**Morfo-espaço funcional em peixes tropicais: avanços na resolução de traços funcionais em otólitos de espécies de Haemulidae**

1. **Introdução**

Os Otólitos são estruturas que se desenvolvem desde os primeiros dias de vida dos peixes teleósteos, localizados no ouvido interno e desempenham diversas funções, dentre elas: percepção da aceleração angular, equilíbrio e audição (D’IGLIO et al., 2021; POPPER; RAMCHARITAR; CAMPANA, 2005). Essas estruturas exercem função sensorial através do contato da *Macula nevosa*, localizada dentro dos canais semicirculares, com o *sulcus acusticus*, uma depressão localizada na parte interna dos otólitos (TORRES; LOMBARTE; MORALES-NIN, 2000). Por serem estruturas quimicamente inertes e espécie-específicas, os otólitos representam uma fonte confiável de informações sobre o ciclo de vida e biologia das espécies, além de poder elucidar questões taxonômicas, tanto de animais atuais quanto de táxons extintos (FRANCIS; CAMPANA, 2004; SCHULZ-MIRBACH et al., 2019; STEVENSON; CAMPANA, 1992; TUSET et al., 2016). Além disso, muitos estudos buscam encontrar correlação entre as características morfológicas dos otólitos com a morfologia dos peixes, bem como o modo pelo qual diferentes forças ambientais podem afetar atributos morfofuncionais de ambos (LOMBARTE et al., 2010; TORRES; LOMBARTE; MORALES-NIN, 2000).

Conhecer a diversidade morfofuncional é de extrema importância para se conhecer os papéis que uma espécie pode exercer no ambiente em que habita e o impacto causado no mesmo no caso de desaparecimento dessa espécie (RICKLEFS; MILES, 1994; TUSET et al., 2016; VILLÉGER et al., 2010). Diversas técnicas foram criadas e aperfeiçoados ao longo do tempo com o intuito de estudar essas adaptações, dentre elas podem ser citadas: índices ecomorfológicos que levam em consideração a relação do otólito *sagitta* com o habitat (VOLPEDO, 2003), landmarks e semi-landmarks onde são marcados pontos de relevância biológica homólogos entre diferentes indivíduos (BARDUA et al., 2019) e mais recentemente, a utilização de imagens 3D vem ganhando destaque por conseguir gerar reconstruções de estruturas com alto grau de detalhamento morfológico (DAVIES et al., 2017). Com o objetivo de avaliar os impactos do ambiente sobre o otólito é importante analisar espécies taxonomicamente próximas, mas que utilizem o habitat de forma diferente.

A família Haemulidae, popularmente conhecida como roncadores, possui 19 gêneros espalhados em águas tropicais e subtropicais do mundo, no Brasil foram identificadas 18 espécies distribuídas em 7 gêneros, representando uma das famílias mais abundantes da costa brasileira, podem viver em diferentes habitats, mas sua grande maioria se distribui por áreas recifais (CERQUEIRA et al., 2021; DE MELO, 2019; JÚNIOR; MANCINI, 2020). Embora não costumem ser alvos de pesca, representam uma grande quantidade da fauna acompanhante da atividade pesqueira no território nacional, onde acabam sendo descartados no mar, utilizados como iscas, vendidos como peixes ornamentais e para a subsistência das famílias de pescadores locais (DE ARAÚJO, 2016; DE MELO, 2019; EDUARDO et al., 2018). Os *haemulidae* possuem grande variedade de funções ecológicas, se localizando em diversos níveis das cadeias tróficas, se alimentando de algas, peixes e outros animais como pequenos invertebrados, além de atuarem como carreadores de matéria orgânica entre os diferentes ambientes pelos quais transitam e auxiliam na regulação da abundância de invertebrados (DA SILVA et al., 2019; DE ARAÚJO, 2016; EDUARDO et al., 2018; JÚNIOR; MANCINI, 2020).

Por conseguinte, este trabalho tem por objetivos 1. Desenvolver uma metodologia para identificação de traços funcionais, baseada em morfogeometria 2D e 3D do contorno do *sulcus* e da forma geral dos otólitos *sagitta* em espécies de peixes da família Haemulidae. 2. Comparar a eficiência dos traços funcionais dos otólitos, de espécies da família Haemulidae, de alta resolução (3D) e média resolução (2D) e baixa resolução (índices ecomorfológicos de otólitos) com traços ecomorfológicos tradicionais do corpo do peixe relacionados com a mobilidade e estratégia de captura da presa. 3. Propor uma metodologia inovadora para definição de traços funcionais baseados nos otólitos *sagitta* de peixes, no intuito de avançar na identificação de indicadores morfofuncionais em ecossistemas de alta diversidade biológica.

1. **Materiais e Métodos**

Foram analisados um total de 50 otólitos pertencentes a 5 espécies da família Haemulidae, nominalmente, *Conodon nobilis*, *Haemulon aurolineatum*, *Haemulopsis* *corvinaeformis*, *Haemulon plumieri* e *Haemulon parra.* Para as análises foram selecionadas quantidades iguais de indivíduos jovens e adultos, com o intuito de observar os efeitos ontogenéticos nas características do otólito, bem como as espécies foram separadas em 3 guildas de acordo com o uso de habitat. Os dados referentes a morfologia externa dos animais, assim como os otólitos, foram adquiridos do banco de dados e coleção de otólitos do Laboratório de Ecologia Peixes e Pesca (LaEPP) da Universidade Federal de Alagoas. Os peixes tiveram uma variação no seu comprimento total de 7,2 a 28 centímetros, com um comprimento médio de 17,67 cm (±6,26). A superfície interna dos otólitos direitos foi fotografada por meio do uso de uma lupa estereoscópica com câmera digital acoplada, sendo o otólito posicionado de forma que ficasse nítido tanto as bordas do otólito quanto do *sulcus*.

As fotos foram submetidas ao processamento no pacote ShapeR do R, seguindo a metodologia apresentada por Libungan e Pálsson, 2015, gerando imagens referentes ao perímetro de cada otólito (“outlines”), assim como, calculando suas respectivas áreas, posteriormente sendo geradas variáveis baseadas nas reconstruções de Wavelets/Fourier, para avaliar as formas dos otólitos de maneira quantitativa, bem como normalizam os otólitos, independentemente, de seus tamanhos e rotações, a partir dessas variáveis foi criada uma forma média para os otólitos das espécies, possibilitando visualizar em quais locais estão presentes as maiores variações entre os otólitos. Por fim, com o objetivo de avaliar a variação entre as populações, se utilizou a análise canônica de coordenadas principais (CAP), gerando valores para as variáveis que mais influenciam no formato dos otólitos. No software ImageJ versão 1.53, foram retiradas as medidas da área do *sulcus* e os valores de pixels das imagens, informação necessária para a calibração das mesmas. Foi então calculado um índice que corresponde a razão entre a área do *sulcus* pela área do otólito, que será utilizado como indicativo ecomorfológico (VOLPEDO, 2003).

Para a aplicação dos Landmarks, foi utilizado o software TPSdig2 versão 2.32. Todos os otólitos apresentam as mesmas quantidades de marcações, 8 nas bordas do otólito e 11 no sulcus, se buscou implementa-los em posições que possuem significado biológico nas espécies, sempre na mesma ordem (Figura 1. Imagem de um otólito com landmarks marcados e a numeração, elaborar a legenda na imagem de fato). Os dados gerados pelos Landmarks são colocados no software MorphoJ para que seja possível gerar uma forma média para os *sulcus* e então é aplicada uma análise de componentes principais (PCA), para reduzir o número de variáveis explicativas ao mesmo tempo que preserva as informações dos dados, através dela são gerados “scores”, dos quais foram utilizados para fazer uma LDA, com o intuito de discriminar grupos, os dados foram então submetidos a um teste de PERMANOVA para averiguar se existia diferença significativa nos dados.

Para a reconstrução de imagens 3D foi utilizado o pacote StereomorphR do R, seguindo o método utilizado por Olsen e Westneat 2015, onde duas câmeras de posição fixa são colocadas do lado esquerdo e direito do objeto, são retiradas fotos em vários ângulos diferentes, posteriormente, serão marcados pontos de relevância entre as imagens para que seja possível agrupá-las, gerando uma matriz de pontos que representam a localização espacial dessas características, para que seja possível fazer reconstrução do objeto.

1. **Resultados**

Os valores médios para os índices gerados pela razão área do *sulcus* / área do otólito foram de 28,9% para *C. nobilis*; 24,1% para *Haemulon aurolineatum*; 22% para *Haemulopsis corvinaeformis*; 23,2% para *Haemulon plumieri*; 23,8% para *Haemulon parra* e 24,4% para a família Haemulidae. É observado na forma média dos otólitos que o maior nível de variação se encontra entre 150°-180°, na região correspondente ao *rostrum*. A PCA indica que um fator é responsável por

1. **Discussão**

(SCHULZ-MIRBACH et al., 2010)

REFERÊNCIAS

BARDUA, C. et al. A Practical Guide to Sliding and Surface Semilandmarks in Morphometric Analyses. **Integrative Organismal Biology**, v. 1, n. 1, p. obz016, 1 jan. 2019.

CERQUEIRA, N. N. C. D. et al. Molecular identification of Brachygenys and Haemulon species (Perciformes: Haemulidae) from the Brazilian coast. **Neotropical Ichthyology**, v. 19, n. 2, p. e200109, 2021.

DA SILVA, V. et al. Maturity, fecundity, and reproductive cycle of Conodon nobilis (Actinopterygii: Perciformes: Haemulidae) in tropical waters of the Atlantic Ocean. **Acta Ichthyologica et Piscatoria**, v. 49, n. 3, p. 235–242, 15 set. 2019.

DAVIES, T. G. et al. Open data and digital morphology. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1852, p. 20170194, 12 abr. 2017.

DE ARAÚJO, A. L. F. **Caracterização do habitat e aspectos ecológicos de Anisostremus moricandi (Perciformes:Haemulidae) em dois ambientes recifais costeiros da Paraíba, Brasil**. Dissertação (Mestrado)—Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2016.

DE MELO, C. C. **Padrões de distribuição e aspectos populacionais dos peixes da família Haemulidae na plataforma continental brasileira**. Dissertação (Mestrado)—Pernambuco/Brasil: Universidade Dederal Rural de Pernambuco, 2019.

D’IGLIO, C. et al. Otolith Analyses Highlight Morpho-Functional Differences of Three Species of Mullet (Mugilidae) from Transitional Water. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 398, 31 dez. 2021.

EDUARDO, L. N. et al. Population structure and reproductive biology of Haemulopsis corvinaeformis (Perciformes, Haemulidae) in the south coast of Pernambuco, northeastern Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 108, n. 0, 11 jun. 2018.

FRANCIS, R. C.; CAMPANA, S. E. Inferring age from otolith measurements: a review and a new approach. v. 61, p. 17, 2004.

JÚNIOR, T. V.; MANCINI, B. F. Hábitos alimentares do peixe-roncador (Conodon nobilis) (Haemulidae: Perciformes) na zona de arrebentação de Praia Grande, São Paulo, Brasil. v. 9, 2020.

LOMBARTE, A. et al. Ecomorphological trends and phylogenetic inertia of otolith sagittae in Nototheniidae. **Environmental Biology of Fishes**, v. 89, n. 3–4, p. 607–618, nov. 2010.

POPPER, A. N.; RAMCHARITAR, J.; CAMPANA, S. E. Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. **Marine and Freshwater Research**, v. 56, n. 5, p. 497, 2005.

RICKLEFS, R. E.; MILES, D. B. Ecological and Evolutionary Inferences from Morphology: An Ecological Perspective. Em: **Ecological Morphology: Integrative Organismal Biology**. University of Chicago: Wainwright, P.C. e Reilly, S.M., 1994. p. 13–41.

SCHULZ-MIRBACH, T. et al. Otolith morphology and hearing abilities in cave- and surface-dwelling ecotypes of the Atlantic molly, Poecilia mexicana (Teleostei: Poeciliidae). **Hearing Research**, v. 267, n. 1–2, p. 137–148, ago. 2010.

SCHULZ-MIRBACH, T. et al. Enigmatic ear stones: what we know about the functional role and evolution of fish otoliths: The role of fish otoliths in inner ear function. **Biological Reviews**, v. 94, n. 2, p. 457–482, abr. 2019.

STEVENSON, D. K.; CAMPANA, S. E. Otolith Microstructure Examination and Analysis. 1992.

TORRES, G. J.; LOMBARTE, A.; MORALES-NIN, B. Variability of the sulcus acusticus in the sagittal otolith of the genus Merluccius (Merlucciidae). **Fisheries Research**, v. 46, n. 1–3, p. 5–13, maio 2000.

TUSET, V. M. et al. Testing otolith morphology for measuring marine fish biodiversity. **Marine and Freshwater Research**, v. 67, n. 7, p. 1037, 2016.

VILLÉGER, S. et al. Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. **Ecological Applications**, v. 20, n. 6, p. 1512–1522, set. 2010.

VOLPEDO, A. Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentine. **Fisheries Research**, v. 60, n. 2–3, p. 551–560, fev. 2003.