticos, quando perseguem outro indivíduo da mesma espécie ou de espécies diferentes que invadem sua área territorial (Myrberg, 1972; Mann & Lobel, 1998). Também produzem esses sons para defesa de ninhos (em relação aos machos) (Oliver & Watson, 1999) e para reconhecimento intraespecífico em comportamentos reprodutivos (Lobel & Kerr, 1999; Oliver & Lobel, 2013). Os *pops* são sons pulsados que podem se apresentar de maneira única, com dois pulsos (em algumas espécies), ou como uma sequência de vários pulsos observados durante comportamento agonístico, e os *chirps* possuem uma sequência de vários pulsos e foram

associados a comportamentos agonísticos e reprodutivos, diferindo quanto aos parâmetros temporais entre os contextos comportamentais (Amorim, 1996; Amorim *et al.*, 2003).

Devido às características comportamentais relacionadas aos peixes-donzela, principalmente no caso de espécies territorialistas, os impactos provenientes das atividades náuticas podem ser ainda maiores, tendo em vista que o habitat desses animais tende a ser restrito quando comparado a espécies não-territorialistas (Daros *et al.*, 2016; Meadows, 2001), podendo levar a uma maior vulnerabilidade desse grupo de peixes a perturbações. Por exemplo, a espécie *Chromis chromis*, que vive em cardumes, mas pode ser observada solitária defendendo território (Frédérich & Parmentier, 2016), apresentou modificação no padrão de forrageamento (Bracciali *et al.*, 2012), aumento do nível de estresse, através de biomarcadores sanguíneos (Vazzana *et al.*, 2017) e diminuição do tempo gasto para cuidar do ninho (Picciulin *et al.*, 2010). Já para indivíduos jovens da espécie *Pomacentrus amboinensis*, foi observada uma alteração temporária no padrão de comportamentos habituais (e.g. natação, alimentação e refúgio) a curto prazo (Holmes *et al.*, 2017). Desta forma, os efeitos variam entre as espécies e, conseqüentemente, podem afetar o equilíbrio trófico da comunidade, tendo em vista que os peixes-donzela atuam no ambiente como espécies-chave (Ceccarelli *et al.*, 2005).

A espécie-foco deste trabalho, *Stegastes fuscus* (Cuvier, 1830) (Fig. 1), apresenta diversas das características apresentadas pela família Pomacentridae. Tais características envolvem a capacidade de produzir som associado a contextos comportamentais (ver Lobel *et al.*, 2010; Myrberg, 1972; Emery 1973), embora o comportamento acústico das espécies não tenha sido descrito. Também apresenta características morfológicas e anatômicas similares a espécies congêneres que produzem som (*Stegastes adustus* e *S. diencaeus* – Weimann *et al.*, 2017). A espécie é territorialista (Osório *et al.*, 2006), altamente representativa no litoral brasileiro (Ferreira *et al.*, 2004), e considerada chave para os ecossistemas recifais, estruturando as comunidades bentônicas, sendo consideradas “fazendeiras” (Ceccarelli *et al.*, 2005; Feitosa *et al.*, 2012). Desta forma, *S. fuscus* pode ser considerada um excelente modelo para a compreensão dos efeitos do tráfego náutico nesse grupo de peixes essenciais para a saúde dos ambientes recifais.



Figura 1. Indivíduo adulto de *Stegastes fuscus* no recife de Tamandaré - PE. Foto: Batista, C. R. M.

1.4. Papel da etologia e da bioacústica de peixes na conservação de ambientes marinhos

Apesar dos estudos sobre os efeitos do tráfego de embarcações no ambiente e nos animais serem considerados de grande relevância no contexto mundial (Erbe *et al.*, 2016; Hastings & Sirovic, 2015; Slabbekoorn *et al.*, 2010), apenas recentemente esta temática vem sendo abordada no Brasil. Entretanto, os trabalhos têm focado no ambiente acústico marinho, abordando a poluição sonora produzida por navios (Baía de Guanabara: Bittencourt *et al.*, 2014; Porto de Santos: Sánchez-Gendriz & Padovezi, 2014 e 2015), e no ambiente acústico com foco em sons biológicos e antropogênicos (litoral de Santos, São Paulo: Sánchez-Gendriz & Padovezi, 2016).

Em contexto mundial, os mamíferos marinhos têm sido o foco da maioria dos trabalhos que avaliam impactos antrópicos relacionados a ruído náutico (Kenney, 1997; Board, 2003; Hildebrand, 2004; Madsen, 2005), destacando, por exemplo, alterações em padrões comportamentais (Valle & Melo, 2006; Carrera *et al.*, 2008) e modificações na comunicação acústica (Albuquerque & Souto, 2013; Gospic & Picciulin, 2016). Apenas recentemente os peixes recifais estão sendo abordados nesse contexto, apesar de constituírem um dos grupos mais vulneráveis por estarem em áreas costeiras rasas, onde

o turismo relacionado ao tráfego náutico é intenso. Os trabalhos têm demonstrado que a produção de som em peixes pode ser afetada na presença de tráfego náutico (Picciulin *et al.*, 2012; Ladich, 2013), como também comportamentos que podem influenciar a manutenção dessas populações (Sebastianutto *et al.*, 2011), inclusive por impedir o assentamento de larvas (Holles *et al.*, 2013).

Os Pomacentridae constituem um grupo de peixes particularmente bem estudado, sendo abordados em pesquisas que envolvem diversos aspectos da sua biologia, como a dieta (e.g. Feitosa *et al.*, 2012; Moreno-Sánchez *et al.*, 2011), comportamento (e.g. Myrberg, 1972; Hamb, 2011), filogenia (e.g. Cooper *et al.*, 2009), visão (e.g. Stieb *et al.*, 2017), audição (e.g. Egner, 2005; Maruska & Tricas, 2009), produção de som (e.g. Parmentier & Frédérich, 2016; Weimann *et al.*, 2017), entre outros, que foram recentemente compiladas no livro publicado por Frédérich e Parmentier (2016), “Biology of Damselfishes”. Entretanto, embora seja um grupo bem estudado, pouco se sabe em relação aos efeitos do tráfego náutico nos pomacentrídeos, uma vez que os trabalhos são restritos a três espécies: *Chromis chromis* (diminuição de cuidado com o ninho - Picciulin *et al.*, 2010; modificação na taxa de forrageamento - Bracciali *et al.*, 2012; aumento do estresse em relação a presença de ruído – Vazzana *et al.*, 2017; e mascaramento do som em relação ao ruído – Codarin *et al.*, 2009); *Pomacentrus amboinensis* (modificação nos comportamentos a curto prazo - Holmes *et al.*, 2017); *Acanthochromis polyacanthus* (aumento de comportamentos agressivos, diminuição da taxa de alimentação e do cuidado parental – Nedelec *et al.*, 2017).

No Brasil, formações recifais podem ser encontradas em toda costa da região nordeste (aproximadamente 3000 km de ambientes recifais) (Maida & Ferreira, 1997), apresentando alta demanda turística e de atividades náuticas. Entretanto, nenhum trabalho foi realizado de forma a avaliar os impactos do tráfego de embarcações no comportamento de peixes nesses ambientes. Entretanto, foram verificadas alterações na comunidade de peixes recifais onde atividades náuticas e de visitação são realizadas, particularmente associada ao turismo (e.g. Albuquerque *et al.*, 2015). Desta forma, destaca-se a relevância da avaliação dos efeitos desses tipos de perturbação, particularmente quanto a espécies-chave, devido ao seu papel fundamental na estruturação das comunidades recifais.

Pesquisas que tenham foco em comportamento, fisiologia e ecologia das espécies e habitats em áreas de atividades náuticas, com o intuito de detectar efeitos

negativos, são fundamentais para o planejamento e gestão e conservação costeira e marinha (Trave *et al.*, 2017). Os possíveis impactos causados pelo tráfego náutico aos ecossistemas aquáticos podem ser minimizados com a implementação de zonas que restrinjam ou regulem tais atividades antrópicas, por exemplo, reduzindo a exposição dos animais ao tráfego e ao ruído produzido pelas embarcações, podendo gerar uma melhoria na integridade ecológica das espécies e garantir a resiliência dessas áreas (Williams *et al.*, 2015).

Neste contexto, este trabalho avaliou os efeitos do tráfego náutico de embarcações sobre uma espécie modelo de peixe recifal (*Stegastes fuscus*), podendo levantar questões importantes quanto à conservação de ambientes ameaçados e altamente suscetíveis à ação antrópica, bem como quanto ao zoneamento de unidades de conservação marinhas, sendo o primeiro trabalho com esse contexto realizado com peixes-donzela no Atlântico Sul

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Descrever o comportamento acústico do peixe-donzela *Stegastes fuscus* e avaliar os efeitos de atividades náuticas sobre o comportamento e a produção de som pela espécie, nos recifes costeiros da praia de Tamandaré, Pernambuco.

2.2 Específicos

- Descrever o comportamento acústico de *Stegastes fuscus* quanto às características temporais e espectrais dos sons e aos comportamentos aos quais estão associados;
- Analisar a taxa de vocalização e possíveis mudanças nas características temporais e espectrais dos sons produzidos por *S. fuscus* em pontos amostrais sob diferentes condições de tráfego náutico;
- Comparar o tamanho do território, a taxa de alimentação, o padrão de refúgio e a frequência de comportamentos agonísticos dos peixes-donzela nos pontos amostrais sob diferentes condições de tráfego náutico e entre a alta e a baixa estação turística.

4. LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, N. S. & SOUTO, A. S. Motorboat noise can potentially mask the whistle sound of estuarine dolphins (*Sotalia guianensis*). **Ethnobiology and Conservation**, v. 2, 2013.

ALBUQUERQUE, T. et al. In situ effects of human disturbances on coral reef-fish assemblage structure: temporary and persisting changes are reflected as a result of intensive tourism. **Marine and Freshwater research**, v. 66, n. 1, p. 23-32, 2014.

AMORIM, M. C. P. Sound production in the blue-green damselfish, *Chromis viridis* (Cuvier, 1930) (Pomacentridae). **The International Journal of Animal Sound and its Recording**. v.6, p.265-272, 1996.

AMORIM, M. C. P. Diversidade da produção de som em peixes. **Comunicação em peixes**, v. 1, p. 71-104, 2006.

AMORIM, M. C. P.; VASCONCELOS, E. O. Variability in the mating calls of the Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus*: cues for potential individual recognition. **Journal Fish Biology**. v.73, p. 1267-1283, 2008.

AMORIM, M. C. P, FONSECA, P. J, ALMADA, V.C. Sound production during courtship and spawning of *Oreochromis mossambicus*: male-female and male-male interactions. **Journal Fish Biology**. v.62, p.658–672, 2003.

AMORIM, M. C. P.; STRATOUDAKIS, Y.; HAWKINS, S. D. Sound production during competitive feeding in the grey gurnard. **Journal of Fish Biology**. v.65, p.182-194, 2004.

BARTLEY, R. et al. Relating sediment impacts on coral reefs to watershed sources, processes and management: A review. **Science of the Total Environment**, v. 468, p. 1138-1153, 2014.

BECKER, A., et al. Does boat traffic cause displacement in estuarine fish? **Marine Pollution Bulletin**. v.75, p.168–173, 2013.

BITTENCOURT, L. et al. Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. **Deep-sea Research I**. v.115, p.103-111, 2016.

BITTENCOURT, L. et al. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. **Marine Pollution Bulletin**. v.83, p.331-333, 2014.

BOARD, Ocean Studies et al. **Ocean noise and marine mammals**. National Academies Press, 2003.

BLOM, Eva-Lotta. Sexual signalling and noise pollution-implications for courtship behaviour and reproductive success in two vocal species of marine gobies. Thesis. **University Gothenburg**. 2017.

BRACCIALI, C. et al. Effects of nautical traffic and noise on foraging patterns of Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*). **PLoS one**, v. 7, n. 7, p. e40582, 2012.

BRUINTJES, R.; RADFORD, A.N. Context-dependent impacts of anthropogenic noise on individual and social behaviour in a cooperatively breeding fish. **Animal Behaviour**. v.85, p.1343–1349, 2013.

CARRERA, M. L.; FAVARO, E. G. P.; SOUTO, A. The response of marine tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) towards tourist boats involves avoidance behaviour and a reduction in foraging. **Animal Welfare**. v. 17, n. 2, p. 117-123, 2008.

CECCARELLI, D. M.; JONES, G. P.; McCOOK, L. J. Effects of territorial damselfish on an algal-dominated coastal coral reef. **Coral Reefs**. v.24, p.606–620, 2005.

CELI, M. et al. Vessel noise pollution as a human threat to fish: assessment of the stress response in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, Linnaeus 1758). **Fish Physiol Biochem**. v.42, p.631-641, 2016.

CODARIN, A. et al. 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, 1880-1887. 2009.

COOPER, W. J.; SMITH, L. L.; WESTNEAT, M. W. Exploring the radiation of a diverse reef fish family: phylogenetics of the damselfishes (Pomacentridae), with new classifications based on molecular analyses of all genera. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 52, n. 1, p. 1-16, 2009.

DAROS, F. A. et al. Otolith fingerprints of the coral reef fish *Stegastes fuscus* in southeast Brazil: a useful tool for population and connectivity studies. **Regional Studies in Marine Science**, v. 3, p. 262-272. 2016.

- DAVENPORT, J. & DAVENPORT, J. L. The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.67, p.280-292, 2006.
- ERBE, C. et al. Characterizing Marine Soundscapes. In: The Effects of Noise on Aquatic Life II (ed. A.N. Popper, A. Hawkins). **Advances in Experimental Medicine and Biology**. 2016.
- EGNER, S. A. & MANN, D. A. Auditory sensitivity of sergeant major damselfish *Abudefduf saxatilis* from post-settlement juvenile to adult. **Marine Ecology Progress Series**, v. 285, p. 213-222, 2005.
- EMERY, A. R. Comparative ecology and functional osteology of fourteen species of damselfish (Pisces: Pomacentridae) at Alligator Reef, Florida Keys. **Bulletin of Marine Science**, v. 23, n. 3, p. 649-770, 1973.
- FARINA, A. The Ecological Effects of Noise on Species and Communities. **Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds**, p. 95, 2017.
- FEITOSA, J. L. L. et al. Food resource use by two territorial damselfish (Pomacentridae: *Stegastes*) on South-Western Atlantic algal-dominated reefs. **Journal of Sea Research**. v.70, p.42-49, 2012.
- FRÉDÉRICH, B.; PARMENTIER, E. (Ed.). **Biology of damselfishes**. CRC Press, 2016.
- FERREIRA, C. E. L. et al. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. **Journal of Biogeography**. v.31, p.1093–1106, 2004.
- FLYNN, R. L. Boat anchoring contributes to coral reef degradation in the British Virgin Islands. **University of Rhode Island**, 2015.
- GABEL, F.; LORENZ, S.; STOLL, S. Effects of ship-induced waves on aquatic ecosystems. **Science of the Total Environment**, v. 601, p. 926-939, 2017.
- GALVÁN-VILLA, C. M. & HASTINGS, P. A. Comportamento de acoplamento e dissimulação rápida de coloração nupcial em machos do Fishgod Blenny *Malacoctenus ebisui* (Teleostei: Blenniiformes). **Biologia Ambiental dos Peixes**, p. 1-5, 2018.

- GEDAMKE, J. et al. Predicting Anthropogenic Noise Contributions to US Waters. In: The Effects of Noise on Aquatic Life II (ed. A.N. Popper; A. Hawkins). **Advances in Experimental Medicine and Biology**. 2016.
- GINGINS, S.; ROCHE, D. G.; BSHARY, R. Mutualistic cleaner fish maintains high escape performance despite privileged relationship with predators. In: Proc. R. Soc. B. **The Royal Society**, p. 20162469, 2017.
- GOLDEMAN, J. G. Can you hear me now? **Scientific American**. 2015.
- GOSPIĆ, N. R.; PICCIULIN, M. Changes in whistle structure of resident bottlenose dolphins in relation to underwater noise and boat traffic. **Marine pollution bulletin**, v. 105, n. 1, p. 193-198, 2016.
- GRONELL, A. M. Visiting behaviour by females of the sexually dichromatic damselfish, *Chrysiptera cyanea* (Teleostei: Pomacentridae): a probable method of assessing male quality. **Ethology**, v. 81, n. 2, p. 89-122, 1989.
- HALL, C.M. Trends in ocean and coastal tourism: the end of the last frontier? **Ocean & Coastal Management**. v.44, p.601–618, 2001.
- HAMB, A. Defense of a multi functional territory against interspecific intruders by the damselfish *Stegastes nigricans* (Pisces, Pomacentridae). **Escholarship**. 2011.
- HANNAK, J. S. et al. Snorkelling and trampling in shallow-water fringing reefs: risk assessment and proposed management strategy. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 10, p. 2723-2733, 2011.
- HASTINGS, P. A. & SIROVIC, A. Soundscapes offer unique opportunities for studies of fish communities. **PNAS**. v.112, p.5866-5867, 2015.
- HALFWERK, W. & SLABBEKOORN, H. Pollution going multimodal: the complex impact of the human-altered sensory environment on animal perception and performance. **Biology letters**, v. 11, n. 4, p. 20141051, 2015.
- HATA, H. & CECCARELLI, D. M. Farming Behaviour of Territorial Damselfishes. In B. Frédérick & E. Parmentier (Eds.), Biology of damselfishes (pp. 404–448). **Boca Raton: CRC press**. 2016.
- HARRIOT, V. J. Marine tourism impacts and their management on the Great Barrier Reef. **CRC Reef Research Centre Technical Report**. 2002.

- HAWKINS, A. & POPPER, A. N. Assessing the Impact of Underwater Sounds on Fishes and Other Forms of Marine Life. **Acoustics Today Spring**. 2014.
- HILDEBRAND, J. Impacts of anthropogenic sound on cetaceans. **Unpublished paper submitted to the International Whaling Commission Scientific Committee SC/56 E**, v. 13, 2004.
- HOLLES, S. et al. Boat noise disrupts orientation behavior in a coral reef fish. **Marine Ecology Progress Series**. v.485, p.295–300, 2013.
- HOLT, D. E. & JOHNSTON C. E. Traffic noise masks acoustic signals of freshwater stream fish. **Biological Conservation**. v.187, p.27–33, 2015.
- HOLT, D. E. & JOHNSTON C. E. Evidence of the Lombard effect in fishes. **Behavioral Ecology**. v.25, p.819-826, 2014.
- HOLMES, L. J. et al. Juvenile damselfish are affected but desensitize to small motor boat noise. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 494, p. 63-68, 2017.
- KHAN, N., WARITH, M. A., & LUK, G. A comparison of acute toxicity of biodiesel, biodiesel blends, and diesel on aquatic organisms. **Journal of the Air & Waste Management Association**. 57(3), 286-296, 2007.
- KENNEY, R. D. Marine Mammals and Noise. **Marine Technology Society. Marine Technology Society Journal**, v. 31, n. 1, p. 88, 1997.
- LADICH, F. Effects of noise on sound detection and acoustic communication in fishes. In: Animal communication and noise. **Springer Berlin Heidelberg**. p. 65-90, 2013.
- LADICH, F. Fish bioacoustics. **Current opinion in neurobiology**, v. 28, p. 121-127, 2014.
- LAMB, J. B. et al. Scuba diving damage and intensity of tourist activities increases coral disease prevalence. **Biological Conservation**. v. 178, p. 88-96, 2014.
- LLORET, J. A. et al. Impacts of recreational boating on the marine environment of Cap de Creus (Mediterranean Sea). **Ocean Coastal Management**. v.51, p.749–754, 2008.

LECCHINI, D. et al. Reproduction and Larval Recruitment in Damselfishes. In B. Frédérick & E. Parmentier (Eds.), *Biology of damselfishes* (pp. 127–200). **Boca Raton: CRC press**. 2016.

LOBEL, P. S.; KERR, L. M. Courtship sounds of the Pacific damselfish, *Abudefduf sordidus* (Pomacentridae). **The Biological Bulletin**, v. 197, n. 2, p. 242-244, 1999.

LOBEL, P. S. & MANN, D. A. Spawning sounds of the damselfish, *Dascyllus albisella* (Pomacentridae), and relationship to male size. **Bioacoustics**, v. 6, n. 3, p. 187-198. 1995.

LOBEL, P. S.; KAATZ, I. M.; RICE, A. N. Acoustical behavior of coral reef fishes. **Reproduction and sexuality in marine fishes: patterns and processes**, p. 307-386, 2010.

MANN, D. A. & LOBEL, P. S. Acoustic behavior of the damselfish *Dascyllus albisella*: behavioral and geographic variation. **Environmental Biology of Fishes**. v.51, p.421-428, 1998.

MADSEN, P. T. Marine mammals and noise: Problems with root mean square sound pressure levels for transients. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 117, n. 6, p. 3952-3957, 2005.

MARUSKA, K. P. et al. Sound production and spectral hearing sensitivity in the Hawaiian sergeant damselfish, *Abudefduf abdominalis*. **Journal of Experimental Biology**, v. 210, n. 22, p. 3990-4004, 2007.

MARUSKA, K. P. & TRICAS, T. C. Encoding properties of auditory neurons in the brain of a soniferous damselfish: response to simple tones and complex conspecific signals. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 195, n. 11, p. 1071, 2009.

MARTIN, J. et al. A quantitative framework for investigating risk of deadly collisions between marine wildlife and boats. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 7, n. 1, p. 42-50, 2016.

MEDEIROS, P. R. et al. Effects of recreational activities on the fish assemblage structure in a northeastern Brazilian reef. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, n. 3, p. 288-300, 2007.

- MEADOWS, D. W. Centre-edge differences in behaviour, territory size and fitness in clusters of territorial damselfish: patterns, causes, and consequences. **Behaviour**. 138(9), 1085-1116, 2001.
- MORENO-SÁNCHEZ, X. G. et al. Diet of the cortez damselfish *Stegastes rectifraenum* (teleostei: Pomacentridae) from the rocky reef at Los Frailes, Baja California Sur, Mexico. **Marine Biodiversity Records**, v. 4, 2011.
- MCLUSKY, D. S.; ELLIOTT, M. **The estuarine ecosystem: ecology, threats and management**. Oxford University Press on Demand, 2004.
- MYRBERG, A. A. J. Ethology of the bicolour damselfish *Eupomacentrus partitus* (Pisces: Pomacentridae): a comparative analysis of laboratory and field behaviour. **Animal Behaviour**. Monograf. 5, 197–283. 1972.
- NEDELEC, S. L. et al. Motorboat noise impacts parental behaviour and offspring survival in a reef fish. In: **Proc. R. Soc. B**. The Royal Society. p. 20170143. 2017.
- NICHOLS, T. A.; ANDERSON, T. W.; ŠIROVIĆ, A. Intermittent Noise Induces Physiological Stress in a Coastal Marine Fish. **Plos One**. v.10, 2015.
- OBURA, D. O. & GRIMSDITH, G. Resilience Assessment of coral reefs – Assessment protocol for coral reefs, focusing on coral bleaching and thermal stress. IUCN working group on Climate Change and Coral Reefs. **IUCN**. 70p. 2009.
- ODEH, M. et al. Evaluation of the effects of turbulence on the behavior of migratory fish. **Final Report to the Bonneville Power Administration, Contract**, v. 22, 2002.
- OLIVEIRA, T.P.R. et al. Sounds produced by the longsnout seahorse: a study of their structure and functions. **Journal of zoology**. p.114–121, 2014.
- OLIVIER, D. et al. The cerato-mandibular ligament: a key functional trait for grazing in damselfishes (pomacentridae). **Frontiers in Zoology**. v.11, 2014.
- OLIVER, S. J.; WATSON, E. Threat-sensitive nest defense in domino damselfish, *Dascyllus albisella*. **The Biological Bulletin**, v. 197, n. 2, p. 244-246, 1999.
- OLIVER, S. J.; LOBEL, P. S. Direct mate choice for simultaneous acoustic and visual courtship displays in the damselfish, *Dascyllus albisella* (Pomacentridae). **Environmental biology of fishes**, v. 96, n. 4, p. 447-457, 2013.

- OSÓRIO, R.; ROSA, I. L.; CABRAL, H. Territorial defence by the Brazilian damsel *Stegastes fuscus* (Teleostei: Pomacentridae). **Journal of Fish Biology**. v.69, p.233-242, 2006.
- PARMENTIER, E., et al. Diversity and complexity in the acoustic behaviour of *Dacyllus flavicaudus* (Pomacentridae). **Mar. Biol.** 157, 2317–2327. 2010.
- PARMENTIER, E. & FINE, M. L. Fish sound production: insights. In: **Vertebrate sound production and acoustic communication**. Springer International Publishing. p. 19-49. 2016.
- PARMENTIER, E.; DIOGO, R.; FINE, M. L. Multiple exaptations leading to fish sound production. **Fish and Fisheries**, 2017.
- PARMENTIER, E. & FÉDÉRICH. Meet the damselfishes. In B. Frédérick & E. Parmentier (Eds.), *Biology of damselfishes* (pp. 29–62). Boca Raton: CRC press. 2016.
- PEREIRA, P. H.; PADOVANI FERREIRA, B. Agonistic behaviour among *Haemulon spp.* (Actinopterygii: Haemulidae) and other coral reef fishes in Northeastern Brazil. **Cybium**, v. 36, p. 361-367, 2012.
- PICCIULIN, M. et al. In situ behavioural responses to boat noise exposure of *Gobius cruentatus* (Gmelin, 1789; fam. Gobiidae) and *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758; fam. Pomacentridae) living in a Marine Protected Area. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 386, n. 1-2, p. 125-132, 2010.
- PICCIULIN, M. et al. Brown meagre vocalization rate increases during repetitive boat noise exposures: A possible case of vocal compensation. **Journal Acoustic Society American**. v.132, 2012.
- SÁNCHEZ-GENDRIS, I. & PADOVESE, L. R. Underwater soundscape of marine protected areas in the south Brazilian coast. **Marine Pollution Bulletin**. In Press. 2016.
- SÁNCHEZ-GENDRIS, I. & PADOVESE, L. R. Underwater sound pressure levels in the Port of Santos: Representative sample of forty-five days. **Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics)**. 2015.
- SÁNCHEZ-GENDRIS, I. & PADOVESE, L. R. Harbor sound level estimation for assessment of underwater ship noise. **Oceans - St. John's**. 2014.

SEBASTIANUTTO, L. et al. How boat noise affects an ecologically crucial behavior: the case of territoriality in *Gobius cruentatus* (Gobiidae). **Environmental Biology Fish.** v.92, p.207–215, 2011.

SIMPSON, D. S., et al. “Anthropogenic noise increases fish mortality by predation,” **Nature Comm.** 7:10544, 1-7. 2016.

SOUZA, A. T.; ILARRI, M. I.; ROSA, I. L. Habitat use, feeding and territorial behavior of a Brazilian endemic damselfish *Stegastes rocasensis* (Actinopterygii: Pomacentridae). **Environmental biology of fishes**, v. 91, n. 2, p. 133-144, 2011.

SUEUR, J.; FARINA, A. Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. **Biosemiotics.** v.8, p.493-502, 2015.

SCHOLZ, K. & LADICH, F. Sound production, hearing and possible interception under ambient noise conditions in the top mouth minnow *Pseudorasbora parva*. **Journal Fish Biology.** v.69, p.892–906. 2006.

SHANNON, G. et al. A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. **Biological Reviews**, v. 91, n. 4, p. 982-1005, 2016.

SLABBEKOORN, H. et al. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. **Trends in Ecology & Evolution.** 2010.

STAATERMAN E., PARIS, C.B. KOUGH, A.S. First evidence of fish larvae producing sounds. **Biology Letters.** 2014.

STIEB, S. M. et al. Why UV vision and red vision are important for damselfish (Pomacentridae): structural and expression variation in opsin genes. **Molecular ecology**, v. 26, n. 5, p. 1323-1342, 2017.

TRAVE, Claudia et al. Are we killing them with kindness? Evaluation of sustainable marine wildlife tourism. **Biological Conservation**, v. 209, p. 211-222, 2017.

VALLE, A. L.; MELO, F. C. C. Alterações comportamentais do golfinho *Sotalia guianensis* (Gervais, 1953) provocadas por embarcações. **Biotemas.** v. 19, n. 1, p. 75-80, 2006.

VAZZANA, M. et al. Noise elicits hematological stress parameters in Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*, perciformes): A mesocosm study. **Fish & shellfish immunology**, v. 62, p. 147-152, 2017.

VENTURINI, S. et al. Recreational boating in Ligurian Marine Protected Areas (Italy): A quantitative evaluation for a sustainable management. **Environmental Management**. v.57, p.163-165, 2015.

VOELLMY, I. K. et al. Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms. **Animal Behaviour**. v.89, p.191-198, 2014.

WEIMANN, S. R. et al. Territorial vocalization in sympatric damselfish: acoustic characteristics and intruder discrimination. **Bioacoustics**, p. 1-16, 2017.

WILLIAMS, R., et al. Quiet(er) marine protected areas. **Marine Pollution Bulletin**. v.100, p.154-161, 2015.

WILLIAMSON, J. E. et al. Ecological impacts and management implications of reef walking on a tropical reef flat community. **Marine pollution bulletin**, v. 114, n. 2, p. 742-750, 2017.

WYSOCKI, L. E.; LADICH, F. Hearing in fishes under noise conditions. **JARO Journal of the Association for Research in Otolaryngology**. v.6, p.28-36, 2005.

5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi dividida em dois capítulos, conforme descrito abaixo:

Capítulo I: Comportamento acústico do peixe-donzela *Stegastes fuscus* em ambiente natural

Pergunta: O comportamento acústico de *Stegastes fuscus* difere daquele conhecido para outras espécies do gênero?

Hipótese: *Stegastes fuscus* apresenta comportamento acústico com tipos de som com características de duração do pulso, período interpulso e frequência dominante similares ao registrado para outras espécies do gênero *Stegastes*, tendo em vista que apresenta semelhanças comportamentais, morfológicas e anatômicas em relação a outras espécies da família que produzem som.

Capítulo II: Efeitos do tráfego náutico no comportamento, produção de sons e território de *Stegastes fuscus*

Pergunta: Há alteração comportamental, acústica e no tamanho territorial dos peixes-donzela que habitam áreas com tráfego náutico?

Hipótese: Os peixes-donzela apresentam, em áreas com alto tráfego náutico, maior frequência de comportamentos agonísticos e territórios maiores, menor taxa de alimentação devido a maior tempo gasto em agressividade, menor frequência de comportamentos reprodutivos e maior taxa de vocalização.

CAPÍTULO I

Comportamento acústico do peixe-donzela *Stegastes fuscus* em ambiente natural

Manuscrito a ser submetido à revista *Journal of Zoology*

Comportamento acústico do peixe-donzela brasileiro *Stegastes fuscus* em ambiente natural

Batista, C. R. M.

Resumo

Os peixes-donzela formam uma das famílias mais representativas de peixes em ecossistemas recifais e várias espécies são reconhecidas por produzirem sons, principalmente associados a comportamentos agonísticos e reprodutivos. Este trabalho descreve o comportamento acústico do peixe-donzela *Stegastes fuscus*, espécie endêmica do Brasil, considerada espécie-chave em ecossistemas recifais. O comportamento e a produção de som por *S. fuscus* foram registrados através de gravações simultâneas de áudio e vídeo em um recife costeiro inserido em uma área de exclusão de pesca no nordeste brasileiro. O peixe-donzela brasileiro produziu quatro tipos de som, todos já descritos para outras espécies de pomacentrídeos: *pops* únicos e *chirps* – mais frequentes e associados a comportamentos agonísticos (perseguição, display lateral e natação explosiva), reprodutivos (natação em círculo e acasalamento/visita) e de interação pacífica; *pops* duplos e sequências de *pops* – menos comuns, produzidos durante natação em círculo, perseguição e display lateral (agonísticos), e durante acasalamento/visita e visita ao ninho (reprodutivos), respectivamente. Os tipos de *pops* apresentaram pulsos com características semelhantes entre si, mas diferentes quanto à duração do pulso em relação aos *chirps*. Todas as características acústicas dos *chirps* agonísticos e o período interpulso dos *chirps* reprodutivos podem potencialmente ser usadas para identificar os peixes individualmente.

Palavras-chave: bioacústica de peixes; repertório acústico; Pomacentridae; peixe recifal; Atlântico Sul; comportamento reprodutivo; defesa territorial; comportamento pacífico

Abstract

Damselfishes comprise one of the most representative fish families in reef ecosystems and several species are known to produce sounds, primarily associated with agonistic and reproductive behaviours. This work describes the acoustic behaviour of the damselfish *Stegastes fuscus*, a Brazilian endemic key-species in reef ecosystems. Behaviour and sound production data was gathered using simultaneous audio-video recordings of *S. fuscus* in a coastal reef inserted in a no-take zone in Northeast Brazil. The Brazilian damselfish produced four types of sound, all previously described for other species of pomacentrids: single pops and chirps - more frequent and associated with agonistic (chasing, lateral display and explosive swimming), reproductive (circle swimming and mating/visit) and passive interactions; double pops and pop trains - less common, produced during circle swimming, chasing and lateral displays (agonistic behaviours), and during mating/visit and nest visit (reproductive), respectively. The different types of *pops* presented pulses with similar characteristics, but differed in pulse duration compared to *chirps*. All of the acoustic characteristics of chirps produced in agonistic interactions and the inter-pulse period of chirps produced during reproductive behaviours have potential for use in identifying individual fish.

Keywords: bioacoustics of fish; acoustic repertoire; Pomacentridae; reef fish; South Atlantic; reproductive behaviour; territorial defense; peaceful behaviour

1. INTRODUÇÃO

A família Pomacentridae (peixes-donzela) é uma das mais representativas em ecossistemas recifais em todo o mundo (Ferreira *et al.*, 2004; Frédérich & Parmentier, 2016). Os pomacentrídeos constituem um dos grupos de peixes recifais mais bem estudados em termos de ecologia trófica (e.g. Fricke, 1977; Frédérich *et al.*, 2009; Gajdzik *et al.*, 2016), comportamento (e.g. Myrberg, 1972; Souza & Ilarri, 2014) e também produção de som (e.g. Myrberg, 1972; Myrberg *et al.*, 1993; Amorim, 2006; Parmentier *et al.*, 2006, 2009, 2010 e 2016), a qual já foi registrada em pelo menos oito dos 29 gêneros da família (Parmentier *et al.*, 2010; Maruska *et al.*, 2007).

Os sons mais frequentemente descritos para os pomacentrídeos são denominados *pops* e *chirps*. A produção de som ocorre associada a comportamentos agonísticos –

como defesa de território e de ninho (Myrberg, 1972; Amorim, 2006; Colleye *et al.*, 2011) –, e reprodutivos – como limpeza e visita ao ninho (Myrberg, 1972; Lobel & Mann, 1995). Os sons são produzidos através de um mecanismo estridulatório: o ligamento ceratomandibular que une lateralmente o osso hioide à região mediana da maxila inferior, proporcionando um rápido fechamento da mandíbula, induzindo uma colisão entre os dentes resultando, assim, na produção de som (Olivier *et al.*, 2014).

Embora a produção de som seja comum na família, algumas espécies não apresentam repertório acústico descrito, como é o caso do peixe-donzela brasileiro *Stegastes fuscus* (Cuvier, 1930), que possui comportamento territorialista (Osório, Rosa & Cabral, 2006) e hábito herbívoro, sendo considerado espécie-chave ambientes recifais brasileiros por determinar a estrutura das comunidades bentônicas (Ceccarelli, Jones & McCook, 2005; Feitosa *et al.*, 2012). Esta espécie apresenta características comportamentais, morfológicas e anatômicas semelhantes a outras espécies da família que produzem sons (e.g. *Stegastes adustus* e *S. diencaeus* – Weimann *et al.*, 2017; *Dascyllus aruanus*, *D. trimaculatus* e *D. flavicaudus* – Parmentier *et al.*, 2009), podendo também ser considerada um modelo para estudos de bioacústica no grupo.

Desta forma, esse trabalho objetivou avaliar a produção de som associada aos comportamentos apresentados pelo peixe-donzela brasileiro em ambiente natural. Esta é a primeira descrição do repertório acústico de uma espécie de peixe-donzela no Atlântico Sul, endêmica do litoral brasileiro, a qual apresenta elevada importância em ecossistemas recifais.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido em um trecho dos recifes costeiros do município de Tamandaré, litoral sul do estado de Pernambuco, nordeste brasileiro. A área amostrada localiza-se a 1 km da costa e é caracterizada como um recife biogênico raso (profundidade média de amostragem: 1,7 m), com cobertura predominante de algas e zoantídeos (Steiner *et al.*, 2015; Maida & Ferreira, 1997). A salinidade e a temperatura média do ponto amostral foi de 35 e 28°C, respectivamente.

A área de amostragem encontra-se inserida em uma zona de proteção integral (*no-take zone*) comum a três áreas marinhas protegidas (Área de Proteção Ambiental (APA) Costa dos Corais, APA de Guadalupe e Parque Natural do Forte de Tamandaré) (Fig. 1). Apenas atividades de pesquisa e monitoramento científico são permitidas nessa zona de proteção integral.

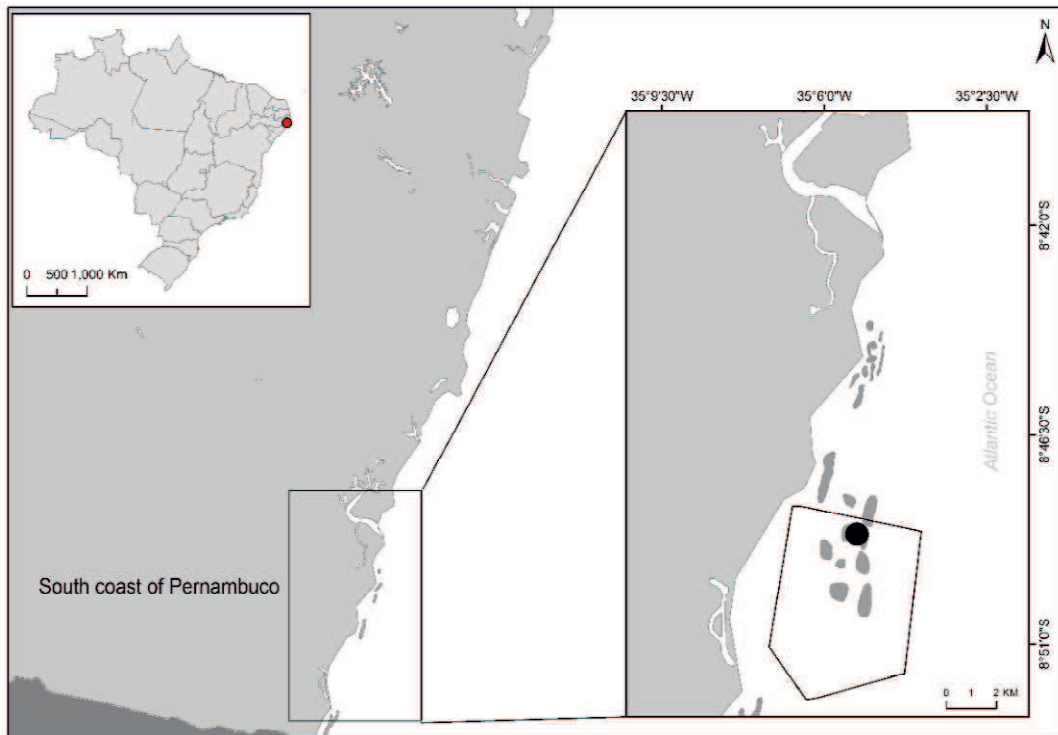


Figura 1. Mapa representativo dos recifes costeiros de Tamandaré, área de estudo no litoral sul do estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. Polígono: limites da zona de proteção integral da APA Costa dos Corais. O ponto preto mostra a área onde foram realizadas as amostragens.

2.2. Registro dos comportamentos e dos sons produzidos por *Stegastes fuscus*

Os dados foram coletados nos meses de outubro e dezembro de 2016, e janeiro de 2017, sempre por dois pesquisadores. O primeiro pesquisador filmou os peixes-donzela ($n = 39$) (câmera Nikon Coolpix A120) através de mergulho livre (*snorkelling*) durante um período de 10 minutos contínuos (Medeiros, Souza & Ilarri, 2010), utilizando o método animal focal (Altman, 1974). Foi mantida uma distância de 2-3

metros de cada indivíduo foco, para evitar a interferência do pesquisador em seu comportamento (Itzkowitz, Ludlow & Haley, 2000).

Simultaneamente às filmagens, foram realizadas gravações de áudio pelo segundo pesquisador, utilizando um hidrofone modelo SQ26-08 (frequência de captação de 0,030 a 30 kHz; sensibilidade efetiva: -169 dBV re 1V/ μ Pa, 10m cable, *Cetacean Research Technology*) acoplado a um gravador digital portátil (Sony PCM-M10; taxa de amostragem de 96 kHz, 32 bits, formato WAV), que foi posicionado próximo à região central do território de cada indivíduo (avaliado visualmente para minimizar a interferência dos pesquisadores antes da amostragem), e foi permitido um período de habituação até que o indivíduo não demonstrasse interação com o equipamento (~10 minutos). A estimativa visual do território de peixes-donzela é viável, uma vez que ao patrulharem seus territórios, esses peixes tendem a permanecer em seus limites territoriais (Daros *et al.*, 2016). Em seguida, eram iniciadas a filmagem e a gravação (de forma simultânea pelos dois pesquisadores). A gravação de áudio foi monitorada com fones de ouvidos pelo segundo pesquisador, que se posicionou a pelo menos 5m de distância do indivíduo foco. Posteriormente, os arquivos de áudio e vídeo foram sincronizados utilizando o programa *Windows Movie Maker* (*Microsoft Corporation*).

Após cada sessão de filmagem/gravação, o indivíduo foco foi observado por um período adicional de 10 minutos contínuos para determinação efetiva do tamanho do território. Para tanto, cada ponto extremo visitado pelo indivíduo foi marcado e, posteriormente, o diâmetro mais longo do seu território foi medido, seguindo a metodologia utilizada por Morgan e Kramer (2004).

Cada animal foi gravado apenas uma vez, sendo marcadas suas posições territoriais através de GPS e alternados os pontos de amostragem de modo a não serem repetidos. Adicionalmente, *Stegastes fuscus* possui fidelidade de sítio (Daros *et al.*, 2016), sendo facilmente identificados os indivíduos em suas áreas territoriais específicas, evitando, assim, pseudoreplicação dos espécimes durante a amostragem.

Todos os peixes foram fotografados com escala e tiveram o comprimento padrão determinado através do software ImageJ. Os indivíduos apresentaram comprimento padrão médio de 7,7 cm, e o tamanho do corpo não apresentou correlação com os parâmetros acústicos testados (duração do pulso: $r = -0,127$, $r^2 = 0,016$, $p = 0,422$;

frequência dominante: $r = -0,272$, $r^2 = 0,074$, $p = 0,081$; PIP: $r = -0,015$, $r^2 = 0,002$, $p = 0,891$).

2.3. Análise dos sons

Os sons foram analisados através de oscilogramas (quanto ao número de pulso e às características temporais: duração do som, duração dos pulsos, período interpulso e taxa de vocalização), utilizando o programa *Cool Edit 2000* (*Syntrillium Software Corporation*). Através de sonogramas e espectros de energia, particularmente, *cepstrum-smoothed sound spectra* (Noll, 1967), foram determinadas as frequências dominantes, utilizando o programa *S_TOOLS-STx 4.0* (*Acoustics Research Institute, Austrian Academy of Sciences*). Apenas os sons que apresentaram pulsos de estrutura clara (i.e. visíveis nos sonogramas) foram analisados.

Devido a inconsistências observadas nos termos utilizados para descrever sons em estudos de bioacústica, basicamente pelas denominações serem usadas através da percepção humana do som (Amorim, 2006; Parmentier, Lecchini & Mann, 2016), definimos a terminologia dos sons de acordo com o proposto por Parmentier *et al.* (2016). Os comportamentos, quando similares, seguiram as nomenclaturas já descritas para outras espécies da família (Myrberg, 1972; Parmentier *et al.*, 2010).

2.4. Análise dos dados

Os dados estão apresentados como média \pm erro padrão para descrição das características espectrais e temporais de cada tipo de som produzido por *Stegastes fuscus*. Os dados foram testados quanto à normalidade através do teste de *Shapiro-Wilk's* e quanto à homocedasticidade através do teste de *Levene*; quando os dados não apresentaram estes pressupostos, foram utilizados testes não-paramétricos. Foram utilizadas as médias dos parâmetros de som de cada indivíduo foco para as análises. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa *Statistica 10*, com significância de $p < 0,05$ (bilateral).

Foram realizadas análises de variância (ANOVA one-way, *post-hoc* de Tukey) para verificar se o número de pulsos, duração do pulso e frequência dominante variavam entre os tipos de som em cada contexto comportamental (reprodutivo e agonístico); no caso da taxa de vocalização, foi realizado o teste de *Kruskal-Wallis* (*post-hoc* de Dunn).

Para comparações entre o período interpulso (PIP) e a duração do som de *chirps* e *pops* duplos, foram realizados testes *U* de *Mann-Whitney* e *t* de *Student*. As sequências de *pops* não foram incluídas nas análises devido à baixa ocorrência ($n = 2$), inviabilizando a execução de análises estatísticas. O mesmo se aplica aos *pops* únicos e duplos produzidos no contexto reprodutivo ($n = 2$ e $n = 1$, respectivamente). Para verificar se a duração do pulso, frequência dominante, PIP e número de pulsos entre os *chirps* agonísticos e reprodutivos, foi realizado um teste *t* de *Student*. Para verificar se os parâmetros dos sons variavam em função do tamanho do corpo, foram realizadas regressões simples para cada característica analisada.

Para verificar se os *chirps* e *pops* possuíam características de forma a promover o reconhecimento individual dos peixes, foi realizada a análise do coeficiente de variação (CV) inter e intraindividual (CV_{inter} e CV_{intra}), seguindo o cálculo para amostras pequenas, através da fórmula $CV = 100 * (1 + (1/4) * n) * SD / \text{média}$ (Scherrer, 1984; Aubin *et al.* 2004). Foi calculado o CV médio de cada parâmetro acústico para cada indivíduo e entre os indivíduos (calculado a partir das média e desvio padrão gerais). Para avaliar se os parâmetros variavam mais intraindividualmente ou interindividualmente, foi calculada a razão CV_{inter}/CV_{intra} para cada parâmetro acústico. Uma razão CV_{inter}/CV_{intra} >1.0 indica que o parâmetro analisado pode potencialmente ser utilizado para reconhecimento individual.

3. RESULTADOS

Stegastes fuscus produziu quatro tipos de sons (Fig. 2; Fig. 3): *pops* únicos, *pops* duplos e *chirps* – principalmente associados a comportamentos agonísticos e reprodutivos –, e sequência de *pops* – exclusiva de interações reprodutivas e cuidado parental. Os *chirps* (49 % do total de sons produzidos) e *pops* únicos (33 %) constituíram os sons mais frequentes. As características gerais dos sons de *S. fuscus* encontram-se descritas na Tabela 1 e são apresentadas detalhadamente em seguida, de acordo com o contexto em que os sons foram produzidos.

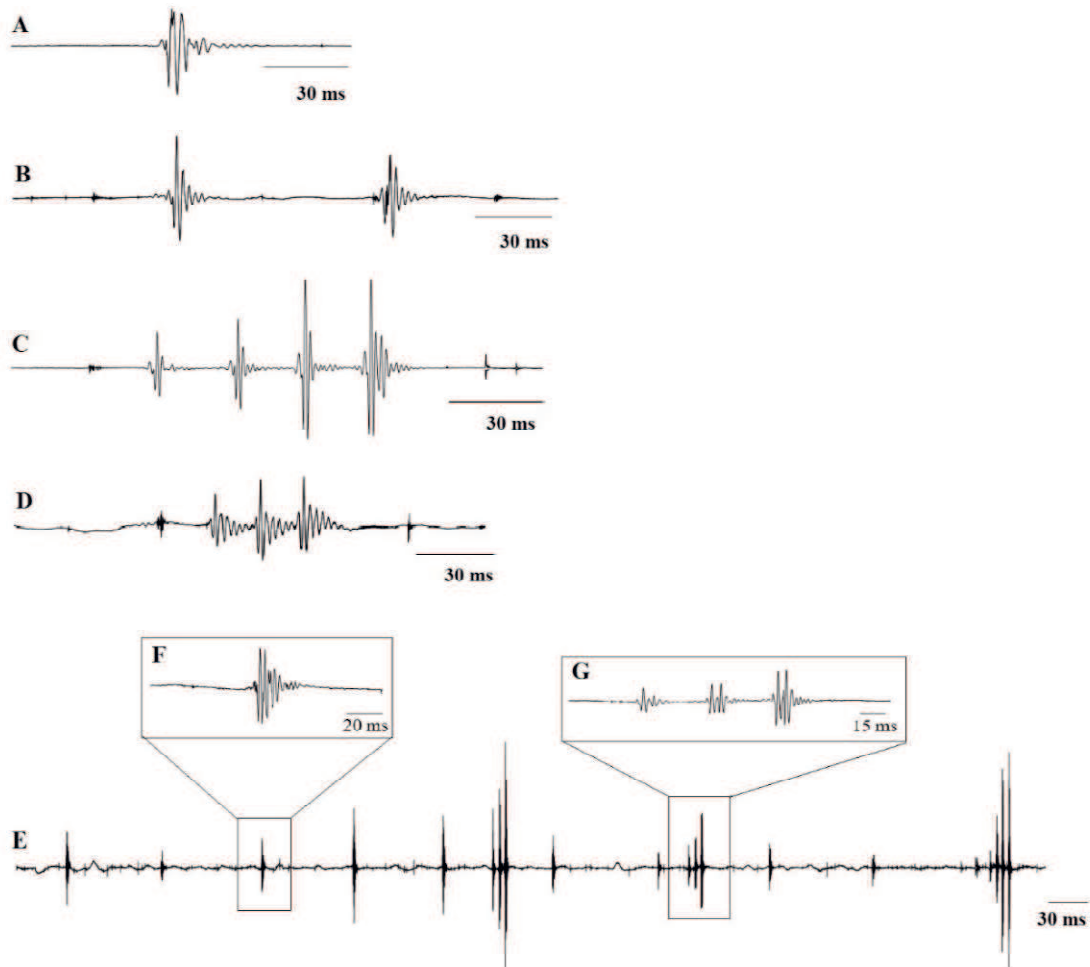


Figura 2. Oscilogramas dos sons produzidos por *Stegastes fuscus*. *Pop* único produzido durante perseguição (A); *pop* duplo produzido durante perseguição (B); *chirp* produzido durante natação explosiva (C); *chirp* sem período interpulso, produzido durante perseguição (D); e sequência de dez *pops* produzida durante acasalamento/visita (E; F: destaque para um dos *pops*), intercalados por três *chirps* (E; G: destaque para um deles), durante interação reprodutiva entre dois indivíduos. (Frequência de amostragem 96 Hz, bandwidth de 100 Hz, 75% *overlap*, Hanning *window*).

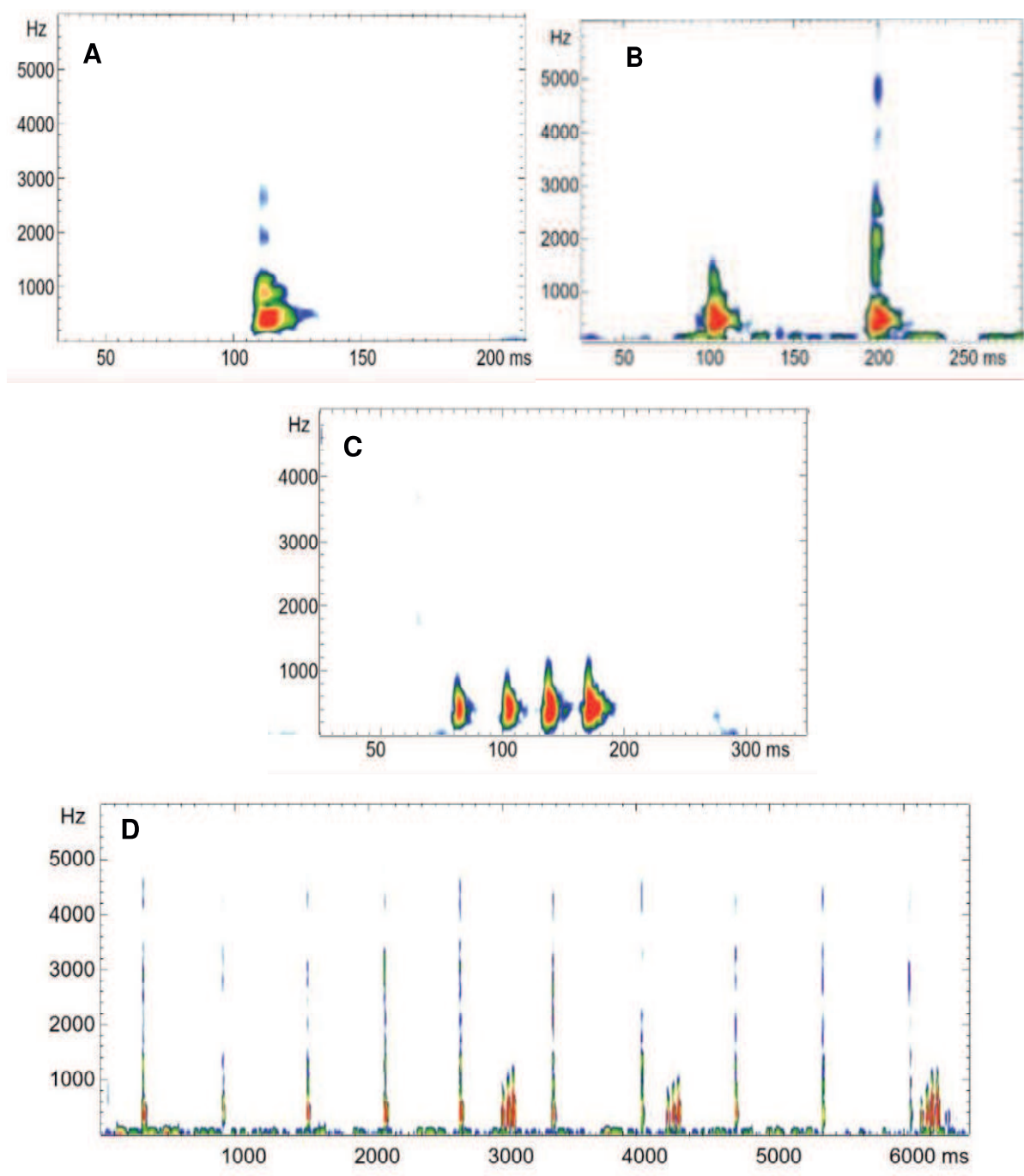


Figura 3. Sons produzidos por *Stegastes fuscus*. Sonogramas e espectros de energia de *pops* único (A) e duplos (B), *chirps* (C) e sequência de *pops* intercalada por três *chirps* produzidos por outro indivíduo (D). (Frequência de amostragem 96 Hz, Bandwidth de 100 Hz, 75% overlap, Hanning window).

Tabela 1. Características dos sons produzidos por *Stegastes fuscus* nos recifes costeiros de Tamandaré (PE), em contextos reprodutivo e agonístico. Dados apresentados como média \pm erro padrão (amplitude de valores). n = número de indivíduos analisados; testes estatísticos: resultados dos testes t (entre períodos do pulso e duração do som em relação aos pops duplos e chirps) e ANOVA/Kruskal-Wallis (demais características entre os três tipos de sons). * $p < 0.05$. CVinter = variação do parâmetro do som entre os indivíduos; CVintra = variação do parâmetro do som dentre os sons de cada indivíduo.

Contexto comportamental	n	Duração do som (ms)	No. de pulsos	Duração do pulso (ms)	Período interpulso (ms)	Frequência dominante (Hz)	Taxa de vocalização (min ⁻¹)
AGONÍSTICO							
<i>Pop</i> único	13	-	1	29.7 \pm 1.9 (14 - 40)	-	515.59 \pm 19.7 (332.7 - 643.1)	0.18 \pm 0.03 (0.1 - 0.6)
<i>Pop</i> duplo	5	94.5 \pm 16.1 (58.3 - 139)	2	29.5 \pm 2.9 (18.5 - 34.5)	26.9 \pm 5.6 (13 - 67)	512.26 \pm 28.5 (399.2 - 554.4)	0.16 \pm 0.04 (0.1 - 0.4)
<i>Chirp</i>	14	138.1 \pm 10.2 (84 - 276)	3.6 \pm 0.1 (3 - 5)	20.5 \pm 0.9 (14.5 - 26.2)	16.2 \pm 0.8 (0 - 38.5)	479.5 \pm 21.3 (343.7 - 709.6)	0.34 \pm 0.09 (0.1 - 1.6)
Teste estatístico		U = 19	-	F = 5.90 *	U = 66 *	F = 1.09	H = 7.50
CVinter/CVintra (<i>chirps</i>)		1.52	-	1.71	1.64	1.79	-
CVinter/CVintra (<i>pops</i>)		-	-	1.21	-	0.97	-
REPRODUTIVO							
<i>Pop</i> único	2	-	1	32.8 \pm 2.3 (30.5 - 35)	-	587.7 \pm 55.3 (532.4 - 645.1)	0.13 \pm 0.03 (0.1 - 0.2)
<i>Pop</i> duplo	1	61	2	20.7	24	554.4	0.1
<i>Chirp</i>	4	129.5 \pm 10.1 (113 - 159)	3.4 \pm 0.2 (3 - 4)	24.2 \pm 2.2 (18.9 - 28.5)	15 \pm 0.9 (9 - 20)	498.3 \pm 16.9 (451.8 - 532.2)	0.34 \pm 0.9 (0.1 - 0.6)
Teste estatístico		-	-	t = 2.36	-	t = 2.11	t = -1.03
CVinter/CVintra (<i>chirps</i>)		0.56	-	0.92	2.03	0.32	-

3.1. Sons produzidos durante comportamentos agonísticos

Os sons produzidos neste contexto (*pops* únicos, *pops* duplos e *chirps*) relacionaram-se a comportamentos agressivos de defesa de território, considerados os mais frequentes para a espécie, tanto contra indivíduos da mesma espécie, como contra heteroespecíficos. Os *chirps* foram os sons agonísticos mais frequentemente registrados

(50%), principalmente durante perseguição a intrusos. Os *pops* duplos foram os menos frequentes (14%), também associados à perseguição (Fig. 4A).

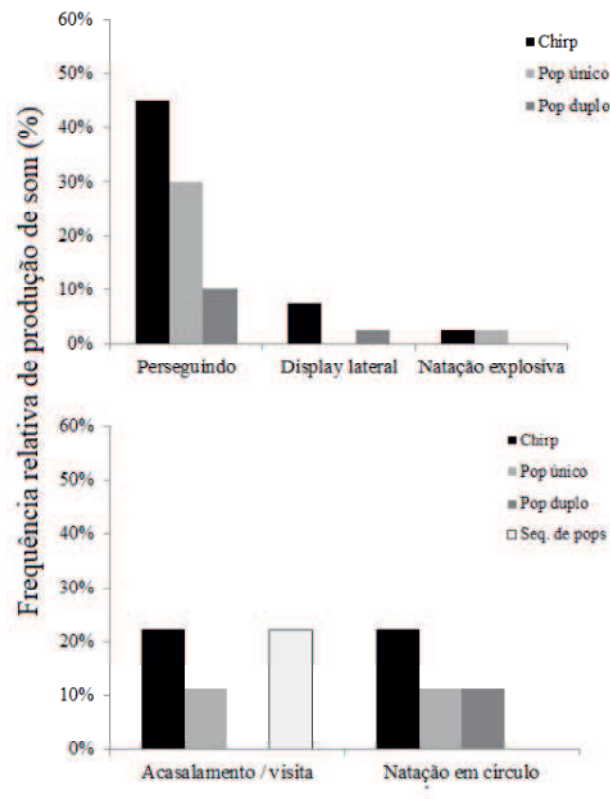


Figura 4. Frequência relativa de cada tipo de som produzido por *Stegastes fuscus* em relação aos comportamentos agonísticos (A) e reprodutivos (B).

Os comportamentos associados à produção de som encontram-se descritos abaixo e representados na Figura 5.

Perseguição: o indivíduo foco eriça a nadadeira dorsal e as nadadeiras pélvicas, nadando rapidamente, seguindo o(s) intruso(s) (até 4) e expulsando-o(s) do território, produzindo *chirps* e *pops*. As perseguições apresentaram duração média de 5.7s e foram registradas tanto em interações intra como interespecíficas (em relação a *Abudefduf saxatilis* e *Stegastes variabilis*). Em perseguições curtas (< 4 s) a invasores únicos, não foi registrada a produção de sons. Em perseguições curtas a mais de um invasor e todas as perseguições mais longas que 4 s, houve produção de som.

Display lateral: o indivíduo foco nada rapidamente em direção ao invasor produzindo som e, ao chegar próximo a ele ($< 5\text{cm}$), vira abruptamente o corpo, fazendo uma curva rápida, seguindo em direção oposta ao intruso, voltando ao local de início. O intruso imediatamente se deslocava para fora do território. Observado apenas intraespecificamente, associado à produção de som (*chirp* e *pop* duplo) em todos os casos.

Natação explosiva: o peixe-donzela nada em velocidade maior que a habitual, de forma abrupta, em direção a outro indivíduo que se aproxima de seu território, expulsando o provável invasor antes do mesmo entrar em seu espaço territorial, através dessa menção de ataque. Nenhum contato foi observado entre os indivíduos, apenas o movimento direcional associado à produção de som. O peixe-donzela pode se afastar até mais de dois metros de sua área territorial durante este comportamento. Também pode ser observado na coluna de água, em direção à superfície, quando indivíduos de outras espécies nadam acima de seu território. Observado em relações intra e interespecífica. Produção de som (*chirp* e *pop* único) associada a todos os casos.

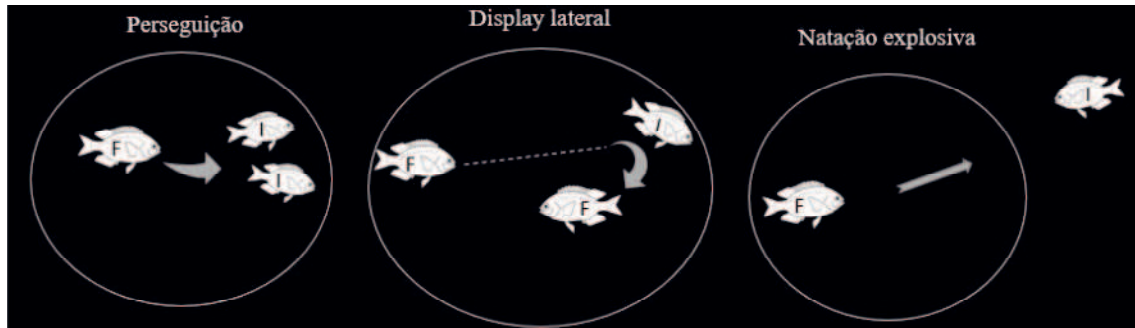


Figura 5. Representação dos comportamentos agonísticos produzidos por *Stegastes fuscus* em Tamandaré-PE. F - indivíduo foco, I - indivíduo intruso. Círculo representa área territorial, setas indicam o movimento.

Os *pops* únicos produzidos no contexto agonístico consistiram de sons curtos de pulso único (duração média: 29.7 ms), com frequência dominante média de 515.5 Hz, produzidos a uma taxa de 0.18 min^{-1} . *Pops* duplos compreenderam sequências de dois *pops* com duração total média de 94.5 ms e PIP médio de 94.5 ms. Considerando os parâmetros comparáveis (i.e. duração dos pulsos, frequência dominante e taxa de vocalização), os *pops* duplos apresentaram estrutura de pulsos semelhante à dos *pops*

únicos (29.5 ms, 512.2 Hz, 0.16 min⁻¹, respectivamente; $p > 0,05$ em todos os casos; Tabela 1).

Os *chirps* foram constituídos de sequências de 3-5 pulsos, com duração total média de 138.1 ms e frequência dominante média de 479.5 Hz. Os pulsos dos *chirps* foram mais curtos (média: 20.5 ms) ($F_{(6, 38)} = 5.9075$, $p < 0.001$; *post hoc* Tukey: $df = 37$, $p < 0.001$) do que os observados nos dois tipos de *pop* (Fig. 6A); o PIP foi menor do que o registrado para os *pops* duplos ($U = 66.000$, $p < 0.05$) (Fig. 6B). A taxa de vocalização foi semelhante aos outros sons (0.34 min⁻¹). Um dos *chirps* produzidos durante uma perseguição não apresentou PIP, sendo considerado como *chirp* de pulsos contínuos (Fig. 2D).

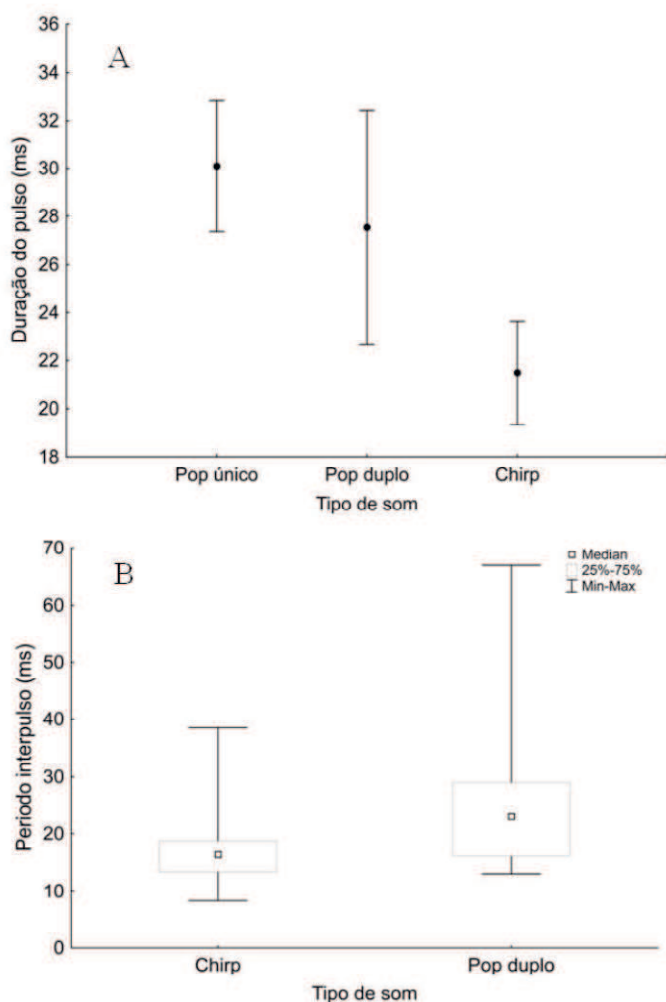


Figura 6. Diferenças da duração do pulso (A) e período interpulso (B) entre os tipos de sons produzidos por *S. fuscus* em contexto agonístico.

A relação $CV_{\text{inter}}/CV_{\text{intra}} > 1$ foi registrada para a duração dos *pops* únicos, e em relação a todas as características acústicas dos *chirps* (ver Tabela 1).

3.2. Sons produzidos durante comportamentos reprodutivos

Os peixes-donzela produziram *pops* únicos, *pops* duplos, *chirps* e sequência de *pops*, durante os comportamentos reprodutivos. Os *chirps* foram o mais frequentemente registrados neste contexto (44.4%); os *pops* duplos foram os menos frequentes (11.1%), associados apenas à natação em círculo (Fig. 4B).

Os sons reprodutivos foram produzidos quando os peixes-donzela apresentaram coloração pálida no corpo e comportamentos associados a cuidado parental ou interação com outro indivíduo sem apresentar agressividade. Os comportamentos associados à produção de som encontram-se descritos abaixo e representados na Figura 7.

Visita ao ninho: o indivíduo foco, apresentando coloração pálida, nada de forma repetida de dentro para fora do ninho, produzindo sequência de *pops*. Poderia haver outros indivíduos próximos, porém, nenhum dentro da área territorial do indivíduo foco, o qual não demonstrou comportamento agressivo.

Acasalamento/visita: um indivíduo da mesma espécie (denominado visitante) entra no território do indivíduo foco (residente), que se aproxima, e ambos passam a nadar lentamente e de forma paralela. Este tipo de interação durou em média 8.1s, havendo produção de *chirps*, *pops* e sequência de *pops* pelo residente, que apresentava coloração pálida. Em um caso, o visitante produziu *chirps* intercalados aos sons do residente (sequência de *pops*, visível no oscilograma/sonograma; Fig. 2 e 3). Após a interação, o visitante nadou livremente para fora do território do residente.

Natação em círculo: o indivíduo foco nada em torno da entrada do ninho repetitivamente e de forma circular, produzindo *chirps* e *pops*. Apresenta coloração pálida. Presença de alguns peixes-donzela vizinhos próximos; no entanto, nenhum em sua área territorial.



Figura 7. Representação dos comportamentos reprodutivos produzidos por *Stegastes fuscus* em Tamandaré-PE. Círculo representa área territorial, setas indicam o movimento.

Os *pops* únicos produzidos no contexto reprodutivo consistiram de sons curtos de pulso único (duração média: 32.8 ms), com frequência dominante média de 587.7 Hz, produzidos a uma taxa de 0.13 min^{-1} . *Pops* duplos apresentaram duração total média de 61 ms, com PIP médio de 24 ms. Os *pops* duplos apresentaram estrutura de pulsos semelhante à dos *pops* únicos (20.7 ms, 554.4 Hz, 0.1 min^{-1} , respectivamente; Tabela 1).

Os *chirps* constituíram sons mais longos do que os dois tipos de *pop*, apresentando sequências de 3-4 pulsos, com duração total média de 129.5 ms. Os pulsos dos *chirps* foram mais curtos (média: 24.2 ms) e de menor frequência dominante (média: 498.3 Hz) do que os *pops*; considerando os *pops* duplos, o PIP foi de 15 ms. A taxa de vocalização foi semelhante ($p > 0,05$).

As sequências de *pops* consistiram de sons longos e ritmados (duração total média: 3.5 s) com pulsos curtos semelhantes aos *pops*, com duração média de 32.6 ms, apresentando frequência dominante média de 496.8 Hz e longo período interpulso (419.2 ms).

Os *chirps* produzidos durante a interação reprodutiva de acasalamento/visita apresentaram três pulsos, com duração de $27.7 \pm 1.6 \text{ ms}$, PIP de $10.7 \pm 1.7 \text{ ms}$ e frequência dominante de $365.3 \pm 4.4 \text{ Hz}$ (Fig. 3G). Os parâmetros acústicos dos *chirps* em relação aos dois contextos comportamentais (agressividade e reprodução) foram semelhantes (duração do pulso: $t = -1,716$, $df = 20$, $p = 0,101$; frequência dominante: $t = -0,400$, $df = 20$, $p = 0,692$; PIP: $t = -0,678$, $df = 20$, $p = 0,457$; número de pulsos: $t = 0,851$, $df = 20$, $p = 0,404$).

Em relação ao coeficiente de variação, os *chirps* produzidos durante as interações reprodutivas apresentaram a razão $CV_{\text{inter}}/CV_{\text{intra}} > 1$ apenas para o período interpulso (Tabela 1).

3.3. Sons de interação pacífica

Um único evento de produção de som foi registrado quando indivíduos de *S. fuscus*, formando um pequeno grupo (3 – 6), nadavam juntos em uma área específica do recife (2 m^2), em regiões de platô recifal ou na própria coluna d'água próximo à parede do recife (Fig. 8). Durante a interação, houve pequenos contatos entre nadadeiras peitorais com o corpo ou com a própria nadadeira peitoral do animal focal com outro indivíduo, não sendo observado contexto de agressividade. Este comportamento ocorreu por um período médio de 16 segundos e foi denominado interação pacífica.

Um único som foi produzido durante a interação pacífica: um *chirp* (n pulsos = 3) com duração média de pulso de 18 ms, PIP médio de 20 ms, frequência dominante de 510.1 Hz e duração total de 96 ms, assemelhando-se aos *chirps* produzidos tanto em comportamentos agonísticos quanto reprodutivos.

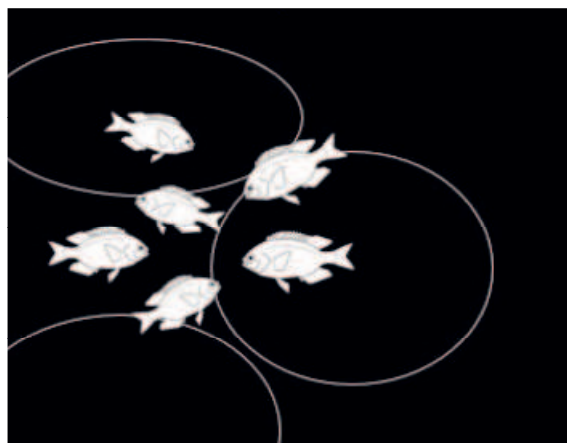


Figura 8. Representação do comportamento de interação pacífica produzido por *Stegastes fuscus* em Tamandaré-PE. Círculo representa área territorial.

4. DISCUSSÃO

Este trabalho apresenta a primeira descrição do som produzido em diferentes contextos comportamentais pelo peixe-donzela brasileiro, *Stegastes fuscus*, em ambiente natural. Os peixes-donzela apresentaram displays comportamentais associados

à produção de som durante interações intra e interespecíficas, sendo comuns tanto a outras espécies de *Stegastes* (*S. adustus*, *S. diencaeus* - Weiman *et al.*, 2017; *S. partitus* - Myrberg, 1972; Myrberg & Spires, 1972), como espécies de outros gêneros de pomacentrídeos, como *Amphiprion akallopisos* (Parmentier *et al.*, 2005); *Dascyllus albisella* (Mann & Lobel, 1998); *Chromis chromis* (Picciulin *et al.*, 2002); *Plectoglyphidon lacrymatus* (Parmentier *et al.*, 2006).

Os comportamentos agonísticos foram os mais registrados para *S. fuscus*, dos quais “perseguição” foi o mais frequente, e *chirps* e *pops* únicos foram os principais sons produzidos. Este parece ser um padrão para os pomacentrídeos territorialistas, o que remete ao patrulhamento constante e consequente expulsão de intrusos dos territórios (Souza, Ilarri & Rosa, 2011; Parmentier *et al.*, 2006; Ladich & Myrberg, 2006). Da mesma forma, *chirps* e *pops* também constituem os sons mais comuns nesse grupo de peixes pelo fato de estarem associados a comportamentos agressivos, que é corroborado pela ocorrência de tais sons durante perseguições à intrusos, por exemplo, por *Dacyllus flavicaudus* (Parmentier *et al.*, 2010), *S. fuscus* (Osório *et al.*, 2006), *S. partitus* (Myrberg, 1972) e *Dascyllus albisella* (Mann & Lobel, 1998). Os *chirps* também foram registrados durante “natação explosiva” e “display lateral”, como também demonstrado para *S. partitus* (Myrberg, 1972) e *Chromis multilineata* (Albrecht, 1969). Entretanto, o primeiro comportamento também foi registrado em associação com *pops* duplos, enquanto displays laterais apresentaram *pops* únicos.

Chirps são definidos como sons de pulsos mais curtos que os *pops*, associados ao comportamento reprodutivo de “mergulho” (Parmentier *et al.* 2016). Embora tal comportamento não tenha sido registrado para *S. fuscus*, os *chirps* produzidos apresentaram menor duração que os *pops*, como proposto por Parmentier *et al.* (2016). Além disso, a distinção clara em relação aos *pops* produzidos por *S. fuscus* em termos de duração do pulso e período interpulso (considerando *pops* duplos) foram determinantes para que os *chirps* fossem assim considerados, embora pudessem ser produzidos nos mesmos contextos comportamentais que os *pops*.

Os sons produzidos no contexto agonístico apresentaram características temporais e espectrais semelhantes às registradas para outras espécies de pomacentrídeos, como as descritas recentemente para *S. adustus* e *S. diencaeus* (Weiman *et al.*, 2017), além de algumas características (i.e. duração do pulso, número de pulsos e frequência dominante) de sons produzidos por *Dascyllus albisella* (Mann &

Lobel, 1998). Contudo, essas características divergem das observadas no repertório de outros membros da família, como *Amphiprion clarkii*, *A. frenatus* (Chen & Mok, 1988), *A. akallopisos* (Parmentier *et al.*, 2005) e *Dascyllus aruanus* (Parmentier *et al.*, 2006), que apresentaram variações de tipos de *pops* e *chirps* com duração de pulsos e frequência dominante diferentes das observadas para *S. fuscus* (e.g. duração do *pop* de *D. aruanus*: 6.4 ms e *A. clarki*: 80 ms, e frequência dominante de *A. akallopisos*: 900 Hz, e *A. clarki*: 3000 Hz; duração do pulso do *chirp* de *D. aruanus*: 0.8 ms e *A. frenatus*: 50 ms; frequência dominante do *chirp* de *A. akallopisos*: 665 Hz e *D. aruanus*: 3859 Hz).

Essa variação interespecífica nos parâmetros dos sons poderia estar relacionada, por exemplo, a áreas de ocorrência de espécies simpátricas, tendo em vista que as variações nas características dos sons seriam indispensáveis para o reconhecimento espécie-específico em interações reprodutivas (Pedroso *et al.*, 2013). Por exemplo, espécies congêneres que possuem padrão de coloração semelhante e mesmo período reprodutivo teriam o som como uma forma de reconhecimento intraespecífico (Parmentier *et al.*, 2016). Myrberg *et al.* (1978) destacam que espécimes de *Stegastes* (*S. partitus*, *S. leucostictus*, *S. planifrons* e *S. dorsopunicans*) respondem a sons de espécies simpátricas, tendo em vista que produzem sons com características semelhantes. Entretanto, os peixes-donzela amostrados respondiam predominantemente a sons reprodutivos com as mesmas características temporais da sua própria espécie, demonstrando que alguns aspectos dos sons podem se sobrepor em diferentes espécies, como a frequência dominante e a duração do pulso, e outras podem gerar o reconhecimento intraespecífico, como por exemplo, a duração dos pulsos.

Os comportamentos reprodutivos foram pouco observados, dentre os quais, “acasalamento/visita” foi o mais registrado para *S. fuscus*, sendo acompanhado pela produção de *chirps* e mudança de coloração, como previamente descrito por Parmentier *et al.* (2010) para *D. flavicaudus*. No caso da “visita ao ninho”, este último, a produção de som poderia estar associada à aeração dos ovos, ou ser uma forma de chamar a atenção de alguma fêmea próxima a sua área territorial, como visto para outras espécies da família (Myrberg, 1972).

As características dos *pops* e *chirps* produzidos durante o contexto reprodutivo foram semelhantes às dos registrados durante interações agonísticas, mostrando que sons semelhantes podem ter motivações e funções distintas. É interessante ressaltar que

o único tipo de som exclusivo (embora pouco frequente) no contexto reprodutivo foi a sequência de *pops*, associada à “visita ao ninho” e “acasalamento/visita”. A baixa ocorrência da sequência de *pops* poderia ser relacionada ao fato de o comportamento reprodutivo ter sido menos registrado no caso de *S. fuscus*, que tende a apresentar maior frequência de comportamentos agonísticos para defender seu território (Hamb, 2011; Menegatti, Vescovi & Floeter, 2003). Entretanto, esse tipo de som foi somente registrado durante comportamentos agressivos em outros pomacentrídeos (sendo também pouco comum), durante defesa contra intrusos em *S. adustus* e *S. diencaeus* (Weiman *et al.*, 2017), *Chromis viridis* (Amorim, 1996) e nos peixes-palhaços *Amphiprion clarkii* e *A. frenatus* (Chen & Mok, 1988), ou como resposta à aproximação do pesquisador ao aquário em *Plectroglyphidodon lacrymatus* (Parmentier *et al.*, 2006).

Foi verificada uma alta variação interindividual das características acústicas dos *chirps* produzidos em contexto agonístico e do PIP dos *chirps* durante interações reprodutivas, o que permite a potencial identificação individual em *S. fuscus*. O mesmo foi registrado para a duração do pulso dos *pops* únicos em contexto agonístico. A individualização do som também foi verificada em relação a todas as características observadas na sequência de *pops* para *Amphiprion akallopisos* para sons agonísticos (Colleye, 2011), sendo a frequência dominante e a duração do pulso os parâmetros mais importantes para a identificação dos indivíduos, de acordo com uma razão $CV_{inter}/CV_{intra} > 2$. Entretanto, conforme demonstrado por Mann & Lobel (1997), a duração do pulso *per se* não é considerada uma característica totalmente confiável, devido à atenuação durante a propagação. A individualização tanto pode estar relacionada ao reconhecimento de sons agonísticos que funcionariam como um sinal *keep-out* a intrusos e para a identificação de potenciais parceiros reprodutivos. O reconhecimento individual de sons também pode ser utilizado para acessar diferenças no tamanho corporal dos peixes, que pode conferir modificações aos parâmetros acústicos, como observado por Colleye *et al.* (2011) em peixes-palhaço. Entretanto, para *Stegastes fuscus*, ainda é necessário analisar tais diferenças em diferentes estágios de vida, uma vez que, neste trabalho, todos os animais eram adultos e o tamanho do corpo não apresentou correlação com os parâmetros acústicos analisados.

Alguns comportamentos de *S. fuscus* diferiram dos anteriormente registrados para outras espécies de pomacentrídeos. Por exemplo, “natação em círculo”, descrita como comportamento reprodutivo, difere do proposto por Myrberg (1972) para o

comportamento denominado de “*circle*”, que se refere à interação agonística intraespecífica. Adicionalmente, o comportamento denominado de “interação pacífica”, descrito pela primeira vez para *S. fuscus*, não pôde ser relacionado com período reprodutivo e nem com agressividade, uma vez que os indivíduos não apresentaram nenhuma variação de coloração ou comportamentos agressivos. Como também não foram observados eventos alimentares durante a “interação pacífica”, como observado para *C. multilineata*, que forma agregações para alimentação (Myrberg *et al.*, 1967; Albrecht, 1969), esse comportamento pode estar relacionado ao reconhecimento de indivíduos vizinhos ou de potenciais parceiros em *S. fuscus*.

5. CONCLUSÕES

- *Stegastes fuscus* apresenta a produção de quatro tipos de sons, diferindo em termos de duração do pulso e período interpulso.
- Os sons são associados a comportamentos agonísticos e reprodutivos, além de serem observados durante interações pacíficas, nunca descritas para a família.
- Sons diferentes podem ter motivações e funções distintas, sendo importante, portanto, a associação com os displays visuais.
- *S. fuscus* apresenta variação interindividual dos parâmetros do som, o que permite a potencial identificação individual.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à APA Costa dos Corais, à APA de Guadalupe e ao Parque Natural do Forte de Tamandaré pelo suporte necessário durante o período de amostragem. Em particular, agradecemos à Joany Deodato (APA de Guadalupe) por todo o apoio e gentileza desde o início deste trabalho. À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida à C.R.M. Batista. Ao PPGEC pelo apoio logístico. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo financiamento concedido à T.P.R. Oliveira (processo no.433136/2016.2). Ao ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) pela concessão da licença para pesquisa (SISBIO n. 53647-2). Agradecemos ao Dr. Antonio Souto e à Dra. Nicola Schiel pelas contribuições ao manuscrito. Por fim, agradecemos à Jessyca Oliveira, Otoniel Lima,

Mariana Arruda, Walter Lechner e, especialmente, Ignácio Evaristo, por todo o apoio durante a coleta de dados em campo.

5. REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, H. Behaviour of four species of Atlantic damselfishes from Columbia, South America, (*Abudefduf saxatiles*, *A. taurus*, *Chromis multilineata*, *C. cyanea*; Pisces, Pomacentridae). **Ethology**, v. 26, n. 6, p. 662-676. 1969.
- AUBIN, T. et al. How a simple and stereotyped acoustic signal transmits individual information: the song of the White-browed Warbler *Basileuterus leucoblepharus*. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**. v.76, p.335-334. 2004.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior: sampling methods. **Behaviour**, v. 49, n. 3, p. 227-266. 1974.
- AMORIM, M. C. P. Sound production in the blue-green damselfish, *Chromis viridis* (Cuvier, 1930) (Pomacentridae). **The International Journal of Animal Sound and its Recording**. v.6, p.265-272. 1996.
- AMORIM, M. C. P. Diversidade da produção de som em peixes. **Comunicação em peixes**, v. 1, p. 71-104. 2006.
- AMORIM, M. C. P, FONSECA, P. J, ALMADA, V.C. Sound production during courtship and spawning of *Oreochromis mossambicus*: male-female and male-male interactions. **Journal Fish Biology**. v.62, p.658–672. 2003.
- CHEN, KUEI-CHIU & MOK, HIN-KIU. Sound production in the anemonefishes, *Amphiprion clarkii* and *A. frenatus* (Pomacentridae), in captivity. **Japanese Journal of Ichthyology**, v. 35, n. 1, p. 90-97. 1988.
- CECCARELLI, D. M.; JONES, G. P.; MCCOOK, L. J. Effects of territorial damselfish on an algal-dominated coastal coral reef. **Coral Reefs**. v.24, p.606–620. 2005.
- COLLEYE, O. et al. Interspecific variation of calls in clownfishes: degree of similarity in closely related species. **BMC Evolutionary Biology** 11, 365. 2011.
- COLLEYE, O., et al. Agonistic sounds in the skunk clownfish *Amphiprion akallopisos*: size-related variation in acoustic features. **Journal of Fish Biology**. 75, 908–916. 2009.

- DAROS, F. A. et al. Otolith fingerprints of the coral reef fish *Stegastes fuscus* in southeast Brazil: a useful tool for population and connectivity studies. **Regional Studies in Marine Science**, v. 3, p. 262-272. 2016.
- FEITOSA, J. L. L. et al. Food resource use by two territorial damselfish (Pomacentridae: *Stegastes*) on South-Western Atlantic algal-dominated reefs. **Journal of Sea Research**. v.70, p.42-49. 2012.
- FERREIRA, C. E. L. et al. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. **Journal of Biogeography**. v.31, p.1093–1106. 2004.
- FRICKE, H. W. Community structure, social organization and ecological requirements of coral reef fish (Pomacentridae). **Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen**, v. 30, n. 1, p. 412. 1977.
- FRÉDÉRICH, B. et al. Trophic niches of thirteen damselfishes (Pomacentridae) at the Grand Recif of Toliara, Madagascar. **Ichthyol. Res.** 56, 10-17. 2009.
- FRÉDÉRICH, B. & PARMENTIER, E. (Ed.). Biology of damselfishes. **CRC Press**. 2016.
- GAJDZIK, L. et al. Trophic specializations of damselfishes are tightly associated with reef habitats and social behaviours. **Marine Biology**, v. 163, n. 12, p. 249. 2016.
- HAMB, A. Defense of a multi functional territory against interspecific intruders by the damselfish *Stegastes nigricans* (Pisces, Pomacentridae). **Escholarship**. 2011.
- ITZKOWITZ, M.; LUDLOW, A.; HALEY, M. Territorial boundaries of the male beaugregory damselfish. **Journal of Fish Biology**. v.56, p.1138–1144. 2000.
- LADICH, F. & MYRBERG, A. A. Agonistic behavior and acoustic communication. **Communication in fishes**, v. 1, p. 121-148. 2006.
- LOBEL, P. S. & MANN, D. A. Spawning sounds of the damselfish, *Dascyllus albisella* (Pomacentridae), and relationship to male size. **Bioacoustics**, v. 6, n. 3, p. 187-198. 1995.
- MAIDA, M., & FERREIRA, B. P. Coral reefs of Brazil: an overview. In *Proceedings of the 8th international coral reef symposium*. **Smithsonian Tropical Research Institute Panamá**. Vol. 1, No. 263, p. 74. 1997.

- MARUSKA, K. P. et al. Sound production and spectral hearing sensitivity in the Hawaiian sergeant damselfish, *Abudefduf abdominalis*. **Journal of Experimental Biology**, v. 210, n. 22, p. 3990-4004. 2007.
- MANN, D. A. & LOBEL, P. S. Acoustic behavior of the damselfish *Dascyllus albiseila*: behavioral and geographic variation. **Environmental Biology of Fishes**. v.51, p.421-428. 1998.
- MEDEIROS, P. R.; SOUZA, A. T.; ILARRI, M. I. Habitat use and behavioural ecology of the juveniles of two sympatric damselfishes (Actinopterygii: Pomacentridae) in the south-western Atlantic Ocean. **Journal of Fish Biology**. v.77, p.1599-1615. 2010.
- MENEGATTI, J. V.; VESCOVI, D. L.; FLOETER, S. R. Interações agonísticas e forrageamento do peixe-donzela, *Stegastes fuscus* (Perciformes: Pomacentridae). **Natureza Online**. v.1, p.45-50. 2003.
- MORGAN, I. E. & KRAMER, D. L. The social organization of adult blue tangs, *Acanthurus coeruleus*, on a fringing reef, Barbados, West Indies. **Environmental Biology of Fishes**. v.71, p.261-273. 2004.
- MYRBERG, A. A. J. Ethology of the bicolor damselfish *Eupomacentrus partitus* (Pisces: Pomacentridae): a comparative analysis of laboratory and field behaviour. **Animal Behaviour**. Monograf. 5, 197-283. 1972.
- MYRBERG, A. A. J. & SPIRES, J. Y. Sound discrimination by the bicolor damselfish, *Eupomacentrus partitus*. **Journal of experimental biology**, v. 57, n. 3, p. 727-735. 1972.
- MYRBERG, A. A. J.; BRAHY, B. D.; EMERY, A. R. Field observations on reproduction of the damselfish, *Chromis multilineata* (Pomacentridae), with additional notes on general behavior. **Copeia**, p. 819-827. 1967.
- MYRBERG, A. A. J. et al. 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**, v. 94, n. 6, p. 3067-3070. 1993.
- NOLL, A. M. Cepstrum pitch detection. **Journal of the Acoustical Society of America**. 41, 293-309. 1967.

OLIVIER, D.; PARMENTIER, E.; FRÉDERICH, B. Insight into biting diversity to capture benthic prey in damselfishes (Pomacentridae). **Zool. Anz.** 264, 47-55. 2016.

OLIVIER, D. et al. The cerato-mandibular ligament: a key functional trait for grazing in damselfishes (pomacentridae). **Frontiers in Zoology.** v.11. 2014.

OLIVER, S. J. & LOBEL, P.S. Direct mate choice for simultaneous acoustic and visual courtship displays in the damselfish, *Dascyllus albisella* (Pomacentridae).

Environmental biology of fishes, v. 96, n. 4, p. 447-457. 2013.

OSÓRIO, R.; ROSA, I. L.; CABRAL, H. Territorial defence by the Brazilian damsel *Stegastes fuscus* (Teleostei: Pomacentridae). **Journal of Fish Biology.** v.69, p.233-242. 2006.

PEDROSO, S. S. et al. Courtship sounds advertise species identity and male quality in sympatric *Pomatoschistus* spp. gobies. **PLoS One**, v. 8, n. 6, p. e64620. 2013.

PARMENTIER, E. et al. Geographical variation in sound production in the anemonefish *Amphiprion akallopisos*. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 272, n. 1573, p. 1697-1703. 2005.

PARMENTIER, E., et al. Sound production in two species of damselfishes (Pomacentridae): *Plectroglyphidodon lacrymatus* and *Dascyllus aruanus*. **Journal of Fish Biology.** 69, 491–503. 2006.

PARMENTIER, E., et al. Sound production in four damselfish (*Dascyllus*) species: Phyletic relationships? **Biol. J. Linn. Soc.** 97, 928– 940. 2009.

PARMENTIER, E., et al. Diversity and complexity in the acoustic behaviour of *Dacyllus flavicaudus* (Pomacentridae). **Mar. Biol.** 157, 2317–2327. 2010.

PARMENTIER, E.; LECCHINI, D.; MANN, D. A. Sound production in damselfishes. In *Biology of damselfishes*: 204– 228. Frederich, B. & Parmentier, E. (Eds). Boca Raton, Florida: **CRC Press, Taylor & Francis.** 2016.

PICCIULIN, M. et al. Sound emissions of the Mediterranean damselfish *Chromis chromis* (Pomacentridae). **Bioacoustics**, v. 12, n. 2-3, p. 236-238. 2002.

SOUZA, A. T. & ILARRI, M. I. Behavioral changes of a Brazilian endemic damselfish *Stegastes rocasensis* when guarding egg clutches. **Environmental biology of fishes**, v. 97, n. 11, p. 1295-1303. 2014.

SOUZA, A. T.; ILARRI, M. I.; ROSA, I. L. Habitat use, feeding and territorial behavior of a Brazilian endemic damselfish *Stegastes rocasensis* (Actinopterygii: Pomacentridae). **Environmental biology of fishes**, v. 91, n. 2, p. 133-144. 2011.

SCHÄRER, M. T. et al. Sound production associated with reproductive behavior of Nassau grouper *Epinephelus striatus* at spawning aggregations. **Endangered Species Research**, v. 19, n. 1, p. 29-38. 2012.

STAATERMAN E., PARIS, C. B. KOUGH, A. S. First evidence of fish larvae producing sounds. **Biology Letters**. 2014.

SCHERRER B. Biostatistique. Québec: **GaëtanMorin Press**, 850p. 1984.

STEINER, A. Q. et al. Zonação de recifes emersos da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, Nordeste do Brasil. **Iheringia, Série Zoologia, Porto Alegre**, v. 105, n. 2, p. 184-192. 2015.

WEIMANN, S. R. et al. Territorial vocalization in sympatric damselfish: acoustic characteristics and intruder discrimination. **Bioacoustics**, p. 1-16. 2017.

CAPÍTULO II

**Efeitos do tráfego náutico no comportamento e na produção de som do peixe-
donzela *Stegastes fuscus***

Manuscrito a ser submetido à revista *Marine Pollution Bulletin*

Efeitos do tráfego náutico no comportamento e na produção de som do peixe-donzela *Stegastes fuscus*

Batista, C. R. M.

Resumo

A prática do turismo náutico pode gerar vários efeitos ao ambiente e aos organismos presentes nele, como danos físicos às estruturas recifais através de ancoragem indevida e ao pisoteio, o aumento do hidrodinamismo e de partículas em suspensão na água, bem como a entrada de ruído não natural ao ambiente acústico. Dentre os efeitos que podem ser observados em relação aos organismos, estão a modificação na estrutura das comunidades, alterações comportamentais, diminuição da reprodução e da capacidade de comunicação. Através da análise comportamental e acústica do peixe-donzela *Stegastes fuscus*, uma espécie-chave de comunidades bentônicas, territorialista e altamente abundante em ecossistemas recifais do Brasil, avaliamos o efeito do tráfego de embarcações em duas áreas de uma unidade de conservação marinha no nordeste brasileiro: uma aberta ao tráfego náutico e uma fechada para atividades náuticas. Os peixes-donzela da área aberta apresentaram maior frequência de natação e comportamentos agonísticos, assim como menor frequência dominante dos sons produzidos e duração de pulso. A frequência dominante do ruído das embarcações (400 Hz) potencialmente sobrepõe a frequência dominante dos sons de *S. fuscus*. Desta forma, concluímos que *Stegastes fuscus* apresentou alterações comportamentais e acústicas em relação ao tráfego de embarcações, sendo necessárias medidas de gerenciamento/zonamento de áreas específicas ao tráfego com o intuito de minimizar esses efeitos.

Palavras-chave: comportamento acústico; comportamento territorial; Pomacentridae; poluição sonora; alteração comportamental; padrão de atividade; ambientes recifais

Abstract

Nautical tourism can generate various effects on the aquatic environment and organisms. For example, physical damage on reef structures by anchoring and trampling, as well as sediment resuspension and noise pollution. Shifts in community

structure and species' behavioural patterns, and decrease in reproduction and communication are some of the effects of boating on fishes. This study assessed the effects of boat traffic on the behaviour and sound production of the Brazilian damselfish *Stegastes fuscus*, an abundant, territorial key-species of coastal reef ecosystems. Samplings were conducted in two localities of a marine protected area in Northeast Brazil: an open area, where boat traffic is allowed and unregulated, and a no-take area that excludes recreational boating activities. Damselfish in the open area showed higher frequency of swimming and agonistic behaviours, as well as lower dominant frequency and pulse duration of sounds produced. Boat noise dominant frequency (400 Hz) potentially overlaps *S. fuscus* sounds' dominant frequency. Shifts in behaviour and sound production in *S. fuscus* highlights the necessity of measures for boating planning with the aim of minimizing these effects in the area.

Key words: acoustic behaviour; territorial behaviour; Pomacentridae; noise pollution; behavioural shifts; pattern of activity; reef environments

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, o tráfego de embarcações tem sido reconhecido como uma pressão adicional aos ambientes costeiros e marinhos, principalmente devido a sua associação com o aumento do turismo (Venturini *et al.*, 2015), que é amplamente disseminado em áreas comumente rasas e de alta diversidade biológica, gerando demanda por passeios náuticos (Su & Lin, 2014; Phillips, 2015).

Entre os efeitos causados pelo tráfego náutico, podemos destacar o contato direto das hélices dos motores com os organismos aquáticos (Balazik *et al.*, 2012; Speed *et al.*, 2008); o aumento da turbulência e turbidez da água (Odeh *et al.*, 2002); a poluição causada através da liberação de substâncias tóxicas pelo sistema de propulsão, como o combustível (Khan *et al.*, 2007); além da produção de ruído que afeta de diversas formas as comunidades aquáticas (Farina, 2017).

Nos últimos anos, o aumento do ruído no ambiente acústico dos oceanos a partir de fontes antrópicas como o tráfego de embarcações aumentou consideravelmente, principalmente em relação a lanchas (Venturini *et al.*, 2015; Davenport & Davenport,

2006). Em ambientes costeiros como os ecossistemas recifais, o tráfego embarcações de recreio são a principal fonte de ruído (Whitefield & Becker, 2014; Vasconcelos *et al.*, 2007).

Dentre os peixes recifais que podem estar expostos a essas atividades destacam-se os peixes-donzela (família Pomacentridae). Este grupo apresenta espécies que formam cardumes e/ou são solitárias e, em sua maioria, são altamente territorialistas (Parmentier & Frédérick, 2016). Essa característica as torna suscetíveis a atividades antrópicas, pelo fato de apresentarem uso do habitat restrito a suas áreas territoriais, como é o caso da espécie-foco deste trabalho, o peixe-donzela brasileiro *Stegastes fuscus* (Cuvier, 1830) (Daros *et al.*, 2016). Caracterizada como uma espécie costeira abundante (Ferreira *et al.*, 2004), *S. fuscus* possui comportamento territorialista (Osório, Rosa & Cabral, 2006), e é responsável por estruturar comunidades bentônicas sendo considerada uma espécie-chave no ecossistema recifal (Ceccarelli, Jones & McCook, 2005; Feitosa *et al.*, 2012).

Embora tenha sido demonstrado que alguns peixes possam apresentar adaptações de forma a evitar os efeitos que o tráfego de embarcações pode acarretar (Albuquerque *et al.*, 2015, Bracciali *et al.*, 2012, Holt & Johnston, 2014 e 2015, Picciulin *et al.*, 2012), os impactos relacionados ao tráfego e ruído náuticos não raro afetam comportamentos essenciais à maioria das espécies estudadas neste contexto. Por exemplo, foi demonstrado que, em áreas turísticas, a visitação associada ao tráfego de embarcações pode afetar negativamente vários grupos de organismos aquáticos, desde aves até grandes mamíferos marinhos, podendo gerar alterações comportamentais e interrupção de comportamentos, estresse fisiológico, suscetibilidade à predação, mudanças na estrutura e dinâmica populacional, evasão do local, danos físicos, entre outros (ver Trave *et al.*, 2017).

Particularmente em relação ao ruído, um dos principais subprodutos do tráfego de embarcações, pode ser observado o mascaramento dos sons de coespecíficos (Codarin *et al.*, 2009), a redução do comportamento de inspeção anti-predador (Spiga *et al.*, 2017), o aumento de comportamentos de defesa e redução do cuidado parental com o ninho, reduzindo a sobrevivência da prole (Nedelec *et al.*, 2017, diminuindo o comportamento acústico e visual de corte, interferindo negativamente na desova (Jong *et al.*, 2017). Também já foi demonstrada a restrição do espaço de comunicação durante o período reprodutivo (Stanley *et al.*, 2017), diminuição da taxa de alimentação

(Magnhagen *et al.*, 2017; Bracciali *et al.*, 2012), e até danos a células sensoriais, levando à perda da audição (Popper *et al.*, 2003), como também estresse fisiológico através do aumento do cortisol (Nichols *et al.*, 2015).

O ruído náutico potencialmente afeta os organismos aquáticos que utilizam o som associado a diversos contextos comportamentais, pelo fato do som ser extremamente eficiente em termos de propagação na água, o que torna esse meio de comunicação propício no ambiente marinho (Rogers & Cox, 1988; Filiciotto & Buscaino, 2017). Os peixes podem utilizar o som para defender seus territórios e ninhos através de comportamentos agonísticos (e.g. *Dascyllus albisella*: Mann & Lobel, 1998; *Eutrigla gurnardus*: Amorim *et al.*, 2004), para atrair fêmeas durante comportamentos reprodutivos (e.g. *Halobatrachus didactylus*: Amorim & Vasconcelos, 2008; *Oreochromis mossambicus*: Amorim *et al.*, 2003), para orientação no ambiente, podendo ser utilizado por larvas de peixes para determinar o local de assentamento (Holles *et al.*, 2013; Sebastianutto *et al.*, 2011), durante comportamentos interespecíficos, como durante interações harmônicas de mutualismo (Nedelec *et al.*, 2017b), ou durante comportamento alimentar (e.g. *Hippocampus reidi*: Oliveira *et al.*, 2014; *Pseudorasbora parva*: Scholz, k. & Ladich, 2006).

A produção de som também é uma característica comum a várias espécies de pomacentrídeos, sendo associada principalmente a comportamentos agressivos e reprodutivos (Parmentier *et al.*, 2016). *Stegastes fuscus* reconhecidamente produz sons (Lobel *et al.*, 2010; Myrberg 1972; Emery 1973) e apresenta semelhanças morfológicas e anatômicas a outras espécies de pomacentrídeos que apresentam repertório acústico descrito (e.g. *Dascyllus aruanus*, *D. trimaculatus* e *D. flavicaudus* – Parmentier *et al.*, 2009; *Stegastes adustus* e *S. diencaeus* – Weimann *et al.*, 2017), podendo, assim, ser considerada um excelente modelo para avaliar os efeitos do tráfego náutico na produção de sons e comportamentos associados em uma espécie de peixe recifal no Brasil.

É importante considerar que os efeitos das atividades náuticas como a poluição aquática, ruído e aumento do hidrodinamismo, ocorrem de maneira simultânea (Halfwerk & Slabbekoorn, 2015), tornando-se extremamente importante a gestão de áreas que apresentem tráfego náutico intenso. Desta forma, este trabalho objetivou avaliar os efeitos do tráfego de embarcações de recreio no comportamento acústico de uma espécie de peixe recifal (*Stegastes fuscus*) de extrema importância para o

ecossistema, em uma área com alta demanda turística, de forma contribuir com a implementação de um plano de ordenamento do tráfego.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido nos recifes costeiros do município de Tamandaré, litoral sul do estado de Pernambuco, nordeste brasileiro. Foram selecionadas duas áreas de amostragem (Fig. 1): uma inserida numa zona de uso sustentável, aberta ao tráfego náutico (denominada ao longo do texto como “área aberta”), e uma área considerada controle, que se encontra inserida em uma zona de proteção integral (*no-take zone*; denominada “área fechada”). Ambas as áreas de amostragem são comuns a três unidades de conservação (Área de Proteção Ambiental (APA) Costa dos Corais; APA de Guadalupe e Parque Natural do Forte de Tamandaré).

O ecossistema recifal da praia de Tamandaré é caracterizado pela formação de até três linhas de recifes paralelas à costa, que apresentam topos parcialmente expostos durante a maré baixa e são formados por estrutura arenítica e calcária (Ferreira & Maida, 2006). Apresenta alta cobertura de algas nos recifes próximos da zona litorânea, com poucas áreas com substrato exposto (Steiner *et al.*, 2015). As amostragens foram realizadas em áreas dos recifes com fisionomias semelhantes.

A área aberta localiza-se a 0,2 km de distância da costa e foi determinada através do registro prévio do tráfego náutico durante amostragem piloto, de modo a determinar o setor onde as embarcações comumente trafegavam. Na área, há um trecho de areia entre duas formações recifais rasas, formando um corredor com ca. 2,5 m de profundidade na maré baixa (Fig. 2), propiciando o tráfego de embarcações até uma piscina natural rasa, localizada a 100 m do corredor. Os pontos de amostragem foram definidos nos recifes adjacentes ao corredor de passagem das embarcações e apresentaram profundidade média de 1 m (0,47 - 1,70 m) e salinidade e temperatura médias de 34,8 (34 - 36) e 28,6°C (27 - 31° C), respectivamente.

A área fechada dista 1 km da costa e apresentou profundidade média de amostragem de 1,7 metros (0,57 e 2,30 m). Foi determinada como área controle por não

possuir tráfego de embarcações recreativas e estar localizada a uma distância de cerca de 1,7 quilômetros da área com esse tipo de atividade. A salinidade e a temperatura média dos pontos amostrais foi de 35 (34 - 36) e 28°C (26,7 – 29,1°C), respectivamente. As duas áreas apresentaram visibilidade total durante as amostragens.

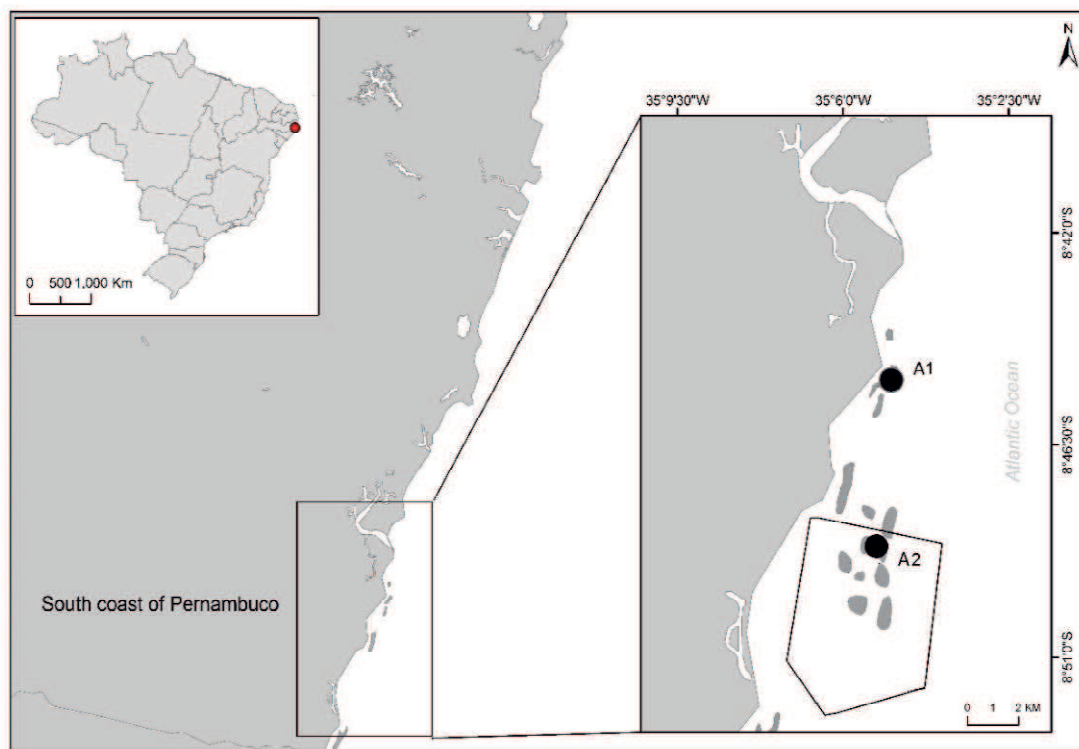


Figura 1. Mapa representativo dos recifes costeiros de Tamandaré, litoral sul do estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. Polígono: limites da zona de proteção integral da APA Costa dos Corais, a qual engloba as zonas de proteção integral das outras unidades de conservação marinha da região. Pontos pretos mostram as áreas onde foram realizadas as amostragens. A1: zona de uso sustentável, aberta ao tráfego náutico (área aberta); A2: zona de proteção integral, fechada à visitação e tráfego náutico recreativo (área fechada).

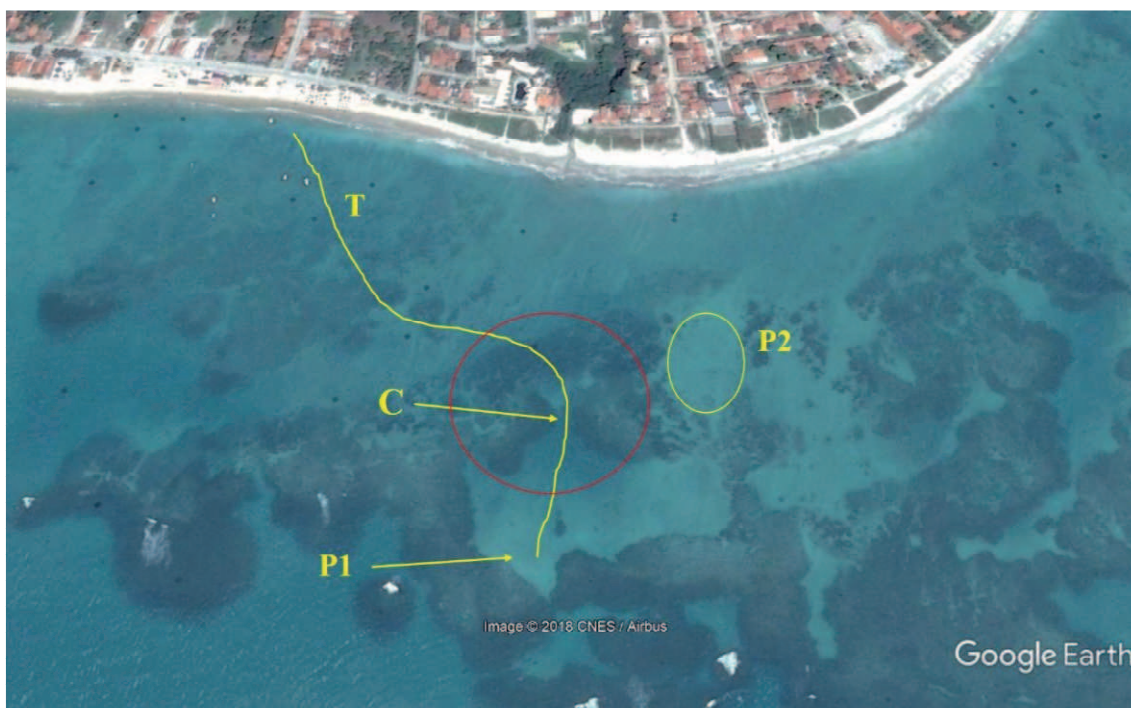


Figura 2. Mapa de localização da área de amostragem na área aberta dos recifes de Tamandaré -PE. T: trajeto percorrido pelas embarcações comerciais; C: localização do corredor entre duas formações recifais, por onde as embarcações trafegavam para acessar a piscina 1; círculo vermelho: área de localização dos pontos de amostragem; P1: piscina 1, destino dos passeios comerciais e desembarque de pessoas; P2 e círculo amarelo: área de piscina 2, onde as lanchas particulares permaneciam ancoradas. Imagem durante a maré alta. Fonte: Google Earth, 2018 (adaptado).

2.2. Caracterização das atividades náuticas na área aberta

Na área aberta, para descrever o tráfego náutico, foram contabilizadas as passagens das embarcações que trafegavam no corredor entre duas formações recifais, onde foram realizadas as amostragens. O corredor funciona como principal acesso a uma das piscinas naturais no recife (piscina 1; Fig. 2). Apenas as embarcações que passaram durante o período de amostragem e foram gravadas durante o período de registro da produção de som dos peixes-donzela foram consideradas. Posteriormente, foi calculada a frequência relativa das passagens de cada tipo de embarcação no período de amostragem e realizado o cálculo de passagens por dia de amostragem.

Adicionalmente, foram contabilizadas as embarcações particulares que se encontravam ancoradas no entorno dos pontos amostrais (ca. 500 m de raio) durante a alta estação turística e que não foram incluídas como passagens por permanecerem

ancoradas na piscina 2 (Fig. 2), distando cerca de 300 metros dos pontos de amostragem. Além do número de embarcações, também foi contabilizado o número de pessoas distribuídas no entorno dos pontos amostrais (ca. 200 m de raio).

2.3. Registro dos comportamentos e dos sons produzidos por *Stegastes fuscus*

Os dados foram coletados nos meses de acordo com a presença/ausência de tráfego intenso de embarcações: de outubro a início de dezembro de 2016 e maio de 2017 (baixa estação), e janeiro e fevereiro de 2017 (alta estação, que coincide com período de férias e maior movimento turístico associado ao tráfego de embarcações na região; obs. pes.).

As amostragens foram realizadas sempre por dois pesquisadores. O primeiro pesquisador filmou os peixes-donzela ($n = 39$ na A1, e $n = 39$ na A2) (câmera Nikon Coolpix A120) através de mergulho livre (*snorkelling*) durante um período de 10 minutos contínuos (Medeiros, Souza & Ilarri, 2010), utilizando o método animal focal (Altman, 1974). Foi mantida uma distância de 2-3 metros de cada indivíduo foco, para evitar a interferência do pesquisador em seu comportamento (Itzkowitz, Ludlow & Haley, 2000).

Simultaneamente às filmagens, foram realizadas gravações de áudio pelo segundo pesquisador, utilizando um hidrofone modelo SQ26-08 (frequência de captação de 0,030 a 30 kHz; sensibilidade efetiva: -169 dBV re 1V/ μ Pa, *Cetacean Research Technology*) acoplado a um gravador digital portátil (Sony PCM-M10; taxa de amostragem de 96 kHz, 32 bits, formato WAV). O hidrofone foi posicionado próximo à região central do território de cada indivíduo (avaliado visualmente para minimizar a interferência dos pesquisadores antes da amostragem), e foi permitido um período de habituação até que o indivíduo não demonstrasse interação com o equipamento (~10 minutos). A estimativa visual do território de peixes-donzela é viável, uma vez que ao patrulharem seus territórios, esses peixes tendem a permanecer em seus limites territoriais (Daros *et al.*, 2016). Uma vez que o hidrofone apresentava 10 m de cabo, o segundo mergulhador posicionava-se a mais de 5 metros do indivíduo foco. Em seguida, eram iniciadas a filmagem e a gravação (de forma simultânea pelos dois pesquisadores). A gravação de áudio foi monitorada durante todas as amostragens com

a utilização de fone de ouvido. Posteriormente, os arquivos de áudio e vídeo foram sincronizados utilizando o programa *Windows Movie Maker* (*Microsoft Corporation*).

Após cada sessão de filmagem/gravação, o indivíduo foco foi observado por um período adicional de 10 minutos para determinação do tamanho do território. Para tanto, cada ponto extremo visitado pelo indivíduo foi marcado e, posteriormente, o diâmetro mais longo do seu território foi medido seguindo a metodologia utilizada por Morgan e Kramer (2004).

Cada indivíduo foco foi gravado apenas uma vez, sendo marcadas suas posições territoriais através de GPS e alternados os pontos de amostragem de modo a evitar a amostragem de vizinhos de território do indivíduo previamente amostrado. Adicionalmente, *Stegastes fuscus* possui fidelidade de sítio (Daros *et al.*, 2016), sendo facilmente identificados os indivíduos em suas áreas territoriais específicas, evitando, assim, pseudoreplicação.

Os comportamentos foram agrupados em relação aos contextos (agonísticos, de natação e de alimentação) para a comparação entre as duas áreas (aberta e fechada) e estações turísticas (alta e baixa), tendo em vista que esses comportamentos foram os mais frequentes em ambas as áreas.

2.4. Análise dos sons

Os sons foram analisados através de oscilogramas (quanto às características temporais: duração do som, número de pulsos, duração dos pulsos, período interpulso e taxa de vocalização), utilizando o programa *Cool Edit 2000* (*Syntrillium Software Corporation*), e através de sonogramas e espectros de energia, particularmente, *cepstrum-smoothed sound spectra* (Noll, 1967), a partir dos quais foram determinadas as frequências dominantes, utilizando o programa *S_TOOLS-STx 4.0* (*Acoustics Research Institute, Austrian Academy of Sciences*). Apenas os sons que apresentaram pulsos de estrutura clara (i. e. visíveis nos sonogramas) foram analisados.

Devido a inconsistências observadas nos termos utilizados para descrever sons em estudos de bioacústica, basicamente pelas denominações serem usadas através da percepção humana do som (Amorim, 2006; Parmentier *et al.*, 2016), a terminologia dos sons foi definida de acordo com o proposto por Parmentier *et al.* (2016). Os

comportamentos, quando similares, seguiram as nomenclaturas já descritas para outras espécies da família (Myrberg, 1972; Parmentier *et al.*, 2010).

2.5 Análise dos dados

Os dados estão apresentados como média \pm erro padrão para a descrição das características espectrais e temporais de cada tipo de som produzido por *Stegastes fuscus*. Os dados foram testados quanto à normalidade através do teste de *Shapiro-Wilk's* e quanto à homocedasticidade através do teste de *Levene*; quando não apresentaram esses pressupostos, foram utilizados testes não-paramétricos. Foram utilizadas a frequência relativa e a duração relativa dos comportamentos e médias dos parâmetros de som de cada indivíduo foco para as análises. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa *Statística 10*, com significância de $p < 0,05$ (bilateral).

Foram realizadas análises de variância utilizando o teste de *Kruskal-Wallis* (*post-hoc* de *Dunn*) para verificar diferenças na frequência e duração relativa de comportamentos agonísticos, de refúgio e de natação, na taxa de alimentação e no tamanho do território de *S. fuscus*, entre as áreas amostrais (área aberta e área fechada) e as estações turísticas (alta e baixa estações).

Foram realizadas análises comparativas entre as duas áreas e entre as estações turísticas apenas em relação aos parâmetros acústicos dos sons produzidos no contexto agonístico, tendo em vista que na área aberta nenhum tipo de som foi associado a comportamentos reprodutivos. Não foram considerados, também, os sons de sequência de *pops* pela baixa ocorrência nas duas áreas (fechada $n = 2$; aberta $n = 3$). Em relação à duração dos pulsos, frequência dominante, período interpulso e duração do som, foram realizadas análise de variância (ANOVA fatorial, *post-hoc* de Tukey). Para verificar diferenças na taxa de vocalização de cada tipo de som em cada área e estação do ano, foram realizados testes de *Kruskal-Wallis* (*post-hoc* de *Dunn*) e, de forma geral, considerando a taxa de vocalização entre as áreas, foi realizado o teste *U* de *Mann-Whitney*.

Para verificar se os *chirps* possuíam características de forma a promover o reconhecimento individual dos peixes, foi realizada a análise do coeficiente de variação (CV) inter e intraindividual (CV_{inter} e CV_{intra}), seguindo o cálculo para amostras pequenas, através da fórmula $CV=100*(1+(1/4)*n)*SD/média$ (Scherrer, 1984; Aubin

et al. 2004). Foi calculado o CV médio de cada parâmetro acústico para cada indivíduo e entre os indivíduos (calculado a partir das média e desvio padrão gerais). Foi calculada a razão $CV_{\text{inter}}/CV_{\text{intra}}$ para cada parâmetro acústico de cada área de amostragem. Uma razão $CV_{\text{inter}}/CV_{\text{intra}} > 1.0$ indica que o parâmetro analisado pode potencialmente ser utilizado para reconhecimento individual. Para os indivíduos da área aberta, apenas o CV dos *chirps* foi possível de ser calculado, tendo em vista que os outros tipos de som foram produzidos uma única vez por cada indivíduo, inviabilizando a análise. Diferenças no CV dos sons de *chirp* dos indivíduos de cada área foram testadas entre as estações através do teste *t* de *Student* e, posteriormente, entre as áreas aberta e fechada.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização das atividades náuticas na área aberta

Foram registrados quatro tipos de embarcações a motor na área aberta: lancha, catamarã, jet-ski e jangada (Tabela 1). Durante cinco dias de amostragem, um total de 162 passagens de embarcações foram registradas, das quais 153 (94,4%) ocorreram na alta estação, e consistiram de embarcações comerciais (100%) utilizadas para passeios náuticos, com média de 32,4 passagens por dia de amostragem. Na baixa estação, nove passagens (5,6%) foram registradas, e referiam-se exclusivamente a jangadas de pescadores que utilizavam motor de menor potência, do tipo “rabeta” (máximo de 17Hp), com média de 0.78 passagens por dia ($n = 7$) de amostragem.

Tabela 1. Caracterização das embarcações que trafegaram na área aberta ao tráfego náutico na praia de Tamandaré – PE.

Tipo de barco	Passagens / dia	Porte	Motor	Potência	Distância média (m)
Lancha comercial	149.9	Pequeno (16 -28 pés)	Rabeta ou popa	6.5 – 200 Hp	1
Lancha particular	89.7 (ancoradas)	Médio (29 – 40 pés) a grande (40 – 100 pés)	Popa	150 – 300 Hp	300
Jet-ski	2.2	Pequeno (9 – 11 pés)	Padrão	210 – 260 Hp	2
Catamarã	9.9	Grande (~ 60 pés)	Popa	80 – 150 Hp	1
Jangada	0.78	Pequeno (~ 3 pés)	Rabeta	6.5 - 17 Hp	10

As embarcações particulares (média de 89.7 lanchas por dia de amostragem) consistiam de lanchas, que permaneceram ancoradas em piscinas naturais rasas (piscina 2 (~1 m) (Fig. 3A), ou realizavam pequenos deslocamentos em áreas rasas próximas à linha da praia durante a maré baixa, distantes (300 m) dos pontos amostrais. Nestes casos, os motores das lanchas eram inclinados gerando um fluxo de água vertical à superfície do mar para promover o deslocamento (Fig. 3B).

Foi observado o número máximo de 247 pessoas em um dos dias de amostragem e média de 139 pessoas ($\pm 27,84$) (60 - 247) distribuídas no entorno dos pontos amostrais, distando no mínimo 100 metros dos pontos de amostragem (Fig. 3C). As pessoas podiam acessar os recifes através dos passeios náuticos, como também andando da linha da praia até as piscinas, tendo em vista a baixa profundidade da área, deslocando-se por cima dos recifes ou através deles, por trechos de areia.

As embarcações comerciais que trafegaram próximas aos pontos de amostragem (~1 m de distância), identificadas através da presença da oferta de passeios no casco (Fig. 3D), foram predominantemente lanchas de pequeno porte utilizadas para passeio

náutico (92.1%), com capacidade para até 8 passageiros por viagem. Essas embarcações percorriam o trajeto da linha de praia até uma piscina específica (piscina 1) durante todo o período entre a maré baixa e início da maré alta (~5 horas), podendo, cada uma, realizar aproximadamente 5 a 8 passeios durante esse período. As lanchas de passeio comercial apresentavam motores de popa cuja potência máxima variava de 6,5 HP (motores de rabeta, apenas em duas embarcações) até 200 Hp.

Os jet-skis, que consistiram das embarcações particulares menos frequentes (1,4% das passagens), comumente trafegavam em alta velocidade (Fig. 3E) e não raro colidiam com o recife em áreas muito rasas, durante a maré baixa. Foram observados dois registros de jet-skis próximos aos pontos de amostragem (~2 metros). Foram observados, também, três catamarãs (6,5% das passagens) que visitavam a piscina 1, percorrendo o mesmo trajeto das lanchas de passeio comercial. Geralmente, os catamarãs trafegavam em baixa velocidade em relação às lanchas e realizavam apenas um passeio em cada maré baixa (Fig. 3F).

Figura 3. Caracterização do tráfego de embarcações da área aberta à visitação e ao tráfego náutico recreativo, na praia de Tamandaré – PE. (A) lanchas particulares ancoradas na piscina 2 a cerca de 300 metros de distância do ponto de amostragem; (B) lancha particular de médio porte em área rasa, utilizando a inclinação do motor para locomoção, (C) banhistas e embarcações na piscina 1, a 100 metros do ponto de amostragem, (D) lancha de passeio comercial de pequeno porte, (E) jet-ski trafegando na área de amostragem, (F) catamarã ancorado na piscina 1.



3.2. Comportamentos apresentados por *Stegastes fuscus*

Os peixes-donzela apresentaram um total de 15 comportamentos nas duas áreas de amostragem, dos quais cinco foram incluídos no contexto “locomotor”, um considerado “interação pacífica”, seis associados ao contexto “agonístico” (intra e interespecificamente), e três associados a contexto “reprodutivo”. Os comportamentos encontram-se descritos na tabela 2.

O comportamento de natação foi o mais frequente em ambas as áreas de amostragem (área aberta – 48,05%; área fechada – 42,38%), seguido pelo de alimentação (área aberta – 30,77%; área fechada – 35,52%). Os comportamentos reprodutivos foram menos frequentes em ambas as áreas (área aberta - 0,15%; área fechada - 0,89%). Os comportamentos de luta, círculo e display frontal foram apenas observados na área aberta; e o comportamento de display lateral, natação em círculo e estacionário vertical, apenas na área fechada. A duração e frequência relativas de todos os comportamentos, entre as áreas e estações do ano, estão apresentadas na tabela 3.

Ambas as áreas apresentaram maior frequência de comportamentos intraespecíficos (área aberta – 81%; área fechada – 88%). Os comportamentos interespecíficos foram registrados apenas contra a espécie *Abudefduf saxatilis* na área aberta (19 %), e em relação a *Stegastes variabilis* e *A. saxatilis* na área fechada (12 %).

Tabela 2. Etograma dos comportamentos apresentados por *Stegastes fuscus* amostrados nos recifes de Tamandaré - PE. * comportamentos exclusivos da área aberta à visitação e ao tráfego náutico; ** comportamentos exclusivos da área fechada.

Contexto	Descrição
Comportamento	
Locomoção	
Natação	A donzelinha se desloca dentro ou fora de sua área territorial, utilizando as nadadeiras peitorais e caudal. Produção rara de <i>chirps</i> . As seguintes variações deste comportamento podem ser observadas: natação a longa distância - quando o indivíduo sai de sua área territorial e nada sem direção definida a cerca de cinco metros ou mais nos recifes, podendo se alimentar; natação “em oito” – quando o indivíduo nada continuamente em forma de “oito” em seu território sem motivo aparente, na ausência de outros indivíduos; natação em zigue-zague – quando o indivíduo apresenta um padrão de deslocamento seguindo para direita e voltando logo após para a esquerda, repetindo o movimento duas vezes e finalizando com um evento alimentar.
Estacionário	A donzelinha permanece na coluna de água sem apresentar deslocamento, movimentando apenas as nadadeiras peitorais. Geralmente é seguido por natação ou alimentação.
Refúgio	Quando a donzelinha entra em uma fenda ou buraco presente no recife e permanece por mais de dois segundos.
Alimentação	Quando a donzelinha morde o substrato ou alguma partícula presente na coluna de água. Após o comportamento alimentar, foi raramente observado que a donzelinha poderia regurgitar alguma partícula previamente ingerida.
Limpeza do território	A donzelinha utiliza a boca para retirar, de sua área territorial, conchas, tufos de algas soltas, e zoantídeos. Produção rara de <i>chirp</i> .

Tabela 1. Continuação

Contexto / Descrição	
Comportamento	
Pacífico	
Interação pacífica	Os indivíduos formam uma pequena agregação (3 - 9) e nadam juntos em uma área específica do recife (2 m ²), em regiões de platô recifal ou na própria coluna d'água próximo à parede do recife. Durante a interação, pode haver pequenos contatos entre nadadeiras peitorais com o corpo ou com a própria nadadeira peitoral do animal focal com outro indivíduo do grupo, não sendo observado contexto de agressividade. Duração média de 16 segundos. Produção rara de <i>chirp</i> intraespecífico.
Agonístico	
Perseguição	O indivíduo foco eriça a nadadeira dorsal e as nadadeiras pélvicas, nadando rapidamente, seguindo o(s) intruso(s) (até 5) e expulsando-o(s) do território, produzindo <i>chirps</i> , <i>pops</i> e/ou sequência de <i>pops</i> . Registrada tanto em interações intra como interespecíficas (em relação a <i>Abudefduf saxatilis</i> e <i>Stegastes variabilis</i>). Em perseguições curtas (< 4 s) a invasores únicos e jovens, não foi registrada a produção de sons. Em perseguições curtas a mais de um invasor e em todas as perseguições mais longas que 4 s, houve produção de som.
Fuga*	A donzelinha é perseguida quando extrapola o seu espaço territorial e invade o território de outro indivíduo.
Display frontal*	A donzelinha fica de frente ao intruso (<i>S. fuscus</i>) e permanece parada na coluna de água movimentando apenas as nadadeiras peitorais, podendo ou não eriçar a nadadeira dorsal. Não ocorre o contato entre os dois indivíduos. Em seguida o intruso deixa o território. Não foi registrada produção de som.

Tabela 1. Continuação

Contexto / Comportamento	Descrição
Luta*	A donzelinha residente fica frente-a-frente com o invasor e ambos fazem movimentos de vai e volta em direção um ao outro, podendo girar juntos em um eixo em comum. Ao final da luta, o intruso deixa o território. Eventualmente, a donzelinha residente pode perder uma parte da sua área territorial para o invasor. Produção de <i>chirps</i> em todos os casos.
Círculo*	A donzelinha residente e o intruso, intraespecífico, nadavam em círculo, em torno de um eixo comum, com as cabeças para lados opostos, de modo que cada um estava de frente para a nadadeira caudal do outro. Apresentavam as bocas abertas e as nadadeiras dorsais eriçadas. Logo após o invasor deixa o território. Produção de <i>chirps</i> em todos os casos.
Natação explosiva	O peixe-donzela nada de forma abrupta em direção a outro indivíduo da mesma espécie ou <i>Abudefduf saxatilis</i> , que se aproxima de seu território, expulsando o provável invasor antes do mesmo entrar em seu espaço territorial. Nenhum contato foi observado entre os indivíduos, apenas o movimento direcional. O peixe-donzela pode se afastar até mais de dois metros de sua área territorial durante este comportamento. Também pode ser observado na coluna de água, em direção à superfície, quando indivíduo de outra espécie (<i>Abudefduf saxatilis</i>) nadam acima de seu território. Produção de som (<i>chirp</i> e/ou <i>pop único</i>) predominantemente associada.
Reprodutivo	
Acasalamento visita	Um indivíduo de <i>S. fuscus</i> (denominado visitante) entra no território do peixe residente, que se aproxima, e ambos passam a nadar lentamente e de forma paralela. Este tipo de interação durou em média 8.1s, havendo produção de <i>chirps</i> , <i>pops</i> e sequência de

pops pelo residente, que apresentava coloração pálida. Em um caso, o visitante produziu *chirps* intercalados aos sons do peixe residente. Após a interação, o visitante nadou livremente para fora do território do residente. Uma variação deste comportamento foi agrupada a essa categoria, por estar associada à vista ao ninho, em que a donzelinha nada de forma repetida de dentro para fora do ninho, produzindo sequência de *pops*, quando havia outros indivíduos próximos, porém, nenhum dentro da área territorial do indivíduo foco, o qual não demonstrou comportamento agressivo.

Natação em círculo** O indivíduo foco, apresentando coloração pálida, nada em torno da entrada do ninho repetitivamente e de forma circular, produzindo *chirps* e *pops*. Presença de alguns peixes-donzela vizinhos próximos; no entanto, nenhum em sua área territorial.

Estacionário vertical** O indivíduo permanece parado, mexendo as nadadeiras peitorais e caudal de lentamente, paralelamente em relação a parede do recife, com a região frontal voltada para o platô recifal, enquanto apresenta coloração pálida. Durante o comportamento, nenhum outro indivíduo encontrava-se em sua área territorial. Após esse comportamento, o indivíduo foco desloca-se até o refúgio. Não apresentou produção de som.

Tabela 3. Frequência (FR) e duração relativa (DR) dos comportamentos de *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (área aberta ao tráfego; área fechada ao tráfego) e as estações turísticas (alta e baixa) em Tamandaré - PE. Dados apresentados como média \pm EP (mínimo – máximo).

Contexto / comportamento	DR (%)				FR (%)			
	Área aberta		Área fechada		Área aberta		Área fechada	
	Alta estação	Baixa estação	Alta estação	Baixa estação	Alta estação	Baixa estação	Alta estação	Baixa estação
Locomoção								
Natação	73,47 \pm 3,9 (22,7-91,2)	70,5 \pm 6,8 (1,2-93,8)	68,22 \pm 22 (0,9-86,6)	41,8 \pm 5,6 (0,2-79,4)	47,9 \pm 0,6 (39,3-54,3)	40,5 \pm 3,7 (2,4-51,7)	44,4 \pm 2,7 (1,5-51,1)	27,2 \pm 3,4 (1,1-49,1)
Estacionário	2,6 \pm 0,7 (0,2-3,9)	2,5 \pm 0,2 (1,9-3,1)	0	4,8 \pm 1,9 (0,8-22,6)	3,03 \pm 0,8 (1,4-5,7)	0,7 \pm 0,2 (0,3-1,2)	0	4,3 \pm 1,1 (1,05-12,6)
Refúgio	17,9 \pm 4,3 (1,04-71,01)	12,1 \pm 4 (0,7-25,1)	8,7 \pm 1,6 (1,2-29,7)	16,4 \pm 2,6 (0,8-37,5)	13,8 \pm 2,3 (1,6-34,3)	10,3 \pm 2,8 (1,5-21,2)	8,9 \pm 0,9 (2,1-23)	9,5 \pm 1,5 (0,9-18,3)
Alimentar								
Alimentação	6,4 \pm 1,1 (0,1-26,8)	5,6 \pm 0,9 (0,4-15,8)	3,6 \pm 0,5 (0,2-10,4)	9,7 \pm 1,9 (0,2-30,6)	49,3 \pm 5,1 (1,4-128,6)	73,3 \pm 12,3 (4,7-248,8)	37,2 \pm 3,8 (1,4-60)	41,9 \pm 5,4 (1,1-112,7)
Limpeza	1,1 \pm 0,6 (0,1-3,9)	0	0,32	0	2,8 \pm 0,9 (1,2-7,6)	0	1,1	0
Pacífico								
Interação pacífica	3,2 \pm 1,3 (0,6-8,9)	3,3 \pm 1,4 (1,7-7,5)	2,6 \pm 0,6 (0,7-6)	5,7 \pm 2,2 (1,3-23,9)	2,6 \pm 0,8 (1,3-6,7)	4,1 \pm 1,3 (1,9-7,4)	2 \pm 0,2 (1,4-3,5)	2,5 \pm 0,5 (1-6,7)
Agonístico								
Perseguição	2,4 \pm 0,4 (0,03-7,6)	3 \pm 0,4 (1-7,4)	9,2 \pm 1 (1,7-21)	2,4 \pm 0,6 (0,3-12,1)	7,3 \pm 1,2 (1,2-21,1)	11,8 \pm 1,6 (4,1-25,8)	10,2 \pm 0,9 (2,1-25,6)	3,5 \pm 0,6 (0,9-14,8)
Display lateral	0,3 \pm 0,01 (0,3-0,3)	0	1,5 \pm 0,3 (0,8-2,7)	0,9 \pm 0,5 (0,2-3,4)	2,4 \pm 0,5 (1,9-2,8)	0	2,4 \pm 0,3 (1,5-4,8)	1,7 \pm 0,4 (0,9-4,4)
Display frontal	0,6 \pm 0,2 (0,2-1,4)	3,5 \pm 1,1 (2,4-4,7)	0	0	1,9 \pm 0,3 (1,4-2,8)	1,5 \pm 1,1 (0,4-2,7)	0	0
Luta	0,2 \pm 0,02 (0,2-0,23)	0	0	0	2,1 \pm 0,8 (1,9-2,3)	0	0	0
Círculo	0,9 \pm 0,1 (0,8-1,1)	0	0	0	1,9 \pm 0,3 (1,6-2,3)	0	0	0
Natação explosiva	1,3 \pm 0,2 (0,8-1,9)	1,2 \pm 0,8 (0,4-2)	2 \pm 0,3 (0,4-4,3)	2,1 \pm 0,8 (0,3-5,9)	1,8 \pm 0,3 (1,3-3,1)	2 \pm 0,3 (1,7-2,4)	2,1 \pm 0,2 (1,1-3,8)	2,1 \pm 0,6 (1-5,9)
Reprodutivo								
Acasalamento / visita	1,6	0	1,4	2,6 \pm 0,4 (1,2-5)	2,9	0	2,1	1,6 \pm 0,1 (1,04-2,2)
Natação em círculo	0	0	1,7	24,8 \pm 8,5 (16,3-33,3)	0	0	3,6	6,7 \pm 3,1 (3,6-9,8)
Natação vertical	0	0	0	16,2	0	0	0	11,7

Em relação à alta estação, as donzelinhas apresentaram maior duração relativa dos comportamentos agonísticos na área fechada ($H(3, N=71) = 31,44460$; $p < 0,01$); Figura 4A). Entretanto, na baixa estação, a duração relativa foi similar entre as áreas (Fig. 4A) e a frequência de comportamentos agonísticos foi maior na área aberta ($H(3, N=71) = 19,35601$; $p = 0,0002$; Fig. 4B).

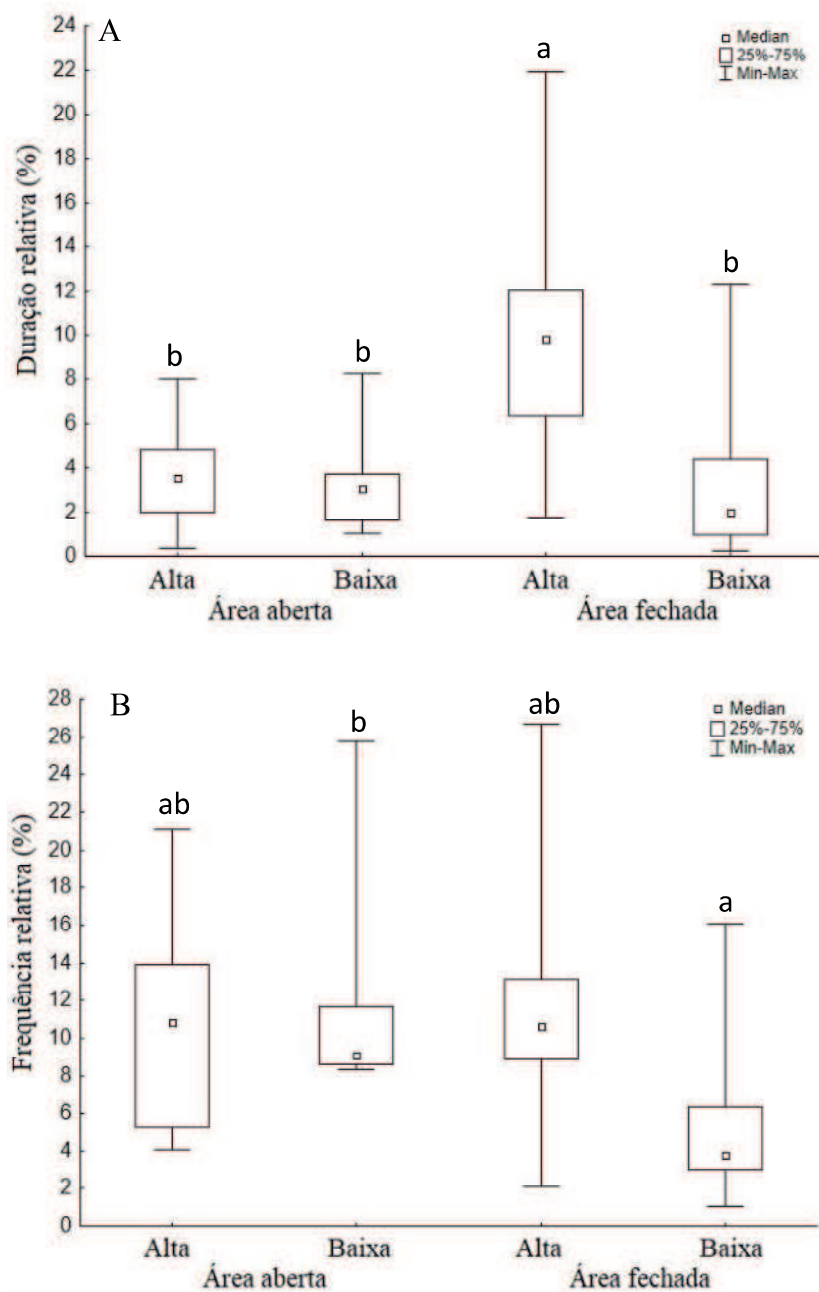


Figura 4. Duração relativa (A) e frequência relativa (B) dos comportamentos agonísticos observados em *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações turísticas (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram diferença estatística.

A taxa de alimentação não diferiu entre as áreas de amostragem e nem entre as estações do ano ($H(3, N=77) = 4,998601, p = 0,1719$), bem como a frequência e a duração relativa do comportamento de refúgio ($H(3, N=59) = 5,394464, p = 0,1451$; $H(3, N=59) = 3,627185, p = 0,3046$, respectivamente). Já em relação ao comportamento de natação, a duração relativa foi similar em ambas as áreas e estações ($H(3, N=77) = 8,763069, p = 0,0326$); porém, a frequência relativa foi menor na baixa estação da área fechada ($H(3, N=77) = 26,63038, p = 0,000$) (Fig. 5).

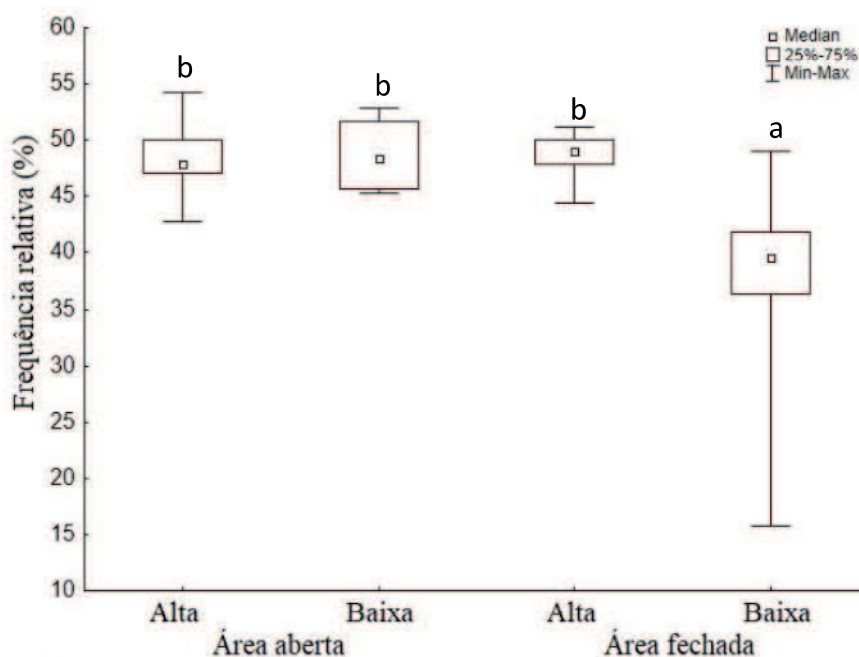


Figura 5. Frequência relativa do comportamento de natação observado em *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram diferença estatística.

Em relação à área territorial, *S. fuscus* apresentou uma média geral de $1,13 \pm 0,11 \text{ m}^2$ ($0,26 \text{ m}^2 - 7,59 \text{ m}^2$), sendo a média de $0,95 \text{ m}^2 (\pm 0,07)$ na área aberta e $1,08 \text{ m}^2 (\pm 0,19)$ na área fechada. Foram registrados menores territórios para os indivíduos da área fechada na baixa estação em relação aos territórios registrados na alta estação de ambas as áreas ($H(3, N=78) = 12,82136, p = 0,0050$) (Fig. 6).

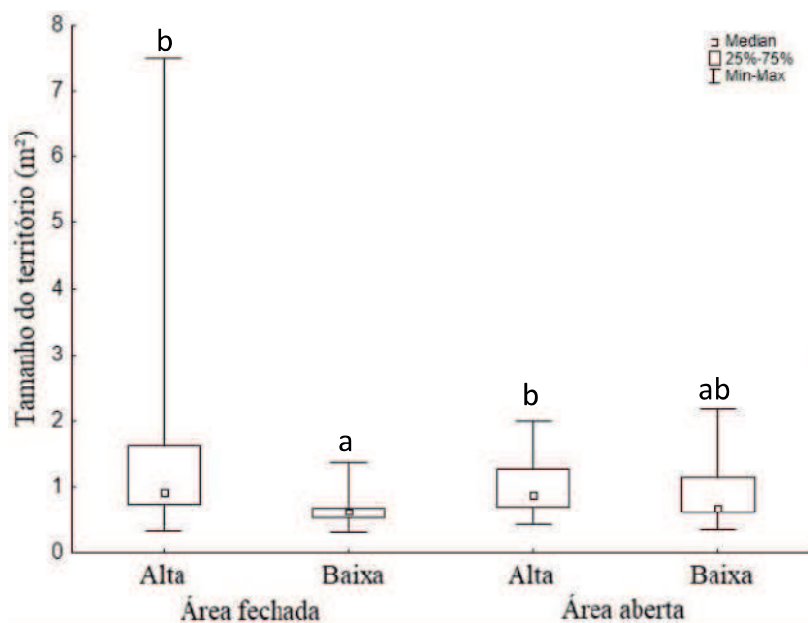


Figura 6. Tamanho do território de *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram a diferença estatística.

3.3. Produção de som

Stegastes fuscus produziu quatro tipos de sons nas duas áreas amostradas: *pops* únicos, *pops* duplos, *chirps* e sequência de *pops*. Os *chirps* (área aberta – 46,15%; área fechada - 49% do total de sons produzidos) e *pops* únicos (área aberta – 20,51%; área fechada - 33%) constituíram os sons mais frequentes.

Em ambas as áreas, os sons foram produzidos principalmente associados a comportamentos agonísticos (área aberta 100%; fechada, 85,1%). As médias de cada característica dos sons, em cada uma das áreas e estações turísticas, estão descritas na tabela 4.

Tabela 4. Características dos sons produzidos por *Stegastes fuscus* nos recifes costeiros de Tamandaré (PE), em contexto agonístico. Dados apresentados como média \pm erro padrão (amplitude de valores). n = número de indivíduos analisados alta estação/baixa estação.

Características dos sons	n	Área aberta			n	Área fechada		
		Geral	Alta estação	Baixa estação		Geral	Alta estação	Baixa estação
POP	7/1				6/9			
Duração do pulso (ms)		23,3 \pm 2,7 (17-41)	24,2 \pm 3 (17-41)	17		30,1 \pm 1,6 (14-40)	32,4 \pm 2,4 (23,5-40)	28,5 \pm 2,2 (14-35)
Frequência dominante (Hz)		397,6 \pm 6,2 (367,9-428,4)	393,2 \pm 5,1 (367,9-405,7)	428,4		525,2 \pm 18,9 (332,7-643,1)	507,17 \pm 7,7 (472,9-531)	537,2 \pm 31,3 (332,7-643)
Taxa de vocalização (sons / min)		0,13 \pm 0,02 (0,1-0,3)	0,14 \pm 0,02 (0,1-0,3)	0,1 \pm 0 (0,1-0,1)		0,23 \pm 0,06 (0,1-1,0)	0,25 \pm 0,15 (0,1-1,0)	0,21 \pm 0,05 (0,1-0,5)
POP DUPLO	6/0				2/4			
Duração total (ms)		94 \pm 11 (61-131)	94 \pm 11,09 (61-131)	0		88,8 \pm 14,3 (58,2-139)	133 \pm 6 (127-139)	66,8 \pm 4,2 (58,2-76)
N pulsos		2	2	0		2	2	2
Duração do pulso (ms)		23,8 \pm 3 (18-36,5)	23,8 \pm 3 (18-36,5)	0		28,1 \pm 2,7 (18,5-34,5)	32,3 \pm 1,8 (30,5-34)	25,9 \pm 3,8 (18,5-34,5)
Período interpulso (ms)		43,7 \pm 9,6 (19-71)	43,7 \pm 9,6 (19-71)	0		30,8 \pm 7,9 (13-67)	51,5 \pm 15,5 (36-67)	20,5 \pm 3,2 (13-29)
Frequência dominante (Hz)		432,9 \pm 65,8 (262,1-710,7)	432,9 \pm 65,8 (262,1-710,7)	0		519,2 \pm 24,3 (399,2-554,4)	476,8 \pm 77,6 (399,2-554,4)	540,5 \pm 5,3 (532,2-554,4)
Taxa de vocalização (sons / min)		0,12 \pm 0,01 (0,1-0,2)	0,1 \pm 0 (0,1-0,1)	0,15 \pm 0,03 (0,1-0,2)		0,2 \pm 0,05 (0,1-0,4)	0,13 \pm 0,03 (0,1-0,2)	0,2 \pm 0,07 (0,1-0,4)
CHIRPS	11/7				10/16			
Duração total (ms)		148,4 \pm 19,7 (69,6-470)	156,04 \pm 32,19 (69,6-470)	136,43 \pm 8,7 (95,5-164)		135,8 \pm 7,3 (84-276)	128,3 \pm 9,3 (84-179)	140,5 \pm 10,4 (99-276)
N pulsos		3,9 \pm 0,1 (3-6)	4 \pm 0,2 (3-6)	3,9 \pm 0,2 (3-6)		3,7 \pm 0,1 (3-5)	3,7 \pm 0,2 (3-5)	3,6 \pm 0,1 (3-5)
Duração do pulso (ms)		22,47 \pm 1,1 (14,3-30,7)	23,7 \pm 1,5 (14,3-30,7)	20,4 \pm 1,6 (14,5-27,2)		21,4 \pm 0,8 (13,7-29,1)	19,5 \pm 1,1 (15-25,3)	22,8 \pm 1,1 (13,7-29,1)
Período interpulso (ms)		15,4 \pm 1,4 (4,3-25)	13,6 \pm 1,9 (4,3-25)	18 \pm 1,3 (12,4-21,3)		18,6 \pm 1,3 (11,8-38,5)	18,1 \pm 1,7 (11,8-32,6)	19 \pm 2,1 (12,5-38,5)
Frequência dominante (Hz)		376,9 \pm 9,1 (262,1-420,4)	376,5 \pm 13,2 (262,1-420,4)	377,48 \pm 12,3 (326,6-413)		486,6 \pm 15,6 (346,7-709,6)	430,9 \pm 23,2 (343,7-539,6)	521,5 \pm 15,7 (443,5-709,6)
Taxa de vocalização (som / min)		0,3 \pm 0,06 (0,1-0,8)	0,32 \pm 0,07 (0,1-0,8)	0,28 \pm 0,09 (0,1-0,8)		0,41 \pm 0,12 (0,1-2,3)	0,22 \pm 0,04 (0,1-0,4)	0,64 \pm 0,25 (0,1-2,3)

3.3.1 Características dos sons

Dentre os comportamentos apresentados por *Stegastes fuscus*, nove deles (60%) foram associados à produção de som, sendo o comportamento de perseguição o mais frequentemente acompanhado por sons (*pops* e *chirps*) em ambas as áreas, nas duas estações (Fig. 7). Alguns comportamentos associados à produção de som foram observados exclusivamente em cada uma das áreas: para a área aberta, luta e círculo, no contexto de agressividade (*chirps*); limpeza, durante a retirada de uma alga da área territorial, com produção de *chirp*; e natação, com produção de *chirps*, sem contexto aparente. No caso da área fechada: display lateral, associado a comportamento de agressividade (*pop duplo* e *chirps*); interação pacífica, sem contexto definido (*chirps*); e os sons associado ao contexto reprodutivo, acasalamento/visita e natação em círculo (*pops* e *chirps*). A frequência de produção de som em cada um dos comportamentos registrados nas áreas, de acordo com as estações turísticas, está demonstrada na Figura 7.

Em relação à taxa de vocalização entre as áreas, foi observada maior produção de som na alta estação da área aberta em relação à baixa estação da área fechada, ($H(3, N=78) = 11,34275, p = 0,0100$) (Fig. 8). Não houve diferença na taxa de vocalização dos tipos de sons entre as áreas e estações (*chirps*: $H(3, N=41) = 3,679, p = 0,298$; *pop* único: $H(3, N=29) = 2,903, p = 0,40$; *pop duplo*: $H(3, N=18) = 4,508, p = 0,202$).

A duração do pulso dos sons de *pop* único da área aberta apresentaram diferença quanto à duração dos *pops* únicos da área fechada, assemelhando-se à duração dos sons de *chirps* de ambas as áreas ($F(2, 73) = 3,4413, p = 0,03730$) (Fig. 9). Uma vez que não foram observadas variações na frequência dominante entre os tipos de som entre as áreas ($F(2, 73) = 0,29170, p = 0,74786$) e nem entre as estações ($F(1, 27) = 0,14658, p = 0,70482$), os sons foram analisados de forma agrupada para cada área. Desta forma, a frequência dominante dos sons produzidos por *S. fuscus* na área fechada foi maior do que a dos sons produzidos na área aberta ($t = 728,5, p < 0,01$).

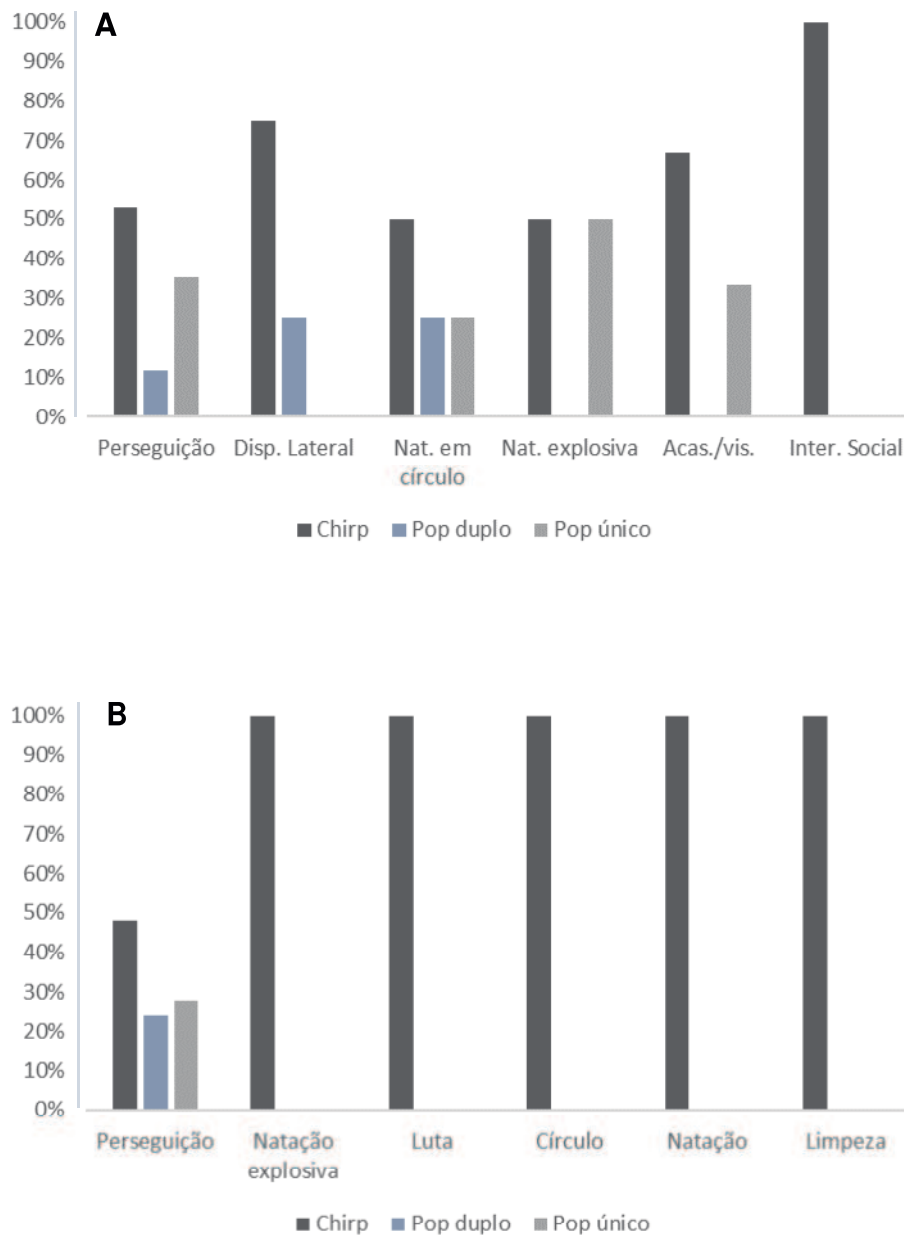


Figura 7. Frequência absoluta dos tipos de sons produzidos por *Stegastes fuscus* em relação aos comportamentos entre as áreas de amostragem (A – fechada; B - aberta) nos recifes de Tamandaré, Pernambuco.

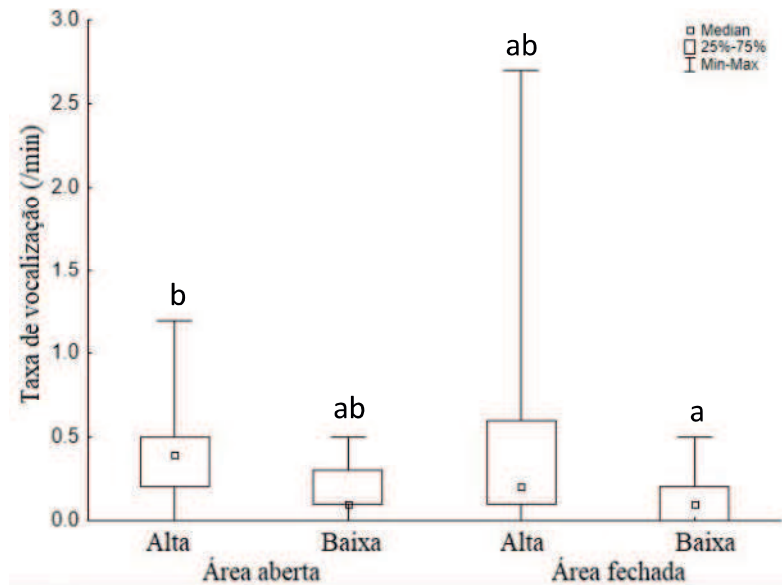


Figura 8. Taxa de vocalização dos indivíduos de *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram diferença estatística.

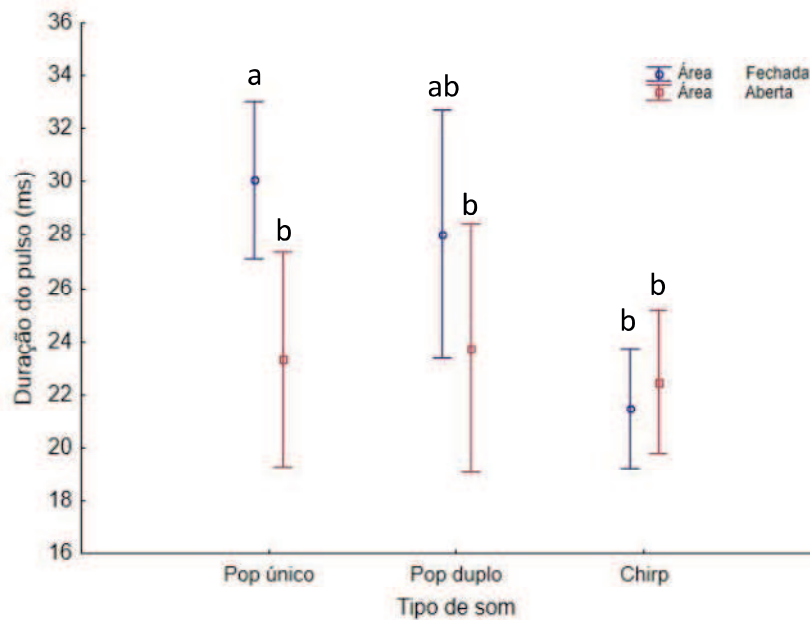


Figura 9. Diferença da duração dos pulsos dos sons agonísticos produzidos por *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada à visitação) nos recifes de Tamandaré, Pernambuco. Letras distintas demonstram diferença estatística.

O período interpulso (PIP) dos *pops* duplos da área fechada na baixa estação foi similar ao observado para os sons de *chirp* de ambas as áreas e estações, diferindo do observado para os *pops* duplos das outras estações e na própria área fechada ($F(2, 41)=6,4045$, $p=0,00380$) (Fig. 10). Já a duração total dos sons foi semelhante entre as duas áreas e as estações do ano ($F(2, 41)= 0,306$, $p=0,821$). Adicionalmente, os *chirps* da área aberta foram produzidos em uma sequência individual como observado na área fechada, mas também em sequências de até 6 *chirps* variando entre 3 a 5 pulsos cada (Fig. 11)

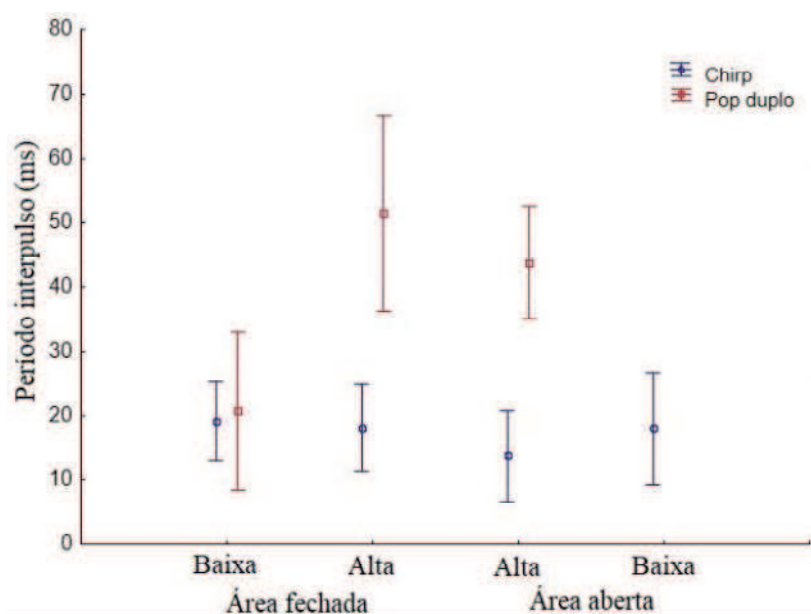


Figura 10. Período interpulso dos sons de *chirp* e *pop duplo*, produzidos durante contexto agonístico por *Stegastes fuscus* entre as áreas de amostragem (aberta e fechada) e as estações do ano (alta e baixa estação), nos recifes de Tamandaré, Pernambuco.

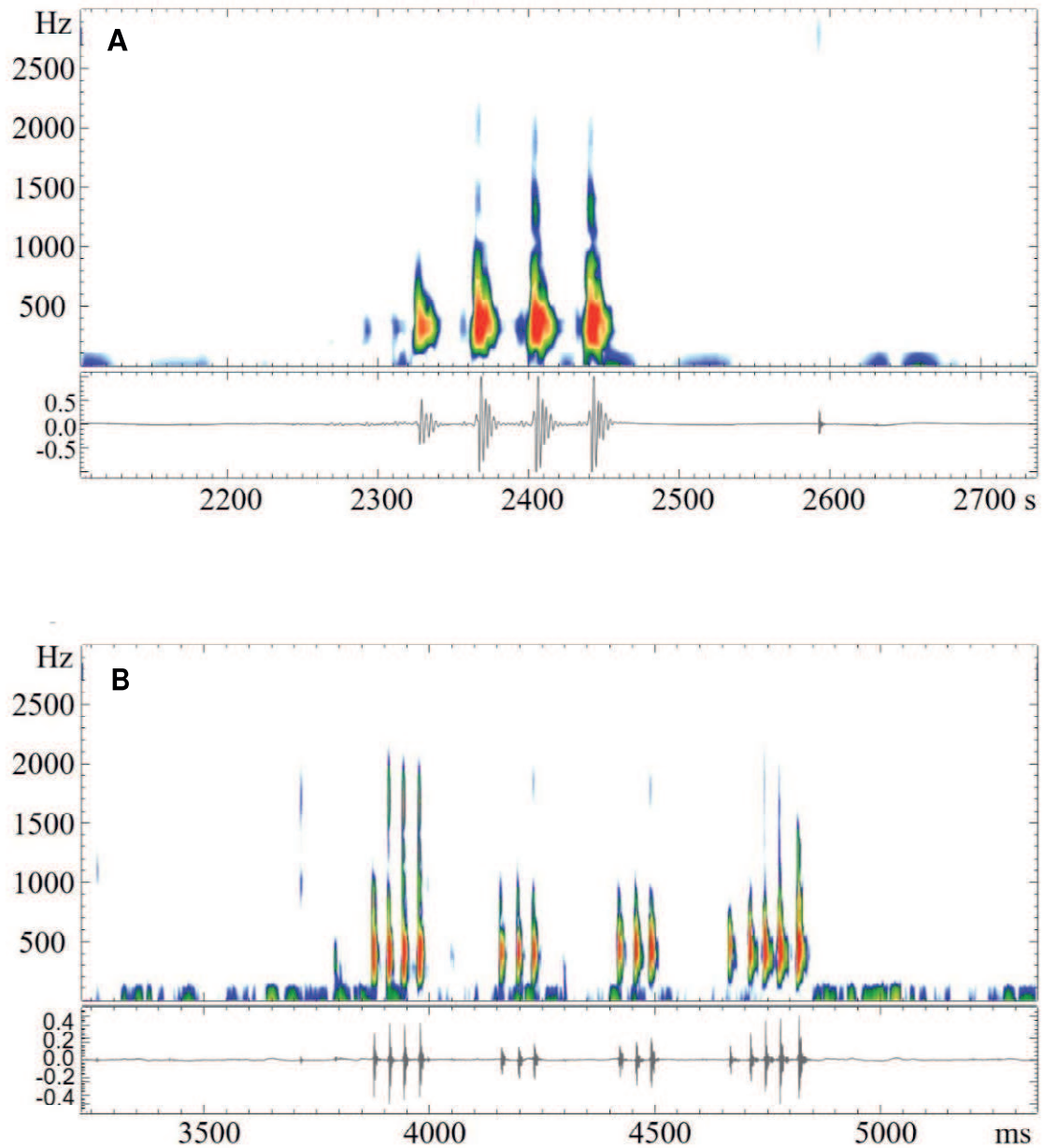


Figura 11. Sonograma e oscilograma do som de *chirp* único (A) e sequência de *chirps* (B) produzidos durante comportamento agonístico de perseguição por um indivíduo de *Stegastes fuscus*. (Frequência de amostragem 96 Hz, Bandwidth de 100 Hz, 75% overlap, Hanning window).

Foi possível observar sons produzidos por *S. fuscus* durante a passagem de embarcações, como *chirps* agonísticos (Fig. 12). Em relação ao ruído produzido pelas embarcações que trafegaram no corredor de acesso à piscina 1, a frequência dominante média foi de $43,3 \pm 52,8$ Hz (252 - 906,7 Hz).

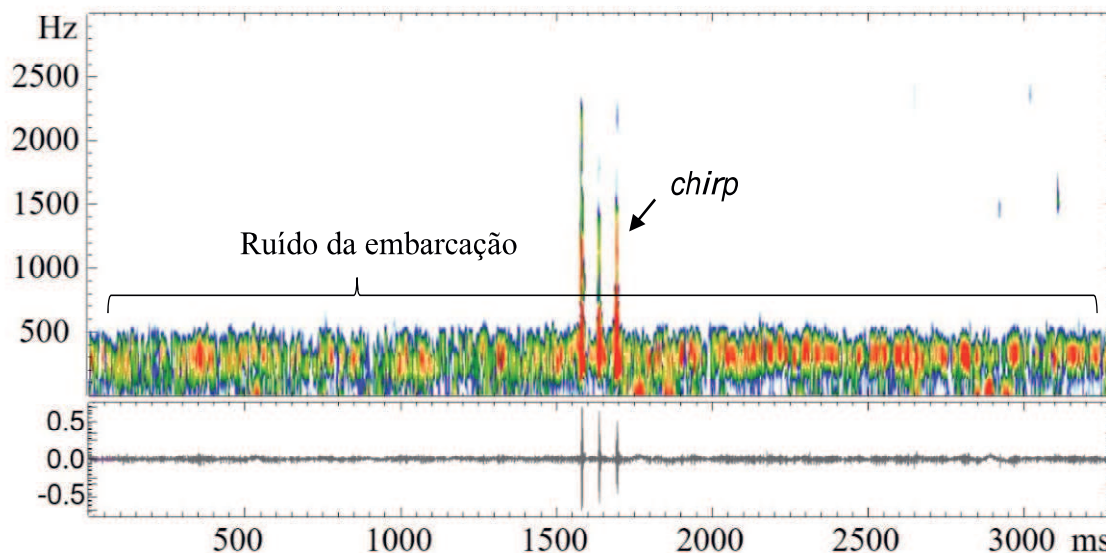


Figura 12. Sonograma e oscilograma do ruído de embarcação e *chirp* produzido por um indivíduo de *Stegastes fuscus* nos recifes costeiros de Tamandaré, na área aberta à visitação, durante comportamento de perseguição (Frequência de amostragem 96 Hz, *bandwidth* de 100 Hz, 75% *overlap*, *Hanning window*).

Foi registrada uma razão $CV_{inter}/CV_{intra} > 1$ para a duração dos *pops* únicos (1,21) e em relação a todas as características acústicas dos *chirps* agonísticos da área fechada (duração do som: 1,52; duração do pulso: 1,71; FD: 1,79; e PIP: 1,64), como também dos *chirps* da área aberta (duração do som: 1,67; duração do pulso: 1,61; FD: 1,67; e PIP: 1,69). O CV dos indivíduos foi testado entre as estações e entre as áreas aberta e fechada para cada característica dos sons e não foram observadas diferenças ($p > 0,05$ em todos os casos).

As sequências de *pops* da área fechada, produzidas durante o comportamento reprodutivo de acasalamento/visita, consistiram de sons longos e ritmados (duração total média: 3.5 s) com pulsos curtos semelhantes aos *pops*, com duração média de $32,6 \pm 4.1$ ms, apresentando frequência dominante média de 496.8 ± 354.8 Hz e longo PIP (419.2 ± 238 ms). Na área aberta, as sequências de *pops* foram produzidas exclusivamente

durante comportamento agonístico durante perseguições a intrusos, apresentando duração média dos pulsos foi de 28.7 ± 4.4 ms, frequência dominante média de 362.85 ± 10.6 Hz, PIP médio de 405.4 ms (± 91.2) e tamanho médio de 1158.3 ± 403.8 ms.

Foi registrado apenas um som produzido durante a interação pacífica na área fechada: um *chirp* (n pulsos = 3) com duração média de pulso de 18 ms, PIP médio de 20 ms, frequência dominante de 510.1 Hz e duração total de 96 ms. Não foram observados eventos de som associado a esse comportamento na área aberta. O único som de *chirp* produzido durante o comportamento de limpeza apresentou 5 pulsos com duração média de 28.8 ms, PIP médio de 79.5 ms e 343.7 Hz frequência dominante e duração total de 470 ms. Não foi observado outro evento de produção de som associado a esse comportamento, sendo produzido apenas na área aberta. Já os sons de *chirp* associados ao comportamento de natação, registrados duas vezes na área aberta e produzidos pelo mesmo indivíduo, apresentou média de duração de 24.91 ms, PIP de 10.06 ms, frequência dominante de 413.3 Hz e duração total média de 124.3 ms.

4. DISCUSSÃO

O presente trabalho demonstra os efeitos do tráfego náutico no comportamento e na produção de som de uma espécie estruturadora de comunidades recifais bentônicas, em uma área de estresse crônico devido à alta demanda turística, nunca antes observado com essa abordagem no Brasil.

Tráfego náutico na área aberta

O tráfego de embarcações presente na área aberta apresentou-se de maneira predominantemente comercial durante a maré baixa (período de amostragem). De fato, muitas áreas recifais são comumente exploradas para recreação durante o período da maré baixa, quando se tornam mais acessíveis a banhistas (Lucas & Smith, 2016). Nessas condições, os organismos marinhos ficam vulneráveis por estarem em baixa profundidade, o que, por exemplo, pode propiciar colisões e alterações mais expressivas no hidrodinamismo devido ao tráfego náutico (e.g. formação de ondas e aumento da sedimentação – Gabel *et al.*, 2017).

A área aberta não possui definição de zonas específicas para tráfego náutico, bem como zonas de preservação das áreas recifais contra pisoteio pelos visitantes, sendo amplamente utilizada como área comercial para passeios náuticos, que geram renda para os empresários do turismo. É interessante destacar que, devido à baixa profundidade na maré baixa, é possível chegar às piscinas caminhando ou nadando, como observado durante as amostragens. Desta forma, o uso de embarcações não é estritamente indispensável para o deslocamento de turistas/banhistas. Além disso, a área é altamente propícia para prática de atividades náuticas não motorizadas (e.g. uso de caiaques e *stand-up paddle*), i.e. mais sustentáveis, seja porque essas embarcações provocam poucas alterações do hidrodinamismo, pela ausência de ruído mecânico ou baixa probabilidade de colisão com estruturas recifais. Entretanto, embora a praia de Tamandaré possua águas calmas e abrigadas devido à presença dos recifes, alternativas ao uso de embarcações motorizadas para passeios náuticos ainda são pouco exploradas (obs. pes.).

O tráfego de embarcações comerciais foi observado exclusivamente direcionado a uma piscina específica, através de uma única rota, como também observado na praia de moreré no estado da Bahia, que possui recifes rasos (média de 1,5 m) e atividades náuticas com o deslocamento de visitantes através de embarcações para uma área de 600 m² (Albuquerque *et al.*, 2015), demonstrando o mesmo padrão de intensidade de turistas em áreas recifais específicas. Similarmente, foi observado, em um estudo realizado na Carolina do Norte, que o número de barcos de recreação que passavam através de um canal por hora era o único fator que aumentava os níveis de ruído ambientais (Haviland-Howel *et al.*, 2007), demonstrando o efeito crônico do tráfego náutico no canal.

Efeitos do tráfego náutico no comportamento de *Stegastes fuscus*

Stegastes fuscus apresentou um repertório comportamental nas duas áreas que são comuns ao repertório da família Pomacentridae, o qual foi composto por comportamentos de locomoção, limpeza, alimentares, agonísticos e reprodutivos, descritos em trabalhos para outras espécies da família (Myrberg, 1972; Draud & Itzkowitz, 1995; Lobel & Lobel, 2013), bem como para a própria espécie estudada (Ceccareli *et al.*, 2005; Feitosa *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2010). A baixa frequência de comportamentos reprodutivos observada em ambas as áreas de amostragem talvez se

deva ao fato de que a probabilidade de observação desses comportamentos durante o período de amostragem (10 minutos) seja menor, ou devido ao comportamento territorialista demandar mais investimento de tempo (Hamb, 2011; Menegatti *et al.*, 2003). Adicionalmente, foram observados comportamentos nunca antes descritos para *S. fuscus* ou para outras espécies da família, como a natação em círculo e a natação vertical – associados a comportamentos reprodutivos observados exclusivamente na área fechada –, e a interação pacífica, que foi observada em ambas as áreas de amostragem, não apresentando contexto definido, somando informações para o repertório comportamental da família.

Foi registrada uma maior diversidade de comportamentos reprodutivos na área fechada ao tráfego na baixa estação, quando comparada à área aberta, que apresentou apenas um registro de acasalamento/visita e onde nenhum ninho foi observado durante as amostragens. No entanto, o período de pico reprodutivo para *S. fuscus* se concentra nos meses de setembro, outubro e janeiro (Canan *et al.*, 2011), quando foram realizadas as amostragens em ambas as áreas, correspondendo as duas estações turísticas definidas, de modo que seria esperado na área aberta a presença de comportamentos associados à reprodução e a presença de ninhos, como observado na área fechada, mesmo que em baixa frequência. Somando-se a isso, os indivíduos da área fechada apresentaram tamanho territorial menor durante a baixa estação em relação à alta estação, coincidindo com o período em que foram observados os comportamentos reprodutivos e de cuidados com o ninho, podendo estar associado à diminuição do espaço territorial efetivo durante esse período, consistindo do primeiro relato para a espécie.

Contrariamente, foi registrada maior frequência de comportamentos agonísticos e de natação na área aberta, bem como maior diversidade de comportamentos associados à agressividade. Tal fato pode estar relacionado ao tráfego náutico intenso na área, como observado para *Gobius cruentatus*, que aumentou a agressividade e diminuiu a capacidade de manter territórios em relação ao ruído de embarcações (Sebastianutto *et al.*, 2011). Associada a isso, foi observada maior frequência de perseguições interespecíficas relacionada a *Abudefduf saxatilis* na área aberta, espécie generalista que pode ser observada em maior abundância em áreas com fluxo de turistas (Ilari *et al.*, 2008). Desta forma, o aumento de intrusos na área poderia aumentar a competição por recursos alimentares, tornando-se um fator seletivo para as espécies que residem nessas

áreas (Orams, 2002), aumentando o comportamento de defesa por parte dos peixes-donzela.

Não foi observada variação na taxa de alimentação entre as duas áreas e entre as estações turísticas, como também quanto à frequência e duração relativas do comportamento de refúgio, diferindo do observado para outras espécies de peixes. A tendência observada em relação ao tráfego de embarcações é a diminuição da taxa de alimentação e/ou forrageamento (*Chromis chromis* – Bracciali *et al.*, 2012; *Gasterosteus aculeatus* e *Phoxinus phoxinus* - Voellmy *et al.*, 2014) e aumento do comportamento de refúgio (*Sciaena umbra* – Manna *et al.*, 2016; *Amititlania nigrofasciata* – McLaughlin & Kunc, 2015). Isso pode estar relacionado ao hábito herbívoro associado ao cultivo de algas em *S. fuscus*. Os indivíduos que apresentam essa característica tendem a demandar maior atenção a suas “fazendas”, justamente através do comportamento territorialista que limita o consumo das algas por outros herbívoros (Hata & Ceccareli, 2016; Ceccareli *et al.*, 2001).

Efeitos do tráfego náutico na produção de som em *Stegastes fuscus*

Stegastes fuscus apresentou produção de som principalmente associada a comportamentos agonísticos nas duas áreas amostradas, padrão comumente registrado para espécies da família (Parmentier *et al.*, 2010; Colleye *et al.*, 2009). Entretanto, foi registrada, pela primeira vez para a família, a produção de som associada a comportamentos de interação pacífica (observado apenas na baixa estação da área fechada), podendo estar associada à interação entre vizinhos e potenciais parceiros. Também foi registrada a produção de som durante natação e limpeza, apenas na alta estação da área aberta. Um único evento de produção de som esteve associado à limpeza do território. Esse evento pode estar relacionado ao mecanismo de produção de som que está localizado no aparelho bucal/faríngeo, e através do ligamento ceratomandibular que realiza fechamento da maxila, promove a colisão entre os dentes resultando na produção de som, não havendo modificação no movimento quando o indivíduo se alimenta e quando produz som (*Amphiprion clarkii* – Olivier *et al.*, 2015), podendo ser um subproduto desta atividade. Já o som registrado durante o comportamento de natação, sem contextos de agressividade e reprodução associados, foi produzido duas vezes pelo mesmo indivíduo e pode estar relacionado ao estresse causado pela presença do ruído na

área; porém, devido à observação ser pontual, seriam necessários mais registros para confirmação.

Os sons produzidos em ambas as áreas se assemelham aos descritos para congêneres (*Stegastes partitus* – Myrberg, 1972; *S. diencaeus* e *S. adustus* – Weimann *et al.*, 2017) em termos de características temporais e espectrais, além de se assemelharem a sons de outra espécie da família (*Dascyllus albisella* - Mann & Lobel, 1998). No entanto, na área aberta, os *pops*, tanto únicos como duplos, apresentaram menores duração do pulso e frequência dominante em relação aos sons dos indivíduos da área fechada. Desta forma, os *pops* registrados na área aberta apresentaram duração dos pulsos semelhante à dos *chirps*.

Essa diferença na duração dos pulsos e frequência dominante entre as duas áreas pode estar relacionada ao fato das características temporais e espectrais estarem susceptíveis à sofrerem alterações em relação ao ruído e tráfego de embarcações, como observado para golfinhos (*Tursiops truncatus* - Gospic & Picciulin, 2016) e para peixes (*Cyprinella venusta* - Holt & Jonhston, 2014). Complementarmente, o ruído produzido pelas embarcações apresentou frequência dominante média de 400 Hz, estando possivelmente sobreposto à faixa auditiva de *S. fuscus*, como é mostrado para várias espécies do gênero *Stegastes* (*S. diencaeus*, *S. dorsopunicans*, *S. leucostictus*, *S. mellis*, *S. planifrons*, *S. variabilis* e *E. partitus*), as quais possuem o limiar auditivo acima de 300 Hz (Myrberg & Spires, 1980). A frequência do ruído também poderia sobrepor-se à dos sons produzidos por *S. fuscus*, de modo que os indivíduos possam tanto estar apresentando respostas comportamentais ao estresse, como demonstrado para *Gasterosteus aculeatus* e *Phoxinus phoxinus* (Voellmy *et al.*, 2014), como buscando maneiras de compensar essa influência externa. Adicionalmente, na área aberta, os sons de *chirp* foram observados produzidos em sequências (não observadas na área fechada), que podem estar relacionadas, por exemplo, à compensação vocal em relação à presença do ruído, como visto para a espécie *Sciaena umbra*, que aumenta a taxa de vocalização na presença de ruído de embarcações (Picciulin *et al.*, 2012), como uma forma de minimizar o mascaramento dos sons.

Já em relação à sequência de *pops*, na área fechada, foi observada a produção apenas durante contexto reprodutivo (baixa estação, apenas), diferindo do observado para outras espécies da família que apresentam esse tipo de som associado predominantemente a comportamentos agonísticos. Em contrapartida, na área aberta,

em ambas as estações turísticas, esse tipo de som foi exclusivamente observado durante contexto agonístico, assemelhando-se ao observado para outras espécies da família (*S. adustus* e *S. diencaeus* - Weiman *et al.*, 2017; *Chromis viridis* - Amorim, 1996; *Amphiprion clarkii* e *A. frenatus* - Chen & Mok, 1988; e *Plectroglyphidodon lacrymatus* - Parmentier *et al.*, 2006). Entretanto, a produção de som associada ao comportamento de agressividade pode tanto ser comum em *S. fuscus* e não ter sido registrada na área fechada durante o período de amostragem, como pode ter sido afetada pelo tráfego de embarcações. Neste último caso, pelo fato da sequência de *pops* constituir um som de maior duração, poderia apresentar maior efetividade durante a comunicação em períodos com a presença de ruído, sugerindo compensação vocal, como observado para *Sciæna umbra*, que além do aumento da taxa de vocalização, apresentou um aumento do número de pulsos nos sons quando os indivíduos foram expostos ao ruído de embarcações (Picciulin *et al.*, 2012).

Os sons de *chirp* produzidos durante comportamentos agonísticos apresentaram a razão $CV_{inter}/CV_{intra} > 1$ para todas as características avaliadas, as quais, desta forma, podem ser utilizadas para reconhecimento individual, como visto para espécies de peixes-palhaço (Colleye *et al.*, 2011). A individualização dos sons nos peixes pode estar relacionada, por exemplo, ao reconhecimento de sons quanto ao sexo dos emissores, com o intuito de transmitir informações discriminantes, como massa corporal ou *fitness* do indivíduo, como observado para *Melanogrammus aeglefin* (Casaretto *et al.*, 2015), podendo possivelmente ser utilizada por *S. fuscus* como um sinal individual de aviso aos intrusos. A manutenção dessa individualização, mesmo com a presença do tráfego na área aberta, demonstra que os indivíduos continuam a se comunicar repassando informações individuais. Entretanto, como os peixes amostrados apresentaram tamanhos semelhantes, alterações na individualização dos sons deve ser melhor investigada, particularmente em estágios de vida e sexos diferentes.

Considerações para a conservação

A prática de atividades náuticas nos recifes de Tamandaré, predominantemente com o uso de embarcações a motor, pode afetar o padrão de atividade e produção de som de *S. fuscus*, particularmente em termos de comportamentos agressivos, natação,

diminuição de comportamentos reprodutivos e alteração de características acústicas importantes, como a frequência dominante e duração dos pulsos.

É importante considerar que, além de efeitos comportamentais, podem estar ocorrendo respostas fisiológicas ao estresse, como observado para outra espécie da família, *Chromis chromis*, que apresentou quantidade significativa de biomarcadores de estresse no sangue em relação a presença do ruído de embarcações, os quais afetam a modulação de respostas imunológicas e bioquímicas (Vazzana *et al.*, 2017). Assim, os efeitos do tráfego de embarcações a longo prazo podem gerar, também, o aumento da suscetibilidade dos indivíduos a doenças, gerando danos significativos às populações.

Bessa *et al.* (2017) afirmam que indicadores comportamentais (como padrão de atividade), podem ser mais relevantes para o reconhecimento dos impactos do turismo nas populações do que os indicadores ecológicos (como o uso de microhabitats), demonstrando que podem alterar a duração em que os peixes desempenham suas atividades quando estão na presença de turistas. Nossos resultados corroboram o observado pelos autores, uma vez que demonstram que o padrão de atividade de *S. fuscus* aumenta com a alta estação turística, assim como a frequência dominante dos sons, podendo levar a alterações na comunicação dos peixes nessa área em função do ruído das embarcações.

Outro ponto importante deste trabalho a ser considerado é o uso de metodologia não invasiva (análise comportamental e acústica) para avaliar os efeitos do tráfego náutico em uma unidade de conservação marinha e em uma espécie-chave. Além disso, os comportamentos foram observados numa espécie em condições naturais que sofre com estresse crônico em relação a atividades náuticas, podendo demonstrar de maneira efetiva os efeitos dessas atividades sem interferências para experimentação (e.g. manuseio dos espécimes), resultando em dados importantes para o conhecimento das respostas naturais de *S. fuscus* a impactos antrópicos.

A caracterização espacial de atividades náuticas é tida como o primeiro passo para o planejamento/zonamento de ambientes costeiros e marinhos, evitando não somente os danos relacionados às embarcações no meio ambiente, como, também, prevenindo o bem-estar e a segurança dos próprios utilizadores, que muitas vezes tendem a utilizar os mesmos espaços que se tornam superlotados (Balaguer *et al.*, 2011). Muitos dos problemas relacionados ao comportamento de banhistas/turistas em

unidades de conservação marinhas, ocorre devido à falta de informação sobre a legislação e normas de conduta nos ecossistemas (Martin *et al.*, 2017). As unidades de conservação em Tamandaré já desempenham um papel de educação ambiental com o uso de placas e palestras informativas sobre o ambiente recifal e questões de lixo e utilização da praia, além de encartes sobre a conduta consciente em ambientes recifais (Ministério do Meio Ambiente, 2011). Os encartes, particularmente, tratam do uso correto de áreas de ancoragem, interação com organismos marinhos, uso adequado de equipamentos de mergulho para evitar a sedimentação através do uso de nadadeiras, entre outros. No entanto, de acordo com os resultados deste trabalho, sugere-se um aprimoramento dos materiais de conduta consciente em ambientes recifais, de forma a incluir os efeitos das práticas náuticas recreativas sobre os organismos aquáticos e o ambiente recifal, como os impactos causados pela alta velocidade de embarcações, do tráfego em áreas rasas e do ruído causado pelo sistema de propulsão, visando estimular o chamado “comportamento ambiental” (Martin *et al.*, 2017) pelos banhistas/turistas e donos de embarcações que frequentam a região.

No plano de manejo da APA Costa dos Corais (APACC), estão determinadas zonas para usos específicos da unidade de conservação, como zonas especiais para a preservação da vida marinha, como para a proteção do peixe-boi marinho, entre outras. Entretanto, a maior parte da unidade está inserida na Zona de Uso Sustentável (ZUS), onde foram realizadas as amostragens. Nessa zona, são permitidas, em relação à prestação de serviços de turismo náutico, “o passeio de orla, aluguel de brinquedos náuticos e atividades de saída de mergulho autônomo por operadoras devidamente cadastradas e autorizadas pela APACC”, não sendo permitidas as seguintes ações: “exploração de serviços de turismo náutico em recifes costeiros onde ainda não tenha sido regulamentada a atividade” (ICMBio, 2012). Os gestores definem o termo passeio de orla como “a atividade turística comercial realizada por embarcações cadastradas e autorizadas pela APACC, com as seguintes especificações: i) distância máxima de 400 metros da praia, sem desembarque em ambiente recifal”. Entretanto, durante o período de amostragem, foi predominante o passeio de lanchas com o desembarque em ambiente recifal. O turismo particular encontra-se permitido na ZUS, conforme a legislação vigente. Já os passeios com lanchas e outras embarcações são permitidos com as restrições específicas da zona (ICMBio, 2012). Contudo, o plano de manejo não

específica, em relação ao tráfego (apenas quanto à ancoragem), distância mínima de áreas recifais, nem velocidade máxima ou profundidade mínima permitidas.

Desta forma, sugere-se a determinação de área para visitação, onde as embarcações não trafeguem próximas ou sobre os recifes, determinação da velocidade máxima permitida para navegação em áreas próximas aos recifes, como também a profundidade mínima para navegação, tanto na maré baixa quanto na maré alta, bem como as áreas onde as embarcações possam ser ancoradas, utilizando a marcação através de boias, como demonstrado na Espanha por Balaguer et al (2011). Além disso, sugere-se que sejam feitos registros e monitoramento de todas as embarcações que utilizam a área, destacando-se a utilizadas para fins comerciais, a fim de acompanhamento da intensidade do uso da área, podendo ser delimitado um total máximo de deslocamentos até a área definida para visitação, como também limite de desembarques, evitando a superlotação desses locais.

Sendo assim, o ordenamento das atividades náuticas, juntamente com o processo contínuo de conscientização e divulgação de informações a turistas e donos de embarcações em relação ao ecossistema recifal, destacando o valor ambiental e os efeitos do tráfego e visitação em ambientes recifais, acima do valor visual e recreativo da área, pode ajudar a mitigar as alterações comportamentais e nos padrões de atividade dos organismos causados pelo turismo e tráfego de embarcações, garantindo a manutenção dessas áreas e as interações ecológicas essenciais ao funcionamento do ecossistema.

5. CONCLUSÕES

- O tráfego de embarcações na área aberta de Tamandaré é predominante comercial durante a maré baixa e direcionado a uma piscina específica.
- *S. fuscus* apresentou maior frequência e diversidade de comportamentos agonísticos na área aberta ao tráfego náutico, além de maior frequência de comportamento de natação.
- A taxa de vocalização de *S. fuscus* na ausência do tráfego de embarcações permanece alta na baixa estação da área aberta, diferindo da área fechada que são diferentes.

- Em relação ao som, *S. fuscus* apresentou menor duração do pulso dos sons de *pop* na área aberta em relação aos indivíduos da área fechada.
- *S. fuscus* apresentou produção de *chirps* em sequências observadas apenas na área aberta.
- O ruído das embarcações possivelmente se sobrepõe à frequência dos sons das donzelas e estão na faixa de audição descrita para espécies do gênero *Stegastes*.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à APA Costa dos Corais, à APA de Guadalupe e ao Parque Natural do Forte de Tamandaré pelo suporte necessário durante o período de amostragem. Em particular, agradecemos à Joany Deodato (APA de Guadalupe) por todo o apoio e gentileza desde o início deste trabalho. À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida à C.R.M. Batista. Ao PPGEC por todo suporte necessário durante o decorrer da pesquisa. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo financiamento concedido à T.P.R. Oliveira (processo no.433136/2016.2). Ao ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) pela concessão da licença para pesquisa (SISBIO n. 53647-2). Agradecemos ao Dr. Antonio Souto e à Dra. Thelma Dias pelas contribuições ao manuscrito. Por fim, agradecemos à Jessyca Oliveira, Otoniel Lima, Mariana Arruda, Walter Lechner e, especialmente, Ignácio Evaristo, por todo o apoio durante a coleta de dados em campo.

5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, T. et al. In situ effects of human disturbances on coral reef-fish assemblage structure: temporary and persisting changes are reflected as a result of intensive tourism. **Marine and Freshwater research**, v. 66, n. 1, p. 23-32, 2015.

ALTMANN, J. Observational study of behavior: sampling methods. **Behaviour**, v. 49, n. 3, p. 227-266. 1974.

AMORIM, M. C. P. Sound production in the blue-green damselfish, *Chromis viridis* (Cuvier, 1930) (Pomacentridae). **The International Journal of Animal Sound and its Recording**. v.6, p.265-272. 1996.

AMORIM, M. C. P, FONSECA, P. J, ALMADA, V.C. Sound production during courtship and spawning of *Oreochromis mossambicus*: male-female and male-male interactions. **Journal Fish Biology**. 62:658–672. 2003.

AMORIM, M. C. P, et al. Differences in sounds made by courting males of three closely related Lake Malawi cichlid species. **Journal Fish Biology**. 65:1358–1371. 2004.

AMORIM, M. C. P.; VASCONCELOS, E. O. Variability in the mating calls of the Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus*: cues for potential individual recognition. **Journal Fish Biology**. v.73, p. 1267-1283, 2008.

AMORIM, M. C. P. Diversidade da produção de som em peixes. **Comunicação em peixes**, v. 1, p. 71-104, 2006.

AUBIN, T. et al. How a simple and stereotyped acoustic signal transmits individual information: the song of the White-browed Warbler *Basileuterus leucoblepharus*. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**. v.76, p.335-334. 2004.

BALAZIK, M. T. et al. The potential for vessel interactions with adult Atlantic sturgeon in the James River, Virginia. **North American Journal of Fisheries Management**, 32(6), 1062-1069, 2012.

- BALAGUER, P. et al. Spatial analysis of recreational boating as a first key step for marine spatial planning in Mallorca (Balearic Islands, Spain). **Ocean & coastal management**, v. 54, n. 3, p. 241-249, 2011.
- BESSA, E.; GEFFROY, B.; GONÇALVES- DE- FREITAS, E. Tourism impact on stream fish measured with an ecological and a behavioural indicator. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 27, n. 6, p. 1281-1289, 2017.
- BRACCIALI, C. et al. Effects of Nautical Traffic and Noise on Foraging Patterns of Mediterranean Damselfish (*Chromis chromis*). **Plos One**. 7(7): e40582. 2012.
- CANAN, B. et al. Feeding and reproductive dynamics of the damselfish, *Stegastes fuscus* in the coastal reefs of northeastern Brazil. **Animal Biology Journal**, v. 2, n. 3, p. 113, 2011.
- CASARETTO, L.; PICCIULIN, M.; HAWKINS, A. D. Seasonal patterns and individual differences in the calls of male haddock *Melanogrammus aeglefinus*. **Journal of fish biology**, v. 87, n. 3, p. 579-603, 2015.
- CECCARELLI, D. M.; JONES, G. P.; MCCOOK, L. J. Territorial damselfishes as determinants of the structure of benthic communities on coral reefs. **Oceanogr Mar Biol Annu Rev** 39:355–389. 2001.
- CECCARELLI, D. M.; JONES, G. P.; MCCOOK, L. J. Effects of territorial damselfish on an algal-dominated coastal coral reef. **Coral Reefs**. v.24, p.606–620. 2005.
- CODARIN, A. et al. 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, 1880-1887. 2009.
- CHEN, KUEI-CHIU & MOK, HIN-KIU. Sound production in the anemonefishes, *Amphiprion clarkii* and *A. frenatus* (Pomacentridae), in captivity. **Japanese Journal of Ichthyology**, v. 35, n. 1, p. 90-97. 1988.
- COLLEYE, O. et al. Interspecific variation of calls in clownfishes: degree of similarity in closely related species. **BMC Evolutionary Biology** 11, 365. 2011.
- COLLEYE, O., et al. Agonistic sounds in the skunk clownfish *Amphiprion akallopisos*: size-related variation in acoustic features. **Journal of Fish Biology**. 75, 908–916. 2009.

DAROS, F. A. et al. Otolith fingerprints of the coral reef fish *Stegastes fuscus* in southeast Brazil: a useful tool for population and connectivity studies. **Regional Studies in Marine Science**, v. 3, p. 262-272. 2016.

DAVENPORT, J. & DAVENPORT, J. L. The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 67 280 e 292. 2006.

DRAUD, M. J.; ITZKOWITZ, M. Interspecific aggression between juveniles of two Caribbean damselfish species (genus *Stegastes*). **Copeia**, p. 431-435, 1995.

EMERY, A. R. Comparative ecology and functional osteology of fourteen species of damselfish (Pisces: Pomacentridae) at Alligator Reef, Florida Keys. **Bulletin of Marine Science**, v. 23, n. 3, p. 649-770, 1973.

FARINA, A. The Ecological Effects of Noise on Species and Communities. *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds*. **Google Books**, 95. 2017.

FEITOSA, J. L. L. et al. Food resource use by two territorial damselfish (Pomacentridae: *Stegastes*) on South-Western Atlantic algal-dominated reefs. **Journal of Sea Research**. v.70, p.42-49. 2012.

FERREIRA, C. E. L. et al. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. **Journal of Biogeography**. v.31, p.1093–1106. 2004.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil**. MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2006.

FILICIOTTO, F., & BUSCAINO, G. The Role of Sound in the Aquatic Environment. *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds*, 61. 2017.

GABEL, F.; LORENZ, S.; STOLL, S. Effects of ship-induced waves on aquatic ecosystems. **Science of the Total Environment**, v. 601, p. 926-939, 2017.

GOSPIĆ, N. R.; PICCIULIN, M. Changes in whistle structure of resident bottlenose dolphins in relation to underwater noise and boat traffic. **Marine pollution bulletin**, v. 105, n. 1, p. 193-198, 2016.

HALFWERK, W. & SLABBEKOORN, H. Pollution going multimodal: the complex impact of the human-altered sensory environment on animal perception and performance. **Biology letters**, v. 11, n. 4, p. 20141051, 2015.

HAMB, A. Defense of a multi functional territory against interspecific intruders by the damselfish *Stegastes nigricans* (Pisces, Pomacentridae). **Escholarship**. 2011.

HATA, H. & CECCARELLI, D. M. Farming Behaviour of Territorial Damselfishes. In B. Frédérich & E. Parmentier (Eds.), *Biology of damselfishes* (pp. 404–448). **Boca Raton: CRC press**. 2016.

HAVILAND-HOWELL, G. et al. Recreational boating traffic: a chronic source of anthropogenic noise in the Wilmington, North Carolina Intracoastal Waterway. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 1, p. 151-160, 2007.

HOLLES, S. et al. Boat noise disrupts orientation behavior in a coral reef fish. **Marine Ecology Progress Series**. v.485, p.295–300, 2013.

HOLT, D. E. & JOHNSTON C. E. Traffic noise masks acoustic signals of freshwater stream fish. **Biological Conservation**. v.187, p.27–33, 2015.

HOLT, D. E. & JOHNSTON C. E. Evidence of the Lombard effect in fishes. **Behavioral Ecology**. v.25, p.819-826, 2014.

ICMBIO. Plano de manejo da APA Costa dos Corais. **Tamandaré-PE**. 74p. 2012.

ILARRI, M. D. L. et al. Effects of tourist visitation and supplementary feeding on fish assemblage composition on a tropical reef in the Southwestern Atlantic. **Neotropical Ichthyology**, v. 6, n. 4, p. 651-656, 2008.

ITZKOWITZ, M.; LUDLOW, A.; HALEY, M. Territorial boundaries of the male beaugregory damselfish. **Journal of Fish Biology**, v. 56, n. 5, p. 1138-1144, 2000.

JONG, Karen et al. Noise can affect acoustic communication and subsequent spawning success in fish. **Environmental Pollution**, 2017.

KHAN, N., WARITH, M. A., & LUK, G. A comparison of acute toxicity of biodiesel, biodiesel blends, and diesel on aquatic organisms. **Journal of the Air & Waste Management Association**. 57(3), 286-296. 2007.

LOBEL, P. S.; KAATZ, I. M.; RICE, A. N. Acoustical behavior of coral reef fishes. **Reproduction and sexuality in marine fishes: patterns and processes**, p. 307-386, 2010.

LOBEL, L. K.; LOBEL, P. S. Junkyard damselfishes: Spawning behavior and nest site selection. 2013.

LUCAS, B. J.; SMITH, J. R. Alterations in human visitation patterns and behaviors in southern California rocky intertidal ecosystems over two-decades following increased management efforts. **Ocean & Coastal Management**, v. 121, p. 128-140, 2016.

MAGNHAGEN, Carin; JOHANSSON, Kajsa; SIGRAY, Peter. Effects of motorboat noise on foraging behaviour in Eurasian perch and roach: a field experiment. **Marine Ecology Progress Series**, v. 564, p. 115-125, 2017.

MANN, D. A. & LOBEL, P. S. Acoustic behavior of the damselfish *Dascyllus albisella*: behavioral and geographic variation. **Environmental Biology of Fishes**. v.51, p.421-428. 1998.

MANNA, G. et al. Behavioral response of brown meagre (*Sciaena umbra*) to boat noise. *Marine pollution bulletin*, v. 110, n. 1, p. 324-334, 2016.

MARTIN, C A.; PROULX, R. Habitat geometry, a step toward general bird community assembly rules in mature forests. **Forest Ecology and Management**, v. 361, p. 163-169, 2016.

MEDEIROS, P. R.; SOUZA, A. T.; ILARRI, M. I. Habitat use and behavioural ecology of the juveniles of two sympatric damselfishes (Actinopterygii: Pomacentridae) in the south-western Atlantic Ocean. **Journal of Fish Biology**. v.77, p.1599–1615. 2010.

MENEGATTI, J. V.; VESCOVI, D. L.; FLOETER, S. R. Interações agonísticas e forrageamento do peixe-donzela, *Stegastes fuscus* (Perciformes: Pomacentridae). **Natureza Online**. v.1, p.45-50. 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conduta consciente em ambientes recifais. Brasília, 2011.

- MORGAN, I. E. & KRAMER, D. L. The social organization of adult blue tangs, *Acanthurus coeruleus*, on a fringing reef, Barbados, West Indies. **Environmental Biology of Fishes**. v.71, p.261–273. 2004.
- MCLAUGHLIN, K. E. & KUNC, H. P. Changes in the acoustic environment alter the foraging and sheltering behaviour of the cichlid *Amititlania nigrofasciata*. Behavioural processes, v. 116, p. 75-79, 2015.
- MYRBERG, A. A. J. Ethology of the bicolor damselfish *Eupomacentrus partitus* (Pisces: Pomacentridae): a comparative analysis of laboratory and field behaviour. **Animal Behaviour**. Monograf. 5, 197–283. 1972.
- MYRBERG, A. A. & SPIRES, J. Y. Hearing in damselfishes: an analysis of signal detection among closely related species. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, v. 140, n. 2, p. 135-144, 1980.
- NEDELEC, Sophie L. et al. Motorboat noise disrupts co-operative interspecific interactions. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 6987, 2017.
- NICHOLS, T. A.; ANDERSON, T. W.; ŠIROVIĆ, A. Intermittent noise induces physiological stress in a coastal marine fish. **PloS one**, v. 10, n. 9, p. e0139157, 2015.
- NOLL, A. M. Cepstrum pitch detection. **Journal of the Acoustical Society of America**. 41, 293-309. 1967.
- ODEH, M. et al. Evaluation of the effects of turbulence on the behavior of migratory fish. **Final Report to the Bonneville Power Administration, Contract**, v. 22, 2002.
- OLIVEIRA, T.P.R. et al. Sounds produced by the longsnout seahorse: a study of their structure and functions. **Journal of zoology**. p.114–121. 2014.
- OLIVIER, D. et al. A morphological novelty for feeding and sound production in the yellowtail clownfish. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, v. 323, n. 4, p. 227-238, 2015.
- ORAMS, M. B. Feeding wildlife as a tourism attraction: a review of issues and impacts. **Tourism management**, v. 23, n. 3, p. 281-293, 2002.

OSÓRIO, R.; ROSA, I. L.; CABRAL, H. Territorial defence by the Brazilian damsel *Stegastes fuscus* (Teleostei: Pomacentridae). **Journal of Fish Biology**. v.69, p.233-242. 2006.

PARMENTIER, E., et al. Sound production in four damselfish (*Dascyllus*) species: Phyletic relationships? **Biol. J. Linn. Soc.** 97, 928– 940. 2009.

PARMENTIER, E., et al. Sound production in two species of damselfishes (Pomacentridae): *Plectroglyphidodon lacrymatus* and *Dascyllus aruanus*. **Journal of Fish Biology**. 69, 491–503. 2006.

PARMENTIER, E., et al. Diversity and complexity in the acoustic behaviour of *Dacyllus flavicaudus* (Pomacentridae). **Mar. Biol.** 157, 2317–2327. 2010.

PARMENTIER, E.; LECCHINI, D.; MANN, D. A. Sound production in damselfishes. In *Biology of damselfishes*: 204– 228. Frederich, B. & Parmentier, E. (Eds). Boca Raton, Florida: **CRC Press, Taylor & Francis**. 2016.

POPPER, Arthur N. et al. Anthropogenic sound: effects on the behavior and physiology of fishes. **Marine Technology Society Journal**, v. 37, n. 4, p. 35-40, 2003.

PICCIULIN, M. et al. Brown meagre vocalization rate increases during repetitive boat noise exposures: A possible case of vocal compensation. **Journal Acoustic Society American**. v.132, 2012.

PHILLIPS, Wayne N. Tourism threats to coral reef resilience at Koh Sak, Pattaya bay. **Environment and Natural Resources Journal**, v. 13, n. 1, p. 47-60, 2015.

ROGERS, P. H.; COX, M. Underwater sound as a biological stimulus. In: *Sensory biology of aquatic animals*. **Springer, New York, NY**, p. 131-149. 1988.

SEBASTIANUTTO, L. et al. How boat noise affects an ecologically crucial behavior: the case of territoriality in *Gobius cruentatus* (Gobiidae). **Environmental Biology Fish**. v.92, p.207–215, 2011.

SPIGA, I.; ALDRED, N.; CALDWELL, G. S. Anthropogenic noise compromises the anti-predator behaviour of the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (L.). **Marine pollution bulletin**, v. 122, n. 1-2, p. 297-305, 2017.

STANLEY, J. A.; VAN PARIJS, S. M.; HATCH, L. T. Underwater sound from vessel traffic reduces the effective communication range in Atlantic cod and haddock. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 14633, 2017.

SCHOLZ, K. & LADICH, F. Sound production, hearing and possible interception under ambient noise conditions in the topmouth minnow *Pseudorasbora parva*. **Journal Fish Biology**. v.69, p.892–906. 2006.

SPEED, C. W. et al. Scarring patterns and relative mortality rates of Indian Ocean whale sharks. **Journal of Fish Biology**, 72(6), 1488-1503. 2008.

SU, Yu-Wen; LIN, Hui-Lin. Analysis of international tourist arrivals worldwide: The role of world heritage sites. **Tourism Management**, v. 40, p. 46-58, 2014.

SCHERRER B. Biostatistique. Québec: **GaëtanMorin Press**, 850p. 1984.

STEINER, A. Q. et al. Zonação de recifes emersos da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, Nordeste do Brasil. **Iheringia, Série Zoologia, Porto Alegre**, v. 105, n. 2, p. 184-192. 2015.

TRAVE, C. et al. Are we killing them with kindness? Evaluation of sustainable marine wildlife tourism. **Biological Conservation**, v. 209, p. 211-222, 2017.

VASCONCELOS, R O.; AMORIM, M. C P.; LADICH, F. Effects of ship noise on the detectability of communication signals in the Lusitanian toadfish. **Journal of Experimental Biology**, v. 210, n. 12, p. 2104-2112, 2007.

VAZZANA, M. et al. Noise elicits hematological stress parameters in Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*, perciformes): A mesocosm study. **Fish & shellfish immunology**, v. 62, p. 147-152, 2017.

VENTURINI, S. et al. Recreational boating in Ligurian Marine Protected Areas (Italy): A quantitative evaluation for a sustainable management. **Environmental Management**. v.57, p.163-165, 2015.

VOELLMY, Irene K. et al. Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms. **Animal Behaviour**, v. 89, p. 191-198, 2014.

WHITFIELD, A.K.; BECKER, A. Impacts of recreational motorboats on fishes: A review. **Marine Pollution Bulletin**. v.83, p.24-31, 2014.

WEIMANN, S. R. et al. Territorial vocalization in sympatric damselfish: acoustic characteristics and intruder discrimination. **Bioacoustics**, p. 1-16. 2017.