

A INFLUÊNCIA DA RESSURGÊNCIA COSTEIRA NA ASSINATURA BIOACÚSTICA DA ILHA DO CABO FRIO, ARRAIAL DO CABO, RJ

Fabio Contrera Xavier
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
Rua Kioto, nº 253, Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ
fabiofcx@gmail.com

Nilce Gomes Silveira
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
Rua Kioto, nº 253, Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ
nilce.ngs@gmail.com

Leandro Calado
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
Rua Kioto, nº 253, Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ
leandro_calado@hotmail.com

Sérgio M. Jesus
LARSyS, Universidade do Algarve
Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal
sjesus@ualg.pt

Resumo A Paisagem Acústica Submarina (PAS) tem sido estudada por diversas instituições de pesquisa ao redor do mundo. A PAS é dividida em três parcelas: biofonia (sons de origem biológica, ex: golfinhos, peixes, camarões, etc), geofonia (sons de origem ambiental, ex: ondas, vento, chuva, etc) e antropofonia (sons de origem humana, ex: barcos, plataformas, etc). Em áreas próximas a costões rochosos, os estalos, cliques e sussurros produzidos por invertebrados bentônicos podem ser bastante representativos. Esses sons podem ser causados simplesmente pelo movimento destes organismos sobre o substrato ou pela fricção/impacto das partes duras de seus corpos. Assim, quando muitos indivíduos estão em atividade em um ambiente, os sons se fundem em um ruído contínuo que se assemelha ao som de fritura, formando um coro bioacústico, i.e., uma assinatura bioacústica local. A área de estudo é reconhecida como um dos principais pontos de ocorrência do fenômeno da Ressurgência na costa brasileira. Isto deve-se à geomorfologia da zona costeira e à predominância dos ventos do quadrante NE. Este fenômeno é caracterizado pelo afloramento de águas profundas, frias e ricas em nutrientes à superfície, especialmente durante a primavera e o verão, o que faz do local um ambiente único biologicamente. Este trabalho tem como objetivo a caracterizar da assinatura bioacústica local, sua variação temporal e possível relação com fatores abióticos. Uma estrutura com 4 hidrofones (posicionados nos vértices de um tetraedro regular com aprox. 1 m de lado) foi instalado perto da Ilha do Cabo Frio, em Arraial do Cabo-RJ. Dados de temperatura e luminosidade foram coletados e analisados em conjunto com dados acústicos. Além do padrão diário, que mostra um aumento do ruído biológico durante os períodos crepusculares, a potência média desse ruído é modulada pela temperatura da água (diminui em temperaturas mais baixas). A relação entre os fatores abióticos e a assinatura bioacústica local pode contribuir para a compreensão do comportamento dos organismos em relação a Ressurgência e para o desenvolvimento de novas aplicações biotecnológicas.

Palavras-chave: biofonia; coro bioacústico; ressurgência.

Abstract: Underwater Soundscape has been studied by several research institutions around the world. This soundscape is divided into three parts: biophony (biological sounds, eg dolphins, fish,

shrimps, etc.), geophony (environmental sounds, eg waves, wind, rain, etc.) and anthropophony (antropogenic sounds, eg boats, platforms, etc.). In areas near rocky shores, cracks, clicks, clicks and whispers produced by benthic invertebrates can be quite representative. These sounds can be caused simply by the movement of these organisms on the substrate or by the friction / impact of the hard parts of their bodies. Thus, when many individuals are active in an environment, the sounds merge into a continuous noise that resembles the sound of frying, forming a bioacoustic chorus, i.e., a local bioacoustic signature. The study area is recognized as one of the main points of occurrence of upwelling phenomenon on the Brazilian coast. This is due to the geomorphology of the coastal zone and the predominance of NE quadrant winds. This phenomenon is characterized by the outcropping of deep, cold and nutrient-rich surface waters, especially during spring and summer, which makes the site a unique biological environment. This work aims to characterize the local bioacoustic signature, its temporal variation and possible relation with abiotic factors. A structure with 4 hydrophones (located at the vertices of a regular tetrahedron with nearly 1 m side) was installed near the Ilha de Cabo Frio, in Arraial do Cabo-RJ. Temperature and light data were collected and analyzed together with acoustic data. In addition to the daily pattern, which shows an increase in biological noise during twilight periods, the average power of this noise is modulated by the water temperature (decreases in lower temperatures). The relationship between the abiotic factors and the local bioacoustic signature can contribute to the understanding of the organisms behavior in relation to the upwelling and to the development of new biotechnological applications.

Keywords: biophony; bioacoustic chorus; upwelling.

1. Introdução

O termo Underwater Soundscape ou Paisagem Acústica Submarina (PAS), corresponde ao conjunto dos sons presentes em um ambiente. Tal paisagem pode ser dividida em três grandes parcelas: sons de origem biológica (Biofonia), ambiental (Geofonia) e antropogênica (Antropofonia) [1]. Em áreas próximas a costões rochosos, os estalos, cliques e sussurros produzidos por invertebrados bentônicos podem ser bastante representativos. Estes sons podem ser causados simplesmente pelo movimento destes organismos sobre o substrato ou pela fricção/impacto das partes duras de seus corpos. Geralmente, esses sons são curtos, impulsivos e de banda larga [2]. Assim, quando muitos indivíduos estão em atividade em um ambiente, os sons se fundem formando um coro bioacústico e produzindo uma Assinatura Bioacústica Local (ABL) (Figura 1).

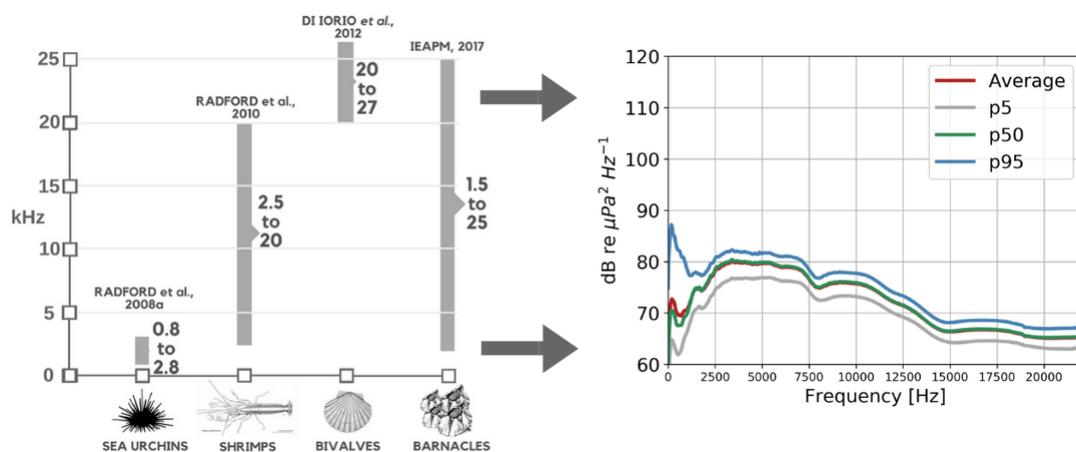


Figura 1. Exemplo de composição do coro bioacústico (esquerda) e de ABL (direita)

Dentre os componentes desse coro, o camarão estalo (família Alpheidae) é o organismo mais estudado e representativo, produzindo som numa faixa de frequência que varia de 1 kHz a mais de

300 kHz [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]. Outros invertebrados como bivalves e ouriços também têm despertado o interesse de pesquisadores [12] [13] [7] [8] [10].

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a assinatura bioacústica local, sua variação temporal e sua relação com a ressurgência.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo está situada na Reserva Extrativista Marinha (RESEX-Mar) de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro ($22^{\circ}58'46''S$, $42^{\circ}W$), conhecida pela ocorrência da Ressurgência. Este fenômeno está relacionado à geomorfologia, à dinâmica das correntes oceânicas e costeiras e à predominância de ventos NE paralelos à costa na região [14]. A Ressurgência influencia diversas áreas, como a meteorologia, biologia, economia, entre outras. A área de interesse deste estudo está compreendida entre o Pontal da Atalaia e a Ilha do Cabo Frio, nas proximidades da Fenda da Nossa Senhora e do Boqueirão (Figura 2).

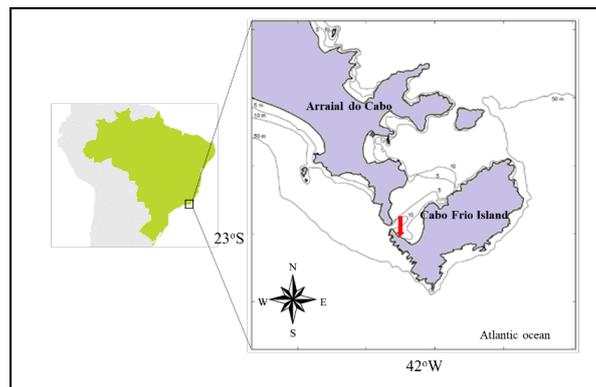


Figura 2. Área de estudo e localização do sistema de coleta de dados (Fonte: [15])

Os dados foram obtidos por um sistema fixo de aquisição, composto por uma estrutura de proteção com 4 hidrofones (modelo digitalHyd TP-1 de 4 canais da Marsensing Ltda) posicionados nos vértices de um tetraedro regular com aproximadamente 1 m de lado (Figura 3). Esse sistema foi instalado no dia 08 de fevereiro de 2018, a uma profundidade de 8 metros. As gravações acústicas foram realizadas com uma taxa de 1 minuto a cada 5 minutos (totalizando 12 min/h), *duty cycle* de 20%. Além disso, dados de temperatura foram coletados por meio de um sensor *datalogger* (*HOBO Pendant da Onset Computer Corporation*) acoplado ao sistema de aquisição.



Figura 3. Sistema fixo de aquisição de sinais acústicos

As faixas de frequências analisadas foram $B = 1.5$ a $8kHz$ e $C = 8$ a $24kHz$, pois apresentam maior influência da biofonia. A Assinatura Bioacústica Local (ABL) foi correlacionada com a temperatura e com a distribuição da comunidade bentônica nos pontos de interesse. Foi proposto um modelo linear para estimar as variações da ABL ($P_f(k)$) a partir da temperatura ($T(k)$) (Eq.1).

$$\hat{P}_f(k) = \hat{\beta}T(k) + u, \quad (1)$$

onde, f representa a banda de frequência escolhida (B ou C), k a evolução temporal da série, $\hat{\beta}$ o coeficiente angular e u as variações não observadas pelo modelo.

O coeficiente $\hat{\beta}$ é encontrado a partir do Método dos Mínimos Quadrados (MQQ).

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \|P_f(k) - \beta T(k)\|_2^2 \quad (2)$$

onde, $\|\cdot\|_2$ é a norma euclidiana. A solução deste problema é dada por:

$$\hat{\beta} = (T'T)^{-1}T'P_f \quad (3)$$

Além disso, para verificar a normalidade dos dados de ABL, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk [16]. A correlação entre a ABL e a temperatura foi calculada através do método de Pearson.

3. Resultados e discussão

A ABL apresentou um padrão temporal diário, aumentando no período noturno e diminuindo durante o dia, com picos nos crepúsculos (nascer e pôr do sol) (Figura 4). Este padrão está relacionado à atividade biológica de organismos presentes nos costões rochosos próximos ao hidrofone. Vários autores identificaram o aumento da intensidade sonora durante os crepúsculos, formando os coros do amanhecer e do anoitecer [15].

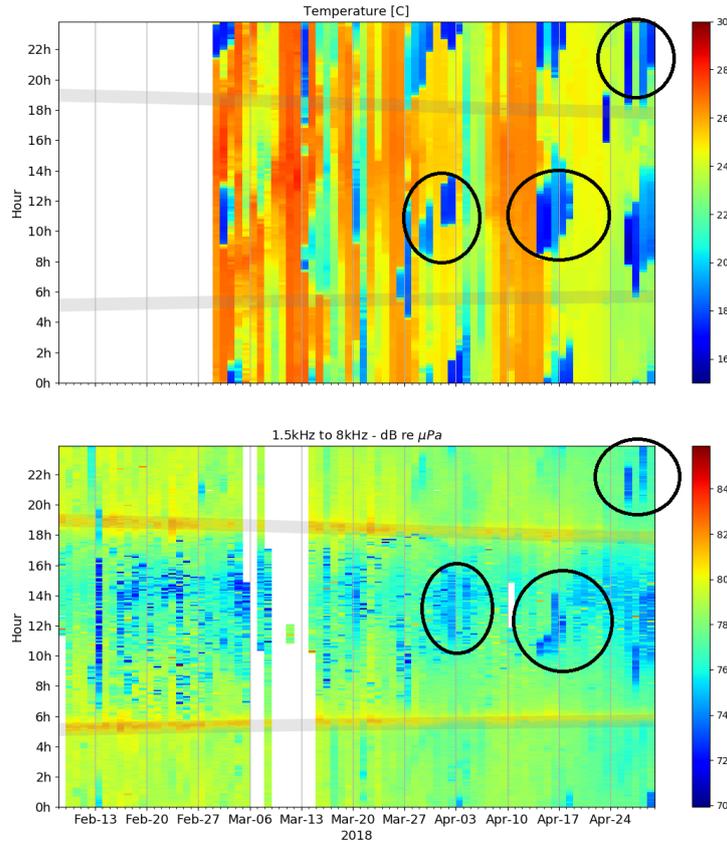


Figura 4. Variação da temperatura da água (em cima) e variação da assinatura bioacústica da faixa de 1.5kHz a 8kHz (em baixo). Dados coletados de 08FEV2018 a 30ABR2018, profundidade de 8m, no sistema fixo. Horário dos crepúsculos (faixa cinza) e falhas na aquisição (faixas brancas).

Além deste padrão diário, foi observada uma correlação entre a ABL e a temperatura (banda $B = 0.33$, banda $C = 0.51$ com $p\text{-value} < 0.05$). Também foi observado que os dados de ABL seguem uma distribuição normal (banda B : *Shapiro – Wilk* = 0.96, $p\text{-value} < 0.05$ e banda C : *Shapiro – Wilk* = 0.95, $p\text{-value} < 0.05$) (Figura 5).

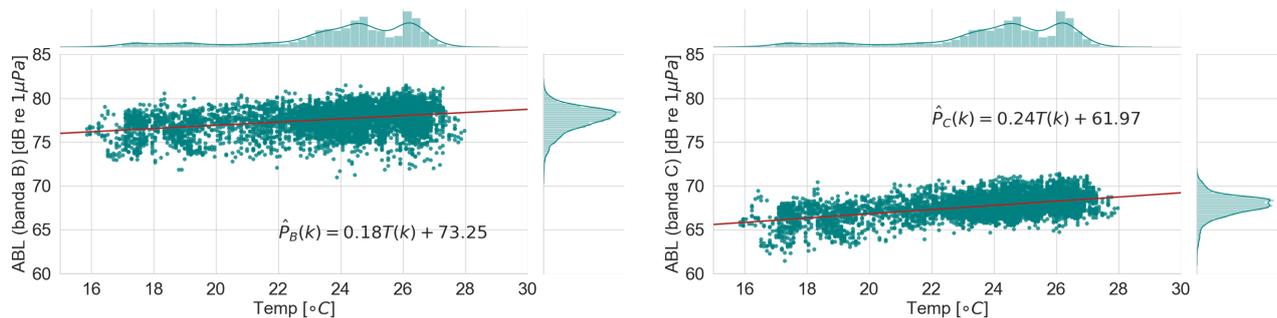


Figura 5. Dispersão, distribuição estatística dos dados de temperatura e ABL: banda B (esquerda) e banda C (direita)

Foi possível notar que em determinados momentos, a temperatura da água cai bruscamente, devido ao fenômeno da Ressurgência. E aproximadamente 1 hora depois, o nível da ABL também decresce, o que indica uma correlação positiva, como pode ser visto na Figura 4.

Além disso, juntamente ao modelo linear previsto para cada faixa de frequência e temperatura ($\hat{P}_B(k) = 0.18T(k) + 73.25$, $\hat{P}_C(k) = 0.24T(k) + 61.97$), também foi possível observar que a ABL decresce quando a temperatura diminui, com uma defasagem temporal, mas que a ABL não permanece baixa durante o período total em que as águas ressurgentes estão presentes (Figura 6).

Durante esses períodos de Ressurgência, disponibilidade de alimentos aumenta e a temperatura da água diminui, como visto anteriormente. Estes dois fatores representam as principais influências no comportamento e na fisiologia de invertebrados marinhos [17]. A temperatura regula a velocidade de processos metabólicos, apresentando uma correlação positiva [18].

Os invertebrados registrados nos costões rochosos próximos ao hidrofone foram cracas, bivalves, ouriços do mar e camarões estalo. As cracas apresentaram densidade de 27000 indivíduos/ m^2 , sendo bastante representativas no ambiente. Esses organismos produzem sons ao movimentarem suas placas calcárias para expor seus cirros para alimentação e reprodução. [19] relatam uma diminuição da atividade cirral com a queda da temperatura. [20] estudaram o comportamento do camarão estalo e sua relação com fatores abióticos. Eles observaram que a taxa de estalos varia com a luminosidade (aumenta durante os crepúsculos) e com a temperatura da água (diminui em temperaturas menores).

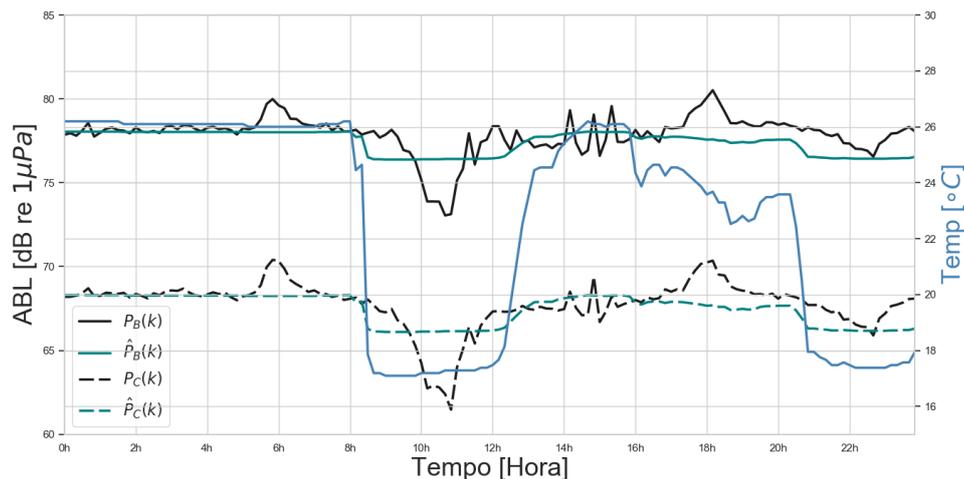


Figura 6. Variações da ABL, modelo da ABL e temperatura para o dia 14ABR18.

4. Conclusão

Além do padrão diário, que mostra um aumento do ruído biológico durante os períodos crepusculares, a Assinatura Bioacústica Local (ABL) é modulada pela temperatura da água (diminui em temperaturas mais baixas). Porém, o decréscimo da ABL ocorre com uma defasagem temporal em relação a temperatura e, também, a ABL não permanece baixa durante o todo período em que as águas ressurgentes estão presentes na região. Essa diminuição da temperatura da água provocada pela Ressurgência apresenta-se como um fator relevante para a ABL, influenciando principalmente os invertebrados marinhos.

Assim, a relação entre a temperatura e a ABL pode contribuir para a compreensão da relação entre a Ressurgência e o comportamento de organismos presentes em zonas costeiras, além do desenvolvimento de novas aplicações biotecnológicas.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a equipe da Divisão de Comunicações Submarinas do IEAPM pelo desenvolvimento e manutenção do sistema de gravação. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro concedido mediante ao projeto "Construção de métodos de sinalização com características de ruído bioacústico para comunicação submarina", n 401407/2014-4, modalidade Pesquisador Visitante Especial do Programa Ciência Sem Fronteiras.

Referências

- [1] PIJANOWSKI, B. C.; VILLANUEVA-RIVERA, L. J.; DUMYAHN, S. L.; FARINA, A.; KRAUSE, B. L.; NAPOLETANO, B. M.; GAGE, S. H.; PIERETTI, N. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, v. 61, n. 3, p. 203–216, 2011.
- [2] SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. N. *Fisheries acoustics: theory and practice*. John Wiley & Sons, 2008.
- [3] AU, W. W.; BANKS, K. The acoustics of the snapping shrimp *synalpheus parneomeris* in kaneohe bay. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 103, n. 1, p. 41–47, 1998.
- [4] FERGUSON, B. G.; CLEARY, J. L. In situ source level and source position estimates of biological transient signals produced by snapping shrimp in an underwater environment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 109, n. 6, p. 3031–3037, 2001.
- [5] CATO, D. H.; NOAD, M. J.; MCCAULEY, R. D. Passive acoustics as a key to the study of marine animals. 2005.
- [6] CHITRE, M. A.; POTTER, J. R.; ONG, S.-H. Optimal and near-optimal signal detection in snapping shrimp dominated ambient noise. *IEEE Journal of oceanic engineering*, v. 31, n. 2, p. 497–503, 2006.

- [7] RADFORD, C. A.; JEFFS, A. G.; TINDLE, C. T.; MONTGOMERY, J. C. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef. *Oecologia*, v. 156, n. 4, p. 921–929, 2008.
- [8] RADFORD, C.; STANLEY, J.; TINDLE, C.; MONTGOMERY, J.; JEFFS, A. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. *Marine Ecology Progress Series*, v. 401, p. 21–29, 2010.
- [9] HUNTERA, A.; FILLINGERA, L.; CLARIJS, M. Passive acoustic measurements of snapping shrimp from a reef monitoring feasibility test in aruba. In: . c2014.
- [10] BORIE, A.; BEZERRA, N.; KLARIAN, S. A.; TRAVASSOS, P. Soundscape of a management and exploitation area of benthic resources in central chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 43, n. 5, 2015.
- [11] LILLIS, A.; PERELMAN, J. N.; PANYI, A.; ARAN MOONEY, T. Sound production patterns of big-clawed snapping shrimp (alpheus spp.) are influenced by time-of-day and social context. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 142, n. 5, p. 3311–3320, 2017.
- [12] DI IORIO, L.; GERVAISE, C.; JAUD, V.; ROBSON, A. A.; CHAUVAUD, L. Hydrophone detects cracking sounds: Non-intrusive monitoring of bivalve movement. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 432, p. 9–16, 2012.
- [13] RADFORD, C.; JEFFS, A.; TINDLE, C.; MONTGOMERY, J. C. Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. *Marine Ecology Progress Series*, v. 362, p. 37–43, 2008.
- [14] CALADO, L.; CAMARGO RODRÍGUEZ, O.; CODATO, G.; CONTRERA XAVIER, F. Upwelling regime off the cabo frio region in brazil and impact on acoustic propagation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 143, n. 3, p. EL174–EL180, 2018.
- [15] CAMPBELL, D. A. *Estudo da paisagem acústica submarina na região do arraial do cabo, rio de janeiro, brasil*. 2018. Tese (Doutorado em Física) - Dissertação de Mestrado, 2018.
- [16] SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.
- [17] BROCKINGTON, S.; CLARKE, A. The relative influence of temperature and food on the metabolism of a marine invertebrate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 258, n. 1, p. 87–99, 2001.
- [18] NEWELL, R.; BRANCH, G. The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates. In: *Advances in marine biology*. Elsevier, 1980. v. 17, p. 329–396.
- [19] SKINNER, L. F.; NEVES SIVIERO, F.; COUTINHO, R. Comparative growth of the intertidal barnacle tetracita stalactifera (thoracica: Tetracitidae) in sites influenced by upwelling and tropical conditions at the cabo frio region, brazil. *Revista de Biologia Tropical*, v. 55, n. Su1, 2007.
- [20] BOHNENSTIEHL, D. R.; LILLIS, A.; EGGLESTON, D. B. The curious acoustic behavior of estuarine snapping shrimp: temporal patterns of snapping shrimp sound in sub-tidal oyster reef habitat. *PloS One*, v. 11, n. 1, p. e0143691, 2016.