



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA – PPGE

**COMO A ESTRUTURA DO HÁBITAT E CARACTERÍSTICAS ABIÓTICAS
SE CORRELACIONAM COM TRAÇOS DE HISTÓRIA DE VIDA EM
COMUNIDADE DE PEIXES DE AMBIENTES RECIFAIS?**

Janson Job Guimarães Sousa

jansonjoob@gmail.com

Recife – PE

2021

JANSON JOB GUIMARÃES SOUSA

**COMO A ESTRUTURA DO HÁBITAT E CARACTERÍSTICAS ABIÓTICAS
SE CORRELACIONAM COM TRAÇOS DE HISTÓRIA DE VIDA EM
COMUNIDADE DE PEIXES DE AMBIENTES RECIFAIS?**

Defesa da dissertação
apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Ecologia da UFRPE
sob a orientação da Dra. Ana Carla
Asfora El-deir e co-orientação das
Dra. Lis Fernandes Stegmann e Dra.
Natália Carneiro Lacerda dos Santos.

Recife – PE

2021

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)

S725c

Sousa, Janson Job Guimarães Sousa

Como a estrutura do hábitat e características abióticas se correlacionam com traços de história de vida em comunidade de peixes de ambientes recifais? / Janson Job Guimarães Sousa Sousa. - 2021.
43 f. : il.

Orientadora: Ana Carla Asfora El El-Deir.

Coorientadora: Natalia carneiro Lacerda dos Santos.

Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Recife, 2022.

1. Traços funcionais. 2. Peixes recifais. 3. funcionamento do ecossistema. I. El-Deir, Ana Carla Asfora El, orient. II. Santos, Natalia carneiro Lacerda dos, coorient. III. Título

CDD 574.5

JANSON JOB GUIMARÃES SOUSA

COMO A ESTRUTURA DO HÁBITAT E CARACTERÍSTICAS ABIÓTICAS SE
CORRELACIONAM COM TRAÇOS DE HISTÓRIA DE VIDA EM COMUNIDADE
DE PEIXES DE AMBIENTES RECIFAIS?

Banca examinadora:

Prof.^a Dr. Ana Carla Asfora El-Deir (Orientadora)

Prof. Dr. Paulo Guilherme Vasconcelos de Oliveira

(Membro interno / Departamento de Pesca e Aquicultura - DEPAq/UFRPE)

Dra. Simone Maria de Albuquerque Lira

(Membro Externo / Departamento de Oceanografia / UFPE)

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	iii
Lista de tabelas.....	v
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	7
2 PERGUNTA.....	8
3 OBJETIVOS.....	8
Referências.....	8
Artigo 1.....	11
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUÇÃO.....	14
MATERIAL E MÉTODOS.....	16
RESULTADOS.....	22
DISCUSSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	33
APÊNDICE.....	42

Lista de figuras

Figura 1. Mapa do estado de Pernambuco e regiões amostradas no estudo (a) Praia do Paiva, (b) Praia de Porto de Galinhas e (c) Recife de Caieiras. As regiões pontilhadas paralelas a costa representam as áreas de recifes, onde um dos locais amostrados (c) se encontra em uma Área de Proteção Ambiental- APA. Os pontos em (●) mostram a localização referenciada de cada transecto.....17

Figura 2. Desenho esquemático da análise RLQ. A matriz R contendo os dados ambientais é analisada através de uma análise de Hill-Smith. A matriz de abundância das espécies (L) é analisada por uma CA para sumarizar suas principais estruturas. A matriz Q contendo traços de história de vida é analisada através de uma Análise de Correspondência Múltipla (MAC). As matrizes R e Q são ponderadas pelos pesos dos locais (n) e das espécies (s), derivados da CA. Uma análise de co-inércia é realizada de forma que os escores das variáveis ambientais e traços, ponderados pela abundância de espécies, tenham máxima covariância cruzada. Em seguida é calculada a RLQ parcial, onde é adicionada uma matriz W com covariáveis. São calculadas duas regressões multivariadas utilizando a Matriz W e os resíduos dos modelos são apresentados nas matrizes Rr e Lr. Em seguida é realizada uma RLQ modificada utilizando a matriz Q original. Fonte: Santos, 2016 adaptada.....21

Figura 3 Análise de PCoA , utilizando os dados de abundância de traços funcionais de cada transecto amostrado. Na figura A, as setas representam os loadings da análise e indicam as relações entre os traços de história de vida e os dois primeiros eixos da ordenação. A figura B indica o espaço funcional ocupado por cada praia analisada e a sobreposição de composição funcional entre elas.....24

Figura 4. A) Escores dos locais dos dois primeiros eixos da RLQ parcial. A covariável considerada foi a praia. B) Ordenação variáveis ambientais da **RLQ parcial** realizada sobre os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. C) Ordenação dos traços da parcial **RLQ** realizada sobre os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. D) Ordenação das espécies da parcial **RLQ** realizada sobre os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. Tabela 3 para os valores de correlação das variáveis ambientais e traços de história de vida com os eixos 1 e 2 do RLQ.....27

Figura 5. Relações de pares entre traços de história de vida de espécies de peixes e características do substrato e variáveis físicas e químicas estabelecidas através da análise Fourth-Corner para os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. As células vermelhas indicam relações significativas positivas, células azuis relações significativas negativas e células cinzas relações aleatórias. Valores de p ver Tabela 4. Nomes de características funcionais explicadas na Tabela 1 e 2.....29

Lista de tabelas

Tabela 1 Variáveis ambientais físicas/químicas e composição do substrato com suas categorias e abreviações utilizadas em análises.....	18
Tabela 2 Características funcionais, categorias e abreviações utilizadas nas análises das espécies de peixes.....	19
Tabela 3 Abundância de indivíduos por traços de história de vida nas praias amostradas.....	23
Tabela 4 Porcentagens da composição do substrato de recifes amostrados.....	24
Tabela 5 Valores de média e desvio padrão das variáveis ambientais e estrutura física dos recifes analisados.....	24
Tabela 6. Resumo das variáveis ambientais (A) e traços de história de vida (B) associadas de forma positiva e negativa (em negrito) na RLQ parcial para os ambientes recifais analisados. Foram interpretadas as variáveis com correlações acima de 0,5 (valores em negrito). C) Corresponde a Variância explicada que refere-se a porcentagem de co-inércia dos dados ambientais (R) e traços de história de vida (Q) representada em cada eixo da RLQ parcial.....	28
Tabela 7. Valores de p das relações entre pares entre traços de história de vida de espécies de peixes e características do substrato e variáveis físicas e químicas estabelecidas através da análise Fourth-Corner para os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. São apresentados apenas os valores das relações significativas.....	29

1 INTRODUÇÃO GERAL

A composição de traços de história de vida tem sido frequentemente usada para entender o papel das características das espécies e como elas se relacionam com gradientes ambientais (Gravel et al., 2016; Shipley et al., 2015). Além disso, são importantes para estabelecer ligações de causa e efeito nas propriedades e funcionamento do ecossistema (Cadotte et al., 2011; Petchey e Gaston, 2006).

Em ecossistemas recifais, a influência de parâmetros ambientais atua como filtros, afetando a distribuição e abundância das espécies associadas a esses ambientes (Longo et al., 2015). No caso dos peixes, grupo representativo e de relevância ecológica desses locais, a complexidade estrutural e composição bentônica pode moldar a composição de traços de história de vida da assembleia de peixes (Pereira-Filho et al., 2011).

A complexidade estrutural, que representa a configuração da estrutura física dos recifes, incluindo a rugosidade e/ou outros atributos morfológicos, é um dos impulsionadores mais robustos de diversidade de peixes em pequenas e grandes escalas espaciais (Tews et al., 2004; Pinheiro et al., 2013). A complexidade estrutural promove a diversidade de hábitat mediando a competição, predação e facilitando o compartilhamento de um maior do número de espécies no ambiente (Denis et al., 2017). Dessa maneira, a baixa complexidade estrutural em recifes pode resultar na diminuição da abundância, redução e extinção do número de espécies locais, inclusive os peixes.

Já a composição bentônica recifal, composta pelos organismos associados a estrutura rígida do recife, influencia a estrutura da comunidade de peixes fornecendo microhábitats e recursos importantes para as espécies associadas a esses ecossistemas. Dessa maneira, reduções na composição de cobertura bentônica implica em perda da diversidade de hábitats (Graham e Nash, 2013), abundância e biomassa de peixes (Wilson et al., 2006), além de mudanças nas distribuições de tamanho corporal e modificações na estrutura trófica (Bellwood, et al., 2006, Wilson et al., 2008; Pratchett et al., 2011; Alvarez-Filip et al., 2015).

No caso dos recifes costeiros do nordeste do Brasil, as formações recifais encontradas são de composição arenítica. Esses locais são colonizados por corais, macroalgas, zooantídeos, moluscos e crustáceo (Pita et al., 2018). A competição por espaço entre macroalgas, zooantídeos e corais, configuram a estrutura bentônica sésil desses recifes costeiros. A alta abundância de macroalgas marinhas, sobretudo alga turf, é uma característica marcante desses locais, sobretudo em recifes fortemente influenciados por estuários e níveis elevados de

sedimentação, e diminui a presença de corais no substrato (Leão et., 2018). Além disso, - o controle exercido pelos peixes recifais através da herbivoria fornece novos espaços para a colonização de organismos, contribuindo para dinâmica do bentos(Cissell et al., 2019; Santos et al., 2015).

Há um grande interesse em entender como a complexidade estrutural e a composição do substrato modificam a composição traços de história de vida e influenciam no processo de montagem da comunidade peixes, uma vez que esses parâmetros, associados à composição taxonômica das assembléias, são elementos fundamentais para subsidiar planos de manejo e conservação dessas áreas.

2 PERGUNTA

Como a estrutura de hábitat e variáveis ambientais influenciam na composição de traços de história de vida da comunidade de peixes recifais?

3 HIPÓTESE

Mudanças na estrutura de hábitats e variáveis ambientais provocam alterações em traços de vida da comunidade ictiofaunística recifal.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar como as mudanças na estrutura de habitat e as variáveis ambientais dos recifes costeiros determinam a composição de traços de história de vida das espécies de peixes.

4.2 Objetivos específicos

- Classificar as espécies de peixes recifais em traços de história de vida de acordo com a sua função em recifes costeiros do Brasil;
- Determinar a composição bentônica dos recifes estudados;
- Determinar os parâmetros abióticos dos recifes estudados;
- Correlacionar traços de história de vida da comunidade ictiofaunística com a cobertura bentônica e variáveis abióticas em recifes costeiros do Brasil.

5 REFERÊNCIAS

Alvarez-Filip, L., Gill, J.A., Dulvy, N.K., 2011. Complex reef architecture supports more small-bodied fishes and longer food chains on Caribbean reefs. *Ecosphere* 2, art118.

<https://doi.org/10.1890/es11-00185.1>

Bellwood, D.R., Hoey, A.S., Ackerman, J.L., Depczynski, M., 2006. Coral bleaching, reef fish community phase shifts and the resilience of coral reefs. *Glob. Chang. Biol.* 12, 1587–1594. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01204.x>

Cadotte, M.W., Carscadden, K., Mirotchnick, N., 2011. Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *J. Appl. Ecol.* 48, 1079–1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>

Cissell, E.C., Manning, J.C., McCoy, S.J., 2019. Consumption of benthic cyanobacterial mats on a Caribbean coral reef. *Sci. Rep.* 9, 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49126-9>

Denis, V., Ribas-Deulofeu, L., Sturaro, N., Kuo, C.Y., Chen, C.A., 2017. A functional approach to the structural complexity of coral assemblages based on colony morphological features. *Sci. Rep.* 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10334-w>

Eyre, B.D., Andersson, A.J., Cyronak, T., 2014. Benthic coral reef calcium carbonate dissolution in an acidifying ocean. *Nat. Clim. Chang.* 4, 969–976. <https://doi.org/10.1038/nclimate2380>

Graham, N.A.J., Nash, K.L., 2013. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 32, 315–326. <https://doi.org/10.1007/s00338-012-0984-y>

Gravel, D., Albouy, C., Thuiller, W., 2016. The meaning of functional trait composition of food webs for ecosystem functioning. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 371. <http://doi.org/10.1098/rstb.2015.0268>

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., 2018. The coral reef province of Brazil, Second Edi. ed, *World Seas: An Environmental Evaluation Volume I: Europe, the Americas and West Africa*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00048-6>

Longo, G.O., Morais, R.A., Martins, C.D.L., Mendes, T.C., Aued, A.W., Cândido, D. V., De Oliveira, J.C., Nunes, L.T., Fontoura, L., Sissini, M.N., Teschima, M.M., Silva, M.B., Ramlov, F., Gouvea, L.P., Ferreira, C.E.L., Segal, B., Horta, P.A., Floeter, S.R., 2015. Between-habitat variation of benthic cover, reef fish assemblage and feeding pressure on the benthos at the only atoll in South Atlantic: Rocas atoll, NE Brazil. *PLoS One* 10, 1–29.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127176>

Pereira-Filho, G.H., Amado-Filho, G.M., Guimarães, S.M.P.B., Moura, R.L., Sumida, P.Y.G., Abrantes, D.P., Bahia, R.G., Güth, A.Z., Jorge, R.R., Filho, R.B.F., 2011. Reef fish and benthic assemblages of the trindade and Martin Vaz island group, SouthWestern Atlantic. *Brazilian J. Oceanogr.* 59, 201–212. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592011000300001>

Petchey, O.L., Gaston, K.J., 2006. Functional diversity: Back to basics and looking forward. *Ecol. Lett.* 9, 741–758. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>

Pita, P., Fernández-Márquez, D., Freire, J., 2018. Spatiotemporal variation in the structure of reef fish and macroalgal assemblages in a north-east Atlantic kelp forest ecosystem: Implications for the management of temperate rocky reefs. *Mar. Freshw. Res.* 69, 525–541. <https://doi.org/10.1071/MF17193>

Pratchett, M.S., Trapon, M., Berumen, M.L., Chong-Seng, K., 2011. Recent disturbances augment community shifts in coral assemblages in Moorea, French Polynesia. *Coral Reefs* 30, 183–193. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0678-2>

Santos, G.D.S., LIRA, S.M. de A., SCHWAMBORN, R., 2015. Análise das comunidades macrobentônicas sésseis, como ênfase na interação entre cnidário *Zoantus sociatus* (Ellis, 1978) e macroralga, no topo de um recife de águas rasas do nordeste do Brasil. *Trop. Oceanogr.* 43. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v43i1.5831>

Shipley, B., Vile, D., Garnier, É., 2015. *From Plant Traits to Plant Communities* : 812–814.

Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M.C., Schwager, M., Jeltsch, F., 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *J. Biogeogr.* 31, 79–92. <https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x>

Wilson, S.K., Fisher, R., Pratchett, M.S., Graham, N.A.J., Dulvy, N.K., Turner, R.A., Cakacaka, A., Polunin, N.V.C., Rushton, S.P., 2008. Exploitation and habitat degradation as agents of change within coral reef fish communities. *Glob. Chang. Biol.* 14, 2796–2809. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01696.x>

Wilson, S.K., Graham, N.A.J., Pratchett, M.S., Jones, G.P., Polunin, N.V.C., 2006. Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: Are reef fishes at risk or resilient? *Glob. Chang. Biol.* 12, 2220–2234. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01252.x>

ARTIGO 1

(Para ser encaminhado para Environmental Biology of Fishes)

Como a estrutura do hábitat e características abióticas se correlacionam com traços de história de vida em comunidade de peixes de ambientes recifais?

Janson Job Guimarães Sousa¹; Natália carneiro Lacerda dos Santos²; Valdir Paulo Ferreira Filho³; Lis Fernandes Stegmann⁴ Osman Crespo Neto⁵; Ana Carla Asfora El-Deir ⁶.

¹. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

². Laboratório de Ecologia teórica e conservação. Departamento de Engenharia de Pesca e Ciências Biológicas, Laboratório de Ecologia e Conservação. Universidade Estadual de Santa Catarina, Laguna, Santa Catarina, Brasil

³. Programa de Pós-Graduação em Etnobiologia e Conservação da Natureza, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

⁴. Embrapa Amazônia oriental / Belém

⁵ Okeanos-UAc Instituto de Investigação em Ciências do Mar, Universidade dos Açores, Portugal.

⁶. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Laboratório de Ecologia de Peixes, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Corresponding author:

Resumo

Os recifes de corais são ambientes que apresentam uma elevada diversidade de espécies e a variedade de habitats e micro-habitats sendo de grande importância para os peixes. Visto que os recifes costeiros do Brasil possuem alta diversidade e ocorrência de espécies endêmicas, entender os processos e mecanismos que atuam na estruturação da comunidade ictiofaunística é relevante. Portanto, avaliar como as mudanças na estrutura de habitat e as variáveis ambientais dos recifes costeiros determinam a composição de traços de história de vida das espécies de peixes foi o objetivo desse trabalho. O estudo foi realizado em três praias de Pernambuco (Porto de Galinhas, Praia do Paiva e Caieiras), onde foi aplicada a técnica de censo visual subaquático para realizar a amostragem da ictiofauna de cada local através de transectos aleatórios de 20x2 m e, posteriormente, classificados em 4 atributos funcionais (categoria trófica, tamanho máximo do corpo, habitat preferencial e formação de cardume). Simultaneamente às coletas biológicas, foram aferidos dados de temperatura, salinidade, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido da água através de sonda multiparâmetro. Em seguida, para amostragem da cobertura bentônica de cada área estudada foi utilizada a técnica do CPCe (Coral Point Count with Excel Extensions). A análise de dados foi feita através de uma RLQ e Fourth-Corner em conjunto para encontrar diferenças entre composição de características funcionais das assembleias de peixes e variáveis ambientais. Os resultados forneceram evidências de que as variáveis ambientais (temperatura e oxigênio dissolvido) e medidas de estrutura físicas do recife (profundidade e rugosidade) influenciam na composição de traços funcionais na comunidade de peixes dos ambientes recifais, onde foi possível identificar um padrão na estrutura da comunidade de peixes. Fornecendo novas informações sobre o funcionamento do ecossistema de ambientes recifais de formação arenítica em relação a peixes recifais e da importância desses organismos para sustentação do equilíbrio do habitat na região.

Palavras Chaves: Traços funcionais; Peixes recifais; Funcionamento do ecossistema.

Abstract

Coral reefs are environments that present a high diversity of species and the variety of habitats and micro-habitats being of great importance to fish. Since the in coastal reefs in Brazil, which have a high diversity and occurrence of endemic species, to understand the processes and mechanisms that act in the structuring of the ichthyofaunistic community is relevant. Therefore, evaluating how changes in habitat structure and environmental variables of coastal reefs determine the composition of life history traits of fish species was the objective of this work. The study was carried out on three beaches in Pernambuco (Porto de Galinhas, Praia do Paiva and Caieiras), where the underwater visual census technique was applied to sample the fish fauna of each location through random transects of 20x2 m, later classified in 4 functional attributes (trophic category, maximum body size, preferential habitat and schooling). Simultaneously to the biological collections, data on temperature, salinity, total dissolved solids and dissolved oxygen in the water were measured through a multiparameter probe. Then, to sample the benthic coverage of each studied area, the CPCe (Coral Point Count with Excel Extensions) technique was used. Data analysis was performed using an RLQ and Fourth-Corner together to find differences between composition of functional characteristics of fish assemblages and environmental variables. The results provided evidence that environmental variables (temperature and dissolved oxygen) and physical structure measurements of the reef (depth and roughness) influence the composition of functional traits in the fish community in reef environments, where it was possible to identify a pattern in the structure of the reef. fish community. Providing new information about the ecosystem functioning of sandstone reef environments in relation to reef fish and the importance of these organisms to sustain the balance of the habitat in the region.

Key words: Functional traits; Reef fish; Ecosystem functioning.

Introdução

A busca do entendimento dos mecanismos responsáveis pela estruturação e composição das assembleias é um dos principais objetivos da ecologia. Sabe-se que o estabelecimento de assembleias é resultado de um conjunto de regras de montagem e processos evolutivos, que dependem da escala espacial de observação (Sobral e Cianciaruso, 2012).

Dentre os processos ecológicos ou regras de montagem responsáveis pela estruturação de comunidades ecológicas, pode-se mencionar a importância das características do ambiente como selecionador das espécies (Kraft et al., 2015). Fatores ambientais, como temperatura, pH, entre outras variáveis, atuam selecionando as espécies que tenham a capacidade de sobreviver em um ambiente sob determinadas condições (Lavorel e Garnier, 2002). Em contrapartida, as espécies que ocupam o mesmo ambiente precisam, necessariamente, ocupar nichos diferenciados para evitarem a exclusão por competição de recursos similares (similaridade limitante) (Funk et al., 2008).

Em ecossistemas recifais, locais que apresentam elevada heterogeneidade e alta diversidade (Rocha et al., 2007), a ictiofauna é um grupo expressivo. Estima-se que cerca de 25% de todas as espécies marinhas já descritas ocupam esses ambientes em algum estágio de vida (Araújo e Feitosa, 2003). Os ambientes recifais são particularmente relevantes para ictiofauna pela variedade de habitats e micro-habitats fornecidos através de sua estrutura, os quais oferecem áreas de proteção, zonas de refúgio, reprodução e alimentação para os peixes (Richardson et al., 2017). Sendo assim, a alta diversidade de peixes nesses ecossistemas expressa uma variedade de hábitos alimentares, comportamentos e interações ecológicas (Araújo e Feitosa, 2003).

Quando se fala da importância das características do ambiente como filtro selecionador das espécies a cobertura bentônica, a estrutura física e as variáveis ambientais desses locais são fundamentais, pois esses fatores influenciam diretamente na estruturação da comunidade ictiofaunística em recifes (Pereira-Filho et al., 2011). Esses aspectos exercem uma pressão seletiva nos peixes, onde é possível identificar mudanças nas características funcionais da comunidade de peixes em função desses parâmetros (Longo et al., 2015). Alterações na composição bentônica, como a redução da cobertura de corais e o aumento de algas, podem provocar alterações na estrutura trófica da comunidade de peixes. A redução da rugosidade em recifes pode também diminuir a faixa de tamanho de peixes, visto que variados tipos de habitats criados pela irregularidade topográfica do recife são utilizados como proteção pela ictiofauna

(Longo et al., 2015). Já ambientes recifais rasos e complexos podem hospedar grandes abundâncias e alta diversidade de peixes (Dustan et al., 2013), enquanto locais mais profundos geralmente possuem uma alta biomassa demonstrando a influência da profundidade no estabelecimento das assembleias de peixes (Luiz et al., 2015). Parravicini et al. (2013) destacou a temperatura como um importante preditor na riqueza de peixes recifais, ressaltando a necessidade de estudos mais aprofundados sobre variáveis abióticas na compreensão do estabelecimento da assembleia de peixes.

Características das espécies ou traços funcionais são todo e qualquer atributo morfológico, fisiológico ou comportamental que esteja relacionado com o desempenho dos organismos ou das funções ecológicas realizadas pelas espécies no ambiente (Bellwood et al., 2019). Apesar de alta variabilidade de características de peixes em ambientes recifais, entre as mais utilizadas e mais ecologicamente representativas pode-se destacar: grupo trófico, tamanho máximo do corpo, hábitat preferencial e formação de cardume (Mouillot et al., 2014). Tais características tem revelado informações úteis sobre a distribuição de espécies de peixes, nicho ocupado, interações e mudanças na composição ocorridas por modificações nas características do ambiente (Brandl et al., 2019).

. Sabe-se que as características do ambiente recifal como um todo foi marcada por histórias evolutivas bem diferentes. Nos Oceano Índico e Pacífico as mais diversas linhagens de espécies tiveram condições de se dispersar e expandir, devido à facilidade da conectividade entre ambientes. Já no Atlântico e Caribe, a geografia restrita permitiu o isolamento e a extinção de diversas espécies marinhas, gerando uma diversificação limitada. Essas dinâmicas biogeográficas distintas explicam por que a composição e diversidade em recifes é menor nas regiões recifais do atlântico e por que as espécies de peixes são menos diversas e endêmicas (Siqueira et al., 2019).

A costa do Brasil possui vários tipos de formações recifais de origem biogênica e abiogênica. Ao longo de todo esse litoral, os recifes estão distribuídos em diferentes morfotipos (terraços cimentados, recifes em franja, recifes em patch, banco de recife e recifes em pináculos) (Leão et al., 2016). Em sua maioria, se encontram paralelos a costa e são interceptados por grandes corpos de água doce ou bacias hidrográficas (Kikuchi et al., 2010).

Apesar dos estudos que identificaram a importância das variáveis estruturais e da composição do substrato na estruturação da ictiofauna, pouco se sabe sobre influência que elas

exercem sobre os grupos funcionais que compõem a ictiofauna do recife, sobretudo aqui no estado de Pernambuco.

Para confirmar a hipótese de que mudanças nas características estruturais e ambientais dos recifes alteram os traços funcionais da comunidade ictiofaunística, esse trabalho teve como objetivo avaliar como a complexidade estrutural do recife e as variáveis abióticas determinam a composição de traços de história de vida das espécies de peixes.

Material e Métodos

Área de estudo

Foram estudadas três áreas de recifes distintas no litoral do Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil: Porto de Galinhas, Praia do Paiva e Caieiras (Fig.1). Essas áreas são caracterizadas por recifes costeiros areníticos do tipo franja, onde na maré baixa formam-se ambientes de águas rasas e regiões muitas vezes expostas a superfície (Gonçalves et al., 2018).

As três regiões analisadas possuem características distintas. Os recifes de coral de Porto de Galinhas (08° 59' 00" S; 34° 59' 00" W) são uma das principais atrações turísticas do Brasil, com intensa visitação ao topo recifal e piscinas naturais durante todo o ano. O recife de Caieiras (8° 44' 47" S; 35° 05' 04" W) é uma região caracterizada por possuir recifes rasos sob a influência estuário do Rio Formoso e dentre os recifes analisados é o que está mais distante da costa. Além disso, a região recifal de Caieiras encontra-se na Área de Proteção Ambiental - APA Costa do Corais (Pereira et al., 2014). Já os recifes da praia do Paiva (08° 07' 30" S e 35° 00' 55" W) estão localizados bem próximo da costa e, devido a isso, possuem uma maior influência da sedimentação costeira (Leão et al., 2018).

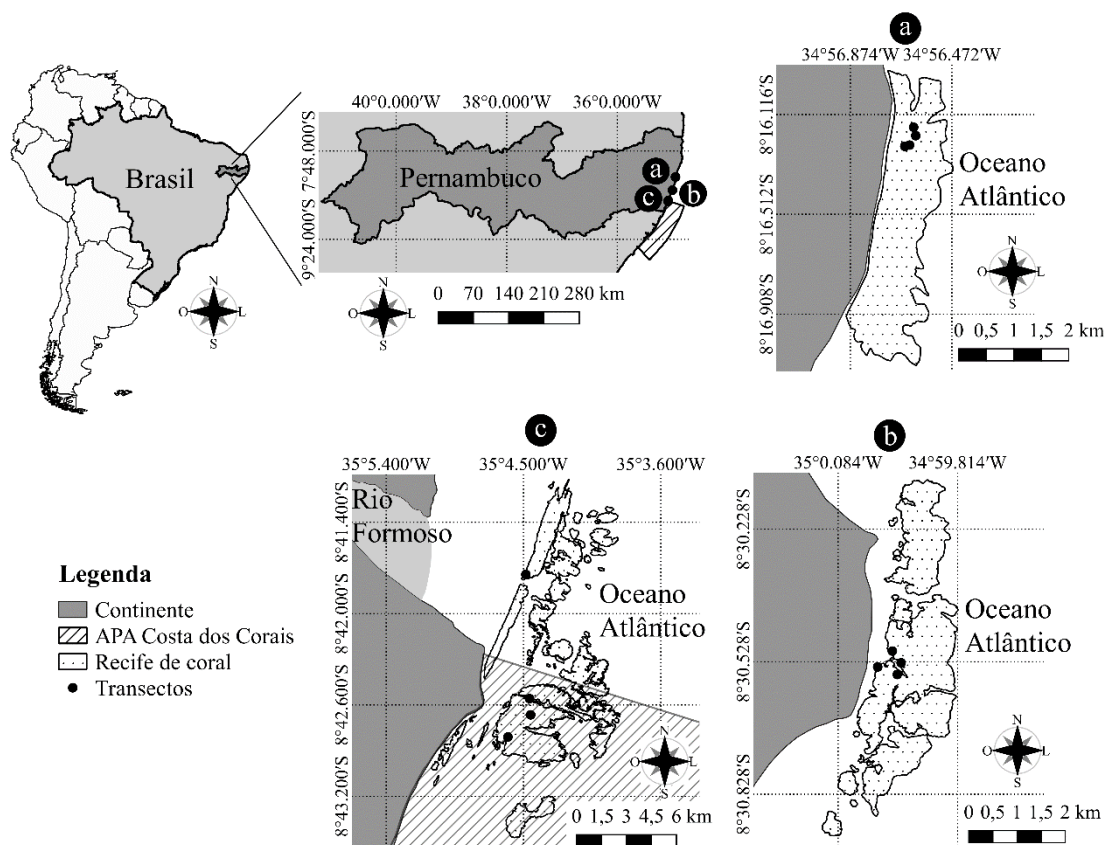


Figura 1. Mapa do estado de Pernambuco e regiões amostradas no estudo (a) Praia do Paiva, (b) Praia de Porto de Galinhas e (c) Recife de Caieiras. As regiões pontilhadas paralelas a costa representam as áreas de recifes, onde um dos locais amostrados (c) se encontra em uma Área de Proteção Ambiental- APA. Os pontos em (●) mostram a localização referenciada de cada transecto.

Caracterização da ictiofauna

Para a amostragem da ictiofauna recifal, foi aplicada a técnica de censo visual subaquático através de mergulho livre, percorrendo transectos de 20x2 m seguindo o protocolo desenvolvido e adaptado por Hodgson e Stepath (1998). As amostragens foram realizadas nos meses de março e julho de 2018, que corresponderam as estações seca e chuvosa. Foram realizados 4 transectos em cada praia amostrada (Praia do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras) dispostos aleatoriamente, sempre nas marés baixas de maiores amplitudes como as de lua cheia e nova, em período diurno ou vespertino, com o apoio de um segundo mergulhador. Os peixes foram devidamente identificados segundo literatura especializada (Mouillout, 2014, Froese e Pauly, 2020).

Variáveis ambientais

As variáveis ambientais foram coletadas nos meses de março e julho de 2018, referentes a estação seca e chuvosa, respectivamente. As variáveis foram divididas em características física, químicas e composição do substrato.

A rugosidade, profundidade e altura do substrato foram os dados físicos mensurados. Para avaliar a rugosidade foi utilizado o método Chain link (Luckhurst e Luckhurst, 1978), que consiste na razão entre a medida de uma corrente de um metro de comprimento estendida horizontalmente e sua medida contornando o substrato. Para altura do substrato foram realizadas medidas verticais do assoalho marinho ao topo do recife. Já a profundidade foi aferida a partir da medida vertical do topo do recife até a superfície da água. Todas as medidas físicas foram aferidas antes do início do censo visual de cada transecto.

Ao fim da coleta de dados de cada área, as variáveis químicas (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais dissolvidos) foram aferidas através do multiparâmetro.

. Para caracterização do substrato, vinte molduras fotográficas foram capturadas com o auxílio de uma câmera subaquática a cada 1m em cada transecto amostrado. Em cada moldura, foram distribuídos 30 pontos aleatoriamente, e os tipos de substrato de cada ponto foram identificados através do programa Coral Point Count with Excel Extensions (CPCe), seguindo a metodologia proposta por (Kohler e Gill, 2006). Ao todo, cada transecto teve 600 pontos analisados. A cobertura bentônica foi classificada em: Macroalgas, coral, esponja, alga turf, zooantídeo e sedimento arenoso, além de suas proporções determinadas (Rogers et al., 2001). A tabela 1 indica as variáveis ambientais e abreviações utilizadas nas análises.

Tabela 1 Variáveis ambientais físicas/químicas e composição do substrato com suas categorias e abreviações utilizadas em análises.

Variáveis ambientais	Categoria	Abreviação
Variáveis químicas	Temperatura	temperatura
	Oxigênio dissolvido	od
	Salinidade	salinidade
	Sólidos totais dissolvidos (TDS)	tds
	pH	ph
Variáveis físicas	Rugosidade	rugosidade
	Profundidade	profundidade
	Altura	altura
Composição do substrato	Macroalgas	macroalgas
	Algas turf	turf
	Coral	coral
	Esponjas	esponjas
	Zooantídeos	zooantídeos

Traços de história de vida

Foram estabelecidos quatro atributos funcionais para classificação das espécies: Categoria trófica, tamanho máximo do corpo, hábitat preferencial, formação de cardume (Tabela 2). A combinação desses atributos reflete como os peixes exploram os recursos e desempenham a maioria de suas funções ecológicas no ambiente (Mouillot et al., 2014, Winemiller et al. 2015; Villéger et al. 2017). No total, foram geradas informações sobre 138 características funcionais (ver apêndice 1).

A categoria trófica e o hábitat preferencial caracterizam a dieta e o nicho ocupado pela ictiofauna recifal, refletindo o impacto da ictiofauna no funcionamento do ecossistema e interações com outros componentes da teia alimentar, sobretudo no substrato (D'agata et al., 2016). O tamanho máximo do corpo determina as necessidades energéticas de cada espécie (Eggertsen et al., 2019). Já o comportamento de cardume facilita o acesso a recursos onde a predação é um fator limitante e possibilita a exploração de áreas onde espécies territorialistas são dominantes (Pereira et al., 2011).

A categoria trófica foi caracterizada através da literatura de acordo com o principal item consumido por cada espécie. Foram utilizadas sete categorizações: Herbívoro, herbívoro territorialista, carnívoro, comedores de invertebrados móveis, comedores de invertebrados sésseis, onívoro, planctívoro (Longo e Floeter, 2012; Randall, 2004, Froese e Pauly, 2020). O Tamanho máximo do corpo foi ordenado em 4 categorias: Pequeno (0 - 10cm), médio-pequeno (10 – 25cm), médio (25 – 50cm), grande (>50 cm) (Halpern e Floeter, 2008).

Tabela 2 Características funcionais, categorias e abreviações utilizadas nas análises das espécies de peixes.

Características Funcionais	Categoria	Abreviações
Grupo Trófico	Carnívoro	carnívoro
	Comedores de invertebrados móveis	Com. invertebrados moveis
	Comedores de invertebrados sésseis	Com. invertebrados sesseis
	Onívoros	onívoro
	Piscívoros	piscívoro
	Herbívoros territoriais	herb. territorialista
	Herbívoros	herbívoro
	Planctívoro	planctívoro
	Pequeno	pequeno

Tamanho máximo do corpo	Médio-Pequeno	médio pequeno
	Médio	médio
	Grande	grande
Hábitat preferencial	Coluna d'água	coluna d'água
	Fundo arenoso	fundo arenoso
	Recife rochoso	recife rochoso
	Fundo arenoso / recife rochoso	fundo arenoso_rochoso
	Espécies que formam cardume	cardume.sim
Formação de cardume	Espécies que não formam cardume	cardume.nao

Análise de dados

Para avaliar as diferenças de composição de traços de história de vida entre transectos e entre praias, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCoA) utilizando uma matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis.

Foi utilizada uma combinação de uma análise RLQ com uma análise de Fourth-Corner (Dolédec, et al., 1996; Dray et al., 2014), com o objetivo de avaliar as diferenças na composição de características funcionais de assembleias de peixes e suas possíveis relações com as variáveis ambientais. Essas duas análises são frequentemente usadas em conjunto porque enquanto a RLQ fornece os escores da estrutura conjunta de três matrizes, resultando em uma ordenação, a Fourth-Corner é um método que testa as relações individuais entre as características funcionais e as variáveis ambientais por meio de permutações (Dray et al., 2014) e que permite obter valores estatísticos.

A análise RLQ é derivada da análise de Co-Inércia (*Co-Inertia Analysis* – CoIA; Dolédec & Chessel, 1994), que permite unir duas ou mais tabelas de dados. A RLQ é uma técnica multivariada baseada na ordenação de três matrizes independentes (R, L e Q), resultando em escores para amostras, espécies, traços e variáveis ambientais ao longo de eixos ortogonais. Nesse estudo essas matrizes foram: R (n x m) contendo dados de m variáveis ambientais para cada um dos transectos, matriz L (n x p) com dados de abundância de p espécies por n transectos e uma matriz Q (p x q) contendo q traços funcionais para p espécies. A matriz L, contendo a abundância das espécies, foi transformada por raiz quadrada e em seguida submetida a uma análise de correspondência (CA). A matriz R, contendo os descritores ambientais, foi transformada e submetida a uma análise de Hill-Smith (Hill & Smith, 1976) por possuir tanto variáveis contínuas quanto categóricas. Finalmente, a matriz Q, contendo os traços funcionais, foi analisada através de uma Análise de Correspondência Múltipla (MCA). O

resultado final da RLQ é uma combinação linear de variáveis ambientais (matriz R) e traços (matriz Q) que maximiza a covariância entre esses grupos de variáveis, mediado pela abundância de espécies (matriz L).

Com objetivo de controlar a heterogeneidade ambientais dos diferentes bancos de recifes, foi utilizada uma RLQ parcial (Wesuls et al., 2012) Essa análise tem como objetivo a partição da heterogeneidade ambiental da análise RLQ, controlando o efeito de covariáveis. Para a RLQ parcial é acrescentada uma matriz W contendo dados de covariáveis nas colunas, com as localidades nas linhas (Fig. 2). Assumimos como covariável (W), nesse estudo, a praia amostrada. A RLQ parcial foi realizada em duas etapas. Primeiro, foram calculadas duas regressões multivariadas utilizando a Matriz W como matriz explanatória e as matrizes R e L como matrizes respostas. Os resíduos dos modelos são apresentados nas matrizes Rr e Lr, respectivamente. Essas matrizes residuais representam as variáveis ambientais e as abundâncias das espécies independente de efeitos de heterogeneidade dos recifes (Wesuls et al., 2012). Em seguida foi realizada uma RLQ modificada utilizando a matriz Q original e as matrizes Rr e Lr. Foram interpretadas somente as variáveis com correlações maiores do que 0,5 com o primeiro ou segundo eixo da parcial RLQ.

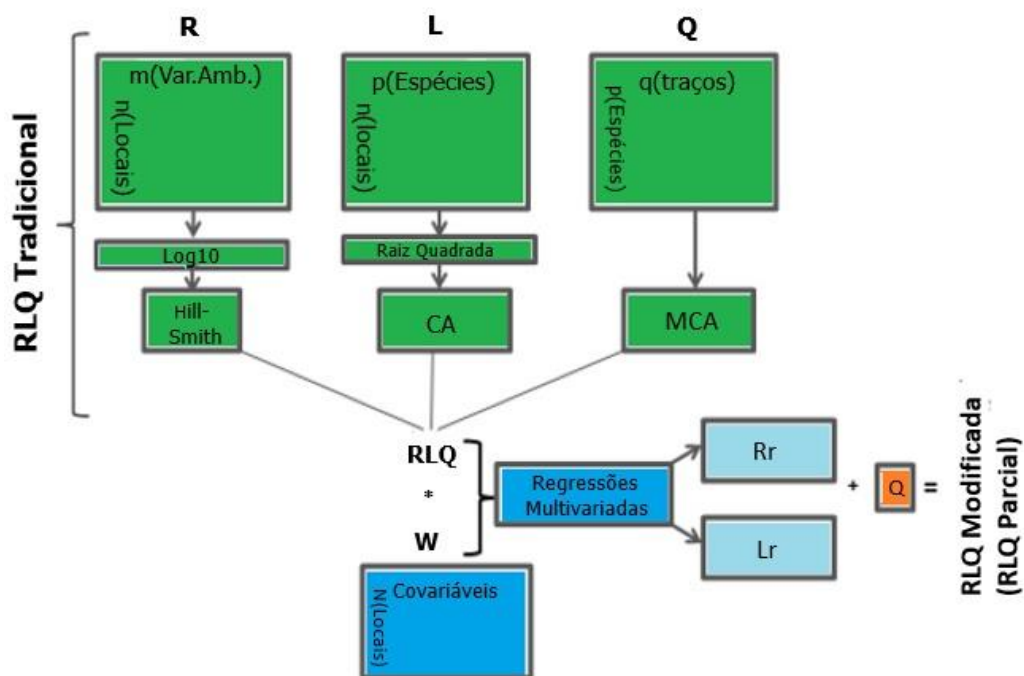


Figura 2. Desenho esquemático da análise RLQ. A matriz R contendo os dados ambientais é analisada através de uma análise de Hill-Smith. A matriz de abundância das espécies (L) é analisada por uma CA para sumarizar suas principais estruturas. A matriz Q contendo traços de história de vida é analisada através de uma Análise de Correspondência Múltipla (MAC). As matrizes R e Q são ponderadas pelos pesos dos locais (n) e das

espécies (s), derivados da CA. Uma análise de co-inércia é realizada de forma que os escores das variáveis ambientais e traços, ponderados pela abundância de espécies, tenham máxima covariância cruzada. Em seguida é calculada a RLQ parcial, onde é adicionada uma matriz W com covariáveis. São calculadas duas regressões multivariadas utilizando a Matriz W e os resíduos dos modelos são apresentados nas matrizes Rr e Lr. Em seguida é realizada uma RLQ modificada utilizando a matriz Q original. Fonte: Santos, 2016 adaptada

Para testar a significância global das relações ambiente-traços-espécies foi utilizada a análise Fourth-corner. Essa análise tem como objetivo encontrar relações entre as três matrizes R, L e Q utilizando diferentes modelos de permutações de células, linhas e/ou colunas das matrizes, para testar a relação entre os traços das espécies e as variáveis ambientais. A significância global das relações foi avaliada utilizando o modelo de permutação 6. Esse modelo leva em consideração os modelos 02 e 04, realizando dois testes de permutações separados e simultâneos, utilizando os modelos 2 e 4 para extrair o maior valor de p para cada combinação de variáveis produzidos pelos dois testes (Dray et al., 2014; Dray & Legendre, 2008; ver Hipótese alternativa do modelo 6 em Dray et al., 2014). Para reduzir a amplitude dos valores e minimizar efeitos de escala, todas as variáveis ambientais foram transformadas utilizando logaritmo natural. Essa transformação também foi utilizada para linearizar as variáveis, fato que melhora a performance da análise estatística utilizada. Todas as análises foram realizadas no software R (R Development Core Team, 2020) utilizando o pacote “ade4” (Dray & Dufour, 2007).

Resultados

História de vida da ictiofauna

Foi registrado um total de 1018 indivíduos, pertencentes a 14 famílias e 30 espécies categorizadas em 111 traços de história de vida (ver apêndice 1). As famílias mais representativas foram Haemulidae (oito espécies), seguidas de Acanthuridae, Labridae e Pomacentridae com três espécies cada. Quatro espécies (*Stegastes fuscus*, *Abudefduf saxatilis*, *Halichoeres poeyi* e *Sparisoma axillare*) representaram 56,67% abundância total encontrada.

Quanto aos traços de história de vida, comedores de invertebrados móveis foi a categoria trófica com a maior abundância (34,87%), seguida por herbívoros territorialistas (25,84%), herbívoros (17,29%), onívoros (13,35%), planctívoros (3,84%), carnívoros (3,74%) e comedores de invertebrados sésseis (1%). Além disso, o grupo trófico planctívoro esteve presente apenas nos recifes da Praia do Paiva, representada pela espécie *Pempheris schomburgkii*, e nenhuma espécie do grupo trófico piscívoro foi encontrada.

A classe de tamanho máximo do corpo mais abundantemente encontrada no trabalho foi a médio-pequeno (70,50%), seguidas pelas classes de tamanho médio (20,64%), grande (7,96%) e pequeno (0,88%). Dessa maneira, os resultados indicam que a assembleia de peixe está em sua maioria (91,14%) distribuídas em duas classes de tamanho intermediário.

O hábitat preferencial mais representativo foi o recife rochoso e fundo arenoso/rochoso, onde juntos totalizaram 99,89% da abundância total das espécies observadas. Houve uma maior preferência dos peixes por ambientes consolidados e quanto ao comportamento, a maioria das espécies (80,25%) se agrupam em cardumes nos recifes estudados.

Tabela 3 Abundância de indivíduos por traços de história de vida nas praias amostradas.

Traços funcionais	Paiva	Porto	Caieiras
Grupo Trófico			
Herbívoro	30	84	66
Herbívoro territorialista	70	111	88
Comedores de invertebrados móveis	133	90	140
Comedores de invertebrados sésseis	4	4	3
Carnívoro	16	10	13
Piscívoro	0	0	0
Onívoro	68	44	27
Plactívoro	40	0	0
Tamanho máx. do corpo			
Pequeno	0	8	1
Médio-pequeno	248	207	262
Médio	48	86	76
Grande	65	3	13
Hábitat Preferencial			
Recife rochoso	286	260	318
Fundo arenoso/rochoso	75	43	35
Fundo arenoso	0	1	0
Coluna d'água	0	0	0
Formação de Cardume			
Formação de cardume sim	310	236	218
Formação de cardume não	24	58	106

Composição de substrato

Os recifes foram caracterizados pelo domínio de macroalgas e algas turf e uma menor quantidade de corais e zooantídeos. Os recifes de Caieiras e Paiva tiveram uma grande cobertura arenosa e grande abundância de ouriço. Já os recifes de Porto de Galinhas apresentaram a menor

diversidade de organismos em termos de composição de substrato em relação aos outros recifes analisados, exceto para alga turf, zooantídeo e coral. (Tabela 4).

Tabela 4 Porcentagens da composição do substrato de recifes amostrados.

	Caieiras	Paiva	Porto
Macroalgas	36,59	3,66	2,26
Coral	0,34	0,09	0,65
Espojas	0,25	0,18	0,10
Zooantídeo	0,05	0,37	0,87
Alga turf	1,74	1,74	5,74
Ouriço	1,69	2,96	0,37
Coral Morto	0,18	0	0,06
Sed.Arenoso	3,67	3,45	2,42

Os valores de média e desvio padrão da temperatura, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais dissolvidos, salinidade e complexidade estrutural obtidos durante o período de amostragem pode sem observados na Tabela 5. Em termos de variáveis ambientais (temperatura, OD, pH, tds e salinidade) as praias não apresentaram diferenças expressivas entre elas. No entanto, quando se trata de medidas de estrutura física do recife a praia de Porto de Galinhas possui uma rugosidade bem inferior quando comparada a outras praias e o recife de Caieiras uma profundidade bem superior aos outros.

Tabela 5 Valores de média e desvio padrão das variáveis ambientais e estrutura física dos recifes analisados.

	Caieiras	Paiva	Porto
Temperatura (°C)	28.55 ±0.66	26.97 ±1.99	28.02 ±1.27
OD	1.97 ±0.29	2.53 ±0.10	3.84 ± 1.80
pH	8.67 ±0.21	8.43 ±0.45	8.25 ±0.06
TDS	26.55 ±0.26	27.17 ±0.30	27.13 ±0.25
Salinidade	35.52 ±0	35.89 ±0.38	35.80 ±0.41
Altura (m)	0.72 ±0.26	0.49 ±0.18	0.77 ±0.22
Profundidade (m)	3.48 ±0.15	0.42 ±0.14	0.55 ±0.28
Rugosidade (m)	25 ±9.27	22 ±6.07	6.87 ±3.64

A análise de componentes principais (PCoA) a partir da abundância dos traços funcionais indicou que a composição de traços de história de vida variou amplamente, mesmo dentro de uma mesma praia (Figura 3). A praia do Paiva foi aquela com maior variação de composição de traços de história de vida entre transectos, enquanto que os transectos da Caieiras foram mais semelhantes entre si (Figura 3B). Com relação ao hábito alimentar,

espécies herbívoras (herb), espécies herbívoras territorialistas (herb_terr) e comedores de invertebrados móveis (CIM) foram os traços funcionais que mais determinaram a ordenação. Para o segundo eixo da PCoA, espécies onívoras (onv) e formadores de cardumes (card_s) foram os traços mais importantes.

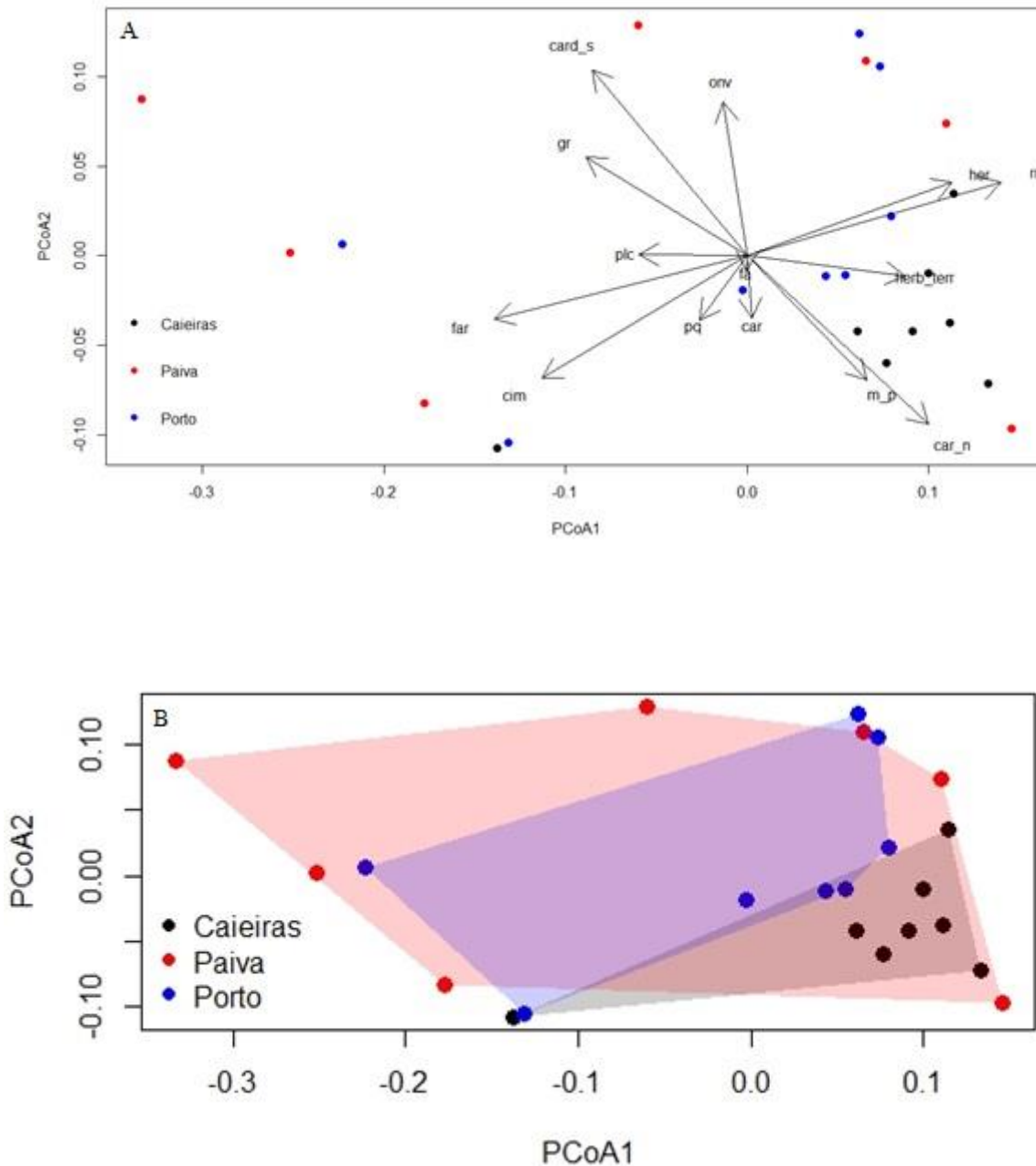
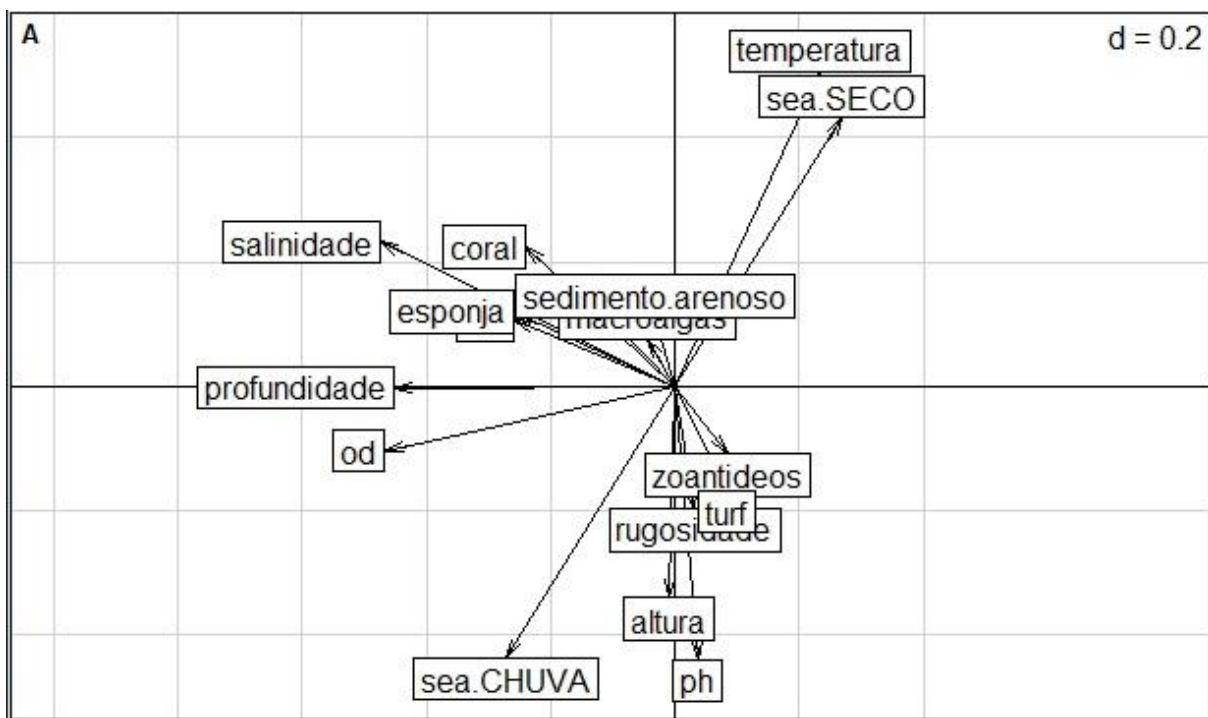


Figura 3 Análise de PCoA , utilizando os dados de abundância de traços funcionais de cada transecto amostrado. Na figura A, as setas representam os *loadings* da análise e indicam as relações entre os traços de história de vida e os dois primeiros eixos da ordenação. A figura B indica o espaço funcional ocupado por cada praia analisada e a sobreposição de composição funcional entre elas.

Com relação a análise RLQ, os dois primeiros eixos contabilizaram 79,5 % da variação total (Tabela 6). A partir dos scores dos eixos da tabela 6 é possível observar as variáveis ambientais e traços de história de vida que mais contribuíram para a correlação. Negativamente, no primeiro eixo, a abundância de espécies herbívoras e com hábitos de vida em recifes rochosos esteve correlacionada com o oxigênio dissolvido (od), a salinidade e com a profundidade. Para o segundo eixo, e espécies carnívoras e de tamanho do corpo grande estiveram correlacionadas com pH (Figura. 4 A e B). A relação entre as variáveis ambientais e os traços de história de vida está sumarizada na Tabela 6.



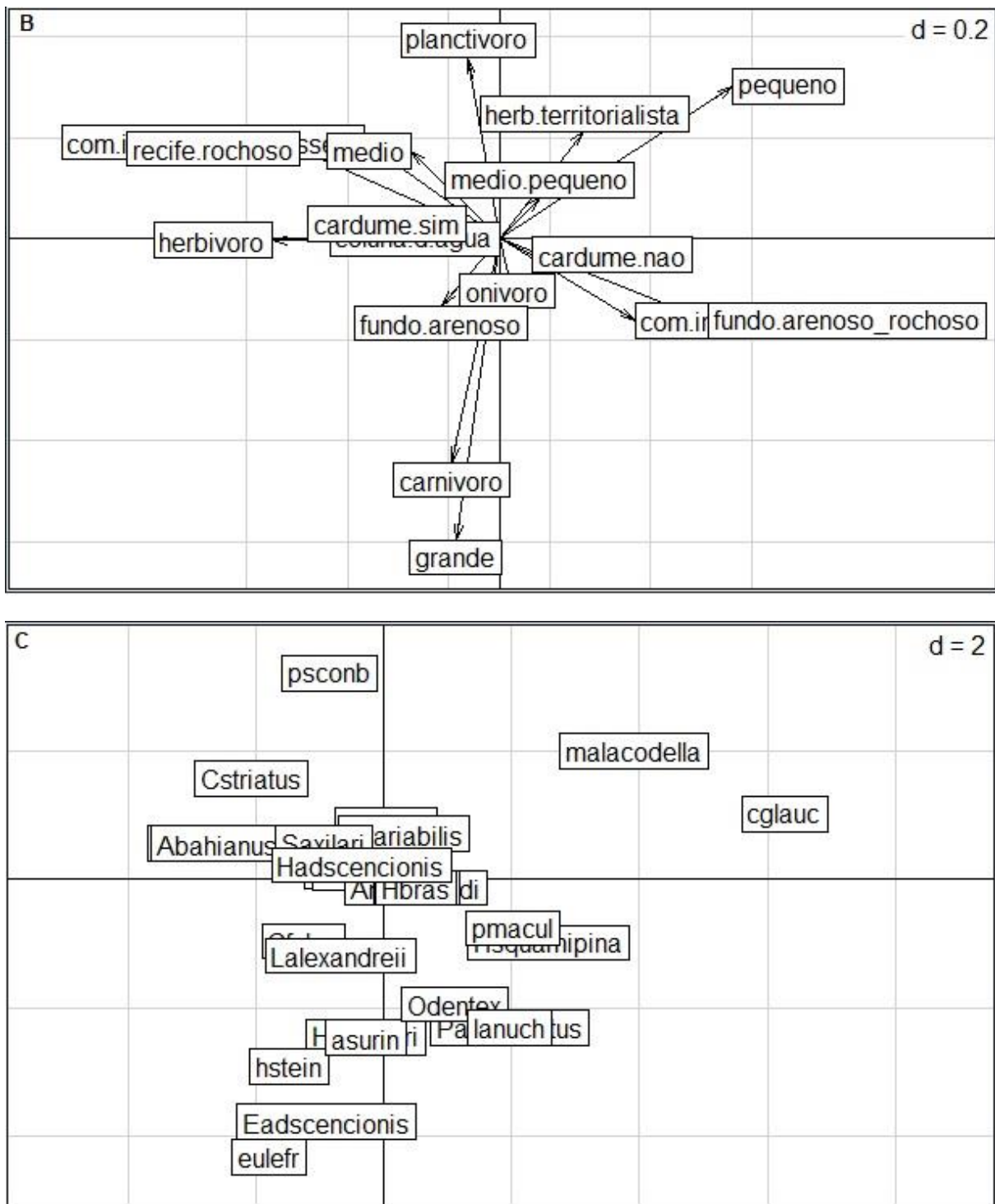


Figura 4. A) Ordenação variáveis ambientais da **RLQ parcial** realizada sobre os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. B) Ordenação dos traços da parcial **RLQ** realizada sobre os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. C) Ordenação das espécies da parcial **RLQ** realizada sobre os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. Tabela 6 para os valores de correlação das variáveis ambientais e traços de história de vida com os eixos 1 e 2 do RLQ

Tabela 6. Resumo dos scores das variáveis ambientais (A) e traços de história de vida (B) associadas de forma positiva e negativa (em negrito) na RLQ parcial para os ambientes recifais analisados. Foram interpretadas as variáveis com correlações acima de 0,5 (valores em negrito).

	Eixo 01	Eixo 02
A) Variáveis Ambientais		
Temperatura	0.452947169	0.86622816
OD	-0.675760603	-0.31649581
TDS	-0.469932278	0.04467828
Salinidade	-0.615917942	0.20130298
Altura	0.06035579	-0.43876435
Profundidade	-0.714932811	-0.09674532
Rugosidade	-0.093557967	-0.25214567
Macroalgas	-0.004158951	0.0473389
Coral	-0.179475235	0.25826761
Esponjas	-0.216281629	0.23575562
Zooantideos	0.047078669	-0.11214516
Turf	0.074365387	-0.23052065
Sedimento arenoso	0.004246512	0.138989
pH	-0.11470333	-0.6879024
B) Traços de história de vida		
Carnívoro	-0.01863662	-0.63535406
Comedores de invertebrados móveis	0.55646313	-0.32954453
Comedores de invertebrados sesséis	-0.22788938	0.20947051
Onívoro	-0.07871073	0.04481449
Piscívoro	0	0
Planctívoro	-0.07372452	0.33919675
Herbívoro	-0.52045985	0.13660302
Herbívoro territorialista	0.0481467	0.37853285
Pequeno	0.56858591	0.11192973
Médio pequeno	0.23716423	0.28140832
Médio	-0.36435692	0.08454997
Grande	-0.10669955	-0.71271584
Coluna d'água	0	0
Fundo arenoso	-0.05069691	-0.12145928
Recife rochoso	-0.72497173	0.31594329
Fundo arenoso/rochoso	0.73810773	-0.30057709
Cardume.sim	-0.34233851	0.23588653
Cardume.nao	0.34233851	-0.23588653

Com relação aos resultados da Fourth-Corner cinco variáveis ambientais estiveram correlacionadas com traços de história de vida, sendo duas variáveis abióticas (temperatura,

oxigênio dissolvido (od) e três variáveis estruturais (profundidade, rugosidade e coral) (Figura 5). A temperatura apresentou relação significativa negativa com traços funcionais carnívoro e tamanho máximo do corpo grande. O traço funcional trófico herbívoro mostrou ser positivamente relacionado com oxigênio dissolvido e profundidade. No que diz respeito ao tamanho do corpo, peixes de médio porte foram positivamente relacionados ao oxigênio dissolvido. Já peixes de tamanho corporal grande foram negativamente relacionados com temperatura e coral, e positivamente relacionados com a rugosidade. Por fim, no que diz respeito ao habitat preferencial, peixes que habitam preferencialmente recifes rochosos estão positivamente relacionados com coral, enquanto que os que habitam fundo arenoso/rochoso estão negativamente correlacionados com corais (Figura 5; Tabela 7).

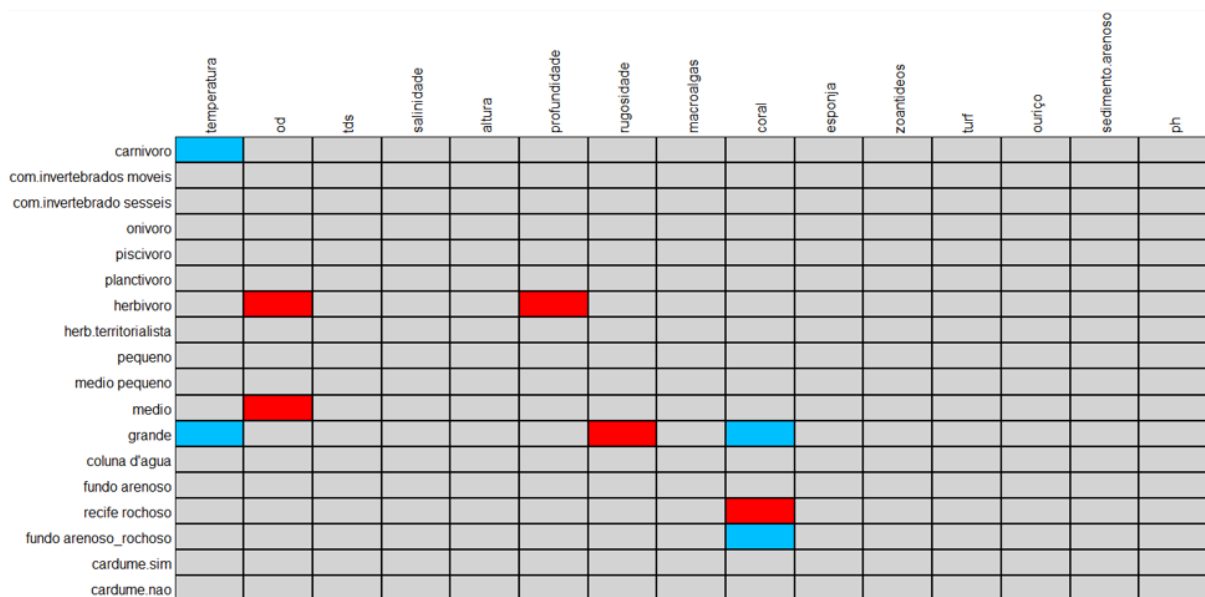


Figura 5. Relações de pares entre traços de história de vida de espécies de peixes e características do substrato e variáveis físicas e químicas estabelecidas através da análise Fourth-Corner para os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. As células vermelhas indicam relações significativas positivas, células azuis relações significativas negativas e células cinzas relações aleatórias. Valores de p ver Tabela 4. Nomes de características funcionais explicadas na Tabela 1 e 2.

Tabela 7. Valores de p das relações entre pares entre traços de história de vida de espécies de peixes e características do substrato e variáveis físicas e químicas estabelecidas através da análise Fourth-Corner para os ambientes recifais das praias do Paiva, Porto de Galinhas e Caieiras. São apresentados apenas os valores das relações significativas.

Relações entre pares	p-value
----------------------	---------

Temperatura x Carnívoro	0.042
Temperatura x Tamanho máximo grande	0.017
Oxigênio dissolvido x herbívoro	0.040
Oxigênio dissolvido x Tamanho máximo médio	0.021
Profundidade x Herbívoro	0.026
Rugosidade x Tamanho máximo grande	0.048
Coral x Tamanho máximo grande	0.027
Coral x hábito recifes rochosos	0.034
Coral x hábito fundo arenoso/rochoso	0.045

Discussão

Os nossos resultados fornecem evidências de que as variáveis ambientais (temperatura e oxigênio dissolvido) e medidas de estrutura físicas do recife (profundidade e rugosidade) influenciam na composição de traços funcionais na comunidade de peixes dos ambientes recifais analisados. Nossos resultados demonstram que os ambientes consolidados são de fundamental importância para traços funcionais tróficos, onde recifes rochosos se relacionam com espécies herbívoras, e fundos mais arenosos e menos complexos se relacionam com comedores de invertebrados móveis. Variáveis ambientais como oxigênio dissolvido e salinidade apresentam relações significativas com a presença de espécies herbívoras no ambiente. Esses resultados não reforçam a ideia de outros trabalhos, onde é relatado que a presença de espécies herbívoras recifais está relacionada com a oferta de alimento e disponibilidade de habitats. No entanto, os recifes analisados nesse presente estudo estão localizados em zonas entremarés, as quais sofrem bruscas mudanças de salinidade e oxigênio dissolvido (Nelson et al., 2016), onde indiretamente propicia um ambiente favorável ao desenvolvimento de algas verdes e pardas, fonte de recurso alimentar para esse grupo trófico (Carpenter, 2002).

A maioria das espécies encontradas possuem um tamanho máximo do corpo relativamente intermediário, não ultrapassando 25cm de comprimento e se agrupam em cardumes. Esse padrão de composição de traços funcionais encontrado se assemelha com o estudo de Alvarez-Filip et al., (2011), o qual menciona que em recifes complexos suportam

espécies com tamanho de corpo relativamente menores e favorece o crescimento de espécies jovens. Isso demonstra a dependência do recife para as classes de tamanho de peixes e a importância desses ambientes para garantir a presença de indivíduos em estágios iniciais de vida e peixes pequenos, que por sua vez, são predados por peixes maiores, menos dependentes do ambiente recifal (Jetz et al., 2004).

Por estarem localizados muito próximos da linha da costa e terem influência de estuários, os recifes estudados estão submetidos a altos níveis de sedimentação (Leão et al., 2003). Por se tratarem de recifes costeiros, as medidas de variáveis ambientais encontradas diferem de outros recifes tropicais, como por exemplo, os recifes do indo-pacífico, os quais não tem uma ação costeira efetiva no ambiente recifal (Feitosa e Longo, 2018). Esses fatores contribuem para uma comunidade bentônica dominada por algas em nossos recifes costeiros e por esta razão os peixes herbívoros tiveram uma relação significativa com os recifes rochosos (Santos et al., 2015). A grande oferta de alimento desses ambientes rochosos pode explicar o padrão encontrado no presente estudo, sendo o forrageamento de espécies herbívoras de grande importância na mediação da competição por substrato entre corais e algas (Randazzo et al., 2019; Sura et al., 2019)). Além disso, os herbívoros são elos fundamentais uma vez que conectam a produtividade primária do ambiente recifal a outros níveis da cadeia trófica (Siqueira et al., 2019).

A análise de Fourth-Corner também evidenciou uma relação significativa entre a profundidade dos recifes e a presença de espécies herbívoras. A profundidade na qual são encontrados esses recifes costeiros podem estar contribuindo para essa relação da variável estrutural do recife com a distribuição destas espécies, que frequentemente são encontradas em seu ambiente natural em baixas profundidades, baixa exposição a ação de ondas e alta incidência de luz (Pereira et al., 2018).

A rugosidade em recifes fornece habitats estruturalmente complexos, o que no caso de peixes recifais, permite a coexistência de espécies de peixes através da partição de nichos, além de promover zonas de proteção contra predação (Asner et al., 2021). Alguns estudos encontraram que o aumento da rugosidade se relaciona positivamente com uma maior riqueza e abundância de espécies bentônicas (Luckhurst e Luckhurst, 1978; Chabanet et al., 1997; Roberts e Ormonds, 1987; Ferreira et al., 2001; Graham e Nash, 2013). O fato de a praia de Porto de Galinhas ter apresentado as menores medidas de rugosidade pode estar relacionado a baixa presença de espécies bentônicas, quando comparada às outras áreas analisadas no estudo (Caieiras e Paiva). Também é preciso destacar que Porto Galinhas é a praia com maior atividade

turística entre as estudadas, e que a grande frequência de pisoteio e a ancoragem de barcos podem comprometer a integridade da comunidade bentônica e na fauna associada a esses ambientes (Paula et al., 2018; Williamson et al., 2017). Ainda sobre a relação da baixa rugosidade e pouca composição bentônica encontrada em Porto de Galinhas, é comum a dominância de herbívoros territorialistas (Ceccarelli et al.; 2001), onde nesse caso, a espécie mais dominante foi *Stegastes fuscus*, a qual possui o comportamento agressivo de defesa de território em zonas de macroalgas. Em topos e cristas recifais essa estratégia comportamental é fundamental para garantia do recurso alimentar da espécie (Cabaitan et al., 2018).

Quanto a classe de tamanho, a literatura mostra que recifes de alta complexidade estrutural e alta cobertura tendem a favorecer espécies de peixes de pequeno porte (Trebilco et al., 2015). Peixes de pequeno porte precisam evitar o risco de predação e os recifes são eficientes em promover áreas de proteção e refúgio contra espécies maiores (Goatley e Bellwood, 2016). Além disso, por apresentarem baixa demanda energética e terem uma alta taxa de reprodução, conseguem atingir grandes abundâncias no ambiente (Barneche et al., 2019). Dessa maneira, justifica-se a relação que foi encontrada nos resultados para uma maior quantidade de espécies recifais apresentando tamanho do corpo médio próximos a recifes rochosos.

Também foi possível identificar que as espécies encontradas tem preferência em se agrupar em cardumes. Em nossas observações visuais as espécies da família Haemulidae foram as que mais se destacaram apresentando esse tipo de comportamento. As espécies de *Haemulon aurolineatum* e *Haemulon squamipinna* foram os mais observados desenvolvendo esse tipo de comportamento, onde esses peixes são facilmente encontrados em recifes rasos como os analisados no estudo (Freitas, 2009). Normalmente, a formação de cardume é importante para obter recurso defendidos por herbívoros territorialistas, diminuir o tempo de busca por alimento e maior proteção (Pereira et al., 2011).

Ainda assim, a composição de espécies de peixes e características funcionais encontradas no estudo se assemelham com outros recifes costeiros da região. Nesses locais, a alta abundância de algumas espécies como, *Abudefduf saxatilis*, *Stegastes fuscus* e *Halichoeres poeyi*, estão associadas a esses ecossistemas (Ferreira et al., 2004). Além disso, uma maior frequência de peixes herbívoros e comedores de invertebrados móveis de tamanhos corporais pequenos e médios são bem característicos desses locais (Araújo et al., 2020; Krajewski e Floeter, 2011).

Por fim, foi possível identificar um padrão de como a estrutura do hábitat e variáveis ambientais influenciam na composição de traços funcionais de peixes recifais na costa de Pernambuco. Era esperado que medidas de composição bentônica apresentasse uma maior relação com a definição de traços funcionais. No entanto, o que pode ter ocasionado essa falta de relação foi o tempo de pesquisa e o tamanho da área recifal analisada. Uma análise que compreenda uma área maior do recife acerca da composição do substrato pode nos subsidiar dados mais concretos sobre essa relação. Contudo, nossos estudos fornecem novas informações sobre o funcionamento do ecossistema de ambientes recifais de formação arenítica em relação a peixes recifais e da importância desses organismos para sustentação do equilíbrio do hábitat na região.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado de Janson Job Guimarães Rosa e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsas aos demais autores.

Referências

- Aaron-amper, J., Gulayan, S.J., 2016. Differences in Benthic Cover and Fish Assemblage Inside and Outside Marine Protected Areas. *Int. J. Environ. Rural Dev.* 7, 141–146. https://doi.org/10.32115/ijerd.7.2_141
- Aguilar-Medrano, R., Arias-González, J.E., 2018. Functional reef fish groups of the Mexican Caribbean: Implications of habitat complexity. *Rev. Mex. Biodivers.* 89, 1138–1153. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2398>
- Alvarez-Filip, L., Gill, J.A., Dulvy, N.K., 2011. Complex reef architecture supports more small-bodied fishes and longer food chains on Caribbean reefs. *Ecosphere* 2, art118. <https://doi.org/10.1890/es11-00185.1>
- Araújo, M.E. de, Mattos, F.M.G. de, Melo, F.P.L. de, Chaves, L. de C.T., Feitosa, C.V., Lippi, D.L., Félix Hackrad, F.C., Hackrad, C.W., Nunes, J.L.S., Leão, Z.M. de A.N., Kikuchi, R.K.P. de, Ferreira Junior, A.V., Pereira, P.H.C., Macedo, C.H.R., Sampaio, C.L.S., Feitosa, J.L.L., 2020. Diversity patterns of reef fish along the Brazilian tropical coast, *Marine Environmental Research*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105038>
- Asner, G.P., Vaughn, N.R., Foo, S.A., Heckler, J., Martin, R.E., 2021. Abiotic and Human Drivers of Reef Habitat Complexity Throughout the Main Hawaiian Islands. *Front. Mar. Sci.*

8, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.631842>

Barneche, D.R., Rezende, E.L., Parravicini, V., Maire, E., Edgar, G.J., Stuart-Smith, R.D., Arias-González, J.E., Ferreira, C.E.L., Friedlander, A.M., Green, A.L., Luiz, O.J., Rodríguez-Zaragoza, F.A., Vigliola, L., Kulbicki, M., Floeter, S.R., 2019. Body size, reef area and temperature predict global reef-fish species richness across spatial scales. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 28, 315–327. <https://doi.org/10.1111/geb.12851>

Barreiros, J.P., Bertocini, Á., Machado, L., Hostim-Silva, M., Santos, R.S., 2004. Diversity and seasonal changes in the ichthyofauna of rocky tidal pools from Praia Vermelha and São Roque, Santa Catarina. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 47, 291–299. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132004000200017>

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. *Funct. Ecol.* 33, 948–961. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13265>

Brandl, S.J., Rasher, D.B., Côté, I.M., Casey, J.M., Darling, E.S., Lefcheck, J.S., Duffy, J.E., 2019. Coral reef ecosystem functioning: eight core processes and the role of biodiversity. *Front. Ecol. Environ.* 17, 445–454. <https://doi.org/10.1002/fee.2088>

Cabaitan, P.C., Malvicini, C., Sabban, F., Conaco, C., 2018. Versatile habitat conditioning by damselfish cultivating turf algae on giant clams. *Hydrobiologia* 805, 89–96. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3284-2>

Carpenter, K. E. 2002. (ed.): *FAO Fish Finder. Western Central Atlantic.*

Carvalho, F., 2017. Using plant functional traits to assess ecosystem processes and community dynamics in lowland fens: understanding the efficacy and applicability of a trait-based approach to plant ecology.

Chabanet, P., Ralambondrainy, H., Amanieu, M., Faure, G., & Galzin, R. 1997. Relationships between coral reef substrata and fish. *Coral reefs*, 16(2), 93-102.

Ceccarelli, D. M.; Jones, G. P. and; Mccook, L. J. Territorial damselfishes as determinants of the structure of benthic communities on coral reefs. *Oceanography and Marine Biology*, v. 39, p. 355–389, 2001.

D’agata, S., Vigliola, L., Graham, N.A.J., Wantiez, L., Parravicini, V., Villéger, S., Mou-Tham, G., Frolla, P., Friedlander, A.M., Kulbicki, M., Mouillot, D., 2016. Unexpected high

vulnerability of functions in wilderness areas: evidence from coral reef fishes. *Proceedings. Biol. Sci.* 283.

Díaz, S., Cabido, M., 2001. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* 16, 646–655. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)

Dolédec, S., Chessel, D., Ter Braak, C. J. F. & Champely, S. (1996) Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*, 3, 143-166. <https://doi.org/10.1007/BF02427859>

Dray, S. & Dufour, A.B. (2007) The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22 (4), 1-20.

Dray, S., Choler, P., Dolédec, S., Peres-Neto, P. R., Thuiller, W., Pavoine, S., & ter Braak, C. J. (2014). Combining the fourth-corner and the RLQ methods for assessing trait responses to environmental variation. *Ecology*, 95(1), 14–21. <https://doi.org/10.1890/13-0196.1>

Dray, S., & Legendre, P. (2008). Testing the species traits-environment relationships: The fourth-corner problem revisited. *Ecology*, 89(12), 3400–3412. <https://doi.org/10.1890/08-0349.1>

Dustan, P., Doherty, O., Pardede, S., 2013. Digital Reef Rugosity Estimates Coral Reef Habitat Complexity. *PLoS One* 8, 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057386>

Eggertsen, M., Chacin, D.H., Åkerlund, C., Halling, C., Berkström, C., 2019. Contrasting distribution and foraging patterns of herbivorous and detritivorous fishes across multiple habitats in a tropical seascape. *Mar. Biol.* 166, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3498-0>

Feitosa, J.L.L., Longo, G.O., 2018. Ambientes recifais brasileiros, comunidades bentônicas e herbivoria por peixes. *Ecol. peixes recifais em Pernambuco* 30–82.

Ferreira, A.C.E.L., Floeter, S.R., Gasparini, J.L., Ferreira, B.P., Joyeux, J.C., Journal, S., Jul, N., 2004. Trophic Structure Patterns of Brazilian Reef Fishes : A Latitudinal Comparison Published by: Wiley Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/3554808> Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes : a latitudinal comparison 31, 1093–1106.

Ferreira, C. E., Gonçalves, J. E., & Coutinho, R. 2001. Community structure of fishes and habitat complexity on a tropical rocky shore. *Environmental Biology of Fishes*, 61(4), 353-369.

Freitas, J.E.P., 2009. Ictiofauna do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio (Ceará - Brasil): composição, estrutura e contexto biogeográfico 117.

Frouse, R.; Pauly, D. 2008. FishBase. Version 04/2008. World Wide Web electronic publication. available at: <www.fishbase.org>.2021.

Funk, J.L., Cleland, E.E., Suding, K.N., Zavaleta, E.S., 2008. Restoration through reassembly: plant traits and invasion resistance. *Trends Ecol. Evol.* 23, 695–703. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.07.013>

Gerisch, M., Agostinelli, V., Henle, K., Dziock, F., 2012. More species, but all do the same: Contrasting effects of flood disturbance on ground beetle functional and species diversity. *Oikos* 121, 508–515. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19749.x>

Goatley, C.H.R., Bonaldo, R.M., Fox, R.J., Bellwood, D.R., 2016. Sediments and herbivory as sensitive indicators of coral reef degradation. *Ecol. Soc.* 21. <https://doi.org/10.5751/ES-08334-210129>

Gómez, J.P., Bravo, G.A., Brumfield, R.T., Tello, J.G., Cadena, C.D., 2010. A phylogenetic approach to disentangling the role of competition and habitat filtering in community assembly of Neotropical forest birds. *J. Anim. Ecol.* 79, 1181–1192. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01725.x>

Gonçalves, H., Medeiros, D.A., Maria, G., 2018. Anais do Congresso Nacional de Biólogos - Congrebio 2018 8, 186–193.

Graham, N.A.J., Nash, K.L., 2013. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 32, 315–326. <https://doi.org/10.1007/s00338-012-0984-y>

Grenié, M., Mouillot, D., Villéger, S., Denelle, P., Tucker, C.M., Munoz, F., Violle, C., 2018. Functional rarity of coral reef fishes at the global scale: Hotspots and challenges for conservation. *Biol. Conserv.* 226, 288–299. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.011>

Halpern, B.S., Floeter, S.R., 2008. Functional diversity responses to changing species richness in reef fish communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 364, 147–156. <https://doi.org/10.3354/meps07553>

Henriques, S., Pais, M.P., Costa, M.J., Cabral, H.N., 2013. Seasonal variability of rocky reef fish assemblages: Detecting functional and structural changes due to fishing effects. *J. Sea Res.* 79, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.02.004>

Hodgson, G., Stepath, C.M., 1998. Using Reef Check for long-term coral reef monitoring in Hawaii. *Proc. Hawai'i Coral Reef Monit. Work. tool Manag.*

Kikuchi, R.K.P., Leão, Z.M.D.A.N., Oliveira, M.D.M., 2010. Conservation status and spatial patterns of AGRRA vitality indices. *Rev. Biol. Trop.* 58, 1–31.

Kohler, K.E., Gill, S.M., 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual

Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Comput. Geosci.* 32, 1259–1269. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.009>

Kraft, N.J.B., Adler, P.B., Godoy, O., James, E.C., Fuller, S., Levine, J.M., 2015. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. *Funct. Ecol.* 29, 592–599. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12345>

Krajewski, J.P., Floeter, S.R., 2011. Reef fish community structure of the Fernando de Noronha Archipelago (Equatorial Western Atlantic): The influence of exposure and benthic composition. *Environ. Biol. Fishes* 92, 25–40. <https://doi.org/10.1007/s10641-011-9813-3>

Lavorel, S., Garnier, E., 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. *Funct. Ecol.* 16, 545–556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Ferreira, B.P., Neves, E.G., Sovierzoski, H.H., Oliveira, M.D.M., Maida, M., Correia, M.D., Johnsson, R., 2016. Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. *Brazilian J. Oceanogr.* 64, 97–116. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160916064sp2>

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., 2018. The coral reef province of Brazil, Second Edi. ed, *World Seas: An Environmental Evaluation Volume I: Europe, the Americas and West Africa*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00048-6>

Longo, G.O., Morais, R.A., Martins, C.D.L., Mendes, T.C., Aued, A.W., Cândido, D. V., De Oliveira, J.C., Nunes, L.T., Fontoura, L., Sissini, M.N., Teschima, M.M., Silva, M.B., Ramlov, F., Gouvea, L.P., Ferreira, C.E.L., Segal, B., Horta, P.A., Floeter, S.R., 2015. Between-habitat variation of benthic cover, reef fish assemblage and feeding pressure on the benthos at the only atoll in South Atlantic: Rocas atoll, NE Brazil. *PLoS One* 10, 1–29. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127176>

Luckhurst, B. E. e Luckhurst K. 1978. Analysis of influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology.* 49:317-324.

Luiz, O.J., Mendes, T.C., Barneche, D.R., Ferreira, C.G.W., Noguchi, R., Villaça, R.C., Rangel, C.A., Gasparini, J.L., Ferreira, C.E.L., 2015. Community structure of reef fishes on a remote oceanic island (St Peter and St Paul's Archipelago, equatorial Atlantic): The relative influence of abiotic and biotic variables. *Mar. Freshw. Res.* 66, 739–749. <https://doi.org/10.1071/MF14150>

Maia, H.A., Quimbayo, J.P., Morais, R.A., Dias, M.S., Sampaio, C.L.S., Horta, P.A., Ferreira,

C.E.L., Floeter, S.R., 2018. Spatial patterns and drivers of fish and benthic reef communities at São Tomé Island, Tropical Eastern Atlantic. *Mar. Ecol.* 39, 1–16. <https://doi.org/10.1111/maec.12520>

Miguel, D., Reyes, V., 2019. VALORAÇÃO ECONÔMICA DO MERGULHO EM RECIFES DE CORAIS : Uma análise de sensibilidade do Método do Custo de Viagem 31, 67–83.

Mora, C., 2015. Large-scale patterns and processes in reef fish richness. *Ecol. Fishes Coral Reefs* 88–96. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316105412.011>

Mouillot, D., Villéger, S., Parravicini, V., Kulbicki, M., Arias-González, J.E., Bender, M., Chabanet, P., Floeter, S.R., Friedlander, A., Vigliola, L., Bellwood, D.R., 2014. Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 13757–13762. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317625111>

Navarrete-Fernández, T., Landaeta, M.F., Bustos, C.A., Pérez-Matus, A., 2014. Nest building and description of parental care behavior in a temperate reef fish, *Chromis crasma* (Pisces: Pomacentridae). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 87, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40693-014-0030-2>

Nelson, J. S.; Grande, T. C.; Wilson, M. V. H. *Fishes of the world*. [s.l: s.n.].

Parravicini, V., Kulbicki, M., Bellwood, D.R., Friedlander, A.M., Arias-Gonzalez, J.E., Chabanet, P., Floeter, S.R., Myers, R., Vigliola, L., D'Agata, S., Mouillot, D., 2013. Global patterns and predictors of tropical reef fish species richness. *Ecography (Cop.)*. 36, 1254–1262. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00291.x>

Paula, Y.C. de, Schiavetti, A., Sampaio, C.L.S., Calderon, E., 2018. The effects of fish feeding by visitors on reef fish in a Marine Protected Area open to tourism. *Biota Neotrop.* 18. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2017-0339>

Pereira-Filho, G.H., Amado-Filho, G.M., Guimarães, S.M.P.B., Moura, R.L., Sumida, P.Y.G., Abrantes, D.P., Bahia, R.G., Güth, A.Z., Jorge, R.R., Filho, R.B.F., 2011. Reef fish and benthic assemblages of the trindade and Martin Vaz island group, SouthWestern Atlantic. *Brazilian J. Oceanogr.* 59, 201–212. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592011000300001>

Pereira, P.H.C., Moraes, R.L., dos Santos, M.V.B., Lippi, D.L., Feitosa, J.L.L., Pedrosa, M., 2014. The influence of multiple factors upon reef fish abundance and species richness in a tropical coral complex. *Ichthyol. Res.* 61, 375–384. <https://doi.org/10.1007/s10228-014-0409-8>

Pereira, P.H.C., Feitosa, J.L.L., Ferreira, B.P., 2011. Mixed-species schooling behavior and protective mimicry involving coral reef fish from the genus *Haemulon* (Haemulidae). *Neotrop. Ichthyol.* 9, 741–746. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011005000037>

- Pereira, P.H.C., Macedo, C.H., Nunes, J. de A.C.C., Marangoni, L.F. de B., Bianchini, A., 2018. Effects of depth on reef fish communities: Insights of a “deep refuge hypothesis” from Southwestern Atlantic reefs. *PLoS One* 13, 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203072>
- Quimbayo, J.P., Dias, M.S., Kulbicki, M., Mendes, T.C., Lamb, R.W., Johnson, A.F., Aburto-Oropeza, O., Alvarado, J.J., Bocos, A.A., Ferreira, C.E.L., Garcia, E., Luiz, O.J., Mascareñas-Osorio, I., Pinheiro, H.T., Rodriguez-Zaragoza, F., Salas, E., Zapata, F.A., Floeter, S.R., 2019. Determinants of reef fish assemblages in tropical Oceanic islands. *Ecography (Cop.)*. 42, 77–87. <https://doi.org/10.1111/ecog.03506>
- Randall, J. E. Food habits of reef fishes of the West Indies. Hawaii: Stud. Trop. Oceanogr. v. 5, p. 665-847. 2004
- Randazzo, A.M., Montero, J.L., McField, M., Myton, J., González, J.E.A., 2019. The effect of algal-gardening damselfish on the resilience of the Mesoamerican Reef. *Front. Mar. Sci.* 6, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00414>
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. (2020) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. www.r-project.org.
- Richardson, L.E., Graham, N.A.J., Pratchett, M.S., Hoey, A.S., 2017a. Structural complexity mediates functional structure of reef fish assemblages among coral habitats. *Environ. Biol. Fishes* 100, 193–207. <https://doi.org/10.1007/s10641-016-0571-0>
- Richardson, L.E., Graham, N.A.J., Pratchett, M.S., Hoey, A.S., 2017b. Structural complexity mediates functional structure of reef fish assemblages among coral habitats. *Environ. Biol. Fishes* 100, 193–207. <https://doi.org/10.1007/s10641-016-0571-0>
- Ricklefs, R.E., 2009. A brief response to Brooker et al.’s comment. *Am. Nat.* 174, 928–931. <https://doi.org/10.1086/648059>
- Roberts, C. M., & Ormond, R. F. 1987. Habitat complexity and coral reef fish diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 1-8.
- Rocha, L.A., Craig, M.T., Bowen, B.W., 2007. Phylogeography and the conservation of coral reef fishes. *Coral Reefs* 26, 501–512. <https://doi.org/10.1007/s00338-007-0261-7>
- Rogers, C., Garrison, G., Grober, R., Hillis, Z.-M., Franke, M.A., 2001. *Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic* 00831, 114.
- Santos, G.S., Burgos, D.C., Lira, S.M.A., Schwamborn, R., 2015. The Impact of Trampling on Reef Macrobenthos in Northeastern Brazil: How Effective are Current Conservation Strategies? *Environ. Manage.* 56, 847–858. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0552-7>
- Santos, G.D.S., LIRA, S.M. de A., SCHWAMBORN, R., 2015. Análise das comunidades

macrobentônicas sésseis, como ênfase na interação entre cnidário *Zoantus sociatus* (Ellis, 1978) e macroralga, no topo de um recife de águas rasas do nordeste do Brasil. *Trop. Oceanogr.* 43. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v43i1.5831>

Siqueira, A.C., Bellwood, D.R., Cowman, P.F., 2019. The evolution of traits and functions in herbivorous coral reef fishes through space and time. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 286. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2672>

Sobral, F.L., Cianciaruso, M.V., 2012. Estrutura filogenética e funcional de assembléias: (Re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais. *Biosci. J.* 28, 617–631.

Sura, S.A., Delgadillo, A., Franco, N., Gu, K., Turba, R., Fong, P., 2019. Macroalgae and nutrients promote algal turf growth in the absence of herbivores. *Coral Reefs* 1–5. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01793-w>

Tebbett, S.B., Bellwood, D.R., Purcell, S.W., 2018. Sediment addition drives declines in algal turf yield to herbivorous coral reef fishes: implications for reefs and reef fisheries. *Coral Reefs* 37, 929–937. <https://doi.org/10.1007/s00338-018-1718-6>

Trebilco, R., Dulvy, N.K., Stewart, H., Salomon, A.K., 2015. The role of habitat complexity in shaping the size structure of a temperate reef fish community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 532, 197–211. <https://doi.org/10.3354/meps11330>

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

Williamson, J.E., Byrnes, E.E., Clark, J.A., Connolly, D.M., Schiller, S.E., Thompson, J.A., Tosetto, L., Martinelli, J.C., Raoult, V., 2017. Ecological impacts and management implications of reef walking on a tropical reef flat community. *Mar. Pollut. Bull.* 114, 742–750. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.069>

Winemiller, K.O., Fitzgerald, D.B., Bower, L.M., Pianka, E.R., 2015. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches. *Ecol. Lett.* 18, 737–751. <https://doi.org/10.1111/ele.12462>

Yadav, S., Rathod, P., Alcoverro, T., Arthur, R., 2016. “Choice” and destiny: the substrate composition and mechanical stability of settlement structures can mediate coral recruit fate in post-bleached reefs. *Coral Reefs* 35, 211–222. <https://doi.org/10.1007/s00338-015-1358-z>

APÊNDICE

Apêndice 1: Famílias e espécies de peixes encontradas nas áreas de recife: Grupo Trófico: CAR = carnívoros, CIM = comedores de invertebrados móveis, CIS = comedores de invertebrados sésseis, ONV = onívoros, PIS=piscívoros, PLC = planctívoros, HER = herbívoros errantes e HERB-TERRI=herbívoros territoriais. O habitat preferencial: CA=coluna d'água, FA = fundo arenoso, RR= recife rochoso, FAR = fundo arenoso / recife rochoso. Tamanho Máximo do corpo: pequeno, médio-pequeno, médio e grande. Formação de cardume: Sim = comportamento de cardume, Não = não apresentam comportamento de cardume.

Família / espécie	Grupo trófico	Hábitat Preferencial	Tamanho máximo do corpo	Formação de cardume
Acanthuridae				
<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	HER	RR	Médio	Sim
<i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch, 1787)	HER	RR	Médio	Sim
<i>Acanthurus coeruleus</i> (Bloch e Schneider, 1801)	HER	RR	Médio	Sim
Chaetodontidae				
<i>Chaetodon striatus</i> Linnaeus, 1758	CIS	RR	Médio-pequeno	Sim
Epinephelidae				
<i>Cephalopholis fulva</i> (Linnaeus, 1758)	CAR	RR	Médio	Sim
<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	CAR	RR	Grande	Não
Gerreidae				
<i>Eucinostomus lefroyi</i> (Goode 1874)	CAR	FA	Médio-pequeno	Sim
Gobiidae				
<i>Coryphopterus glaucofraenum</i> Gill, 1863	CIM	FAR	Pequeno	Não
Haemulidae				
<i>Anisotremus moricandi</i> (Ranzani, 1842)	CIM	RR	Médio-pequeno	Não
<i>Anisotremus surinamensis</i> (Bloch, 1791)	CIM	RR	Grande	Sim
<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	CIM	RR	Médio	Não
<i>Haemulon aurolineatum</i> Cuvier, 1830	CIM	FAR	Médio-pequeno	Sim

<i>Haemulon parra</i> (Desmarest, 1823)	CIM	FAR	Médio	Sim
<i>Haemulon plumierii</i> (Lacepède, 1801)	CIM	RR	Grande	Sim
<i>Haemulon steindachneri</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	CIM	FA	Médio	Sim
<i>Haemulon squamipinna</i> Rocha & Rosa, 1999	CIM	FAR	Médio-pequeno	Sim
Holocentridae				
<i>Holocentrus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	CIM	RR	Médio	Sim
Labridae				
<i>Halichoeres brasiliensis</i> (Bloch, 1791)	PLC	RR	Médio-pequeno	Não
<i>Halichoeres poeyi</i> (Steindachner, 1867)	CIM	RR	Médio-pequeno	Não
<i>Sparisoma axillare</i> (Steindachner, 1878)	HER	RR	Médio	Sim
Labrisomidae				
<i>Labrisomus nuchipinnis</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	CAR	FAR	Médio	Não
<i>Malacoctenus delalandii</i> (Valenciennes, 1836)	CIM	RR	Pequeno	Não
Lutjanidae				
<i>Lutjanus alexandrei</i> Moura & Lindeman, 2007	CAR	RR	Médio-pequeno	Sim
Mullidae				
<i>Pseudupeneus maculatus</i> (Bloch, 1793)	CIM	FAR	Médio	Sim
Pempheridae				
<i>Pempheris schomburgkii</i> Müller & Troschel, 1848	PLC	RR	Médio-pequeno	Sim
Pomacentridae				
<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	ONV	RR	Médio-pequeno	Sim
<i>Stegastes fuscus</i> (Cuvier, 1830)	HERB-TERRI	RR	Médio-pequeno	Sim
<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	HERB-TERRI	RR	Médio-pequeno	Não
Sciaenidae				
<i>Odontoscion dentex</i> (Cuvier, 1830)	CAR	FAR	Médio	Sim
<i>Pareques acuminatus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	CAR	FAR	Médio-pequeno	Não