

AVALIAÇÃO DOS SONS BIOLÓGICOS PRODUZIDOS EM
LABORATÓRIO, POR PEIXES MARINHOS DA REGIÃO DO CABO
FRIO, RJ, BRASIL.

EDUARDO BARROS FAGUNDES NETTO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
NOVEMBRO – 2001

AVALIAÇÃO DOS SONS BIOLÓGICOS PRODUZIDOS EM
LABORATÓRIO, POR PEIXES MARINHOS DA REGIÃO DO CABO
FRIO, RJ, BRASIL.

EDUARDO BARROS FAGUNDES NETTO

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Biociências e Biotecnologia (Área de concentração em Ciências Ambientais).

Orientador: Dr. Carlos Ramon Ruiz-Miranda

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
NOVEMBRO – 2001

AVALIAÇÃO DOS SONS BIOLÓGICOS PRODUZIDOS EM
LABORATÓRIO, POR PEIXES MARINHOS DA REGIÃO DO CABO
FRIO, RJ, BRASIL.

EDUARDO BARROS FAGUNDES NETTO

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Biociências e Biotecnologia (Área de concentração em Ciências Ambientais).

Aprovado em 20 de novembro de 2001.

Comissão examinadora:

Profa. Sheila Marino Simão - UFRRJ
Doutora em Química Orgânica

Prof. Ronaldo Novelli - UENF
Doutor em Biociências e Biotecnologia

Profa. Ilana Rosental Zalmon - UENF
Doutora em Ciências - Zoologia

Prof. Carlos Ramon Ruiz-Miranda - UENF
Doutor em Comportamento Animal
(Orientador)

Prof. Leandro Rabello Monteiro - UENF
Doutor em Zoologia
(Revisor)

*Agradeço a Deus pela realização deste
trabalho e dedico o esforço a meus filhos;
Leticia e Carlos Eduardo e à minha
esposa Claudia. Que o nosso amor nos
mantenha sempre unidos durante toda a
nossa vida.*

*Que todos os sons vindos do mar
sejam para dizer Amor e trazer
Felicidade e Paz.*

autor desconhecido

Agradecimentos

Ao Exmo. Sr. Contra-Almirante Pedro Fava atual Diretor do Instituto de Estudos do Mar Alte. Paulo Moreira e aos seus antecessores, Srs. Contra-Almirante Ricardo Sergio Paes Rios, Contra-Almirante Napoleão Bonaparte Gomes e Vice-Almirante (EN-RRm) Marcílio Boavista da Cunha pelo apoio durante o desenvolvimento deste estudo.

Ao Prof. Dr. Carlos Ramon Ruiz-Miranda, meu orientador e amigo, pela confiança em mim depositada desde o início deste trabalho.

Ao Prof. Manoel Marteleto, pela amizade, co-orientação e profissionalismo na transmissão de seus conhecimentos, indispensáveis para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Leandro Rabello Monteiro pela revisão, críticas e sugestões.

À Dra Eliane Gonzalez Rodriguez, Chefe do Departamento de Oceanografia do IEAPM, que com todo o seu espírito de luta sempre me incentivou na realização deste projeto de pesquisa.

Ao Ilmo. Sr. CMG (RRm) Frederico C. Montenegro Bentes, que muito conhece da pesquisa na Marinha do Brasil, pelo apoio e incentivo para o capacitação dos pesquisadores do IEAPM.

Ao Dr. Flávio da Costa Fernandes, Encarregado da Divisão de Biologia do IEAPM e amigo de longa data, pelo apoio irrestrito nos momentos mais difíceis da minha carreira.

Ao meu grande amigo, “irmão” e colega de muitos anos de trabalho MSc. Luiz Ricardo Gaelzer que me incentivou e ajudou a superar inúmeras dificuldades no decorrer deste trabalho.

Aos queridos colegas; Wanda, Jurema, Edison, Maria Helena, Beth, Robison, Ricardo Coutinho, Karen, Olga, Rogério e Tânia, que com tantos outros fortalecem o nosso Instituto.

Aos novos amigos da pesquisa como o Wanderson, o Cadú, o José Eduardo e o Gianmarco que sempre estiveram prontos a colaborar na execução deste trabalho.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), pela oportunidade de desenvolver o presente estudo.

Ao amigo e atual Vice-Reitor da UENF Prof. Dr. Carlos Eduardo Rezende pelo apoio e credibilidade a mim confiados.

A todos os professores do Laboratório de Ciências Ambientais da UENF, em especial à Dra. Ilana Rosental Zalmon, Dra. Ana Paula Di Benedetto, Dr. Carlos Eduardo Veiga de Carvalho e Dr. Ronaldo Novelli pelo conhecimento e incentivo transmitidos.

À minha adorada mãe Eny Barros Fagundes Netto, por ter dedicado toda a sua vida à minha formação moral e profissional, agradeço e dedico todo o meu carinho e o meu amor.

Aos meus padrinhos Joaquim Elpidio (Dinho) e Amy (Dinha) agradeço por todos os ensinamentos recebidos.

Aos meus filhos Letícia Pereira Fagundes Netto e Carlos Eduardo Pereira Fagundes Netto pelo amor que demonstram por mim, um beijo muito especial.

À minha esposa e companheira Claudia Pereira Fagundes Netto que sempre me incentivou, apoiou e ajudou a superar todos momentos difíceis na realização deste trabalho um beijo muito especial.

Em memória a meu pai Euler Murillo Fagundes Netto, que tão cedo nos deixou, pela força transmitida.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
LISTA DE ANEXOS.....	xvii
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
1.0. INTRODUÇÃO.....	01
2.0. JUSTIFICATIVA.....	08
3.0. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Captura e identificação dos organismos / peixes.....	11
3.2 Aclimação em tanques.....	12
3.3 Obtenção dos registros de sons.....	13
3.4 Obtenção de dados biológicos.....	16
3.5 Análise dos sons.....	18
3.5.1 Digitalização e análise.....	18
3.5.2 Análise no domínio do tempo.....	20
3.5.3 Análise no domínio da frequência.....	21
3.6 Análise dos dados.....	23
3.6.1 Tratamento estatístico.....	23
4.0. RESULTADOS.....	24
4.1 Descrição das espécies obtidas.....	24
4.2 Caracterização bioacústica das espécies.....	25
4.3 Variação intra-específica.....	48
4.4 Variação interespecífica.....	50
5.0. DISCUSSÃO.....	57
5.1 Aspectos metodológicos.....	58
5.2 Variação intra-específica.....	59
5.3 Variação interespecífica.....	62
6.0. SÍNTESE E CONCLUSÕES.....	67
7.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
8.0. ANEXOS.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Relação das famílias, gêneros e espécies com os códigos correspondentes e o número total de exemplares considerados.	24
Tabela II – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Dactylopterus volitans</i> (DAVO), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	26
Tabela III – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Prionotus punctatus</i> (PRPU), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	30
Tabela IV – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Carangoides crysos</i> (CACR), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	32
Tabela V – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Orthopristis ruber</i> (ORRU), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	35
Tabela VI – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Conodon nobilis</i> (CONO), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	38
Tabela VII – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Menticirrhus littoralis</i> (MELI), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	40
Tabela VIII – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Menticirrhus americanus</i> (MEAM), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	43

Tabela IX – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de <i>Umbrina coroides</i> (UMCO), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.	46
Tabela X – Correlações peso e variáveis acústicas entre os valores médios para cada uma das oito espécies. Destacada em vermelho a única correlação significativa $p < 0,004$	50
Tabela XI – Valores médios dos parâmetros bioacústicos medidos para cada uma das oito espécies estudadas.	51
Tabela XII - Resultados do teste F da análise de variância (monofatorial) de cada um dos parâmetros acústicos analisados considerando-se as oito (08) espécies estudadas.	51
Tabela XIII – Valores das correlações entre o peso total (Pt) médio de cada uma das oito espécies e as médias dos parâmetros acústicos. “r” refere-se ao valor do coeficiente de correlação obtido de uma regressão linear.	52
Tabela XIV – “Factor Loadings” da análise de componentes principais. Foram considerados para análises as variáveis com valores $> 0,53$	54

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação de uma combinação do espectro do ruído ambiente submarino, segundo os níveis e formas de espectro das prováveis fontes e mecanismos geradores. A legenda identifica os componentes do espectro e as setas horizontais mostram a banda de frequência aproximada de influência das várias fontes (adaptado de Wenz, 1962). 02
- Figura 2 - Mapa da região do Cabo Frio (RJ), destacando em Arraial do Cabo a localização do IEAPM ★ e a área da Raia Acústica □ (adaptado da carta náutica nº 1508 – DHN). 09
- Figura 3 - Vista geral do laboratório de registros e medições de ruídos biológicos. 11
- Figura 4 - Vista geral do laboratório de processamento e análise de sinais acústicos. 11
- Figura 5 - Vista geral do galpão da Unidade de Experimentos Biológicos (UEB) com os tanques de aclimatação em primeiro plano. 13
- Figura 6 - Esquema do arranjo dos instrumentos para as gravações de sons produzidos pelos peixes em tanques, com indicação dos seus respectivos limiares inferiores de detecção. 17
- Figura 7 - Detalhe dos equipamentos de gravação instalados no galpão da UEB. 17
- Figura 8 - Representação monoaural do sistema de interação entre o gravador cassete e os recursos do microcomputador, para gravação e reprodução de sons de fitas, CD's e de sons ou ruídos gerados com uso da placa de som. A representação estéreo real seria com o dobro de *inputs* e *outputs*. 19

- Figura 9 - Medidas dos sons no domínio do tempo; (a) envoltória do som com ilustração da duração e número de sub-pulsos; (b) ilustração da frequência de modulação na ampliação de um sub-pulso. 22
- Figura 10 - Ilustração dos parâmetros medidos no domínio da frequência. .. 22
- Figura 11 - Exemplar de *Dactylopterus volitans* (coió) mostrando a posição da bexiga natatória. 26
- Figura 12 - Som característico do *Dactylopterus volitans* (DAVO 3A): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente. 27
- Figura 13 - Exemplar de *Prionotus punctatus* (cabrinha) e sua bexiga natatória dupla, bastante desenvolvida. 29
- Figura 14 - Bexigas natatórias (duplas) e placas vomerianas de diferentes exemplares de *Prionotus punctatus* (cabrinha). 29
- Figura 15 - Som característico do *Prionotus punctatus* (PRPU 3): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente. 31
- Figura 16 - Exemplar de *Carangoides crysos* (xerelete) mostrando a posição da bexiga natatória. 32
- Figura 17 - Som característico do *Carangoides crysos* (CACR 4): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) segundo pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente. 33
- Figura 18 - Fêmea de *Orthopristis ruber* (corcoroca) mostrando a posição da bexiga simples. Abaixo vemos a gônada em início de maturação sexual. 34

Figura 19 - Som característico do <i>Orthopristis ruber</i> (ORRU 2): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.	36
Figura 20 - Exemplar de <i>Conodon nobilis</i> (roncador).	37
Figura 21 - Som característico do <i>Conodon nobilis</i> (CONO 7): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.	39
Figura 22 - Som característico do <i>Menticirrhus littoralis</i> (MELI 1): (a) sonograma de cinco pulsos, (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.	41
Figura 23 - Exemplar de <i>Menticirrhus americanus</i> (papa-terra), cuja bexiga natatória regride ao longo do crescimento.	43
Figura 24 - Som característico do <i>Menticirrhus americanus</i> (MEAM 6): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.	44
Figura 25 - Exemplar de <i>Umbrina coroides</i> (castanha-riscada), mostrando a posição da bexiga natatória simples e delgada.	46
Figura 26 - Som característico da <i>Umbrina coroides</i> (UMCO 9): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.	47
Figura 27 - Relações peso - comprimento para as oito espécies estudadas. .	49
Figura 28 - Diagrama resultante da análise fatorial, análise de componentes principais, mostrando a distribuição das espécies e das variáveis acústicas.	54

Figura 29 - Dendrograma representativo da análise de agrupamento das oito espécies estudadas, baseado nos valores médios dos parâmetros acústicos analisados, utilizando a distância Euclidiana com o método de Ward. Os códigos utilizados representam as duas primeiras letras do gênero e as duas primeiras da espécie (p. ex. MELI = Menticirrhus littoralis), os tipos de bexiga (0 = ausente, 1 = simples e 2 = dupla) e as famílias (SClaenidae, HAEmulidae, CARangidae, TRlglidae e DACTylopteridae), e o peso médio em gramas. ... 56

LISTA DE ABREVIATURAS

UENF.....	Universidade Estadual do Norte Fluminense
IEAPM.....	Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
CASOP.....	Centro de Apoio a Sistemas Operativos da Marinha
DHN.....	Diretoria de Hidrografia e Navegação
MB.....	Marinha do Brasil
UEB.....	Unidade de Experimentos Biológicos
Cs.....	Comprimento standard
Cp.....	Comprimento padrão
Pt.....	Peso total
DAVO.....	<i>Dactylopterus volitans</i>
PRPU.....	<i>Prionotus punctatus</i>
CACR.....	<i>Carangoides crysos</i>
ORRU.....	<i>Orthopristis ruber</i>
CONO.....	<i>Conodon nobilis</i>
MEAM.....	<i>Menticirrhus americanus</i>
MELI.....	<i>Menticirrhus littoralis</i>
UMCO.....	<i>Umbrina coroides</i>
ITC.....	International Transducer Corporation
HP.....	“Horse Power”
Cps.....	Ciclos por segundo
kcps.....	Kilociclos por segundo
Hz.....	Hertz
kHz.....	Kilohertz
MHz.....	Megahertz
dB.....	Decibel
dBV.....	dB ref. 1 Volt
ref. μ Pascal.....	Referente microPascal
FFT.....	“Fast Fourier Transformation”
t.....	Tempo/Período
Ap.....	Amplitude de pico
FM.....	Frequência de modulação
N.....	Número de sub-pulsos
Fp.....	Frequência principal
Fci.....	Frequência de corte inferior
Fcs.....	Frequência de corte superior
Fc.....	Frequência central
LB.....	Largura da Banda
DP.....	Desvio padrão
ACP.....	Análise de componentes principais
g.l.....	Graus de liberdade
“r”.....	Coeficiente de correlação
RMSP.....	Média da potência quadrática média
RMSMX.....	“Root Mean Squared” máximo
RMSMD.....	“Root Mean Squared” médio
RMSMI.....	“Root Mean Squared” mínimo
DSL.....	“Deep Scattering Layer”

LISTA DE ANEXOS

Anexo I – Correlações entre o peso médio das espécies e os valores médios para cada um dos diferentes parâmetros acústicos.	76
A – Correlação peso X t (duração do sinal).	76
B - Correlação peso X Ap (amplitude de pico).	76
C - Correlação peso X Fm (freqüência de modulação).	77
D - Correlação peso X N (número de sub-pulsos).	77
E - Correlação peso X Fp (freqüência principal).	78
F - Correlação peso X Fci (freqüência de corte inferior).	78
G - Correlação peso X Fcs (freqüência de corte superior).	79
H - Correlação peso X Fc (freqüência central).	79
I - Correlação peso X LB (largura de banda).	80
J - Correlação peso X RMSMI (“root mean squared” mínimo).	80
K - Correlação peso X RMSMX (“root mean squared” máximo).	81
L - Correlação peso X RMSMD (“root mean squared” médio).	81

Resumo

A avaliação dos sons biológicos produzidos em laboratório, por peixes marinhos da região do Cabo Frio, RJ, foi realizada a partir da captura, aclimatação, obtenção dos registros e análise dos sons. Os objetivos foram descrever os sons das espécies, verificar a variação intra-específica em parâmetros acústicos relacionada ao sexo, tamanho e peso, verificar possíveis variações interespecíficas e suas relações com as estruturas dos órgãos produtores de som e obter subsídios para a elaboração de um catálogo contendo os sons das espécies mais representativas da região. Registros de 64 indivíduos das famílias Dactylopteridae (10), Triglidae (4), Carangidae (8), Haemulidae (23) e Sciaenidae (19), foram considerados. A obtenção dos registros foi realizada individualmente a partir da contenção manual dos exemplares, permitindo a identificação do peixe produtor do sinal. O sistema de gravação foi constituído por um hidrofone, três pré-amplificadores, um filtro analógico, um osciloscópio e um gravador de fitas cassete. Na análise dos sons foi utilizado um microcomputador com placa de som operando em digitalização a 16-bits com amostragem de 5 kHz a 48 kHz. Foram feitas análises de envoltória e espectral, os sons foram digitalizados com o programa Cool Edit Pro utilizando os seguintes parâmetros: janelas Blackmann-Harris, FFT de 2.048 pontos, taxa de amostragem de 44.100 Hz, 16-bits monoaural. Os parâmetros acústicos calculados foram; duração do sinal, amplitude de pico, frequência principal, frequência de modulação, frequência de corte superior, largura de banda e “root mean squared” médio. Análises estatísticas revelaram que as correlações entre o peso e os parâmetros acústicos variaram intra e interespecificamente. Análises de variância monofatoriais mostraram diferenças altamente significativas para os parâmetros acústicos entre espécies e a Análise de Componentes Principais revelou valores altos para a duração do sinal e medidas de frequência. O dendrograma das espécies, baseado nos valores médios dos parâmetros acústicos sugeriu uma forte influência do órgão produtor de som e do peso na formação dos agrupamentos. Foi observada uma relação inversa entre o peso e a frequência principal e uma relação direta do peso com a duração do sinal. Não houve correlação entre o peso e a amplitude de pico tanto intra quanto inter especificamente.

Abstract

A study of the biological sounds produced in the laboratory by marine fishes from the Cabo Frio region, RJ (Brazil) was done through capture, acclimatation, sound registering and analysis. The main objectives of the study were to describe the sounds, to ascertain intraspecific variation on acoustic parameters related to sex, length and weight; to elucidate interspecific variation patterns and their relationship with sound production structures; and to elaborate a catalog showing the most representative fish sounds found in this region. Recordings from 64 individuals representing the families Dactylopteridae (10), Triglidae (04), Carangidae (08), Haemulidae (23) and Sciaenidae (19) were obtained. Fishes were hand-held individually during recording procedures. This method allows a precise identification of the sound-producing fish. The recording system was composed by a hydrophone, three pre-amplifiers, one analog filter, one oscilloscope and a cassette recorder. Sound analysis was conducted in a desktop computer with a sound board operating at 16-bit digitalization and sampling from 5kHz to 48 kHz. Envelope and spectral analysis were conducted using Cool Edit Pro software with the following parameters: Blackmann-Harris window, 2.048-point FFT, 44.100Hz sample rate, 16-bit monoaural. The main averaged acoustic parameters measured were sound duration, peak amplitude, main frequency, amplitude modulation frequency, superior cut-off frequency level, bandwidth and averaged root mean squared. Statistical correlation analyses showed that both intra and interspecific variation in acoustic measures was influenced by body weight. One way ANOVAS showed significant differences for the acoustic measures between species. Principal Component Analysis revealed that duration and frequency measures accounted for 66% of the variance. Cluster analysis suggests that fish body weight and the type of sound production organs were responsible for species grouping. A negative correlation was noted between body weight and frequency measures, and a positive correlation was found between body weight and sound duration. No correlation was observed between body weight and amplitude measures both within or between species.

1.0 INTRODUÇÃO

A acústica submarina é um ramo da ciência e tecnologia cujo conhecimento foi muito necessário durante as duas guerras mundiais. A partir daí, a geração de conhecimentos e a sua utilização prática têm evoluído conforme o desenvolvimento das atividades de exploração e exploração dos oceanos (Urlick, 1983). Dentre os estudos mais recentes, Etter (1996), descreve o papel dos oceanos como um meio acústico e relaciona as propriedades oceânicas ao comportamento da propagação acústica submarina, ao ruído e à reverberação. A oceanografia acústica, de acordo com os objetivos pretendidos, demonstra a necessidade de interação com outros quatro ramos da oceanografia; a física, a química, a geológica e a biológica.

Segundo vários autores, dentre eles, Tivolga (1960), Fish & Mowbray (1970), Urlick (1983), Stoll (1989) e Etter (1996), a acústica submarina apresenta um amplo campo para estudos. Dentre as diferentes linhas de pesquisas a bioacústica submarina, permite duas abordagens que se destacam conforme suas aplicações. A primeira, refere-se ao objetivo estratégico dos estudos, visando a determinação dos níveis de ruído biológico produzidos pelos diferentes grupos de organismos em relação ao ruído ambiente submarino, sendo empregada, por exemplo, em apoio às operações navais. Esta abordagem, implica na monitoração periódica dos níveis de ruído ambiente na região de estudo e na identificação das diferentes fontes geradoras, classificando-as basicamente como ruídos geográficos, ruídos biológicos e ruídos provenientes do tráfego de embarcações.

A figura 1, adaptada de Wenz (1962), apresenta uma combinação do espectro do ruído ambiente submarino, em várias faixas do espectro entre 1cps (1Hz) e 100kcps (100kHz). A contribuição do ruído biológico em relação ao ruído ambiente no oceano varia com a frequência, com o tempo e com o local, tornando difícil a sua generalização. Em alguns casos, a hora, a época do ano e os padrões oceanográficos podem ser determinados a partir de dados experimentais, ou de observações comportamentais e ambientais, se conhecidas, dos produtores de ruído.

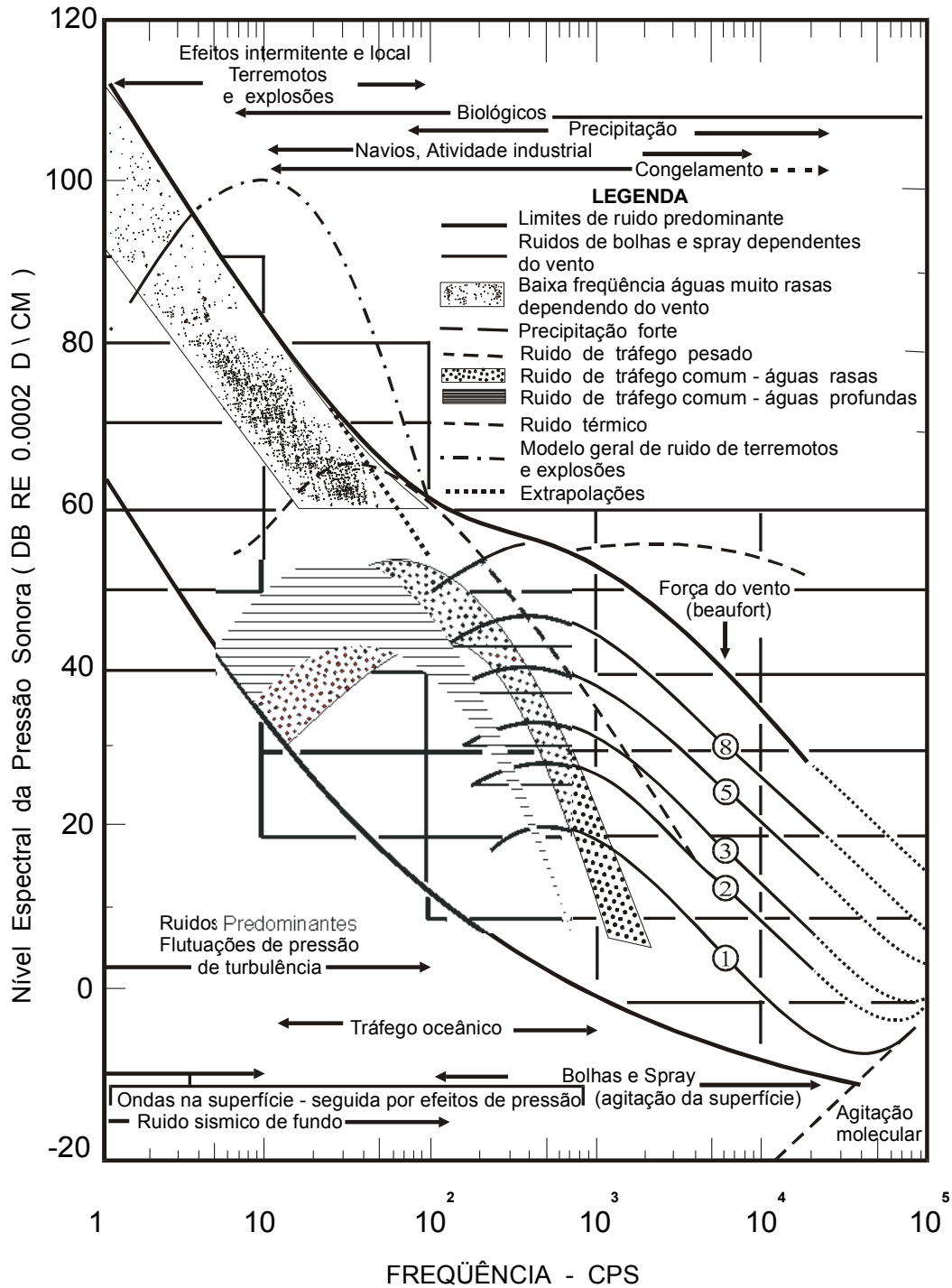


Figura 1. Representação de uma combinação do espectro do ruído ambiente submarino, segundo os níveis e formas de espectro das prováveis fontes e mecanismos geradores. A legenda identifica os componentes do espectro e as setas horizontais mostram a banda de freqüência aproximada de influência das várias fontes (adaptado de Wenz, 1962).

Segundo Wenz (1962), muitas espécies de organismos marinhos têm sido identificadas como produtoras de ruídos. O ruído de origem biológica vem sendo observado em frequências que variam de 10cps (10Hz) a mais de 100kcps.(100kHz) Os sons individuais são geralmente de curta duração, mas freqüentemente repetidos, e incluem uma variedade de tipos descritos como “gritos”, “latidos”, “roncos”, “gemidos”, “miados”, “trinados”, “assobios”, “batidas”, “estalos” e “estalidos”, dentre outros. Ruídos que apresentam a distinta natureza de sons biológicos são logo detectados no ruído ambiente, mas sua origem biológica nem sempre é conhecida. Segundo Fish & Mowbray (1970), uma precisa identificação de um produtor de som, não visto, e a correta utilização de um termo para descrever o som por ele emitido, esbarra em palavras descritivas diferentes que podem ser aplicadas por vários ouvintes ao mesmo som.

Quanto aos aspectos biológicos, os organismos marinhos podem ser agrupados em quatro grandes categorias: o plâncton, o nécton, o bentos e as algas (Fish & Mowbray, 1970; Etter, 1996). Estes organismos podem afetar o som submarino de várias maneiras: através da produção de ruídos, da atenuação, e do espalhamento dos sinais, da geração de alvos falsos e da bioincrustação de transdutores sonar.

Alguns organismos, muitos deles encontrados nas regiões de plataformas continentais, como por exemplo, camarões-estalo (Alpheidae), baleias, golfinhos e várias espécies de peixes como roncadores (Haemulidae) e peixes-tambor (Sciaenidae), produzem sons que contribuem para o aumento dos níveis de ruído ambiente. Os tipos de pulso que mudam em taxas de repetição, às vezes muito rápido, foram identificados como sons de ecolocação de golfinhos. Pulsos sonoros repetitivos também foram atribuídos a baleias. Ruídos biológicos contínuos são encontrados freqüentemente em algumas áreas quando os sons de vários indivíduos geram uma seqüência, como o estalo dos camarões-estalo e o coro dos peixes roncadores.

Organismos que podem causar atenuação são, por exemplo, cardumes de peixes, densas concentrações de plâncton e algas que flutuam à deriva. Alvos falsos, são freqüentemente detectados por sonares ativos de navios a partir de baleias, grandes cardumes de peixes ou golfinhos. Apesar de, diretamente, os organismos incrustantes tais como as cracas, não afetarem o

som, indiretamente eles podem contribuir com um aumento no ruído no casco de navios e submarinos devido à geração de turbulência durante o seu deslocamento. Este efeito contribui para o que é conhecido como ruído próprio da embarcação (Etter, 1996).

O mesmo autor ressalta ainda que: o impacto mais notável de organismos marinhos nos sonares ativos, particularmente naqueles operando em frequências próximas a 10kHz, seja proveniente da camada de dispersão profunda (deep scattering layer - DSL). A “DSL” é formada por uma densa acumulação de organismos marinhos abaixo da superfície. A forte natureza do espalhamento é atribuída primeiramente a peixes, com bexigas natatórias, e outros animais marinhos com estruturas flutuadoras cheias de gás embora o plâncton e o nécton também estejam presentes. A “DSL” é encontrada tipicamente em regiões tropicais e migra verticalmente, encontrando-se próxima da superfície à noite e em profundidades de cerca de 1000m durante o dia.

Uma segunda abordagem da bioacústica visa relacionar os sons biológicos produzidos a aspectos comportamentais e à comunicação animal, onde as relações intra e interespecíficas são avaliadas levando-se em consideração, por exemplo, o tipo de estrutura empregada na produção de som.

Os sons produzidos por organismos marinhos são muitos e variados, e têm sido extensivamente estudados (Urlick, 1983). Embora os diferentes sons sejam extremamente diversos, variando desde os utilizados para a comunicação e na ecolocação de mamíferos marinhos, ao barulho de “fritar” produzido por um banco de camarões, apenas três grupos de animais marinhos são mais conhecidos por produzirem sons, sendo representados por alguns tipos de crustáceos, certos peixes e os mamíferos marinhos. Entre os crustáceos, o mais conhecido é o camarão-estalo que ocorre em águas rasas de regiões tropicais e subtropicais, junto a fundos rochosos, coralíneos, calcáreos ou de algas que servem de esconderijo para estes animais. Estes camarões fazem barulho, estalando suas pinças como o estalar dos dedos e com isto produzem um largo espectro de ruído entre 500Hz e 20kHz. Entre os peixes, os “roncadores” (Haemulidae) da baía de Chesapeake e de outros locais da costa leste americana, são mencionados por emitirem séries

intermitentes de “batidas”, como as de um pica-pau, através de movimentos de contração e distensão de músculos ligados à sua bexiga natatória que funciona como um órgão de ressonância. Dentre os cetáceos, as baleias e os golfinhos produzem ruído soprando o ar através da laringe. Os golfinhos, por exemplo, produzem frequências moduladas de assobios que estão associadas a certos padrões comportamentais das espécies (Figueiredo, 2000). Muitos sons peculiares descritos como “chilros”, “trinados”, “grunhidos”, “roncos”, “uivos” e “latidos” entre outros, escutados no mar, são de origem biológica (Urlick, 1983).

Apesar dos sons dos organismos marinhos serem muito estudados por biólogos marinhos, poucos dados quantitativos estão disponíveis para construir o espectro e conhecer os seus níveis em ambientes naturais. A maior parte dos dados disponíveis datam da Segunda Guerra Mundial, quando foram realizadas medidas de uma variedade de sons biológicos em diferentes regiões. Inicialmente, a situação das investigações dos sons dos peixes era apenas descritiva. Kellogg, 1953 (apud Tavalga, 1960) compilou uma bibliografia preliminar muito útil, inclusive com os trabalhos das instituições de pesquisa naval que naquela época eram sigilosos. Fish e colaboradores iniciaram em 1952 um trabalho de catalogação de sons biológicos submarinos identificando os organismos produtores de ruídos, que só foi concluído e publicado em 1970, onde sempre que possível o significado dos sons também foi investigado (Fish & Mowbray, 1970).

De acordo com Tavalga (1960) as duas principais questões que estimulam os estudos biológicos são: Como os peixes produzem os sons e quais são as funções dos sons e suas relações com o comportamento deles?

Estudos anatômicos realizados por Tower (1908), Burkenroad (1931) e outros, forneceram uma resposta parcial para a primeira questão. As descrições dos mecanismos produtores de som por Fish (1954) e Harder (1975), por exemplo, tornaram claro que a morfologia dos órgãos sônicos varia grandemente entre as diferentes famílias de peixes teleósteos.

Entretanto, as respostas para a segunda questão são na maior parte altamente especulativas e poucos trabalhos experimentais foram feitos nessa área. Muitas espécies de peixes capazes de produzir som, o fazem quando estão fora d'água ou quando contidas manualmente ou ainda quando

submetidas a choques elétricos, tornando questionável se todas as espécies potencialmente capazes de emitir sons o farão, sob circunstâncias naturais.

Se a comunicação é definida amplamente, então qualquer movimento do meio aquático iniciado por um comportamento individual é, no mínimo, potencialmente de valor comunicativo. O som é freqüentemente considerado arbitrariamente como aquela faixa de freqüência que corresponde ao espectro de audição do ouvido humano (Tavolga, 1960). Segundo Gerges (2000), esta faixa de freqüência varia de 20Hz a 20.000Hz.

O ruído biológico proveniente da produção de sons pelos organismos (aquáticos ou terrestres) desempenha um importante papel na comunicação (intra e interespecífica), associado ao comportamento apresentado, sendo objeto de estudos bioacústicos e ecológicos. Segundo Hauser (1997), a diversidade de sistemas de comunicação varia de acordo com as condições ecológicas para a comunicação. Sinais auditivos e sinalizações (dicas) são prontamente percebidos por receptores estranhos, ambos a nível intra e interespecíficos.

Enquanto é sabido que algumas espécies de peixes produzem ruídos, poucos esforços têm sido dedicados para estudar as variações comportamentais e geográficas na produção de som desse grupo de vertebrados (Mann & Lobel, 1998). Estudos voltados para a associação dos sons produzidos por peixes, em ambiente natural, durante diferentes situações comportamentais foram descritos por Mann & Lobel (1995). A maioria destes estudos refere-se a algumas poucas espécies de peixes marinhos que residem em ambientes coralíneos costeiros. Mann *et al.* (1997), descreveram os sons produzidos por congros (Ophidiidae), registrados em laboratório, durante a corte e a desova. Os autores ressaltam que existem muitas outras espécies de peixes com músculos produtores de som, cujos sons nunca foram gravados, incluindo outros representantes da família Ophidiidae e alguns Gadidae que vivem em grandes profundidades, tornando difícil a sua captura. O levantamento dos sons produzidos, em laboratório, por peixes do Norte do Atlântico (Fish & Mowbray, 1970) representa um importante arquivo comparativo, para os registros obtidos no presente estudo.

De acordo com o estudo de Chao (1978), para a classificação de peixes da família Sciaenidae do Atlântico Ocidental, as relações filogenéticas de todos

os 21 gêneros dessa região foram estabelecidas a partir da morfologia das bexigas natatórias, dos otólitos e da morfologia externa do corpo. O estudo apresenta os diferentes tipos de bexiga e ressalta a existência de músculos de ressonância associados a ela. As contrações desses músculos produzem vibrações nas paredes da bexiga produzindo sons. A produção de sons pelos peixes dessa família pode funcionar como sinais de reconhecimento associados à desova, alimentação e/ou comportamento agressivo. O mesmo autor ressalta ainda que os sons produzidos pelas diferentes espécies também apresentam diferentes faixas de frequência e que isto pode ser devido às diferentes morfologias das bexigas.

O presente estudo descreve os sons produzidos por algumas espécies de peixes em laboratório, a partir de contenção manual, destacando-se os representantes das famílias Dactylopteridae, Triglidae, Carangidae, Haemulidae e Sciaenidae.

Os objetivos principais deste estudo são:

- 1) Realizar a descrição dos sons biológicos produzidos por peixes marinhos da região do Cabo Frio, a partir de estudos realizados em laboratório.
- 2) Verificar a variação intra-específica em parâmetros acústicos relacionada ao tamanho e ao peso.
- 3) Verificar possíveis variações interespecíficas e suas relações com as principais estruturas produtoras de som.
- 4) Obter subsídios para a elaboração, no futuro, de um catálogo contendo os sons produzidos pelas espécies mais frequentes e representativas da região.

Como questão investigada, procuramos verificar se as características biológicas que explicam as variações intra-específicas são as mesmas que explicam as variações interespecíficas.

AS PERGUNTAS INVESTIGADAS FORAM:

- 1) Haveria associação entre o sinal acústico produzido e o grupo filogenético?
- 2) Haveria uma associação entre a estrutura do sinal acústico e os diferentes mecanismos de produção de sons?
- 3) Haveria correlação entre o tamanho do corpo e a estrutura do sinal acústico?

2.0 JUSTIFICATIVA

A região do Cabo Frio (Figura 2) é caracterizada pela ocorrência do fenômeno da ressurgência, responsável pela grande diversidade da flora e da fauna marinhas ali encontradas, sendo objeto de inúmeros estudos biológicos e oceanográficos (Fagundes Netto & Gaelzer, 1991). Em Arraial do Cabo (23°S e 42°W) encontram-se as instalações do IEAPM, uma instituição de pesquisas militar, cuja missão prevê um melhor conhecimento do meio ambiente marinho em apoio às operações navais. Convém ressaltar ainda, a existência na região de uma área restrita à navegação denominada Raia Acústica, onde são realizadas, pelo Departamento de Medidas Acústicas e Eletromagnéticas do Centro de Apoio a Sistemas Operativos da Marinha (CASOP) medições para a obtenção das “Assinaturas Acústicas” dos navios da Marinha do Brasil.

Sob o ponto de vista prático, os resultados provenientes das análises dos registros dos sons produzidos pelas diferentes espécies de peixes da região são necessários para a caracterização bioacústica dos organismos e fornecerão subsídios para um melhor conhecimento do ruído ambiente subaquático, além de material para o treinamento dos operadores sonar dos submarinos.

Biologicamente, o conhecimento do som produzido por um peixe pode ser empregado em estudos de comportamento e na identificação de cardumes.

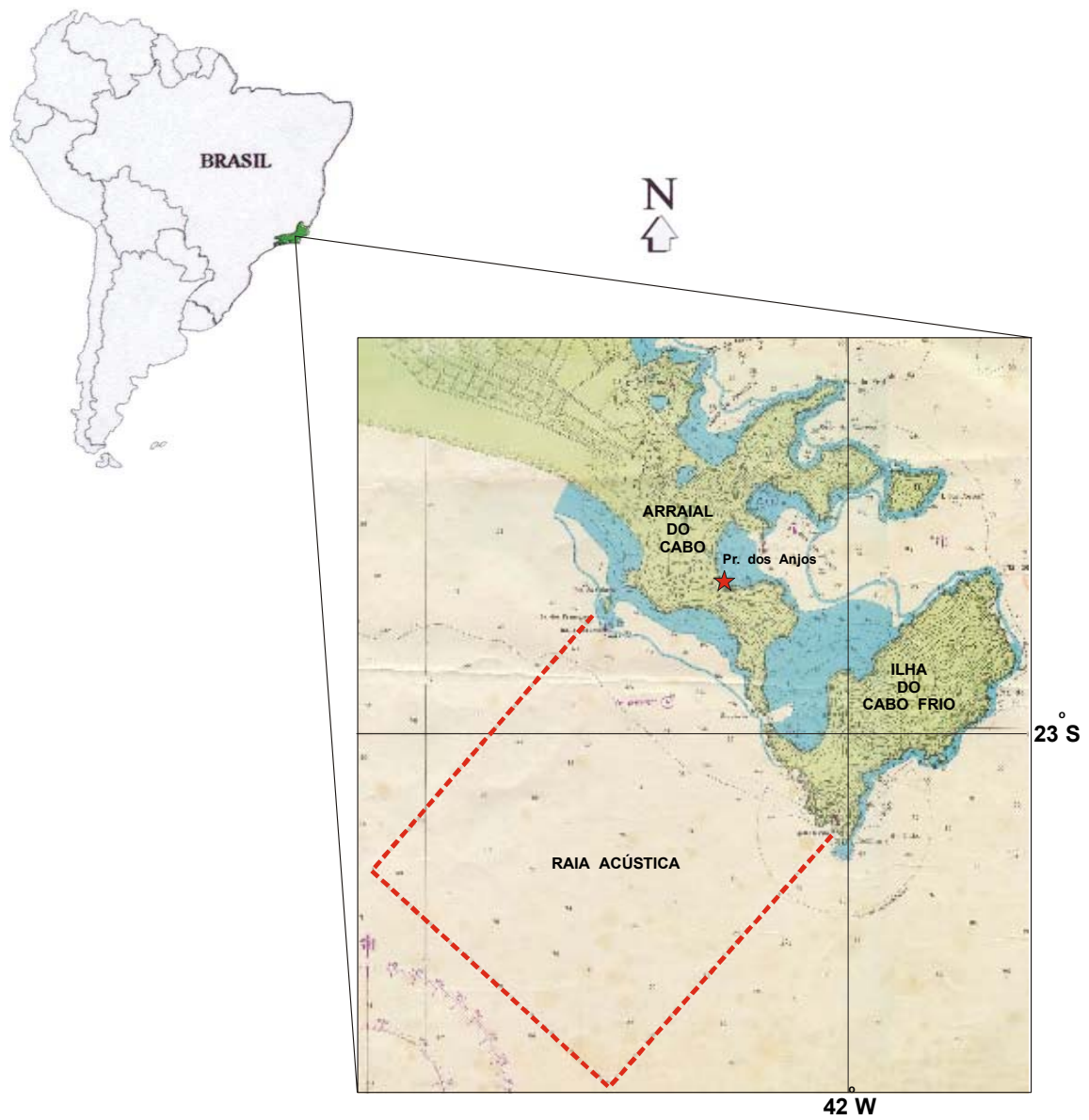


Figura 2. Mapa da região do Cabo Frio (RJ), destacando em Arraial do Cabo a localização do IEAPM ★ e a área da Raia Acústica □ (adaptado da carta náutica nº 1508 – DHN).

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no período de março de 1998 a junho de 2000, a partir de atividades desenvolvidas no campo e nos laboratórios do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). O IEAPM possui dois laboratórios onde foram desenvolvidas as atividades de bioacústica. O laboratório de registros e medições de ruídos biológicos, localizado na unidade de experimentos biológicos (UEB), onde estão localizados os tanques de aclimação para os peixes coletados e onde foram realizados os registros dos sons produzidos (Figura 3) e o laboratório de processamento e análise de sinais acústicos, onde os registros foram tratados, instalado no prédio da Divisão de Biologia (Figura 4). As análises também foram realizadas na UENF, utilizando equipamentos de análise acústica pertencentes ao laboratório de Ciências Ambientais.

As principais etapas do estudo foram: captura e identificação dos organismos; aclimação em tanques; obtenção dos registros; obtenção de dados biológicos e análise dos sons produzidos em laboratório, a partir de contenção manual, por representantes de diferentes espécies de peixes marinhos da região do Cabo Frio.

3.1 Captura e identificação dos organismos / peixes

A captura dos organismos foi realizada na Praia dos Anjos, por pescadores artesanais contratados, através de pesca com redes de arrasto de praia. Esta arte de pesca, tradicional na região, utiliza uma canoa a remo com oito (08) metros de comprimento, tripulada por cinco (05) pescadores que executam a operação lançando uma rede com 200 metros de comprimento por dez de altura e malha de 35mm entre nós opostos, além da zona de arrebenção. Logo após ao cerco a rede é arrastada para a praia, através de cabos de polietileno atados às suas extremidades.

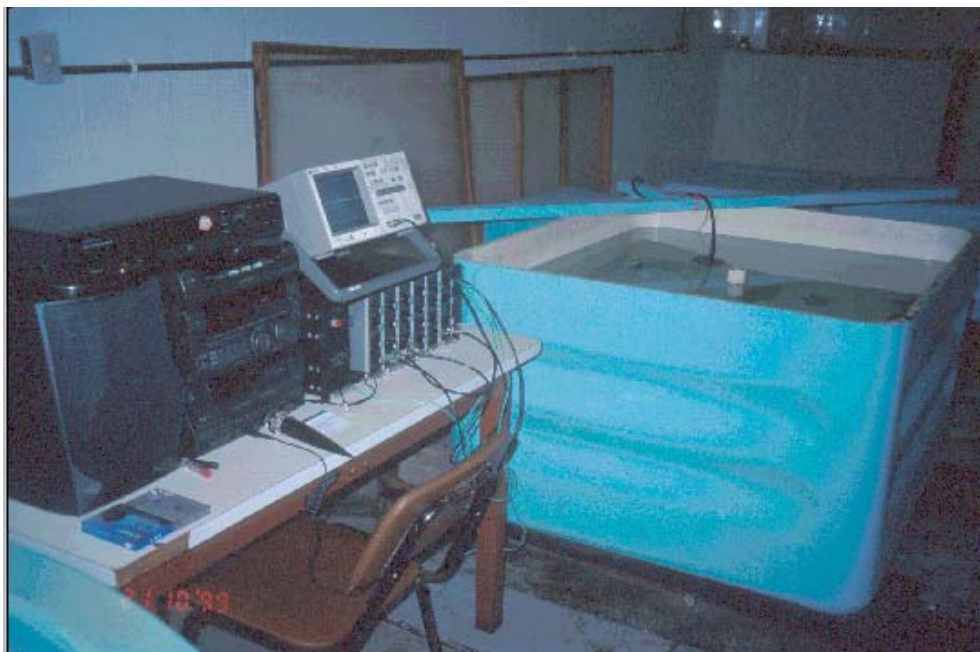


Figura 3. Vista geral do laboratório de registros e medições de ruídos biológicos.



Figura 4. Vista geral do laboratório de processamento e análise de sinais acústicos.

As capturas foram bastante diversificadas, entretanto, apenas os peixes em melhores condições físicas, isto é, menos machucados foram selecionados, colocados em caixas de isopor contendo água do mar e transportados por cerca de 200 metros até os tanques localizados no galpão da unidade de experimentos biológicos (UEB). Todas as operações de pesca foram realizadas durante o dia conforme a necessidade de obtenção de novos indivíduos, sendo que a proximidade do local de captura (Praia dos Anjos) às instalações do IEAPM permitiu que os peixes selecionados fossem rapidamente transferidos para os tanques de aclimatação.

A identificação dos peixes coletados foi realizada segundo Figueiredo & Menezes (1978 e 1980), Fischer (1978), Menezes & Figueiredo (1980 e 1985) e Nelson (1984).

3.2 Aclimatação em tanques

Durante a etapa de aclimatação, peixes de diferentes espécies foram mantidos em dois tanques circulares de fibra de vidro, com dois metros de diâmetro e 2.500 litros de capacidade, pintados de preto internamente e abastecidos por um sistema de circulação de água do mar aberto, com uma vazão média de 300 litros/hora e aeração constante, produzida por um compressor elétrico Wayne-Wetzel de 5HP. Uma cobertura feita com rede de malha fina (10 mm) foi utilizada para impedir que os peixes ao saltar caíssem fora dos tanques (Figura 5).

As densidades de estocagem iniciais variaram de acordo com o tamanho dos indivíduos capturados e o hábito (bentônico, demersal ou pelágico) das espécies. As densidades foram mais elevadas (até 15 peixes/m³) logo após as capturas diminuindo durante esta fase devido à mortalidade. Os peixes foram alimentados diariamente e os tanques observados para a eventual retirada de peixes mortos, limpeza do fundo e verificação do funcionamento dos sistemas de aeração e circulação de água salgada.

O tempo de aclimatação das espécies variou conforme a reação dos indivíduos após o “stress” da captura, considerando-se aclimatados os peixes

que não apresentaram um comportamento de fuga ao serem observados pelos pesquisadores junto aos tanques, antes do início das gravações.



Figura 5. Vista geral do galpão da Unidade de Experimentos Biológicos (UEB) com os tanques de aclimação em primeiro plano.

3.3 Obtenção dos registros de som

O sensor hidroacústico, hidrofone, converte os sons em sinais elétricos, com amplitudes proporcionais. O hidrofone utilizado (ITC-1001 S/N 275 da International Transducers Corporation), tem resposta de frequência, entre 10 Hz e 20 kHz dentro de ± 1 dB com uma sensibilidade omnidirecional de -199 dB ref. 1 Volt/ μ Pa de pressão.

Os preamplificadores possuem ganhos variáveis de -10 dBV a 60 dBV, controlados por chaves de passo de 1 em 1 dBV. Nas entradas (*inputs*) eles têm filtros corta-baixas-freqüências (*roll-off*), com freqüências de corte que podem ser de 1, 10, 100, 1000, 10000 Hz.. Com o filtro de entrada na posição 10 Hz, preferencialmente usada neste trabalho, a curva de resposta cobre a faixa de 20 Hz a 100 kHz. Conseqüentemente, o conjunto todo composto de

hidrofone mais preamplificadores e filtros, permite uma resposta em frequência abrangendo a faixa de áudio que vai de 20 Hz a 20 kHz. Estes dados de especificação foram todos confirmados por calibrações em tanques de teste ou por sinais de referências (Figura 6).

O gravador cassete foi o equipamento mais desconhecido dentre todos do esquema por não ter as características técnicas fornecidas em detalhes pelo fabricante. Sendo assim, foi necessário levantar todas as suas características de níveis de ruído próprio, faixa dinâmica e resposta em frequência. Primeiramente, testou-se a própria placa de som para se ter certeza de seu bom funcionamento. Para confirmá-la, foi gerado um ruído branco entre 10 Hz e 20 kHz, digitalizado, lido e analisado espectralmente. Como resultado obteve-se uma resposta plana entre 20 Hz e 20 kHz, concordante com as especificações técnicas do fabricante da placa. Dessa forma podia-se ter confiança de que a placa de som não interferiria negativamente nos testes posteriores.

Em seguida, foram realizados testes de “ruído próprio” (ou ruído de fundo) do sistema de reprodução de sons composto das fitas cassete virgens enquanto reproduzidas no gravador. As fitas eram de óxido de cromo, para maior resistência à umidade. O sinal decorrente foi analisado espectralmente no micro computador. Nesse caso pretendia-se também escolher a melhor marca de fita cassete comercial para ser usada. Foram testadas dessa forma 5 fitas de cada uma das 6 marcas comerciais adquiridas, totalizando assim 30 testes do sistema com fitas virgens. Duas marcas de fitas tiveram um desempenho satisfatório, isto é, entre 1 kHz e 20 kHz, o ruído próprio se manteve em um nível médio de cerca de -76 dBV. Porém abaixo de 1 kHz o nível de ruído próprio aumentava, chegando a -54 dBV em 60 Hz. Na realidade, estes níveis definem os limites inferiores de detecção do sistema aqui considerado, ou por outra, qualquer sinal, para ser convenientemente gravado nessas fitas e nesse gravador, deveria ter um nível de amplitude ao menos uns 6 dBV acima desses patamares medidos de ruído próprio (Marteleto com. pess.).

Em geral, os ruídos de baixas frequências são muito comuns em gravadores do tipo cassete, devido aos materiais de menor qualidade utilizados, à pequena largura (3,8mm) e espessura da fita, às imperfeições

mecânicas dos carretéis (falta de circularidade, planicidade, etc.) e à induções circuitais dentro do gravador (falta de blindagens).

Utilizando-se procedimentos similares procedeu-se então ao levantamento da “resposta em frequência” deste mesmo sistema, fazendo-se uso das mesmas 5 fitas de cada uma das 6 marcas de fitas adquiridas. Dessa vez, gerou-se com a placa de som um ruído branco entre 20 Hz e 22 kHz, com amplitude da ordem de 25 dBV acima dos limiares de ruído determinados anteriormente. Esse ruído branco era enviado e gravado nas fitas K-7, em seguida ele era reproduzido e analisado espectralmente para se verificar como o sistema fita/gravador seria capaz de responder no caso de cada fita. O melhor resultado correspondeu a duas marcas de fitas de praticamente mesmo desempenho, optando-se pela marca Basf CR II de 60 minutos. A resposta em frequência resultou plana apenas até cerca de 18 kHz a partir de onde ela começava a decair numa taxa de cerca de 4 dBV/kHz. Muito raramente os sons de peixes têm componentes de frequências além de 17 kHz. No entanto, elas podem ocorrer, e isso gera a necessidade de se usar gravadores digitais profissionais sempre que possível, cujas características de ruído próprio e resposta em frequência sejam compatíveis com gravações de boa qualidade técnica na faixa de áudio.

Feitos esses levantamentos, os registros dos sons produzidos pelas espécies em laboratório, foram realizados de acordo com o esquema do sistema apresentado na figura 6. Este sistema de gravação, foi constituído pelo hidrofone ITC 1001 S/N 275; um conjunto de três preamplificadores ITHACO mod. 453, sendo dois deles para amplificar os sinais a serem gravados com ganhos de 20 a 30 dBV e cortar frequências abaixo de 10 Hz e um terceiro para amplificar ainda mais para monitoração nos alto-falantes; um filtro analógico ITHACO mod. 4113 como passa-baixas (anti-aliasing), cortando acima de 22 kHz; um osciloscópio HEWLETT PACKARD mod. 54600A 100MHz no monitoramento dos sinais; e um gravador de fitas cassete Sony modelo FH-G88V com microfone externo (Figura 7).

Durante as gravações, o hidrofone e um ou mais exemplares de uma mesma espécie eram transferidos para um tanque com 1.000 litros de capacidade, adjacente aos tanques de aclimatação, e monitorados por cerca de 04 horas quanto à produção de sons gerados espontaneamente. Em

seguida, os exemplares eram observados sob diferentes situações como, durante a alimentação, sendo contidos manualmente quando seguros firmemente com as mãos sem que o corpo fosse comprimido e sendo submetidos a estímulos mecânicos produzidos diretamente sobre as estruturas produtoras de sons como por exemplo, raspando-se com a ponta de uma pinça as placas vomerianas. Embora estes procedimentos tenham permitido a obtenção de inúmeros registros identificáveis, nesse trabalho, o interesse e a necessidade recaíram sobre o estudo dos sons gravados a partir das condições de contenção manual já que muitas espécies não vocalizaram espontaneamente quando confinadas em laboratório. A contenção manual permitiu a contração muscular voluntária o que refletiu na ação do órgão, e não um artifício do estudo.

3.4 Obtenção de dados biológicos

Ao final de cada gravação individual, os peixes foram marcados nas nadadeiras e sacrificados para a obtenção dos dados biológicos.

Um ictiômetro foi utilizado para medir o comprimento padrão (Cp) em milímetros, medida que vai da ponta do focinho à base da nadadeira caudal do peixe (Figueiredo & Menezes, 1978). Uma balança de precisão digital foi utilizada para obter o peso total (Pt) individual em gramas. Em seguida, os peixes foram eviscerados para a determinação do sexo através da observação macroscópica das gônadas; as bexigas natatórias e as placas vomerianas foram dissecadas e fixadas em formol a 10%.

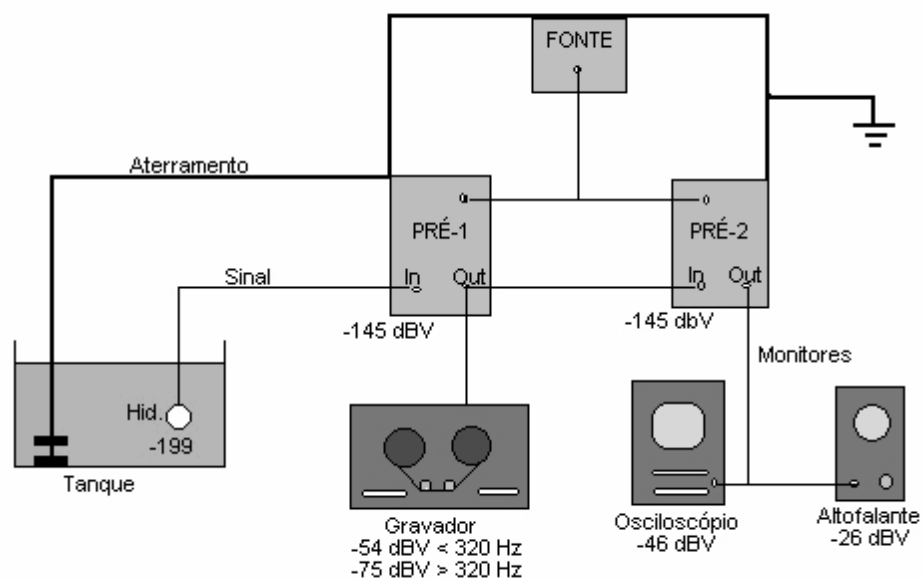


Figura 6. Esquema do arranjo dos instrumentos para as gravações de sons produzidos pelos peixes em tanques, com indicação dos seus respectivos limiares inferiores de detecção.



Figura 7. Detalhe dos equipamentos de gravação instalados no galpão da UEB.

As gônadas, quando possível, foram classificadas segundo Vazzoler (1981) em quatro estádios de desenvolvimento (imatura, em maturação, madura e esvaziada) e as bexigas foram observadas quanto à morfologia externa sendo classificadas em simples (1), dupla (2) ou ausentes (0). Os dados foram registrados em planilhas de biometria.

3.5 Análise dos sons

No laboratório de análises de sinais acústicos, instalado no prédio da Divisão de Biologia, as fitas cassete contendo as gravações, registros dos sons produzidos, foram processadas e analisadas de acordo com os procedimentos representados na figura 8.

3.5.1 Digitalização e análise

Foi utilizado um microcomputador Pentium 166 com placa de som Creative Labs Sound Blaster 64 AWE (resposta em frequência de 15 Hz a 20.000 Hz entre os pontos de -3dB), operando em digitalização a 16-bits. com amostragem de 5 kHz a 48 kHz.. Estas características, em composição com as especificações técnicas dos equipamentos de reprodução dos sons e do editor de som, permitia uma resposta em frequência geral de 20 Hz a 18.000 Hz.

Os sons gravados em fitas cassete foram digitalizados com o programa Cool Edit Pro (versão 1.12, 1997) no formato “.wav” não comprimido. Usou-se janelas Blackmann-Harris, com FFT de 2048, taxa de amostragem de 44.100 Hz, 16-bit monoaural. Posteriormente, os registros passaram por um tratamento de filtragem digital, em bandas determinadas pela necessidade, para serem retirados os ruídos acústicos ambientais indesejáveis, persistentes, estacionários, ou reconhecidamente não pertencentes ao som animal estudado. Somente então o sinal limpo era duplicado, e a partir daí, feitas as suas representações e estudos no domínio do tempo (análise de envoltória) e no domínio da frequência (análise espectral) (Marteleto & Fagundes Netto, 2000). Após a digitalização e a filtragem, de cada um dos registros obtidos,

para cada peixe, eram selecionados de cinco (05) a dez (10) pulsos para servirem às análises.

A maioria dos sons estimulados produzidos pelos peixes é de natureza pulsante. Por isso cada som individual será chamado aqui de pulso, ou também de som ou sinal, que por sua vez poderá conter outros “sub-pulsos” internos à sua duração. Dada à natureza variada desses sons, preferiu-se estabelecer parâmetros conceituais a serem medidos, de acordo com a nomenclatura convencional da engenharia acústica (Gerges, 2000), para se ter informações importantes de cada um deles e de modo comparável.

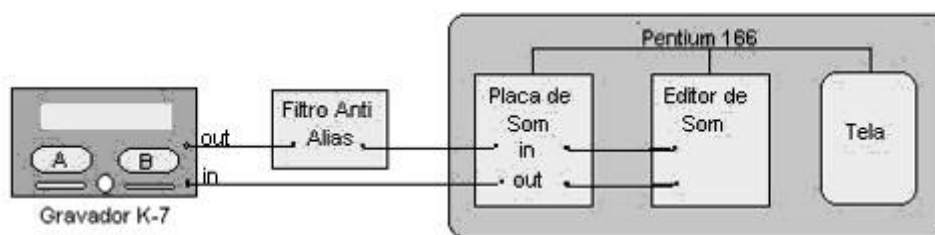


Figura 8. Representação monoaural do sistema de interação entre o gravador cassete e os recursos do microcomputador, para gravação e reprodução de sons de fitas, CD's e de sons ou ruídos gerados com uso da placa de som. A representação estéreo real seria com o dobro de entradas e saídas.

3.5.2 Análise no domínio do tempo

Foram realizadas várias medidas dos pulsos no domínio do tempo (análise de envoltória) descritas a seguir (Figuras 9 a e b).

a) duração do pulso (t): medida do tempo de duração de um sinal sonoro completo representada em milisegundos (ms);

b) amplitude de pico (Ap): maior amplitude alcançada pela oscilação do sinal acústico durante a sua duração, corrigida pela sensibilidade acústica do hidrofone e pelas amplificações aplicadas ao sinal durante a gravação, medida em dB referente a 1 microPascal de pressão.

c) freqüência de modulação em amplitude (Fm): freqüência discreta e estável que modula as oscilações do pulso sonoro em toda a sua duração, medida em Hertz (Hz), calculada a partir do numero médio de ciclos completos repetidos num determinado intervalo de tempo.

d) número de sub-pulsos por pulso (N): número de sub-pulsos contidos num pulso completo, contado ao longo de toda a sua duração, medido em pulsos com oscilações de variação sub-pulsada.

e) média da raiz quadrada da potência quadrática média (average root mean squared power, RMSP); representa na prática a potência média de todo um pulso selecionado calculada a partir da média das potências médias quadráticas - máximas e mínimas - do pulso sonoro, cada uma tomada numa janela de tempo de 50 ms. É uma medida do “loudness” ou audibilidade do som, dada em dB referente a 1 microPascal.

3.5.3 Análise no domínio da frequência

A partir dos espectrogramas ou sonogramas obtidos, foram realizadas várias medidas dos pulsos no domínio da frequência (análise espectral) descritas a seguir (Figura 10).

a) frequência de corte inferior (Fci): valor de frequência em Hertz, medido na subida da curva do espectro, indo-se das frequências mais baixas para as mais altas, no ponto em que a amplitude (em dB) tem valor igual a -24 dB em relação à amplitude máxima do espectro (isto é, em relação à amplitude da frequência principal, F_p , descrita abaixo);

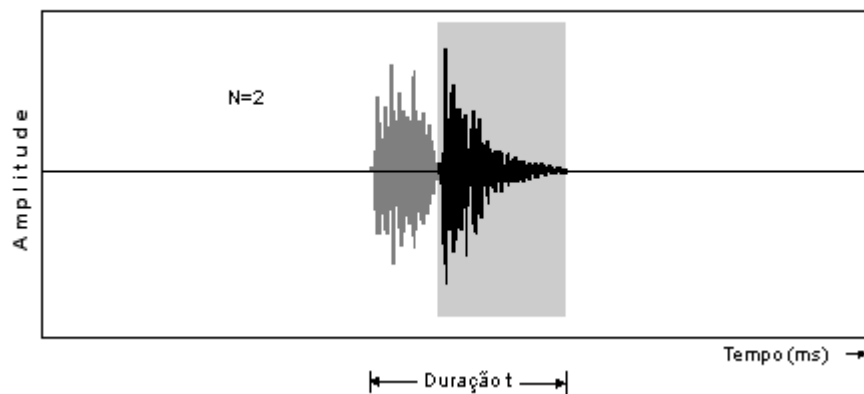
b) frequência de corte superior (Fcs): valor de frequência em Hertz medido na descida da curva do espectro, no ponto em que a amplitude (em dB) tem valor igual a -24 dB em relação à amplitude máxima do espectro;

c) largura da banda (LB): faixa de frequência em Hertz onde se concentra a maior parte da energia do sinal, definida pela diferença entre a frequência de corte superior (Fcs) e a frequência de corte inferior (Fci);

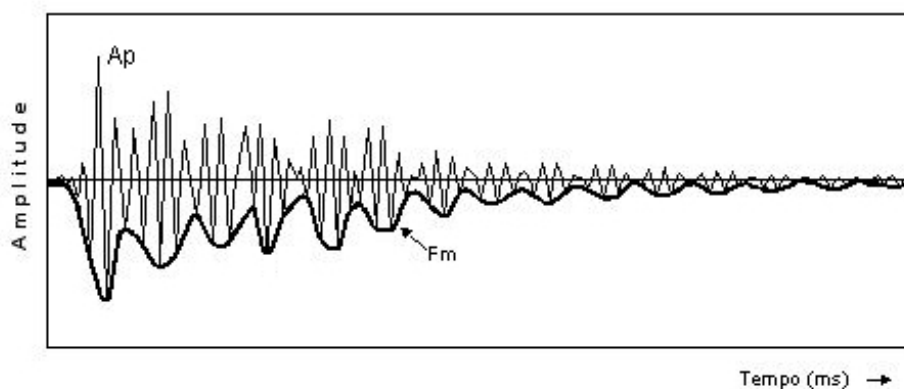
d) frequência central da banda (Fc): valor da frequência média em Hertz entre a frequência de corte superior (Fcs) e a frequência de corte inferior (Fci);

e) frequência principal ou mais proeminente (F_p): valor da frequência em Hertz que compõe o espectro com maior amplitude.

A interpretação dos registros procurou relacionar os tipos de sons produzidos às características intra e interespecíficas dos peixes examinados. Esta atividade também foi executada nas dependências do laboratório de Ciências Ambientais da UENF.



(a)



(b)

Figura 9. Medidas dos sons no domínio do tempo; (a) envoltória do som com ilustração da duração e número de sub-pulsos; (b) ilustração da freqüência de modulação na ampliação de um sub-pulso.

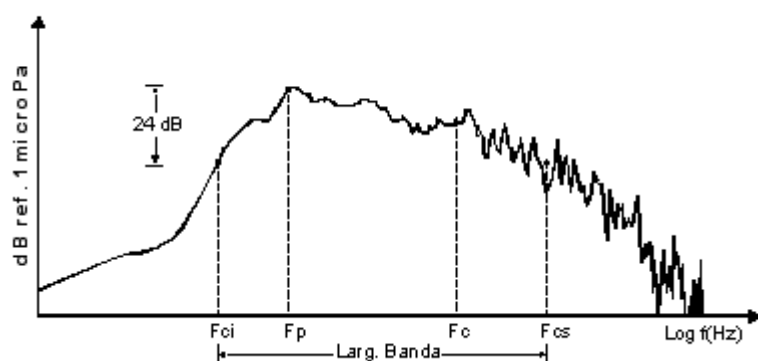


Figura 10. Ilustração dos parâmetros medidos no domínio da freqüência.

3.6 Análise dos dados

3.6.1 Tratamento estatístico

Para cada indivíduo foi calculada uma média, dos valores obtidos de cada um dos cinco pulsos, de cada uma das doze variáveis acústicas e foram registrados os dados de comprimento padrão e peso total.

Para cada uma das oito (08) espécies estudadas, foram calculadas as médias, para cada variável acústica, comprimento padrão e peso, a partir das médias individuais e dos valores dos dados biológicos de cada exemplar.

As relações entre o peso e o comprimento foram verificadas para cada uma das espécies, visando a utilização de uma dessas medidas biológicas nas correlações com as variáveis acústicas.

Foram realizadas regressões lineares entre o peso total médio das espécies e os valores médios de cada um dos doze parâmetros acústicos para o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson.

Foi realizada uma análise de variância (monofatorial), aplicando-se o “teste **F**”, com os valores médios dos parâmetros bioacústicos considerando-se as oito espécies estudadas e uma análise de componentes principais (**ACP**), considerando-se sete das doze variáveis acústicas. Foram aceitas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos aquelas com coeficiente igual ou superior a uma distância (**d**) do centro dos eixos, determinada a partir da fórmula estabelecida por Legendre & Legendre (1983): $d = \sqrt{\frac{2}{n}}$; onde : **d** é a distância do centróide e **n** é o número de variáveis consideradas na análise. Para a nossa matriz de dados **d = 0,36**.

Para a análise de agrupamento das espécies por parâmetros bioacústicos, foi utilizada a distância Euclidiana pelo método de Ward. Este método difere dos outros por utilizar uma abordagem da análise de variância para avaliar as distâncias entre os agrupamentos, minimizando a soma dos quadrados nos agrupamentos que podem ser formados a cada etapa (StatSoft, Inc., 1995).

Todas as análises estatísticas foram realizadas a partir dos procedimentos do pacote estatístico STATISTICA for Windows, versão 6.0 (StatSoft, Inc., 1995).

4.0 RESULTADOS

4.1 Descrição das espécies obtidas

No decorrer desse estudo, 121 exemplares de peixes teleósteos, pertencentes a 14 famílias, 23 gêneros e 26 espécies foram monitorados acusticamente sob diferentes condições de laboratório. Entretanto, após uma análise preliminar foram considerados para uma avaliação acústica, apenas os dados referentes a 64 exemplares, cerca de 53% do total inicial. Isso ocorreu uma vez que para algumas espécies o número de exemplares examinados (1 ou 2) foi considerado insuficiente para as análises e em outros casos mesmo quando contidos manualmente os peixes não produziram ruídos ou os sinais obtidos geraram dúvidas quanto à sua origem.

A tabela I apresenta uma relação das famílias, gêneros e espécies com os códigos correspondentes e o número total de exemplares considerados nesse estudo. Os códigos representam as duas primeiras letras do gênero e da espécie (por exemplo, *Dactylopterus volitans* = DAVO).

Tabela I – Relação das famílias, gêneros e espécies com os códigos correspondentes e o número total de exemplares considerados.

FAMÍLIAS n=05	GÊNEROS n=07	ESPÉCIES n=08	CÓDIGOS	N ^o n=64	EXEMP.
DACTYLOPTERIDAE	<i>Dactylopterus</i>	D. volitans	AVO	10	
TRIGLIDAE	<i>Prionotus</i>	<i>P. punctatus</i>	PRPU	04	
CARANGIDAE	<i>Carangoides</i>	<i>C. crysos</i>	CACR	08	
HAEMULIDAE	<i>Orthopristis</i>	<i>O. ruber</i>	ORRU	15	
	<i>Conodon</i>	<i>C. nobilis</i>	CONO	08	
SCIAENIDAE	<i>Menticirrhus</i>	<i>M. littoralis</i>	MELI	07	
		<i>M. americanus</i>	MEAM	07	
	<i>Umbrina</i>	<i>U. coroides</i>	UMCO	05	

4.2 Caracterização bioacústica das espécies

A seguir será apresentada uma descrição do som e dos órgãos envolvidos na sua produção, para cada uma das espécies estudadas. A caracterização bioacústica tomou como base os valores médios dos parâmetros acústicos no domínio do tempo e no domínio da frequência e dos parâmetros biológicos medidos para cada um dos exemplares analisados.

Dactylopterus volitans (Linnaeus, 1758).

As características bioacústicas desta espécie de dactilopterídeo, vulgarmente conhecida como Coió ou Voador, foram obtidas a partir de dez (10) exemplares adultos sendo cinco (05) fêmeas, dois (02) machos e três (03) indeterminados. Quanto aos órgãos e estruturas utilizados na produção de sons, esta espécie possui uma bexiga natatória dupla, de forma arredondada que está fortemente fixada à parte anterior da cavidade abdominal do peixe (Figura 11). Apresenta ainda, na região anterior ao esôfago, um conjunto de placas vomerianas pouco desenvolvidas formadas por dentes cônicos dispostos em três (03) pares de placas dorsais, com forma alongada e tamanhos semelhantes e um (01) par ventral, também alongado.

A tabela II apresenta os valores médios dos parâmetros bioacústicos observados para cada indivíduo.

Os sons foram constituídos por pulsos isolados, semelhantes a “roncos”, com energia concentrada entre 148–274 Hz., com bastante variação individual para todos os parâmetros, exceto para as medidas em amplitude (Ap e RMS).

As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar DAVO 3A (226 mm (Cp), 218 g (Pt)), uma ampliação do primeiro pulso no domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 12A, B e C, segundo os valores médios da tabela II.



Figura 11. Exemplar de *Dactylopterus volitans* (coiό) mostrando a posição da bexiga natatória.

Tabela II – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Dactylopterus volitans* (DAVO), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
DAVO 1	227	158	96	6	274	52	605	277	553	200	164	170	233	241
DAVO 10	72	159	56	2	259	113	545	216	432	193	165	170	144	63
DAVO 2A	250	161	96	1	168	52	602	275	549	178	170	176	225	245
DAVO 3A	172	166	81	2	229	92	724	316	632	206	173	179	226	218
DAVO 4	152	168	80	3	165	51	498	224	447	206	179	184	195	131
DAVO 5	206	164	139	3	205	94	841	373	747	185	171	167	186	120
DAVO 6A	157	168	115	3	165	78	680	301	602	206	175	181	178	113
DAVO 7A	295	155	128	3	148	43	548	252	505	208	162	170	274	368
DAVO 8	152	166	69	3	266	98	518	210	420	194	171	176	155	73
DAVO 9	184	154	60	3	160	49	527	239	478	190	160	167	153	72
Média	187	162	92	3	204	72	609	268	537	197	169	174	197	164
DP	62	5	28	1	49	26	109	51	103	10	6	6	42	100
Mínimo	72	154	56	1	148	43	498	210	420	178	160	167	144	63
Máximo	295	168	139	6	274	113	841	373	747	208	179	184	274	368

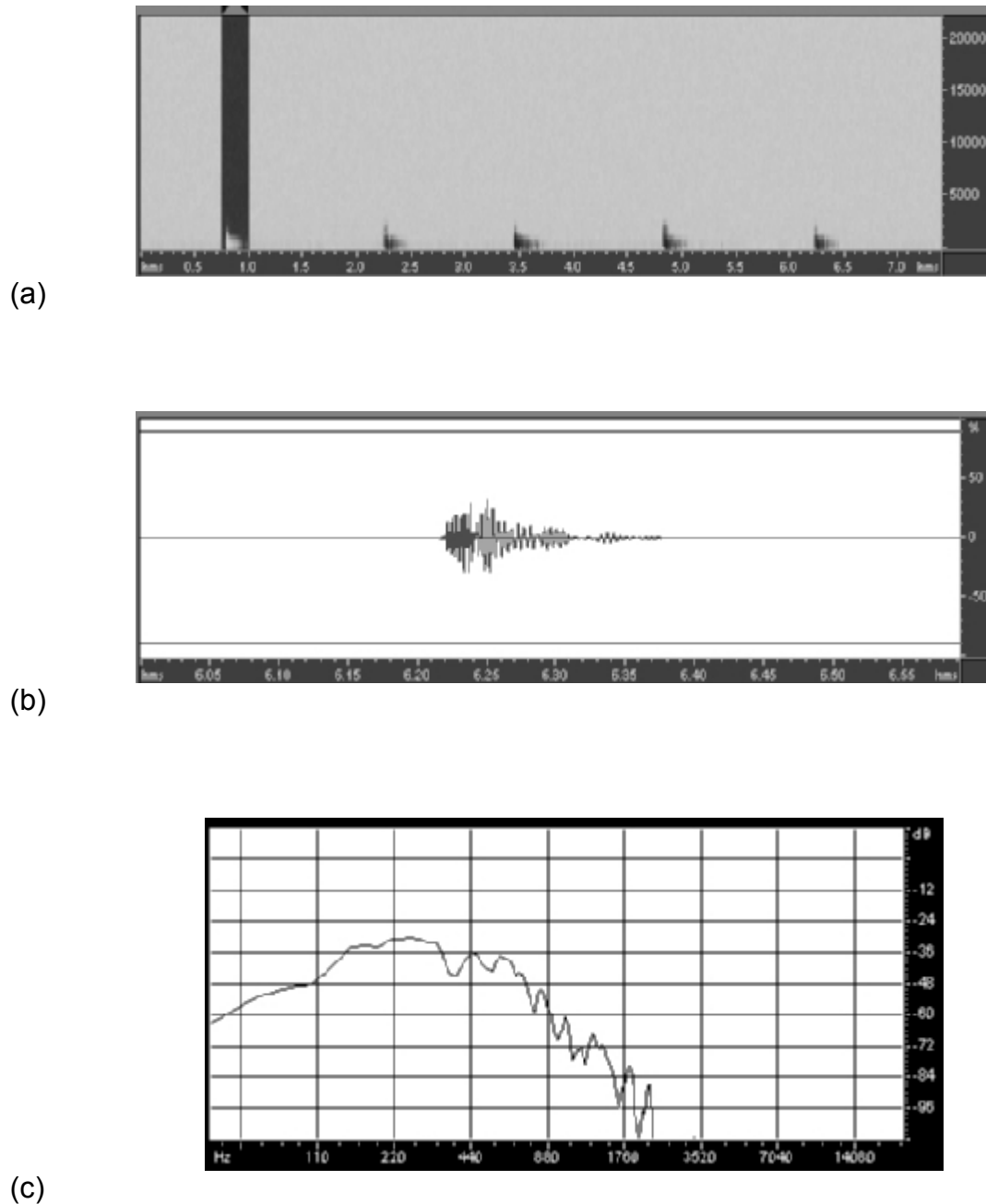


Figura 12. Som característico do *Dactylopterus volitans* (DAVO 3A): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

Prionotus punctatus (Bloch, 1797).

As características bioacústicas desta espécie de triglídeo, vulgarmente conhecida como Cabrinha, foram obtidas a partir de quatro (04) exemplares, três adultos e um juvenil, sendo duas (02) fêmeas e dois (02) indeterminados. Como nos dactilopterídeos, esta espécie também possui uma bexiga natatória

dupla e bem desenvolvida entretanto, sua forma é alongada e suas paredes mais espessas (Figura 13), estando localizada na parte anterior da cavidade abdominal e ocupando mais de 1/3 desta cavidade. Possui também um conjunto de placas vomerianas (Figura 14) desenvolvidas, formando cinco (05) pares de placas dorsalmente, sendo três (03) arredondados e dois (02) de forma alongada, além de um (01) par ventral, também alongado com as placas separadas entre si.

A tabela III apresenta os valores médios dos parâmetros bioacústicos observados para cada indivíduo.

Os sons também foram constituídos por pulsos isolados, semelhantes aos "roncos" dos Coiós, com energia concentrada entre 247-735 Hz., com bastante variação individual para todos os parâmetros, exceto para as medidas em amplitude (Ap e RMS).

As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar PRPU 3 (170 mm (Cp), 129 g (Pt)), uma ampliação do primeiro pulso no domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 15A, B e C, segundo os valores médios da tabela III.

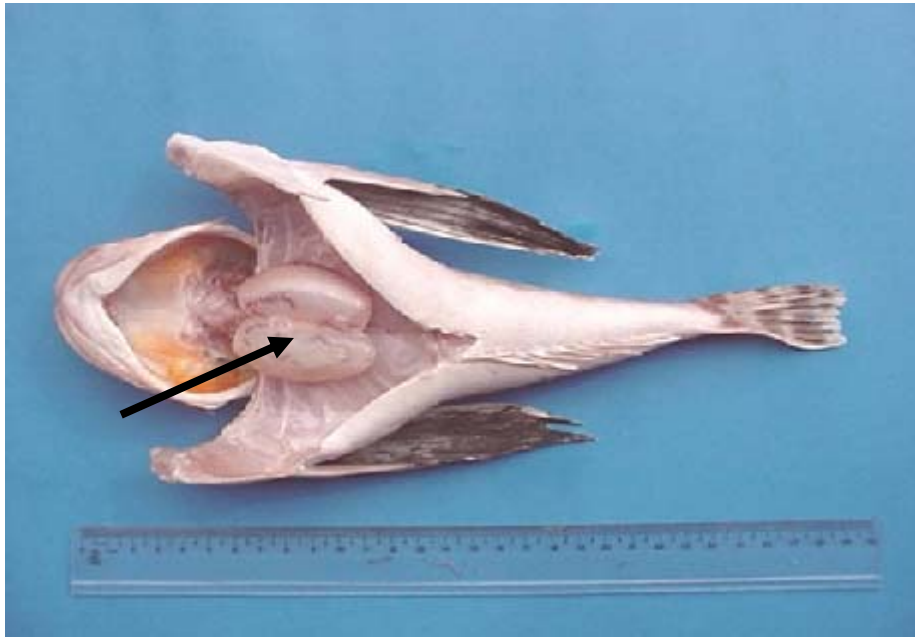


Figura 13. Exemplo de *Prionotus punctatus* (cabrinha) e sua bexiga natatória dupla, bastante desenvolvida.



Figura 14. Bexigas natatórias (duplas) e placas vomerianas de diferentes exemplares de *Prionotus punctatus* (cabrinha).

Tabela III – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Prionotus punctatus* (PRPU), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
PRPU 1	211	158	54	2	247	106	663	279	558	194	163	169	220	257
PRPU 3	180	160	168	2	267	115	1.587	736	1.472	199	171	176	170	129
PRPU 4	57	167	245	2	735	425	2.231	903	1.805	188	174	176	64	8
PRPU 5	201	161	58	2	256	130	559	214	429	195	165	171	200	214
Média	162	162	131	2	376	194	1.260	533	1.066	194	168	173	164	152
DP	71	4	92	0	239	155	795	339	677	5	5	4	69	110
Mínimo	57	158	54	2	247	106	559	214	429	188	163	169	64	8
Máximo	211	167	245	2	735	425	2.231	903	1.805	199	174	176	220	257

Carangoides crysos (Mitchill, 1815).

As características bioacústicas desta espécie de carangídeo, vulgarmente conhecida como Carapau ou Xerelete, foram obtidas a partir de oito (08) exemplares pré-adultos classificados como imaturos sexualmente. Com relação aos órgãos e estruturas funcionais envolvidos nos mecanismos de produção de sons, esta espécie possui uma bexiga natatória simples, de forma alongada e localizada anteriormente na cavidade abdominal do peixe, ocupando cerca de 1/3 desta e apresenta paredes delgadas que dificultam a sua dissecação (Figura 16). Possui também um conjunto de placas vomerianas formado por pequenos dentes cônicos dispostos em três (03) pares de placas dorsais arredondadas e um (01) par ventral, de forma alongada, localizados na região anterior ao esôfago.

A tabela IV apresenta os valores médios dos parâmetros bioacústicos observados para cada indivíduo.

Os sons foram constituídos de pulsos isolados, semelhantes a “grasnados”, com energia concentrada entre 270-648 Hz., com bastante variação individual para todos os parâmetros, exceto para as medidas em amplitude (Ap e RMS).

As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar CACR 4 (186 mm (Cp), 120 g (Pt)), uma ampliação do segundo pulso no

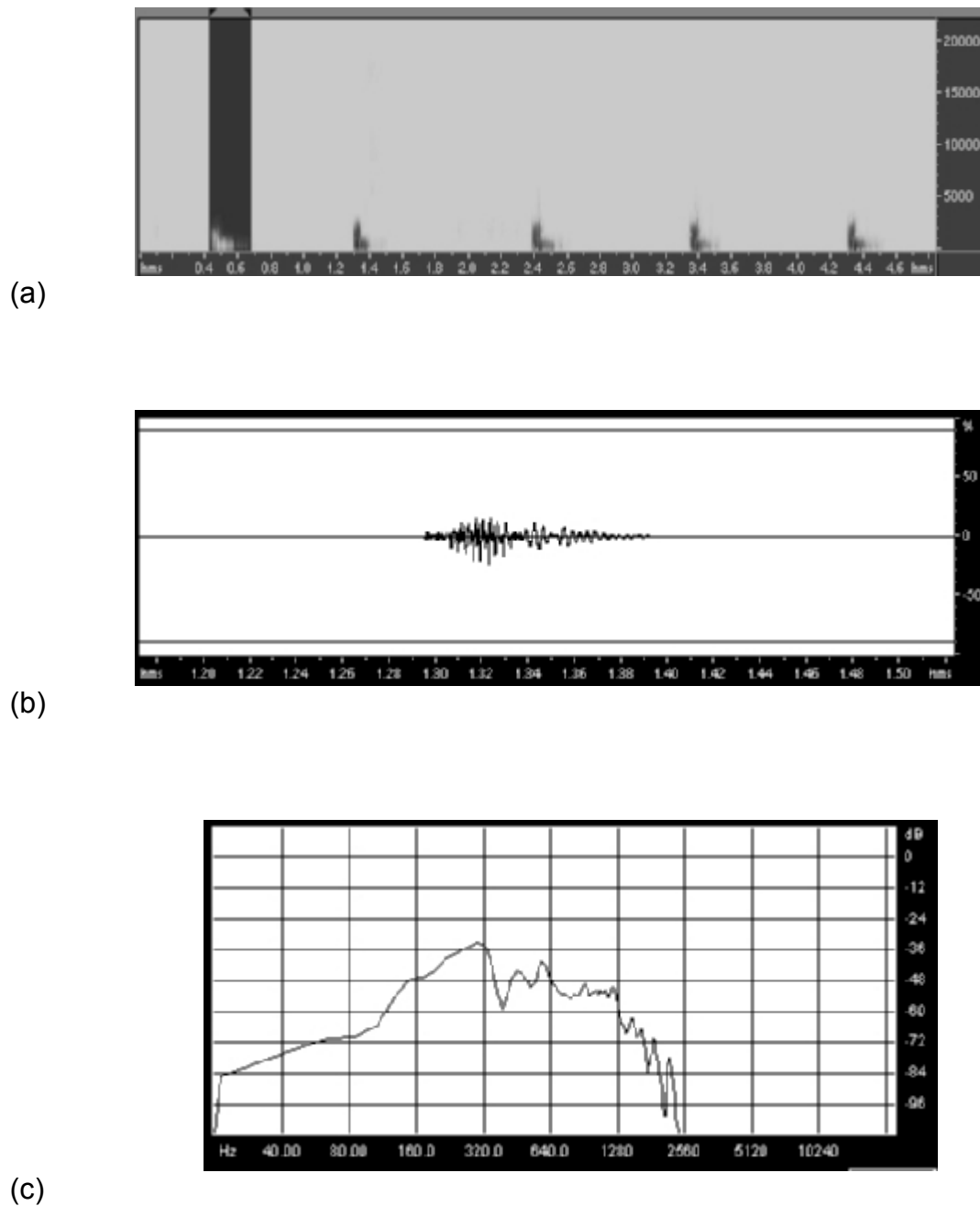


Figura 15. Som característico do *Prionotus punctatus* (PRPU 3): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

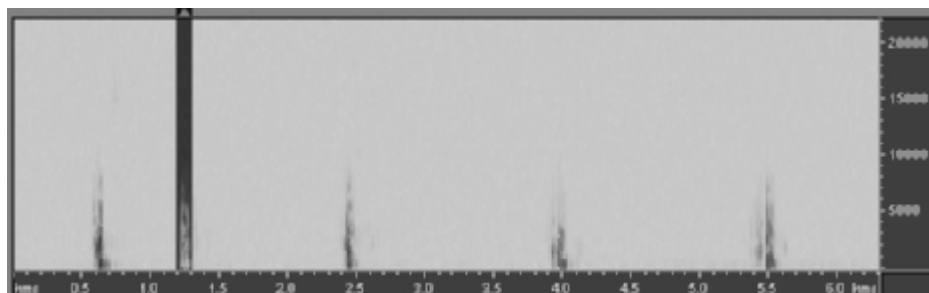
domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 17A, B e C, segundo os valores médios da tabela IV.



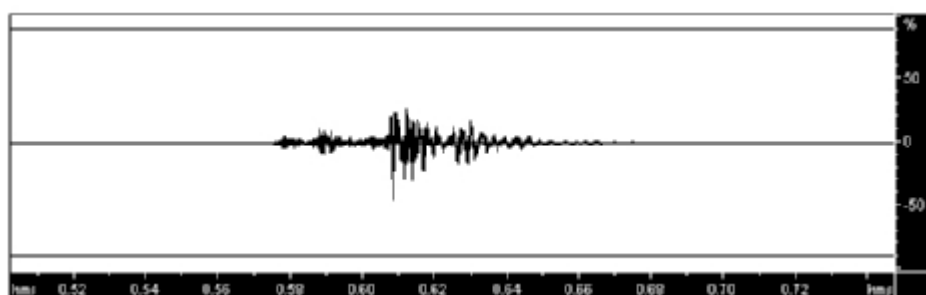
Figura 16. Exemplar de *Carangoides crysos* (xerelete) mostrando a posição da bexiga natatória.

Tabela IV – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Carangoides crysos* (CACR), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

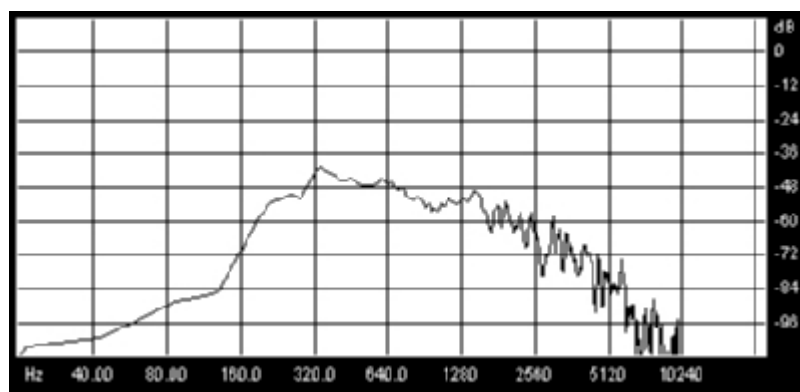
	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
CACR 1	51	147	343	5	326	169	2.512	1.172	2.343	166	157	159	205	158
CACR 2	49	152	329	5	336	189	3.695	1.753	3.506	170	164	166	191	139
CACR 3	72	153	403	5	648	266	4.083	1.909	3.817	176	165	167	190	123
CACR 4	98	154	429	5	454	174	3.505	1.665	3.331	182	164	168	186	120
CACR 5A	102	158	351	6	373	233	2.671	1.219	2.439	184	167	170	185	123
CACR 6	55	159	487	4	606	163	7.110	3.473	6.946	174	171	172	195	140
CACR 7	119	165	436	8	405	260	2.791	1.265	2.531	190	176	179	205	219
CACR 8	144	154	335	8	270	101	1.096	497	994	181	163	167	190	176
Média	86	155	389	6	427	194	3.433	1.619	3.238	178	166	168	193	150
DP	35	5	58	1	135	55	1.745	869	1.738	8	6	6	8	34
Mínimo	49	147	329	4	270	101	1.096	497	994	166	157	159	185	120
Máximo	144	165	487	8	648	266	7.110	3.473	6.946	190	176	179	205	219



(a)



(b)



(c)

Figura 17. Som característico do *Carangoides crysos* (CACR 4): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) segundo pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

Orthopristis ruber (Cuvier, 1830).

As características bioacústicas desta espécie de haemulídeo, vulgarmente conhecida como Corcoroca, foram obtidas a partir de quinze (15) exemplares adultos sendo quatro (04) fêmeas, dez (10) machos e um (01) indeterminado. Esta espécie possui uma bexiga natatória simples, bem desenvolvida, de forma alongada e com paredes finas, provida de expansões em forma de dedo na sua região anterior, ocupando cerca de 2/3 da cavidade abdominal do peixe (Figura 18). Quanto às placas vomerianas, estas também estão presentes como nas espécies anteriores, sendo revestidas por dentes bastante desenvolvidos formando dorsalmente três (03) conjuntos de placas com forma arredondada e um (01) conjunto de forma alongada ventralmente, localizados na região anterior ao esôfago.

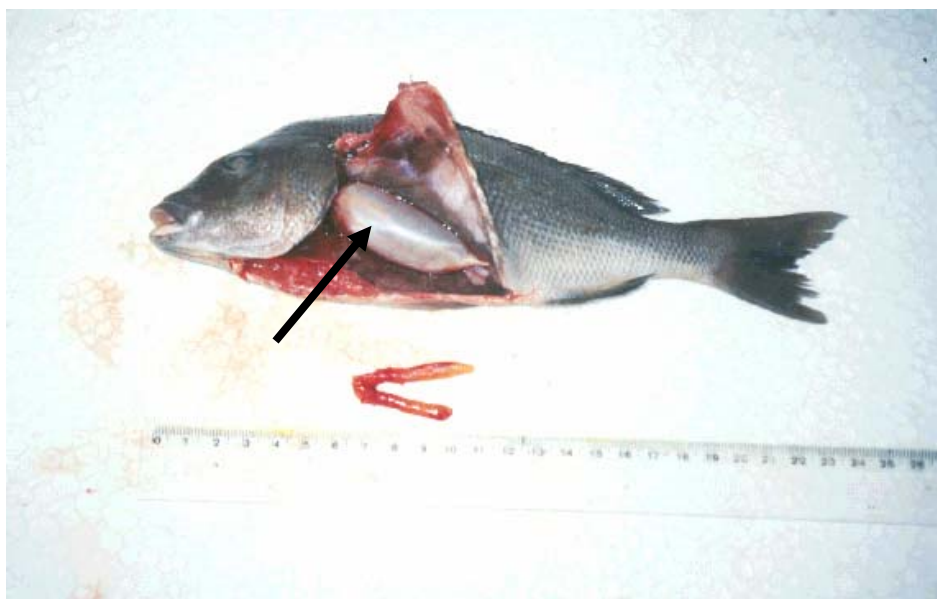


Figura 18. Fêmea de *Orthopristis ruber* (corcoroca) mostrando a posição da bexiga simples. Abaixo vemos a gônada em início de maturação sexual.

A tabela V apresenta os valores médios dos parâmetros bioacústicos observados para cada indivíduo.

Os sons foram constituídos por pulsos isolados, semelhantes a “roncos” com energia concentrada entre 199-819 Hz., com bastante variação individual para todos os parâmetros, exceto para as medidas em amplitude (Ap e RMS).

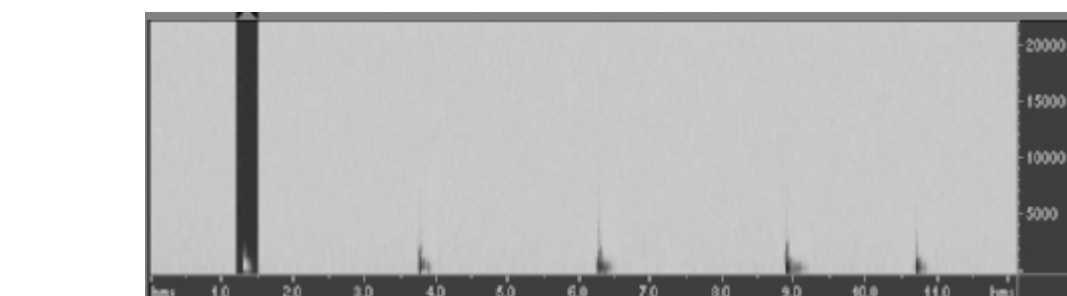
As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar ORRU 2 (191 mm (Cp), 185 g (Pt)), uma ampliação do primeiro pulso no domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 19A, B e C, segundo os valores da tabela V.

Tabela V – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Orthopristis ruber* (ORRU), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

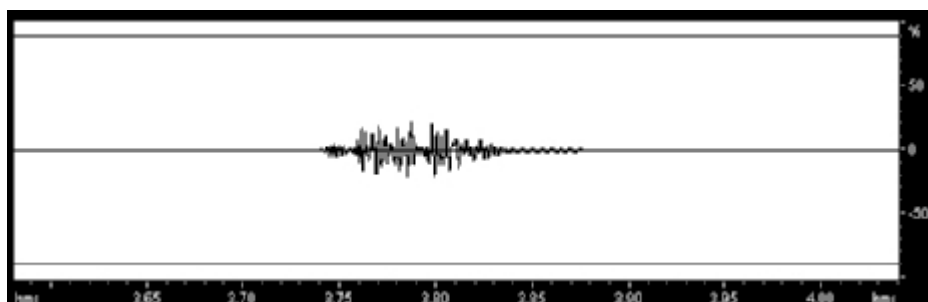
	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
ORRU 1	96	173	161	6	819	398	2.839	1.221	2.441	184	178	181	197	183
ORRU 10	334	161	143	5	364	46	1.317	636	1.271	205	169	175	171	130
ORRU 11	311	167	223	6	199	50	674	312	624	212	177	183	154	164
ORRU 12	271	156	321	4	226	55	662	304	608	200	166	172	167	221
ORRU 14	290	153	330	6	201	50	752	351	703	195	161	167	133	110
ORRU 16	115	168	269	5	331	44	848	402	804	183	174	178	198	213
ORRU 17	191	162	228	5	374	40	1.056	508	1.017	191	169	174	164	138
ORRU 18	195	160	319	4	278	46	1.625	790	1.579	190	167	172	175	153
ORRU 2	245	163	138	4	262	66	965	450	899	195	170	176	191	185
ORRU 20	197	158	184	3	286	57	603	273	546	191	164	170	172	147
ORRU 21	188	172	228	3	243	60	622	281	562	194	178	182	148	95
ORRU 5	168	159	349	4	455	104	1.723	810	1.619	192	170	174	157	106
ORRU 6	175	161	266	5	441	71	1.975	952	1.905	190	171	175	165	115
ORRU 8	171	155	412	4	598	96	2.454	1.179	2.358	193	167	172	160	103
ORRU 9B	201	155	281	5	410	60	1.975	957	1.915	193	171	176	161	108
Média	210	162	257	5	366	83	1.339	628	1.257	194	170	175	168	145
DP	68	6	81	1	167	89	722	333	666	7	5	4	18	41
Mínimo	96	153	138	3	199	40	603	273	546	183	161	167	133	95
Máximo	334	173	412	6	819	398	2.839	1.221	2.441	212	178	183	198	221

Conodon nobilis (Linnaeus, 1758).

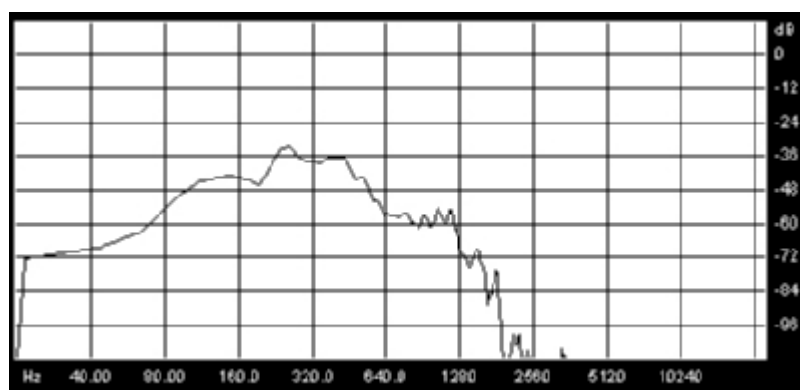
As características bioacústicas desta outra espécie de haemulídeo, vulgarmente conhecida como Roncador (Figura 20), foram obtidas a partir de oito



(a)



(b)



(c)

Figura 19. Som característico do *Orthopristis ruber* (ORRU 2): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

(08) exemplares juvenis classificados como imaturos sexualmente. Esta espécie também possui uma bexiga natatória simples, bastante desenvolvida, de forma alongada e paredes muito finas, que ocupa cerca de 2/3, porém, não foram notadas as expansões presentes em *Orthopristis ruber*. Quanto às

placas vomerianas, estas se assemelham em número, forma e posição à espécie anterior, entretanto, o par ventral é menos alongado, possuindo uma forma mais triangular.

A tabela VI apresenta os valores médios dos parâmetros bioacústicos observados para cada indivíduo.

Os sons foram constituídos por pulsos isolados, semelhantes a “grunhidos” muito altos, com energia concentrada entre 757-1265 Hz., como nas espécies anteriores, apresentaram bastante variação individual para todos os parâmetros, exceto para as medidas em amplitude (Ap e RMS).

As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar CONO 7 (67 mm (Cp), 8 g (Pt)), uma ampliação do primeiro pulso no domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 21A, B e C, segundo os valores da tabela VI



Figura 20. Exemplar de *Conodon nobilis* (roncador).

Tabela VI – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Conodon nobilis* (CONO), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

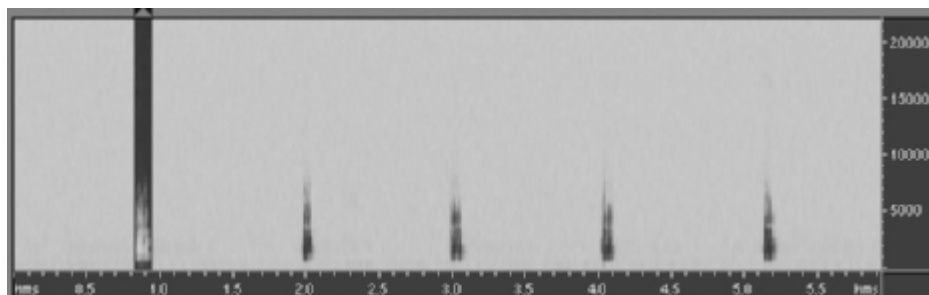
	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
CONO 1	99	152	379	15	827	293	2.450	1.079	2.157	172	163	165	75	13
CONO 11	71	158	492	12	1.236	724	7.036	3.156	6.311	172	168	170	66	9
CONO 2	83	176	410	18	1.154	308	4.925	2.308	4.617	192	184	186	80	16
CONO 5	93	162	477	18	1.084	286	6.046	2.880	5.760	174	169	172	71	10
CONO 6	94	164	444	14	1.176	358	6.328	2.985	5.970	176	174	175	72	11
CONO 7	105	163	409	8	1.265	698	7.230	3.266	6.533	180	176	170	67	8
CONO 8	68	165	576	6	757	59	8.835	4.388	8.776	179	177	179	63	7
CONO 9A	101	156	348	8	1.015	267	8.131	3.932	7.863	178	168	171	76	12
Média	89	162	442	12	1.064	374	6.373	2.999	5.998	178	172	174	71	11
DP	14	7	72	5	187	226	1.997	1.005	2.011	6	7	7	6	3
Mínimo	68	152	348	6	757	59	2.450	1.079	2.157	172	163	165	63	7
Máximo	105	176	576	18	1.265	724	8.835	4.388	8.776	192	184	186	80	16

Menticirrhus littoralis (Holbrook, 1860).

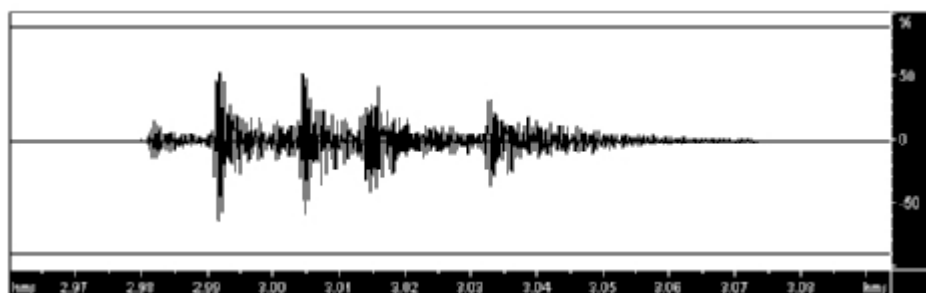
As características bioacústicas desta espécie de sciaenídeo, conhecida vulgarmente como Betara ou Papa-terra, foram obtidas a partir de sete (07) exemplares juvenis classificados como imaturos sexualmente. Este gênero de sciaenídeo, segundo Chao (1978), apresenta uma bexiga natatória que regride ao longo do crescimento, razão pela qual, não pudemos observar esta estrutura nos exemplares examinados. Quanto às placas vomerianas, estas são constituídas por dentes numerosos e bastante desenvolvidos, formando um conjunto de três (03) placas dispostas dorsalmente, sendo um (01) deles mais desenvolvido e de forma arredondada, e os outros dois (02) menos desenvolvidos e alongados. O par de placas ventral possui um formato triangular, sendo mais largo que os das espécies anteriores.

A tabela VII apresenta os valores médios dos parâmetros bioacústicos observados para cada indivíduo.

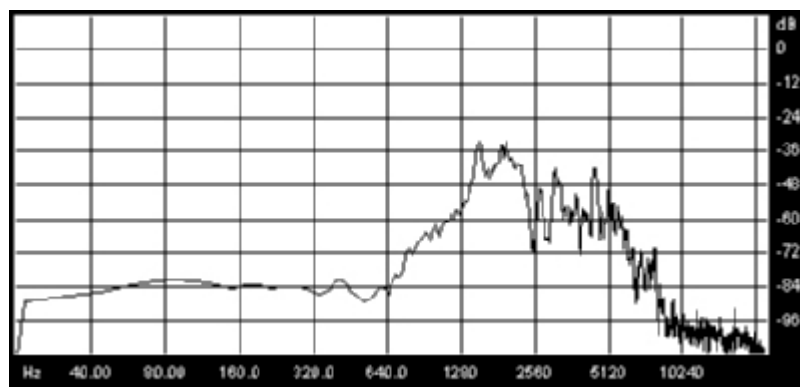
Os sons foram constituídos por seqüências de pulsos de curta duração, semelhantes a “raspadas”, do tipo estridulado, com energia concentrada entre 1932-6282 Hz., com bastante variação individual para todos os parâmetros, exceto para as medidas de amplitude (Ap e RMS).



(a)



(b)



(c)

Figura 21. Som característico do *Conodon nobilis* (CONO 7): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar MELI 1 (108 mm (Cp), 20 g (Pt)), uma ampliação do primeiro pulso no domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 22A, B e C, segundo os valores da tabela VII.

Tabela VII – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Menticirrhus littoralis* (MELI), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
MELI 1	49	165	1.242	3	4.172	1.653	10.166	4.256	8.513	182	180	180	108	20
MELI 11	53	169	309	13	6.282	1.623	13.436	5.907	11.813	183	182	183	100	14
MELI 12	59	164	471	5	3.307	1.841	11.161	4.660	9.319	180	179	179	96	12
MELI 4	24	165	640	3	3.905	1.451	8.873	3.711	7.422	181	179	179	87	11
MELI 5	22	163	1.125	2	3.606	1.369	15.187	6.909	13.818	181	177	178	84	10
MELI 6	18	169	708	2	2.367	1.377	7.652	3.138	6.275	181	180	180	76	9
MELI 9	46	161	378	3	1.932	1.447	5.274	1.913	3.827	177	175	175	141	39
Média	39	165	696	4	3.653	1.537	10.250	4.356	8.712	181	179	179	99	16
DP	17	3	362	4	1.413	175	3.385	1.678	3.356	2	2	2	21	11
Mínimo	18	161	309	2	1.932	1.369	5.274	1.913	3.827	177	175	175	76	9
Máximo	59	169	1.242	13	6.282	1.841	15.187	6.909	13.818	183	182	183	141	39

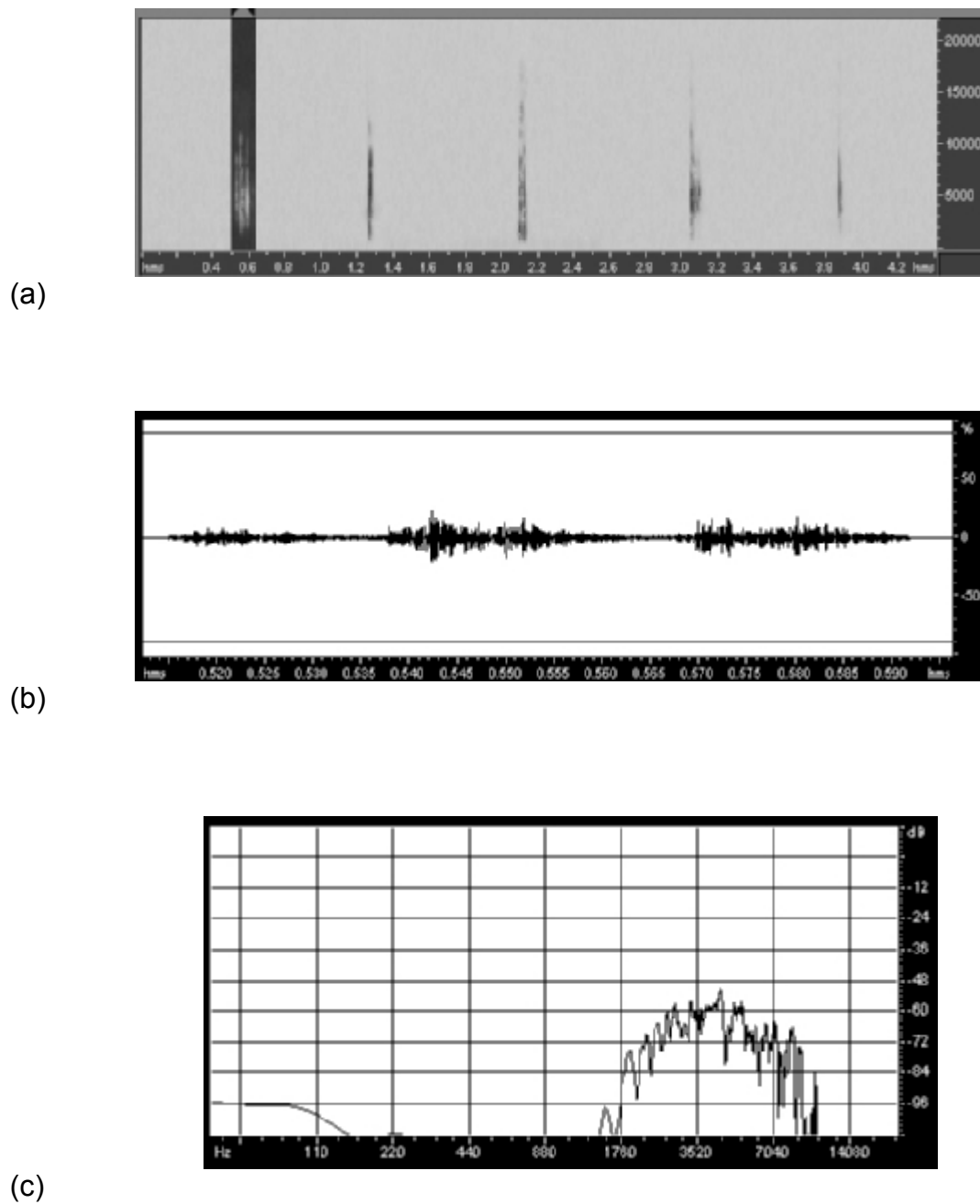


Figura 22. Som característico do *Menticirrhus littoralis* (MELI 1): (a) sonograma de cinco pulsos, (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

Menticirrhus americanus (Linnaeus, 1758).

As características bioacústicas desta outra espécie de sciaenídeo, também conhecida vulgarmente como Betara ou Papa-terra (Figura 23), foram obtidas a partir de sete (07) exemplares adultos sendo quatro (04) fêmeas, dois (02) machos e um (01) indeterminado. Nesta espécie, do mesmo gênero da anterior a bexiga natatória também não foi observada. As placas vomerianas, também constituídas por dentes numerosos e bastante desenvolvidos, formam um conjunto de três (03) placas dispostas dorsalmente, sendo que nessa espécie, dois (02) deles mais desenvolvidos e de forma arredondada, e o terceiro menos desenvolvido e alongado. O par de placas ventral possui um formato mais alongado que a espécie anterior.

A tabela VIII apresenta os valores médios dos parâmetros bioacústicos observados para cada indivíduo. Os sons também foram constituídos por seqüências de pulsos semelhantes a “raspadas”, do tipo estridulado, com energia concentrada entre 1688 a 1941 Hz, com bastante variação individual para todos os parâmetros, exceto para as medidas de amplitude (A_p e RMS).

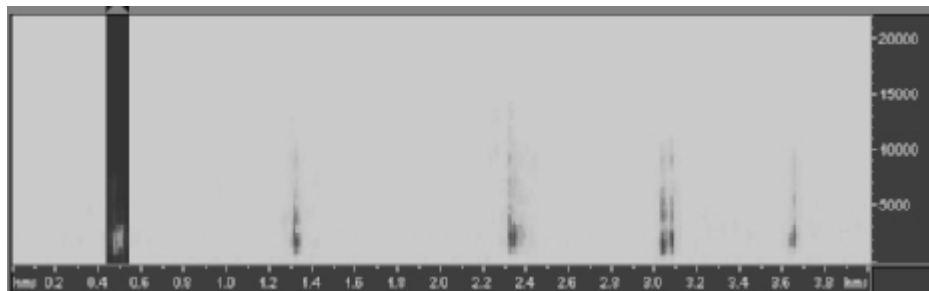
As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar MEAM 6 (220 mm (Cp), 133 g (Pt)), uma ampliação do primeiro pulso no domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 24A, B e C, segundo os valores médios da tabela VIII.



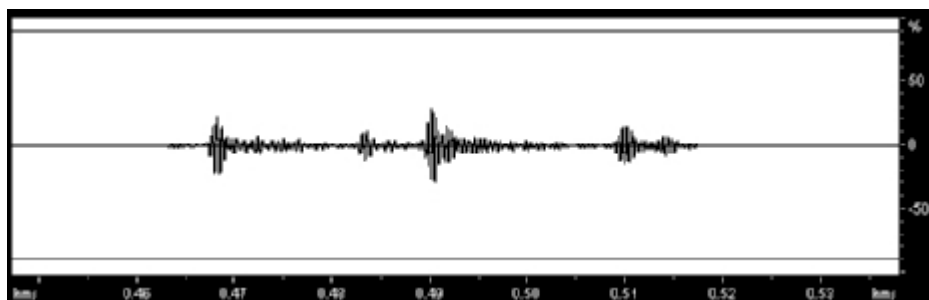
Figura 23. Exemplar de *Menticirrhus americanus* (papa-terra), cuja bexiga natatória regride ao longo do crescimento.

Tabela VIII – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Menticirrhus americanus* (MEAM), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

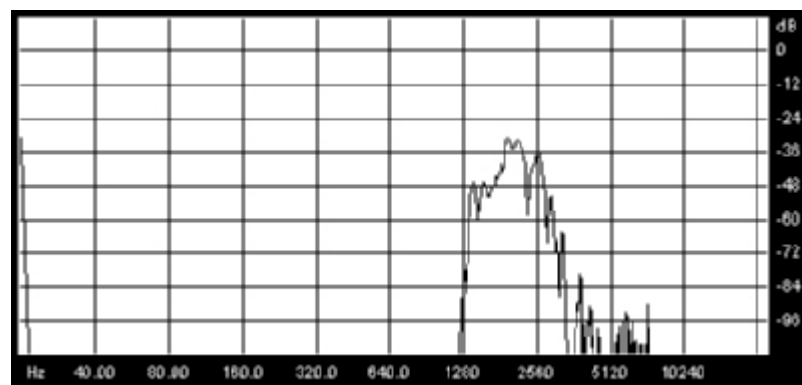
	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
MEAM 2	60	151	504	2	1.688	1.289	3.375	1.043	2.086	167	163	164	210	127
MEAM 3	176	151	362	17	1.744	1.332	5.781	2.225	4.449	173	163	167	217	167
MEAM 4A	87	152	302	9	1.815	1.373	5.460	2.043	4.087	170	163	165	203	133
MEAM 5	31	165	345	3	1.753	1.388	4.624	1.618	3.237	163	174	176	223	128
MEAM 6	61	157	522	5	1.864	1.391	4.672	1.641	3.282	176	168	171	220	133
MEAM 7	46	150	512	4	1.740	1.035	4.015	1.490	2.981	166	163	165	194	106
MEAM 8	23	168	370	3	1.941	1.559	3.260	851	1.701	183	177	165	138	55
Média	69	156	417	6	1.792	1.338	4.455	1.559	3.118	171	167	167	201	121
DP	52	7	93	5	87	158	969	493	987	7	6	4	29	35
Mínimo	23	150	302	2	1.688	1.035	3.260	851	1.701	163	163	164	138	55
Máximo	176	168	522	17	1.941	1.559	5.781	2.225	4.449	183	177	176	223	167



(a)



(b)



(c)

Figura 24. Som característico do *Menticirrhus americanus* (MEAM 6): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

Umbrina coroides (Cuvier, 1830).

As características bioacústicas desta outra espécie de sciaenídeo, também conhecida como Castanha-riscada ou Corvina-riscada, foram obtidas a partir de cinco (05) exemplares quatro adultos e um juvenil sendo uma (01) fêmea, três (03) machos e um (01) indeterminado. Diferentemente das duas espécies de sciaenídeos descritas anteriormente, esta espécie apresenta uma bexiga natatória simples, bastante desenvolvida, de forma alongada e paredes muito finas, que ocupa cerca de 2/3 da cavidade abdominal (Figura 25). Quanto às placas vomerianas, estas se assemelham em número, forma e posição às da espécie anterior. Entretanto, seus dentes cônicos são pequenos, menos desenvolvidos.

A tabela IX apresenta os valores médios dos parâmetros acústicos observados para cada indivíduo.

Os sons foram constituídos por pulsos isolados de longa duração, semelhantes a “roncos”, com energia concentrada entre 197-1799 Hz., com bastante variação individual para todos os parâmetros, como em todas as espécies anteriores, exceto para as medidas em amplitude (A_p e RMS).

As representações gráficas no domínio da frequência de cinco pulsos do exemplar UMCO 9 (162 mm (C_p), 96 g (P_t)), uma ampliação do primeiro pulso no domínio do tempo e o espectro do pulso correspondente, estão apresentadas nas figuras 26A, B e C, segundo os valores médios da tabela IX.

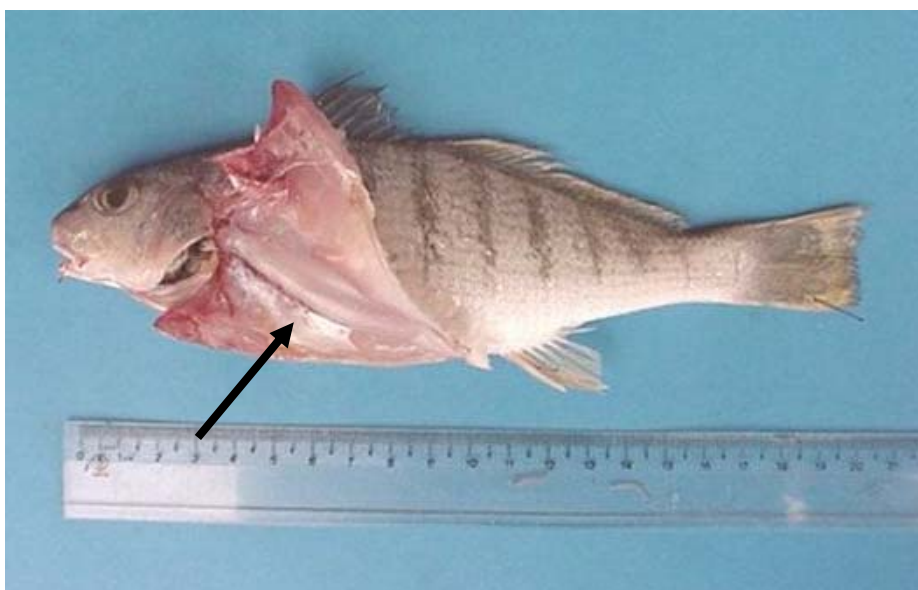
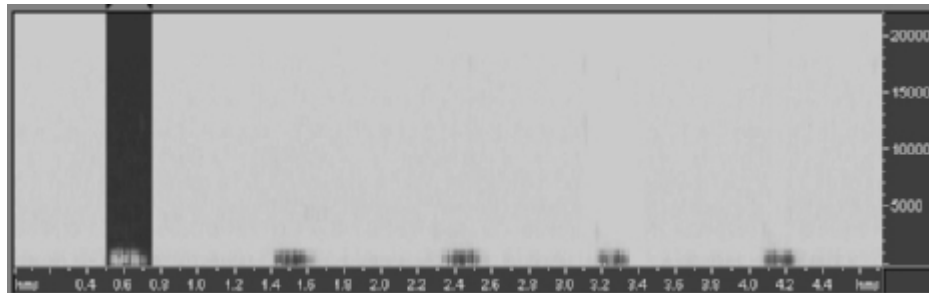


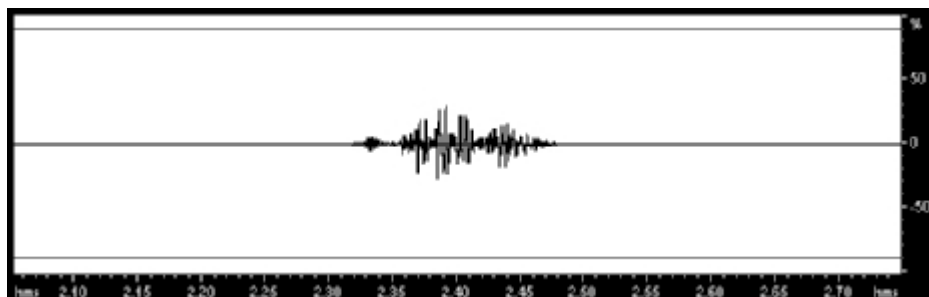
Figura 25. Exemplar de *Umbrina coroides* (castanha-riscada), mostrando a posição da bexiga natatória simples e delgada.

Tabela IX – Valores médios dos parâmetros medidos para cada exemplar de *Umbrina coroides* (UMCO), média geral, desvio padrão (DP), valor mínimo e valor máximo dos parâmetros analisados.

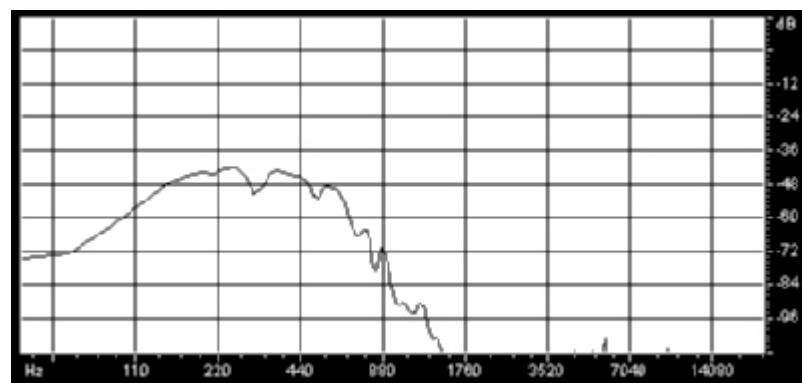
	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP (mm)	PESO (g)
UMCO 5	307	164	64	6	219	36	498	231	462	207	169	174	234	246
UMCO 6	215	168	52	4	293	97	582	243	485	173	175	179	173	106
UMCO 7	106	150	643	8	1.799	849	13.555	6.353	12.706	190	166	173	74	6
UMCO 8	91	177	50	1	197	117	1.449	666	1.332	188	185	186	155	81
UMCO 9	182	162	50	8	298	80	593	256	512	184	171	173	162	96
Média	180	164	172	5	561	236	3.335	1.550	3.100	188	173	177	160	107
DP	88	10	263	3	693	344	5.726	2.691	5.383	12	8	5	57	87
Mínimo	91	150	50	1	197	36	498	231	462	173	166	173	74	6
Máximo	307	177	643	8	1.799	849	13.555	6.353	12.706	207	185	186	234	246



(a)



(b)



(c)

Figura 26. Som característico da *Umbrina coroides* (UMCO 9): (a) sonograma de cinco pulsos; (b) primeiro pulso ampliado no domínio do tempo; (c) espectro do pulso correspondente.

4.3 Variação intra-específica

Foram feitas relações entre o peso e o comprimento para avaliar se existiam diferenças entre eles e escolher qual dessas duas variáveis biológicas poderia ser melhor utilizada em correlações com os parâmetros acústicos.

As relações entre o peso total (Pt) e o comprimento padrão (Cp) para cada uma das oito espécies estudadas (Figura 27), apresentaram correlações significativas (R), para um alfa de 0.05. Os valores mais altos de correlação foram obtidos para *D. volitans*, *P. punctatus* e *U. coroides* (0,99) e o mais baixo para *O. ruber* (0,70). O número de indivíduos (N) analisados variou conforme a espécie; as regressões ($Pt = a Cp^b$) onde a e b são estimativas dos parâmetros de correlação, foram calculadas para sexos agrupados.

Considerando-se que os resultados das relações peso e comprimento para cada espécie (Figura 27) foram significativos, optou-se por utilizar o peso nas correlações com os parâmetros acústicos médios (t, Ap, Fm, N, Fp, Fci, Fcs, Fc, LB, RMSMI, RMSMX e RMSMD). A tabela X demonstrou a existência de padrões de correlação comuns às oito (08) espécies, entretanto, mostrou que houve diferenças entre as espécies a partir dos valores de **R**, onde o valor destacado em vermelho foi a única correlação altamente significativa para $p < 0,004$.

A duração do sinal (t) mostrou correlação positiva com o peso para sete (07) das oito (08) espécies (exceção de *O. ruber* -0,04). Em geral as medidas no domínio da frequência (Fm, Fp, Fci, Fcs, Fc e LB), mostraram correlações negativas com o peso excetuando-se; Fm para *D. volitans* (0,52) e *C. crysos* (0,04); Fp para *C. nobilis* (0,06); Fci para *O. ruber* (0,17); Fcs para *D. volitans* (0,05) e para *M. americanus* (0,78); Fc para *D. volitans* (0,19) e para *M. americanus* (0,81) e LB também para *D. volitans* (0,19) e para *M. americanus* (0,81).

Com relação aos parâmetros de amplitude (Ap, RMSMI, RMSMX e RMSMD), não foi observada nenhuma correlação com as espécies.

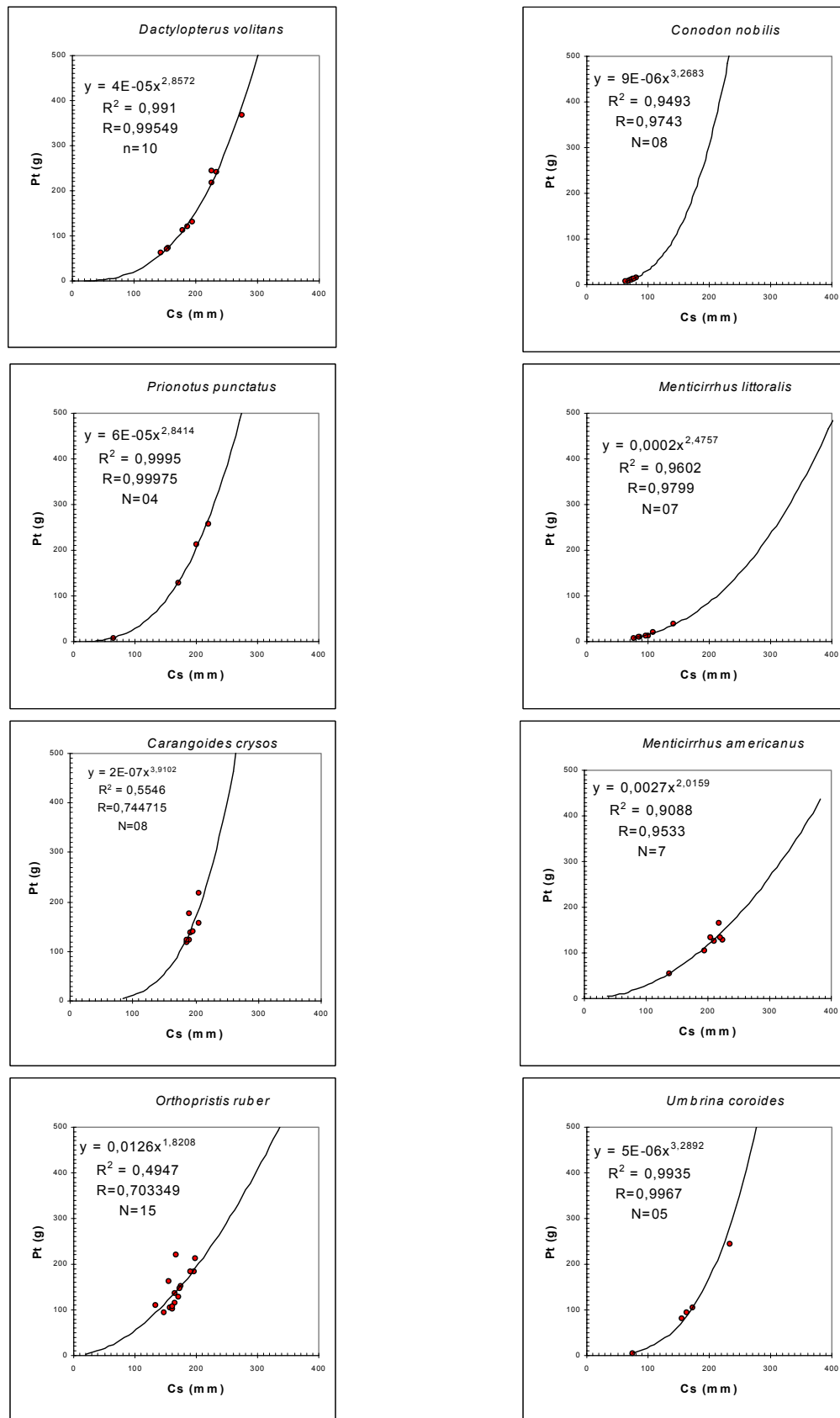


Figura 27. Relações peso - comprimento para as oito espécies estudadas.

Considerando-se que são muitos testes independentes procedeu-se uma correção de Bonferroni (Monteiro, com. pess.), onde o alfa corrigido foi de $0,05/12 = 0,004$ ($12 = n^{\circ}$ de variáveis acústicas). Após este procedimento, a única correlação altamente significativa observada entre o peso e os parâmetros acústicos foi entre *D. volitans* e duração do sinal (t) (0,83).

Tabela X – Correlações peso e variáveis acústicas entre os valores médios para cada uma das oito espécies. Destacada em vermelho a única correlação significativa $p < 0,004$.

ESPÉ- CIE	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSM I (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)
DAVO	0,83	0,32	0,52	0,03	-0,26	-0,56	0,05	0,19	0,19	-0,27	0,24	0,02
PRPU	0,95	0,93	-0,98	-0,16	-0,89	-0,88	-0,97	-0,94	-0,94	-0,56	0,97	0,89
CACR	0,46	-0,49	0,04	0,80	-0,39	-0,01	-0,36	-0,37	-0,37	-0,41	-0,44	-0,45
ORRU	-0,04	-0,29	-0,29	0,18	-0,10	0,17	-0,24	-0,28	-0,28	0,06	-0,15	-0,16
CONO	0,29	-0,20	-0,69	0,64	0,06	-0,19	-0,65	-0,62	-0,62	-0,44	-0,08	-0,28
MELI	0,38	0,58	-0,26	-0,06	-0,37	-0,04	-0,60	-0,61	-0,61	0,69	0,54	0,59
MEAM	0,76	0,64	-0,05	0,64	-0,62	-0,28	0,78	0,81	0,81	0,48	0,63	-0,27
UMCO	0,90	-0,32	-0,63	-0,10	-0,66	-0,71	-0,68	-0,67	-0,67	-0,60	0,07	0,08

4.4 Variação interespecífica

Os valores médios dos parâmetros bioacústicos para cada uma das oito espécies estão apresentados na tabela XI, onde a espécie com o maior peso médio (*D. volitans*), apresentou os menores valores médios de frequência e um alto valor de duração do sinal e as espécies com menores pesos médios os maiores valores de frequência e em geral curta duração do sinal. Todas as espécies apresentaram valores médios de amplitude semelhantes. Anovas monofatoriais mostraram diferenças significativas entre as espécies para todas as variáveis acústicas, exceto para amplitude de pico e “root mean squared” máximo (Tabela XII).

Tabela XI – Valores médios dos parâmetros bioacústicos medidos para cada uma das oito espécies estudadas.

ESPÉ- CIE	t (ms)	Ap (dB)	Fm (Hz)	N	Fp (Hz)	Fci (Hz)	Fcs (Hz)	Fc (Hz)	LB (Hz)	RMSMI (dB)	RMSMX (dB)	RMSMD (dB)	COMP.	PESO	BEX.
DAVO	187	162	92	3	204	72	609	268	537	197	169	174	197	164	2
PRPU	162	162	131	2	376	194	1260	533	1066	194	168	173	164	152	2
CACR	86	155	389	6	427	194	3433	1619	3238	178	166	169	193	150	1
ORRU	210	162	257	5	366	83	1339	628	1257	194	170	175	168	145	1
CONO	89	162	442	12	1064	374	6373	2999	5998	178	172	174	71	11	1
MELI	39	165	696	4	3653	1537	10250	4356	8712	181	179	179	99	16	0
MEAM	69	156	417	6	1792	1338	4455	1559	3118	171	167	167	201	121	0
UMCO	180	164	172	5	561	236	3335	1550	3100	188	173	177	160	107	1

Tabela XII – Resultados do teste F da análise de variância (monofatorial) de cada um dos parâmetros acústicos analisados considerando-se as oito (08) espécies estudadas.

Variável	Soma dos quadrados	g.l	Quadrado médio	F	P
t	36408,82	7	3099,01	11,75	< 0,001
A	88,56	7	38,07	2,33	< 0,05
Fm	292072,90	7	23205,09	12,59	< 0,001
N	73,79	7	8,48	8,71	< 0,001
Fp	10163306	7	266217,06	38,18	< 0,001
Fci	2615000	7	24525,56	106,62	< 0,001
Fcs	80678096	7	471870,50	17,11	< 0,001
Fc	15035960	7	1100084	13,67	< 0,001
LB	60143840	7	4400336	13,67	< 0,001
RMSMI	733,28	7	61,65	11,89	< 0,001
RMSMX	121,93	7	31,56	3,86	< 0,01
RMSMD	111,80	7	26,07	4,29	< 0,001

P < 0,001 (g.l = grau de liberdade)

Os resultados obtidos das correlações “r” de Pearson entre o peso total médio de cada uma das oito espécies e as médias dos parâmetros acústicos (Tabela XIII; Anexo I A-L), mostram que todas as medidas espectrais (Hz) estiveram inversamente relacionadas ao peso, enquanto que a duração do sinal (t), e as medidas em amplitude (dB) estiveram relacionadas positivamente com o peso. Frequência de corte superior (Fcs), frequência central (Fc) e largura da banda (LB) foram as únicas variáveis que apresentaram diferenças altamente significativas em relação ao peso.

Tabela XIII – Valores das correlações entre o peso total (Pt) médio de cada uma das oito espécies e as médias dos parâmetros acústicos. “r” refere-se ao valor do coeficiente de correlação de Pearson obtido de uma regressão linear (ver Anexo I A-L).

MEDIDA	r	EQUAÇÃO
t (ms)	0,63	56,914+0,65464 *Pt
A (dB)	0,45	-163,8+0,02575*Pt
Fm (Hz)	-0,76*	594,55-2,495*Pt
N	-0,65	9,0253-0,0331*Pt
Fp (Hz)	-0,75	2647,5-14,45*Pt
Fci (Hz)	-0,6	1144,2-5,750*Pt
Fcs (Hz)	-0,90*	9067,5-47,64*Pt
Fc (Hz)	-0,92*	3941,3-20,80*Pt
LB (Hz)	-0,92*	7882,6-41,60*Pt
RMSMI (dB)	-0,5	-176,7-0,0764*Pt
RMSMX (dB)	0,78	-176,4+0,05348*Pt
RMSMD (dB)	0,45	-176,6+0,02884*Pt

*indica $p < 0,004$, regressão linear

As análises de componentes principais (**ACP**), exploratórias, sugerem que as amostras (espécies) encontram-se distribuídas ao longo de um gradiente de frequência (Figura 28), a partir de uma matriz composta pela tabela XI reduzida a sete (07) variáveis (colunas) acústicas (t, Ap, Fm, Fp, Fcs,

LB e RMSMD) e oito (08) espécies (linhas) formadas por; DAVO, PRPU, CACR, ORRU, CONO, MELI, MEAM e UMCO formando três grupos evidentes

O percentual de explicação da variância total para essa matriz de dados a partir da extração de dois eixos fatoriais (componentes principais) da **ACP** foi de 96%, onde cada eixo (Tabela XIV) teve a seguinte contribuição: O **eixo I** responde pela explicação de 65,9% da variância total. As variáveis positivamente correlacionadas a esse eixo, em ordem decrescente de importância foram: frequência de corte superior (Fcs), largura de banda (LB), frequência de modulação (Fm) e frequência principal (Fp), sendo que frequência de corte superior e frequência principal apresentaram maior relação com o eixo (menor ângulo entre o vetor e o eixo), onde MELI se isolou das outras espécies e CONO se destacou do seu grupo. Por outro lado, duração do sinal (t) esteve correlacionada negativamente ao primeiro eixo, e sendo assim, de maneira inversa com as variáveis anteriores. Associados a esse eixo estiveram o grupo formado por DAVO, PRPU e ORRU, e UMCO. Esse eixo nos permitiu visualizar uma variação das espécies segundo os parâmetros acústicos, exceto “root mean squared” médio (RMSMD) e amplitude de pico (Ap).

O **eixo II** contribuiu com 30,1% da variância explicada não apresentando nenhuma variável correlacionada positivamente. Negativamente correlacionadas a esse eixo encontramos: amplitude de pico (Ap) e “root mean squared” médio (RMSMD), sendo que ambas apresentaram maiores afinidades com esse eixo. De maneira geral, a influência desse eixo sobre a distribuição das espécies não pode ser efetivamente determinada.

A análise de agrupamento das oito espécies em função dos sete parâmetros acústicos analisados utilizando o método de Ward para as distâncias Euclidianas revelou, a partir do nível de corte, a formação de três grupos (Figura 29).

Tabela XIV – “Factor Loadings” da análise de componentes principais. Foram considerados para análises as variáveis com valores $>0,53$.

Variáveis	Eixo I	Eixo II
t	-0,84	-0,51
Ap	0,26	-0,96
Fm	0,95	0,23
Fp	0,94	-0,03
Fcs	0,99	-0,01
LB	0,98	-0,06
RMSMD	0,33	-0,93

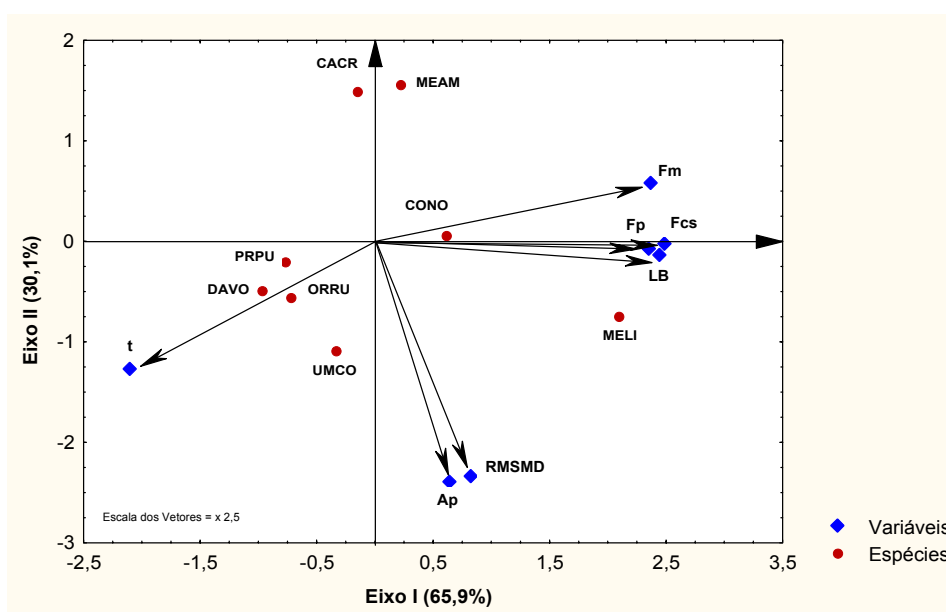


Figura 28. Diagrama resultante da análise fatorial, análise de componentes principais, mostrando a distribuição das espécies e das variáveis acústicas.

O grupo I foi constituído por três espécies, dentre elas *D. volitans* e *P. punctatus*, únicas que apresentam uma bexiga natatória dupla, e *O. ruber*, cuja bexiga é simples, mas bastante desenvolvida. Essas espécies apresentaram ainda valores elevados para o peso total e duração de sinal, os mais baixos

valores para frequência principal, frequência de corte superior e largura de banda, além de valores de frequência de modulação mais baixos relativos às duas espécies que possuem bexiga natatória dupla (DAVO e PRPU). Os valores de amplitude de pico e “root mean squared” médio (RMSMD), para as três espécies que formaram este grupo foram médios em relação às oito espécies analisadas.

O grupo II reuniu quatro espécies sendo que; *C. crysos*, *U. coroides*, e *C. nobilis* possuem uma bexiga natatória simples e *M. americanus*, cuja bexiga regride ao longo do crescimento da espécie. Essas espécies apresentaram uma variação na interação dos valores das variáveis de frequência e duração do sinal observando-se que, para as variáveis, frequência de modulação, frequência principal, frequência de corte superior e largura de banda, os valores apresentados para estas espécies foram superiores àqueles das espécies do grupo I, ao contrário dos valores de duração do sinal, inferiores para CACR, CONO e MEAM e mais elevados para UMCO quando comparados aos peixes do grupo I. As espécies do grupo II não se destacaram, no geral, quanto aos valores de amplitude de pico apresentando valores intermediários, exceto para CACR que foi a espécie, dentre todas as examinadas, que menor valor apresentou para este parâmetro. Nesse grupo, CACR apresentou os valores mais altos para o peso enquanto que CONO apresentou os mais baixos em relação a todas as oito espécies examinadas.

O grupo III foi representado por apenas uma espécie; *M. littoralis* cuja bexiga também regride ao longo do crescimento da espécie e os exemplares de pequeno porte apresentaram baixos valores em peso. A espécie se destacou por ter apresentado os mais altos valores para as medidas relacionadas à frequência de modulação, frequência principal, frequência de corte superior, largura de banda, amplitude de pico e “root mean squared” médio e o mais baixo valor para a duração do sinal.

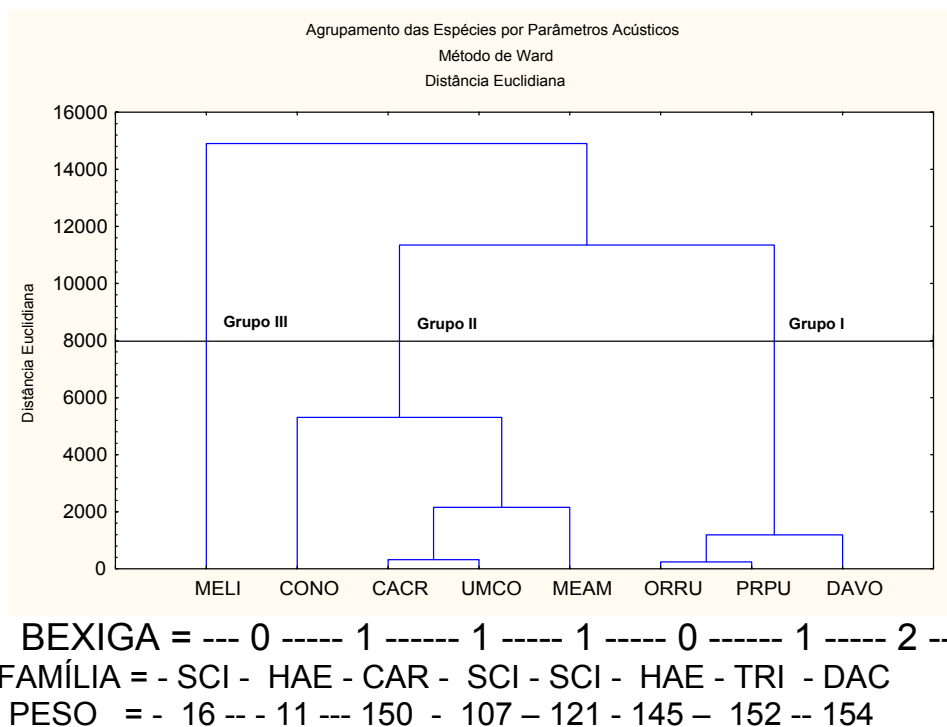


Figura 29. Dendrograma representativo da análise de agrupamento das oito espécies estudadas, baseado nos valores médios dos parâmetros acústicos analisados, utilizando a distância Euclidiana com o método de Ward. Os códigos utilizados representam as duas primeiras letras do gênero e as duas primeiras da espécie (p. ex. MELI = *Menticirrhus littoralis*), os tipos de bexiga (0 = ausente, 1 = simples e 2 = dupla) e as famílias (SClaenidae, HAEmulidae, CARangidae, TRIglidae e DACtylopteridae) e o peso médio em gramas.

5.0 DISCUSSÃO

A despeito dos inúmeros estudos biológicos e oceanográficos realizados na região do Cabo Frio, as informações sobre a composição da ictiofauna local, costeira e oceânica, para a realização deste estudo foram obtidas a partir dos trabalhos realizados por Fagundes Netto & Gaelzer (1991), Ferreira *et al.* (2000) e Gaelzer (2000) e do relatório de acompanhamento dos desembarques provenientes da frota comercial e da pesca artesanal realizado pela Fundação Instituto de Pesca do Arraial do Cabo (FIPAC, 2001). De acordo com estas informações, as espécies de peixes pertencentes às famílias Dactylopteridae, Triglidae, Carangidae, Haemulidae e Sciaenidae, utilizadas nesse estudo, constituem cerca de 25% da ictiofauna bêntica e demersal da região.

Segundo os trabalhos realizados com bioacústica de peixes marinhos, espécies pertencentes a estas famílias foram consideradas potenciais produtoras de sons biológicos (Tower, 1908; Fish & Mowbray, 1970; Chao & Musick, 1977; Mok & Gilmore, 1983 e Amorim & Hawkins, 2000), o que justificou a sua utilização no presente estudo. Entretanto, além dessas, várias outras espécies pertencentes a famílias de peixes marinhos e estuarinos (Batrachoididae, Pomacentridae, Gadidae, Ostraciidae, e Syngnathidae) e de água doce (Mormyridae, Centrarchidae, Cichlidae, Callichthyidae, Mochokidae, Doradidae, Pimelodidae, e Ictaluridae) têm sido objeto de estudos, seja em ambientes naturais ou em condições de laboratório. Ao contrário desse estudo, a maioria dos trabalhos procurou associar a produção de sons ao comportamento agonístico das espécies, durante a corte e a reprodução (Gerald, 1971; Fine & Lenhardt, 1983; Chen & Mok, 1988; Lobel, 1992, 1996 e Mann & Lobel, 1997), ou a alimentação (Colson *et al.*, 1998, Kaparang *et al.*, 1998 e Amorim & Hawkins, 2000). Os estudos que mais se assemelharam ao nosso foram os realizados por Burkenroad (1931), Fish *et al.* (1952), Fish (1954), Fish & Mowbray (1970), Fine *et al.* (1996), Ladich (1997) e Pruzsinszky & Ladich (1998), por terem sido realizados em laboratório e utilizado diferentes formas de estímulo, incluindo os estímulos elétricos e a contenção manual dentro e fora d'água para a avaliação dos sons produzidos pelos peixes.

5.1 Aspectos metodológicos

As metodologias utilizadas por diferentes autores, tanto nos estudos realizados em ambiente natural quanto no laboratório, desde a fase de observação e captura dos organismos até a fase de análise dos sons foram muito variadas, tornando difícil a comparação dos resultados. Mok & Gilmore (1983), analisando os sons produzidos por agregações de peixes Sciaenidae em ambientes estuarinos, sugere que as gravações realizadas em cativeiro são um método direto para identificar um produtor de som. Entretanto, a produção do som pode ser atípica ou nunca ocorrer espontaneamente devido à falta de um estímulo apropriado ou do “stress” inerente ao cativeiro. Gerald (1971) ressaltou, que no ambiente natural a associação exata de um som com um peixe em particular nem sempre foi possível, especialmente quando vários machos cortejavam e emitiam sons ao mesmo tempo. Segundo Almada *et al.* (1996), durante comportamentos agonísticos, mesmo em laboratório, a determinação de qual dos peixes em um confronto produziu o som gravado não pode ser realizada com certeza. Dessa forma, a partir da metodologia utilizada neste estudo, onde foram considerados os sons produzidos em laboratório a partir da contenção manual dos exemplares, a identificação do real produtor do som submetido às mesmas condições de “stress” pode ser realizada com segurança.

Ladich (1997) analisando os sons de ressonância produzidos pela bexiga natatória e de estridulação produzidos pelos espinhos das nadadeiras peitorais de três famílias de bagres tropicais, utilizou o método da contenção manual dos peixes fora e dentro d’água e assinala que no contexto geral, os primeiros registros de sons foram obtidos em situações incômodas para os organismos, como por exemplo quando o peixe é capturado ou é segurado com as mãos.

Amorim (1996) estudando os sons de *Chromis viridis* (Pomacentridae) em laboratório, relatou a dificuldade na comparação de resultados entre autores devido às diferentes terminologias utilizadas na descrição dos sons produzidos. Segundo nossas observações, a comparação fica ainda mais difícil quando considerados os diferentes parâmetros acústicos medidos, que variam

de acordo com os objetivos do trabalho, do material, da sensibilidade e da calibração dos equipamentos de gravação e análise utilizados.

Neste trabalho foram descritas em detalhe as metodologias utilizadas nas diferentes etapas do estudo, desde a captura dos organismos até a análise dos dados, destacando-se os procedimentos na obtenção dos registros e na análise dos sons, o que facilita a comparação dos resultados com trabalhos de outros autores.

5.2 Variação intra-específica

A relação inversa entre o tamanho do corpo do organismo produtor do som e a frequência principal (F_p) dos sons por ele emitidos e uma relação direta com a duração do sinal (t) é descrita por vários autores. Bradbury & Vehrencamp (1998) estudando a comunicação animal, relataram que a pressão de um som propagado depende do quanto rápido o órgão vibrador pode mover um certo volume do meio (ar ou água). Animais pequenos podem deslocar apenas um pequeno volume do meio, em que se encontram, tendo dificuldade em produzir sons de grande intensidade. Seu tamanho também os limita a produzir sons de curto comprimento de onda e portanto de alta frequência. Pequenos animais podem produzir sons de alta intensidade apenas em altas frequências.

Johnson (1948) sugeriu que a diminuição dos valores de frequência dos sons de Sciaenídeos medidos em uma baía ao longo do ano pode ter sido devido ao crescimento dos peixes durante o período e que com o crescimento da bexiga, que age como órgão de ressonância, as frequências foram mais baixas. Colson *et al.* (1998) verificaram que nos estalidos (“clicks”) produzidos por *Hippocampus zosterae* (Syngnathidae) durante a alimentação, a frequência de pico declina significativamente com o aumento de tamanho e que para *H. erectus*, uma espécie consideravelmente maior, os picos de frequência foram mais baixos. Segundo Lobel & Mann (1995), em *Dascylus albisella* (Pomacentridae) o som de corte de machos maiores apresenta frequências mais baixas do que dos menores. Foi suposto ainda que a frequência é um

sinal determinado pela morfologia da bexiga e pelo tamanho do corpo, e por isso pode ser evidente em muitas espécies.

Bass *et al.* (1997), verificaram diferenças intra-específicas em sons emitidos por machos do mamangá *Porichthys notatus* (Batrachoididae) em ambiente natural. Em outro estudo, Bass & Marchaterre (1989) observaram que na mesma espécie (*P. notatus*), machos menores e fêmeas adultas não produziram sons e examinaram possíveis diferenças sexuais no tamanho dos neurônios motores e no tipo e distribuição dos seus botões terminais aferentes com relação aos machos maiores, que produziram sons. Fine (1978) estudou as variações sazonal e geográfica dos chamados para acasalamento em *Opsanus tau* (Batrachoididae) e afirma que não existe uma razão para esperar que o tamanho do peixe afete a taxa de contração dos músculos sônicos ligados à bexiga ou a duração do sinal, embora vá afetar inversamente a frequência de ressonância da bexiga e verificou que os sons produzidos passaram por um ciclo sazonal pronunciado. A frequência fundamental atingia um pico no início do verão e diminuía ao longo da estação, sendo mais alta nas populações do sul do que nas populações do norte. Essas variações foram atribuídas às variações na temperatura da água. Para esta espécie, a duração do sinal que é independente da temperatura variou irregularmente ao longo da costa.

Os valores médios dos parâmetros bioacústicos medidos para cada exemplar apresentados por espécie nas tabelas II a IX demonstraram, via de regra, que estes resultados mesmo tendo sido obtidos a partir da contenção manual dos exemplares apresentaram relação inversa entre o peso e a frequência principal (F_p) e direta com a duração do sinal (t). Os valores de amplitude de pico (A_p) não apresentaram nenhum padrão em relação ao peso. As variações individuais observadas podem ter sido causadas por diferenças entre sexos e pela presença de exemplares jovens, de sexo indeterminado. O número de indivíduos examinados por espécie não foi suficiente para avaliar uma relação entre sexo e os parâmetros acústicos.

Os resultados das correlações intra-específicas apresentados na tabela X indicaram que houve um padrão geral mas que ocorreram diferenças nas correlações (**R**) entre as espécies. A diferença no número de exemplares examinados e a pouca variação em peso dentro de algumas espécies podem

ter influenciado os resultados. As correlações mais baixas entre a duração do sinal (t) e o peso, foram observadas para as espécies onde os desvios padrão (DP) em peso foram menores, sendo que para estas espécies (*C. crysos*, *O. ruber*, *C. nobilis* e *M. littoralis*), nenhum outro parâmetro apresentou diferenças significativas, como mostra a tabela X. As espécies com maiores variações em peso (*P. punctatus*, *D. volitans* e *U. coroides*) foram as que apresentaram altos valores para a duração do sinal, independente do número de exemplares examinados, o que sugere uma correlação entre o peso e a duração do sinal (t).

Este estudo não mostrou nenhuma correlação entre a amplitude de pico (Ap) e o peso, sugerindo que o peso não foi um fator decisivo na amplitude pelo menos para as espécies estudadas. Segundo Bradbury & Vehrencamp (1998), comparando com animais terrestres, onde existe uma relação direta entre o peso e a amplitude, os organismos aquáticos têm muito menos problemas no acoplamento final dos sons com o meio onde vivem. Órgãos estridulatórios têm uma impedância similar à água, assim, os sons que eles produzem percorrem longas distâncias sem a ajuda de estruturas de ressonância.

As correlações entre o peso e a frequência principal (Fp), foram negativas para sete das oito espécies estudadas, a exceção foi *C. nobilis*, cujo desvio padrão (DP) em peso foi muito inferior ao das outras espécies e os exemplares examinados eram imaturos. Para largura de banda (LB) os valores das correlações, em geral, também foram negativos, exceto para *D. volitans* e *M. americanus*. Entretanto, para *D. volitans* onde o desvio em peso foi maior, o valor da correlação foi baixo, ao contrário de *M. americanus* onde uma menor variação em peso pode ter acarretado um alto valor de correlação que também indicou uma diferença significativa. *M. americanus* apresentou relações opostas entre o peso e outros valores de frequência. Nesta espécie, a ausência de bexiga natatória nos exemplares examinados pode ter influenciado neste resultado, entretanto essa evidência não ficou clara.

5.3 Variação interespecífica

A comunicação entre os animais requer que um sinal seja produzido por um indivíduo, que ele viaje através do meio e que a informação nele contida seja transmitida e recebida por um animal receptor (Forest *et al.*, 1993). Diferentemente de outros vertebrados cujos representantes possuem um órgão sônico homólogo, como a laringe ou a laringe inferior nas aves, os peixes independentemente evoluíram numerosos mecanismos na produção de sons (Fine *et al.*, 1996). Estes sons são tipicamente produzidos por uma bexiga natatória que é deformada, estendida ou distendida, por músculos sônicos extrínsecos ou intrínsecos ou pela estridulação causada pela fricção óssea das cinturas peitorais, espinhos dorsais, vértebras ou dentes faríngeos. Jones & Marshall (1952) estudando a estrutura e função da bexiga natatória nos teleósteos destacam que além de funcionar como órgão hidrostático e desempenhar papel na respiração, a bexiga pode agir como órgão de sentido e servir como produtora de som. A bexiga pode funcionar como um órgão acessório de audição, em peixes onde está acoplada ao ouvido ou através dos ossículos Weberianos ou dos seus próprios divertículos, respondendo melhor a sons de alta frequência e baixa intensidade do que peixes que não tenham essa conexão.

Ladich (1997) comparou os sons de ressonância da bexiga e de estridulação produzidos por peixes de três famílias de bagres, investigando a diversidade nas vocalizações entre famílias muito próximas e determinando como as diferenças podem ser relacionadas com a morfologia dos órgãos sônicos. Ao contrário dos sons de estridulação, os de ressonância foram constituídos por sinais harmônicos de baixas frequências de pulsos simples. A duração dos pulsos variou de alguns milissegundos a 1,5 Seg. não sendo encontradas diferenças significativas entre as famílias, porém, dentro dos Pimelodidae as diferenças foram marcantes. Em situações de agonia, os sons da bexiga eram emitidos junto com os sons de estridulação das nadadeiras peitorais. Embora comuns em aves e em muitos mamíferos, a frequência modulada de sons em peixes não é muito observada. Modulações de frequência refletem mudanças nas taxas de repetição dos pulsos, isto é, na taxa de contração dos músculos de ressonância. As modulações em frequência

ocorrem em representantes de diferentes famílias de teleósteos e talvez sejam devidas à fadiga muscular ou a diferentes níveis de excitação. Contudo, ruídos de banda larga (1000-4000 Hz) podem ser um sinal de alerta eficiente contra aves predadoras como as garças, devido às suas maiores sensibilidades auditivas. Sendo assim, a utilização de dois diferentes tipos de sinais acústicos – sons de baixa frequência contra predadores piscívoros aquáticos e de altas frequências contra predadores aéreos – podem ser vantajosos. Marshall (1965) descreveu que em sons provenientes do movimento de natação dos peixes o pico dos sons mais intensos tendem a ser menores nos peixes maiores, que nadam com menos batimentos de cauda do que os menores. Muitos peixes também produzem ruído ao se alimentar e os teleósteos são particularmente interessantes, devido à proximidade dos músculos que articulam os maxilares e produzem o atrito dos dentes faríngeos à parte anterior da bexiga natatória. Os sons de moer ou de raspar que são produzidos geram ressonância na bexiga em frequências que variam com o tamanho do peixe. Como nos grilos, os peixes produzem sons por estridulação, isto é, pela fricção de duas partes do esqueleto que normalmente são mais altos do que os produzidos pela bexiga natatória. Em alguns Sciaenidae, machos e fêmeas através de músculos de ressonância da bexiga produzem roncamentos ou grunhidos com frequências mais baixas que são um meio de assegurar a formação de casais e o sucesso na reprodução.

Segundo Chao (1978) os sons produzidos por diferentes espécies de Sciaenidae também produzem diferentes faixas de frequência. Isto pode ser resultado das diferentes morfologias das bexigas nos diferentes Sciaenídeos. Para esta família de teleósteos, devido às diferenças morfológicas existentes entre as bexigas, foi possível uma associação filogenética entre os gêneros, entretanto o autor ressalta que esta associação pode não refletir a realidade, sugerindo que novos estudos em outras áreas, particularmente no Pacífico oriental, seriam necessários para testar estas relações.

Os resultados deste estudo (Tabela XI) sugeriram que espécies como DAVO e PRPU, que possuem bexiga natatória dupla e bem desenvolvida utilizaram preferencialmente este órgão de ressonância na produção de sons quando contidos manualmente, uma vez que os sinais foram caracterizados por apresentarem baixa frequência, longa duração e energia concentrada em

uma estreita largura de banda. Quanto às espécies que apresentaram bexiga simples, ORRU que possui este órgão mais desenvolvido que as outras observadas, apresentou valores mais próximos das que têm bexiga dupla para a frequência, e pouco superiores para duração e largura de banda. Para CONO, CACR e UMCO as frequências foram mais elevadas, a duração do sinal foi menor e as larguras de banda muito superiores, sugerindo uma conjugação dos mecanismos de ressonância da bexiga e de estridulação dos dentes faríngeos na produção dos sons. MEAM e MELI pertencem a um gênero de Sciaenidae cuja bexiga natatória degenera ou atrofia nos adultos, podendo ser atrofiada mesmo em indivíduos jovens (Chao, 1978), indicando que os sons foram produzidos principalmente por estridulação. Nestas espécies, as frequências foram bem mais elevadas do que em todas as outras, os sinais foram de curta duração e a largura de banda em MELI foi a maior entre todas as espécies examinadas. Em MEAM a largura de banda esteve próxima à encontrada para as espécies com bexiga simples e com peso aproximado. As variações acústicas entre estas duas espécies de Sciaenidae podem ter sido devidas às diferenças em peso e ao estágio sexual. Os exemplares de MEAM eram adultos e maiores do que os de MELI, todos ainda jovens e com sexo indeterminado. De maneira geral, os pesos médios das oito espécies estudadas variaram refletindo nos resultados encontrados. Podemos dizer que, para as espécies estudadas, além do tamanho do corpo o órgão produtor de som também é um fator importante na produção de sons.

Amorim (1996) estudou a produção de sons por *Chromis viridis* (Pomacentridae) em laboratório e observou variações nos estalidos (“clicks”) produzidos a níveis intra e interespecíficos, ao comparar os resultados com os de *Pomacentrus partitus*, julgando necessário comparar os sons de *C. viridis* com outros sons agonísticos produzidos por eles e por espécies correlatas. Amorim & Hawkins (2000) observaram que rosnados foram típicos entre os triglídeos (Triglidae) europeus, contudo, os sons emitidos por uma espécie (*Trigloporus lastoviza*) foram cerca de cinco vezes mais longos do que os das outras duas espécies.

Segundo Chapman (1973), embora a similaridade na audição deva ser esperada em espécies próximas, a demonstração de uma relação entre audição e o nível de ruído ambiente marinho em quatro espécies de gadídeos

(Gadidae), sugeriu que uma relação similar poderia ser encontrada em um grande número de espécies. Pode ser esperado que exista muito mais similaridade entre a audição de diferentes espécies ocupando o mesmo habitat e portanto sujeitas às mesmas condições de ruído ambiente.

A produção de sons por *Amphiprion clarkii* e *A. frenatus* (Pomacentridae) em cativeiro foi estudada por Chen & Mok (1988). Os resultados mostraram que as espécies que vocalizam também diferem em suas atividades entre indivíduos da mesma espécie e como a vocalização está associada com a agressão, as diferenças podem indicar variações específicas na agressão a indivíduos da mesma espécie. Diferenças também foram observadas em agressões durante interações com outras espécies. Ainda com relação a Pomacentrídeos, Lobel & Mann (1995) relacionando o tamanho dos machos aos sons de desova encontraram diferenças altamente significativas ($p < 0,001$). Luh & Mok (1986) estudando a produção de sons por *Dascyllus trimaculatus* (Pomacentridae) em laboratório observaram que os sons de submissão são os mais longos e os de ameaça os mais curtos e que a frequência e a distribuição de energia dos sons de *D. trimaculatus* e *Eupomacentrus partitus* foram diferentes. De acordo com Lobel (1992) os chamados entre pomacentrídeos e certrarcídeos têm demonstrado ser específicos das espécies e importantes na seleção do par.

Segundo Crawford *et al.* (1997), uma análise detalhada de sons de *Pollimyrus adspersus* (Mormyridae) demonstrou que as características acústicas constituem assinaturas individuais que podem ser usadas por grupos da mesma espécie para identificação individual. Em peixes de água doce da família Centrarchidae, Gerald (1971) concluiu que as características de amplitude e frequência da maioria dos sinais acústicos não continham informações suficientes para funcionar na comunicação intra-específica. Ladich (1997) afirmou que, embora nenhuma informação detalhada estivesse disponível, existem indicações de que os bagres utilizam diferentes órgãos produtores de sons em diferentes contextos intra-específicos. Segundo Myrberg *et al.* (1965) em *Hemichromis bimaculatus* (Cichlidae), machos e fêmeas produziram sons sendo que o dos machos era ouvido mais frequentemente e variava entre os indivíduos.

Kaparang *et al.* (1998), verificaram diferenças nas características dos sons produzidos por duas espécies de carangídeos (*Seriola quinqueradiata* e *S. dumerili*) de diferentes tamanhos, durante a natação e a alimentação em tanques rede.

Os resultados das ANOVAS monofatoriais (Tabela XII) mostraram haver diferenças altamente significativas ($<0,001$) entre as espécies para dez dos doze parâmetros acústicos examinados, exceto para amplitude de pico que apresentou diferença significativa ($<0,05$) e para “root mean squared” máximo ($<0,01$). Da mesma forma, os valores de correlação “r” entre o peso e os parâmetros acústicos (Tabela XIII) apresentaram diferenças significativas para os valores acústicos no domínio da freqüência e um “r” baixo para os valores de amplitude. As regressões indicaram que o peso foi um fator importante em relação às freqüências e à duração do sinal.

A amplitude se mostrou menos correlacionada com o peso, tanto intra quanto interespecífica sugerindo que este parâmetro não é influenciado pelo peso dos exemplares.

A análise de componentes principais (**ACP**) (Figura 28) mais uma vez comprovou a importância dos parâmetros de freqüência e de duração do sinal que foram responsáveis pela explicação de 65,9% do eixo principal na distribuição das espécies. Por outro lado o eixo II que explicou 30,1% recebeu uma grande contribuição em amplitude. Vale ressaltar que inicialmente todos os doze (12) parâmetros acústicos e os três (03) biológicos avaliados foram incluídos nas análises, entretanto não alteraram muito a distribuição das espécies. Em função disso, optou-se por eliminar das análises parâmetros acústicos redundantes como por exemplo; freqüência de corte inicial, freqüência central, número de sub-pulsos e valores de “root mean squared” mínimo e máximo. As variáveis que foram excluídas não representaram valores significativos na composição dos eixos e na distribuição das espécies, não alterando os resultados apresentados. Ficou evidenciada, mais uma vez, a importância da freqüência e da duração do sinal na distribuição das espécies estudadas. Os resultados das análises multivariadas mostraram que além do órgão produtor de som e do tamanho do peixe, fatores como freqüência e duração do sinal também foram importantes na distribuição das espécies.

Para a análise de agrupamento, foram mantidos os mesmos parâmetros e pôde-se observar uma relação dos tipos de bexiga com os valores acústicos analisados na formação dos grupos. Por outro lado, acusticamente, as espécies não formaram grupos em famílias como era esperado. A presença de indivíduos imaturos sexualmente, o pequeno número de exemplares para certas espécies e as variações em peso entre os indivíduos da mesma espécie podem ter influenciado, por exemplo, na separação de MELI (imaturos) e MEAM e no agrupamento de ORRU com DAVO e PRPU.

6.0 SÍNTESE E CONCLUSÕES

- ◀ Foi observada uma relação inversa entre o tamanho/peso do corpo do organismo produtor do som e a frequência principal (F_p) dos sons por ele emitidos, e uma relação direta com a duração do sinal (t), tanto intra quanto interespecificamente.
- ◀ Este estudo não mostrou correlação entre a amplitude de pico (A_p) e o peso, sugerindo que o peso não foi um fator decisivo na amplitude para as espécies estudadas tanto intra quanto interespecífica, ao contrário dos animais terrestres, onde existe uma relação direta entre o peso e a amplitude.
- ◀ As espécies *Dactylopterus volitans* e *Prionotus punctatus* que possuem bexiga natatória dupla e bem desenvolvida utilizaram preferencialmente este órgão de ressonância na produção de sons.
- ◀ Para *Conodon nobilis*, *Carangoides crysos* e *Umbrina coroides* cujas bexigas natatórias são simples, foi utilizada uma conjugação dos mecanismos de ressonância da bexiga e de estridulação dos dentes faríngeos na produção dos sons.

- ◄ No gênero *Menticirrhus* a bexiga natatória degenera ou atrofia nos adultos, indicando que os sons foram produzidos principalmente por estridulação.

- ◄ A presença de indivíduos imaturos sexualmente, o pequeno número de exemplares para certas espécies e as variações em peso entre os indivíduos da mesma espécie influenciaram na formação dos agrupamentos.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almada, V. C.; Amorim, M. C. P. de.; Pereira, E.; Almada, F.; Matos, R. & Godinho, R. 1996. Agonistic behaviour and sound production in *Gaidropsarus mediterraneus* (Gadidae). *J. Fish Biol.*, 49: 363-366.
- Amorim, M. C. P. de 1996. Sound production in the blue-green damselfish, *Chromis viridis* (Cuvier, 1830) (Pomacentridae). *Bioacoustics*, 6: 265-272.
- _____ & Hawkins, A. D. 2000. Growling for food: acoustic emissions during competitive feeding of the streaked gurnard. *J. Fish Biol.*, 57: 895-90.
- Bass, A. H.; Bodnar, D. A. & McKibben, J. R. 1997. From neurons to behavior: Vocal-acoustic communication in teleost fish. *Biol. Bull.*, 192: 158-160.
- _____ & Marchaterre, M. A. 1989. Sound-generating (sonic) motor system in a teleost fish (*Porichthys notatus*): Sexual polymorphisms and general synaptology of sonic motor nucleus. *J. Comp. Neurol.*, 286: 154-169.
- Bradbury, J. W. & Vehrencamp, S. L. 1998. *Principles of animal communication*. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. 882p.
- Burkenroad, M. D. 1931. Notes on the sound producing marine fishes of Louisiana. *Copeia*, 20-28.
- Chao, L. N. 1978. A basis for classifying Western Atlantic Sciaenidae (TELEOSTEI: Perciformes). *NOAA Technical Report. Circular – 415*. 63pp.

- _____ & Musick, J. A. 1977. Life story, feeding habits, and functional morphology of juvenile sciaenid fishes in the York river estuary, Virginia. *Fish. Bull.*, 75: 657-702.
- Chapman, C. J. 1973. Field studies of hearing in teleost fish. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 24: 371-390.
- Chen, K.-C. & Mok, H.-K. 1988. Sound production in the anemonefishes, *Amphiprion clarkii* and *A. frenatus* (Pomacentridae), in captivity. *Japan. J. Ichthyol.*, 35 (1): 90-97.
- Colson, D. J.; Patek, S. N.; Brainerd, E. L. & Lewis, S. M. 1998. Sound production during feeding in *Hippocampus* seahorses (Syngnathidae). *Env. Biol. Fish.*, 51: 221-229.
- Cool Edit Pro. 1997. Version 1.12 user guide. Syntrillium Software Corporation, Phoenix. 236p.
- Crawford, J. D.; Cook, A. P. & Heberlein, A. S. 1997. Bioacoustic behaviour of African fishes (Mormyridae): Potential cues for species and individual recognition in *Pollimyrus*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 102 (2): 1200-1212.
- Etter, P. C. 1996. *Underwater acoustic modeling: Principles, techniques and applications*. E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, London, 344p.
- Fagundes Netto, E. B. & Gaelzer, L. R. 1991. Associações de peixes bentônicos e demersais na região do Cabo Frio, RJ, Brasil. *Nerítica*, 6 (1-2): 139-156.
- Ferreira, C. E. L.; Gonçalves, J. E. A. & Coutinho, R. 2000. Community structure of fishes and habitat complexity on a tropical rocky shore. *Env. Biol. Fish.*, 00: 1-17.

Figueiredo, J. L. & Menezes, N. A. 1978. *Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil*. II Teleostei (1). São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 110p.

_____ & _____ 1980 *Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil*. III Teleostei (2). São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 90p.

Figueiredo, L. D. de 2000. *Hipótese do assovio-assinatura : Estudo da ocorrência de tal fenômeno junto à população de Sotalia fluviatilis (Cetacea, Delphinidae) da baía de Sepetiba (RJ)*. Tese de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Seropédica - RJ, 77p.

Fine, M. L. 1978. Seasonal and geographical variation of the mating call of the oyster toadfish *Opsanus tau* L.. *Oecologia (Berl.)* 36: 45-57.

_____ & Lenhardt, M. L. 1983. Shallow-water propagation of the toadfish mating call. *Comp. Biochem. Physiol., 76A (2)*: 225-231.

_____ ; McElroy, D.; Rafi, J.; King, C. B.; Loesser, K. E. & Newton, S. 1996. Lateralization of pectoral stridulation sound production in the channel catfish. *Physiol. & Behav., 60 (3)*: 753-757.

FIPAC – Fundação Instituto de Pesca do Arraial do Cabo, 2001. Programa da qualidade total da pesca do município de Arraial do Cabo – Estatística pesqueira, 33p.

Fischer, W. 1978. *FAO species identification sheets for fishery proposes. Western Central Atlantic (Fishing Area 31)*. Roma, FAO, vol. I-VII.

Fish, M. P. 1954. The character and significance of sound production among fishes of the western North Atlantic. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.* 14: 1-109.

- _____, Kelsey, A. S. Jr. & Mowbray, W. H. 1952. Studies on the production of underwater sound by North Atlantic coastal fishes. *Jour. Mar. Res.* 11: 180-193.
- _____ & Mowbray, W. H. 1970. *Sounds of western north Atlantic fishes*. The Johns Hopkins Press, Baltimore and London. 207p.
- Forest, T. G.; Miller, G. L. & Zagar, J. R. 1993. Sound production in shallow water: Implications for acoustic communication by aquatic animals. *Bioacoustics*, 4: 259-270.
- Gaelzer, L. R. 2000. *Influência do grau de exposição às ondas sobre a estrutura da comunidade ictiofaunística na zona de arrebentação da Prainha, Arraial do Cabo, RJ*. Tese de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Laboratório de Ciências Ambientais, Campos dos Goytacazes - RJ, 67p.
- Gerald, J. W. 1971. Sound production during courtship in six species of sunfish (Centrarchidae). *Evolution*, 25: 75-87.
- Gerges, S. N. Y. 2000. *Ruído: Fundamentos e controle*. NR Editora, Florianópolis. 696p.
- Harder, W. 1975. *Anatomy of fishes*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. Part I Text 612p., Part II Figures and Plates 132p. + 13 plates.
- Hauser, M. D. 1997. *The evolution of communication*. A Bradford Book, the MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London, England. 760p.
- Johnson, M. W. 1948. Sound as a tool in marine ecology, from data on biological noises and the deep scattering layer. *J. Mar. Res.*, VII (3): 443-458.

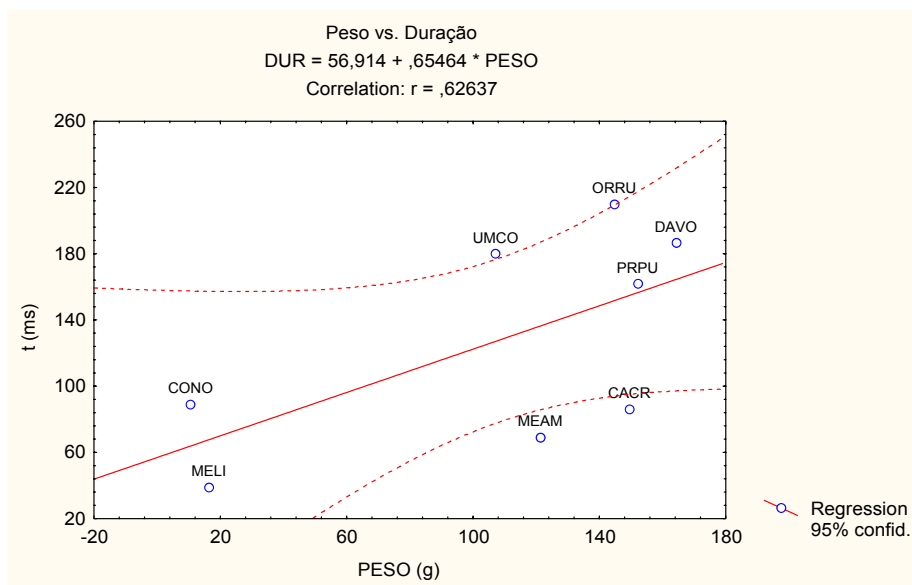
- Jones, F. R. H. & Marshall, N. B. 1952. The structure and functions of the teleostean swimbladder. *Biol. Ver. Cambridge Philos. Soc.*, 28: 16-83.
- Kaparang, F. E.; Matsuno, Y.; Yamanaka, Y. & Fujieda, S. 1998. Studies on underwater sounds produced by yellowtail *Seriola quinqueradiata* and amberjack *Seriola dumerili* in net pens at culture grounds in middle Kagoshiima bay. *Fisheries Sci.*, 64 (3): 353-358.
- Kellogg, W. N. 1953. Bibliography of the noises made by marine organisms. *Amer. Mus. Novitates*, 1611: 1-5.
- Ladich, F. 1997. Comparative analysis of swimbladder (drumming) and pectoral (stridulation) sounds in three families of catfishes. *Bioacoustics*, 8: 185-208.
- Legendre, L. & Legendre, P. 1983. *Numerical ecology*. Elsevier New York, 420p.
- Lobel, P. S. 1992. Sounds produced by spawning fishes. *Env. Biol. Fish.*, 33: 351-358.
- _____ 1996. Spawning sound of the trunkfish, *Ostracion meleagris* (Ostraciidae). *Biol. Bull.*, 191: 308-309.
- _____ & Mann, D. A. 1995. Spawning sounds of the damselfish, *Dascyllus albisella* (Pomacentridae), and relationship to male size. *Bioacoustics*, 6: 187-198.
- Luh, H. K. & Mok, H. K. 1986. Sound production in the domino damselfish, *Dascyllus trimaculatus* (Pomacentridae) under laboratory conditions. *Japan. J. Ichthyol.*, 33 (1): 70-74.

- Mann, D. A. & Lobel, P. S. 1995. Passive acoustic detection of sounds produced by the damselfish *Dascyllus albisella* (POMACENTRIDAE). *Bioacoustics*, 6: 199-213.
- _____ & _____ 1997. Propagation of damselfish (Pomacentridae) courtship sounds. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103(6): 3783-3791.
- _____ & _____ 1998. Acoustic behavior of the damselfish *Dascyllus albisella*: behavioral and geographic variation. *Env. Biol. Fish.*, 51: 421-428.
- _____, Bowers–Altman, J. & Rountree, R. A. 1997. Sounds produced by the Striped Cusk-Eel *Ophidion marginatum* (OPHIDIIDAE) during courtship and spawning. *Copeia*, 3, 610 – 612.
- Marshall, N. B. 1965. *The life of fishes*. William Clowes and Sons, Limited. London and Beccles. 402p.
- Marteleto, M. & Fagundes Netto, E. B. 2000. Bioacústica submarina de peixes da região de Cabo Frio, RJ. *Anais do XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*. UFMG. 357-362.
- Menezes, N. A. & Figueiredo, J .L. 1980. *Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil*. IV Teleostei (3). São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 96p.
- _____ & _____ 1985. *Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil*. V Teleostei (4). São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 105p.
- Mok, H.-K. & Gilmore, R. G. 1983. Analysis of sound production in estuarine aggregations of *Pogonias cromis*, *Bairdiella chrysoura*, and *Cynoscion nebulosus* (Sciaenidae). *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica* 22 (2): 157-186.

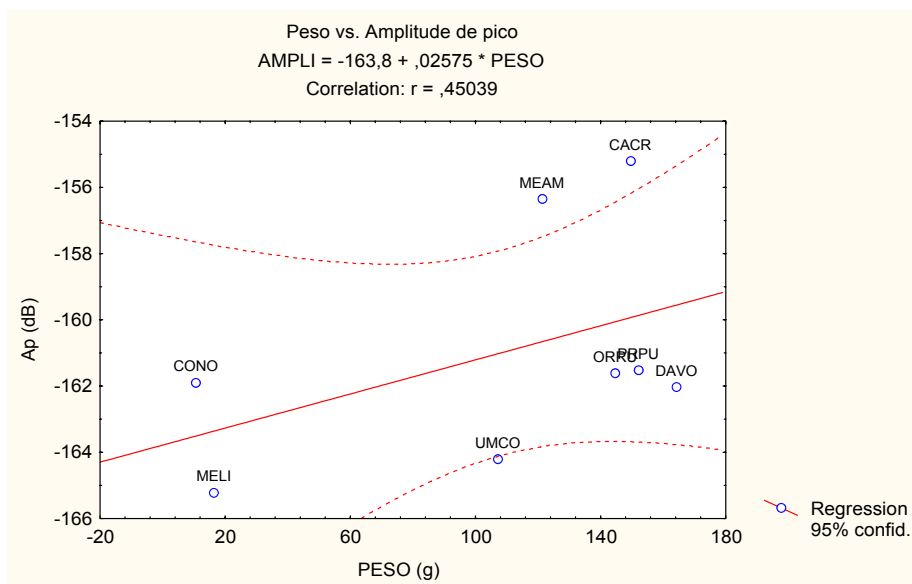
- Myrberg Jr., A. A.; Kramer, E. & Heinecke, P. 1965. Sound production by cichlid fishes. *Science*, 149: 555-558.
- Nelson, J. S. 1984. *Fishes of the world*. John Wiley & Sons, New York. 523p.
- Pruzsinszky, I. & Ladich, F. 1998. Sound production and reproductive behaviour of the armoured catfish *Corydoras paleatus* (Callichthyidae). *Env. Biol. Fish.*, 53: 183-191.
- StatSoft, Inc. 1995. Statistica for Windows 6.0 (Computer Program Manual). Tulsa.
- Stoll, R. D. 1989. *Sediment acoustics. Lecture notes in earth sciences*, nº 26. Bhattacharji, S., Friedman, G.M., Neugebauer, H.J. & Seilacher, A. (eds). Springer-Verlag. Berlin.153p.
- Tavolga, W. N. 1960. Sound production and underwater communication in fishes. Lanyon, W. E. & Tavolga, W. N. (eds). *Animal sounds and communication* Am. Inst. Biol. Sci. nº 7, Intelligencer Printing Company, Washington, DC: 93-136.
- Tower, R. W. 1908. The production of sound in the drumfishes, the sea robin and the toadfish. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 18:149-180.
- Urick, J. R. 1983. *Principles of underwater sound*. McGraw-Hill Book Company, New York, 423p.
- Vazzoler, A. E. A. de M. 1981. *Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes; reprodução e crescimento*. CNPq., Brasília. 108p.
- Wenz, G. M. 1962. Acoustic ambient noise in the ocean: Spectra and sources. *J. Acoust. Soc. Am.*, 34 (12): 1936-1956.

8.0 ANEXOS

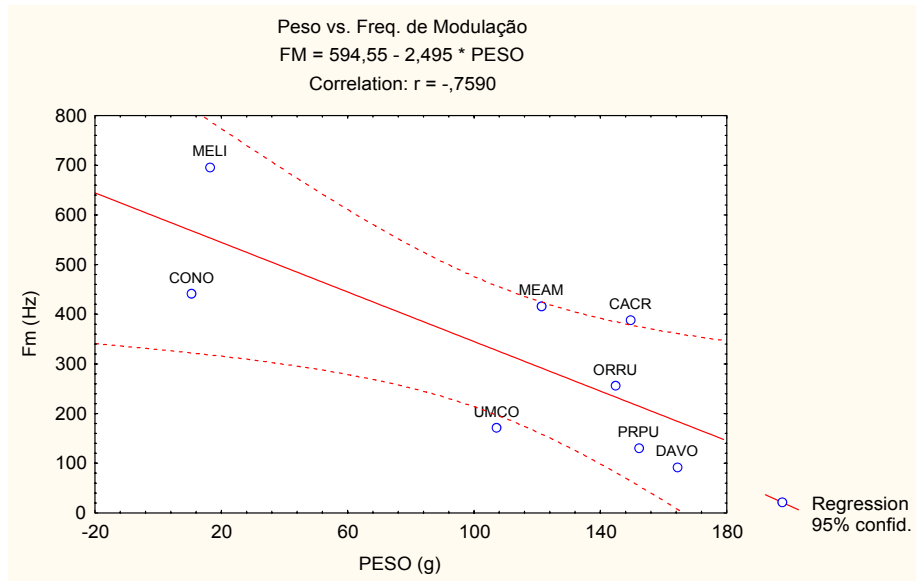
Anexo I – Correlações entre o peso médio das espécies e os valores médios para cada um dos diferentes parâmetros acústicos.



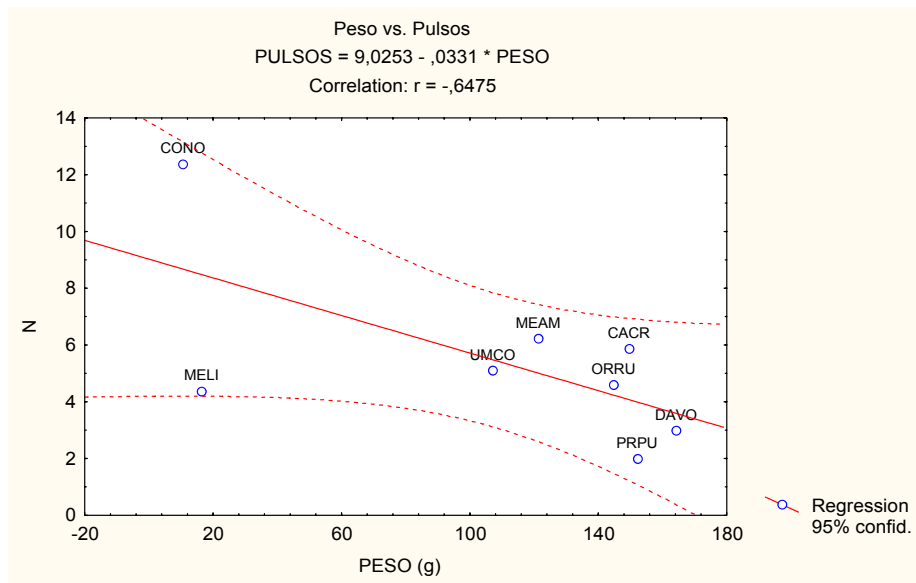
A – Correlação peso X t (duração do sinal)



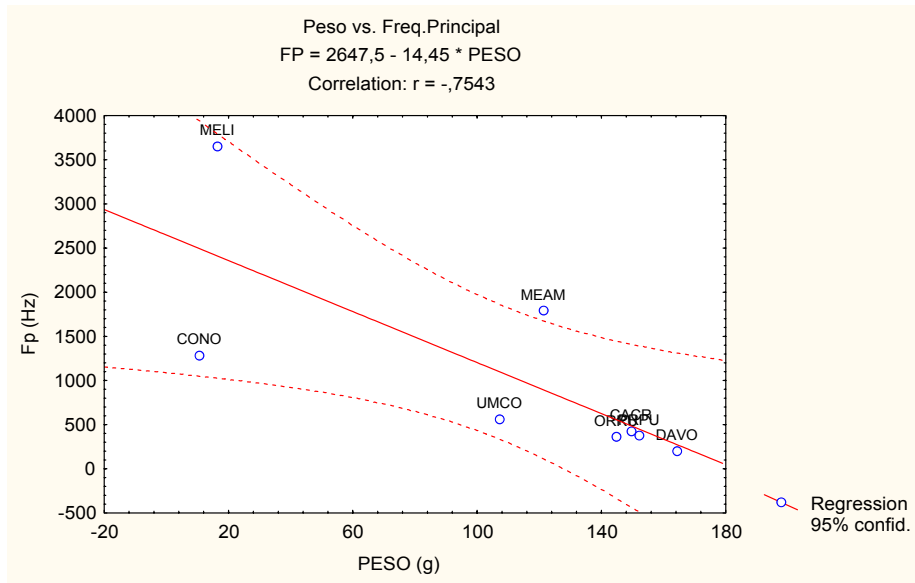
B - Correlação peso X Ap (amplitude de pico)



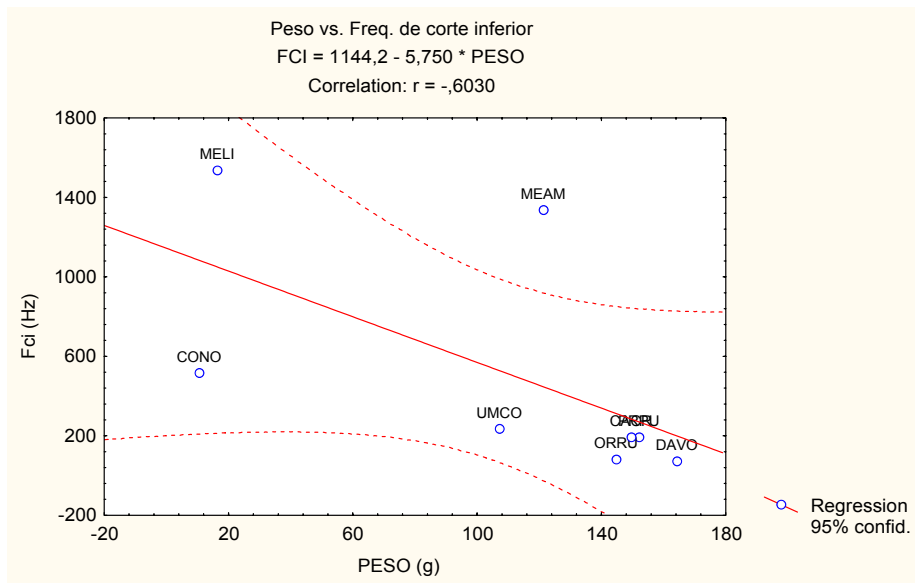
C - Correlação peso X Fm (frequência de modulação)



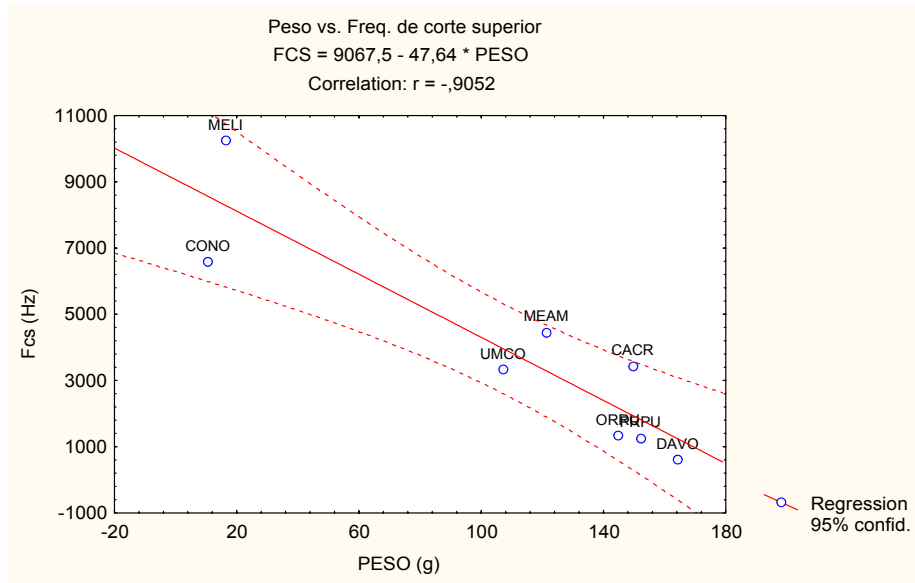
D - Correlação peso X N (número de sub-pulsos)



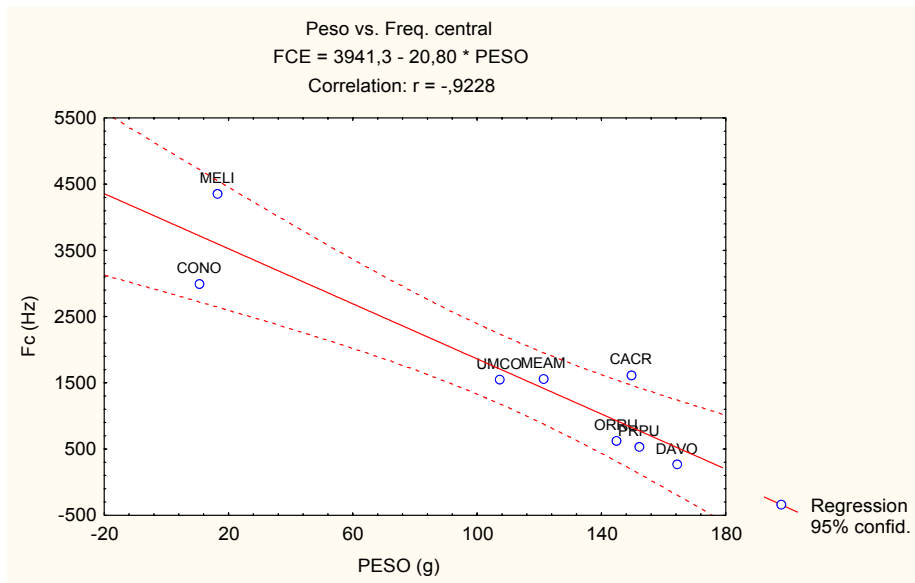
E - Correlação peso X Fp (frequência principal)



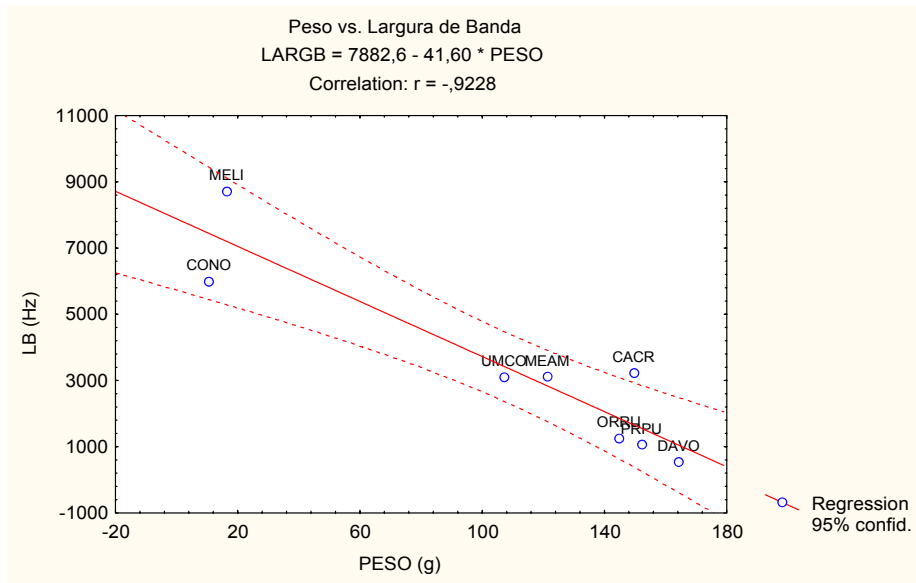
F - Correlação peso X Fci (frequência de corte inferior)



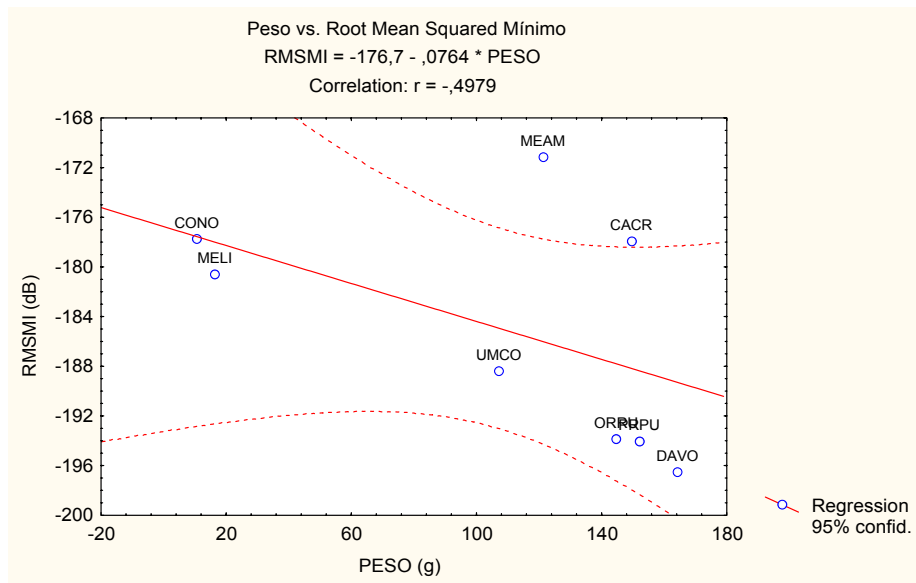
G - Correlação peso X Fcs (frequência de corte superior)



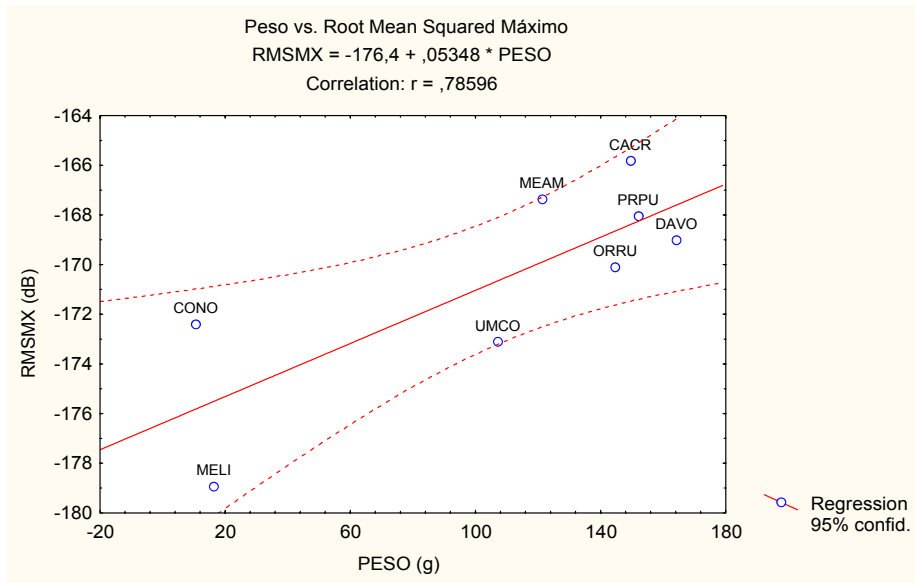
H - Correlação peso X Fc (frequência central)



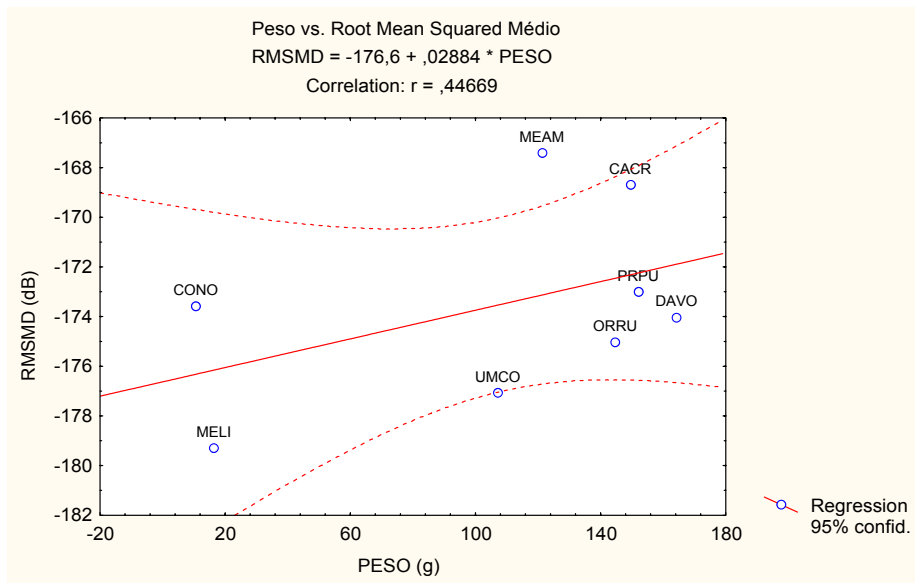
I - Correlação peso X LB (largura de banda)



J - Correlação peso X RMSMI (“root mean squared” mínimo)



K - Correlação peso X RMSMX (“root mean squared” máximo)



L - Correlação peso X RMSMD (“root mean squared” médio)