

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” (ESALQ/USP)
CENTRO DE BIOLOGIA MARINHA (CEBIMAR/USP)

JULIA BELLUCCO DA CRUZ

**DIVERSIDADE FUNCIONAL DA COMUNIDADE DE PEIXES RECIFAIS DO REFÚGIO DE
VIDA SILVESTRE DO ARQUIPÉLAGO DE ALCATRAZES, SÃO SEBASTIÃO, SP.**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Ciências
Biológicas como parte do requisito de obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Alexandre Reis Percequillo
Coorientador: Hudson Tercio Pinheiro

Piracicaba - SP

Maio/2023

1. RESUMO

Diversidade funcional é um conceito novo que vem ganhando cada vez mais espaço nas pesquisas em ecologia. Através dele é possível analisar uma comunidade não apenas por índices como riqueza de espécies e abundância, mas também usando características biológicas, como: morfologia, dieta, grau de agregação, taxa de crescimento, entre outras. Desta forma, a diversidade funcional proporciona um novo olhar para os sistemas biológicos e suas diversas características, possibilitando a avaliação das consequências dos impactos humanos no ecossistema em questão. No presente trabalho, serão analisados os índices de diversidade funcional da comunidade de peixes recifais do Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes, como forma de avaliar os impactos da criação dessa unidade de conservação na ecologia local. Os resultados dessa pesquisa poderão auxiliar no manejo adaptativo da Unidade de Conservação Marinha do Arquipélago de Alcatrazes, e na compreensão da importância das unidades de conservação para a proteção da fauna marinha.

2. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas recifais abrigam uma grande diversidade marinha de espécies, podendo ser estruturados por rochas e organismos bioconstrutores como corais, esponjas e algas calcárias, que atraem invertebrados e peixes que os utilizam para refúgio, alimento e reprodução (Villaça, 2009). Embora a composição estrutural desses recifes seja diferente, as comunidades de peixes que vivem nesses variados ecossistemas são conhecidas como peixes recifais.

O termo “peixes” é um termo genérico que engloba muitos grupos de organismos e não é considerado monofilético (Bemvenuti & Fischer, 2010). Dentre eles estão as classes Myxini (peixes-bruxa), Petromyzontida (lampreias), Chondrichthyes (tubarões, raias e quimeras), Sarcopterygii (celacantos e peixes pulmonados) e Actinopterygii (peixes com nadadeiras raiadas). Os peixes recifais englobam espécies desses vários grupos, sendo assim denominados pois passam algum momento ou todo o seu ciclo de vida associados aos recifes, utilizando-os como locais de alimentação, abrigo e reprodução (Quimbayo et al., 2020). A composição de cada comunidade de peixes recifais não é uniforme, essas diferenças são produtos de processos históricos e ecológicos, bem como processos individuais e coletivos (Bellwood & Wainwright, 2002).

Todos os ecossistemas, incluindo os ecossistemas recifais são responsáveis por produzir benefícios (MEA, 2005), muitos dos quais são essenciais para o homem. Esses benefícios são conhecidos como serviços ecossistêmicos, conceito presente nas discussões atuais sobre conservação. Alguns dos serviços ecossistêmicos produzidos pelos recifes são: recursos renováveis (como por exemplo, oferta de alimentos), recursos minerais (calcário), serviços de estrutura física (proteção da linha da costa), serviços bióticos (manutenção da biodiversidade e *pool* genético), serviços biogeoquímicos (controle de CO₂/Ca), serviços de informação e educação (registros climáticos) e serviços sociais e culturais (sustento às comunidades tradicionais), dentre outros serviços (Elliff, 2014; Moberg & Folke, 1999).

Contudo, como todos os ecossistemas atuais, os recifes também são muito afetados pelas ações antrópicas, que muitas vezes são insustentáveis e destrutivas. De acordo com Moberg e Folke (1999), as ações mais destrutivas que interferem nos serviços ecossistêmicos dos recifes são: mineração, coleta de organismos, pesca com métodos destrutivos (como por exemplo, dinamite), turismo desregrado e extração de petróleo. Mais atualmente, esses ambientes também são afetados pela sobrepesca, e quando próximos a ocupações humanas, por esgoto doméstico (Villaça, 2009).

Uma das formas de preservar os ecossistemas marinhos é o estabelecimento de áreas marinhas protegidas (AMPs), o que no Brasil acontece através das unidades de

conservação (UCs) (Banzato, 2014). O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) define unidade de conservação, como:

“O espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias de proteção” (Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000).

Com isso, as UCs foram divididas em (a) de proteção integral, com o intuito de conservar a natureza, nas quais é permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, em que se encontram, sendo elas: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Refúgio de Vida Silvestre, Monumento Natural e, (b) uso sustentável, com o intuito de preservar a natureza conjuntamente com o uso de seus recursos naturais de forma sustentável, em que se encontram: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

As unidades de conservação são uma das formas mais eficientes de se conservar a biodiversidade, entretanto uma boa gestão desse espaço é essencial para que o objetivo de preservação da natureza seja alcançado (Faria, 2004). Dentre os muitos benefícios gerados pelas unidades de conservação podemos citar as oportunidades e incentivos à pesquisa científica, principalmente no que diz respeito a diversidade biológica (Faria, 2004).

A diversidade funcional tem surgido como uma forma de analisar a comunidade biológica de uma região, e diferentemente de índices como riqueza de espécies e abundância, esta usa características biológicas mensuráveis, como: características morfológicas, dieta, grau de agregação e taxa de crescimento das espécies. Desta forma, este método nos permite entender os papéis funcionais que cada espécie desempenha, e assim analisar o funcionamento daquela comunidade, bem como suas trajetórias evolutivas (Ferreira et al., 2021) e as consequências de distúrbios antrópicos, de pressão biótica ou de mudanças ambientais (Mouillot et al., 2013).

Analisar a estrutura funcional de uma comunidade é necessária para entender previamente a abundância das espécies-chaves de cada grupo funcional (Floeter & Halpern, 2008). Ainda, Villéger et al. (2017) propõe avaliar por meio da diversidade funcional a homogeneização funcional por perturbações, ou seja, como as comunidades de peixes estão ficando homogêneas devido a retirada constante das mesmas espécies, e como as mudanças nas similaridades funcionais afetam a resistência e resiliência dos ecossistemas recifais (Bellwood et al., 2004). Além disso, a redundância e vulnerabilidade funcional, são necessárias para entender processos de extinção e substituição de espécies, uma vez que a

baixa redundância funcional indica a alta vulnerabilidade de uma espécie (Ferreira et al., 2021).

No presente trabalho, a região de estudo escolhida foi o Arquipélago de Alcatrazes, que faz parte do município de São Sebastião (SP), e está classificada como unidade de conservação de proteção integral do tipo Refúgio da Vida Silvestre (REVIS). O Refúgio foi criado em 2016, mas uma porção do arquipélago já fazia parte da Estação Ecológica (ESEC) Tupinambás, criada em 1987, que engloba dois setores, um em São Sebastião, no qual se encontra parte do Arquipélago de Alcatrazes, e outro em Ubatuba, o qual compreende parte do Arquipélago da Ilha Anchieta (ICMBio, 2017).

O Arquipélago de Alcatrazes é conhecido por possuir o maior ninhal de fragatas (*Fregata magnificens*) do país, possuir espécies endêmicas de grande importância para estudos evolutivos e de biogeografia de ilhas e possuir uma grande biodiversidade marinha, incluindo um importante ecossistema de recifes rochosos; sendo considerado um patrimônio natural regional, além de conter sítios arqueológicos com importância histórica para a cultura brasileira (ICMBio, 2017).

Devido à grande importância do Arquipélago de Alcatrazes em um contexto regional e nacional, o presente trabalho visa por meio da análise dos índices de diversidade funcional da comunidade de peixes recifais do Arquipélago de Alcatrazes entender como a unidade de conservação implementada na região, em 2016, interferiu nos impactos antrópicos locais, usando como base o trabalho de Mouillot et al. (2013).

3. JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa compreender os efeitos do estabelecimento da unidade de conservação na comunidade de peixes recifais da região estudada. Esses resultados podem contribuir para o manejo adaptativo da unidade de conservação, aprimorando futuros planos de manejo para o Arquipélago de Alcatrazes. Além disso, este trabalho irá auxiliar no entendimento da importância dessa região como refúgio para a vida marinha, e assim ser usado na conscientização sobre a importância das áreas marinha de proteção.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é, por meio dos índices de diversidade funcional, avaliar como a criação da unidade de conservação de proteção integral Refúgio de Vida Silvestre, em 2016, influenciou a comunidade de peixes recifais do Arquipélago de Alcatrazes.

4.2. Objetivos Específicos

- Avaliar como os aspectos funcionais estão relacionados a estrutura da composição da ictiofauna do Arquipélago de Alcatrazes;
- Comparar possíveis mudanças na estrutura funcional da ictiofauna em diferentes anos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Área de Estudo

O Arquipélago de Alcatrazes (24°07'– 24°11' S, 45°65' – 45°70' W) está localizado no município de São Sebastião, SP. A área se encontra dentro de duas unidades de conservação, a Estação Ecológica (ESEC) dos Tupinambás, criada nos anos 80, e o Refúgio da Vida Silvestre (REVIS) do Arquipélago de Alcatrazes, criado em 2016, sendo a maior área marinha de proteção integral da região Sudeste e Sul do país (ICMBio, 2017).

O Refúgio de Alcatrazes tem uma área total de 674,09 km² (quilômetros quadrados), abrigando o maior ninhal de fragatas (*Fregata magnificens*) do país e espécies endêmicas de relevante interesse para estudos da área de evolução e biogeografia de ilhas (ICMBio, 2017).

No ambiente marinho, é uma área importante para a reprodução e crescimento de espécies ameaçadas de extinção e de alto valor comercial para a pesca, como as raias, tubarões e garoupas, bem como como área de alimentação e crescimento de tartarugas-marinhas (ICMBio, 2017). Em um estudo recente sobre a ictiofauna da região, feito por Hoff et al. (2022), foram registrados no Arquipélago de Alcatrazes 196 táxons de peixes actinoptérgios e 24 espécies de elasmobrânquios.

5.2. Coleta dos Dados

A coleta de dados foi realizada através do método de censos visuais subaquáticos utilizando transectos. As expedições ao Arquipélago de Alcatrazes aconteceram em 2013, e anualmente entre em 2019 e 2023. Os mergulhadores utilizaram equipamentos de respiração subaquáticos autônomos (scuba diving) para realizar o censo em um transecto de 20 metros X 2 metros, propício para condições das águas costeiras pouco transparentes (Floeter et al., 2007), como no caso das águas de Alcatrazes e da maior parte do Brasil. Com isso a abundância foi medida pelo número de indivíduos visualizados por 40m² (metros quadrados).

5.3. Análise dos Dados

A análise de dados será feita por meio do *software R* (R Core Team, 2020), utilizando o pacote *mFD* (Magneville et al., 2021), para calcular os índices funcionais, baseados nos atributos funcionais que serão selecionados de acordo com os aspectos morfológicos, ecológicos e ambientais da comunidade de peixes (Mouillot et al., 2014).

O pacote *mFD* possibilita a identificação dos grupos funcionais e a construção do espaço funcional necessário para calcular os índices de diversidade funcional, incluindo suas representações gráficas (Magneville et al., 2021).

Para a análise de comparação da diversidade funcional entre os anos de coleta, será aplicado um teste de análise de variância (ANOVA).

6. CRONOGRAMA

Considerando o trabalho proposto, as atividades a serem executadas em seis meses, distribuem-se na tabela 1.

Tabela 1. Cronograma de atividades que serão realizadas no período de 6 meses do projeto de pesquisa.

Atividades	1º mês	2º mês	3º mês	4º mês	5º mês	6º mês
Revisão bibliográfica	X	X	X	X	X	
Coleta de dados	Etapa já efetuada					
Análise de dados	X	X	X	X		
Escrita do manuscrito				X	X	
Revisão					X	X
Apresentação do TCC						X

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banzato, B. de M. (2014). *Análise da Efetividade das Unidades de Conservação Marinhas de Proteção Integral do Estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Bemvenuti, M. de A. & Fischer, L. G. (2010). Peixes: Morfologia e Adaptações. *Cadernos de Ecologia Aquática*, 5(2), 31-54.

Bellwood, D. R., Hoey, A. S., & Choat, J. H. (2003). Limited functional redundancy in high diversity systems: resilience and ecosystem function on coral reefs. *Ecology Letters*, 6(4), 281–285. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00432.x>

Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., & Nyström, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*. 429:827–833.

Bellwood, D. R., Streit, R. P., Brandl, S. J., & Tebbett, S. B. (2019). The meaning of the term ‘function’ in ecology: A coral reef perspective. *Functional Ecology*, 33, 948–961. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13265>

Bellwood, D. R. & Wainwright, P. C. (2002). The History and Biogeography of Fishes on Coral Reefs. In P. F. Sale (Ed.), *Coral Reef Fishes: Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*, (pp. 5 - 32), *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-615185-5.X5000-2>

Elliff, C. I. (2014). *Serviços Ecológicos Prestados por Recifes de Coral nas Ilhas de Tinharé e Boipeba, Baixo Sul da Bahia, Brasil*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

Faria, H. H. de. (2004). *Eficácia de Gestão de Unidades de Conservação Gerenciadas pelo Instituto Florestal de São Paulo, Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, Brasil.

Ferreira, C. E. L., Hachich, N. F., Pinheiro, H. T., Quimbayo, J. P., Luiz, O. J., & Mandes T. C. (2021). Ilhas Oceânicas: Biogeografia, Evolução e Conservação. In R. C. Pereira & A. Soares-Gomes (Orgs.), *Ecologia Marinha*, (1ª Ed., pp. 341 - 372), Rio de Janeiro: *Interciência*.

Floeter, S. R., Krohling, W., Gasparini, J. L., Ferreira, C. E. L., & Zalmon, I. R. (2007). Reef fish community structure on coastal islands of southeastern Brazil: the influence of exposure and benthic cover. *Environmental Biology of Fishes* 78, 147–160.

Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29, 215–233.

Halpern, B. S., & Floeter, S. R. (2008). Functional diversity responses to changing species richness in reef fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 364, 147–156.
<https://doi.org/10.3354/meps07553>

Hoff, N. T., Takase, L. S., Siegle, E., & Dias, J. F. (2022). Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo do arquipélago dos Alcatrazes (São Paulo, Brasil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 22(1): 43-80.

ICMBio. (2017). Plano de Manejo da Estação Ecológica Tupinambás e Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes, Volume I - Diagnóstico. Brasília.

Lei No 9.985, de 18 de julho de 2000. (2000). Lei que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Brasília.

Magneville, C., Loiseau, N., Albouy, C., Casajus, N., Claverie, T., Escalas, A., Leprieur, F., Maire, E., Mouillot, D., & Villéger, S. (2022). mFD: an R package to compute and illustrate the multiple facets of functional diversity. *Ecography*, 2022(1), 1–15.
<https://doi.org/10.1111/ecog.05904>

MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Their Services.
<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.300.aspx.pdf>

Mouillot, D., Graham, N. A. J., Villegger, S., Mason, N. W. H., & Bellwood, D. R. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(3), 167–177.

Mouillot, D., S. Villéger, V. Parravicini, M. Kulbicki, & J. E. Arias-González. (2014). Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. *Proceedings of the National. Academy of Sciences*, 111:13757–1376.

Pimiento, C., Leprieur, F., Silvestro, D., Lefcheck, J. S., Albouy, C., & Rasher, D. B. (2020). *Functional diversity of marine megafauna in the Anthropocene*. *April*.

Pinheiro, H. T., Martins, A. S., & Joyeux, J. (2012). The importance of small-scale environment factors to community structure patterns of tropical rocky reef fish. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-11.

Prates, A. P. L. (2003). *Recifes de Coral e Unidades de Conservação Costeiras e Marinhas no Brasil: uma análise da representatividade e eficiência na conservação da biodiversidade*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

Quimbayo, J. P., Abel, L. D. dos S., & Migotto, A. E. (2020). *Peixes Recifais: Aquarelas vivas*. São Sebastião: CEBIMar/USP.

R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.: R 608 Foundation for Statistical Computing.

Villaça, R. (2009). Recifes Biológicos. In R. C. Pereira & A. Soares-Gomes (Orgs.), *Biologia Marinha*, (2ª Ed., pp. 399 - 420), Rio de Janeiro: *Interciência*.

Villéger, S., Brosse, S., Mouchet, M., Mouillot, D., & Vanni, M. J. (2017). Functional ecology of fish: current approaches and future challenges. *Aquatic Sciences*, 79(4), 783–801. <https://doi.org/10.1007/s00027-017-0546-z>



COMISSÃO DE ÉTICA AMBIENTAL NA PESQUISA - ESALQ/USP

CERTIFICAÇÃO DE DOCENTE

A Comissão de Ética Ambiental na Pesquisa (CEAP), Ad Referendum, **CERTIFICOU** o Prof. Dr. **Alexandre Reis Percequillo**, Departamento de Ciências Biológicas, pelo período de **06/10/2020 à 05/10/2023**.

Piracicaba, 06 de outubro de 2020.

Prof. Dr. Wanessa Melchert Mattos
Presidente da CEAP/ESALQ/USP

FOLHA DE ASSINATURAS

JULIA BELLUCCO DA CRUZ

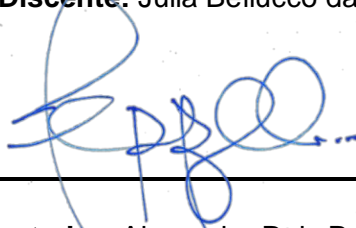
DIVERSIDADE FUNCIONAL DA COMUNIDADE DE PEIXES RECIFAIS DO REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE DO ARQUIPÉLAGO DE ALCATRAZES, SÃO SEBASTIÃO, SP.

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Biológicas como parte do requisito de obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Piracicaba, 05 de maio de 2023

Julia Bellucco da Cruz

Discente: Julia Bellucco da Cruz



Orientador: Alexandre Reis Percequillo

Hudson Tercio Pinheiro

Coorientador: Hudson Tercio Pinheiro