

**FÁBIO ULISSES RAMOS COSTA FILHO**

**CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO COMPORTAMENTO ALIMENTAR DO  
CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* NA FASE BERÇÁRIO**

**Recife,**

**Setembro/2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA**  
**BACHAREL EM ENGENHARIA DE PESCA**

**CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO COMPORTAMENTO ALIMENTAR DO  
CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* NA FASE BERÇÁRIO**

**FÁBIO ULISSES RAMOS COSTA FILHO**

*Trabalho de conclusão apresentado ao Curso  
de Engenharia de Pesca da Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, como  
exigência para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia de Pesca*

**Prof. Dr. Silvio Ricardo Maurano Peixoto**

**Orientador**

**Recife,**

**Setembro/2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C838c

Filho, Fábio Ulisses Ramos Costa  
CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO COMPORTAMENTO ALIMENTAR DO CAMARÃO MARINHO  
Litopenaeus vannamei NA FASE BERÇÁRIO / Fábio Ulisses Ramos Costa Filho. - 2023.  
24 f. : il.

Orientador: Silvio Ricardo Maurano Peixoto.  
Inclui referências e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em  
Engenharia de Pesca, Recife, 2023.

1. Monitoramento acústico passivo. 2. caracterização acústica. 3. carcinicultura. I. Peixoto, Silvio Ricardo Maurano,  
orient. II. Título

CDD 639.3

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO**  
**BACHAREL EM ENGENHARIA DE PESCA**

**CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO COMPORTAMENTO ALIMENTAR DO**  
**CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* NA FASE BERÇÁRIO**

**Fábio Ulisses Ramos Costa Filho**

ESO/TCC julgado adequado para  
obtenção de título de Bacharel em  
Engenharia de Pesca. Defendida e  
aprovada em 05/09/2023 pela  
seguinte Banca Examinadora.

---

**Prof. Dr. Sílvio Ricardo Maurano Peixoto**

(Orientadora)

[Departamento de Pesca e Aquicultura]

[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

---

**Prof. Dr. Santiago Hamilton**

(Membro titular)

[Departamento de Pesca e Aquicultura]

[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

---

**Prof. Dr. Luís Otávio Brito da Silva**

(Membro titular)

[Departamento de Pesca e Aquicultura]

[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

---

**Prof<sup>a</sup> Dra. Roberta Borda Soares**

(Membro suplente)

[Departamento de Pesca e Aquicultura]

[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

## **Agradecimentos**

*A minha família, meus pais, irmãs e meus avós materno e paternos.*

*Ao meu orientador, Dr. Silvio Peixoto, pelo ensinamento, orientação, oportunidade de estagiar no laboratório e motivação para continuar na área acadêmica e á professora Dra. Roberta Borda pela ajuda e orientação extra.*

*Ao Dr. Santiago, meu amigo, que também me orientou, ajudou, mostrou como enfrentar os problemas e pelos “puxões de orelha” ao longo do curso que me fizeram evoluir.*

*Aos colegas de laboratório, Cecilia, Hildemário, Geiciele e Antonio, que estiveram presentes, ajudaram nos experimentos e no dia a dia.*

*A Maria Eduarda que conheci durante a graduação, criei um carinho especial e se tornou minha companheira.*

*Aos colegas do curso de Eng. de Pesca, que fizeram o curso ser mais proveitoso com a companhia.*

*Aos amigos do “Carai vei” que nos momentos de estresse foram uma válvula de escape e estiveram comigo durante a adolescência até hoje.*

## RESUMO

O camarão *Litopenaeus vannamei* emite um som tipo clique durante a alimentação, o qual tem sido utilizado no monitoramento acústico da atividade alimentar da espécie. Desta forma, o presente estudo teve como o objetivo avaliar o comportamento acústico durante a atividade alimentar de *L. vannamei* na fase de berçário. Pós-larvas foram cultivadas em laboratório até atingirem classes de peso desejadas, quando foram transferidas para tanques de gravação. As gravações foram realizadas em 3 tanques retangulares de polietileno com volume útil de 20 litros (48x24x24 cm) e revestidos com material de isolamento acústico. Foram utilizados hidrofones (Aquarian Audio AS- 1, 16 bit/ taxa de amostragem de 96 kHz) e gravadores digitais (Zoom /H5) para registrar a atividade alimentar. Quando os camarões atingiram as classes de pesos 0,10, 0,15, 0,25, 0,50, 0,75 e 1g, foram coletados 25 camarões do cultivo e transferidos para cada um dos três tanques de gravação, sendo mantidos em jejum por 16 horas. As gravações tiveram 30 minutos de duração, com início logo após a oferta da ração. Foi utilizado o software Raven pro 1.5 para identificação e caracterização dos pulsos sonoros sendo a frequência mínima, máxima, pico da frequência, energia máxima e duração do som (30 cliques aleatórios por classe de peso) durante a atividade alimentar. Foram aplicadas análises de regressão para avaliar a relação entre os parâmetros acústicos e as classes de peso. A frequência máxima dos cliques não foi determinada para os camarões de peso médio de 0,10 e 0,15 g, pois os valores obtidos ultrapassaram a frequência máxima captada pelo sistema de gravação (48kHz). A frequência máxima, frequência mínima e o pico da frequência apresentaram uma diminuição significativa desde a classe de peso 0,10 até 1g. A energia máxima apresentou um padrão contrário, ou seja, ela apresentou aumento em relação as classes de peso dos animais. Os parâmetros sonoros descritos para diferentes pesos de camarões podem ser utilizados para monitorar a atividade alimentar nesta fase inicial de cultivo, assim como servem de referência para alimentadores automáticos baseados em acústica otimizarem sua eficiência na alimentação dos camarões em fases iniciais de cultivo.

Palavras-chave: Monitoramento acústico passivo, caracterização acústica, carcinicultura.

## Lista de figuras

	Páginas
Figura 1 - Vistas esquemáticas dos tanques de gravação.....	20
Figura 2 - Som de clique isolado emitido pelo <i>Litopenaeus vannamei</i> de 1 g.....	21
Figura 3 - Espectrogramas dos cliques de <i>Litopenaeus vannamei</i> por classes de peso.....	21
Figura 4 - Valores médios de frequência mínima (kHz) emitidos por diferentes classes..	22
Figura 5 - Valores médios de pico da frequência (kHz) emitidos por diferentes classes..	22
Figura 6 - Valores médios de frequência máxima (kHz) emitidos por diferentes classes..	23
Figura 7 - Valores médios de energia máxima (dB) emitidos por diferentes classes.....	23
Figura 8 - Valores médios de duração do som (ms) emitidos por diferentes classes.....	24

## Lista de tabelas

	Página
Tabela 1 – Parâmetros acústicos (média $\pm$ DP) analisados durante a atividade alimentar de diferentes classes de peso (g) de <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	19

## Sumário

	Página
Agradecimentos.....	4
Resumo.....	5
Lista de figura.....	6
Lista de tabela.....	7
1 Introdução.....	9
2 Objetivo.....	10
2.1 Objetivo geral.....	10
2.2 Objetivo específico .....	10
3 Metodologia	
3.1 Obtenção dos animais e local de estudo.....	11
3.2 Sistema de manutenção dos camarões.....	11
3.3 Sistema de gravação e caracterização acústica da atividade alimentar.....	11
3.4 Análise estatística.....	12
4 Resultados e Discussões.....	13
5 Considerações Finais.....	15
6 Referências Bibliográficas.....	15

## 1. INTRODUÇÃO

A carcinicultura é uma importante atividade econômica mundial, sendo a espécie com maior interesse econômico o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* que representa 51,7% do total de crustáceos produzidos no mundo (FAO, 2023). No Brasil, o cultivo desta espécie alcançou 78,6 mil toneladas em 2021, equivalente a 1,6 bilhões de reais (IBGE, 2021).

Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para aperfeiçoar as práticas de manejo na carcinicultura, com intuito de minimizar os impactos ambientais, melhorar a produtividade e reduzir os custos com ração na alimentação dos camarões. Estes últimos, podem representar cerca de 50% do custo operacional, afetando significativamente a receita e o lucro do produtor (REGO et al., 2017).

A bioacústica é uma ciência na qual a interação de sons no ambiente é estudada para fornecer informações sobre o comportamento, tais como reprodução, defesa e atividade alimentar, de diferentes espécies aquáticas (FILICIOTTO et al., 2019; TAYLOR e PATEK, 2010; SILVA et al., 2019). No caso dos camarões peneídeos, Berk et al. (1998) observaram que o *Litopenaeus setiferus* emite um som semelhante a um clique durante sua alimentação, o qual também foi observado para *Penaeus monodon* (SMITH E TABRETT, 2013) e *L. vannamei* (SILVA et al., 2019; PEIXOTO et al., 2020a). Este som é produzido a partir do fechamento e fricção entre as mandíbulas, possibilitando assim o uso do monitoramento acústico passivo (PAM) nos estudos de comportamento alimentar de camarões peneídeos (PEIXOTO et al., 2020a; PEIXOTO et al., 2020b; SOARES et al., 2021), bem como o desenvolvimento de sistemas automatizados de alimentação por PAM (ULLMAN et al., 2019a; REIS et al., 2022).

O PAM tornou possível viabilizar o fornecimento automático de ração por demanda em sistemas de cultivo (REIS et al., 2022), otimizando o manejo alimentar em comparação com sistemas tradicionais de arração e alimentadores com temporizadores (ULLMAN et al., 2019a; ULLMAN et al., 2019b; REIS et al., 2022), além de resultar em um melhor desempenho dos camarões criados em viveiros (JESCOVITCH et al., 2018; ULLMAN et al., 2018; REIS et al., 2019). No entanto, para garantir um bom desempenho desta tecnologia, os equipamentos e processamento de informações baseados em PAM precisam reconhecer os parâmetros sonoros de forma precisa (e.g. banda de frequência, pico da frequência, energia máxima, duração do som),

bem como as possíveis variações dos parâmetros acústicos que podem ocorrer ao longo do desenvolvimento do animal ou do tipo de alimento ofertado ao longo do cultivo.

Estudos recentes sobre o comportamento acústico do *L. vannamei* na fase de engorda, com diferentes tipos de rações, mostraram que as extrusadas produzem cliques com maior energia em comparação às dietas peletizadas (PEIXOTO et al., 2020b). Entretanto o tamanho da ração não altera as características dos cliques gerados pelos camarões, contudo pellets maiores geram um maior número de cliques emitidos durante a atividade alimentar (PEIXOTO et al., 2020a). Além disso, camarões maiores emitem cliques com maior energia (SOARES et al., 2021), bem como mais cliques durante a alimentação do que os camarões menores (HAMILTON et al., 2023).

Na produção comercial, os alimentadores automáticos baseados em acústica não podem ser empregados na fase inicial do cultivo (berçário), essa limitação pode estar associada a uma emissão sonora fraca, por isso é utilizado apenas quando os camarões ultrapassam o peso de 3 g (REIS et al., 2022). A caracterização acústica da atividade alimentar de *L. vannamei* realizada por Silva et al. (2019) apontou que não houve diferença nos sons gerados por camarões com classes de tamanho entre 13 e 35 g. Entretanto, os parâmetros acústicos de classes de tamanho inferiores, representando fases iniciais de cultivo, não foram descritos até o presente momento. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento acústico durante a atividade alimentar do camarão *L. vannamei* na fase de berçário.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o comportamento acústico da atividade alimentar do camarão marinho *L. vannamei* na fase de berçário.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar a partir de que tamanho o camarão *L. vannamei* emite som;
- Caracterizar acusticamente o som produzido pela atividade alimentar de *L. vannamei* na fase de berçário.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Obtenção dos animais e local de estudo**

Pós-larvas de *L. vannamei* (PL 10), com peso médio de 2,5 mg, foram adquiridas de uma larvicultura comercial e transportadas ao Laboratório de Tecnologia em Aquicultura (LTA), situado no Departamento de Pesca e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

### **3.2 Sistema de manutenção dos camarões**

Os animais foram aclimatados e mantidos em um sistema de bioflocos com recirculação de água até alcançarem o tamanho necessário para iniciar as gravações (Figura 1). A taxa de recirculação deste sistema foi mantida em cerca de 400% por dia com duas bombas (1 CV) e a aeração constante foi fornecida por mangueiras micro perfuradas ligadas a um compressor radial (2 CV). Foram usados farelo de trigo, melão de cana-de-açúcar e ração para camarões como fontes de carbono e nitrogênio para fertilização e formação dos bioflocos. A relação carboidrato: nitrogênio foi de 15:1.

As variáveis físico-químicas, pH, temperatura (°C) e salinidade foram mensuradas diariamente, com a utilização do medidor multi-parâmetros (YSI 556 MPS). Os parâmetros da água de amônia e nitrito, forma mensurados semanalmente por meio espectrofotômetro (HACH DR3900)

As pós-larvas foram estocadas em tanques de polietileno (0,4 m<sup>2</sup>, 0,31 m<sup>3</sup>) com uma densidade de 1000/m<sup>3</sup> durante a fase de berçário. A quantidade de ração foi ajustada semanalmente com base na biomassa dos camarões, medida com uma balança (Marte® precisão: 0,001). A alimentação foi ofertada três vezes ao dia, às 8h, 12h e 16h, utilizando para a fase de berçário (Presence, Camanutri 40; 40% de proteína bruta; CR2 ~ 1 a 1,7 mm). Durante o cultivo, os camarões foram amostrados para as gravações assim que atingiram o peso desejado.

### **3.3 Sistema de gravação e caracterização acústica da atividade alimentar**

Os camarões foram gravados diariamente no sistema de cultivo para registrar o momento que iniciariam a emissão de som durante a alimentação. Quando os camarões atingiram as classes de peso de 0,10, 0,15; 0,25, 0,50, 0,75 e 1 g, foram selecionados 25 indivíduos aleatoriamente de cada categoria e transferidos para o sistema de gravação, constituídos de 3 tanques retangulares de polietileno (48 x 24 x 24 cm) revestidos com material isolante acústico para gravação (Figura 1). Os tanques foram preenchidos com 20L de água marinha filtrada, com recirculação e aeração. Antes das gravações, os

animais foram aclimatados no tanque e privados de ração por 16 horas para aumentar o interesse pelo alimento durante os testes.

As gravações foram realizadas com hidrofones modelo AS-1 (Aquarian Áudio, Afab Enterprises) fixados no centro do tanque, com resposta de frequência linear de 1Hz a 100kHz (sensibilidade de -208dB ref: 1 $\mu$ Pa) acoplados a pré-amplificadores PA4 (Aquarian Áudio, Afab Enterprises) com ganho de 26 dB. Esses componentes foram conectados a gravadores digitais H-5 (Zoom, North América) com taxa de amostragem de 96 kHz (16 bits), permitindo gravar frequências máximas até 48 kHz.

As gravações de áudio realizadas durante a atividade alimentar para cada categoria de peso foram transferidas para um computador e avaliadas através da análise do oscilograma e espectrograma gerados no software Raven® 1.5 Pro (Cornell Lab of Ornithology, EUA). O mesmo software foi utilizado para identificação e contagem dos pulsos sonoros das gravações através da análise de audição em conjunto com a visualização em tempo real do espectrograma (resolução de 512 de amostragem e sobreposição de 50%). Após a identificação, foram selecionados aleatoriamente 30 pulsos sonoros por classe de tamanho para caracterização acústica do som. Os parâmetros selecionados para esta caracterização foram: frequência mínima e máxima, pico da frequência (kHz), energia máxima (em decibéis, dB) e duração do som (em milissegundos, ms).

### **3.4 Análise estatística**

Os parâmetros bioacústicos das diferentes categorias de peso foram submetidos a análise de variância ANOVA ( $P < 0,05$ ) após serem atendidas as premissas necessárias (normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade por meio do teste de Fischer). Apresentando diferença significativa, as médias dos tratamentos foram analisadas por meio do teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Foram aplicadas análises de regressão para avaliar a relação entre os parâmetros acústicos determinados e as classes de peso dos camarões. Todas as análises foram realizadas utilizando o software Minitab18 (Minitab, Inc).

## **4. Resultados e Discussão**

Os valores médios ( $\pm$  DP) de temperatura, salinidade, pH, amônia e nitrito mantidos ao longo do experimento foram de  $25,1 \pm 0,8$  °C,  $8,3 \pm 0,4$ ,  $32,5 \pm 1,6$ ,  $0,34 \pm$

0,69 mg/L e  $1,71 \pm 1,01$  mg/L, respectivamente. Os parâmetros físico-químicos da água se mantiveram dentro da faixa recomendada para o cultivo de camarão marinho *L. vannamei* (SAMOCHA et al., 2020)

Foi observado que o camarão *L. vannamei* começa a emitir som durante a alimentação a partir de 0,10 g (Figura 2). No entanto, não foi possível caracterizar a frequência máxima emitida pelas classes 0,1 e 0,15 g, pois o equipamento utilizado não permitiu captar toda a banda de frequência do pulso sonoro. Os parâmetros sonoros como frequência mínima, máxima e pico da frequência tenderam a apresentar uma redução à medida que o camarão cresceu entre as classes de 0,1 e 1 g, enquanto a energia máxima mostrou tendência inversa (Figura 3).

Os sons de cliques ultrassônicos, fora do espectro audível dos humanos (AU e HASTINGS., 2008), foram emitidos pelos *L. vannamei* com peso de 0,1 e 0,15 g. Somente quando atingiram o peso médio de 0,25 g, a frequência mínima do som ( $13,82 \pm 2,55$  kHz) estava dentro de uma faixa de frequência audível para humanos que vai de 20 Hz a 20 kHz (Tabela 1). A frequência mínima apresentou uma diminuição abrupta em relação ao peso 0,1 até 1g. Isso é evidenciado pelo coeficiente de determinação de 0,95, indicando que, à medida que a classe de peso aumenta, a frequência mínima nessa classe diminui (Figura 4).

Um padrão semelhante foi observado para os valores de pico de frequência (PF) até que o camarão atingisse um peso médio de 1 g. O coeficiente de determinação indicou uma relação inversa entre o peso e o pico da frequência, com um coeficiente de determinação de 0,89 (Figura 5). Isso significa que, conforme a classe de peso aumenta, o pico da frequência tende a diminuir, os valores de pico da frequência variaram de 39,77 a 20,34 kHz, para classes de camarão com peso de 0,1 e 1 g, respectivamente (Tabela 1). Essa variação com relação ao tamanho pode estar relacionada às características das mandíbulas, que refletem os sons emitidos, tais como a dureza, porosidade, área de contato, intensidade de atrito entre as estruturas e velocidade do movimento (AKAY, 2002).

A frequência sonora máxima dos cliques não foi determinada para as classes de peso entre 0,1 e 0,15 g, pois os valores obtidos excederam a frequência máxima de captura do sinal acústico (48 kHz) na taxa de amostragem utilizada (96 kHz). Neste sentido recomenda-se utilizar um equipamento com taxa de amostragem acima da utilizada no presente estudo, de acordo com o teorema Nyquist, para que um sinal possa ser

corretamente amostrado e posteriormente reconstruído sem perda de informação, a taxa de amostragem deve ser pelo menos duas vezes a frequência máxima do sinal. As classes de tamanho entre 0,25 e 1 g apresentaram uma leve tendência, porém significativa ( $R^2 = 0,68$ ) de diminuição da frequência máxima com o crescimento do camarão, variando entre 47,34 e 45,03 kHz, respectivamente (Figura 6, Tabela 1).

Foi observada uma relação positiva e significativa entre a classe de peso e a energia máxima, com um coeficiente de determinação de 0,69. Isso significa que, conforme a classe de peso aumenta, a energia máxima também tende a aumentar *L. vannamei* na fase de berçário (Figura 7). Essa informação pode ser útil para o desenvolvimento de alimentadores automáticos mais eficientes nesta fase, de acordo com Reis., 2022 existe uma grande dificuldade no uso dos alimentadores automáticos na fase de berçário. O crescimento do camarão pode ter interferido nos parâmetros sonoros, esse tipo de relação já foi visto para a lagosta *Panulirus argus* (PATEK e OAKLEY., 2003) e no camarão *Synalpheus parneomeris* (AU e BANKS., 1998). A duração apresentou diferença significativa entre as classes de peso ( $p > 0,05$ , Tabela 1, Figura 8), entretanto essa variação pode ter sido causada pela reverberação que não foi totalmente absorvida pela espuma acústica, afetando esse parâmetro (BART et al., 2001).

Comparando os parâmetros obtidos neste trabalho para *L. vannamei* com 1g (Fmin: 7,19 kHz; Fmax: 45,03 kHz; Pfreq: 20,34 kHz; E max: 99,86 dB) com os valores obtidos por Peixoto et al. (2020b) para animais da mesma espécie com 10,23g (Fmin: 4,08 kHz; Fmax: 47,74 kHz; Pfreq: 18,33 kHz; E max: 90,10 dB), observa-se que existe apenas uma pequena diferença entre eles. Considerando a diferença mencionada, é possível que exista um ponto de estabilização, a partir do qual os parâmetros acústicos não se alterem em função do tamanho do animal. Além disso, um estudo realizado por Silva et al., (2019) testou três classes de tamanho (pequeno: 13,03 g; médio: 22,09 g; grande: 35,31 g) de camarões *L. vannamei* e observou que não há diferença nos parâmetros sonoros emitidos pelas diferentes classes de tamanho. Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que os parâmetros acústicos tendem a se estabilizar em um determinado momento durante o desenvolvimento de *L. vannamei*, após a fase de berçário, quando o peso é superior a 1g.

Em cultivos comerciais, os alimentadores baseados em acústica são indicados para camarões com peso superior a 3 g, conforme descrito por Reis et al., (2022). Essa indicação é provavelmente baseada na observação de que, a partir desse peso, os parâmetros sonoros dos animais já estão estabilizados e com maior energia, permitindo

que os alimentadores interpretem de forma precisa os sons emitidos pelos camarões. Entretanto, o uso de alimentadores bioacústicos pode não ser tão eficaz em animais com peso inferior a 3 g, pois um sinal sonoro mais fraco pode interferir no fornecimento de quantidades adequadas de ração pelos alimentadores, sem um ajuste no protocolo do equipamento.

De acordo com a informação fornecida, o ajuste dos parâmetros acústicos com base no peso dos camarões pode melhorar a utilização de alimentadores acústicos na indústria. Um ajuste mais preciso no início do ciclo produtivo pode potencializar a eficiência do processo de alimentação, permitindo que os alimentadores acústicos forneçam a quantidade correta de ração para os camarões na fase de berçário. Isso sugere que a calibração dos parâmetros acústicos é um fator importante para o sucesso do uso de alimentadores acústicos na criação de camarões.

## **5. Considerações finais**

O camarão *Litopenaeus vannamei* emite som a partir de 0,1 g e essa assinatura acústica sofre variações significativas ao longo do crescimento dos animais. Os valores dos parâmetros sonoros obtidos para frequência mínima, pico da frequência e energia máxima, nos diferentes pesos, podem ser utilizados para otimizar alimentadores automáticos baseados em acústica. Com esse aprimoramento é possível a utilização dos alimentadores automáticos nas fases iniciais do cultivo, fazendo com que os alimentadores tenham uma maior eficiência no início do cultivo, conseqüentemente, melhorando o crescimento do camarão.

## **6. Referências bibliográficas**

AKAY, A. Acoustics of friction. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v.111, p.1525-1548, 2002.

AU, W.W.L.; HASTINGS, M.C. Principles of Marine Bioacoustics. New York: **Springer**, 2008.

AU, W.W.L.; BANKS, K. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v.103, p.41–47, 1998.

BART, A.N.; CLARK, J.; YOUNG, J.; ZOHAR, Y. Underwater ambient noise measurements in aquaculture systems: a survey. **Aquacultural engineering**, v.25, p.99-110, 2001.

BERK, I.M., Sound production by the white shrimp (*Penaeus setiferus*), analysis of another crustacean-like sound from the Gulf of Mexico, and applications for passive sonar in the shrimping industry. **J. Shellfish Res.** 17 (5), 1497–1500, 1998.

FAO Stat. (2023). Global aquaculture production (online) 2023. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/em>>; Acesso em: 18 de agosto de 2023.

FILICIOTTO, F.; MOYANO, M.P.S.; HIDALGO, F.; de VINCENZI, G.; BAZTERRICA, M.C.; CERAULO, M.; BUSCAINO, G. Underwater acoustic communication during the mating behaviour of the semi-terrestrial crab *Neohelice granulata*. **The Science of Nature**, v.106, p.35, 2019.

HAMILTON, S., SILVA, J.F., COSTA FILHO, F., DUARTE-NETO, P.J., SOARES R. AND PEIXOTO, S. The loud crowd: Interactions between stocking density and acoustic feeding activity of different size classes of *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Research**. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738904>. 2023

JESCOVITCH, LN, ULLMAN, C, RHODES, M, DAVIS, DA. Effects of different feed management treatments on water quality for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquac Res.** 2018; 49: 526– 531, 2018.

NYQUIST, H. Certain topics in telegraph transmission theory. **Proceedings of the IEEE**, v.90, p.280-305, 2002.

PATEK, S.N.; OAKLEY, T.H. Comparative tests of evolutionary trade-offs in a Palinurid lobster acoustic system. **Evolution**, v.57, p.2082-2100, 2003.

PEIXOTO, S; SOARES, R; DAVIS, D.A. An acoustic based approach to evaluate the effect of different diet lengths on feeding behavior of *Litopenaeus vannamei*. **Aquacultural Engineering**, v.91, p. 102114, 2020a.

PEIXOTO, S; SOARES, R; SILVA, J.F; HAMILTON, S; MOREY, A; DAVIS, D.A. Acoustic activity of *Litopenaeus vannamei* fed pelleted and extruded diets. **Aquaculture**, v. 525, p.735307, 2020b.

Pesquisa Pecuária Municipal (IBGE, 2021). Quantidade produzida da aquicultura, segundos os produtos (Quilogramas): Valor produzido na carcinicultura (Real). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2023> Acesso em 18 de agosto. 2023.

REGO, M.A.S; SABBAG, O.J; SOARES, R; PEIXOTO, S. Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* farm: a case study in the state of Pernambuco, Brazil. **Aquaculture international**, v. 25, p. 473-483, 2017.

REIS, J.; NOVRIADIR.; SWANEPOEL A.; JINGPING G.; RHODES M.; DAVIS, D.A, Optimizing feed automation: improving timer-feeders and on demand systems in semi-intensive pond culture of shrimp *Litopenaeus vannamei*, **Aquaculture**, Volume 519, 2019.

REIS, J.; WELDON A.; ITO P.; STITES W.; RHODES, M.; DAVIS, D.A, Automated feeding systems for shrimp: Effects of feeding schedules and passive feedback feeding systems, **Aquaculture**, Volume 541, 2020.

REIS, J; PEIXOTO, S; SOARES, R; RHODES, M; CHING, C; DAVIS, DA. Passive acoustic monitoring as a tool to assess feed response and growth of shrimp in ponds and research systems. **Aquaculture**, v. 546, 2022.

SAMOCHA, T. M.; PRANGNELL, D. I.; HANSON, T. R.; TREECE, G. D.; MORRIS, T. C.; CASTRO, L. F.; STARESINIC, N.; Design and operation of super-intensive biofloc-dominated systems for indoor production of the Pacific White Shrimp, **Vannamei Shrimp Farming**, 2020.

SILVA, J.F., HAMILTON, S., ROCHA, J.V., BORIE, A., TRAVASSOS, P., SOARES, R., PEIXOTO, S. Acoustic characterization of feeding activity of *Litopenaeus vannamei* in captivity. **Aquaculture**, v.501,76–81, 2019.

SMITH, D.V., TABRETT, S. The use of passive acoustics to measure feed consumption by *Penaeus monodon* (giant tiger prawn) in cultured systems. **Aquac. Eng.** 57, 38–47, 2013.

SOARES, R; PEIXOTO, S; DAVIS, R.; DAVIS, D.A. Feeding behavior and growth of *Litopenaeus vannamei* fed soybean-based diets with added feeding effectors, **Aquaculture**, Volume 536, 2021.

TAYLOR, R.A.; PATEK, S.N. Crustacean seismic communication: heard but not present? In: *The Use of Vibrations in Communication: Properties, Mechanisms and Function Across Taxa*, ed. by C.E. O'Connell-Rodwell. **Research Signpost**, p.9-23, 2010.

ULLMAN, C; RHODES, M; DAVIS, DA. Feed management and the use of automatic feeders in the pond production of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, **Aquaculture**, Volume 498, 2018.

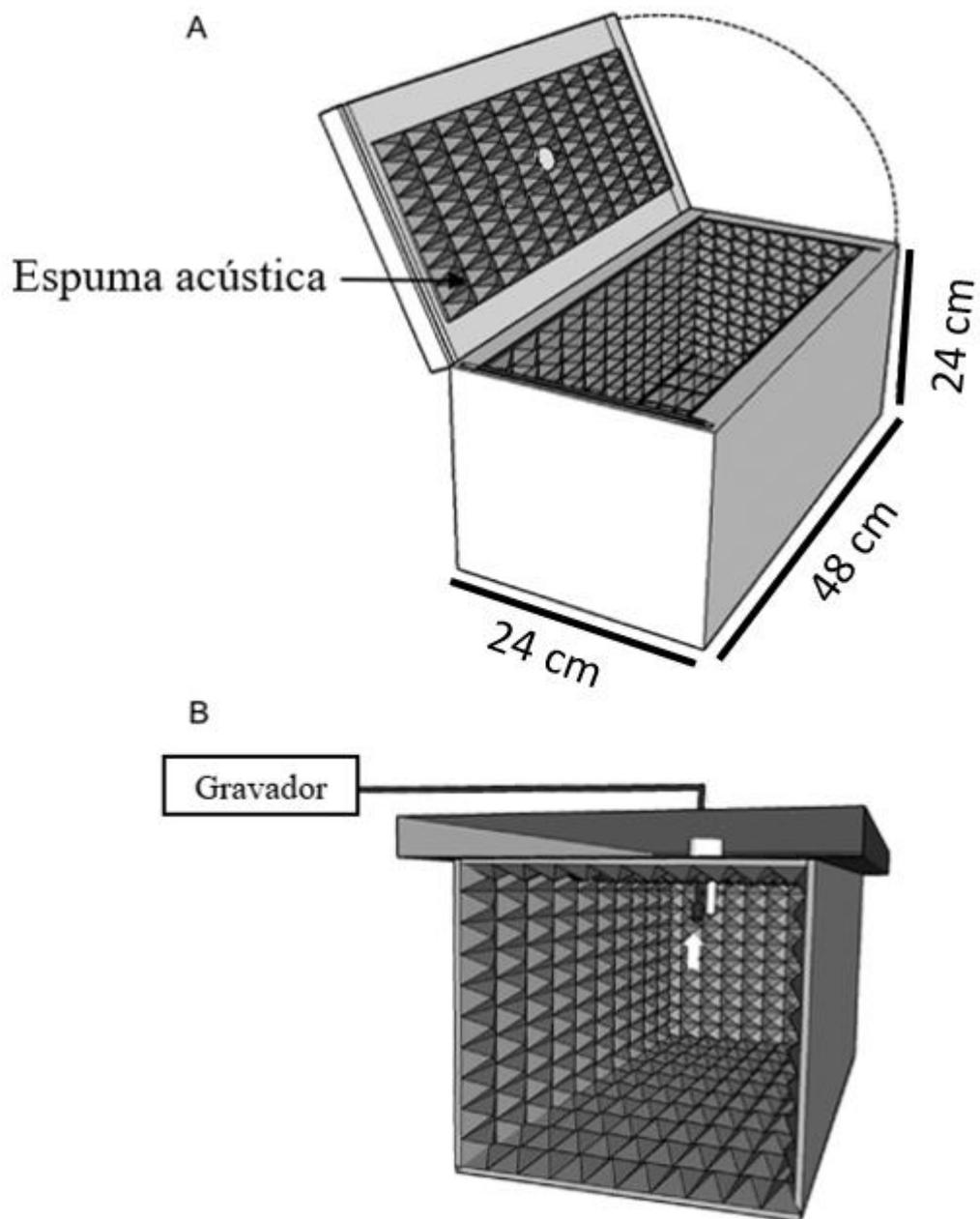
ULLMAN, C., RHODES, M., CLINE, D., HANSON, T.R., DAVIS, D.A. Effects of four different feeding techniques on the pond culture of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **J. World Aquacult. Soc.** 50, 54–64, 2019a.

ULLMAN, C., RHODES, M.A., DAVIS, D.A. Feed management and the use of automatic feeders in the pond production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture** 498, 44–49, 2019b.

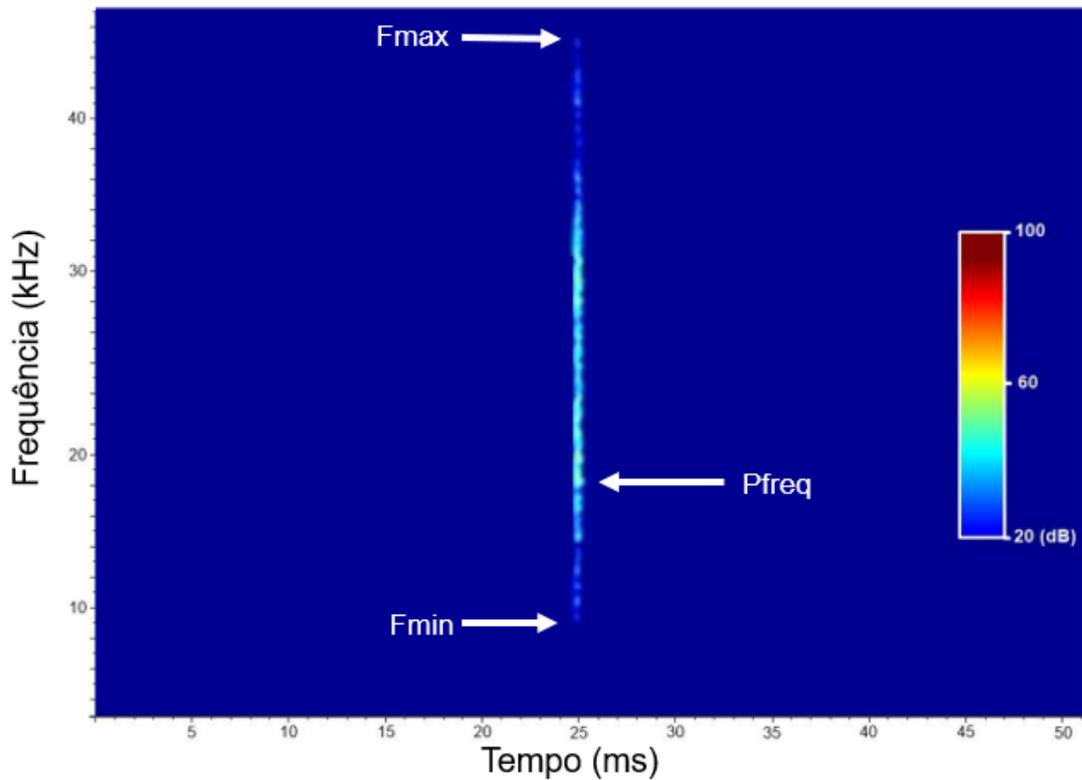
**Tabela 1.** Parâmetros acústicos (média  $\pm$  DP) analisados durante a atividade alimentar de diferentes classes de peso (g) de *Litopenaeus vannamei*. duração do som (D), frequência mínima (Fmin), frequência máxima (Fmax), pico da frequência (Pfreq) e energia máxima (E Max).

P (g)	Parâmetros acústicos				
	D (ms)	Fmin (kHz)	Fmax (kHz)	Pfreq (kHz)	E Max (dB)
0,10 $\pm$ 0,01	2,90 $\pm$ 0,58 <sup>c</sup>	22,06 $\pm$ 5,12 <sup>a</sup>	>48,00	39,77 $\pm$ 5,11 <sup>a</sup>	82,23 $\pm$ 4,05 <sup>d</sup>
0,15 $\pm$ 0,01	3,03 $\pm$ 0,31 <sup>c</sup>	20,44 $\pm$ 4,71 <sup>a</sup>	>48,00	36,38 $\pm$ 8,10 <sup>ab</sup>	88,91 $\pm$ 5,15 <sup>d</sup>
0,25 $\pm$ 0,03	2,79 $\pm$ 0,56 <sup>c</sup>	13,82 $\pm$ 2,55 <sup>b</sup>	47,34 $\pm$ 0,87 <sup>a</sup>	31,77 $\pm$ 5,66 <sup>cd</sup>	90,97 $\pm$ 4,45 <sup>c</sup>
0,50 $\pm$ 0,04	3,52 $\pm$ 0,69 <sup>ab</sup>	12,42 $\pm$ 3,68 <sup>bc</sup>	47,92 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>	32,91 $\pm$ 6,49 <sup>bc</sup>	102,53 $\pm$ 5,88 <sup>a</sup>
0,75 $\pm$ 0,07	3,84 $\pm$ 0,78 <sup>a</sup>	9,96 $\pm$ 2,81 <sup>c</sup>	46,83 $\pm$ 1,70 <sup>a</sup>	25,50 $\pm$ 6,50 <sup>de</sup>	100,85 $\pm$ 6,54 <sup>ab</sup>
1,03 $\pm$ 0,10	3,14 $\pm$ 0,56 <sup>bc</sup>	7,19 $\pm$ 1,63 <sup>d</sup>	45,03 $\pm$ 3,49 <sup>a</sup>	20,34 $\pm$ 8,81 <sup>e</sup>	99,86 $\pm$ 7,76 <sup>b</sup>

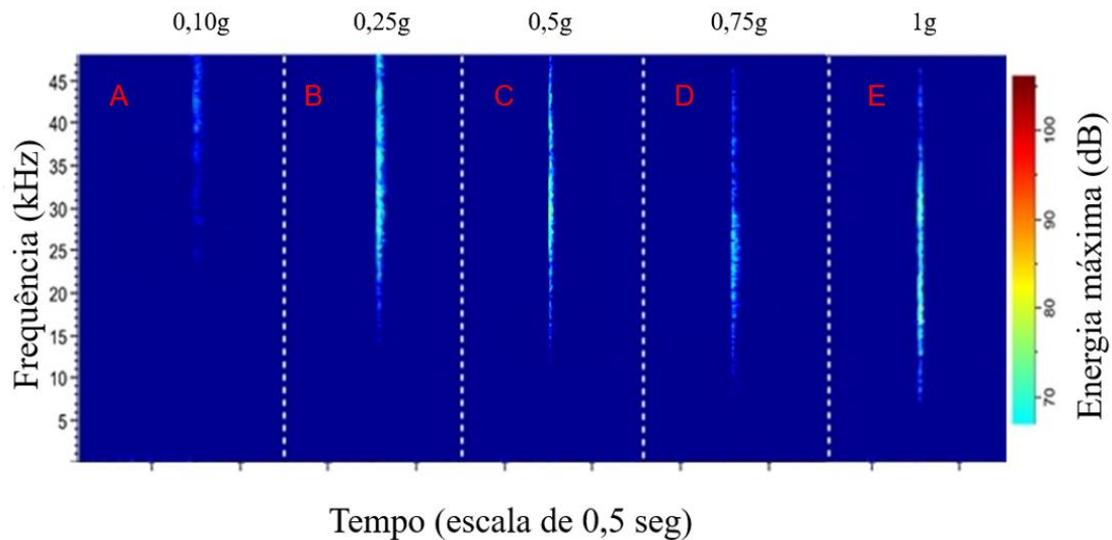
Os dados foram analisados pelo teste HSD de Tukey  $p < 0,05$ ). a-e = Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa.



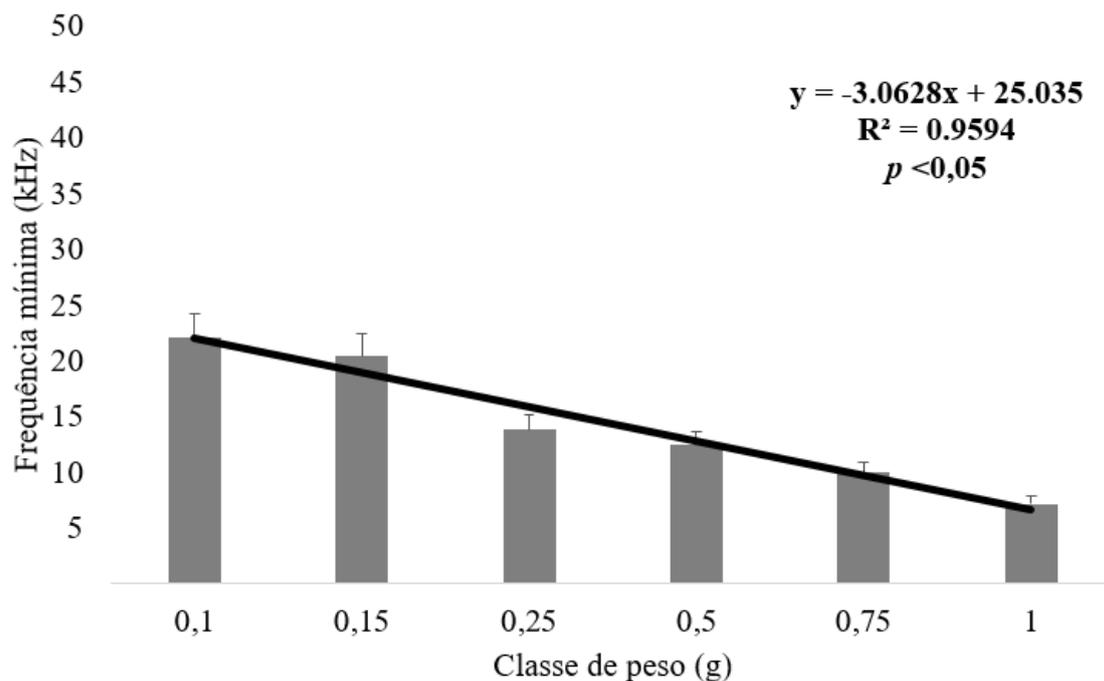
**Figura 1.** Vistas esquemáticas (A e B) dos tanques retangulares de polietileno revestidos com espuma utilizados durante registros acústicos do *Litopenaeus vannamei*. Esquema adaptado de Peixoto et al. (2020a).



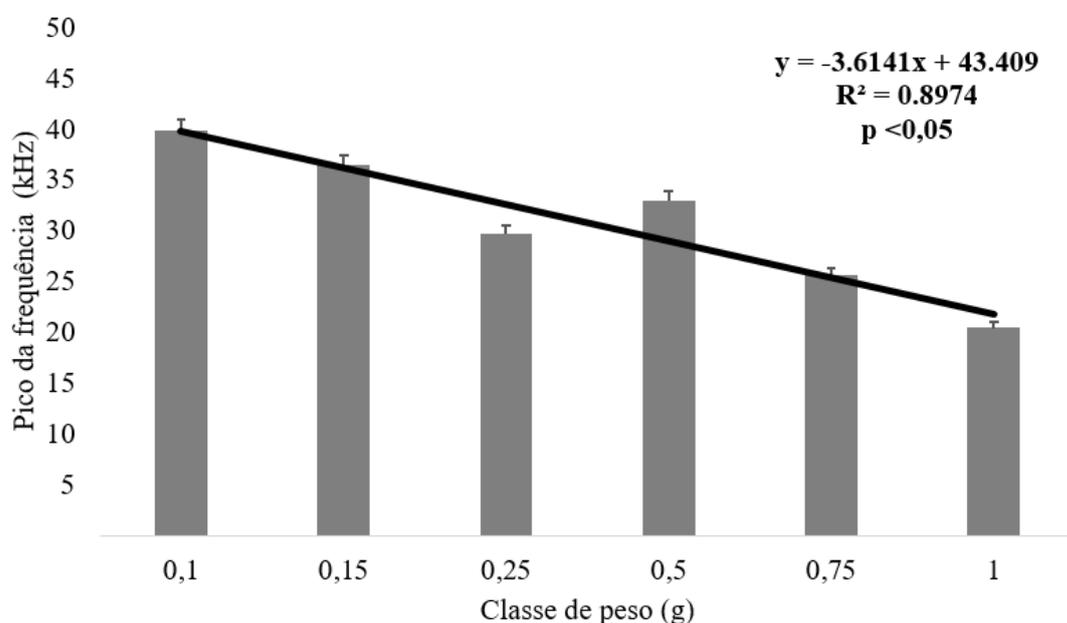
**Figura 2.** Som de clique isolado emitido pelo *Litopenaeus vannamei* de 1 g durante a atividade de alimentação em uma escala de tempo de milissegundos (ms). Espectrograma de frequência em quiloHertz (kHz) com uma cor barra colorida indicando a energia máxima em decibéis (dB). As setas indicam as frequências mínima (Fmin), máxima (Fmax) e a pico da frequência (Pfreq).



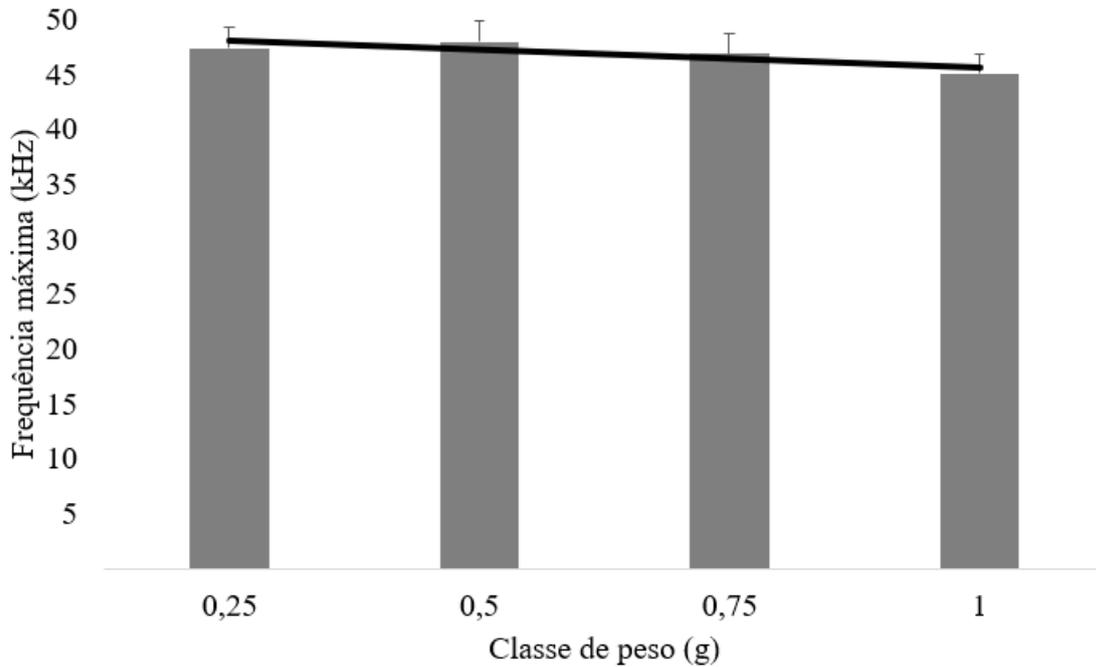
**Figura 3.** Exemplo de espectrogramas com sons de clique de *Litopenaeus vannamei* em classes de peso de 0,10 (A). 0,25 (B). 0,5 (C). 0,75 (D) e 1 g (E). A barra de cores no lado direito indica a energia sonora (dB).



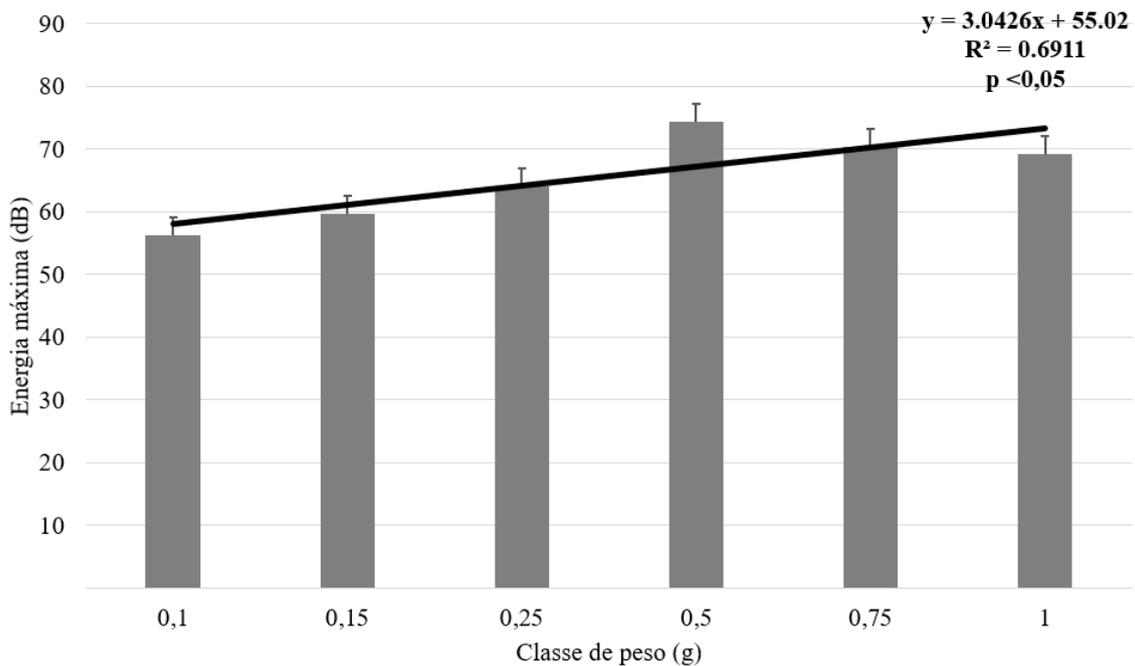
**Figura 4.** Valores médios de frequência mínima (kHz) emitido por diferentes classes (0,1 a 1g) de *Litopenaeus vannamei*. A linha no gráfico representa regressão linear com a respectiva equação e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).



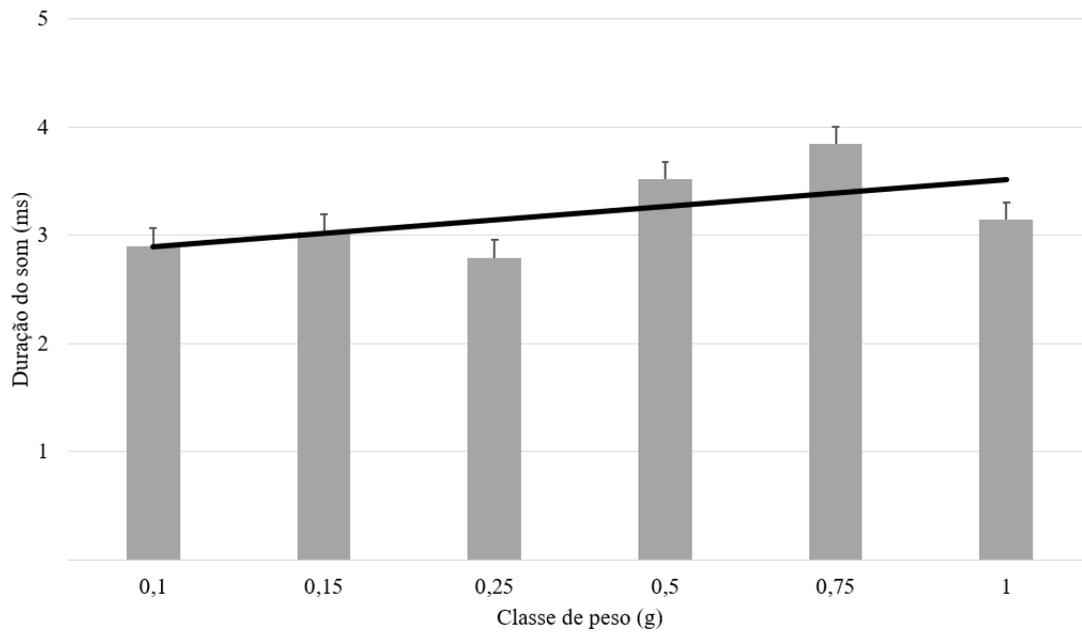
**Figura 5.** Valores médios de pico da frequência (kHz) emitido por diferentes classes (0,1 a 1g) de *Litopenaeus vannamei*. A linha no gráfico representa regressão linear com a respectiva equação e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).



**Figura 6.** Valores médios de frequência máxima (kHz) emitido por diferentes classes (0,25 a 1g) de *Litopenaeus vannamei*. A linha no gráfico representa regressão linear.



**Figura 7.** Valores médios de energia máxima (dB) emitido por diferentes classes (0,1 a 1g) de *Litopenaeus vannamei*. A linha no gráfico representa regressão linear com a respectiva equação e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).



**Figura 8.** Valores médios de duração do som (ms) emitido por diferentes classes (0,1 a 1g) de *Litopenaeus vannamei*. A linha no gráfico representa regressão linear.