



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS V JOÃO PESSOA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS SOCIAIS E APLICADAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

GLACY KELLY ALMEIDA DA SILVA

**PRODUÇÃO DE SOM POR *AMPHICHTHYS CRYPTOCENTRUS* (TELEOSTEI:
BATRACHOIDIDAE) EM UM ESTUÁRIO HIPERSALINO**

**JOÃO PESSOA
2019**

GLACY KELLY ALMEIDA DA SILVA

**PRODUÇÃO DE SOM POR *AMPHICHTHYS CRYPTOCENTRUS* (TELEOSTEI:
BATRACHOIDIDAE) EM UM ESTUÁRIO HIPERSALINO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Campus V da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito final à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Comportamento Animal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tacyana Pereira Ribeiro de Oliveira

**JOÃO PESSOA
2019**

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.

S586p Silva, Glacy Kelly Almeida da.
Produção de som por AMPHICHTHYS CRYPTOCENTRUS
(TELEOSTEI: BATRACHOIDIDAE) em um estuário
hipersalino. [manuscrito] / Glacy Kelly Almeida da Silva. - 2019.
52 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas , 2019.
"Orientação : Prof. Dr. Tacyana Pereira Ribeiro de Oliveira
, Coordenação do Curso de Ciências Biológicas - CCBSA."
1. Comportamento acústico. 2. Peixes-sapo. 3. Bioacústica
de peixes. I. Título

21. ed. CDD 577.6

GLACY KELLY ALMEIDA DA SILVA

PRODUÇÃO DE SOM POR AMPHICHTHYS CRYPTOCENTRUS (TELEOSTEI:
BATRACHOIDIDAE) EM UM ESTUÁRIO HIPERSALINO

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) apresentada ao Curso de Ciências Biológicas do Campus V da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito final à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

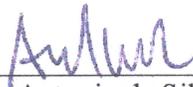
Área de concentração: Comportamento Animal.

Aprovada em: 02/07/2019.

BANCA EXAMINADORA



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



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



Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha família e amigos, pelo apoio emocional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus pela oportunidade de estar concluindo mais uma etapa em minha vida, sem o Senhor nada disso teria sido possível.

Agradeço aos meus familiares, pelo apoio e suporte para que eu conseguisse chegar a concluir este curso, principalmente a minha mãe, Maria Sandra por me ajudar em tudo quanto precisei durante o decorrer deste curso. Agradeço as minhas irmãs, Kayane Kelly e Kattya Kelly pelos estímulos e incentivos para que eu pudesse chegar até aqui, e ao meu pai Claudio Barbosa por me incentivar a nunca desistir dos meus sonhos.

Meus sinceros agradecimentos, à minha orientadora Tacyana Pereira Ribeiro de Oliveira, por me apresentar essa área fantástica que é a bioacústica e por toda paciência que a senhora teve comigo, obrigada por tudo. Quero agradecer à senhora também pelos momentos de descontração e lazer, são momentos que eu vou guardar para sempre na minha memória, principalmente as idas aos campos alheios dos meus colegas de laboratório. Foi devido à oportunidade que a senhora me deu de participar do LAPEC UEPB que eu pude conhecer lugares tão incríveis que eu jamais imaginei conhecer, e eu sou muitíssimo grata à senhora por isso e por todos os ensinamentos que carregarei comigo.

Agradeço aos professores deste curso que foram como pais para mim, dando conselhos e incentivando a nós alunos a nunca desistir e persistir por aquilo que almejamos, a vocês meus singelos agradecimentos.

Aos amigos que fiz durante a minha passagem pelo LAPEC, aos que já passaram por lá, Camis, e aos que ainda continuam trabalhando para concluir o curso, Jess, Gabs, Amandinha e Rob, todos vocês foram um alicerce muito importante, e dividir os meus medos, angústias e alegrias de estar finalmente concluindo este trabalho é muito gratificante.

Aos meus amigos de sala, Samara, Jicaury e Anderson, que foram como irmãos durante todo o decorrer do curso. Vocês foram essências nesse processo e ter dividido tantos momentos com vocês me fazem entender que a caminhada de tudo que fizemos na vida terá que ser traçada ao lado de alguém que possa nos apoiar nos momentos mais difíceis, eu amo vocês. À Rayssa, que apesar de não fazer parte da mesma turma, sempre esteve ao meu lado e mais que incluída nesse círculo de amizades.

Agradeço ao Conselho Gestor da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão (RDSEPT) pela autorização para a realização desta pesquisa no RDS Ponta do Rio Tubarão e ao SISBIO por também autorizar que este trabalho fosse realizado.

Agradeço também, a Marcel E. T. C. da Silva, por realizar as gravações que foram utilizadas para a construção deste trabalho.

Aos professores Antonio S. Souto e Cleber I. Salimon, por terem aceitado participar da banca, muito obrigada!

Ao CNPq, pelo financiamento desse trabalho, através da bolsa de Iniciação Científica, e à Universidade Estadual da Paraíba, pelo apoio logístico e pela estrutura disponível para a elaboração deste trabalho.

“O mar, o mar, sempre recomeçado. “

Paul Valéry

PRODUÇÃO DE SOM POR AMPHICHTHYS CRYPTOCENTRUS (TELEOSTEI: BATRACHOIDIDAE) EM UM ESTUÁRIO HIPERSALINO

RESUMO

Dentre as diversas formas de comunicação existentes, a comunicação acústica é uma das mais importantes para os animais aquáticos, dentre estes, os peixes, que a utilizam para obter informações sobre o ambiente, como também em interações agonísticas e reprodutivas. A família Batrachoididae é considerada um importante modelo para estudos de bioacústica em peixes, sendo um dos grupos mais estudados quanto à produção de som. Este trabalho descreve o repertório acústico de *Amphichthys cryptocentrus* em um estuário hipersalino. As amostragens ocorreram no estuário do rio Tubarão, através de gravações de exemplares em ninhos artificiais e durante situação de estresse por manuseio. A espécie apresentou um repertório acústico altamente diversificado. Nos ninhos, foram registrados 14 tipos de som, sendo classificados como simples ou mistos. Os sons simples eram compostos por sons pulsados (batidas únicas, batidas curtas, batidas longas, *grunts* únicos, *grunts* simples, sequência curta de *grunts* e sequência longa de *grunts*) ou tonais (*croaks* únicos, *croaks*, *growl* e sirene curta). Os sons mistos eram compostos por sons pulsados e tonais numa mesma vocalização (*grunt/croak*, *grunt/growl*, sirene com batidas). Nas gravações de estresse, apenas um tipo de som foi registrado (*net grunts*), composto por sequências de pulsos duplos. *Amphichthys cryptocentrus* apresentou maior taxa de vocalização no período diurno, sendo as batidas curtas os sons mais frequentemente registrados neste período; no período noturno, os sons mais comuns foram as sirenes com batidas.

Palavras-chave: comportamento acústico; peixes-sapo; bioacústica de peixes.

ABSTRACT

Acoustic communication is one of the most important forms of communication in aquatic animals. The Batrachoididae family (toadfishes) is considered a model for fish bioacoustics studies, being one of the most studied groups with regard to sound production. This study describes the acoustic repertoire of the toadfish *Amphichthys cryptocentrus* in a hypersaline estuary. Samplings took place in the Tubarão River estuary, through recordings of specimens in artificial nests and in a stress situation (i.e. handling). The species presented a highly diversified acoustic repertoire, producing 15 types of sounds. In the nests, 14 simple and mixed calls were recorded. Simple calls consisted of pulsed sounds (single beats, short beats, long beats, single *grunts*, simple *grunts*, short *grunts* sequence and long *grunts* sequence) or tonal sounds (single croaks, croaks, growl and short siren). The mixed calls consisted of a combination of pulsed and tonal sounds in the same vocalization (*grunt / croak*, *grunt / growl*, boatwhistle / beats). During the stress situation, only one type sound (net grunts) was recorded, characterized as trains of double pulsed sounds. *Amphichthys cryptocentrus* presented a higher call rate in the daytime period, short beats being the most frequently recorded sounds during this period; at night, the most common sound was boatwhistle / beats.

Keywords: acoustic behavior; toadfish; fish bioacoustics.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	Produção de sons por peixes	10
1.2.	Família Batrachoididae	12
1.3.	Produção de som na família Batrachoididae	13
1.4.	<i>Amphichthys cryptocentrus</i>	16
2.	OBJETIVOS	18
2.1.	Objetivo Geral	18
2.2.	Objetivos específicos	18
3.	METODOLOGIA	19
3.1.	Área de estudo	19
3.2.	Registros dos sons produzidos por <i>A. cryptocentrus</i>	20
3.2.1.	Gravações em ninhos	20
3.2.2.	Gravações de estresse por manuseio.....	21
3.3.	Análise dos sons	22
3.4.	Análise dos dados	23
4.	RESULTADOS	24
4.1.	Classificação e descrição dos sons	24
	Sons gravados nos ninhos.....	24
	Sons de estresse por manuseio.....	42
4.2.	Taxa de vocalização e diferenças na produção de som entre os períodos do dia e da noite.....	42
5.	DISCUSSÃO	43
6.	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

1.1 Produção de sons por peixes

A comunicação é uma das características mais importantes de sobrevivência dos animais, uma vez que as interações sociais entre os indivíduos dependem de troca de informações (Brumm, 2013). Em espécies que apresentam reprodução sexuada, essa troca de informações é de fundamental importância para que estas possam se reproduzir (Brumm, 2013; Vieira, 2013), considerando-se tanto animais aquáticos quanto animais terrestres, os quais podem transmitir essas informações de várias formas.

Dentre os modos de comunicação de animais aquáticos, há a comunicação visual, importante na escolha e competição por parceiros (Sluijs et al., 2011; Peters, 2013); a química, que exerce um grande papel na comunicação dos peixes, por meio da solubilidade e propagação de sinais químicos na água (Tavolga, 1971; Sluijs et al., 2011); a elétrica, que é a mais rara (Sluijs et al., 2011), usada na detecção de predadores e reconhecimento intra ou interespecífico (Sluijs et al., 2011; Benda et al. 2013); a comunicação tátil, que está relacionada aos receptores táteis que detectam vibrações e pressões na água (e.g. linha lateral) (Tavolga, 1971); e a comunicação acústica, que é utilizada, principalmente, em contextos reprodutivos e agonísticos (Tavolga, 1971; Sluijs et al., 2011).

Diante disso, a comunicação acústica se destaca como uma das mais importantes para os animais aquáticos, sendo considerados importantes modelos no estudo da evolução da comunicação vocal em vertebrados (Amorim et al., 2015). Além disso, diversos ambientes aquáticos apresentam água turva, o que limita a interação visual, e fazendo-se ainda mais necessária a comunicação acústica (Hawkins & Myrberg, 1983). Outro aspecto importante do som para os organismos aquáticos está na forma de transmissão, sendo mais rápida através da água do que pelo ar, podendo ser propagado por grandes distâncias (Fine & Parmentier, 2015).

Dentre os organismos aquáticos que utilizam a comunicação acústica, os peixes usam o som para obter informações sobre o ambiente, sobre presas, e predadores, em interações agonísticas (e.g. agressão, defesa territorial), interações reprodutivas (e.g. corte e desova) e também para se comunicar inter e intraespecificamente (Hawkins & Myrberg, 1983; Zelik et al, 1999; Ladich, 2004; Amorim et al., 2015; Fine & Parmentier, 2015). Por isso, a importância de entender como ocorre a comunicação acústica associada aos contextos comportamentais,

pois quando esta comunicação é afetada, pode causar alterações comportamentais e até populacionais (Laiolo, 2010; Hawkins & Popper, 2014).

Apesar de não apresentarem um aparato vocal semelhante ao dos vertebrados terrestres (e.g. laringe), os peixes possuem uma diversidade única de mecanismos de produção de som dentre os vertebrados (Ladich & Fine, 2006; Fine & Parmentier, 2015). Essa alta diversidade de mecanismos que surgiu de forma independente em peixes filogeneticamente mais distantes, mostra que a produção de som é uma parte importante da comunicação e que é bastante significativa para a o sucesso reprodutivo, a aptidão e a especiação (Parmentier et al., 2017).

Os principais mecanismos de produção de som dos peixes são a estridulação e a contração de músculos associados à bexiga natatória. O primeiro consiste na produção de som por meio da fricção de elementos ósseos (e.g. raios da nadadeira, dentes faríngeos, aparelho mandibular, ossos do crânio, vértebras e dentes) (Tavolga, 1971; Ladich & Bass, 2003; Kasumyan, 2008). Os sons produzidos por este mecanismo tendem a apresentar uma sequência de pulsos irregulares e frequências mais altas (Tavolga, 1971; Parmentier & Fine, 2016). No caso da contração de músculos altamente especializados através da bexiga natatória (Ladich & Bass, 2003; Popper et al., 2003; Zelick et al., 1999; Fine & Parmentier, 2015), os sons produzidos são caracterizados por serem sons pulsados ou tonais (de acordo com o padrão de contração da musculatura) de frequência mais baixa (Zelick et al., 1999). Os músculos especializados podem ser de dois tipos: os intrínsecos, que apresentam a musculatura integrada à bexiga natatória (Zelick et al., 1999; Ladich & Bass, 2003), podendo ser encontrados em algumas famílias, como a dos peixes-sapo (Batrachoididae) e das cabrinhas (Triglidae) (Tavolga, 1971; Hawkins & Myrberg, 1983; Ladich & Bass, 2003; Fine & Parmentier, 2015); e os extrínsecos, que se originam em estruturas ósseas ou na musculatura da parede corporal e se inserem direta ou indiretamente na bexiga natatória (Zelick et al., 1999; Ladich & Bass, 2003), podendo ser encontrados, por exemplo, em corvinas (Sciaenidae) e bagres (Pimelodidae) (Ladich & Bass, 2003; Fine & Parmentier, 2015).

A produção de som em peixes ocorre em vários contextos comportamentais, podendo variar muito de uma espécie para a outra, ocorrendo de forma mais acentuada na época de reprodução, principalmente em espécies que apresentam agregações reprodutivas (Amorim et al., 2015). Por exemplo, as sirenes dos peixes-sapo (Batrachoididae), as quais estão presentes durante as vocalizações no contexto reprodutivo, assim como os grunhidos, que são emitidos em situações de agressão e defesa territorial (Zelick et al., 1999). Nos peixes-elefante (Mormyridae), os “hoots” e “pops” estão associados aos contextos agonísticos, em que os “hoots” consistem em sons curtos com frequência abaixo de 1kHz e os “pops”, uma série de

pulsos com frequência entre 2 a 3 kHz (Amorim, 2006). Em peixes donzela (Pomacentridae), os sons são de frequência mais alta, pulsados, que no contexto agonístico podem ser pulsos únicos e, no contexto reprodutivo, pulsos múltiplos (Zelick et al., 1999). Nos ciclídeos (Cichlidae), “roncos” (*growls*) estão associados aos contextos reprodutivos e agonísticos, sendo compostos por uma série de pulsos de baixa frequência, os sons de “mastigação” são de natureza estridulatória e apresentam altas frequências, podendo ser ouvidos durante a alimentação, e os sons de “batidas” (*thump-like*) são resultantes de movimentos do corpo (Amorim, 2006).

Diante destes exemplos, podemos destacar os peixes-sapo, cujas espécies pertencem à família Batrachoididae e são importantes modelos de estudo no âmbito da comunicação acústica.

1.2 Família Batrachoididae

A família Batrachoididae encontra-se distribuída no mundo todo, ocorrendo em águas tropicais e temperadas, podendo ser encontrada em profundidades até cerca de 350 m (Carnevale & Collette, 2014). Constituem peixes principalmente marinhos, mas várias espécies habitam rios, apresentando uma migração regular entre áreas costeiras e profundas (Greenfield et al., 2008; Carnevale & Collette, 2014).

Esta família é composta por 23 gêneros e 83 espécies divididas em quatro subfamílias; Batrachoidinae; Porichthyinae, Thalassophryninae e Halophryninae (Greenfield et al., 2008; Carnevale & Collette, 2014, Nelson, 1994). São predadores de emboscada e se alimentam principalmente de moluscos, crustáceos e peixes (Granado & Gonzáles, 1988; Greenfield et al., 2008). Apresentam tamanho de pequeno a médio porte (até 57 cm) e são facilmente reconhecidos pela forma característica do corpo, que inclui uma cabeça achatada e larga com olhos dorsais, uma boca grande e um corpo lanceolado (parte anterior mais larga com estreitamento até a parte posterior do corpo) com achatamento dorso-ventral (Greenfield et al., 2008).

Os machos apresentam cuidado parental, sendo estes a ocuparem ninhos na temporada reprodutiva, cuidando dos ovos e dos indivíduos jovens até deixarem o ninho (Gray & Winn 1961; Matos, 1997; Greenfield et al., 2008). Além disso, são os machos que geralmente produzem sons para atrair as fêmeas transmitindo informações sobre a identidade sexual, motivação sexual e localização (Gray & Win 1996).

1.3 Produção de som na família Batrachoididae

Os batracoidídeos são considerados modelos para os estudos de comunicação acústica em vertebrados, uma vez que a atração do parceiro sexual e a defesa territorial nestes peixes dependem estreitamente de sinalização acústica (Amorim et al., 2015).

Dentro desta família, os peixes-sapo produzem sons associados a interações agonísticas e reprodutivas, sendo então na época de reprodução que produzem as sirenes (Matos, 1997; Amorim, 2006). Estes sons são tonais e de longa duração, produzidos apenas pelos machos com função de atração da parceira sexual para o acasalamento (Santos et al., 2000; Amorim, 2006; Amorim et al., 2015). Além disso, tanto os machos quanto as fêmeas produzem os grunhidos, que são sons pulsados de curta duração associados ao contexto agonístico (Matos, 1997; Amorim, 2006; Amorim et al., 2015).

Esses peixes apresentam um ciclo de atividade vocal, sendo considerados de forma geral noturnos (Fine & Thorson, 2008), porém esse ciclo pode variar de uma espécie para outra devido ao fotoperíodo que algumas espécies peixes apresentam (Matos, 1997). *Porichthys notatus*, por exemplo, apresenta uma alta taxa de vocalização durante o período da noite, pois os machos iniciam a sua vocalização ao anoitecer (Brantley & Bass, 1994).

Atualmente, a produção de som dos peixes-sapo foi descrita para as seguintes espécies: *Opsanus tau*, *Opsanus beta*, *Opsanus phobetron*, *Halobatrachus didactylus*, *Porichthys notatus*, *Batrachomoeus trispinosus*, *Sanopus astrifer*, *Batrachoides Gilberti* e *Amphichthys cryptocentrus* (Tabela 1).

Tabela 1. Produção de som por espécies da família Batrachoididae.

Espécie	Tipos de som	Contexto	Características do som	Referência
<i>Amphichthys cryptocentrus</i>	Grunhidos	Agonístico	Sons pulsados de curta duração (50 ms) com frequência dominante média de 165 Hz. Estes sons podem preceder as sirenes.	Staaterman et al. (2018) Salas et al., (2018)
	Sirenes	Reprodutivo	Sons tonais, podendo conter até 15 harmônicos, com duração média de 1s, frequência fundamental de 112 Hz e frequência dominante de 140Hz. Estes sons podem ser precedidos por até quatro grunhidos	
<i>Batrachoides Gilberti</i>	Sirenes	Reprodutivo	A vocalização apresenta de 1-5 sirenes com uma duração total de 1,33 s, cada sirene tem em média 331 ms, com frequência fundamental de 96 Hz e uma frequência dominante de 314 Hz	Mosharo & Lobel (2012)
<i>Batrachomoeus trispinosus</i>	Grunhidos	Agonístico	Sons de curta ou longa duração, ocorrem isoladamente ou em grupos de 2 a 5 grunhidos individuais, também podem ser em sequências de grunhidos (média 28 grunhidos por sequência) ou associados a outros sons	Rice & Bass (2009)
	Sirenes	Reprodutivo	Sons de longa duração (média de 1,15 s) com frequência fundamental média de 151Hz e frequência dominante média de 426 Hz, apresentando cerca de 10 harmônicos	
<i>Halobatrachus didactylus</i>	Grunhidos	Agonístico	Curtos sons pulsados, em que cada grunhido tem em média 22,5 ms e frequência dominante média de 376 Hz; podem se apresentar em uma sequência de grunhidos	Matos, (1997); Santos et al., (2000); Amorim et al., (2006); Amorim & Vasconcelos, (2008)
	Coaxos	Agonístico	Sons tonais com duração média de 110,1 ms e frequência dominante de 647 Hz, apresentam estrutura de pulso semelhante aos grunhidos.	
	Coaxos duplos	Agonístico	Tem uma duração total média de 203,8 ms e são sons compostos por dois coaxos que contêm a estrutura de pulso e duração similares, mas diferentes em seus valores de frequência dominante (1º parte do coaxo 733 Hz e 2º do coaxo 505 Hz). Pode haver modulação de frequência e de amplitude entre os dois coaxos.	
	Vocalizações mistas (grunhidos/coaxos)	Agonístico	Sons de grunhidos precedidos por um ou dois coaxos que possuem semelhanças em suas propriedades acústicas (duração do pulso, período do pulso e frequência dominante). Este som tem duração média de 652ms.	

Tabela 1. Continuação				
	Sirenes	Reprodutivo	Sons de baixa frequência com duração média de 767 ms, frequência fundamental média de 60 Hz e frequência dominante média de 182 Hz. Apresentam três estágios caracterizados por diferenças nos parâmetros acústicos de duração, período dos pulsos e frequência dominante. Estes sons podem ser ou não precedidos por grunhidos	
<i>Opsanus beta</i>	Grunhidos	Agonístico	Sons pulsados que podem preceder as sirenes e tem duração entre 50 a 70 ms com uma média de 55 ms	Tavolga, 1958; Amorim, 2006
	Sirenes	Reprodutivo	Sons com harmônicos, curtos, agudos e frequentemente duplos e precedidos por grunhidos. Tem em média uma duração de 370 ms e uma frequência fundamental média de 350 Hz	
<i>Opsanus phobetron</i>	Sirenes	Reprodutivo	Sons que possuem uma única sirene semelhante à de <i>O. tau</i> , porém mais longa (duração 1 s)	Amorim, 2006
<i>Opsanus tau</i>	Grunhidos	Agonístico	Sons de pulsos duplos que precedem as sirenes e tem entre 50 a 70 ms com uma frequência dominante variando entre 240 a 300 Hz	Tavolga, 1958
	Sirenes	Reprodutivo	Sons tonais precedidos por grunhidos com duração média de 650 ms e frequência dominante de 250 Hz.	
<i>Porichthys notatus</i>	Grunhidos	Agonístico	Sons de baixa amplitude podendo ser individuais ou em sequências (duração 50-200 ms), cada grunhido tem em média 48,64 ms.	Brantley & Bass, (1994); Bass & McKibben, (2003); McIver et al., (2014)
	Rosnados	Agonístico	Sons tonais com modulação de frequência e duração média de 2,76 s; podem apresentar sequências.	
	Zumbidos	Reprodutivo	Sons tonais com duração entre 370 ms, com vários harmônicos precedidos por grunhidos.	
<i>Sanopus astrifer</i>	Sirenes	Reprodutivo	Sons harmônicos que apresentam numa vocalização de 1-7 sirenes com duração total média de 1 s; duração das sirenes em média 242 ms. Frequência fundamental média de 109 Hz e a frequência dominante de 220 Hz.	Mosharo & Lobel, (2012)

O principal mecanismo de produção de som nos Batrachoididae consiste em dois músculos intrínsecos fixados à bexiga natatória, a qual é bilobada (Fine & Pennypacker, 1986). Esses músculos, por sua vez, são adaptados para rápidas contrações de curta duração, contendo nervos e vasos sanguíneos (Fine & Pennypacker, 1988). Os sons são produzidos por contrações dos músculos intrínsecos, apresentam taxas de baixa frequência (Fine & Pennypacker, 1988). Além disso, a bexiga natatória nos peixes-sapo apresenta um padrão de dimorfismo, sendo maior nos machos. Seu crescimento e dimensão estão relacionados ao tamanho da musculatura sônica (Fine & Pennypacker, 1986; Fine & Pennypacker, 1988).

Muitos fatores podem influenciar o comportamento acústico dos peixes-sapo, os quais podem estar relacionados com a idade e condição física (Vasconcelos et al., 2015), condições ambientais (e.g. estação do ano, fase lunar) (Rice & Bass, 2009), condições sociais (e.g. presença de fêmeas grávidas) (Remage-Healey & Bass, 2005) e a sobreposição de vocalizações (Thorson & Fine, 2002b).

1.4 Amphichthys cryptocentrus

Amphichthys cryptocentrus (Valenciennes, 1837) encontra-se inserida na subfamília Batrachoidinae. É considerada demersal e ocorre na costa Norte da América do Sul, do Panamá ao Brasil (Figura 1), vivendo em substratos rochosos e arenosos, abrigando-se em fendas ou locais (Collette, 2005). Pode medir no máximo 40 cm, e geralmente é encontrada em profundidades de 0 - 70 m, com ocorrência de espécimes a menos de 1 m de profundidade, alimenta-se principalmente de moluscos, crustáceos e alguns peixes (Cervigón et al., 1992; Collette, 2005).

Morfologicamente, *A. cryptocentrus* (Figura 1) apresenta a cabeça e a parte posterior do corpo achatados com a presença de barbelas na cabeça, e um tentáculo ramificado na região superior dos olhos, além de possuir uma coloração alaranjada, esbranquiçada e marrom (Collette, 2005).

No âmbito do comportamento acústico, foram descritos recentemente para a espécie dois tipos de sons (“*grunts*” e “*boops*”), relacionados ao contexto reprodutivo (Staaterman et al., 2018), em que numa vocalização típica os sons consistem entre 1 e 3 “*grunts*” precedendo de 1 a 3 “*boops*”. Salas et al. (2018) descrevem estes mesmos sons como “*boatwhistles*” compostos de 1 ou mais “*grunts*” precedendo-os, os quais são denominados por eles como “*pre-call grunts*”. Também relatam os *grunts* produzidos isoladamente, chamados por eles como “*isolated grunts*”.

Por pertencer a uma família considerada modelo para estudos de comunicação acústica, entender como esta espécie se comporta acusticamente ajuda na compreensão acerca de seu comportamento social em ambiente natural, como também contribui para os estudos sobre a produção de som da família Batrachoididae.

Figura 1. Espécime de *Amphichthys cryptocentrus* (A) e distribuição geográfica da espécie (B).



Fonte do Mapa: IUCN (2012).

Fonte da Foto: Dr. Kenneth E. Clifton, 2013.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este estudo objetivou descrever o repertório acústico da espécie *Amphichthys cryptocentrus* em um ambiente estuarino no Nordeste brasileiro.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e descrever os tipos de sons produzidos por *A. cryptocentrus* em ninhos artificiais no estuário, através da análise das características temporais e espectrais;
- Descrever os sons produzidos por *A. cryptocentrus* durante situação de estresse por manuseio;
- Analisar as taxas de vocalização nos períodos diurno e noturno.

3 METODOLOGIA

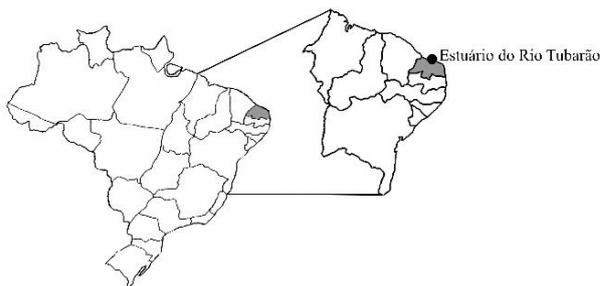
3.1 Área de estudo

As amostragens ocorreram no estuário do rio Tubarão (Figura 2; 5°05'00" S, 36°27'37" W) localizado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (RDSEPT), que abrange parte dos municípios de Macau e Guamaré, no litoral norte do Rio Grande do Norte. A RDSEPT apresenta 12.940,07 ha e abrange um complexo de ecossistemas único, composto por uma área marinha costeira, restinga, estuário, manguezais, campos de dunas móveis e fixas, falésias e áreas de Caatinga hiperxerófila. O clima da região é semiárido, com elevadas taxas de evaporação e baixo índice pluviométrico (média anual de 537,5 mm) (Dias, 2006).

O estuário do Rio Tubarão é considerado um ecossistema hipersalino devido às características climáticas que apresenta e ao baixo aporte de água doce que provém do lençol freático de dunas adjacentes e das chuvas (Dias, 2006).

A escolha da área se deu pelos registros de ocorrência de *A. cryptocentrus*, que pode ser observado frequentemente em áreas rasas, em bancos de algas e croas.

Figura 2. Área de estudo (em destaque), no estuário do Rio Tubarão, Rio Grande do Norte.



Fonte do mapa: Google Earth.

3.2 Registros dos sons produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*

De modo a descrever o repertório acústico da espécie *A. cryptocentrus*, gravações foram realizadas em ninhos artificiais e durante situação de estresse por manuseio. A coleta de dados ocorreu nos meses de abril, junho e julho de 2014, com a autorização de pesquisa científica na RDSEPT, expedida pelo IDEMA/RN.

Os equipamentos utilizados para a realização das gravações foram um hidrofone modelo *SQ26-08* (*Cetacean Research Technology*; frequência de captação de 0,030 a 30 kHz; sensibilidade de -193 dBV re 1V/ μ Pa) anexado a um gravador digital portátil Sony PCM-M10. As gravações foram realizadas em duas situações:

3.2.1 Gravações em ninhos

Foram utilizados 10 ninhos artificiais de dois tipos para as gravações: oito ninhos pequenos (50 x 13 x 14 cm) e dois ninhos grandes (52 x 28 x 24 cm). Ambos os tipos de ninhos apresentavam forma retangular com as partes inferiores fechadas e uma das aberturas com uma tela plástica. Apenas uma das aberturas não foi fechada para permitir a entrada do animal no ninho (Figura 3). Os ninhos foram dispostos próximos à margem do estuário, com distâncias de 2 m entre si, sinalizados com boias.

Os ninhos foram observados diariamente, a fim de verificar as possíveis colonizações, uma vez que batracoidídeos habitualmente ocupam abrigos (pedras e rochas) (Bass & Mckibben, 2003); esses peixes também ocupam espontaneamente ninhos artificiais (Gray & Winn, 1961; Carriço et al., 2014; Amorim et al., 2015).

Os registros da atividade acústica dos animais foram feitos com o hidrofone posicionado a uma distância de 10 cm da entrada dos ninhos, fixo a uma haste de ferro. Foram gravados 12 indivíduos machos, e estas gravações foram realizadas em maré baixa, compreendendo uma hora antes e uma hora depois do pico de maré nos períodos diurno e noturno. Os indivíduos apresentaram um comprimento total médio de 34,4 cm e o comprimento padrão médio de 30,4 cm. No início e no final do período de registro acústico, foram medidas variáveis abióticas, como temperatura (média de 28,6 C°), salinidade (média de 35), profundidade (média de 1 m) e transparência (2,7 m), por meio de um termômetro analógico, refratômetro e disco de Secchi.

3.2.2 Gravações de estresse por manuseio

As gravações de estresse durante o manuseio foram realizadas com os espécimes dos ninhos amostrados em junho e julho ($n = 9$), mais três doados por pescadores locais, compreendendo um total de 12 espécimes. Estas gravações ocorreram logo após a finalização das gravações nos ninhos.

Estas gravações se deram da seguinte forma: os peixes foram manuseados pelo pesquisador (simulando, assim, uma situação de captura por um possível predador), sendo “massageados” (segundo Santos et al., 2000). As gravações foram realizadas a uma profundidade de 10 cm, com os peixes distando 20 cm do hidrofone, sendo utilizados nas análises 30 segundos de vocalizações claras e identificáveis no sonograma.

Após as gravações, os espécimes foram mortos para posterior análise morfológica e identificação do sexo.

Figura 3. Ninho artificial confeccionado para o estudo.



Fonte da Foto: M.E.T.C. Silva.

3.3 Análise dos sons

Os sons produzidos por *A. cryptocentrus* (espécime 1, n = 76; espécime 2, n = 37; espécime 3, n = 33; espécime 4, n = 29; espécime 5, n = 29; espécime 6, n = 23; espécime 7, n = 16; espécime 8, n = 13; espécime 9, n = 24; espécime 10, n = 36; espécime 11, n = 22 e espécime 12, n = 49) foram filtrados com filtros passa-baixa (3kHz) e passa-alta (50Hz) para eliminar ruídos que afetassem as análises. A identificação individual de cada espécime gravado se deu através das observações visuais nas diferenças da forma da onda sonora e no envelope de amplitude relativa do som, que demonstrava a distância do espécime em relação ao hidrofone (Amorim et al., 2008). Devido à atenuação a baixas profundidades e grandes distâncias (Fine & Lenhardt, 1983; Alves et al., 2016), eventuais sons de indivíduos vizinhos são facilmente identificáveis, não sendo utilizados nas análises.

As análises temporais dos sons foram feitas por meio de oscilogramas, utilizando-se o programa *Cool Edit Pro* (*Syntrillium Software Corporation*), para determinar os seguintes parâmetros: duração total, duração do som, número de pulsos, duração dos pulsos e período do pulso. Por meio de sonogramas e espectros de energia (*cepstrum-smoother sound spectra*), através do programa *S_TOOLS-STx* (*Austrian Academy of Sciences - Acoustics Research Institute*, Vienna, Austria), foram determinadas a frequência fundamental (sons tonais) e a frequência dominante (todos os sons). Foram utilizados nas análises apenas os sons de estruturas claramente visíveis e estes foram identificados através da estrutura dos pulsos, da sonoridade e do sonograma.

A terminologia dos sons foi definida de acordo com o proposto por Santos et al. (2000), para descrever os sequências de *grunts* e *grunt/croak*; Thorson & Fine (2002a), para os *grunts* de marcação; Amorim et al. (2008), para as sequências longas de *grunts*; Maruska & Mesinger (2009), para descrever os *net grunts*; Rice & Bass (2009), para descrever os *grunts* simples, que são os grupos de 1 a 5 *grunts*; McIver et al. (2014), para descrever os *growls*; Salas et al. (2018) e Staatterman et al. (2018), para descrever as sirenes com batidas.

3.4 Análise dos dados

Os resultados obtidos estão apresentados como média \pm EP (erro padrão). Para cada indivíduo, foram calculadas as médias dos parâmetros dos sons produzidos, e estas foram utilizadas nas análises. Os dados foram submetidos a testes de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste de Levene), a fim de obter a definição dos testes (paramétricos ou não paramétricos) utilizados.

Nas sirenes, os sons que apresentavam fases distintas foram testados para verificar se estas fases realmente diferem entre si, sendo aplicado o teste Friedman ANOVA (*post hoc* de Dunn) para três parâmetros: duração do pulso, período do pulso e frequência dominante. Para aqueles sons que apresentaram subcategorias (e.g. *grunt/croak*), foram realizados testes de Kruskal-Wallis (*post hoc* Dunn) e *t* de Student (exclusivo para as sirenes curtas e sirenes com batidas) para verificar se diferiam em seus parâmetros acústicos.

Foi verificada, também, a taxa de vocalização em relação ao período do dia (diurno 05h01 a 17h59 e noturno 18h00 a 05h00), usando o teste U de Wilcoxon; também foi comparada a taxa de vocalização entre os tipos de som, utilizando o teste de Kruskal-Wallis (*post hoc* de Dunn).

Em todas as análises, foi utilizado o programa Statistica 10.0 para Windows, aplicando-se um nível de significância de $p \leq 0,05$ (bilateral).

4 RESULTADOS

4.1 Classificação e descrição dos sons

Sons gravados nos ninhos

Amphichthys cryptocentrus produziu 14 tipos de sons durante as gravações nos ninhos: batida única, batidas curtas, batidas longas, *grunts* únicos, *grunts* simples, sequências curtas de *grunts*, sequências longas de *grunts*, *croaks* únicos, *croaks*, *grunt/croak*, *growl*, *grunt/growl*, sirenes curtas e sirenes com batidas. Os sons mais frequentes foram as batidas curtas (46%), seguidos dos *grunts* simples (8%) e *growls* (8%) (Figura 4). A Tabela 2 apresenta as características acústicas dos sons, descritos em detalhes abaixo:

Batida única: tipo de som definido como um pulso individual curto (média 0,028 s) (Figura 5), apresentando frequência dominante média de até 446 Hz. Assemelha-se a batidas curtas e longas quanto à duração do pulso ($H = 0,493$; $p = 0,781$), período do pulso ($H = 0,000$; $p = 1,000$) e a frequência dominante ($H = 1,792$; $p = 0,408$). Correspondeu a 1% dos sons registrados.

Batidas curtas: sequências de batidas (Figura 5) com duração total média de 2 s, apresentando em média 5 pulsos (varia entre 3 e 10 pulsos) com frequência dominante média de 526 Hz. Correspondeu a 44% de todos os sons registrados. Este tipo de som tem estrutura de pulso semelhante às batidas únicas e às batidas longas, mas difere entre eles em duração total, que é menor que as batidas únicas e semelhante as batidas longas, enquanto número de pulsos é maior que batidas únicas e menor que as batidas longas ($H = 13,222$; $p = < 0,05$).

Batidas longas: sequência de batidas (Figura 5) com duração total média: 2,9 s, contêm em média 15 pulsos (varia entre 14 e 17 pulsos) com frequência dominante de 581 Hz. Compreenderam 2% dos sons registrados.

***Grunts* únicos:** sons individuais (Figura 6), que compuseram 3% dos sons registrados. Os *grunts* tiveram duração curta (média 0,040 s) e uma frequência dominante média de 511 Hz. São diferentes dos demais *grunts* em relação ao número de pulsos, que é menor ($H = 33,090$; $p = < 0,05$) e a duração total, que também é menor do que os outros tipos de *grunts* ($H = 26,918$; $p = < 0,05$).

Grunts simples: consistem em uma sequência curta de 2 a 5 *grunts* individuais (Figura 6), possuem característica pulsada e compreenderam cerca de 7% dos sons registrados, tendo em média 1s de duração total e frequência dominante média de 461 Hz. Diferem dos demais *grunts* em relação a número de pulsos, que é maior que os *grunts* únicos e menor que os demais *grunts* ($p = < 0,0001$) e na duração total, que se mostrou menor que os demais *grunts* e maior que os *grunts* únicos ($p = < 0,0001$).

Sequências curtas de grunts: sequências curtas de 6 a 11 *grunts* individuais (Figura 6), compreendendo 3% dos sons registrados. Possuem em média 3 s de duração total e frequência dominante média de 480 Hz. O número de pulsos foi menor em relação às sequências longas de *grunts* e maior para os demais *grunts* ($p = < 0,001$), e a duração total também foi maior que a dos demais *grunts* e menor que as sequências longas de *grunts* ($p = < 0,001$).

Sequências longas de grunts: sequências longas de *grunts* individuais contendo de 17 a 70 *grunts* (Figura 6). Possuem cerca de 5 s de duração total e apresentam frequência dominante média de 567 Hz. Estes *grunts* tiveram um número de pulsos e duração total maiores ($p = < 0,001$, em ambos os casos) que os demais tipos de *grunts*.

Croaks únicos: som individual tonal que não está inserido dentro de nenhuma sequência ou mesclado a outro som (Figura 7). Os *croaks* únicos compuseram 6% dos sons registrados. Possuem uma duração média de 0,06 s e uma frequência dominante média de 541 Hz. Difere dos demais *croaks*, sendo o número de pulsos menor em relação ao *croak* do som misto (*grunt/croak*), assim como na duração total, e duração do pulso maior ($p = < 0,05$, em todos os casos)

Croaks: som tonal composto por dois ou mais *croaks* individuais numa vocalização (Figura 7). Têm, em média, 1s de duração total e frequência dominante de 498 Hz. Corresponderam a 4% dos sons registrados. São semelhantes aos demais *croaks* quanto ao período dos pulsos ($H = 3,312$; $p = 0,190$), frequência fundamental ($H = 2,323$; $p = 0,310$) e frequência dominante ($H = 1,149$; $p = 0,562$), Em relação ao número de pulsos ($H = 9,955$; $p = 0,006$), duração total ($H = 11,000$; $p = 0,004$) e duração dos pulsos ($H = 6,959$; $p = 0,030$), assemelham-se aos *croaks* do som misto *grunt/croak*.

Grunts/croak: som misto composto por sequência *grunts* contendo um ou mais *croaks* tonais (Figura 7). Os *grunts* deste tipo de som são diferentes dos demais *grunts* em número de pulsos ($H = 36,073$; $p = < 0,05$), duração total ($H = 27,481$; $p = < 0,05$) e a duração dos pulsos ($H = 10,932$; $p = < 0,05$) e tiveram duração total média de 3,3 s e frequência dominante de 486 Hz. Os *croaks* deste tipo de som tiveram duração total média de 0,18 s e frequência dominante de 444Hz. O som misto teve, em média, 5 s de duração total e compôs 4% dos sons registrados.

Growl: som tonal com um ou mais *growls* numa vocalização (Figura 8). Assemelha-se ao *growl* do som misto (*grunt/growl*) quanto ao número de pulsos ($H = 0,031$; $p = 0,859$), duração total ($H = 0,500$; $p = 0,479$), frequência fundamental ($H = 0,125$; $p = 0,723$) e frequência dominante ($H = 2,000$; $p = 0,157$). Este som tem, em média, 8 ms e frequência dominante de 440 Hz. Corresponderam a 7% dos sons registrados.

Grunt/growl: Som misto composto por uma sequência de *grunts* (componente pulsado) seguida de *growl* (componente tonal) (Figura 8). Os *grunts* deste tipo de som diferem das variações de *grunts* já mencionadas em relação ao número de pulsos ($H = 38,662$; $p = < 0,05$), duração total ($H = 28,962$; $p = < 0,05$) e a duração do pulso ($H = 10,866$; $p = < 0,05$). Já o *growl* deste som misto é mais curto do que os *growls* isolados ($H = 4,500$; $p = < 0,05$), apresentando período do pulso menor ($H = 4,500$; $p = < 0,05$). Este som teve, em média, 3 s de duração total e compreendeu 2% dos sons registrados nas análises.

Sirene com batidas: som misto longo (média 4,3 s) com componentes pulsados (batidas) precedendo um componente tonal (sirene) (figura 5), compreendendo 6% dos sons produzidos por *A. cryptocentrus*. As batidas (de 1 a 6) apresentaram características semelhantes às das batidas previamente descritas. As sirenes constituem sons contínuos mais longos (média 1,2 s) e tonais, apresentando 8 a 22 harmônicos, com frequência dominante média de 422 Hz. Foram identificadas três fases distintas nas sirenes (F1, F2 e F3; Figura 9), sendo a terceira o segmento mais longo da sirene, com duração média de 1,1 s. Os pulsos das F1 e F2 apresentaram-se mais irregulares, enquanto os pulsos da F3 eram mais regulares (Figura 9). A fase mais regular (F3) foi registrada para todos os indivíduos analisados, enquanto as outras fases (F1 e F2) foram registradas para fase 1 (n=2) e fase 2 (n=3) indivíduos.

Numa análise mais específica das sirenes curtas e das sirenes de som misto, foram registrados *grunts* (“tags”) (n=2) que se sobrepunham às sirenes (Figura 10). Estes *grunts*

apresentavam amplitude maior que a das sirenes, corresponderam a 4% dos sons registrados e consistiam de *grunts* únicos, com duração média de 47 ms e frequência dominante de 450 Hz.

Sirenes curtas: sirene individual curta (média 631 ms) e tonal, apresentando apenas a fase F3 (Figura 9), com cerca de 6 a 10 harmônicos, com frequência dominante média de 496 Hz e compreendendo 4% dos sons registrados. Este tipo de som diferiu da sirene com batidas apresentando duração menor ($t = 5,191$; $df = 10$; $p = < 0,05$), número de pulsos menor ($t = 7,057$; $df = 10$; $p = < 0,05$), duração do pulso maior ($t = -6,15827$; $df = 10$; $p = < 0,05$), período do pulso maior ($t = -4,929$; $df = 10$; $p = < 0,05$) e frequência fundamental maior ($t = -5,647$; $df = 10$) do que as sirenes com batidas. Entretanto, a frequência dominante foi semelhante entre os dois tipos de sirenes ($t = -1,130$; $df = 10$; $p = 0,284$).

Tabela 2. Características acústicas dos sons produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*.

Tipo de som	N	Número de pulsos	Duração total (s)	Duração dos pulsos (ms)	Período dos pulsos (ms)	Frequência fundamental (Hz)	Frequência dominante (Hz)	Nº de harmônicos
Batida única	2	1	0,028±0,006 (0,022-0,035)	28,5±6,5 (22,0-35,00)	-	-	446±27,5 (419-474)	-
Batida curta	12	5±0,5 (3-10)	2,0±0,4 (1-6)	26,8±1,6 (18-37)	465,5±101,7 (218-1453)	-	526,8±28,9 (319-689)	-
Batida longa	5	15±0,6 (14-17)	2,9±0,4 (2-4)	24,8±2,7 (17-30)	221,0±33,6 (160-341)	-	581,6±98,5 (290-841)	-
Grunt único	8	1	0,040±0,003 (0,033-0,059)	40,0±3,1 (32,5-59,0)	-	-	511±68,9 (341-801)	-
Grunts simples	11	3,0±0,1 (2,5-4)	1,083±0,244 (0,038-2,711)	31,8±1,2 (24,6-37,5)	722,4±158,2 (79,3-1961,9)	-	461±29,9 (309-657)	-
Sequências curtas de grunts	9	8,6±0,7 (6-11)	3,6±1,3 (1-12)	32,0±2,3 (25-46)	521,5±193,3 (152-1738)	-	480±27,8 (395-668)	-
Sequências longas de grunts	8	36,0±7,3 (17-70)	5,9±1,3 (2-12)	33,5±1,6 (30-42)	230,6±53,4 (68-562)	-	567±32,9 (434-718)	-
Croaks únicos	7	8,4±0,6 (7-11)	0,06±0,05 (0,05-0,09)	7,3±0,5 (6-10)	6,2±0,3 (5-7)	305±29,5 (194-391)	541±45,7 (405-755)	-

Tabela 2. Continuação

<i>Croaks</i>	4	21,9±4,8 (14-36)	1,2±0,2 (1-2)	6,6±0,5 (6-8)	6,0±0,5 (5-7)	281±45,1 (191-400)	498±58,0 (391-608)	-
<i>Grunt/croak</i>	3	-	5,6±1,6 (3-8)	-	-	-	-	-
<i>Grunt</i>	3	20,1±5,2 (14-30)	3,3±2,5 (1-8)	42,6±3,4 (38-49)	169,19,7 (138-206)	-	486±83,9 (329-616)	-
<i>Croak</i>	3	26,0±6,8 (16-39)	0,18±0,02 (0,1-0,2)	5,5±0,1 (5,4-5,6)	5,3±0,1 (5,1-5,5)	237±55,9 (179-349)	444±88,8 (336-620)	-
<i>Growl</i>	9	42,2±6,8 (7-84)	0,8±0,1 (0,1-1,4)	10,2±0,6 (8-15)	9,9±0,6 (7-15)	224,2±18,1 (153-318)	440±19,1 (339-522)	-
<i>Grunt/growl</i>	6	-	3,2±1,1 (0,6-7,9)	-	-	-	-	-
<i>Grunt</i>	6	9,4±3,2 (2-24)	1,8±0,7 (0,1-4,4)	33,8±2,6 (25-42)	381,2±91,2 (179-741)	-	520±28,0 (424-599)	-
<i>Growl</i>	6	45,5±13,0 (10-94)	1,30±0,44 (0,05-2,73)	7,4±0,8 (5-11)	7,0±0,8 (5-10)	220,7±34,4 (117-372)	494±37,0 (350-616)	-

Tabela 2. Continuação

Sirenes com batidas	6	-	4,3±1,2 (2-10)	-	-	-	-	-
Batida	6	4±0,7 (1-6)	2,8±1,4 (1-9)	34,0±3,3 (25-43)	443,2±98,4 (109-699)	-	329,7±25,1 (252-399)	-
Sirene	6	147±9,6 (118-174)	1,2±0,1 (0,5-1,7)	9,4±0,2 (9-10)	9,4±0,2 (9-10)	123±19,4 (48-195)	423±47,8 (335-643)	15,9±2,1 (8-22)
<i>Fase 1</i>	2	8±0,6 (7-8)	0,1±0,020 (0,1-0,1)	17,1±0,6 (17-18)	16,7±1,0 (16-18)	65±2,9 (62-68)	69±6,6 (62-75)	-
<i>Fase 2</i>	3	14±5,6 (8-25)	0,1±0,059 (0,1-0,2)	8,7±0,4 (8-9)	8,3±0,6 (7-9)	124±10,8 (111-145)	249±71,3 (115-358)	-
<i>Fase 3</i>	6	137±9,7 (103-163)	1,1±0,1 (0,5-1,6)	9,2±0,2 (8-10)	9,2±0,2 (8-10)	123±9,5 (102-166)	418±49,5 (323-643)	-
Sirenes curtas	6	52±7,0 (28-80)	0,631±0,077 (0,332-0,917)	10,5±0,08 (10,2-10,7)	10,5±0,1 (10,0-11,0)	230-16,5 (186-284)	496±47,9 (397-710)	7,7±0,6 (6,0-10,0)
“Net grunts”	12	40,3±4,3 (22-65)	26,7±1,4 (45-112)	78,8±6,8 (45-112)	661,6±159,7 (365-1146)	-	196±40,0 (124-310)	-

Figura 4. Frequência dos sons produzidos por *Amphichthys cryptocentrus* em ninhos artificiais no estuário do rio Tubarão.

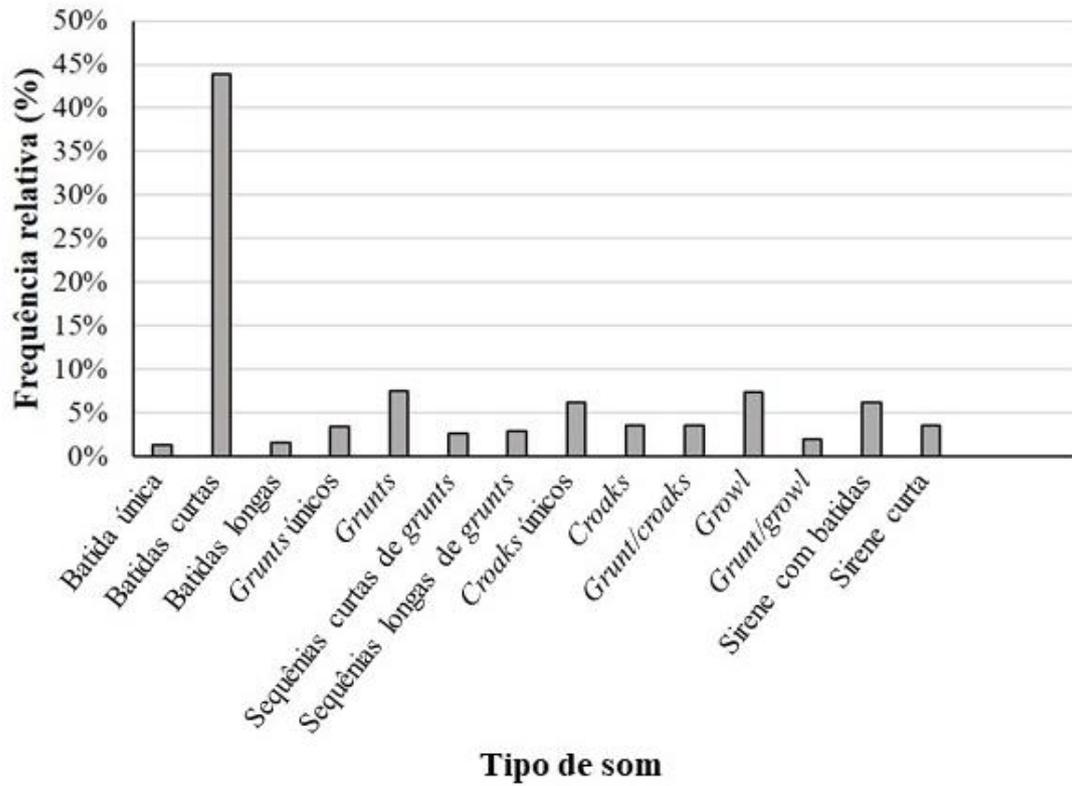


Figura 5. Sons produzidos por *Amphichthys cryptocentrus* no estuário do rio Tubarão, Macau (RN). Sonogramas e oscilogramas de batidas únicas (A), batidas curtas (B) e batidas longas (C). (Frequência de amostragem 44.1 Hz, Bandwidth de 30 Hz, 75% overlap, Hanning window).

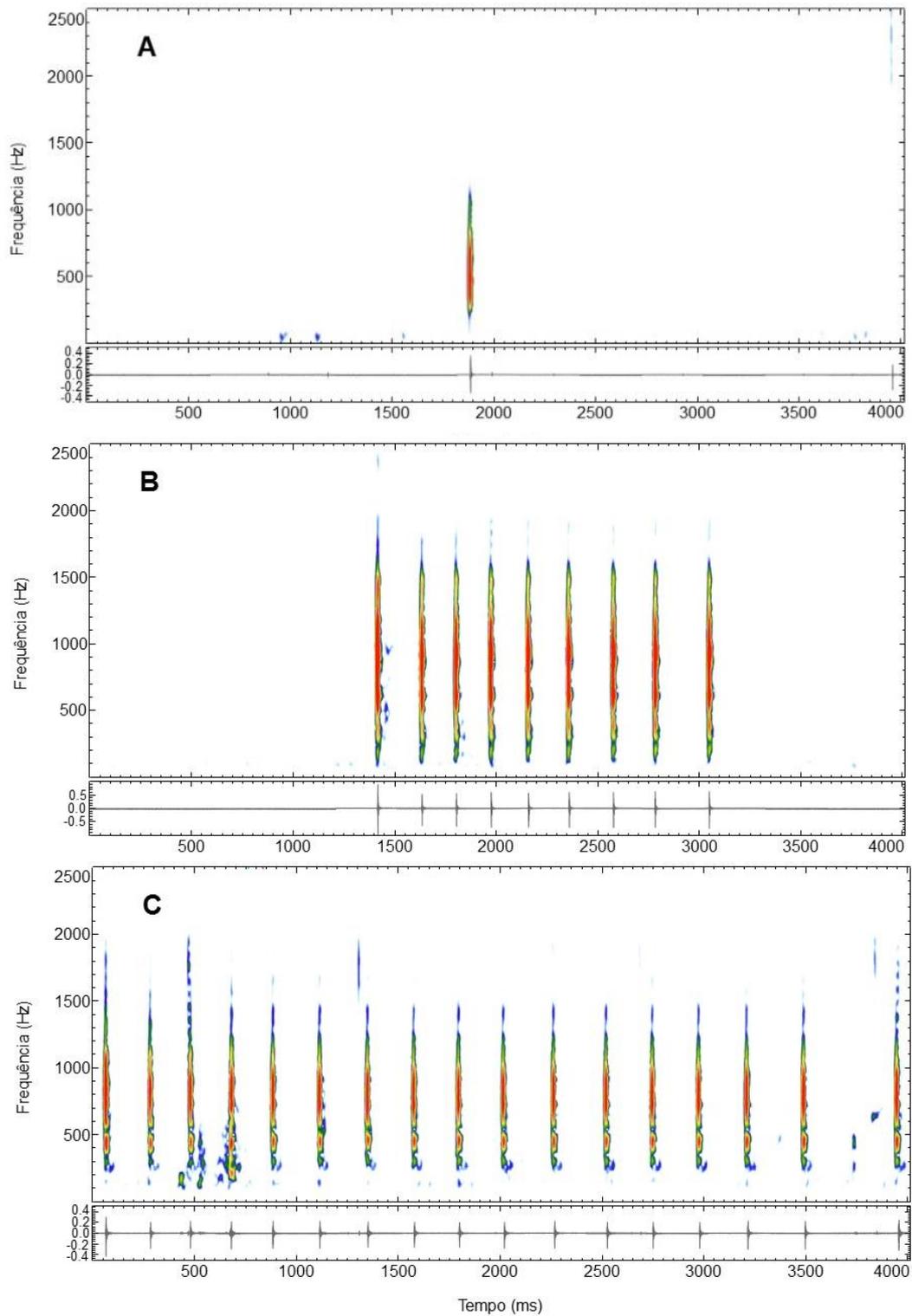


Figura 6. Sons produzidos por produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*. Sonogramas e oscilograma dos sons de *grunts* únicos (A), *grunts* simples (B) sequências curtas de *grunts* (C), sequências longas de *grunts* (D). Frequência de amostragem 44.1 Hz, Bandwidth de 30 Hz, 75% overlap, Hanning window.

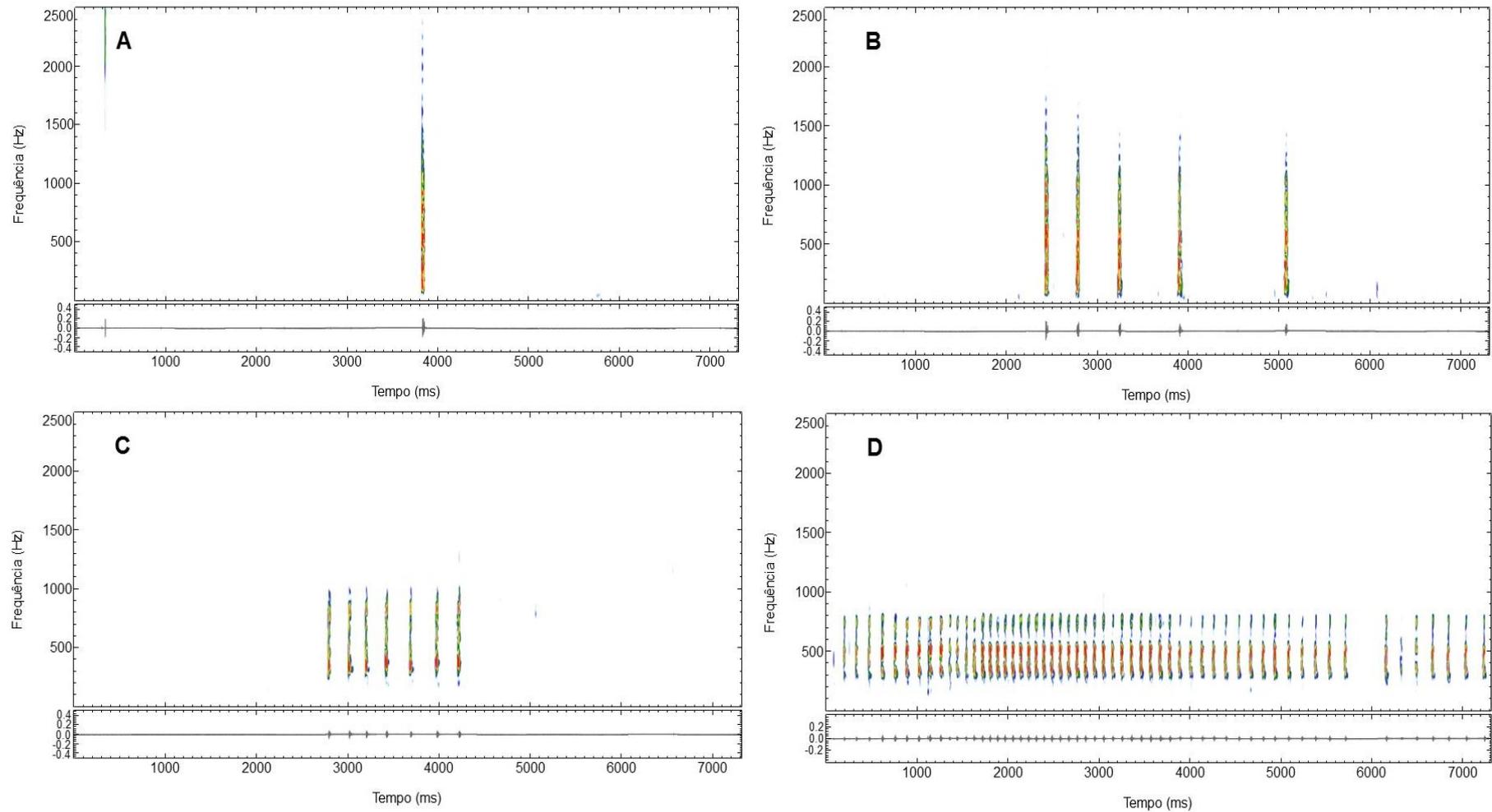


Figura 7. Sons produzidos por produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*. Sonogramas e oscilogramas dos sons de *croak* único (A), *croaks* (B) e os *grunts/croak* (C). (Frequência de amostragem 44.1 Hz, Bandwidth de 30 Hz, 75% overlap, Hanning window).

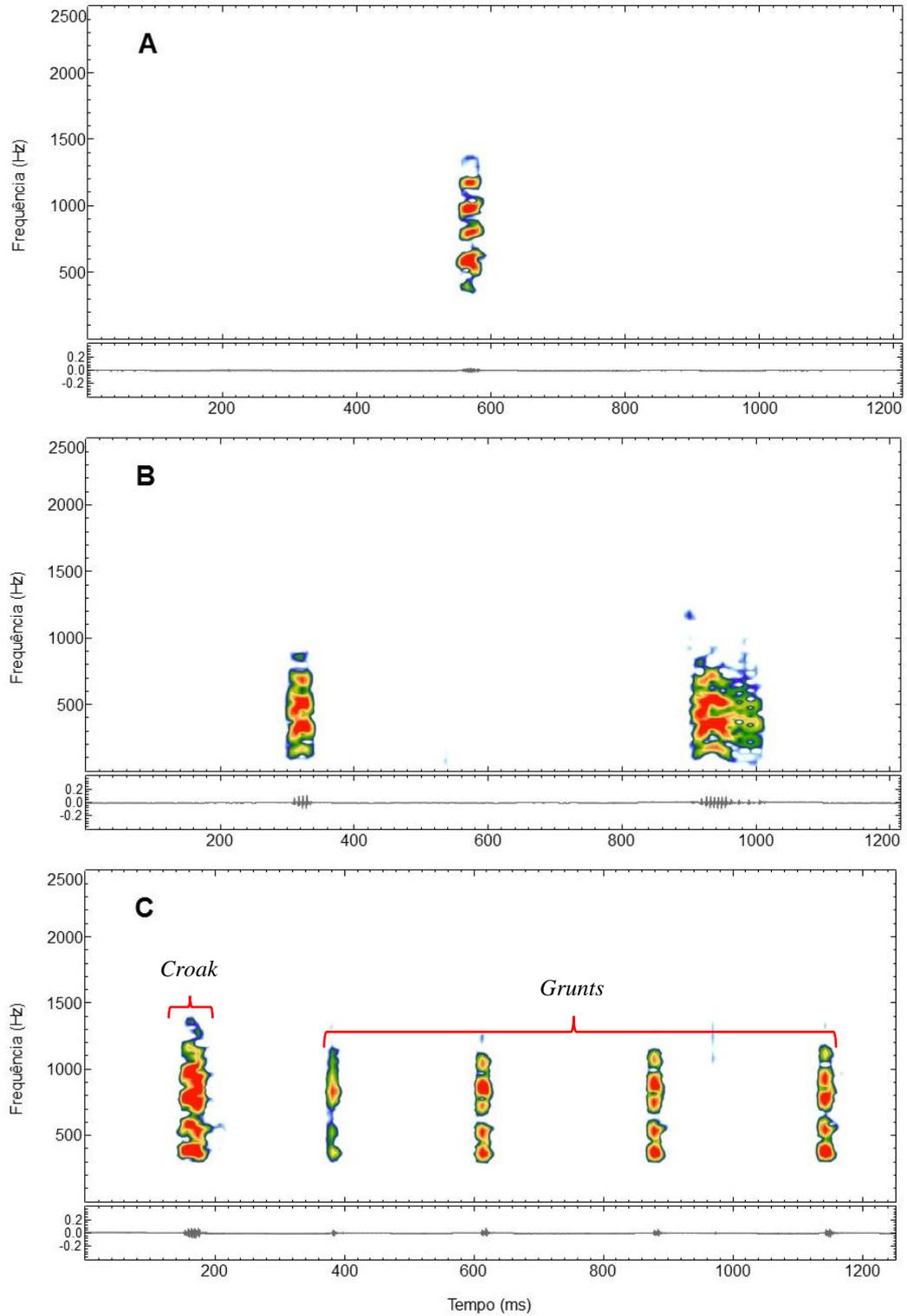


Figura 8. Sons produzidos por produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*. Sonogramas e oscilogramas dos sons de *growl* (A) e *grunts/growl* (B). (Frequência de amostragem 44.1 Hz, Bandwidth de 30 Hz, 75% overlap, Hanning window).

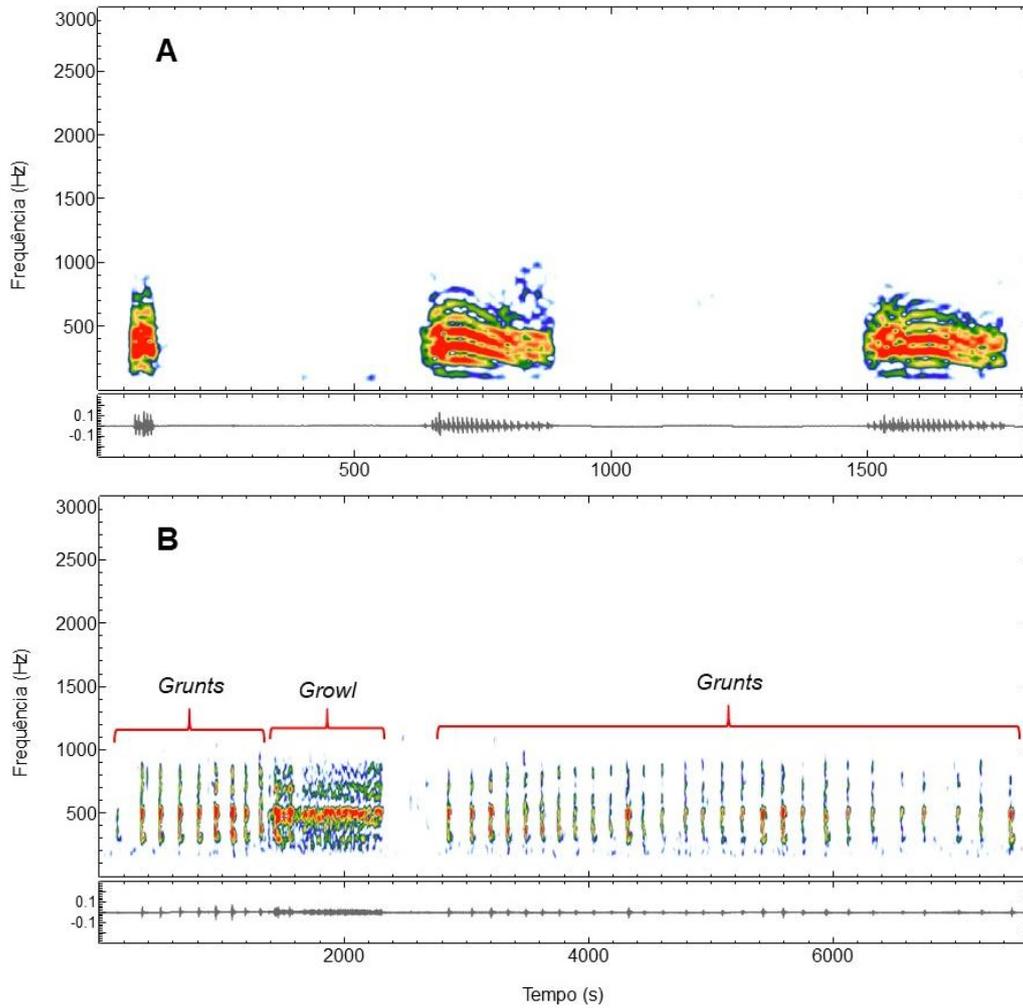


Figura 9. Sons produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*. Sonogramas e oscilogramas dos sons de sirene com batidas, estrutura das três fases diferentes da sirene (em detalhe) (A) e sirene curta (B). (Frequência de amostragem 44.1 Hz, Bandwidth de 30 Hz, 75% overlap, Hanning window).

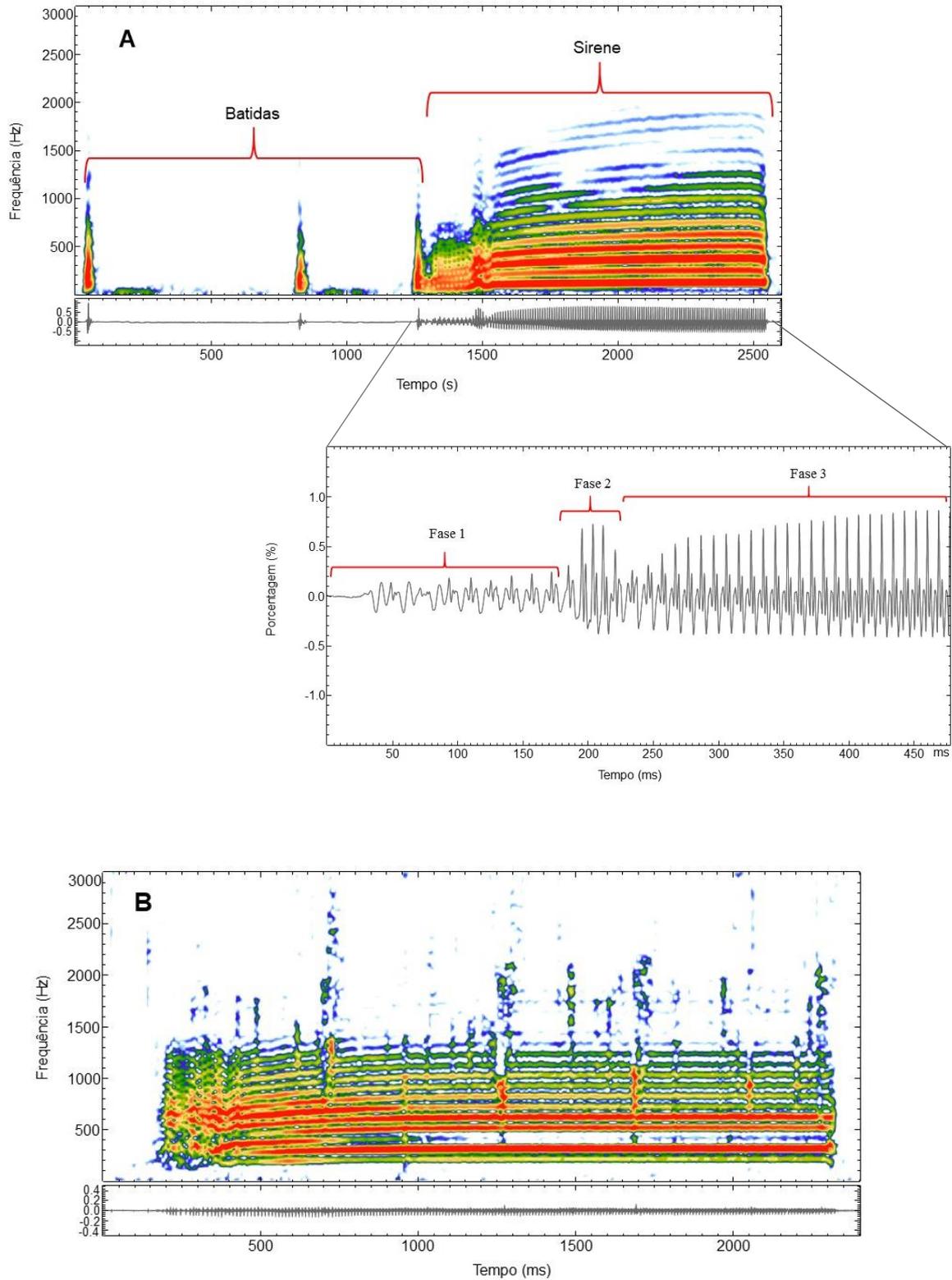


Figura 10. Sonograma e oscilograma do som sirene com batidas produzido por *Amphichthys cryptocentrus*, evidenciando o grunt denominado como “tag”. (Frequência de amostragem 44.1 Hz, Bandwidth de 30 Hz, 75% overlap, Hanning window).

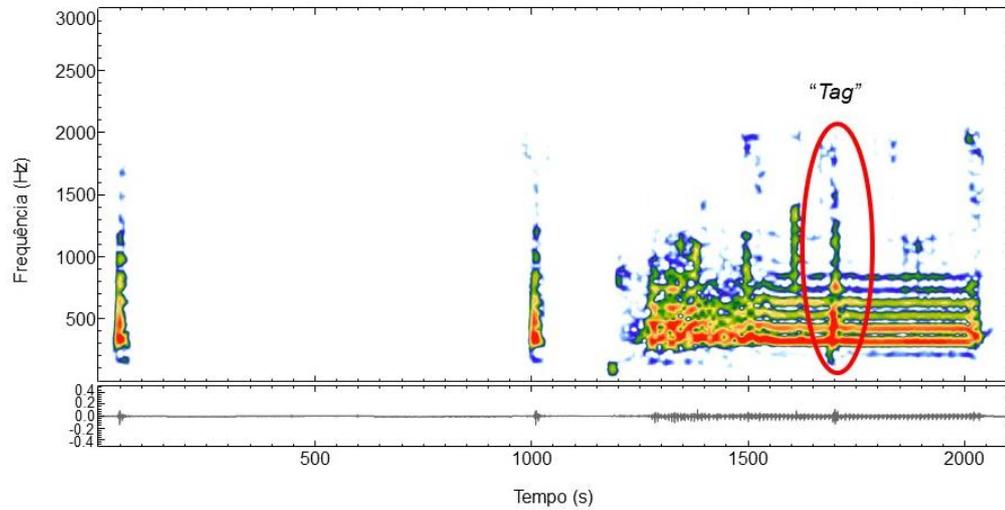


Figura 11. Sonograma e oscilograma dos *net grunts* (A) produzidos por *Amphichthys cryptocentrus* em situação de estresse por manuseio (Frequência de amostragem 44.1 Hz, Bandwidth de 30 Hz, 75% overlap, Hanning window).

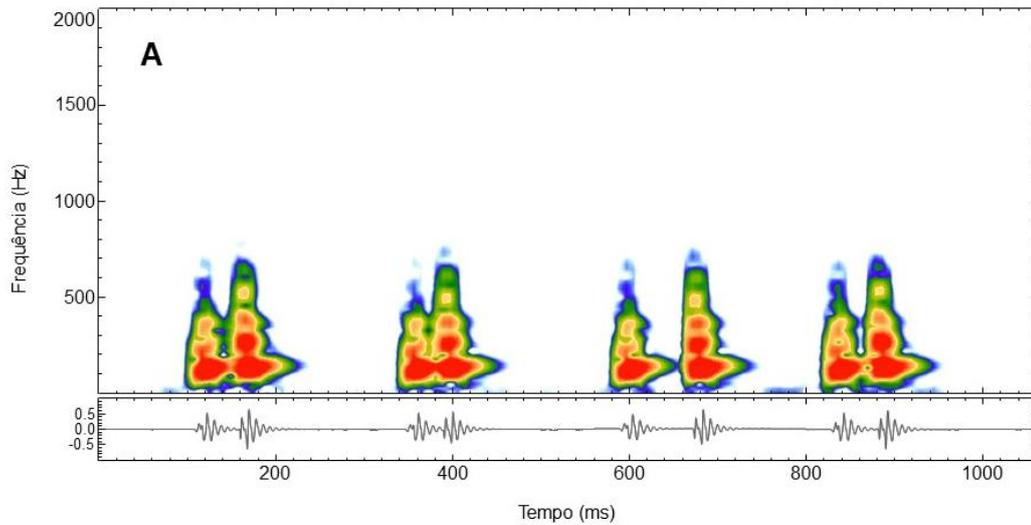


Figura 12. Número de pulsos (A) e duração total (B) das batidas produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*.

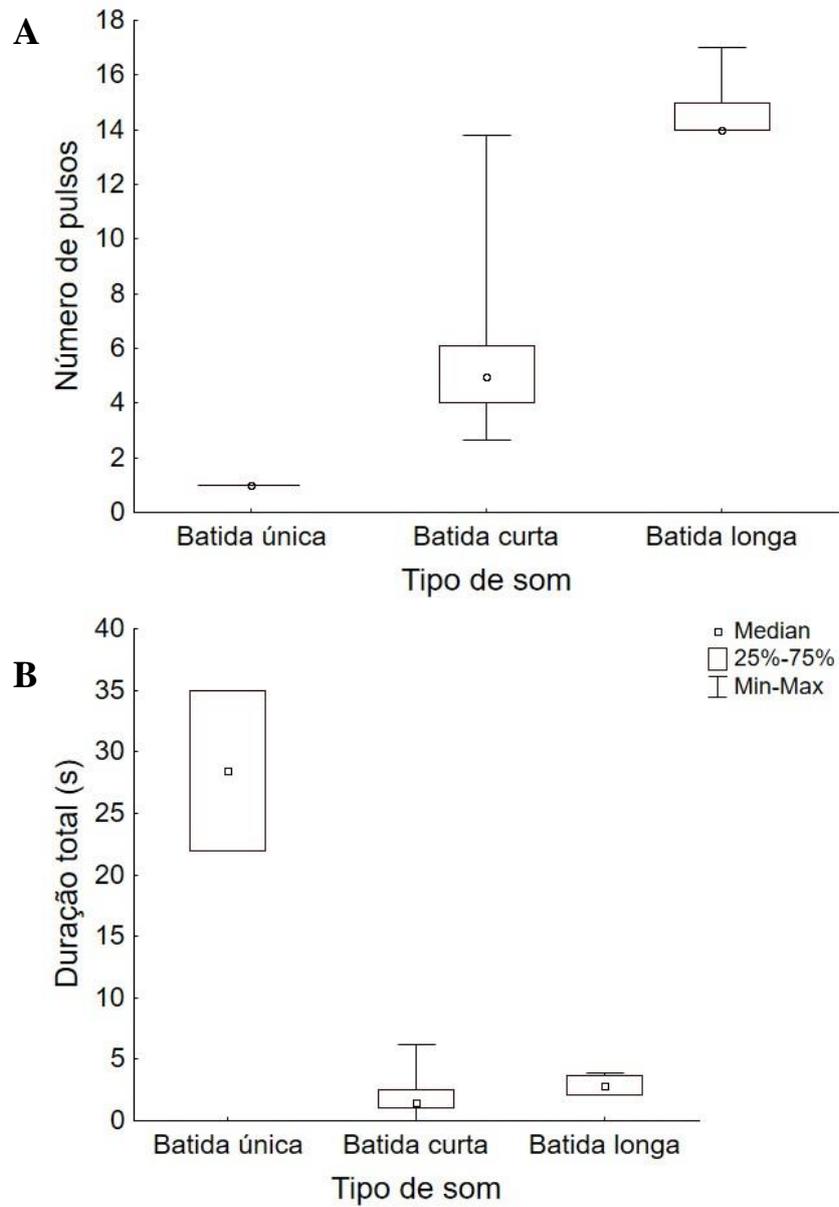


Figura 13. Número de pulsos (A), duração total (B) e duração do pulso (C) dos diferentes *grunts* produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*.

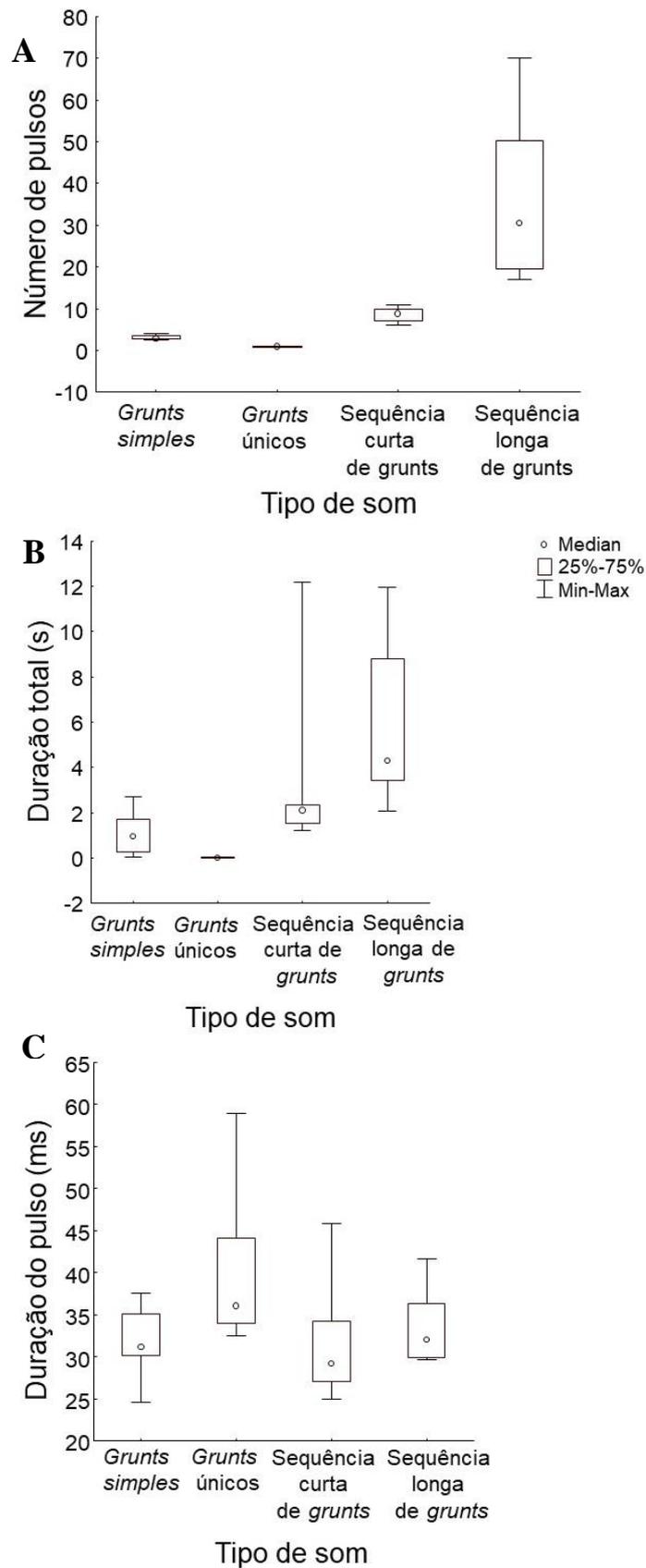


Figura 14. Número de pulso (A), duração total (B) e a duração do pulso (C) dos diferentes sons de *croaks* produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*. (obs. misto/croak refere-se à porção tonal do som *grunt/croak*).

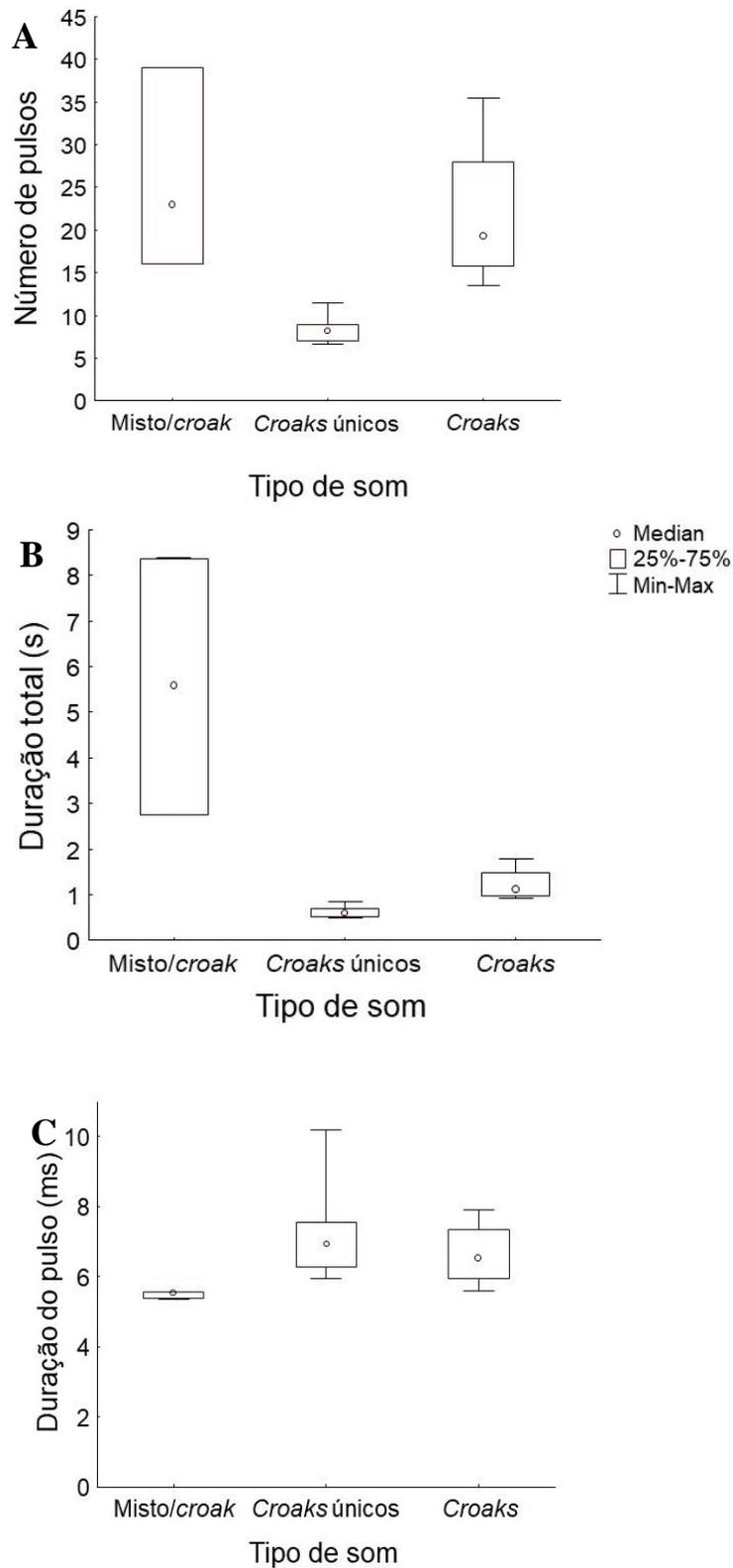
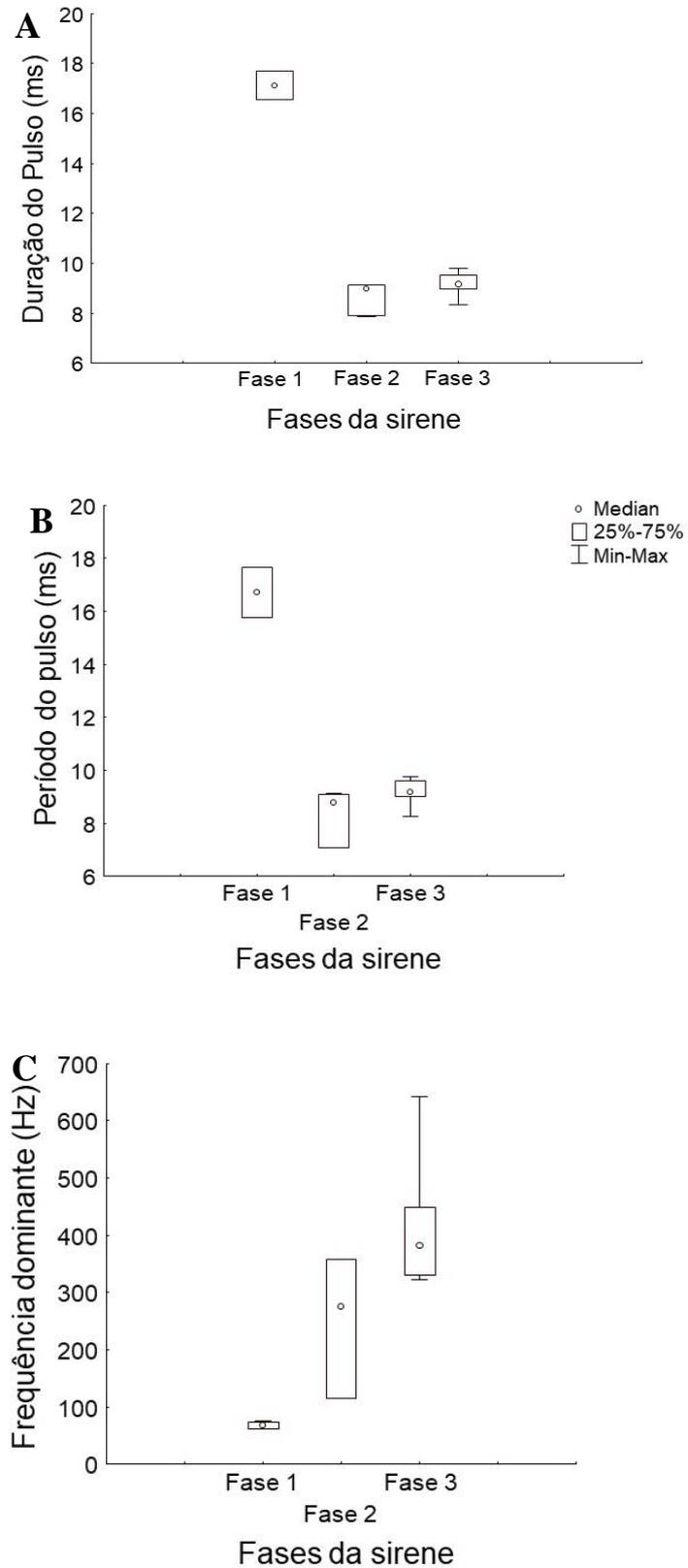


Figura15. Duração do pulso (A), período do pulso (B) e frequência dominante (C) das fases da sirene produzidos por *Amphichthys cryptocentrus*.



Sons de estresse por manuseio

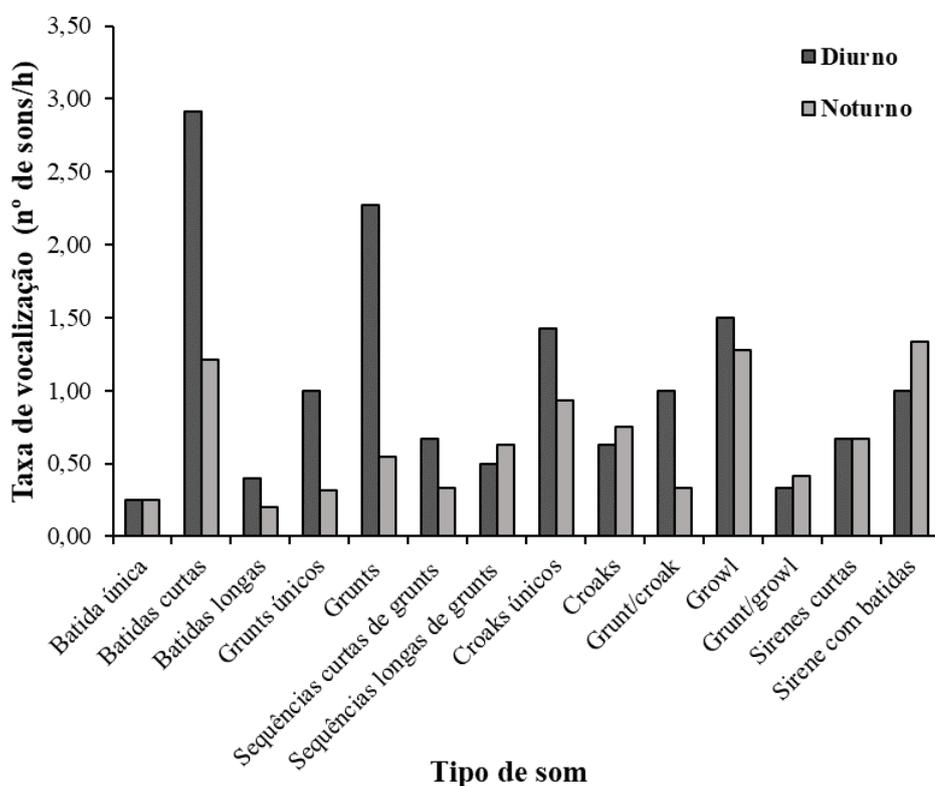
Os sons produzidos neste contexto foram apenas um tipo os “*net grunts*”, que se apresentavam como sons de pulsos duplos e até grupos de cinco *grunts* (Figura 11), com duração média dos *grunts* de 78,8 ms e frequência dominante média de 196 Hz. (Tabela 2). Este tipo de som não foi registrado em nenhuma gravação realizada nos ninhos.

4.2 Taxa de vocalização e diferenças na produção de som entre os períodos do dia e da noite

As batidas curtas constituíram os sons mais frequentemente produzidos por *Amphichthys cryptocentrus* (8,25 sons/h), enquanto o som com menor taxa de vocalização foi a batida única (0,25 sons/h) ($H = 33,040$; $p < 0,05$) (Figura 4).

O período do dia (05h01 às 17h59) de maior taxa de vocalização foi o diurno (diurno 0,97 sons/h, noturno 0,71 sons/h) ($H = 32,944$; $p < 0,05$) com as batidas curtas, sendo o som mais comum ($p < 0,05$). No período noturno (18h00 à 5h00), o som mais frequente foram as sirenes com batidas, apresentando uma taxa de 1,33 sons/h (Figura 16).

Figura 16. Taxa de vocalização dos sons produzidos por *Amphichthys cryptocentrus* no estuário do rio Tubarão, Macau (RN) nos períodos do dia.



5. DISCUSSÃO

O repertório acústico de *A. cryptocentrus* é composto por 15 tipos de vocalizações, sendo este o primeiro trabalho a descrever o repertório acústico desta espécie e o primeiro a trazer um repertório acústico maior do que o das outras espécies já descritas para esta família. E particularmente num estuário hipersalino que difere dos outros ambientes em que as outras espécies foram estudadas, isso devido ao fato deste ser um ecossistema único com características ambientais bem diversas, que incluem, por exemplo, alta salinidade com as maiores taxas tendendo à porção mais interior do estuário e as menores sendo mais próximas do mar, caracterizando como um estuário inverso (Ramos e Silva et al., 2010; Cantinho, 2017).

As batidas únicas, batidas curtas e longas apresentaram características temporais e espectrais semelhantes. Esses sons provavelmente sejam variações de um som “origem”, assim como descrito por Maruska & Mesinger (2009) para os *grunts* em *O. tau*. Essas variantes dos sons são mencionadas em alguns trabalhos, como o de Santos et al. (2000) e Amorim et al. (2008) para *H. didactylus*, e está relacionada com a modificação de padrões temporais. Segundo Vasconcelos et al. (2010), muitas espécies de peixes podem apresentar vocalizações estereotipadas, as quais podem estar associadas a contextos específicos. Ainda não foram registradas informações a respeito dos efeitos ou causas destas variações (Santos et al., 2000), e segundo Amorim et al. (2008), estudos futuros devem se concentrar em definir como estes sons variam e por quê. Estes sons provavelmente estão relacionados a interações agonísticas, uma vez que sons caracterizados como sendo de curta duração e pulsados em batracoidídeos são mencionados em outros trabalhos (e.g. Amorim, 2006; Rice & Bass, 2009), servindo provavelmente para afugentar invasores, como sinal de alerta (Fish & Mowbray, 1970).

Os *grunts* também são comumente encontrados nas outras espécies de peixes-sapo (e.g. *H. didactylus*, *P. notatus*, *O. beta* e *O. tau*), sendo considerados sons característicos da família Batrachoididae (Santos et al, 2000, Amorim et al, 2008). Por serem similares aos *grunts* de outras espécies, os produzidos por *A. cryptocentrus* podem estar relacionadas ao contexto agonístico, mais especificamente à defesa territorial e como sinal de alerta para outros peixes (Amorim et al, 2008; Bass & McKibben, 2003).

Para *A. cryptocentrus*, foram registradas quatro variações de *grunts*. Os *grunts* únicos também foram descritos para algumas espécies de peixes-sapo, como, por exemplo, *O. tau* (Maruska & Mesinger, 2009), e suas características se assemelham as variações de *grunts* descritas neste trabalho para espécie *A. cryptocentrus* em alguns parâmetros acústicos (e.g. duração). A ocorrência de variações de *grunts* é relativamente comum nesse grupo de peixes, como, por exemplo, os *grunts* mencionados em *B. trispinosus* (Rice & Bass, 2009), como um

grupo de um a cinco *grunts* com intervalos irregulares, associados à agressão e defesa territorial, e os *short grunt trains* e *long grunt trains*, mencionados por Amorim et al., (2008) para *H. didactylus*, como sons que diferem em número de *grunts* e duração total, podendo estar ou não associados com outros tipos de sons, indicando o quão rica é a capacidade deste peixe em se comunicar acusticamente (Amorim et al.,2008). Esta variedade de *grunts* também tem relação com pulsos estereotipados (que podem variar seus padrões temporais ou sua taxa de produção para gerar outros tipos de sons) mencionados em Maruska & Mesinger (2009) e Santos et al. (2000).

Os *croaks* produzidos por *A. cryptocentrus* se apresentaram tanto isolados ou em sequências. No caso dos *croaks* únicos, estes se assemelhavam visualmente aos *grunts* únicos, porém apresentavam um número maior de pulsos e de duração, essa observação também é relatada por Matos (1997) para a espécie *H. didactylus*, que também apresentou estes mesmos sons em seu repertório. Entretanto, os *croaks* únicos em *A. cryptocentrus* são mais curtos. Quanto aos demais *croaks* (*croaks* e misto/*croak*), estes diferiram dos *croaks* únicos em relação à duração total, sendo mais longos, e são mais curtos se comparados aos *croaks* de *H. didactylus* (duração média de um *croak* típico 110 ms), por exemplo. Essas diferenças entre os sons são mencionadas por Santos et al. (2000), refletindo a capacidade dos peixes-sapos de produzir diferentes sons alterando os seus padrões temporais. Devido às características que apresentam e aos registros de outros estudos com peixes-sapo estes sons estão relacionados com defesa de território (Santos et al., 2000).

Os *grunts/croaks* apresentados neste trabalho provavelmente também têm relação com o contexto agonístico, mais especificamente à função de espaço (Santos et al., 2000). Este tipo de som é citado para *H. didactylus* em outros trabalhos (Matos, 1997; Santos et al., 2000; Amorim et al., 2008), como sendo resultado das diferenças na repetição dos pulsos (Matos,1997). Os *grunts* deste som misto são sequências de longa duração, e normalmente precedem outros sons, como em Amorim et al., (2008) para a espécie *H. didactylus*. Os sons mistos registrados para *A. cryptocentrus* reforçam a capacidade da produção de sons mais complexos, combinados, assim como em *H. didactylus*, os *croaks* provavelmente sendo resultados do aumento na taxa de repetição dos pulsos de um *grunt* comum (Santos et al., 2000).

O *growl* registrado aqui difere dos apresentados em McIver et al., (2014) para *P. notatus*, sendo mais curtos e sem estarem inseridos em sequências. Além desta espécie, *O. tau* e *O. beta* mencionados nos trabalhos de Tavoilga, (1958) também produzem o *growl*, tanto as fêmeas quanto os machos, já que estão associados a comportamentos agonísticos. Entretanto, não são sons comumente relatados entre as espécies de peixes-sapo (McIver et al., 2014).

O *grunt/growl* apresentou características semelhantes aos *grunts* e *growls* já descritos neste trabalho, provavelmente sendo variações de um som estereotipado (Matos, 1997; Santos et al., 2000), modificado para exercer uma função agonística mais efetiva. Esta composição de som não é comum nos peixes-sapo, sendo este o primeiro registro deste tipo de arranjo.

Nas sirenes curtas produzidas por *A. cryptocentrus*, foi registrada apenas uma fase (F3), característica que também é mencionada nos trabalhos de Amorim & Vasconcelos (2008), em que sirenes curtas de *H. didactylus* também apresentavam em sua maioria apenas a F3, sendo estes sons também relacionados à defesa territorial, como observado em *H. didactylus* por Vasconcelos et al., (2010). De acordo com Vasconcelos et al., (2010), as sirenes agonísticas também podem ser curtas e únicas, mas se assemelham com as sirenes do contexto reprodutivo em relação a duração, enquanto a frequência dominante é mais baixa em relação a sirene do contexto reprodutivo. Porém, para *A. cryptocentrus*, a sirene curta apresentou semelhanças com a sirene do som misto “sirene com batidas” apenas considerando a frequência dominante.

O som misto sirene com batidas é um som comumente encontrado nas espécies de peixes-sapo e está relacionado a atração da fêmea. Para a espécie *A. cryptocentrus* este som foi descrito por Staaterman et al. (2018) como um som contendo entre 1 a 3 “*grunts*” seguidos de 1 a 3 “*boops*”, seguindo a nomenclatura de Thorson & Fine, (2002b). Estas características também foram encontradas em outras espécies, como *O. beta* (Tavolga, 1958), em que o som é composto por um ou três “*grunts*” seguidos de um ou quatro “*boops*” (Thorson & Fine, 2002b). No trabalho realizado por Salas et al. (2018), *A. cryptocentrus* apresentou de 1 a 4 “*grunts*” precedendo uma ou mais “*boatwhistles*”. Sendo assim, as características registradas para *A. cryptocentrus* corroboram as previamente descritas para este tipo de som, mas diferem em relação à quantidade de sirenes numa vocalização, sendo registradas aqui apenas uma sirene por vocalização. As diferenças entre as fases da sirene também são mencionadas nos trabalhos de Santos et al. (2000) e Amorim & Vasconcelos (2008), indicando que estes diferem em relação a duração, período e frequência dominante, o que também foi registrado para as fases da sirene de *A. cryptocentrus*. Thorson & Fine (2002b) sugerem que essa variação neste tipo de som em *O. beta* pode estar relacionada com a motivação dos peixes, e uma vocalização mais complexa seria mais atrativa as fêmeas. Por ser um tipo de vocalização que requer mais energia para ser produzida, este tipo de som pode evidenciar a qualidade dos machos (Thorson & Fine, 2002b).

Os *grunts* com função de “*tags*” registrados no som misto “sirene com batidas” e nas sirenes curtas, provavelmente são provenientes de peixes vizinhos e parecem ser comuns nos peixes-sapo. Segundo Thorson & Fine, (2002a), em *O. beta* estes sons mostram uma

dominância sobre o peixe que é “marcado”, mas não apresenta nenhum mascaramento sobre os sons de sirene, devido ao fato destes “*grunts*” apresentarem curta duração. Adicionalmente, Staaterman et al. (2018) sugerem que estas “marcações” também sejam utilizadas como uma forma de seleção sexual, uma vez que estas não inibem as sirenes e as fêmeas escolhem seus parceiros pelas vocalizações produzidas pelos machos, grande parte desta marcação pode ser direcionada a fêmeas que as usariam como critério de escolha de um macho adequado (Fine & Thorson, 2008). Salas et al. (2018) também mencionam estes “*tags*” para a espécie *A. cryptocentrus*, indicando que este tipo de som pode estar relacionado com competição acústica, como também foi descrito para *O. tau* (Mesinger, 2014). O trabalho de Staaterman et al. (2018) relata que esse tipo de interação agonística pode ser utilizada como uma afirmação da dominância, para atrapalhar os sinais dos vizinhos ou até mesmo desviar a atenção de uma fêmea próxima, porém ainda não é muito explicado como este comportamento de “marcação acústica” é utilizado pelas outras espécies da família Batrachoididae.

No contexto de estresse durante o manuseio, foi observado nas análises que estes se apresentavam aos pares ou até grupos de cinco “*net grunts*”, sendo estes sons, segundo Fine & Waybright (2015), resultados de rápidas contrações da musculatura associada à bexiga natatória, podendo ser produzidos por ambos os sexos (Maruska & Mesinger 2009). Algumas espécies de peixes-sapos (e.g. *H. didactylus* – Santos et al, 2000; *O. tau* – Maruska & Mesinger, 2009) também apresentaram estas características. Estes sons podem estar relacionados com a presença de predadores (Santos et al., 2000), porém durante as gravações não foram registrados sons naturais deste tipo.

A atividade acústica diária em algumas espécies de peixes está relacionada ao fotoperíodo (Matos, 1997; Kasumyan, 2009). E dentro deste contexto, os peixes-sapos são considerados como noturnos (Fine & Thorson, 2008). Neste trabalho a espécie *A. cryptocentrus* foi considerada diurna, pois foi o período do dia com maior taxa de vocalização, apresentando um som de características agonísticas (batidas curtas) como o som de maior expressividade. Isto pode estar relacionado com tipo de ambiente em que a espécie está inserida, no qual as possíveis pressões ambientais sofridas durante o dia podem estar influenciando nesse tipo de atividade vocal.

Com relação ao período noturno, espécies de peixes-sapo como o *P. notatus* tendem a produzir sons de “humming” assim que anoitece (Matos, 1997; Brantley & Bass, 1994). E “sirene com batidas” semelhantes a este som (“hum”), também foram registrados neste trabalho ocorrendo em maior taxa no período noturno. Trabalhos como o de Brantley & Bass (1994) também mostraram a ocorrência do “hum” durante a noite em *P. notatus*. Em *O. tau*, Fine &

Thorson (2008) relatam que esta espécie aumenta as suas taxas de produção de som durante o crepúsculo. Sendo assim, as taxas de produção de som durante a noite corroboram com os apresentados neste trabalho para *Amphichthys cryptocentrus*.

6 CONCLUSÃO

Amphichthys cryptocentrus apresenta um repertório acústico composto por quinze tipos de sons diferentes, sendo o mais diversificado a ser registrado dentre os peixes.

A espécie apresentou maior atividade vocal diurna, com predomínio de potenciais sons de interação agonística (batidas curtas); dentre as vocalizações noturnas, as mais frequentes constituíram sons reprodutivos (sirenes com batidas).

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Maria Clara Pessoa et al. Seasonal variation of sound production in the Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus*. **Journal of Fish Biology**, v. 69, n. 6, p. 1892-1899, 2006.
- AMORIM, Maria Clara Pessoa; SIMÕES, José Miguel; FONSECA, Paulo Jorge. Acoustic communication in the Lusitanian toadfish, *Halobatrachus didactylus*: evidence for an unusual large vocal repertoire. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 88, n. 5, p. 1069-1073, 2008.
- AMORIM, Maria Clara Pessoa; VASCONCELOS, Raquel Ornelas. Variability in the mating calls of the Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus*: cues for potential individual recognition. **Journal of Fish Biology**, v. 73, n. 6, p. 1267-1283, 2008.
- AMORIM, M. Clara P.; VASCONCELOS, Raquel O.; FONSECA, Paulo J. Fish sounds and mate choice. In: **Sound communication in fishes**. Springer, Vienna, 2015. p. 1-33.
- ALVES, Daniel; AMORIM, M. Clara P.; FONSECA, Paulo J. Assessing acoustic communication active space in the Lusitanian toadfish. **Journal of Experimental Biology**, v. 219, n. 8, p. 1122-1129, 2016.
- BENDA, Jan; GREWE, Jan; KRAHE, Rüdiger. Neural noise in electrocommunication: From burden to benefits. In: **Animal Communication and Noise**. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 331-372.
- BRANTLEY, Richard K.; BASS, Andrew H. Alternative male spawning tactics and acoustic signals in the plainfin midshipman fish *Porichthys notatus* Girard (Teleostei, Batrachoididae). **Ethology**, v. 96, n. 3, p. 213-232, 1994.
- BASS, Andrew H.; MCKIBBEN, Jessica R. Neural mechanisms and behaviors for acoustic communication in teleost fish. **Progress in neurobiology**, v. 69, n. 1, p. 1-26, 2003.
- BASS, Andrew H.; CHAGNAUD, Boris P.; FENG, Ni Y. Comparative neurobiology of sound production in fishes. In: **Sound communication in fishes**. Springer, Vienna, 2015. p. 35-75.
- BRUMM, Henrik (Ed.). **Animal communication and noise**. Springer Science & Business Media, 2013.
- CANTINHO, Klégea Maria Câncio Ramos. **Caracterização e avaliação da qualidade ambiental do estuário Ponta do Tubarão (RN) com base na água, sedimento e macroalgas marinhas**. 2017. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- CARNEVALE, Giorgio; COLLETTE, Bruce B. † *Zappaichthys harzhauseri*, gen. et sp. nov., a new Miocene toadfish (Teleostei, Batrachoidiformes) from the Paratethys (St. Margarethen in Burgenland, Austria), with comments on the fossil record of batrachoidiform fishes. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 34, n. 5, p. 1005-1017, 2014.

- CARRIÇO, Rita; AMORIM, M. Clara P.; FONSECA, Paulo J. Reproductive success in the Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus*: influence of male and nest sizes. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 456, p. 65-69, 2014.
- CERVIGÓN, F. et al. Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. **Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América. FAO, Rome**, p. 513, 1992.
- COLLETTE, B. B. Order BATRACHOIDIFORMES BATRACHOIDIDAE, 2005.
- DOS SANTOS, MANUEL E. et al. Sound production by the Lusitanian toad fish, *Halobatrachus didactylus*. **Bioacoustics**, v. 10, n. 4, p. 309-321, 2000.
- FINE, Michael L.; LENHARDT, Martin L. Shallow-water propagation of the toadfish mating call. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 76, n. 2, p. 225-231, 1983.
- FINE, Michael L.; PENNYPACKER, Keith R. Hormonal basis for sexual dimorphism of the sound-producing apparatus of the oyster toadfish. **Experimental neurology**, v. 92, n. 2, p. 289-298, 1986.
- FINE, Michael L.; PENNYPACKER, Keith R. Histochemical typing of sonic muscle from the oyster toadfish. **Copeia**, p. 130-134, 1988.
- FINE, Michael L.; THORSON, Robert F. Use of passive acoustics for assessing behavioral interactions in individual toadfish. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 137, n. 2, p. 627-637, 2008.
- FINE, Michael L.; PARMENTIER, Eric. Mechanisms of fish sound production. In: **Sound communication in fishes**. Springer, Vienna, 2015. p. 77-126.
- GRAY, Grace-Ann; WINN, Howard E. Reproductive ecology and sound production of the toadfish, *Opsanus tau*. **Ecology**, v. 42, n. 2, p. 274-282, 1961.
- GRANADO, A. A.; GONZÁLEZ, L. W. Aspectos biológicos del sapo bocón, *Amphichthys cryptocentrus* (Valenciennes, 1837) (Teleostei: Batrachoididae) de las islas Margarita y Cobagua, Venezuela, 1988.
- GREENFIELD, David W.; WINTERBOTTOM, Richard; COLLETTE, Bruce B. Review of the toadfish genera (Teleostei: Batrachoididae), 2008.
- HAWKINS, A. D.; MYRBERG, A. A. Hearing and sound communication under water. **Bioacoustics, a comparative approach. Academic Press, London**, p. 347-405, 1983.
- HAWKINS, Anthony D.; POPPER, A. N. Assessing the impacts of underwater sounds on fishes and other forms of marine life. **Acoustics Today**, v. 10, n. 2, p. 30-41, 2014.
- KASUMYAN, A. O. Sounds and sound production in fishes. **Journal of Ichthyology**, v. 48, n. 11, p. 981-1030, 2008.

KASUMYAN, A. O. Acoustic signaling in fish. **Journal of Ichthyology**, v. 49, n. 11, p. 963-1020, 2009.

LADICH, Friedrich; BASS, Andrew H. Underwater sound generation and acoustic reception in fishes with some notes on frogs. In: **Sensory Processing in Aquatic Environments**. Springer, New York, NY, 2003. p. 173-193.

LADICH, Friedrich. Sound production and acoustic communication. In: **The senses of fish**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 210-230.

LADICH, Friedrich; FINE, Michael L. Sound-generating mechanisms in fishes: a unique diversity in vertebrates. **Communication in fishes**, v. 1, p. 3-43, 2006.

LAIOLO, Paola. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. **Biological conservation**, v. 143, n. 7, p. 1635-1645, 2010.

MATOS, Ricardo Jorge SC. **Sound production in the North-Eastern Atlantic toadfish halobatrachus didactylus (pisces: batrachoididae)**. 1997. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Psicologia Aplicada.

MARUSKA, Karen P.; MENSINGER, Allen F. Acoustic characteristics and variations in grunt vocalizations in the oyster toadfish *Opsanus tau*. **Environmental biology of fishes**, v. 84, n. 3, p. 325-337, 2009.

MOSHARO, Kathryn K.; LOBEL, Phillip S. Acoustic signals of two toadfishes from Belize: *Sanopus astrifer* and *Batrachoides gilberti* (Batrachoididae). **Environmental biology of fishes**, v. 94, n. 4, p. 623-638, 2012.

MCIVER, Eileen L. et al. Novel underwater soundscape: acoustic repertoire of plainfin midshipman fish. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, n. 13, p. 2377-2389, 2014.
MOSHARO, Kathryn K.; LOBEL, Phillip S. Acoustic signals of two toadfishes from Belize: *Sanopus astrifer* and *Batrachoides gilberti* (Batrachoididae). **Environmental biology of fishes**, v. 94, n. 4, p. 623-638, 2012.

POPPER, Arthur N. et al. Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes. In: **Sensory processing in aquatic environments**. Springer, New York, NY, 2003. p. 3-38.

PARMENTIER, Eric; FINE, Michael L. Fish sound production: insights. In: **Vertebrate sound production and acoustic communication**. Springer, Cham, 2016. p. 19-49.
REMAHE-HEALEY, Luke; BASS, Andrew H. Rapid elevations in both steroid hormones and vocal signaling during playback challenge: a field experiment in Gulf toadfish. **Hormones and Behavior**, v. 47, n. 3, p. 297-305, 2005.

PETERS, Richard A. Noise in visual communication: motion from wind-blown plants. In: **Animal communication and noise**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 311-330.

RAMOS E SILVA, C. A. et al. Hydrochemistry in tropical hyper-saline and positive estuaries. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 3, p. 432-443, 2010.

ROSA, R. S.; LIMA, Flávio CT. Os peixes brasileiros ameaçados de extinção. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**, v. 2, p. 1-278, 2008.

RICE, Aaron N.; BASS, Andrew H. Novel vocal repertoire and paired swimbladders of the three-spined toadfish, *Batrachomoeus trispinosus*: insights into the diversity of the Batrachoididae. **Journal of Experimental Biology**, v. 212, n. 9, p. 1377-1391, 2009.

SALAS, Andria K.; WILSON, Preston S.; RYAN, Michael J. Acoustic communication in the Bocon toadfish (*Amphichthys cryptocentrus*). **Environmental Biology of Fishes**, v. 101, p. 1175-1193, 2018.

STAATERMAN, Erica et al. Individual voices in a cluttered soundscape: acoustic ecology of the Bocon toadfish, *Amphichthys cryptocentrus*. **Environmental Biology of Fishes**, v. 101, n. 6, p. 979-995, 2018.

TAVOLGA, William N. Underwater sounds produced by two species of toadfish, *Opsanus tau* and *Opsanus beta*. **Bulletin of Marine Science**, v. 8, n. 3, p. 278-284, 1958.

TAVOLGA, William N. 6 Sound Production and Detection. In: *Fish physiology*. Academic Press, 1971. p. 135-205.

THORSON, Robert F.; FINE, Michael L. Acoustic competition in the gulf toadfish *Opsanus beta*: acoustic tagging. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 111, n. 5, p. 2302-2307, 2002a.

THORSON, Robert F.; FINE, Michael L. Crepuscular changes in emission rate and parameters of the boatwhistle advertisement call of the gulf toadfish, *Opsanus beta*. **Environmental Biology of Fishes**, v. 63, n. 3, p. 321-331, 2002b.

VAN DER SLUIJS, Inke et al. Communication in troubled waters: responses of fish communication systems to changing environments. **Evolutionary Ecology**, v. 25, n. 3, p. 623-640, 2011.

VASCONCELOS, Raquel O. et al. Vocal behavior during territorial intrusions in the Lusitanian toadfish: boatwhistles also function as territorial 'keep-out' signals. **Ethology**, v. 116, n. 2, p. 155-165, 2010.

VASCONCELOS, Raquel O. et al. Vocal differentiation parallels development of auditory saccular sensitivity in a highly soniferous fish. **Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 18, p. 2864-2872, 2015.

ZELICK, Randy; MANN, David A.; POPPER, Arthur N. Acoustic communication in fishes and frogs. In: **Comparative hearing: fish and amphibians**. Springer, New York, NY, 1999. p. 363-411.