

Bruno Lenhaverde Sandy

Long term monitoring: time series analysis of benthic community of intertidal rocky shore of Anchieta Island State Park

Monitoramento de longo prazo: análises de séries temporais de comunidade bentônica do médiolitoral de costão rochoso do Parque Estadual da Ilha Anchieta

0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
W2014			S2015			W2015			S2016			W2016			S2017			W2017			S2018			W2018			S2019			W2019			S2020			W2020		



São Paulo, Brasil

2022

Bruno Lenhaverde Sandy

**Long term monitoring: time series analysis of benthic
community of intertidal rocky shores of Anchieta Island
State Park**

**Monitoramento de longo prazo: análises de séries temporais
de comunidade bentônica do médiolitoral de costão rochoso
do Parque Estadual da Ilha Anchieta**

Tese apresentada ao Instituto de
Biotecnologia da Universidade de São
Paulo, para a obtenção de Título de
Doutor em Ciências Biológicas, na
Área de Botânica.

Orientador: Prof. Dr. Flávio A. S.
Berchez

São Paulo, Brasil

2022

Ficha Catalográfica

Lenhaverde Sandy, Bruno

Monitoramento de longo prazo:
análises de séries temporais de comunidade
bentônica do médiolitoral de costão rochoso
do Parque Estadual da Ilha Anchieta

Número de páginas: 80 pgs

Tese (Doutorado) - Instituto de
Biociências da Universidade de São Paulo.
Departamento de Botânica.

1. Séries Temporais 2.
Monitoramento 3. Médiolitoral 4. Mudanças
climáticas 5. Costão rochoso I.
Universidade de São Paulo. Instituto de
Biociências. Departamento de Botânica.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a). Flávio Augusto de Sousa Berchez
Orientador(a)

Dedico este trabalho à minha mãe,
que no dia que nasci falou que um dia seria doutor
e agora isto está se tornando realidade!

EPÍGRAFE

Que o seu sonho se realize...

Se você tem um sonho a vida tem sentido
Uma razão, um alvo a ser atingido
É uma estrela brilhando no seu céu
Quando se tem na alma força e muita fé

Uma luta a vencer
Uma estrada a percorrer
Uma história a escrever
Um trabalho a fazer

Com garra, fibra, força e determinação
Ponha os seus planos em ação
Se você tem um sonho no seu coração
A sua vida tem uma razão

Com garra, fibra, força e determinação
Ponha os seus planos em ação
Se você tem um sonho no seu coração
A sua vida tem uma razão

Nada vai impedir
Que o seu sonho se realize.

Hiroyuki Takei

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer ao prof. Dr. Flávio Berchez ao me dar a oportunidade de fazer parte de sua equipe desde quando nos conhecemos no curso de montanhismo em 2013 em Ubatuba. Durante esta trajetória, estabelecemos a estação de monitoramento de longo prazo no Parque Estadual da Ilha Anchieta em 2014 durante o mestrado e, agora, encerramos o ciclo com o trabalho das séries temporais dos organismos bentônicos em 2022. Durante esta trajetória pude realizar o curso na área de educação ambiental nos ecossistemas marinhos e costeiros, onde conheci diversos colegas, os quais levarei para a vida toda.

Aos meus pais Eliane e Iran, irmão Victor, tios e toda a família por todo o suporte emocional e por nunca deixar eu desistir por maior que tenha sido as adversidades encontradas.

A todos meus colegas de laboratório, de departamento e do instituto de Biociências que me auxiliaram nas análises e, cada um deles me transmitiu um ensinamento.

Ao conselho gestor do Parque Estadual da Ilha Anchieta por permitir as minhas diversas coletas de campo bem como os funcionários da segurança, da administração e da limpeza. Todos sempre me acolheram no parque como parte da família.

A CAPES pelo suporte financeiro de extrema relevância e ao COTEC do Instituto Florestal pela autorização de coleta nas diversas unidades de conservação do Estado de São Paulo pois, sem este suporte técnico e validação, o trabalho não poderia ser executado.

.

ABSTRACT GERAL

Monitoring studies, by definition, are those that involve repeated sampling of parameters measured over time. Long-term ecological monitoring studies extend over long periods of time, such as long-term studies of the distribution of mid-coastal species to detect the responses of mid-coastal biodiversity to key climate variables related to climate change. This study was divided into two chapters: The first is focused on making the time series, between winter 2014 and winter 2019, of the dominant organisms of the mid-littoral present in the long-term monitoring station established in 2014 in Anchieta Island State Park, located in the municipality of Ubatuba, northern coast of São Paulo State, from its decomposition (observed series, seasonality, trend, noise and forecast) to understand the dynamics of the mid-littoral in the long term. The second chapter was focused on performing the GLMM (General Linear Mixed Models) analysis on the time series using the width and height of the dominance bands present in this same station to correlate with the environmental variable sea level, which is related to global climate change to test the hypothesis that the sea level is increasing the width and height of the bands of organisms in the long term. The results of the chapters revealed, overall, that the range is increasing its percentage cover over the years, the middle range is decreasing, and the bottom range is stable. Regarding the width and height of the bands, the sea level is positively influencing the increase in width and height of the two lower coastal bands, *Tetraclita* and Macroalgae, causing them to reach higher levels, while the upper two bands, *Chthamalus* and *Mytilaster*, *Chthamalus* also increased in width and height, while *Mytilaster* remained stable throughout the time series. The objective is to detect early the effects of climate change at a local scale on the biodiversity of this rocky shore ecosystem, and consequently allow predictions to be made to adopt appropriate mitigation or adaptation measures within the management council of the protected area, to initiate a historical series of data along the Brazilian coast and have well documented data to assist the conservation of rocky shores.

RESUMO GERAL

Estudos de monitoramento por definição, são os que envolvem amostragem repetidas de parâmetros medidos através do tempo. Os estudos de monitoramento ecológico de longo prazo se estendem por longos períodos, podendo citar os estudos de longo prazo referentes a distribuição das espécies de médiolitoral a fim de detectar as respostas da biodiversidade do médiolitoral em relação às variáveis climáticas essenciais relacionadas às mudanças climáticas. O presente estudo foi dividido em dois capítulos: O primeiro é focado em realizar as séries temporais, entre o inverno de 2014 e o inverno de 2019, dos organismos dominantes do médiolitoral presentes na estação de monitoramento de longo prazo estabelecida em 2014 no Parque Estadual da Ilha Anchieta, localizada no município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo, a partir da sua decomposição (série observada, sazonalidade, tendência, ruído e previsão) entender a dinâmica do médiolitoral em longo prazo. Já o segundo capítulo foi focado em realizar a análise de GLMM (General Linear Mixed Models) nas séries temporais utilizando a largura e altura das faixas de dominância presentes nesta mesma estação para correlacionar com a variável ambiental nível do mar, a qual está relacionada às mudanças climáticas globais a fim de testar a hipótese que o nível do mar está aumentando a largura e a altura das faixas dos organismos em longo prazo. Os resultados dos capítulos revelaram, no geral, que a faixa está aumentando o seu recobrimento percentual ao longo dos anos, a faixa intermediária está diminuindo e a faixa inferior está estável. Em relação à largura e altura das faixas, o nível do mar está influenciando positivamente no aumento da largura e altura das duas faixas inferiores do costão, *Tetraclita* e Macroalgas, fazendo com que estas alcancem níveis mais elevados, enquanto as faixas duas superiores, *Chthamalus* e *Mytilaster*, *Chthamalus* também aumentou a largura e a altura, enquanto *Mytilaster* se manteve estável ao longo de toda a série temporal. A partir do objetivo de detectar precocemente os efeitos das mudanças climáticas em escala local sobre a biodiversidade deste ecossistema de costão rochoso e, por consequência, permitir a realização de previsões para que se adotem medidas adequadas de mitigação ou adaptação no âmbito do conselho gestor da unidade de conservação, a fim de dar início a uma série histórica de dados ao longo da costa brasileira e ter dados bem documentados para auxiliar a conservação dos costões rochosos.

ÍNDICE

1. Introdução Geral.....	1
2. Estrutura da Tese e Objetivos.....	3
3. Justificativa.....	4

Capítulo 1 – Decomposição das séries temporais das unidades operacionais dominantes do mediolitoral.

1. Introdução.....	9
1.1 Objetivos.....	11
2. Material e Métodos.....	12
2.1. Análise de Dados.....	15
3. Resultados.....	15
3.1.1 Serie Temporal Observada.....	15
3.1.2. Série Temporal de Tendência.....	22
3.1.3. Série Temporal Sazonal.....	25
3.1.4. Série Temporal de Previsão.....	28
4. Discussão.....	32
5. Conclusão.....	39

Capítulo 2 – Variação espaço-temporal das faixas de ocorrência dos organismos dominantes da estação de monitoramento.

1. Introdução.....	44
1.1. Objetivos.....	44
2. Material e Métodos.....	46
2.1. Análise de Dados.....	46
3. Resultados.....	49
3.1. Série Temporal de Largura da Faixa.....	49
3.2. Série Temporal de Altura da Faixa.....	51
3.3. Modelo Linear Misto Generalizado e Séries Temporais.....	52
4. Discussão.....	54
5. Conclusão.....	57
Considerações finais e aplicabilidades.....	58
Referências.....	59

LISTA DE FIGURAS

Introdução Geral

Figura 1. Localização dos sítios de monitoramento de longo prazo de costão rochosos da Rede de Monitoramento de Hábitats Bentônicos (ReBentos) ao longo da costa do Sudeste brasileiro.....3

Capítulo I

Figura 2. Mapa do local da estação de monitoramento de longo prazo (23°32'11.7" S, 45°03'46.2" W) localizada no costão esquerdo da praia do Engenho no Parque Estadual da Ilha Anchieta, localizado no município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo.....13

Figura 3. Decomposição das series temporais observadas a partir da média do recobrimento percentual das unidades operacionais presentes na faixa superior do médiolitoral entre os anos de 2014 até 2019. A decomposição para as series observadas foi aplicada para o modelo linear com modelos sazonais. Espaço vazio (série temporal roxa); *C. bisinuatus* (série temporal azul); Cianobactéria (série temporal verde) e *M. solicianus* (série temporal vermelha)....17

Figura 4. Decomposição das séries temporais observadas a partir da média do recobrimento percentual das unidades operacionais dominantes presentes na faixa intermediária entre o inverno de 2014 e o inverno de 2019. A decomposição foi aplicada para os modelos lineares com modelos sazonais. *T. stalactifera* (série temporal azul), Algas Calcárias Crostosas (série temporal verde); Biofilme (série temporal vermelha); *G. microdonticum* (série temporal roxo) e *C. clavulatum* (série temporal laranja).19

Figura 5. Decomposição das series temporais observadas relacionadas às unidades operacionais dominantes presentes na faixa inferior entre o período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. A decomposição foi aplicada para os modelos lineares com modelos sazonais. Algas Calcárias Articuladas (série temporal azul); *C. clavulatum* (série temporal vermelha); *G. microdonticum* (série temporal laranja); Algas Calcárias Crostosas (série temporal verde) e *Dictyopteris* sp. (série temporal roxa).....21

Figura 6. Séries temporais de tendência das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral superior entre o período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Chthamalus* (A), Espaço vazio (B), Cianobacteria (C) e *Mytilaster* (D).....22

Figura 7. Séries temporais de tendência das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral intermediário entre o período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Tetraclita* (A), Algas Calcárias Crostosas (B), *Centroceras* (C), Biofilme (D) e *Gelidium* (E).....23

Figura 8. Séries temporais de tendência das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral inferior no período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. Algas Calcárias Articuladas (A), Algas Calcárias Crostosas (B), Biofilme (C), *Dictyopteris* (D) e *Centroceras* (E).....24

Figura 9. Séries temporais sazonais das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral superior entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Chthamalus* (A), Espaço Vazio (B), Cianobacteria (C) e *Mytilaster* (D).....25

Figura 10. Séries temporais sazonais das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral intermediária entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Tetraclita* (A), Algas Calcárias Crostosas (B), Biofilme (C) *Gelidium* (D) e *Centroceras* (E).....27

Figura 11. Séries temporais sazonais das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral inferior entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. Algas Calcárias Articuladas (A), Algas Calcárias Crostosas (B), Biofilme (C) *Dictyopteris* (D) e *Centroceras* (E).....28

Figura 12. Séries temporais de previsão das unidades operacionais dominantes presentes na faixa superior do médiolitoral no período entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. Os pontos azuis referem-se às coletas de 2020 e as barras cinzas ao intervalo de confiança de $p < 0.05$ e $p < 0.01$, respectivamente. *Chthamalus* (A); Espaço vazio (B); Cianobacteria (C) e *Mytilaster* (D).....30

Figura 13. Séries temporais de previsão das unidades operacionais dominantes presentes na faixa intermediária do médiolitoral no período entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. Os pontos azuis referem-se às coletas de 2020 e as barras cinzas ao intervalo de confiança de $p < 0.05$ e $p < 0.01$, respectivamente. *Tetraclita* (A); Algas Calcárias Crostosas (B); Biofilme (C); *Gelidium* (D) e *Centroceras* (E).....31

Figura 14. Séries temporais de previsão referente às unidades operacionais dominantes presentes na faixa inferior do médiolitoral entre período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. Os pontos azuis referem-se às coletas de 2020 e as barras cinzas ao intervalo de confiança de $p < 0.05$ e $p < 0.01$, respectivamente. Algas Calcárias Articuladas (A); *Dictyopterus* (B); Algas Calcárias Crostosas (C), *Gelidium* (D) e *Centroceras* (E).....32

Capítulo II

Figura 1. Mapa do local da estação de monitoramento de longo prazo (23°32'11.7" S, 45°03'46.2" W) localizada no costão esquerdo da praia do Engenho no Parque Estadual da Ilha Anchieta, localizado no município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo.....47

Figura 2. Esquema da amostragem contendo os cinco transectos verticais fixos para a obtenção dos dados de altura e largura das faixas em relação ao ponto fixo no local de coleta de dados, a estação de monitoramento de longo prazo do Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA). As faixas foram definidas em relação aos organismos dominantes presentes, ou seja, *Chthamalus*, *Mytilaster*, *Tetraclita* e Macroalgas.....48

Figura 3. Séries temporais referente à largura das faixas em centímetros (cm) das unidades operacionais dominantes presentes no médiolitoral ao longo das 33 coletas realizadas, correspondendo do inverno de 2014 até o inverno de 2019. CB.lar (*Chthamalus bisinuatus*) de cor azul; MS.lar (*Mytilaster solicianus*) de cor vermelha; TE.lar (*Tetraclita stalactifera*) de cor verde e MA.lar (Macroalgas) de cor roxa e, suas respectivas linhas de tendência.....50

Figura 4. Séries temporais referente à altura das faixas em centímetros (cm) em relação ao ponto fixo (encontra-se no zero) das faixas das unidades operacionais dominantes ao longo das 33 coletas realizadas, correspondendo do inverno de 2014 até o inverno de 2019. CB.alt (*Chthamalus bisinuatus*); MS.alt (*Mytilaster solicianus*); TE.alt (*Tetraclita stalactifera*) e MA.alt (Macroalgas) e suas respectivas linhas de tendência.....52

Figura 5. Resultado do modelo cheio em relação a altura e largura das faixas dos organismos dominantes do médiolitoral do costão rochoso com a variável nível do mar. Acima é descrito o modelo cheio e as possibilidades de interação. Os asteriscos ao lado direito significam valores de significância $p < 0.05$ e o valor ajustado do R^2 denota o quanto dessa interação é explicada pelo modelo. (A) modelo para a faixa de *Chthamalus*, (B) modelo para a faixa de *Mytilaster*; (C) modelo para a faixa de *Tetraclita* e, (D) modelo para a faixa de Macroalgas.....53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista das unidades operacionais dominantes encontradas no médiolitoral da estação de monitoramento de longo prazo entre os anos de 2014 e 2019.....	14
---	----

INTRODUÇÃO GERAL

Estudos de monitoramento, por definição, são os que envolvem amostragem repetidas de parâmetros medidos através do tempo sendo classificados em duas categorias principais (curto e longo prazo) e, de acordo com cada enfoque (linhas de base, impacto e os de monitoramento/ecológico) (Murray et al. 2002). Os estudos de linha de base são realizados para determinar o status atual da comunidade, geralmente feitos uma única vez e, são utilizados como estudos precursores para projetos a longo prazo (Hawkins & Hartnoll 1983). Os de impacto são realizados mediante a um distúrbio conhecido, como por exemplo, vazamento de petróleo, impactos antrópicos, espécies invasoras, poluição, avaliando antes e depois do distúrbio, ou através de um gradiente de perturbação, e até comparando entre grupos controle (Green 1979). Já os estudos de monitoramento/ecológicos são aqueles que descrevem as variáveis da biodiversidade essenciais como por exemplo, a distribuição e abundância das espécies (padrões) para em seguida determinar as variáveis ambientais essenciais que as influenciam (processos) ao longo de um gradiente de tempo (Pereira et al. 2013; Bojinski et al. 2014).

Os estudos de monitoramento ecológico de longo prazo se estendem por longos períodos, podendo-se citar os estudos de longo prazo referentes a distribuição das espécies de médiolitoral (Simkanin et al., 2005), das respostas da biodiversidade do médiolitoral em relação às variáveis climáticas essenciais relacionadas às mudanças climáticas (Muller-Karger et al. 2018), que detecta alterações na abundância e ocorrência das espécies a fim de implementar estratégias aplicadas a programas de monitoramento através de redes internacionais como por exemplo Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN), Global Ocean Observing System (GOOS), Global Climate Observing System (GCOS) em áreas marinhas protegidas e estes programas possuem dados de linha de base bem documentados sobre o status atual das biodiversidade a fim de mensurar os impactos atuais e futuros (Miloslavich et al. 2018a).

Na América do Sul, há poucos sítios de monitoramento, sendo os mais antigos localizados

na costa central do Chile, como a Área de Proteção Ambiental Marinha da Estação Biológica de Las Cruces, criado em 1982 (Navarrete et al. 2010) e o sítio mais austral, correspondente ao Parque Etnobotânico Omora na reserva da Biosfera de Cabo de Hornos (Rozzi et al. 2006, 2007). Essa reserva da biosfera, que protege 5 milhões de hectares, dos quais 3 milhões são marinhos, é a mais extensa da América do Sul e nela já se realizaram monitoramentos iniciais, correspondentes a estudos de base, da composição (Mansilla et al. 2012), distribuição dos organismos do médiolitoral de costão rochoso (Rivandeneira & Fernandez, 2005), fenologia de algas e invertebrados marinhos (Ojeda et al. 2014, 2015), junto a um prolongado monitoramento climático (Contador et al. 2015).

No Brasil, os dois primeiros projetos de monitoramento de longo prazo foram implementados com o objetivo de monitorar comunidades de recifes de coral no Nordeste. O primeiro foi estabelecido no Parque Marinho de Abrolhos utilizando a metodologia do protocolo AGRRA (Leão et al. 2010) e o segundo com 17 anos de duração, baseia-se no Programa Reef Check-California (Shuman 2007). E projetos de monitoramento de longo prazo relacionados às comunidades bentônicas, que poderiam detectar tais mudanças, são poucos na costa do país podendo citar o realizado por Silva et al. (2019) na costa do Estado de São Paulo, onde se encontrou padrões sazonais nas séries temporais dos organismos bentônicos correlacionando-as com as variáveis ambientais relacionadas às mudanças climáticas como temperatura superficial da água do mar, salinidade superficial, ressaltando a necessidade de implementação de mais estações de monitoramento de costão rochoso na costa do país (Coutinho et al. 2016).

A partir do objetivo de detectar precocemente os efeitos das mudanças ambientais regionais e globais sobre a biodiversidade desses ambientes, e permitir a realização de previsões para que se adotem medidas adequadas de mitigação ou adaptação, dando início a uma série histórica de dados ao longo da costa brasileira (Turra et al. 2013) a Rede de Monitoramento de Hábitats Bentônicos Costeiros (ReBentos) foi criada, englobando mais de uma centena de líderes de pesquisa brasileiros e suas equipes. A fim padronizar as metodologias, foi publicado o protocolo de monitoramento de costões rochosos, que se aplica ao presente projeto, com procedimentos

diferenciados para as regiões de médio e infralitoral (Coutinho et al. 2015).

Esse monitoramento é também fundamental em função da recente constatação da gravidade da ameaça relativa às mudanças climáticas globais, que vêm impactando os ecossistemas marinhos de forma intensa, resultando em degradação, fragmentação e perda de habitats, com consequente redução na biodiversidade (Fraschetti et al. 2008).

As mudanças climáticas e suas consequências indiretas adicionam um novo conjunto de ameaças, de grande complexidade, estando relacionadas, entre outros, à alteração de diferentes fatores ambientais como o aumento do nível do mar, aumento na temperatura superficial da água do mar e aumento de ação de ondas (Harrison et al. 2001a) em diferentes escalas espaciais e em diferentes velocidades em cada região geográfica (Burrows et al. 2011). Para a região Sudeste do país (Figura 1), região onde os costões rochosos são mais presentes na costa os principais impactos esperados para a região do médiolitoral, em médio prazo, são o aumento da temperatura, em especial durante os períodos de exposição à maré baixa e o aumento na movimentação da água do mar (Berchez et al. 2008 ; Coutinho et al. 2016).

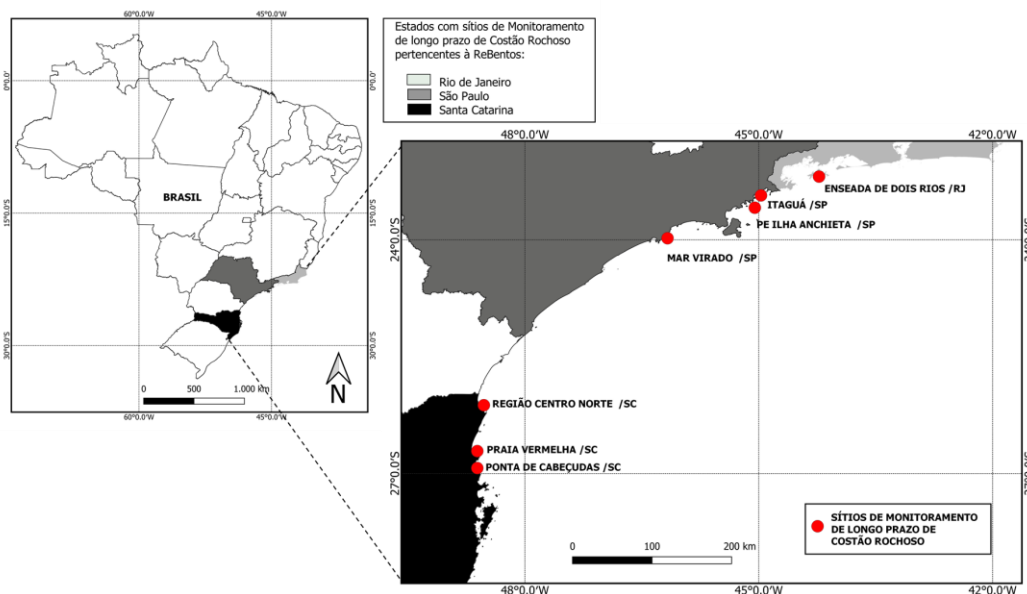


Figura 1. Localização dos sítios de monitoramento de longo prazo de costão rochosos da Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos (ReBentos) ao longo da costa do Sudeste brasileiro.

2. JUSTIFICATIVA

No presente projeto propõem-se a continuidade dos estudos de linha de base da comunidade bentônica do médiolitoral do costão rochoso anteriormente realizado no mestrado na estação de monitoramento de longo prazo, localizada no costão esquerdo da Praia do Engenho, no Parque Estadual da Ilha Anchieta. O projeto de monitoramento de longo prazo se baseia e dá continuidade a trabalhos pretéritos - realizados no local por Ghilardi (2007) e Ribeiro (2011). De acordo com a ReBentos, atualmente há sete estações de monitoramento de longo prazo de costão rochoso em atividade na região Sudeste do Brasil, entretanto, após uma revisão na literatura, apenas a estação do Guarujá (Silva et al. 2019) já publicou dados de longo prazo e, de acordo com Coutinho et. al (2016), há poucas referências sobre comunidades bentônicas relacionando-as às mudanças climáticas.

A realização do presente trabalho se faz necessário para que se aumente os dados de longo prazo da estação de monitoramento de longo prazo instalada na praia do Engenho no Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA) e, para que a estação também possa vir a ser gerenciada pelo parque, uma vez que a estação se encontra em uma relevante unidade de conservação do litoral norte. Para a ilha, é de suma importância a obtenção destes dados em longo prazo para que se tenha parâmetros a serem analisados da “saúde” dos costões rochosos da ilha em longo prazo a fim de se detectar possíveis impactos e, como um importante projeto contínuo de preservação e educação ambiental. O trabalho se enquadra como PELD, Pesquisa Ecológica de Longa Duração, que, de acordo com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), se colete os dados de forma constante a fim de se obter informações da biodiversidade. A combinação desses monitoramentos realizados pelas estações da ReBentos, no futuro, permitirá estudos comparativos inovadores em termos de composição da biodiversidade em escala de comunidade e das respostas em longo prazo às variáveis ambientais relevantes no contexto das mudanças climáticas para que possamos tomar medidas de mitigação, adaptação e ação.

Neste contexto, torna-se necessário o conhecimento de como é a dinâmica da biodiversidade e, como ela é afetada pelas variáveis ambientais essenciais relacionadas às mudanças climáticas em longo prazo e, gerar dados a fim de compor estudos comparativos com regiões similares para que futuros pesquisadores tenham uma base de dados sólida e bem documentada a fim de conhecer a dinâmica costeira do Sudeste brasileiro para que esta informação possa contribuir com o desenvolvimento de ações por parte dos tomadores de decisões no âmbito ambiental como, por exemplo, em unidades de conservação costeiras, insulares ou no gerenciamento costeiro.

1. ESTRUTURA DA TESE E OBJETIVOS

No Capítulo 1, o objetivo principal é a caracterização das séries temporais, a partir da decomposição, ou seja, diferenciando a série observada, a sazonalidade, a tendência, a previsão para cada organismo dominante presente nas três faixas de zonação do médiolitoral (superior, intermediária e inferior) da estação de monitoramento a fim de determinar os períodos relevantes e as interações entre as séries.

No Capítulo 2, o objetivo é analisar o comportamento das séries temporais de altura e largura das faixas de ocorrência das unidades operacionais dominantes, em longo prazo.

A partir da criação da estação de monitoramento de longo prazo da ReBentos no Parque Estadual da Ilha Anchieta em 2014, o objetivo principal desta tese é analisar a dinâmica das unidades operacionais dominantes presentes no médiolitoral do costão rochoso em longo prazo, ou seja, como a cobertura, largura e altura das faixas se comportam durante os anos de 2014 a 2019 e, fazer estimativas futuras dos dados a fim de termos uma série temporal bem estabelecida, documentada com o intuito de conservação, educação ambiental desta área.

CAPÍTULO I

Decomposição das séries temporais das unidades operacionais dominantes do médiolitoral



ABSTRACT

Time series, also called historical series, are a sequence of data obtained at regular time intervals over a specific period. These time series are composed of three components: observed, trend, seasonality, and noise, to make future predictions for the series. In this study, we performed the decomposition of the time series of the dominant mid-coastal organisms of the rocky shore of the Long-Term Monitoring Station located in the Anchieta Island State Park in Ubatuba, São Paulo. The study was conducted from winter 2014 to winter 2019 in sampling in winter and summer seasons with $n = 3$ per station, totaling 33 collections at the end of the historical series. The statistical data analysis was through the R programming language from the spatially and temporally dependent data with the packages the TTR package and the functions "ts" time series for the original series, "decompose()" for obtaining the trend, seasonality and noise series. The function "arima()" ARIMA (Autoregressive Integrated to Moving Average), was used together with the functions "forecast()" and "HoltWinters()" to estimate the forecast models from the original series. In order to determine which are the characteristic periods within the time series, the functions "aggregate()" and "window()" were used. The results revealed that the macroalgae remain dominant and stable over the years, while the other dominant species, but with less coverage in the mid-coast, have more noticeable fluctuations over the years, because they occur in smaller quantities. At the end of the historical series it was possible to predict, in general, that the upper range has a positive trend in the percentage cover, the intermediate range has a negative trend, and the lower range, a stable trend over the years. In the end, this study could contribute with long-term time series data for ReBentos and the other long-term monitoring stations located in the Southeast region of Brazil to establish a well-documented historical dataset of biodiversity on the Brazilian coast.

RESUMO

Séries temporais, também denominadas séries históricas, são uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico. Estas séries temporais são compostas por três componentes: observado, tendência, sazonalidade e ruído, por fim fazer previsões futuras para as séries. Neste estudo foi realizado a decomposição das séries temporais dos organismos dominantes do médiolitoral do costão rochoso da Estação de monitoramento de longo prazo localizada no Parque Estadual da Ilha Anchieta em Ubatuba, São Paulo. O estudo foi conduzido desde o inverno de 2014 até o inverno de 2019 em amostragens nas estações inverno e verão com $n = 3$ por estação, totalizando 33 coletas ao final da série histórica. A análise estatística de dados foi através da linguagem de programação R a partir dos dados espacial e temporalmente dependentes com os pacotes o pacote TTR e as funções “ts” time séries para as séries originais, “decompose()” para a obtenção das séries de tendência, sazonalidade e ruído. A função “arima()” ARIMA (Autoregressive Integrated to Moving Average), foi utilizada em conjunto com as funções “forecast()” e “HoltWinters()” para a estimação dos modelos de previsão a partir das séries originais. A fim de se determinar quais são os períodos característicos dentro das séries temporais, foi utilizada as funções “aggregate()” e “window()”. Os resultados revelaram que as macroalgas se mantêm dominantes e estáveis ao longo dos anos, enquanto as outras espécies dominantes, mas com menor cobertura no médiolitoral possuem flutuações mais perceptíveis ao longo dos anos, por ocorrerem em menor quantidade. Ao final das séries históricas foi possível prever, de maneira geral, que a faixa superior possui uma tendência positiva no recobrimento percentual, a faixa intermediária possui uma tendência negativa e a faixa inferior, uma tendência estável ao longo dos anos. Ao final, o presente estudo pôde contribuir com dados de séries temporais de longo prazo para a ReBentos e as demais estações de monitoramento de longo prazo localizadas na região Sudeste do Brasil a fim de estabelecer um conjunto de dados histórico bem documentado sobre a biodiversidade na costa brasileira.

1. INTRODUÇÃO

Séries temporais, também denominadas séries históricas, são uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico (Morettin & Toloí 1985) podendo ser contínuas, quando as observações são feitas continuamente no tempo ou discretas, quando as observações são feitas em tempos específicos, geralmente espaçados (Ehlers 2007). Primeiramente, nas análises de séries temporais, deseja-se modelar o fenômeno estudado para após descrever o observado, fazer estimativas e avaliar os fatores que influenciam (Latorre & Cardoso 2001), para realizar previsões para períodos futuros da série. Segundo Diggle, (1992), as séries temporais são compostas por quatro componentes: a série observada, a tendência, a sazonalidade e a variação aleatória, ou ruído.

A tendência, definida por Box, Jenkins & Reinsel (1994) como valores de forte correlação positiva entre os valores da série temporal em pontos próximos e com variância crescente através do tempo. Um dos métodos para se estimar a tendência é analisar o comportamento da série ao redor de um ponto, estimando valores próximos a ele (Morrettin & Toloí 1985). Para estimar a sazonalidade, a qual é definida por Xie & Ding (2020) como a presença de variações que ocorrem em intervalos regulares específicos, deve-se propor um modelo para os componentes sazonais e não-sazonais de uma série temporal e estimar se os parâmetros associados do componente sazonal são significativos (Jaditz 2000). De acordo com Brockwell & Davis, (2016) a variação aleatória, ou ruído, pode ser definida como o erro residual que é a diferença entre o valor da série temporal observada e o valor predito pelo modelo no tempo, estando identicamente distribuída e com média zero.

Para realizar os passos descritos, é importante definir se a série temporal é estacionária ou não, ou seja, uma série estacionária é quando suas características estatísticas (média, variância e autocorrelação) são constantes ao longo do tempo (Maddala & Lahiri 2009). A autocorrelação (ACF) pode ser definida como sendo o grau de dependência entre as observações entre diferentes

tempos ou lags, determinando se essa correlação é dependente ou independente (Brockwell & Davis, 2016). Para modelos de séries estacionárias, ou seja, aquelas livres de tendência e sazonalidade usa-se os modelos ARMA(p,q), àqueles autorregressivos com as médias móveis (MA) , definidas por Hyndman (2009) como séries temporais construídas tomando médias de vários valores sequenciais de outras séries temporais. Entretanto, para modelos de séries não estacionárias, que apresentam tendência e sazonalidade, usa-se os modelos autorregressivos (AR) integrados às medias móveis sendo denominados de modelos ARIMA(p,d,q). Onde: p é o número de termos autorregressivos; d é o número de diferenças não-sazonais para a estacionariedade e, q é o número de lags de erros para a equação predita pelo modelo (Nau, 2014). Uma das técnicas para se estimar as previsões para séries temporais não estacionárias como o modelo ARIMA sazonal (Box & Jenkins, 1990) é a técnica de suavização exponencial desenvolvidas por Winters, (1960) e Holt, (2004) ou seja, o método Holt-Winters para se obter dados de previsão de curto-prazo. Este método de suavização exponencial provém uma estimativa do nível dos seus dados atuais. A suavização é controlada por um parâmetro alpha. O valor de alfa situa-se entre 0 e 1. Valores próximos de 0 significa que pouco peso é dado para as observações mais recentes ao ser fazer a previsão para os dados futuros (Coghlan 2018).

Entender a estrutura das séries temporais no contexto de dados ecológicos se faz relevante pois, no contexto internacional, as séries temporais são muito bem documentadas, possuindo séries temporais extensas, como por exemplo em apresentando séries temporais com o suporte de dados de linha de base (Simkanin et al. 2005), utilizando dados de mais de 50 anos (Thompson, Crowe & Hawkins 2002), 60 anos (Hawkins et. al. 2008), até as mais extensas vistas em Hawkins et. al. (2009), utilizando dados históricos em um total de 140 anos. Estes trabalhos ecológicos de longa duração foram realizados a fim de determinar como as variáveis ambientais essenciais afetam a distribuição e abundância das espécies do médiolitoral em longo prazo (Miloslavich et al. 2017) integrando dados oceanográficos com dados da comunidade para a obtenção da dinâmica costeira

(Zamoner et al. 2021) a fim de prever o comportamento das séries temporais no futuro (Fales & Smith 2022). No contexto brasileiro, existem trabalhos ecológicos de longa duração relevantes envolvendo o monitoramento de impacto sobre o efeito da temperatura superficial da água do mar, uma das variáveis ambientais essenciais relacionadas às mudanças climáticas na ocorrência de branqueamento nos corais da região do nordeste, desenvolvido por Leão et al. (2008, 2010) e sobre a incidência de corais invasivos na costa sudeste através de 11 anos (Da Silva et al. 2014), além de trabalhos do programa PELD-CNPq (Programa Ecológico de Longa Duração) constando com 36 sítios em todo o país (Tabarelli et al. 2013), entretanto nenhum envolvendo ecologia de costões rochosos na costa sudeste.

No contexto do Parque Estadual da Ilha Anchieta, há trabalhos ecológicos realizados no costão rochoso da praia do Engenho por Ghilardi (2007) e Ribeiro (2011). Entretanto, nota-se a ausência de trabalhos ecológicos contendo séries temporais de longo prazo, justificando a relevância do presente trabalho. O objetivo principal deste capítulo foi analisar as séries temporais de dados coletados na estação de monitoramento de longo prazo presente no costão rochoso da praia do Engenho no período do inverno de 2014 até o inverno de 2019, a fim de detectar, a partir da decomposição das séries temporais, ou seja, diferenciando a série observada, a sazonalidade, a tendência e a previsão para os organismos dominantes presentes nas três faixas de zonação do médiolitoral (superior, intermediária e inferior) determinando os períodos relevantes e as interações entre as séries e, a partir da série observada, analisar o comportamento futuro das séries temporais através da tendência e da previsão.

2. MATERIAL E METODOS

Este estudo foi realizado médiolitoral do costão esquerdo da praia do Engenho, localizada no Parque Estadual da Ilha Anchieta (23° 32' 11.7" S, 45° 03'46.2" W), Município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 2). As amostragens foram realizadas em duas estações (inverno e verão) com replicação de $n = 3$ para cada estação desde o inverno de 2014 até o inverno de 2019. Esta metodologia foi realizada através do protocolo de monitoramento de costões rochosos da ReBentos, publicado por Coutinho et al. (2016). De acordo com Fausto et al. (2008) e Latorre & Cardoso, (2001), o desenho amostral e, a natureza dos dados de longo prazo é temporal e espacialmente dependente, o que, segundo os autores, são especialmente adequados para estudos de longo prazo e monitoramento contínuo.

De acordo com o protocolo, a amostragem foi realizada através do método de amostragem não-destrutiva por meio de fotoquadrados obtidos randomicamente na primeira amostragem (inverno de 2014). Em cada fotoquadrado foi extraído os dados de recobrimento percentual, ou seja, a porcentagem relativa de ocorrência das unidades operacionais dominantes (àquelas que sozinha ou unidas alcançam 80% ou mais da porcentagem total do fotoquadrado). O critério de escolha das faixas de ocorrência do médiolitoral foi a presença das unidades operacionais dominantes (Tabela 1). A partir da ocorrência de *Chthamalus bisinuatus* e *Mytilaster solicianus*, *Tetraclita stalactifera* e Macroalgas presentes em três transectos horizontais (superior, intermediário e inferior, respectivamente). A escala dos fotoquadrados foi de 10 x 10 cm para a faixa superior e de 20 x 20 cm nas faixas intermediária e inferior, devido a estas apresentarem um número maior de espécies dominantes em relação a faixa superior.

Para a obtenção das imagens em HD 1080p, foi utilizada a câmera SONY Cyber-shot DSC-TX30 com 5x de zoom óptico e 18,2 megapixels de resolução. Para a obtenção da média de porcentagem de cobertura foi utilizado o método de pontos aleatórios, de acordo com Dethier et al. (1993) via software photoQuad (Trigonys & Sini, 2012). A identificação das unidades

operacionais dominantes foi realizada por especialistas e através da consulta dos principais bancos de dados de algas marinhas AlgaeBase (www.algaebase.org) e o WoRMS (World Register of Marine Species) – www.marinespecies.org a fim de garantir a identificação e verificação de nomenclatura de forma atualizada. Para a identificação morfológica fora utilizado o método de extração *in loco* de poucos exemplares no costão rochoso e eles foram acometidos a sacos plásticos transparentes, devidamente etiquetados e acondicionados em formol 5% e guardados em potes hermeticamente fechados com sacos pretos e transportados para o laboratório de Algas Marinhas “Édison José de Paula” do departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo e posteriormente foram feitas exsicatas as quais foram adicionadas ao herbário do instituto.

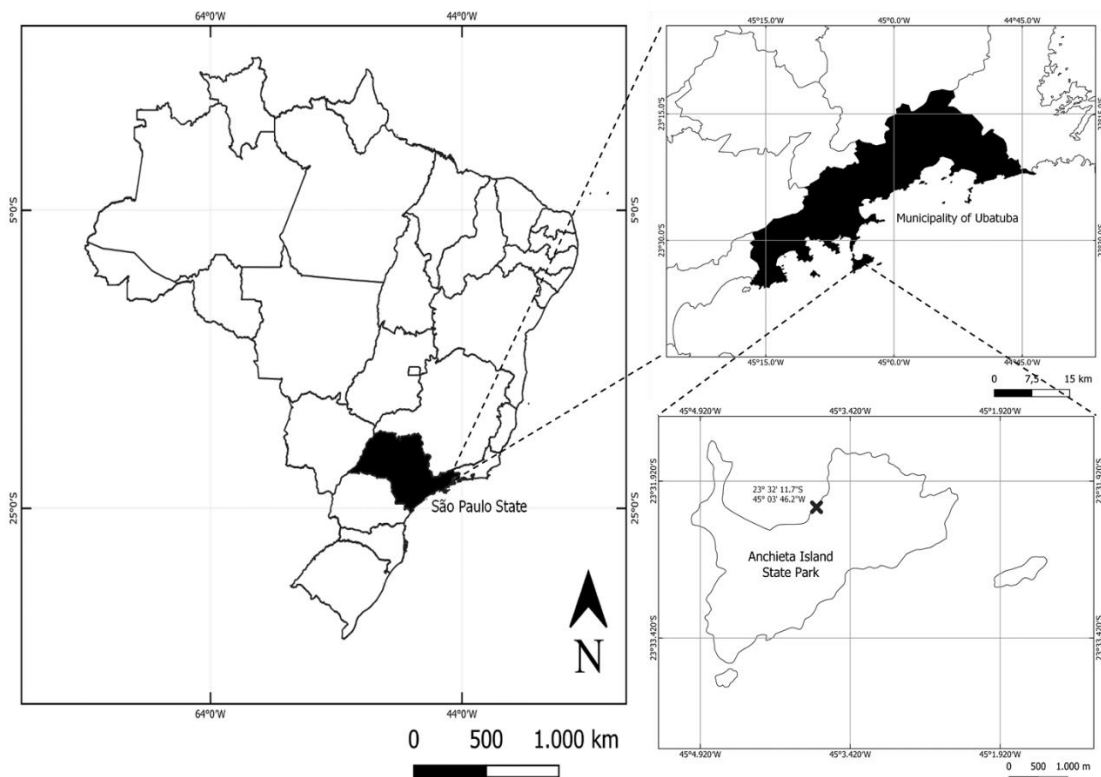


Figura 2. Mapa do local da estação de monitoramento de longo prazo (23°32'11.7" S, 45°03'46.2" W) localizada no costão esquerdo da praia do Engenho no Parque Estadual da Ilha Anchieta, localizado no município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo.

Unidades Operacionais Dominantes	Classificação	Filo	Ordem
Articulated Calcareous Algae (<i>Amphiroa beauvoisii</i> J. V. Lamour and <i>Jania rubens</i> (Linnaeus) J. V. Lamouroux)	Archeplastida	Rhodophyta	Corallinales
<i>Laurencia dendroidea</i> J. Agardh	Archeplastida	Rhodophyta	Ceramiales
<i>Cyanobacteria</i>	Bacteria	Cyanophyta	-
<i>Rhizoclonium riparium</i> (Roth) Harvey	Archeplastida	Chlorophyta	Cladophorales
<i>Sargassum vulgare</i> C. Agarth	Stramenopiles	Ochrophyta	Fucales
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès & Solier	Stramenopiles	Ochrophyta	Scytosiphonales
<i>Padina gymnospora</i> (Kützting) Sonder, 1871	Stramenopiles	Ochrophyta	Dictyotales
'Ectocarpales'	Stramenopiles	Ochrophyta	Ectocarpales
<i>Mytilaster solisianus</i> (d'Orbigny, 1842)	Opisthokonta	Mollusca	Mytilida
<i>Isognomon bicolor</i> (C.B. Adams 1845)	Opisthokonta	Mollusca	Ostreida
<i>Chthamalus bisinuatus</i> (Pilsbry, 1916)	Opisthokonta	Arthropoda	Sessilia
<i>Tetraclita stalactifera</i> (Lamarck, 1818)	Opisthokonta	Arthropoda	Sessilia
<i>Tedania (Tedania) ignis</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864)	Opisthokonta	Porifera	Poecilosclerida
<i>Gelidium microdenticum</i> W.R.Taylor, 1969	Plantae	Rhodophyta	Gelidiales
<i>Centroceras clavulatum</i> (C.Agardh) Montagne, 1846	Plantae	Rhodophyta	Ceramiales
<i>Dictyopteris</i> J.V.Lamouroux, 1809	Chromista	Ochrophyta	Dictyotales

Tabela 1 – Lista das unidades operacionais dominantes encontradas no médiolitoral da estação de monitoramento de longo prazo entre os anos de 2014 e 2019.

1.1. ANÁLISE DE DADOS

O software photoQuad foi utilizado para a quantificação do recobrimento percentual das espécies dominantes). A linguagem de programação R (R Core Team, 2021) foi utilizada para a obtenção da decomposição das séries temporais não estacionárias, foi utilizado o pacote TTR e as funções “ts” time séries para as séries originais, “decompose()” para a obtenção das séries de tendência, sazonalidade e ruído. A função “arima()” ARIMA (Autoregressive Integrated to Moving Average), foi utilizada em conjunto com as funções “forecast()” e “HoltWinters()” para a estimação dos modelos de previsão a partir das séries originais. A fim de se determinar quais são os períodos característicos dentro das séries temporais, foi utilizada as funções “aggregate()” e “window()”.

3. RESULTADOS

3.1. DECOMPONDO AS SÉRIES TEMPORAIS

3.1.1 Séries Temporais Observadas

As series observadas das unidades operacionais dominantes da faixa superior do médiolitoral (Figura 3) mostram a média de cobertura de Espaço vazio de cor roxo, *Chthamalus bisinuatus* (Pilsbry, 1916) de cor azul, Cianobactéria, de cor verde e *Mytilaster solicianus* (d'Orbigny, 1842) de cor vermelho. A série observada do Espaço Vazio (Figura 3 - roxo), considerado um atributo da comunidade, como visto em (Sandy et al., -em submissão) mostrou uma queda na cobertura do verão de 2015 para o verão de 2016, após este período uma queda da cobertura entre 46,4% e 16,4% ao final do inverno de 2019. A serie observada de *Chthamalus bisinuatus* (Figura 3- azul) mostra um aumento na cobertura durante os seis primeiros meses, variando de 22% no início do inverno de 2014 para 47,2% no verão de 2015, seguido por uma diminuição até o verão de 2017, alcançando a maior média de cobertura no inverno de 2019 com 59.6%. A série observada de Cianobactéria (Figura 3 - verde), pode-se notar um aumento na

cobertura entre o verão de 2015 e o inverno de 2017, obtendo flutuações na cobertura até o final da série com menos de 10%. A série observada de *Mytilaster solicianus* (Figura 3 - vermelho), revelou não haver registro desta unidade operacional presente nesta faixa até o verão de 2017, observando em seguida um aumento na cobertura de 3.6% no inverno de 2017 para 29.2% no inverno de 2019.

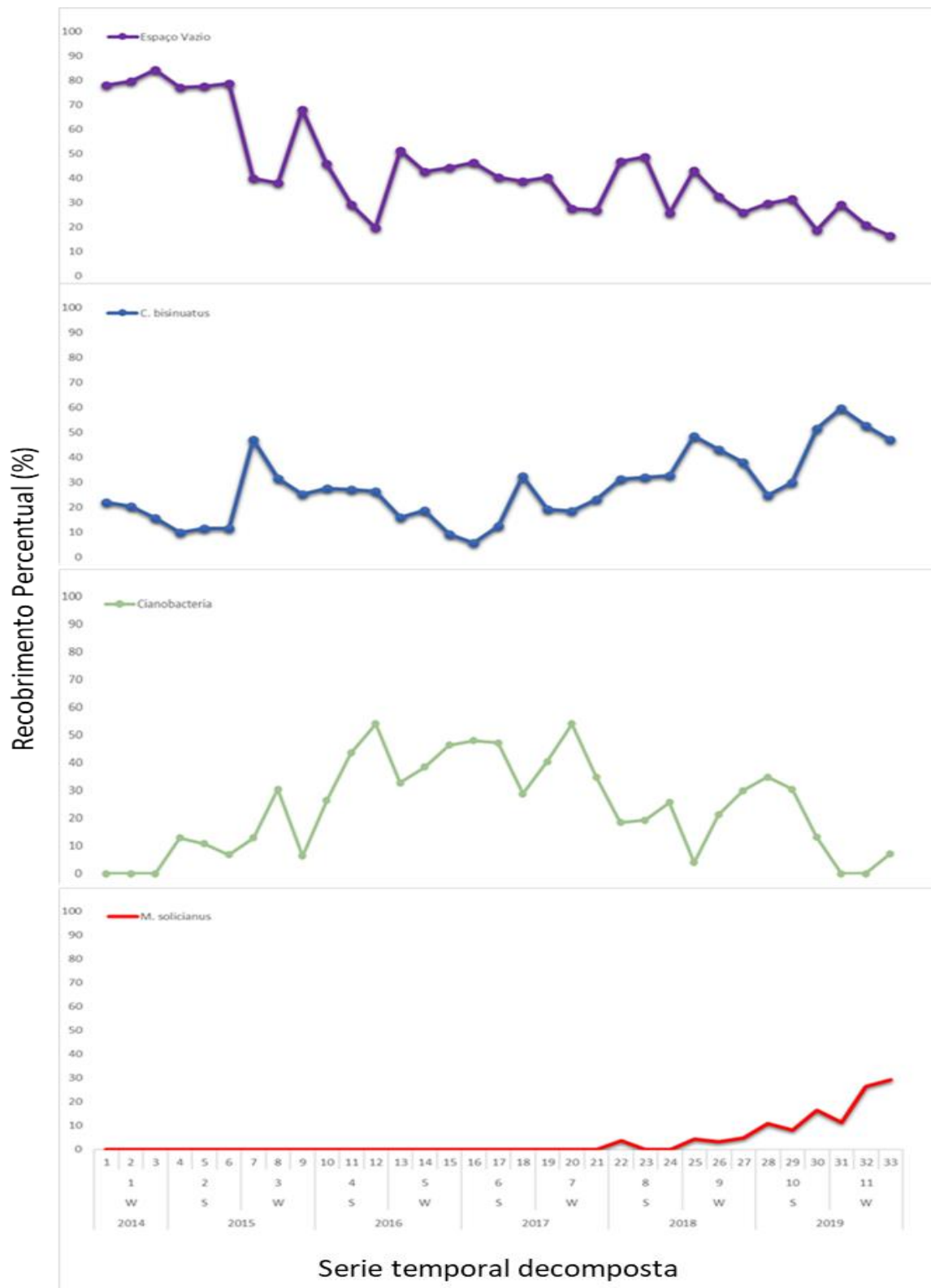


Figura 3. Decomposição das series temporais observadas a partir da média do recobrimento percentual das unidades operacionais presentes na faixa superior do médiolitoral entre os anos de 2014 até 2019. A decomposição para as series observadas foi aplicada para o modelo linear com modelos sazonais. Espaço vazio (série temporal roxa); *C. bisinuatus* (série temporal azul); Cianobactéria (série temporal verde) e *M. solicianus* (série temporal vermelha).

As series observadas para as unidades operacionais dominantes presentes na faixa intermediária (Figura 4) mostram a média de cobertura de *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818), Algas Calcáreas Crostosas, Biofilme, *Gelidium microdenticum* W.R. Taylor, 1969, e de *Centroceras clavulatum* (C. Agardh) Montagne, 1846. A série temporal de *T. stalactifera* (Figura 4 - azul) revelou uma queda abrupta na cobertura do inverno de 2014 até o verão de 2015 seguido por um aumento para 42% no verão de 2016. Durante dois anos, entre o verão de 2016 para o verão de 2018, a cobertura variou entre 34.4% para 4.8% no verão de 2018 e, variou entre 10.8% para 34% no final desta série.

A série temporal das Algas Calcárias Crostosas (Figura 4 - verde) revelou variações na cobertura desde o inverno de 2014, alcançando seu valor mais elevado de 28% no verão de 2017. A série temporal do Biofilme (Figura 4 - vermelho) revelou uma ausência de cobertura no primeiro ano seguido por um aumento para 12,4% no inverno de 2015 para cair para 0% no inverno de 2016, alcançando seu valor mais elevado na série de 35.2% no inverno de 2019.

A série temporal de *G. microdenticum* (Figura 4 - roxo) revelou uma ausência de cobertura por um ano, seguido de variações entre 0% para 23.2% durante um período de dois anos, alcançando o valor mais elevado de 62.4% no inverno de 2019. A série temporal de *C. clavulatum* (Figura 4 - laranja) revelou uma ausência de cobertura no primeiro ano, sendo seguida por variações próximas de 29.6% no verão de 2016, alcançando seu valor mais elevado de 37.6% no verão de 2019.

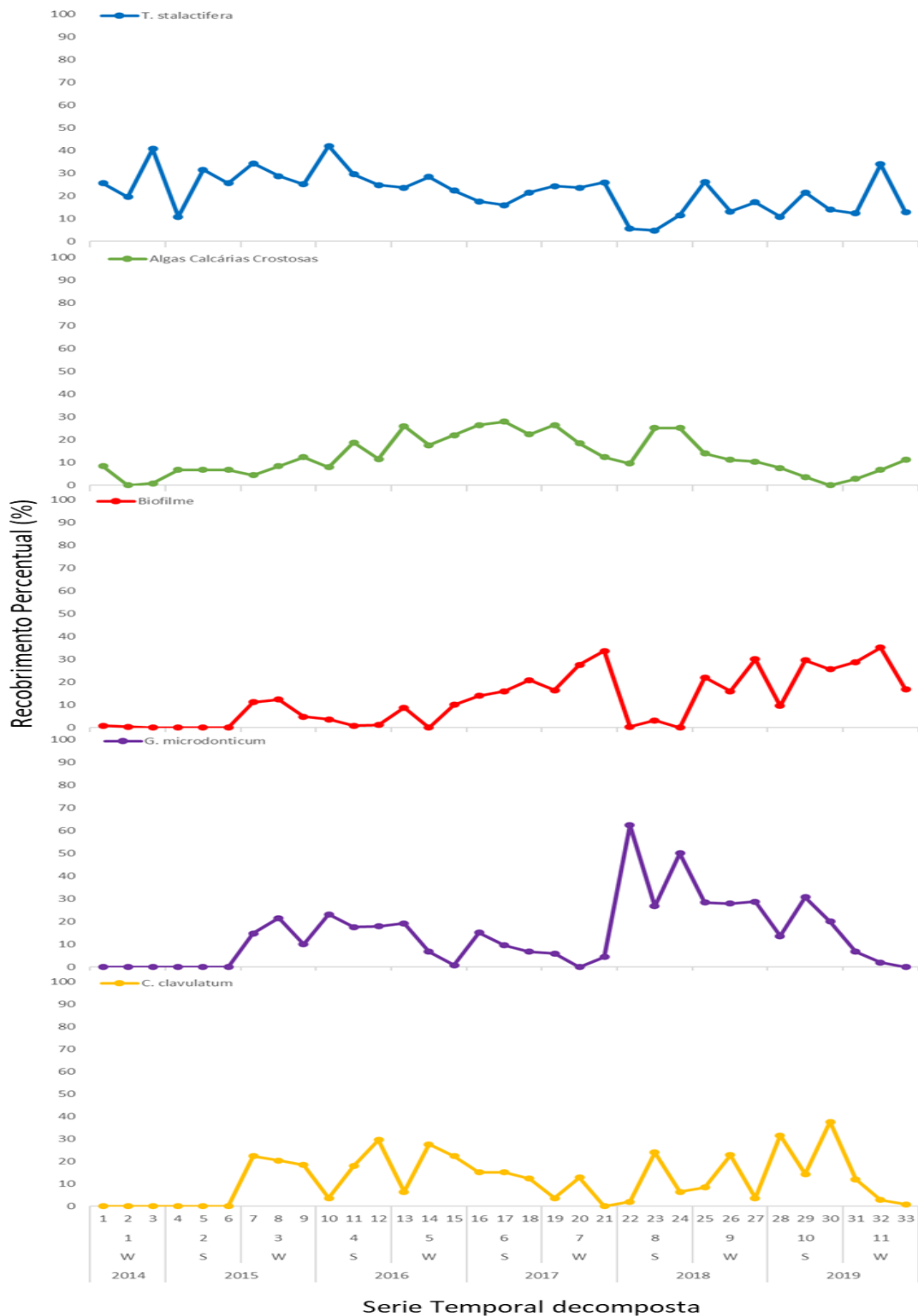


Figura 4. Decomposição das séries temporais observadas a partir da média do recobrimento percentual das unidades operacionais dominantes presentes na faixa intermediária entre o inverno de 2014 e o inverno de 2019. A decomposição foi aplicada para os modelos lineares com modelos sazonais. *T. stalactifera* (série temporal azul), Algas Calcárias Crostosas (série temporal verde); Biofilme (série temporal vermelha); *G. microdenticum* (série temporal roxo) e *C. clavulatum* (série temporal laranja).

As series temporais observadas referentes às unidades operacionais dominantes presentes na faixa inferior (Figura 5) a partir da presença das Algas Calcárias Articuladas, uma associação de *Jania rubens* e *Amphiroa* sp., *Dictyopteris* sp., *Centroceras clavulatum*, *Gelidium microdenticum* e Algas Calcárias Crostosas. A série observada relacionada às Algas Calcárias Articuladas (Figura 5 - azul) revelou um aumento na cobertura no inverno de 2014 de 32.2% para 71.8% seguido de uma queda chegando a 10.8% no inverno de 2016, alcançando o valor mais elevado de 72% para depois cair para 5.6% no inverno de 2017. Entre o verão de 2018 até o final da série observada, a cobertura variou entre 22.4% e 69.2%.

A série observada de *C. clavulatum* (Figura 5 - verde) revelou a ausência deste organismo durante o primeiro ano. No inverno de 2017, a cobertura alcançou seu valor mais elevado de 76% seguida de uma queda acentuada para 2% no verão de 2018, conseguindo 20% ao final da série. A série observada de *G. microdenticum* (Figura 5 - laranja) também revelou ausência durante o primeiro ano, seguida de picos de cobertura durante períodos específicos (verão de 2016 - 22%; verão de 2017 - 18,4%, inverno de 2017 - 22,8% e inverno 2018 - 29,6%), entretanto, a cobertura chegou a 0% ao final da série.

Em relação à serie observada das Algas Calcarias Crostosas (Figura 5 - verde), houve um aumento na cobertura, alcançando seu valor mais elevado de 18.8% no inverno de 2016, sendo seguida por variações entre 0.4% e 10.8% até o final da série. A série observada de *Dictyopteris* sp. (Figura 5 - roxo) revelou uma ausência do organismo durante o primeiro ano, com seu recobrimento atingindo seu maior valor de 26.6% e, conseqüente o menor valor de 1.6% no inverno de 2017, variando em cobertura entre 23.6% e 6.8% ao longo da série temporal.

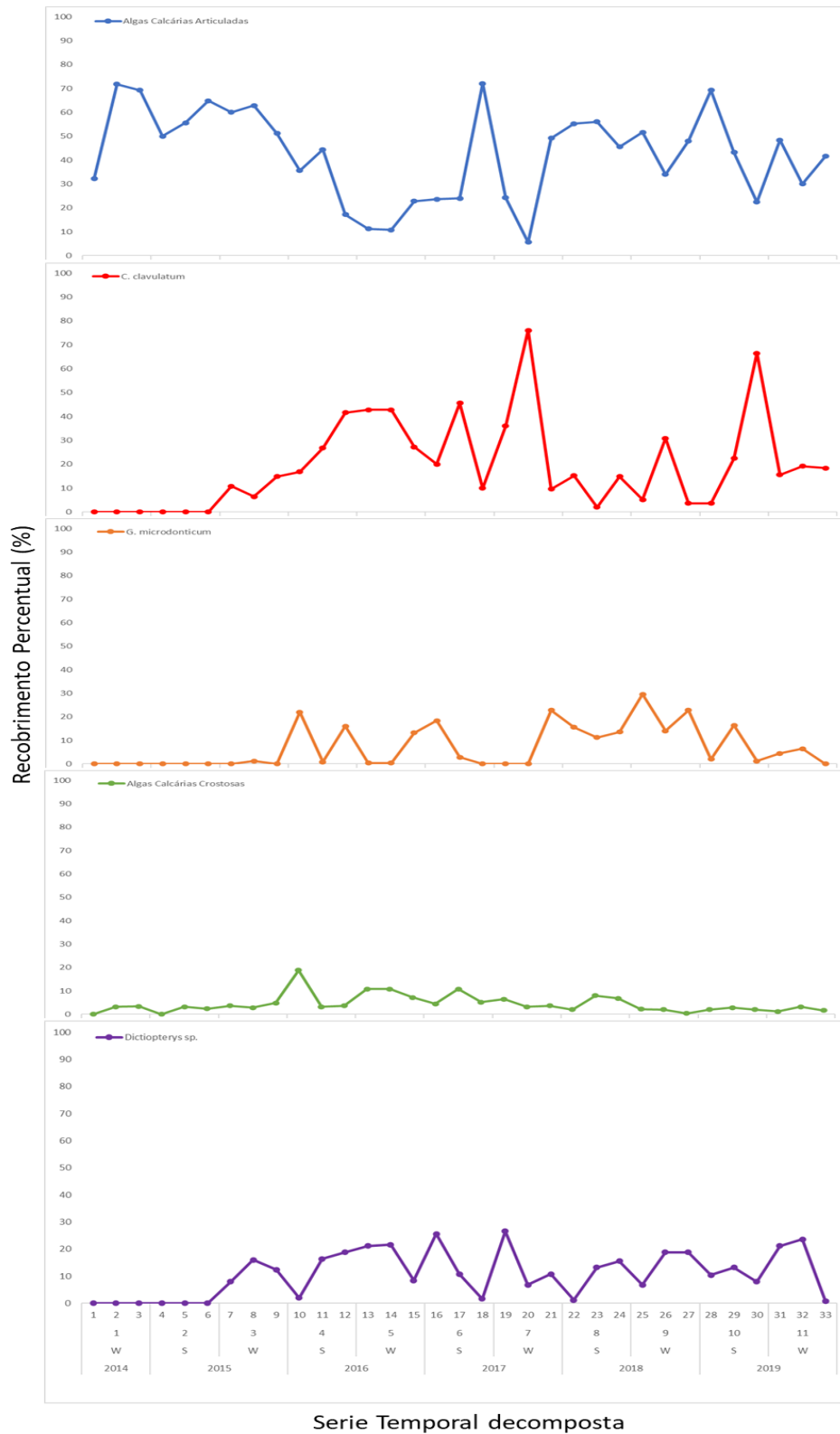


Figura 5. Decomposição das series temporais observadas relacionadas às unidades operacionais dominantes presentes na faixa inferior entre o período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. A decomposição foi aplicada para os modelos lineares com modelos sazonais. Algas Calcárias Articuladas (série temporal azul); *C. clavulatum* (série temporal vermelha); *G. microdonticum* (série temporal laranja); Algas Calcárias Crostosas (série temporal verde) e *Dictyopterys* sp. (série temporal roxa).

3.1.2. Séries Temporais de Tendência

As séries temporais de tendência para os organismos dominante pertencentes ao mediolitoral superior (Figura 6A) revelaram para *C. bisinuatus* duas tendências positivas na cobertura, sendo no inverno de 2015 e no inverno de 2019 e uma tendência negativa no verão de 2017. Para a série de Espaço vazio (Figura 6B) revelou uma tendência negativa partindo de 76% para menos de 26%. A série de Cianobacteria (Figura 6C) revelou uma tendência positiva na cobertura deste organismo do verão de 2015 para o inverno de 2016, seguida de uma queda do inverno de 2017 até o final da série. A série de *M. solicianus* (Figure 6D) revelou uma tendência positiva a partir de 2017 até o final da série temporal.

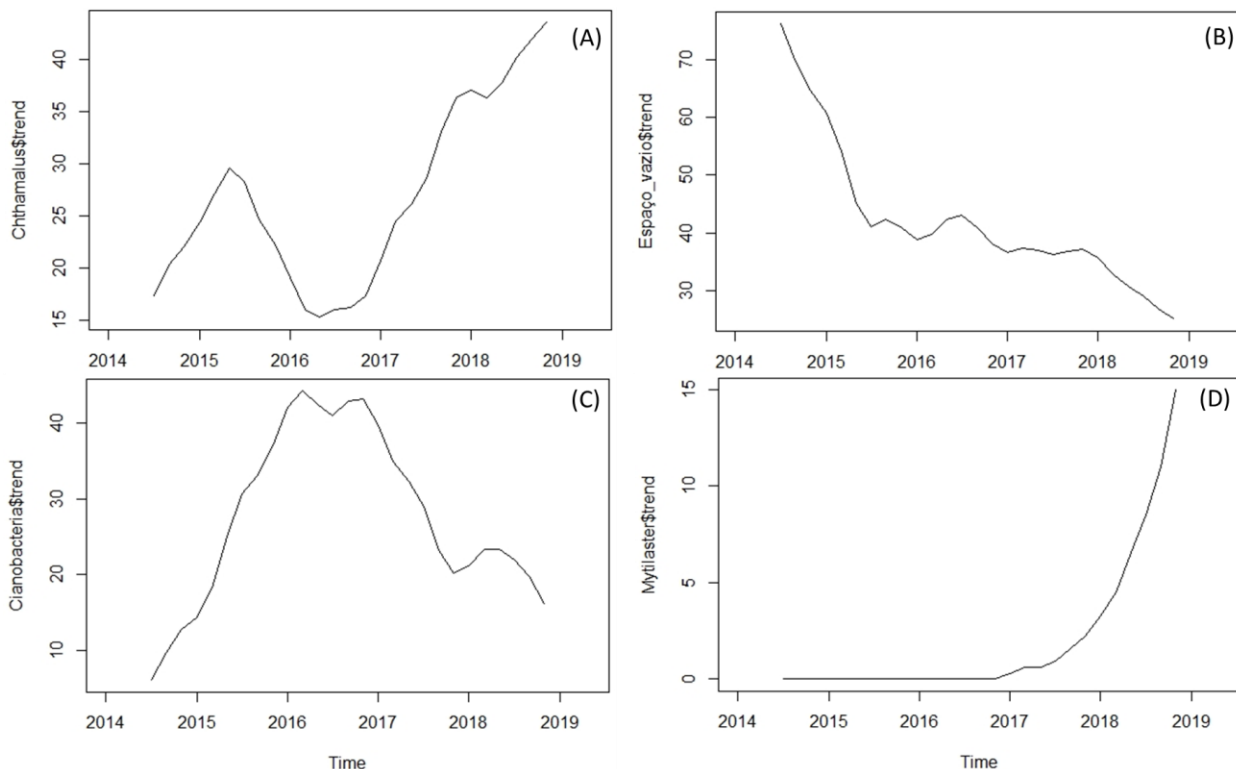


Figura 6. Séries temporais de tendência das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral superior entre o período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Chthamalus* (A), Espaço vazio (B), Cianobacteria (C) e *Mytilaster* (D).

As series de tendência para a faixa intermediária do médiolitoral (Figura 7A) revelou para *T. stalactifera* uma tendência positiva na cobertura em 2015 seguida por uma tendência negativa até 2018. A série para Algas Calcárias Crostosas (Figura 7B) revelou uma tendência positiva na

cobertura de 2014 até 2017 seguida por uma tendência negativa até 2019. A série para *Centroceras* (Figura 7C) revelou uma tendência positiva de 2014 até 2016 seguido por uma tendência negativa em 2017 e positiva novamente no último ano da série. A série para Biofilme (Figura 7D) revelou tendência positiva até o final da série temporal contendo dois declínios, 2016 e 2018. Já a série de *Gelidium* (Figura 7E) revelou duas tendências positivas de crescimento da cobertura no final de 2015 e em 2018, seguida de duas quedas após estes períodos.

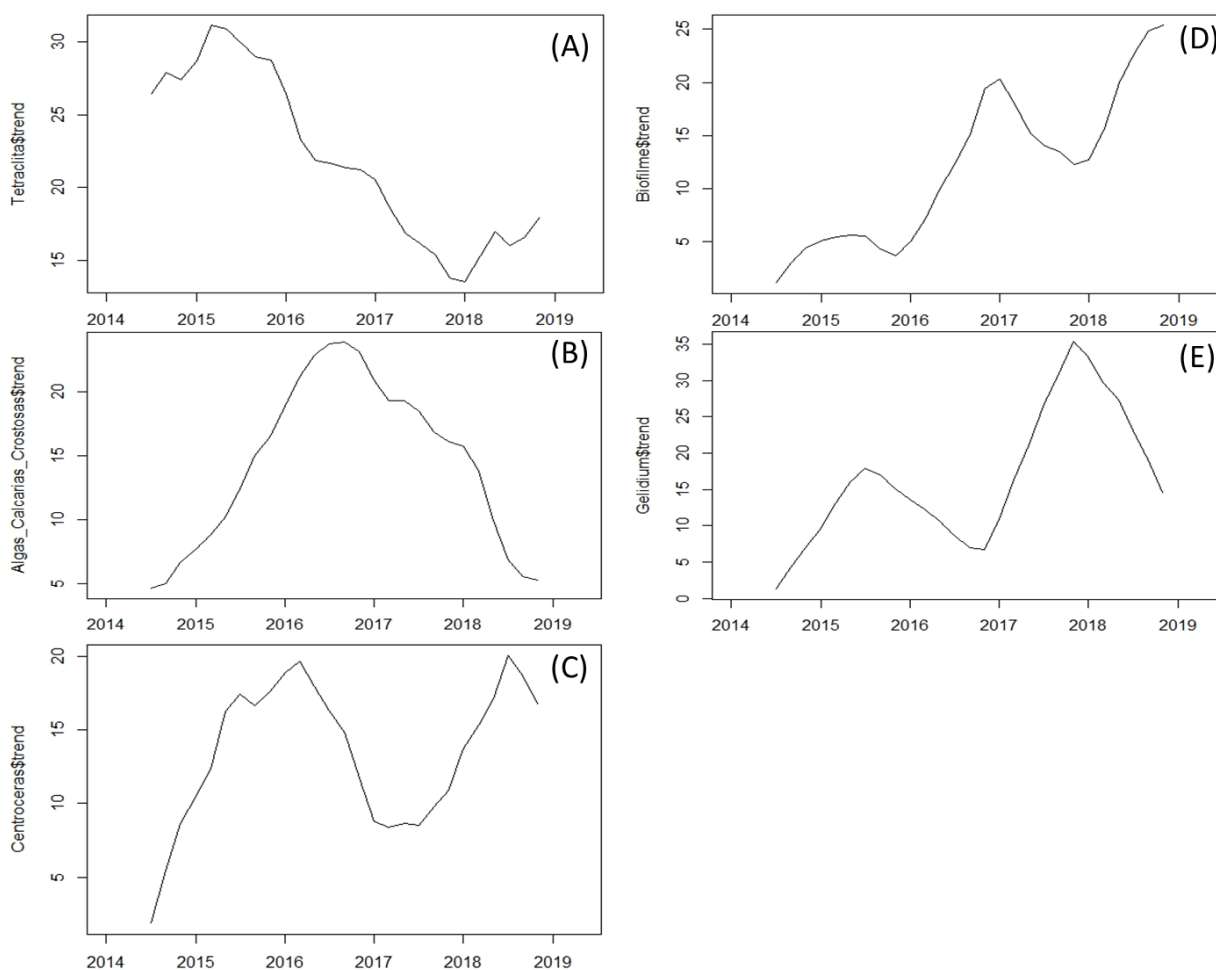


Figura 7. Séries temporais de tendência das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral intermediário entre o período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Tetracilita* (A), Algas Calcárias Crostosas (B), *Centroceras* (C), Biofilme (D) e *Gelidium* (E).

A série de tendência para a faixa inferior do médiolitoral (Figura 8) revelou para a série das Algas Calcárias Articuladas (Figura 8A) uma tendência negativa na cobertura de 2014 para 2016 seguido por uma tendência positiva estável até 2018.

A série para as Algas Calcárias Crostosas (Figura 8B) revelou tendência positiva na cobertura de 2014 até 2016 seguido de uma tendência negativa até 2019. A série para Biofilme (Figura 8C) revelou uma tendência positiva até o fim da série com dois declínios, 2016 e 2018. A série para *Dictyopteris* (Figura 8D) revelou tendência positiva estável de 2014 até 2016, seguida de uma tendência negativa até 2018 e um aumento novamente em 2019. A série para *Centroceras* (Figura 5E) revelou uma tendência positiva entre 2014 e 2017 seguida por uma tendência negativa em 2018 e novamente positiva no último ano da série temporal.

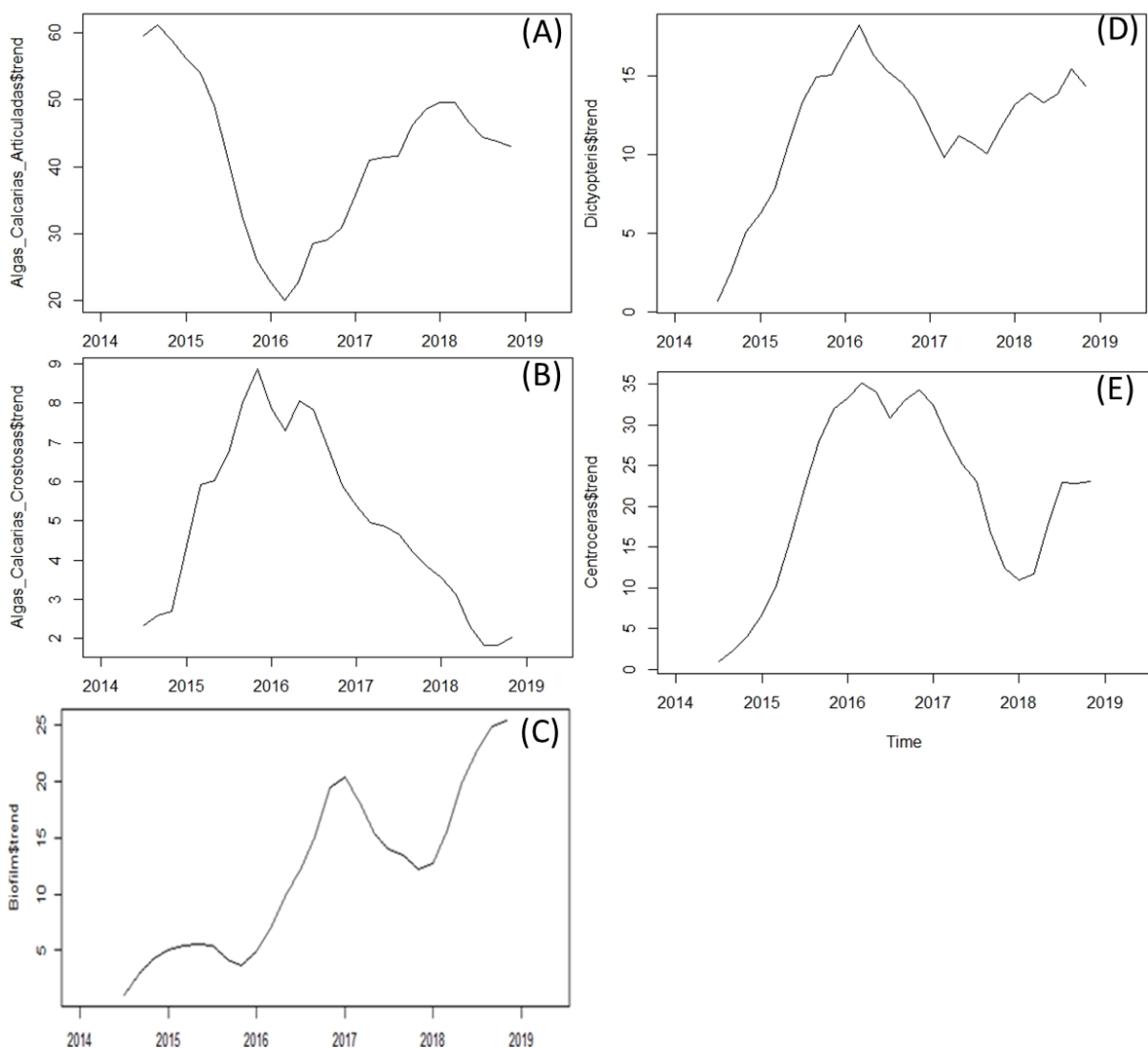


Figura 8. Séries temporais de tendência das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral inferior no período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. Algas Calcárias Articuladas (A), Algas Calcárias Crostosas (B), Biofilme (C), *Dictyopteris* (D) e *Centroceras* (E).

3.1.3. Séries Temporais Sazonais

As séries temporais sazonais referentes à faixa superior do médiolitoral (Figura 9) revelaram uma variação cíclica na cobertura dos organismos durante as estações estudadas, inverno e verão. Em relação à série sazonal de *Chthamalus* (Figura 9A) revelou uma diminuição na cobertura no inverno e aumento no verão. Para a série do Espaço vazio (Figura 9B) observou-se uma diminuição no meio do inverno seguido de um aumento no meio do verão. A série de Cianobactéria (Figura 9C) revelou dois aumentos na cobertura no verão seguido de quedas sequenciais no inverno. A série de *Mytilaster* (Figura 9D) revelou uma diminuição na cobertura durante o inverno, seguida de um aumento no início do verão.

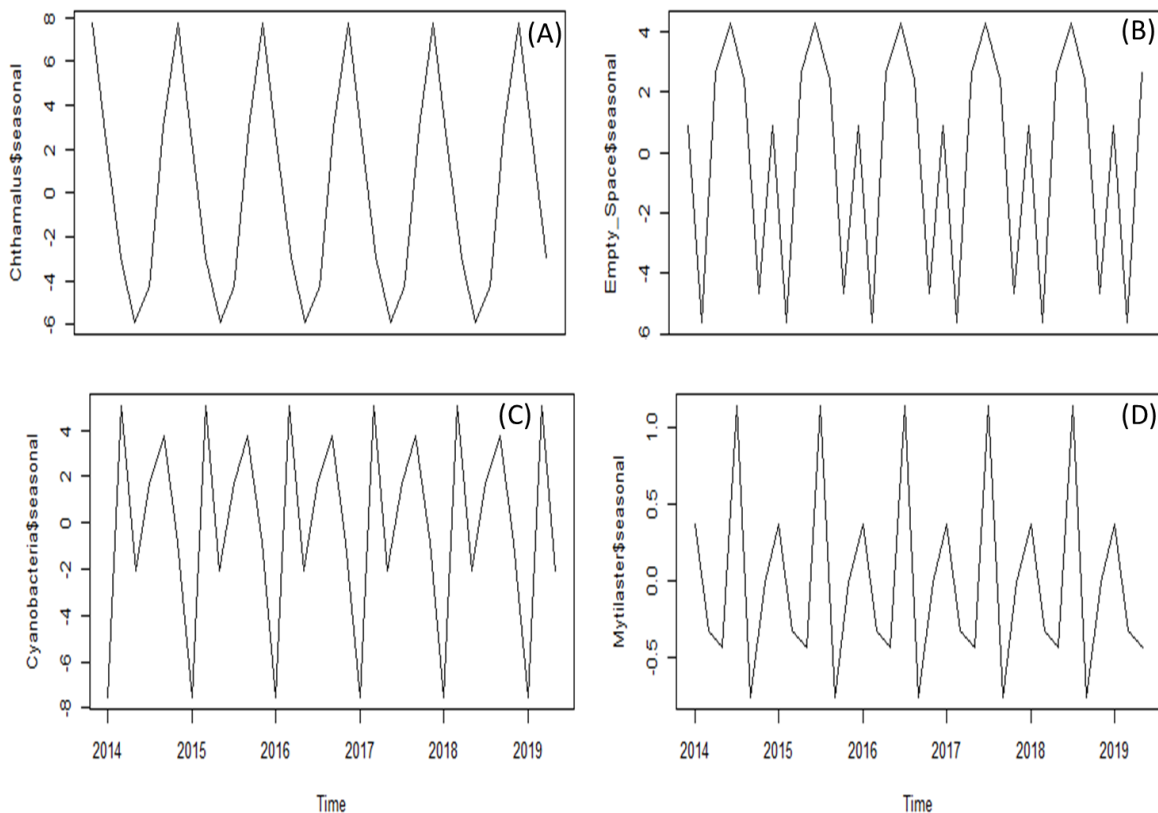


Figura 9. Séries temporais sazonais das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral superior entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Chthamalus* (A), Espaço Vazio (B), Cianobactéria (C) e *Mytilaster* (D).

A série sazonal da faixa intermediária (Figura 10) revelou, para *Tetraclita* (Figura 10A) uma diminuição da cobertura sobre o inverno até o início do verão. A série Algas Calcárias Crostosas (Figura 10B) revelou uma diminuição na cobertura no meio do inverno, seguida por um aumento no meio do verão. A série de Biofilme (Figura 10C) revelou alguns aumentos na cobertura durante o inverno e diminuição no verão sequencialmente. A série de *Gelidium* (Figura 10D) revelou uma diminuição seguida por um aumento no mesmo inverno seguida de uma diminuição da cobertura durante o verão. A série de *Centroceras* (Figura 10E) revelou dois aumentos de cobertura, no início do inverno e verão, e duas quedas, no final do inverno e verão.

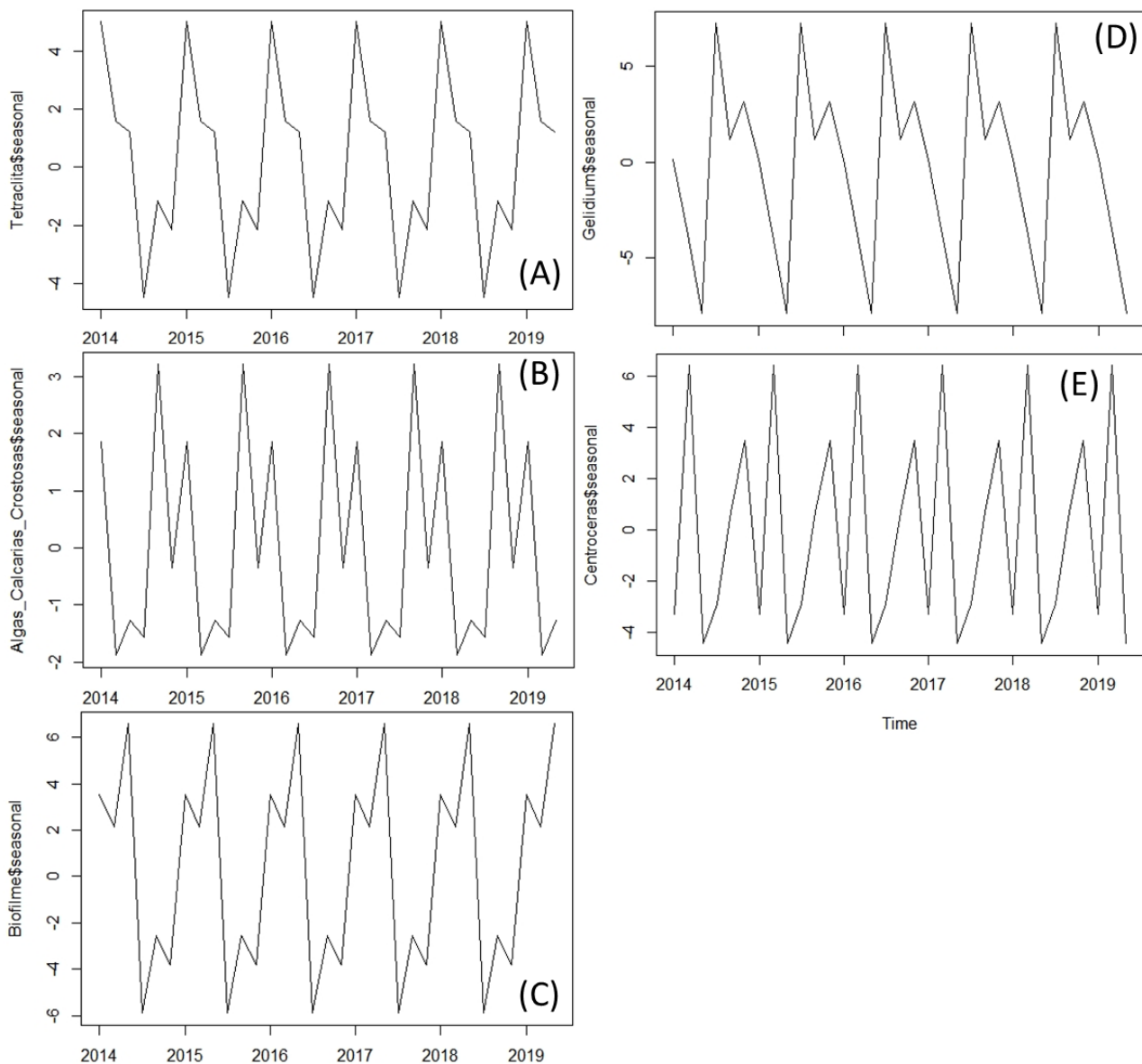


Figura 10. Séries temporais sazonais das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral intermediária entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. *Tetraclita* (A), Algas Calcárias Crostosas (B), Biofilme (C) *Gelidium* (D) e *Centroceras* (E).

A série sazonal da faixa inferior do médiolitoral (Figura 11) revelou o aumento e a diminuição da cobertura ao longo das estações, inverno e verão. A série de Algas Calcárias Articuladas (Figura 11A) revelou uma diminuição da cobertura no início do inverno, seguida por um aumento desde o fim do inverno até o verão. A série referente às Algas Calcárias Crostosas (Figura 11B) revelou uma diminuição durante o inverno, seguida por um aumento no meio do verão. A série do Biofilme (Figura 11C) revelou alguns aumentos na cobertura durante o inverno e diminuição no verão sequencialmente. A série de *Dictyopteris* (Figura 11D) revelou uma

diminuição na cobertura durante o inverno, seguida por um aumento no final do verão. A série de *C. clavulatum* (Figura 11E) revelou um aumento da cobertura no início do inverno seguido de uma diminuição no início do verão.

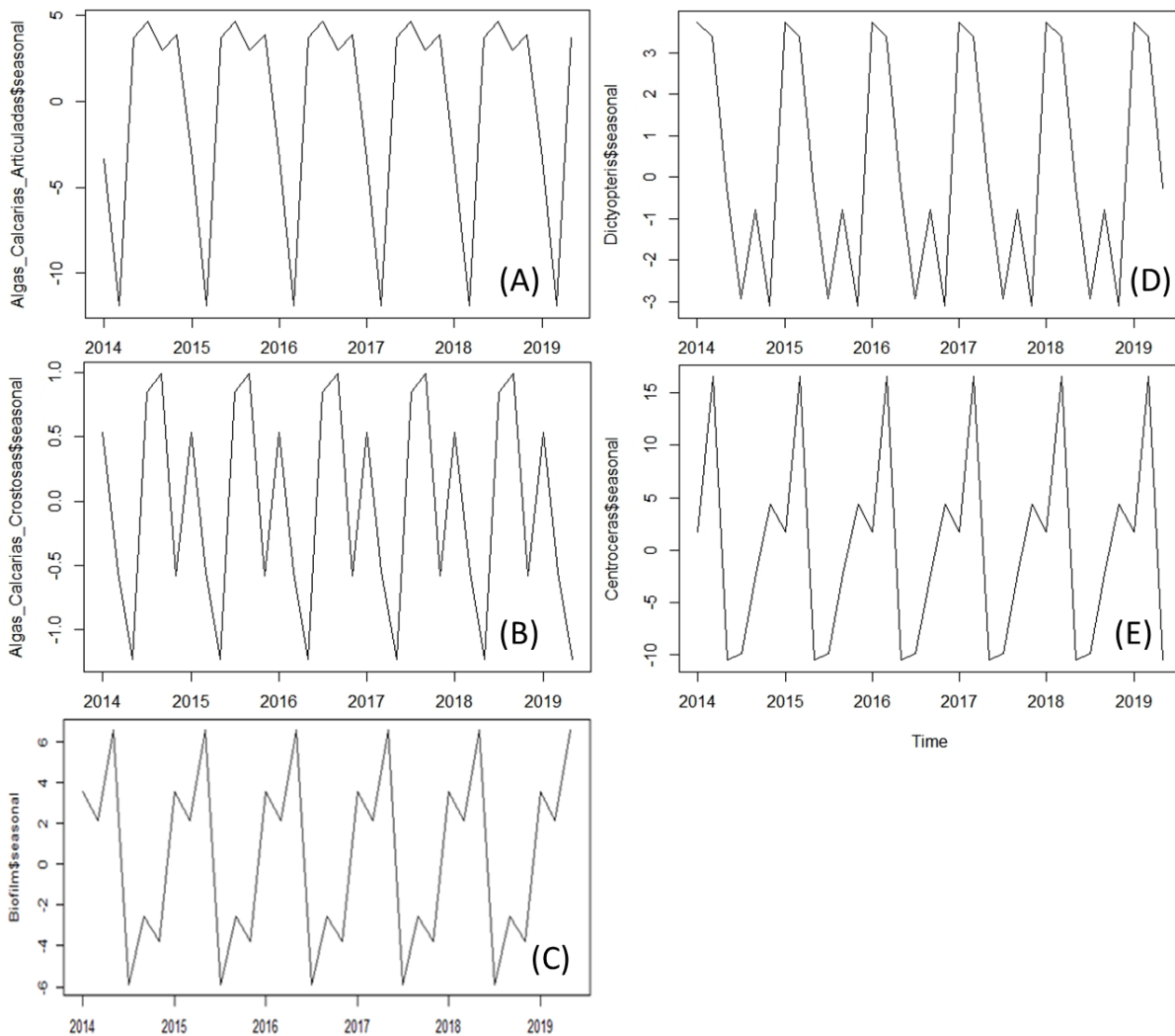


Figura 11. Séries temporais sazonais das unidades operacionais dominantes presentes na faixa do mediolitoral inferior entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. Algas Calcárias Articuladas (A), Algas Calcárias Crostosas (B), Biofilme (C) *Dictyopteris* (D) e *Centroceras* (E).

3.1.4. Séries Temporais de Previsão

A série de previsão da faixa superior (Figura 12) revelou as amostragens seguintes para cada espécie relacionada ao verão de 2020. As barras cinzas representam o intervalo de confiança com 0,05 e 0,01 de probabilidade respectivamente. A série *Chthamalus* (Figura 12A) revelou um aumento da cobertura de 55,1% para 63,9%. A série de Espaço Vazio (Figura 12B) revelou uma queda da cobertura de 21% para 16,7%. A série de Cianobacteria (Figura 12C) revelou uma queda da cobertura de 0,7% para 0%. A série de *Mytilaster* (Figura 12D) revelou um aumento da cobertura de 22,5% para 35,5%. Em termos gerais para esta faixa, as séries de *Chthamalus* e *Mytilaster* revelaram uma tendência ao aumento da cobertura na faixa superior, enquanto o Espaço Vazio e Cianobactérias a uma diminuição na cobertura, ou seja, com o aumento das faixas de *Chthamalus* e *Mytilaster*, o espaço vazio fora com o tempo ocupado por estas unidades operacionais dominantes.

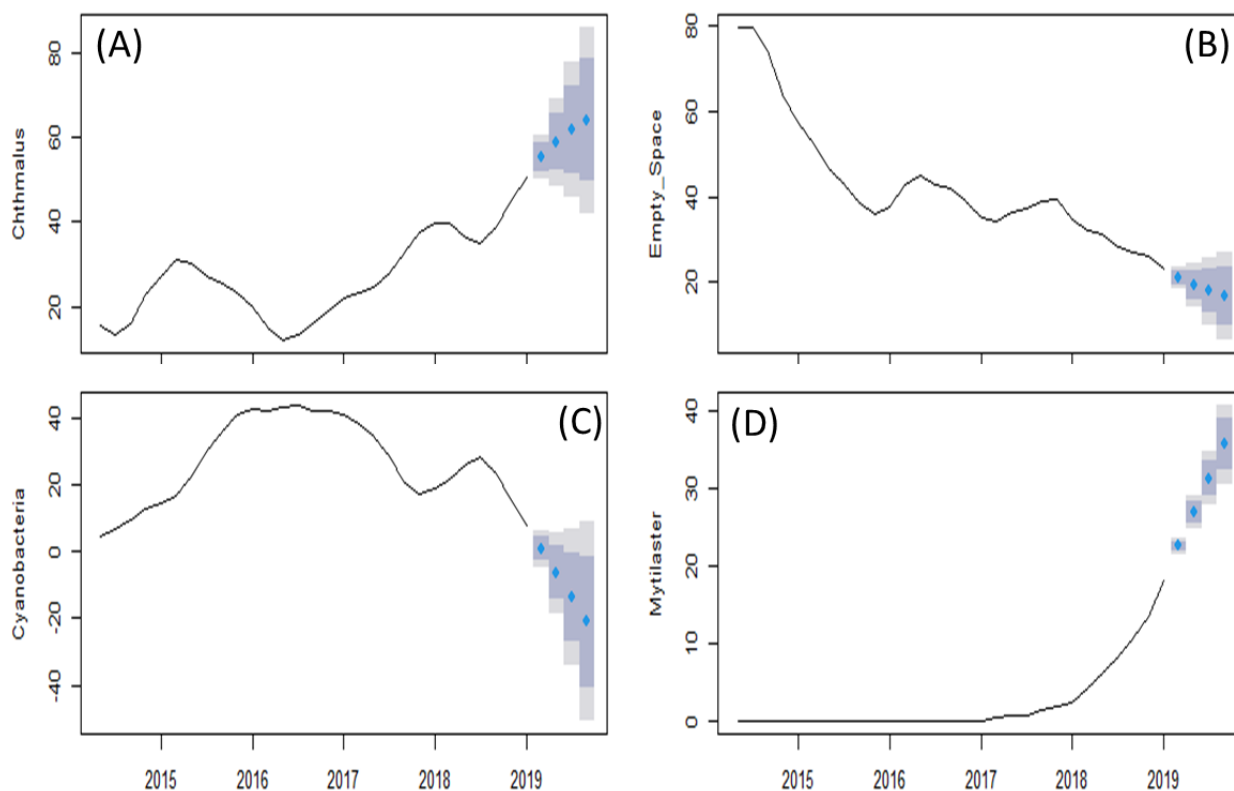


Figura 12. Séries temporais de previsão das unidades operacionais dominantes presentes na faixa superior do médiolitoral no período entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. Os pontos azuis referem-se às coletas de 2020 e as barras cinzas ao intervalo de confiança de $p < 0.05$ e $p < 0.01$, respectivamente. *Chthmalus* (A); Espaço vazio (B); Cianobacteria (C) e *Mytilaster* (D).

A série de previsão para a faixa intermediária do médiolitoral (Figura 13) revelou para a série da *Tetraclita* (Figura 13A) um aumento da cobertura de 20,8% para 23,6%. A série das Algas Calcárias Crostosas (Figura 13B) revelou um aumento da cobertura de 4,9% para 6,3%. A série do Biofilme (Figura 13C) revelou uma cobertura estável de 28,1%. A série do *Gelidium* (Figura 13D) revelou uma queda da cobertura de 6,8% para 0%. A série de *Centroceras* (Figura 13D) apresentou uma queda de 11,2% para 3,9%. Para a faixa intermediária, apenas *Tetraclita*, Algas Calcárias Crostosas revelaram um aumento de cobertura esperado para o verão e inverno de 2020.

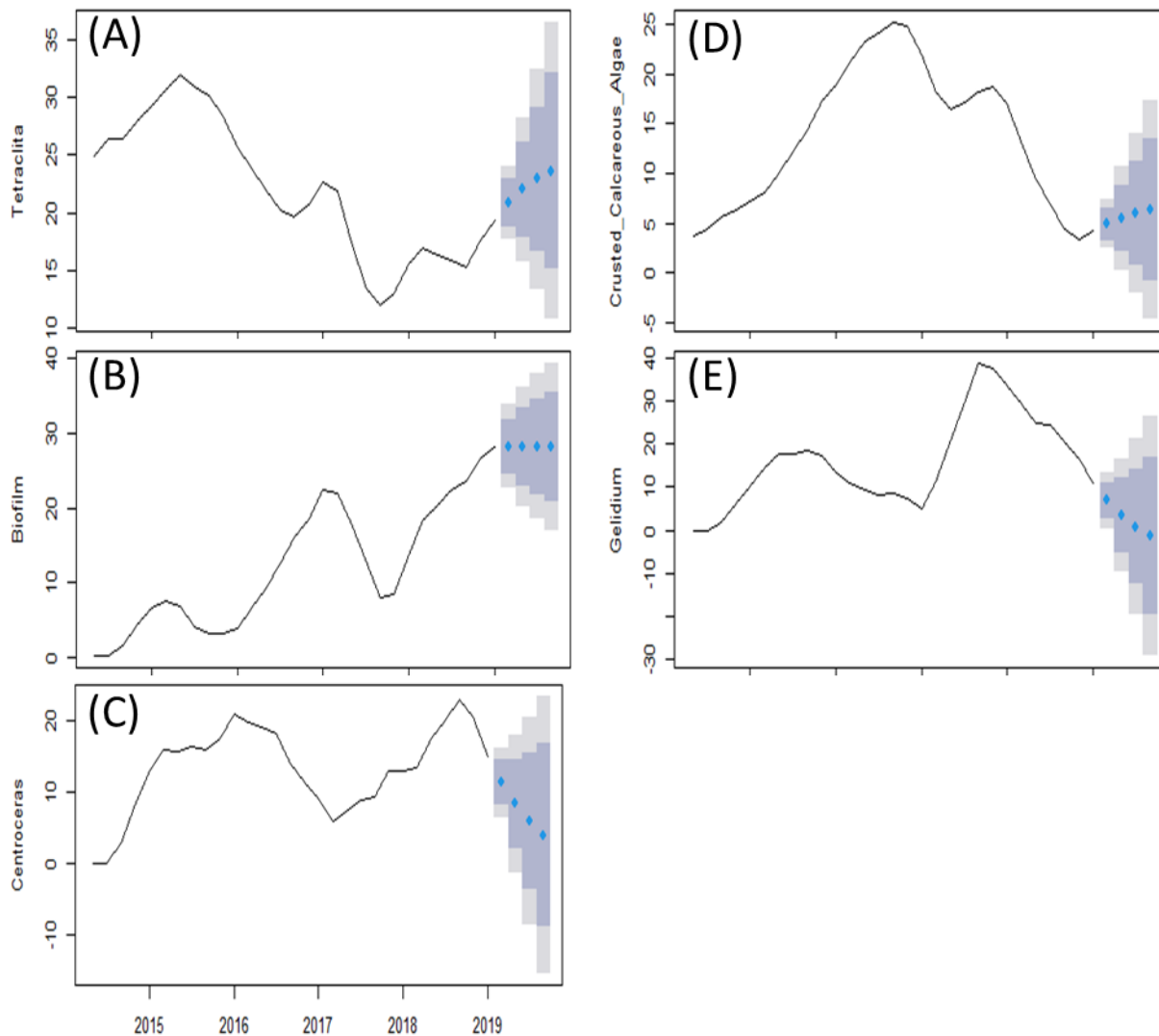


Figura 13. Séries temporais de previsão das unidades operacionais dominantes presentes na faixa intermediária do médiolitoral no período entre o inverno de 2014 até o inverno de 2019. Os pontos azuis referem-se às coletas de 2020 e as barras cinzas ao intervalo de confiança de $p < 0.05$ e $p < 0.01$, respectivamente. *Tetraclita* (A); Algas Calcárias Crostosas (B); Biofilme (C); *Gelidium* (D) e *Centroceras* (E).

A série de previsão para a faixa inferior do médiolitoral (Figura 14) revelou para a série das Algas Calcárias Articuladas (Figura 14A) uma queda da cobertura de 30,6% para 13,3%. A série do *Gelidium* (Figura 14D) também indica uma queda na cobertura, de 3,5% para 0%. As séries de *Dictyopteris* (Figura 14B) e *Centroceras* (Figura 14E) mostram uma cobertura estável acima de 14,9% e 30,3%, respectivamente. A série das Algas Calcárias Crostosas (Figura 14C) foi a única que revelou um aumento da cobertura de 4,9% para 6,3% esperado para o verão e inverno de 2020.

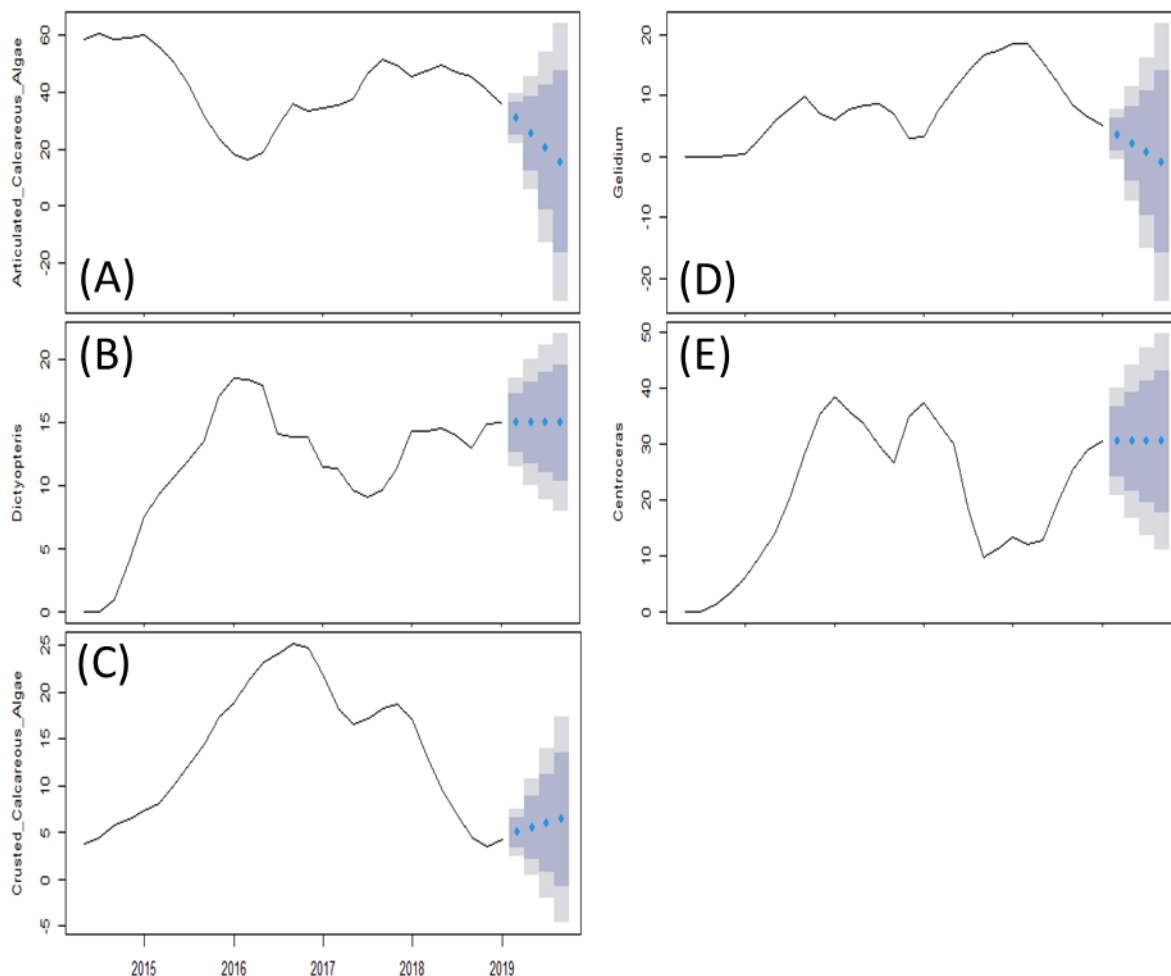


Figura 14. Séries temporais de previsão referente às unidades operacionais dominantes presentes na faixa inferior do médiolitoral entre período do inverno de 2014 até o inverno de 2019. Os pontos azuis referem-se às coletas de 2020 e as barras cinzas ao intervalo de confiança de $p < 0.05$ e $p < 0.01$, respectivamente. Algas Calcárias Articuladas (A); *Dictyopteris* (B); Algas Calcárias Crostosas (C), *Gelidium* (D) e *Centroceras* (E).

4 DISCUSSÃO

Este estudo propôs a caracterização das séries temporais para cada organismo dominante presente nas três faixas de zonação do médiolitoral (superior, intermediária e inferior) da estação de monitoramento localizada no Parque Estadual da Ilha Anchieta, a partir da decomposição, ou seja, diferenciando a série observada, a sazonalidade, a tendência e a previsão, a fim de determinar os períodos relevantes e suas interações.

Séries temporais para estudos ecológicos para ecossistemas bentônicos já foram registradas anteriormente a este trabalho como, para o litoral norte do Estado de São Paulo o estudo sazonal

da alga vermelha *Pterocladia capillacea* (Gelidiales, Rhodophyta) Oliveira & Berchez (1993) e a distribuição vertical dos organismos dominantes do médiolitoral (Oliveira e Paula, 1983), Embora em outra região, tem grande relevância as séries temporais sobre branqueamento de recifes de corais realizados na região de Abrolhos (Leão et al, 2008; 2010). Séries temporais no habitat de costão rochoso mais recentes estão relacionadas as sete estações de monitoramento de longo prazo da ReBentos. Destas, entretanto, apenas a estação do Mar Virado gerou séries temporais para dados abióticos entre 2013 e 2017 (Silva et al., 2019).

Quando abordamos a mesma ecorregião (Southeastern Brazil Ecoregion, Spalding et al. 2007), a qual compreende litoral norte do Estado de São Paulo, a estrutura espacial da comunidade no costão estudado segue, de forma geral, o padrão universal descrito por Stephenson & Stephenson (1949) para a região entremarés. Esse modelo já havia sido confirmado por diversos trabalhos realizados na mesma região (Rawitscher, 1944; Oliveira, 1947; Nonato & Pérès, 1961; Oliveira Filho & Mayal, 1976; Oliveira Filho & Paula, 1983; Oliveira Filho & Berchez, 1993; Borges & Rosso 1998; Coimbra, 1998; Széchy & Paula, 2000). Essas publicações embora obtida com distintas metodologias, de forma geral confirmam esse padrão para o mediolitoral.

Em todos os trabalhos citados anteriormente, em termos de macroorganismos, a região superior é dominada por *Chthamalus bisinuatus*, mas caracterizada pela disponibilidade de substrato vazio, normalmente recoberto por um filme de cianobactérias, normalmente não conspícuas, mas que no costão em estudo se tornou notável entre 2015 e 2016, declinando a seguir. Particularmente após esse período observa-se uma tendência ao aumento contínuo dos microrganismos, tanto de *C. bisinuatus* como de *Mytilaster solisianus*, ausente até 2017, mas que após esse período passa a colonizar o substrato com uma tendência contínua de crescimento no recobrimento percentual. Simultaneamente (Capítulo 2) observa-se uma tendência de aumento na largura dessa faixa.

Em relação à faixa superior *Chthamalus* e *Mytilaster* apresentaram séries temporais com a tendência positiva na cobertura, enquanto Espaço vazio e Cianobactéria apresentaram tendência

negativa ao longo dos anos analisados. *Chthamalus* teve um aumento do recobrimento percentual no limite superior da faixa do médiolitoral superior, fazendo a cobertura de Espaço vazio diminuir ao longo da série temporal. Entre 2015 e 2019, Cianobactéria teve um crescimento na cobertura enquanto *Chthamalus* oscilava com valores menores que 30%. A tendência positiva de *Mytilaster* só é detectada a partir do final de 2017, tendo um crescimento íngreme até o final da série temporal. A este resultado também pode estar associado consideravelmente redução considerável do espaço vazio a partir de 2015.

Em termos ecológicos, a presença de *M. solisianus* entre *C. bisinuatus* e a região ocupada por *Tetraclita stalactifera* é esperada, já tendo sido reportada por diversos trabalhos na mesma região, por exemplo Oliveira Filho & Mayal (1976). Dentre os vários trabalhos que descrevem as comunidades de costão rochoso dessa ecorregião, este é particularmente interessante, por analisar, entre outros, um costão rochoso com as mesmas características deste trabalho, com grau de inclinação intermediário, situado na Praia do Lamberto. Embora seja de cunho descritivo, os dados contêm, de forma gráfica, informações sobre a variação sazonal da comunidade.

Em 1998 e 1999, equipes trabalhando no mesmo local observaram que *M. solesianus* havia sido completamente desalojado pelo bivalve exótico *Isognomon bicolor*, que ocupava o costão em diversas regiões do litoral brasileiro (ex. Breves-Ramos et al. 2010). Entretanto, ela não foi mais encontrada durante o período deste estudo e a espécie original apresentou clara tendência de recuperação ao longo da série temporal.

Os processos estruturantes das comunidades bentônicas podem ser considerados gerais (Dayton, 1986; Underwood & Denley, 1986), sendo esperado que o médiolitoral superior seja regulado por fatores abióticos relacionados à exposição durante a maré baixa, como aumento da radiação solar, perda de água, variação da temperatura e salinidade (Lobban & Harrison, 1994; Solan & Whiteley, 2016). A frequência e intensidade de distúrbios nessas regiões leva a uma redução do recobrimento percentual pela morte de organismos e conseqüentemente a maior disponibilidade de substrato vazio, coberto apenas por um filme de microrganismos, colonizadores

primários na sucessão ecológica. O aumento observado na dominância por macroorganismos indica, portanto, uma redução da intensidade ou frequência dos fatores de stress abióticos nessa região entre o início das observações, em 2014 e 2019.

Na nossa região, a exposição maior dos organismos a marés baixas extremas diurnas é esperada desde a entrada do outono até ao final do início da primavera. Este período também coincide com a maior movimentação da água do mar (Coutinho et al., 2014).

Em relação à faixa intermediária, séries temporais de *Gelidium*, *Centroceras* e Biofilme, apresentaram tendência positiva na cobertura enquanto *Tetraclita* e Algas Calcárias Crostosas apresentaram tendência negativa. As oscilações ascendentes das algas *Gelidium* e *Centroceras* revelam que as algas presentes na faixa inferior, ao longo das séries temporais, alcançaram níveis mais elevados no médiolitoral, sobrepondo as cracas do gênero *Tetraclita*, tendo como consequência resultando ao longo dos anos uma tendência negativa. As Algas Calcárias Crostosas tiveram um pico na cobertura no inverno de 2016, mas com o aumento da cobertura das algas presentes na faixa inferior, os espaços vazios inicialmente cobertos pelas algas crostosas, ao longo dos anos foi substituído pelas algas do gênero *Gelidium* e *Centroceras*. A cobertura das Algas Calcárias Articuladas diminuiu constantemente até o inverno de 2016 e neste mesmo período, as Algas Calcárias Crostosas tiveram seu pico na cobertura na faixa. Ambos os gêneros de algas *Centroceras* e *Dictyopteris* apresentaram a mesma tendência de crescimento na cobertura ao longo das séries temporais.

Em relação à faixa intermediária tem, no início da série temporal, *Tetraclita stalactifera* como unidade operacional dominante. Em termos ecológicos, a dominância de *T. stalactifera* na região intermediária do mediolitoral é relatada por vários trabalhos nesta região (Oliveira Filho & Mayal, 1976; Oliveira Filho & Paula, 1983; Oliveira Filho & Berchez, 1993; Borges & Rosso, 1998), estando relacionada a um hidrodinamismo intermediário, não ocorrendo em regiões onde ele é extremo, como no costão da Praia Grande, em Ubatuba (Oliveira Filho & Mayal, 1976). A região intermediária é bastante variável conforme o local estudado, em função do padrão e

intensidade de ondulação da água do mar, da inclinação do substrato e do seu padrão de fragmentação.

No decorrer da série temporal observou-se a colonização por *Gelidium microdenticum* e *Centroceras clavulatum*, ambos formando densos agregados entre os talos, respectivamente cilíndricos pseudo-parenquimatosos e filamentosos (Graham et al., 2016), que chegam a ocupar mais de 50% do substrato. O aparecimento dessas algas pode indicar uma redução da intensidade ou frequência por distúrbios abióticos, a exemplo do que foi observado para a região superior do mediolitoral. A associação dos indivíduos em tapetes promove a retenção da água, evitando a dessecação durante a maré baixa, além de proteção contra a dessecação. A presença dessas espécies é comum na região intermediária do mediolitoral no litoral norte, tendo sido encontrados em outros estudos (Oliveira Filho & Mayal, 1976; Oliveira Filho & Paula, 1983; Oliveira Filho & Berchez, 1993). Entretanto, parte do substrato ainda é ocupada por algas calcárias crostosas que, apesar de indicadoras de diversas condições/fatores (Lobban & Harrison, 1994), podem ser relacionadas, neste nível de maré, principalmente a um hidrodinamismo de moderado a extremo, mais do que a predação. Da mesma forma, a presença de biofilme sobre um espaço vazio, também indica a presença de distúrbios. Ao final da série temporal observa-se um possível aumento nesses distúrbios, com a redução das algas filamentosas e pseudoparenquimatosas acompanhado, inversamente, por um aumento das calcárias crostosas e do biofilme.

Em termos gerais, os diferentes estudos realizados na região intermediária do mediolitoral no litoral norte de São Paulo mostraram que ela é bastante variável conforme o local estudado, possivelmente em função do padrão e intensidade de ondulação da água do mar, da inclinação do substrato e do seu padrão de fragmentação (Oliveira Filho & Mayal, 1976; Oliveira Filho & Berchez, 1993). Nesse sentido, outros organismos comuns nesse nível de maré, como algas do grupo das ectocarpales e crostosas articuladas não foram encontradas, ao menos como atributos dominantes.

Progressivamente em direção a região inferior do mediolitoral, contígua ao infralitoral, a exposição a maré baixa ocorre por um tempo menor e é aceito como hipótese principal que os fatores abióticos se tornam menos importantes (Dayton, 1986; Underwood & Denley, 1986). Com uma intensidade menor de distúrbios, uma ocupação maior do substrato é esperada, passando a se tornar mais importante um fator biótico, a competição por substrato. Esse paradigma é confirmado no caso do local em estudo, com a ausência dos atributos ligados à disponibilidade de espaço para colonização, como o biofilme.

Em relação às séries temporais, as unidades operacionais dominantes que apresentaram tendência positiva foram: *Centroceras*, *Dictyopteris* e Biofilme, enquanto Algas Calcárias Articuladas, Algas Calcárias Crostosas apresentaram tendência negativa. Ao longo das séries temporais, as Algas Calcárias Articuladas foram o organismo dominante, mas, com a presença de outros gêneros como *Gelidium*, *Dictyopteris* e *Centroceras*, inicialmente com menor cobertura, ocupando os espaços e sobrepondo-as que, apresentaram queda na cobertura e ao final da série temporal em 2019, apresentou uma tendência positiva na cobertura.

Em termos ecológicos, em condições de menor estresse, algas de maior porte, parenquimatosas ou pseudoparenquimatosas, teriam condições de se tornar dominantes nesta zona. Espécies do gênero *Sargassum* são as mais frequentes, ocorrendo em locais de baixo a alto hidrodinamismo (Berchez & Oliveira Filho, 1993; Széchy & Paula, 2000; Oliveira Filho & Paula, 1983; Oliveira Filho & Mayal, 1976). Outras espécies com características semelhantes, eventualmente dominantes nessa zona, são, por exemplo, *Pterocladia capillacea* em locais com hidrodinamismo intermediário a intenso (Oliveira Filho & Sazima, 1973; Oliveira & Berchez, 1993) ou *Padina vickersiae*, em locais com baixo hidrodinamismo (Faccini & Berchez, 2000).

Na série temporal observa-se inicialmente uma tendência de queda das algas calcárias articuladas ao redor de 2016, seguida por uma recuperação parcial. Durante esse período as calcárias articuladas foram parcialmente substituídas por *Dictyopteris* sp., *Centroceras clavulatum* e *Gelidium microdenticum* que, entretanto, não se mantiveram, tendo uma queda especialmente

acentuada nas últimas amostragens, em 2019. Esses tipos morfológicos são considerados mais suscetíveis à predação, mas podem também ter sido favorecidos pela alteração dos mesmos fatores que direcionaram as tendências nas duas zonas superiores. Por outro lado, a presença de algas calcárias crostosas, as mais resistentes à predação (Littler & Littler, 1984), mesmo que em menor proporção, reforçam essa possibilidade. Dessa forma é possível que dois fatores bióticos, predação e competição, estejam associados a regulação da distribuição espaço-temporal de espécies nessa zona. De forma geral, as espécies parecem ser constantes ao longo do tempo, com flutuações devidas mais a distúrbios do que a variação sazonal dos organismos.

No costão em estudo, associações de algas calcárias articuladas (*Jania rubens* e *Amphiroa* sp.), formando tapetes com indivíduos muito aderidos entre si, foram a unidade operacional mais abundante, atingindo até 70% do recobrimento percentual em certos períodos. Algas calcárias articuladas são associadas principalmente a um alto hidrodinamismo ou a grande intensidade de predação (Lobban & Harrison, 1994). No local em estudo observou-se, durante a maré alta, uma abundância de diversos tipos de predadores sobre essa faixa, entre eles peixes e tartarugas. Por se tratar de um ecossistema protegido, localizado em uma unidade de conservação, observa-se uma abundância de peixes consideravelmente maior que no continente. Fora isso, observou-se entre os talos e especialmente sobre as algas calcárias crostosas ouriços jovens, com diâmetro ao redor de 3 cm. Finalmente, em algumas ocasiões foram vistas estrelas solitárias nessa zona do costão. Na nossa região, a exposição maior dos organismos a marés baixas extremas diurnas é esperada desde a entrada do outono até ao final do início da primavera. Este período também coincide com a maior movimentação da água do mar (Coutinho et al., 2014). No entanto, as oscilações observadas não apresentam um padrão sazonal e devem, portanto, ser devidas a fatores de stress ocorridos ao acaso.

Quanto às series temporais mais extensas em relação ao presente trabalho, como a série temporal evidentes alterações nos padrões ecológicos no médiolitoral de costões rochosos em resposta às alterações climáticas ocorreram no Atlântico Norte (Hawkins et al., 2008;

Mieszkowska et al., 2014). De acordo com Connell, (1961), as cracas são consideradas um “sistema modelo” em ecologia de costão rochoso pois, elas são facilmente quantificadas e competem principalmente por espaço vazio. Poloczanska et al. (2008) utilizou séries temporais de 40 anos para desenvolver modelos envolvendo interação entre duas espécies a fim de investigar os processos para explicar as flutuações passadas e prever os modelos futuros. De acordo com seus resultados, as cracas do gênero *C. balanoides* irá se extinguir da Grã-Bretanha, enquanto vão eventualmente recrutar em novas áreas de Portugal e Espanha, revelando uma alteração na distribuição desses gêneros para locais mais quentes. Já Wethey et al., (2011) revelou flutuações entre presença e ausência deste mesmo gênero na Espanha nos últimos 50 anos, sugerindo que houve uma contração na taxa de ocupação no local.

Trabalhos bem descritivos de séries temporais no Canal inglês Ocidental foram desenvolvidos por Southward et al., (1995) e Mieszkowska et al., (2014) e, também na Península Ibérica revelando os limites de distribuição geográfica do gênero *Chthamalus* spp. entre os anos de 2015 e 2010 e, indicado que os limites de distribuição em regiões mais frias tendem a colapsar em algumas décadas, enquanto os limites de distribuição de espécies que estão localizadas em locais com temperatura da água do mar mais alta tendem a se expandir (Wethey et al., 2011). Segundo Vroon and Braun, (2010), as flutuações observadas durante os períodos de coleta, considerando que a comunidade do médiolitoral é predominantemente dominado por algas, as flutuações observadas entre os anos podem refletir a ocorrência da dinâmica natural da comunidade.

Respostas às mudanças climáticas são espécie-específica e depende do contexto costeiro, com mesma espécie respondendo de forma diferente em diferentes localidades (Hawkins et al., 2016). E, segundo Vasseur et al. (2014), os efeitos específicos para determinada localidade mostra como é difícil prever com acurácia os futuros impactos para as comunidades do médiolitoral e, em longo prazo, dependendo do tipo do impacto, a composição da comunidade retorna ao estágio anterior em sua composição em poucos anos.

Este trabalho, quando comparado com os trabalhos de séries temporais de médiolitoral de costão rochoso localizados na Europa, revela uma pequena parcela de alteração na cobertura dos organismos dominantes em cinco anos e meio de dados coletados e traz a importância da realização dos estudos de monitoramento de longo prazo em habitats bentônicos costeiros a fim de se entender quais são os fatores abióticos relacionados às mudanças climáticas globais que mais influenciam os padrões e processos envolvidos na dinâmica costeira em longo prazo, seja eles anos, décadas, podendo com a utilização de dados históricos (linhas de base) fazer previsões futuras acerca dos principais panoramas possíveis à fim de conservar os ambientes marinhos.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado as séries temporais de cinco anos e meio de dados, contemplando os períodos do inverno de 2014 até o inverno de 2019, da cobertura dos organismos dominantes da região do médiolitoral do costão rochoso da Estação de Monitoramento de Longo-prazo do Parque Estadual da Ilha Anchieta, localizado em Ubatuba, São Paulo, utilizando o protocolo de monitoramento da ReBentos. Este trabalho é uma continuação da criação da estação de monitoramento em 2014 na Ilha Anchieta e, devido ao fechamento do parque estadual devido à pandemia de COVID-19, os anos de 2020 até 2022 não foram inclusos na análise. Entretanto, como a estação é de longo-prazo, reforça-se a coletas dos dados bióticos de maneira contínua a fim de ter uma base de dados bem consolidada de uma década para podermos entender a dinâmica costeira a fim de gerar dados consolidados para a gestão da unidade de conservação.

De acordo com Zamoner et al., (2021), entender a dinâmica da comunidade do médiolitoral em longo prazo é importante para não confundirmos oscilações naturais da comunidade ocorrendo periodicamente com a influência de algum fator abiótico relacionado às mudanças climáticas que possam estar afetando a comunidade em curto e médio prazo. Os resultados do presente trabalho corroboraram com os resultados de Zamoner et al., (2021) concluindo de maneira geral, que as macroalgas se mantêm dominantes e estáveis ao longo dos anos, enquanto as outras espécies

dominantes, mas com menor cobertura no médiolitoral possuem flutuações mais perceptíveis ao longo dos anos, por ocorrerem em menor quantidade. Ao final, poder contribuir com dados de séries temporais para a ReBentos e, também como base para outras estações de monitoramento de longo prazo localizadas na região Sudeste do Brasil.

CAPÍTULO 2

Variação espaço-temporal das faixas de ocorrência dos organismos dominantes da estação de monitoramento



ABSTRACT

Time series are especially suitable for long-term studies and GLMM (General Linear Mixed Models) studies because the nature of their data is temporally and spatially dependent, and they are also hierarchical. In the time series, first it is desired to model the phenomenon studied, to describe the behavior, make future estimates, evaluating which environmental variables influenced them. In the present study, the GLMM was performed for the time series of height and width of the bands of dominant organisms from the long-term monitoring station of the Ilha Anchieta State Park (PEIA), located in the municipality of Ubatuba, São Paulo correlating with the variable mean sea level (SLRmean) to corroborate the hypothesis that the sea level is increasing the width and height of the bands in the long term. The data were collected between winter 2014 and winter 2019 and analyzed using the R programming language, using the package "mvabund" and doing full model selection and choosing the minimum model suitable to obtain the answers. The results were that sea level is increasing the width and height of the lower mediolittoral bands corresponding to Tetraclita and Macroalgae and for the upper bands, Chthamalus and Mytilaster, the width and height are increasing, but without the influence of sea level, with the season and years factor being more relevant for these cases. At the end of this study, the initial hypothesis can be partially corroborated for the studied bands, and this study is in line with the recent forecast results of the IPCC climate change report 2022 about the long-term effects of sea level rise, besides generating relevant data to ReBentos and other long-term monitoring stations along the Brazilian coast.

RESUMO

As séries temporais são especialmente adequadas para estudos de longo prazo e estudos de GLMM (General Linear Mixed Models) pois, apresentam a natureza de seus dados, temporal e espacialmente dependentes, sendo também hierarquizadas. Na série temporal, primeiro, deseja-se modelar o fenômeno estudado, para descrever o comportamento, fazer estimativas futuras, avaliando quais foram as variáveis ambientais que as influenciaram. No presente estudo foi realizado o GLMM para as séries temporais de altura e largura das faixas dos organismos dominantes da estação de monitoramento de longo prazo do Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA), localizado no município de Ubatuba, São Paulo correlacionando com a variável nível médio do mar (SLRmean) a fim de corroborar a hipótese de que o nível do mar está aumentando a largura e a altura das faixas em longo prazo. Os dados foram coletados entre o inverno de 2014 e o inverno de 2019 e analisados através da linguagem de programação R, utilizando o pacote “mvabund” e fazendo a seleção do modelo cheio e a escolha do modelo mínimo adequado para obter as respostas. Os resultados foram que o nível do mar está aumentando a largura e a altura das faixas inferiores do médiolitoral correspondentes às *Tetraclita* e Macroalgas e para as faixas superiores, *Chthamalus* e *Mytilaster*, a largura e altura estão aumentando, mas sem a influência do nível do mar, sendo o fator estação e anos mais relevante para estes casos. Ao final do presente estudo, pode-se corroborar a hipótese inicial parcialmente para as faixas estudadas e, este estudo vai de encontro com os recentes resultados de previsão do relatório de mudanças climáticas do IPCC, 2022 sobre os efeitos do aumento do nível do mar em longo prazo, além de gerar dados relevantes à ReBentos e as demais estações de monitoramento ao longo prazo da costa brasileira.

1. INTRODUÇÃO

As séries temporais são especialmente adequadas para estudos de longo prazo e estudos de GLMM pois, apresentam a natureza de seus dados, temporal e espacialmente dependentes, sendo também hierarquizadas (Latorre & Cardoso, 2001). Na série temporal, primeiro, deseja-se modelar o fenômeno estudado, para descrever o comportamento, fazer estimativas futuras, avaliando quais foram as variáveis ambientais que as influenciaram. Devido a esta natureza de dados, a classe dos modelos lineares generalizados é adequada pois, as variáveis independentes são àquelas responsáveis por explicar o comportamento da série ao longo do tempo. Esta classe de estudos é adequada quando os dados não possuem uma distribuição normal e são geralmente hierarquizados (Latorre e Cardoso, 2001).

Segundo Bolker et al., (2008), os GLMMs são adequados para estudos lineares pois englobam a magnitude da natureza dos dados e consegue responder de forma adequada sem enviesar os dados, a partir de alguma transformação se fizer necessária. Segundo Johnson and Omland, (2004); e Whittinghan et al., (2006) é especialmente adequado devido à seleção dos modelos mais adequados para explicar a ecologia e, a seleção do modelo mínimo adequado, possuindo intervalo de confiança, comparação de modelos e parâmetros à fim de testar as hipóteses previamente estabelecidas no início do trabalho. E segundo Fausto et al., (2008), os modelos estatísticos lineares de efeitos mistos de estrutura hierárquica e dependência, as quais se apresentam as séries temporais, são adequados para a realização das regressões lineares e permite descrever a tendência temporal levando em conta a correlação que existe entre as medidas repetidas, permitindo estimar a taxa de mudança ao longo do tempo.

No Capítulo 2, o objetivo é analisar o comportamento das séries temporais de altura e largura das faixas e, analisar como a variável ambiental nível médio do mar, está influenciando a largura e a altura das faixas de ocorrência dos organismos dominantes, em longo prazo. O critério de escolha desta variável é que ela está relacionada com às mudanças climáticas globais, que

influencia fatores como o nível do mar, sua temperatura e salinidade superficial, que são as três variáveis mais relevantes e comumente estudadas em trabalhos de efeito das mudanças climáticas nos costões rochosos, podendo citar Helmuth et al. (2016); Burrows et al. (2019) e Zamoner et al. (2021). No médiolitoral há o acréscimo de fatores de distúrbio como como a temperatura e umidade relativa, que podem levar a alterações na composição e, portanto, na largura da faixa de ocorrência dos organismos.

A hipótese deste capítulo é que, com dados recentes do aumento do nível do mar publicados pelo relatório mais recente do IPCC (2022), esta variável irá aumentar a largura e a altura das faixas em longo prazo, uma vez que o costão rochoso estudado possui baixa inclinação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado médiolitoral do costão esquerdo da praia do Engenho, localizada no Parque Estadual da Ilha Anchieta (23° 32' 11.7" S, 45° 03'46.2" W), Município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1). Maiores detalhes sobre a área de coleta estão descritos no Capítulo 1.

De acordo com as diretrizes contidas no protocolo de Monitoramento de Longo Prazo de Costões Rochosos da ReBentos (Coutinho et al., 2016), para a obtenção dos dados de largura e altura das faixas de dominância, inicialmente (inverno de 2014) foram selecionados cinco transectos verticais que se tornaram fixos após a primeira amostragem (Figura 2). Para a obtenção dos dados de largura, a medição foi utilizando uma trena de 15 m para medir a o ponto superior e inferior de ocorrência dos organismos em cada faixa. Para a obtenção dos dados de altura, chumbadores foram fixos no médiolitoral do costão rochoso em cinco pontos aleatorizados (n =5) em cada faixa para se coletar o dado de posição da faixa no costão em relação a estes chumbadores. A partir da média dos cinco valores de altura e largura para cada faixa de organismos dominantes acompanhando a zonation do costão foi tirado o valor para a coleta vigente. Então foram escolhidas quatro faixas, *Chthamalus*, *Mytilaster*, *Tetraclita* e Macroalgas. Esta metodologia foi aplicada no período do inverno de 2014 até o inverno de 2019 na estação de monitoramento de longo prazo localizada na praia do Engenho no Parque Estadual da Ilha Anchieta, Ubatuba, São Paulo (Figura 2).

2.1. Análise de Dados

Primeiramente testamos a variabilidade temporal da comunidade aplicando o Modelo Linear Misto Generalizado (GLMM; R pacote “mvabund”) com nBoot = 1000, a partir dos dados de largura de faixa dos organismos dominantes e altura das faixas como variáveis resposta e o nível do mar como variável exploratória. O critério de escolha do GLMM para esta análise é devido

à natureza dos dados de séries temporais serem espacialmente e temporalmente dependentes e hierárquicos, ou seja, as coletas de verão e inverno estão inseridas na variável estação do ano e as estações inseridas na variável ano. Para cada faixa, as variáveis altura e largura fora comparada com a variável nível do mar utilizando o modelo cheio e o método de seleção de modelos. A partir deste passo, fora realizado a seleção do modelo mínimo adequado para detectar em qual modelo está a diferença significativa de $p < 0.05$ e assim, determinar os períodos característicos. Os dados de nível do mar de 2014 até 2019 foram coletados através de solicitação ao LAB-DADOS do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, o qual possui um marégrafo na base de pesquisa “Clarimundo de Jesus” em Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo.

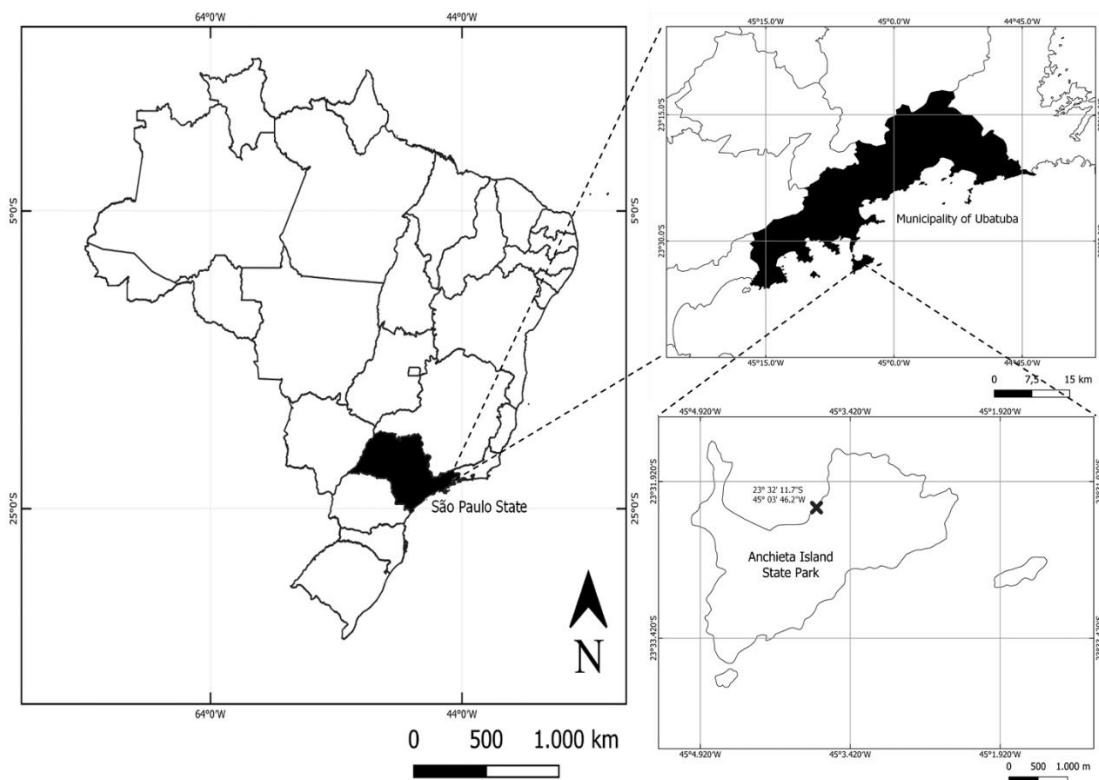


Figura 1. Mapa do local da estação de monitoramento de longo prazo (23°32'11.7" S, 45°03'46.2" W) localizada no costão esquerdo da praia do Engenho no Parque Estadual da Ilha Anchieta, localizado no município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo.

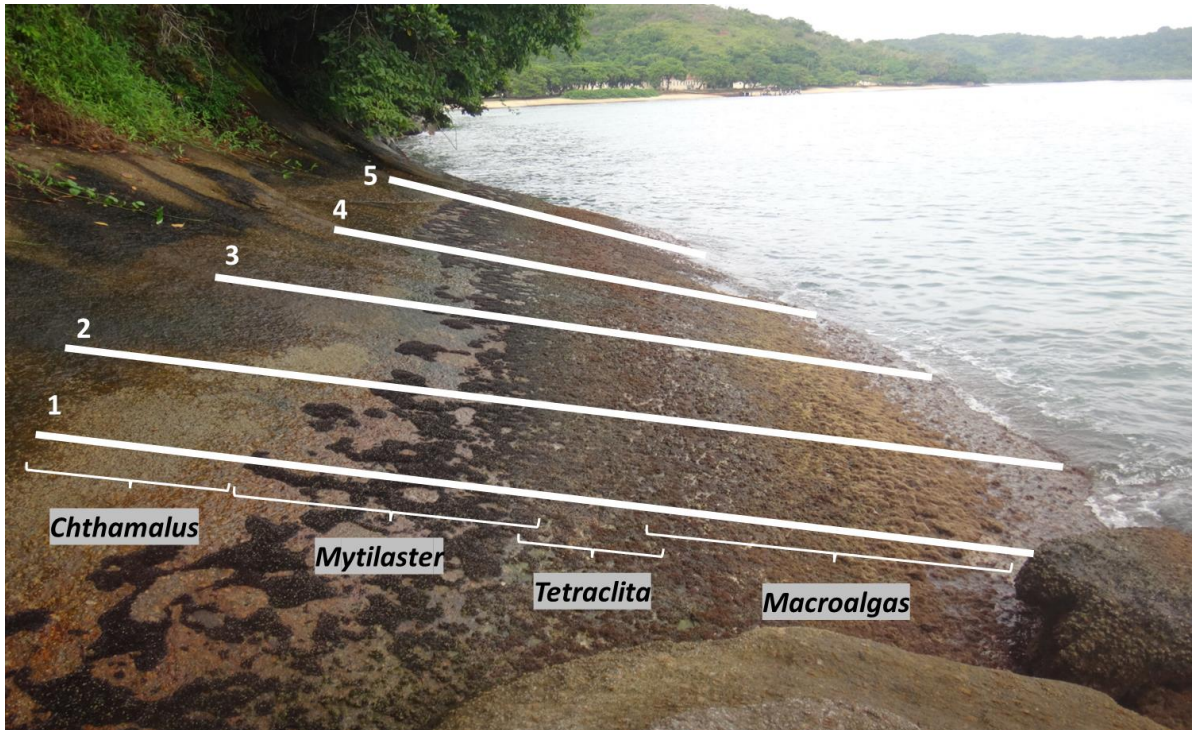


Figura 2. Esquema da amostragem contendo os cinco transectos verticais fixos para a obtenção dos dados de altura e largura das faixas em relação ao ponto fixo no local de coleta de dados, a estação de monitoramento de longo prazo do Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA). As faixas foram definidas em relação aos organismos dominantes presentes, ou seja, *Chthamalus*, *Mytilaster*, *Tetraclita* e *Macroalgas*.

3. RESULTADOS

3.1. Séries Temporais de Largura da Faixa

As séries temporais de largura de faixa (Figura 3) dos organismos dominantes no médiolitoral da estação de monitoramento de longo prazo revelaram uma tendência positiva para as faixas de *Chthamalus bisinuatus*, *Tetraclita stalactifera* e de Macroalgas. A única faixa que resultou em tendência negativa em sua largura ao longo dos anos foi a faixa da craca *Mytilaster solicianus*. A faixa de *Chthamalus* (Figura 3 – Série temporal azul) revelou uma tendência positiva na largura da faixa, iniciando a série temporal no inverno de 2014 com 0.45 m e encerrando a série no inverno de 2019 com 0.88 m, ou seja, a largura da faixa ao final de 2019 é de 0.43m. Entre o verão de 2015 até o início do inverno de 2016 a largura da faixa se manteve estável em média 0.39 m. A partir deste período, a faixa variou sua largura, no geral, com uma tendência positiva.

Logo abaixo, a faixa, de *Mytilaster* (Figura 3 – Série temporal vermelha) a largura se comportou de maneira estável ao longo da série temporal, iniciando a série com 0.81 m e encerrando ao final de 2019 com 0.93 m. Esta faixa apresentou variações em sua largura no período entre o início do inverno de 2016 até o final do verão de 2017. A partir deste período, retorna-se à estabilidade da largura da faixa em torno de 0.81 m. Ao final da série temporal, a largura desta faixa está com 0.12 m.

A faixa em seguida, é a faixa pertencente às cracas do gênero *Tetraclita stalactifera* (Figura 3 – Série temporal verde) a qual apresentou uma tendência positiva na largura de sua faixa, entretanto, foi notada uma correlação negativa com a faixa de *Chthamalus* entre o inverno de 2014 até o inverno de 2016, pois, enquanto as Macroalgas aumentavam sua largura de faixa ao longo dos anos, *Tetraclita* diminuía. Entretanto, após o verão de 2017, esta interação negativa entre as faixas não ocorreu, mostrando comportamentos distintos para a largura das faixas até o ano de 2018. Este ano a interação entre as faixas se tornou positiva, ou seja, à medida que a faixa de Macroalgas fora aumentando a sua largura, *Tetraclita* também acompanhou esta dinâmica até o

meio do verão de 2019. A largura da faixa de *Tetraclita* iniciou a série medindo 1.13 m e encerrou a série com 1.50 m, tendo seu valor de largura mais elevado no final do verão de 2018, com 1,65 m. Ao final da série, a largura desta faixa foi de 0,37 m.

Abaixo da faixa de *Tetraclita*, a de Macroalgas (Figura 3 – Série Temporal roxa), última faixa da zona do médiolitoral demonstrou, ao longo da série temporal, um crescimento na largura sempre durante os verões, sendo o ano de 2018 atípico, mas ao final da série temporal em 2019, a faixa demonstrou uma tendência positiva de crescimento, apresentando um comportamento com grandes variações em sua largura ao longo da série temporal saindo de 1,13 m no início de 2014 para 2,49 no final de 2019, alcançando seu valor máximo de largura de faixa no verão de 2018 com 2,64 m. Ao final da série, a largura desta faixa foi de 1,20 m.

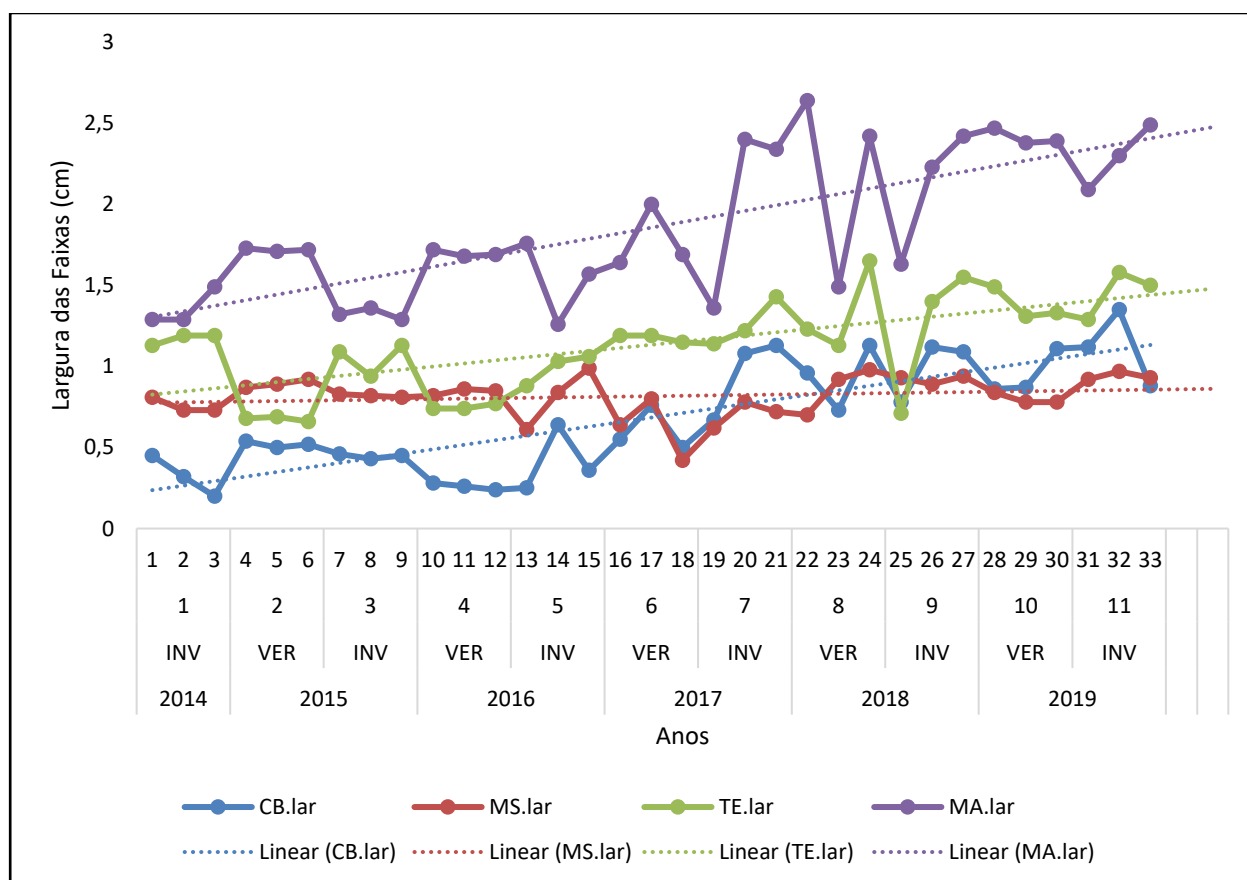


Figura 3. Séries temporais referente à largura das faixas em centímetros (cm) das unidades operacionais dominantes presentes no médiolitoral ao longo das 33 coletas realizadas, correspondendo do inverno de 2014 até o inverno de 2019. CB.lar (*Chthamalus bisinuatus*) de cor azul; MS.lar (*Mytilaster solicianus*) de cor vermelha; TE.lar (*Tetraclita stalactifera*) de cor verde e MA.lar (Macroalgas) de cor roxa e, suas respectivas linhas de tendência.

3.2. Séries Temporais de Altura das Faixas

Em relação à altura das faixas (Figura 4), a faixa de *Chthamalus* (Figura 4 – Série Temporal azul) revelou uma pequena tendência positiva em sua altura, se mantendo estável em torno da média de 1,34 m ao longo da série temporal, iniciando a série no inverno de 2014 com uma altura 1,37 m em relação ao ponto fixo acima e encerrando a série no inverno de 2019 com uma altura de 0.89 m, alcançando sua altura mais elevada de 0.95m em relação ao ponto fixo no final do inverno de 2018. Ao final da série temporal, esta faixa subiu 0.48 m no costão rochoso.

A faixa de *Mytilaster* (Figura 4 – Série Temporal vermelha) revelou uma tendência negativa na sua altura na zonação. Esta faixa iniciou a série temporal no inverno de 2014 com 1.77 m e encerrou no inverno de 2019 com 1.42 m, sendo seu valor de altura mais elevado no final do verão de 2016. A altura de *Mytilaster* se manteve estável em dois períodos, o primeiro no inverno de 2015 e o segundo, entre o inverno de 2016 até o início do verão de 2017. No meio do verão de 2017 houve uma queda significativa na altura da faixa de 1.73 m para 2.53 m, ou seja, 0.80 m de uma coleta para outra. Após este período, a faixa apresentou tendência positiva no aumento do valor da altura até o final da série, com revelando um aumento de 0.35m na altura da faixa em relação ao ponto fixo.

A faixa de *Tetraclita* (Figura 4 – Série Temporal verde) iniciou a série temporal no inverno de 2014 com 2.65 m em relação ao ponto fixo, apresentando grandes variações na sua altura ao longo da série temporal, com seu valor mais elevado no meio do inverno de 2015 com 1.96 m, podendo-se evidenciar um período de declínio a partir deste inverno até o meio do inverno de 2016. Após este evento, a altura variou entre 2.31 m até o final da série sendo sua altura de 2.15 m. Ao final da série temporal, a faixa de *Tetraclita* obteve uma tendência positiva e elevou-se 0.50 m em relação ao ponto fixo.

A faixa de Macroalgas (Figura 4 – Série Temporal roxa) iniciou a série temporal no inverno de 2014 com 3.78 em relação ao ponto fixo, obtendo uma tendência positiva de aumento na altura

de sua faixa até o final do inverno de 2019 com 2.58 m, tendo seu valor mais elevado no início do verão de 2018. Pode-se notar três períodos de queda na altura (inverno de 2015, inverno de 2017 e inverno de 2018). Ao final da série temporal, a faixa de macroalgas elevou-se 0.50 m em relação ao ponto fixo.

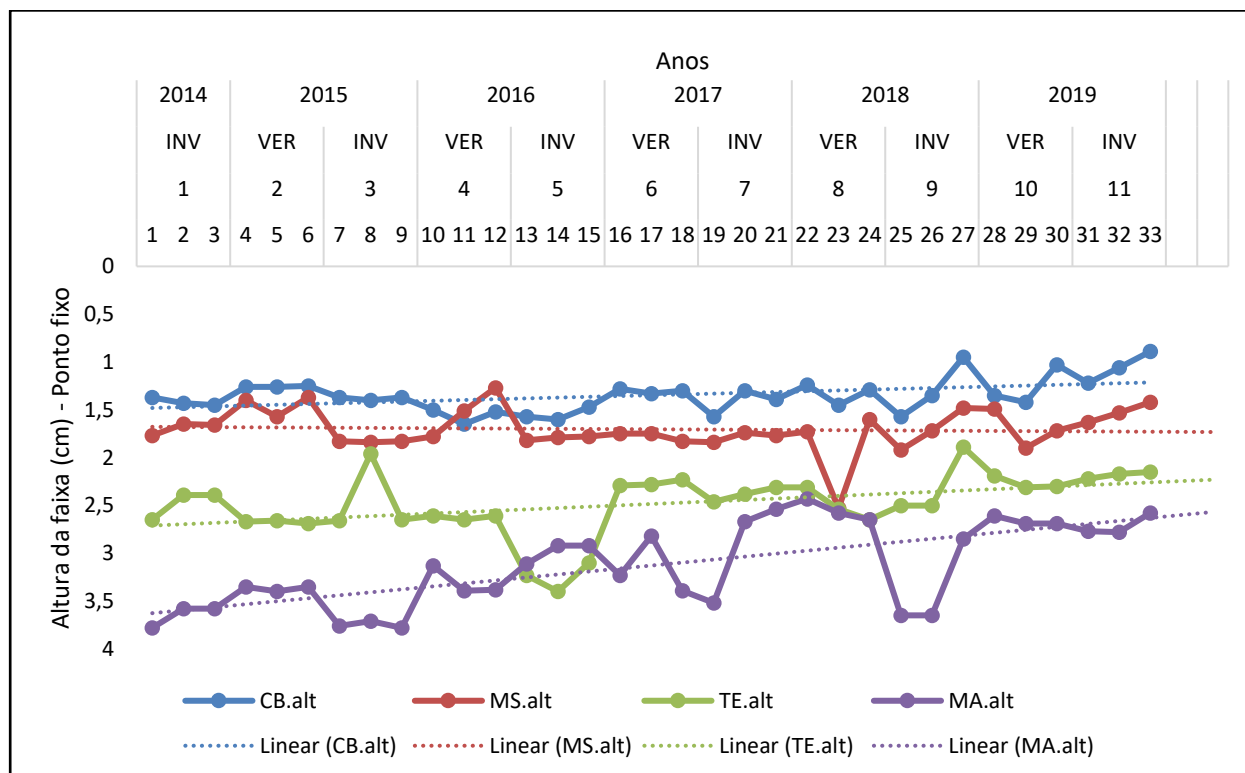


Figura 4. Séries temporais referente à altura das faixas em centímetros (cm) em relação ao ponto fixo (encontra-se no zero) das faixas das unidades operacionais dominantes ao longo das 33 coletas realizadas, correspondendo do inverno de 2014 até o inverno de 2019. CB.alt (*Chthamalus bisinuatus*); MS.alt (*Mytilaster solicianus*); TE.alt (*Tetraclita stalactifera*) e MA.alt (Macroalgas) e suas respectivas linhas de tendência.

3.3. Modelo Linear Misto Generalizado e Séries Temporais

Os resultados da análise do GLMM para series temporais em relação aos dados de altura e largura das faixas revelam, para a faixa de *Chthamalus* (Figura 5A) que a variável altura e largura variam significativamente nas variáveis estação e por anos, revelando um p-valor de 2.938e-11 e um R² que explica cerca de 91% dos dados para esta série temporal. Em relação a faixa de *Mytilaster*, os resultados mostraram que a variável ano foi significativo para a altura e a largura

das faixas em longo prazo, apresentando um p-valor de $2.2e-16$ com um R^2 explicando 99% dos dados desta série temporal. Para a faixa de *Tetraclita*, os resultados mostraram que a variável nível do mar foi significativo com um p-valor de $6.00e-09$ e que o nível do mar influenciou a altura e a largura em longo prazo, possuindo um p-valor de $5.54e-13$. O R^2 desta faixa explica 96% dos dados desta série temporal. E a faixa de Macroalgas também revelou que a variável nível do mar afetou a largura e a altura da faixa em longo prazo com um p-valor de $8.10e-13$ e um R^2 que explica 97% dos dados desta série temporal.

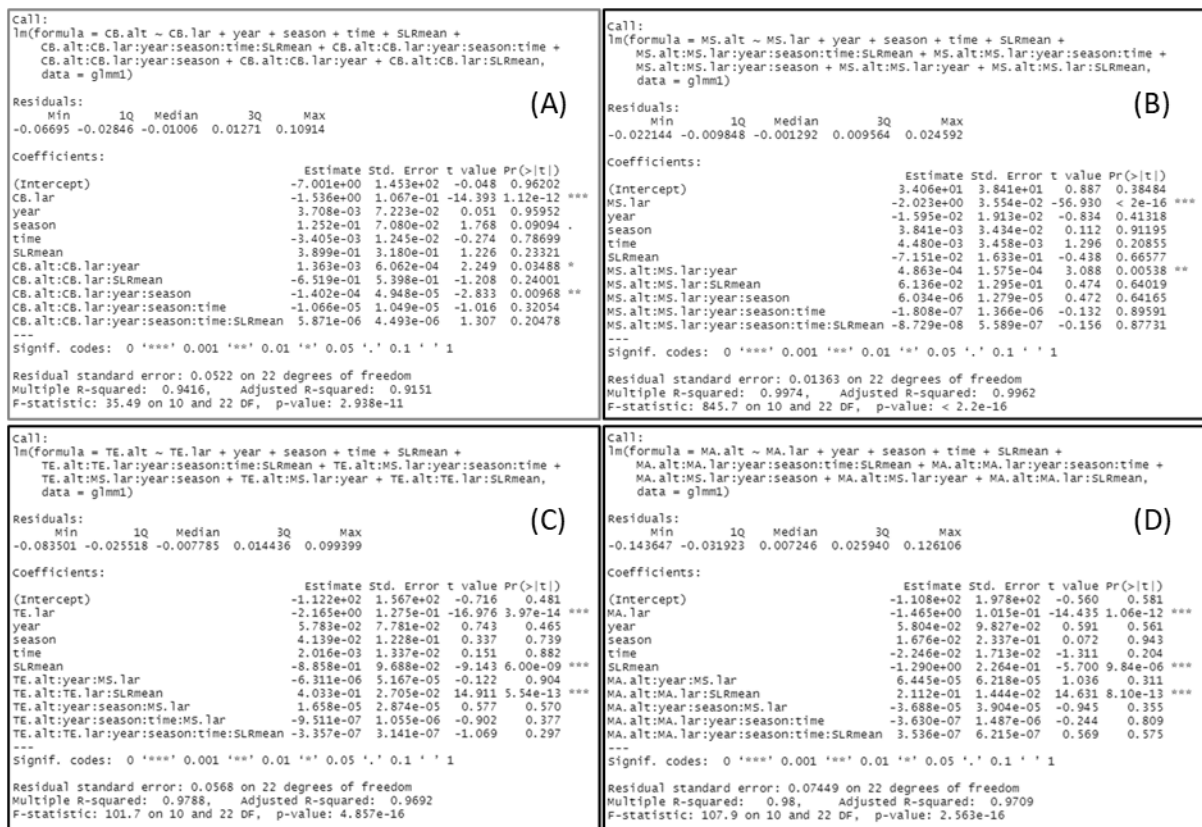


Figura 5. Resultado do modelo cheio em relação a altura e largura das faixas dos organismos dominantes do médiolitoral do costão rochoso com a variável nível do mar. Acima é descrito o modelo cheio e as possibilidades de interação. Os asteriscos ao lado direito significam valores de significância $p < 0.05$ e o valor ajustado do R^2 denota o quanto dessa interação é explicada pelo modelo. (A) modelo para a faixa de *Chthamalus*, (B) modelo para a faixa de *Mytilaster*; (C) modelo para a faixa de *Tetraclita* e, (D) modelo para a faixa de Macroalgas.

DISCUSSÃO

Os resultados do presente capítulo revelam as séries temporais para as variáveis largura (Figura 1), altura (Figura 2) e nível do mar (Figura 3) entre o período do inverno de 2014 até o inverno de 2019, bem como os resultados da interação destas variáveis em um modelo GLMM (General Linear Mixed Model) devido à natureza dos dados serem espacialmente e temporalmente dependentes e hierárquicos.

Segundo Fausto et al. (2008) e Latorre & Cardoso, (2001), o desenho amostral e, a natureza dos dados de longo prazo é temporal e espacialmente dependente, o que segundo os autores, são especialmente adequados para estudos de longo prazo e monitoramento contínuo. Diversos trabalhos publicados em ecologia marinha de longo prazo citam as variáveis ambientais mais relevantes quando se trata das mudanças climáticas globais, como visto em Helmuth et al. (2016), Miloslavich et al. (2017), Burrows et al, (2020) e Zamoner et al. (2021).

A hipótese para este capítulo era de que o nível do mar iria aumentar em longo prazo a altura e a largura das faixas. Os resultados indicaram que, para as faixas inferiores do médiolitoral do costão rochoso a variável nível do mar exerceu uma influência significativa em longo prazo, fazendo com que a faixa de macroalgas alcançasse níveis mais elevados no costão rochoso chegando próximo aos níveis das cracas do gênero *Tetraclita*. E os resultados mostraram também que na parte superior do médiolitoral também se elevou a largura e a altura de faixa das cracas do gênero *Chthamalus*, uma vez que este limite superior é composto principalmente por espaços vazios e rocha nua. Quando comparamos a largura das faixas, as faixas de *Chthamalus*, *Tetraclita* e Macroalgas também ficaram mais largas no decorrer da série temporal. A única faixa que a altura e largura permaneceu estável foi a de *Mytilaster solicianus*.

Trabalhos relacionando a variável nível do mar com ecologia de médiolitoral de costão rochoso são escassos, sendo mais trabalhados por ecólogos àqueles sobre limites de distribuição das espécies, como amplamente visto nos costões rochosos na costa da Grã-Bretanha (visto em

Hartnoll & Hawkins, 1980; Firth et. al., 2015; Hawkins & Hartnoll, 1983; Hawkins et al., 2008, dentre outros), mas quando abordamos o contexto brasileiro, não há estudos de séries temporais sobre largura da zonação de organismos na região norte do Estado de São Paulo. Poucos trabalhos, em sua maioria descritivos, apresentam dados sobre a largura de faixa.

Oliveira Filho & Mayal (1976), o primeiro trabalho apresentando transecções verticais desses ambientes, possui uma descrição particularmente detalhada e, embora descritivo, com dados obtidos de forma distinta, apresenta dados numéricos de dois costões rochosos do Município de Ubatuba. Os demais trabalhos feitos na região não apresentam dados acerca da variação da largura de faixa. Tendo em vista as alterações nomenclaturais, há uma imprecisão no que se refere a categoria de espécie em alguns táxons, de forma que padronizamos nesta análise o uso do nível hierárquico de gênero. A análise foi restrita e adequada a região do médiolitoral analisada neste trabalho.

Na região da Praia do Lamberto, com condições de hidrodinamismo menor, 4 zonas principais foram descritas, *Chthamalus*, *Tetraclita*, *Acanthophora* e junto ao infralitoral, *Sargassum*. Na Praia Grande, com hidrodinamismo intenso, são citadas *Chthamalus*, *Tetraclita*, Coralináceas (associações entre *Jania* e *Amphiroa*) e *Sargassum*. Na Praia do Lamberto a largura de *Chthamalus* variou entre 45cm no verão e 1,30 m no inverno. Na Praia Grande, 1,75 m no verão para 2,10 cm no inverno. No presente trabalho essa amplitude variou entre 0,45 cm e 1,35m. Essa variação sazonal explica parcialmente os dados obtidos neste trabalho no final da série temporal, onde se notou uma oscilação, com maiores valores no inverno de 2017, 2018 e 2019. Apesar dessa oscilação, como já salientado, houve uma tendência de aumento na largura dessa zona. Esses dados coincidem com a tendência de maior ocupação percentual do substrato por *Chthamalus bisinuatus* observada no Capítulo 1.

A zona de *Tetraclita* na Praia do Lamberto manteve uma largura constante, ao redor de 85cm, em ambos os períodos. Na Praia Grande houve uma redução considerável de 1,80 no verão para 0,85 cm no inverno. No nosso caso, a largura variou de 1,15 a 1,65, sendo mais próxima à da

Praia Grande, mas não se pode notar uma variação sazonal, havendo apenas uma tendência de aumento na largura da zona. Em termos de recobrimento percentual (Capítulo 1), esta zona apresenta um aumento em especial de *Gelidium* e *Centroceras clavulatum*, acompanhando a tendência de aumento na largura.

A zona descrita como de coralináceas ocorre apenas na Praia Grande, com largura de 2,5m no verão, reduzindo para 95 cm no inverno. Essa zona estaria inserida neste trabalho como macroalgas, que variou entre 1,40 e 2,70m de largura. Considerada isoladamente, a largura de ambas é similar. Entretanto, essa comparação deve ser encarada com restrições, pois em ambos os costões estudados por Oliveira Filho & Mayal (1976) se notou a ocorrência de uma zona conspícua de *Sargassum* junto ao limite do infralitoral, o que não ocorreu neste trabalho, onde as algas calcárias articuladas ocorriam até o limite inferior do médiolitoral.

Em relação a variação descrita por esses autores, embora possam ser notadas oscilações ao longo da série temporal, não se observa uma variação sazonal, mas sim uma tendência de aumento da largura ao longo do tempo. No nosso caso, embora as algas calcárias articuladas tenham tido inicialmente uma tendência de queda no recobrimento percentual (Capítulo 1), posteriormente mostram uma recuperação. Outras algas, em especial *Dictyopteris* sp. e *Centroceras clavulatum* também mostram uma tendência de aumento no recobrimento, acompanhando a tendência de aumento na largura da faixa.

A zona de *Mytilaster*, encontrada em nosso trabalho com largura entre 1,1m e 0,42cm de largura, não é citada por Oliveira Filho e Mayal (1976). Essa zona, embora comum, não é citada também em diversos trabalhos realizados em nossa região, como Oliveira Filho & Paula (1983) e Oliveira Filho & Berchez (1993). Outros trabalhos em regiões mais distantes do local amostrado (ex. Masi et al., 2009), embora confirmem o nível de ocorrência dessa zona, não se referem a largura de faixa, impossibilitando uma comparação. Nos elementos amostrais (Capítulo 1) esse organismo não foi encontrado até início de 2018, embora ocorresse no costão, sendo detectado ao longo das transecções. Dessa forma, embora observe-se uma discreta tendência de queda da largura

de faixa ao longo da série temporal, em termos de recobrimento percentual a tendência é de um aumento acentuado.

De acordo com trabalhos mais recentes como o de Miloslavich et al. (2018), a faixa de macroalgas é um importante bioindicador observacional das transições relacionadas aos fatores relacionados às mudanças climáticas e, estas podem indicar efeitos de aumento na temperatura da água, como vistos em (Benedetti-Cecchi, Tamburello, Maggi & Bulleri, 2015; Rindi et al. 2017). De acordo com o relatório do IPCC (2022) o nível do mar e a temperatura são consideradas variáveis oceânicas essenciais para estudos de impacto e monitoramento para guiar futuros tomadores de decisão e gestores.

6. CONCLUSÃO

No contexto brasileiro, temos trabalhos relevantes utilizando as variáveis nível do mar, temperatura superficial e salinidade não com o ecossistema de costão rochoso, mas sim com a distribuição e riqueza da comunidade de marismas e gramas marinhas ao longo da costa do sul do Brasil (visto em Steigleder et al. 2019), entretanto nas outras seis estações de monitoramento da ReBentos pertencentes ao GT-Costões Rochosos, só temos o trabalho de Silva et. al., (2019) correlacionando dados abióticos parciais. Ainda carece de mais estudos com grupos de trabalho exercendo atividade de monitoramento de forma conjunta para criar uma rede de dados de longo prazo bem documentados e catalogados a fim de se obter um dos objetivos da ReBentos, criar dados bióticos e abióticos históricos da costa brasileira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E APLICABILIDADES

Este trabalho foi realizado desde o inverno de 2014 até o inverno de 2019 na estação de monitoramento de longo prazo localizada no costão rochoso da praia do Engenho da unidade de conservação estadual chamada Parque Estadual da Ilha Anchieta (PEIA), localizada no município de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo.

Como o escopo do presente trabalho é de monitoramento de longo prazo e, devido à pandemia de COVID-19 iniciada em março de 2020, as amostragens referentes aos anos de 2020, 2021 e 2022 não foram realizadas, causando uma falha na série temporal, mas o presente trabalho reforça a continuidade das amostragens como forma de fornecer ao conselho gestor do PEIA dados bem documentados e contendo anos de estudos para assim, auxiliar os tomadores de decisão nas melhores escolhas para a conservação das comunidades bentônicas na ilha, em torno dela e também, em escala maior, para a APA Marinha do Litoral Norte e nos costões rochosos da região Sudeste do Brasil, a região do litoral onde há a maior quantidade de costões rochosos na costa do Brasil.

O projeto foi aprovado pela Comissão Técnica Científica (COTEC) do Instituto Florestal do Estado de São Paulo através do processo SMA de nº 260108-000.511/2018 e de carta nº 102/2018 D11/2018 PH também pela licença do SISBIO de número: 54369-3 de 01/02/2018 aprovada para a atividade científica.

Este trabalho foi financiado pela CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) desde outubro de 2017 até maio de 2022.

A partir do tema do presente trabalho ser monitoramento de longo prazo e análises de séries temporais, decidiu-se publicar os artigos para a revista Marine Biology da Springer com um fator de impacto de 2.941. Para maiores informações, acesse (<https://www.springer.com/journal/227>).

REFERÊNCIAS

- Benedetti-Cecchi, L., Tamburello, L., Maggi, E., & Bulleri, F. **Experimental perturbations modify the performance of early warning indicators of regime shift.** *Current Biology*, 25, 1867–1872. (2015).
- Berchez, F.A.S., Rosso, S., Ghilardi, N.P., Funjii, M.T. Hadel, V.F., 2005. Characterization of hard bottom benthic communities: the physiognomic approach as an alternative to traditional methodologies. In: Sociedade Brasileira de Ficologia (ed.), *Formação de Ficólogos: 82 um compromisso com a sustentabilidade dos recursos aquáticos.* Museu Nacional, Série Livros, Rio de Janeiro, pp. 207-220.
- Biscaia Zamoner J, Aued AW, Macedo-Soares LCP, Picolotto VAP, Eiras Garcia CA and Segal B. **Integrating Oceanographic Data and Benthic Community Structure Temporal Series to Assess the Dynamics of a Marginal Reef.** *Front. Mar. Sci.* 8:762453. 2021. doi: 10.3389/fmars.2021.762453
- Bolker, B. M. **Ecological models and data in R.** In *Ecological Models and Data in R.* Princeton University Press. 2008.
- Borges, R. P.; Rosso, S. **Repartição espaço-temporal de associações macrobentônicas de costão da Praia da Tatuira (São Sebastião-SP).** *Anais. Praia, represa e mata*, 1998.
- Bojinski, S.; Verstraete, M.; Peterson, T. C.; Richter, C.; Simmons, A. and Zemp, M. **The concepts of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy.** *Bulletin of the American Meteorological Society* 95:1431-1443. 2014.
- Box, G. & Jenkins, G. “Seasonal models,” in *Time Series Analysis, Forecasting and Control.* San Francisco, CA, USA: Holden-Day, Inc. ch. 9, p. 327–366. 1990.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. **Time Series Analysis, Forecasting and Control**, 2nd ed. New York: Prentice-H. 1994.
- Burrows, M. T., Moore, J., Hawkins, S. J., Adams, L., Sugden, H., Firth, L., et al. **Global-scale species distributions predict temperature-related changes in species composition of rocky shore communities in Britain.** *Glob. Change Biol.* 25, 2093–2105. 2020. doi: 10.1111/gcb.14968
- Breves-Ramos, A. et al. **Population structure of the invasive bivalve *Isognomon bicolor* on rocky shores of Rio de Janeiro State (Brazil).** *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 90, n. 3, p. 453-459, 2010.
- Brockwell, P. J., & Davis, R. A. **Nonstationary and seasonal time series models.** In *Introduction to Time Series and Forecasting* (pp. 157-193). Springer, Cham. 2016.
- Coghlan, A. **A little book of R for time series.** *Published under Creative Commons Attribution*, 3. 2015.

- Connell, J. H. **The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus***. *Ecology*, 710-723. 1961.
- Coimbra, C. S. **Caracterização ecológica das comunidades bentônicas da região entre-marés no costão sul da Praia do Itaguá, Ubatuba, SP**. 136f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.1998.
- Coutinho, R.; Zalmon, I. R. **Os Bentos de costões rochosos**. In: Pereira, R. C.; Soares-Gomes, A. (Eds.). *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, p. 281-298, 2009.
- Coutinho, R.; Széchy, M. T. M.; López, M. S.; Christofolletti, R. A.; Berchez, F.; Yaginuma, L. E.; Rocha, R. M.; Siviero, F. N.; Ghilardi-lobes, N. P.; Ferreira, C. E. L.; Gonçalves, J. E. A.; Masi, B. P.; Correia, M. D.; Sovierzoski, H. H.; Skinner, L. F.; Zalmon, I. R. **Monitoramento de longo prazo de costões rochosos**. In: Turra, A.; Denadai, M. R. **Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros - Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros - ReBentos**. (Org.). São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 258, 2015.
- Coutinho, R. *et al.* **Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges**. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64, nsp. 2, p. 27-36, 2016.
- Contador T.; Kennedy, J.H.; Rozzi, R.; Villarroel, J.O. **Sharp altitudinal gradients in Magellanic Sub-Antarctic streams: patterns along a fluvial system in the Cape Horn Biosphere Reserve (55°S)**. *Polar Biology* 38:1853–1866. 2015.
- Da Silva, A. G., de Paula, A. F., Fleury, B. G., & Creed, J. C.. **Eleven years of range expansion of two invasive corals (*Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis*) through the southwest Atlantic (Brazil)**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 141, 9-16. 2014.
- Dayton, P. K. **Processes structuring some marine communities are they general. Ecological communities: conceptual issues and the evidence**. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, p. 181-197, 1984.
- Diggle P. J. **Time series: a biostatistical introduction**. Oxford: Oxford University Press; 1992.
- Ehlers, R. S. **Análise de séries temporais**. *Laboratório de Estatística e Geoinformação*. Universidade Federal do Paraná, 1, 1-118. 2007.
- Faccini, A. L., Berchez, Flavio . **Hypnea musciformis (Rhodophyta, Gigartinales) in SouthEastern Brazil: Seazonal variation of biomass, and management of natural beds**. *Journal of Applied Phycology*, v. 12, p. 101-103, 2000.
- Fausto, Maria Arlene et al. **O modelo de regressão linear misto para dados longitudinais: uma aplicação na análise de dados antropométricos desbalanceados**. *Cadernos de Saúde Pública*., v. 24, n. 3, p. 513-524. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2008000300005>.

- Firth, Louise B., et al. **"Historical comparisons reveal multiple drivers of decadal change of an ecosystem engineer at the range edge."** *Ecology and Evolution* 5.15, p. 3210-3222. 2015
- Fraschetti, S., Terlizzi, A., Boero, F. **How many habitats are there in the sea (and where)?** J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 366,109-115. 2008.
- Ghilardi, N.P., 2007. **Utilização do método dos povoamentos na caracterização de comunidades bentônicas em trecho do infralitoral consolidado da Enseada das Palmas, Ilha Anchieta, Ubatuba, SP. Tese (Doutorado)** – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica. 254p. Ghilardi, N.P., Pereira Filho, G.H., Berchez, F.A.S., 2008. Current knowledge Status of the ecology of hard bottom benthic communities Brazil and the need for new approaches. *Oecol. Bras.* 12, 197-205
- Graham, L.E., Graham, J., Wilcox L. W. and Cook, M.E. 2016. **Algae. 3rd Edition**, LJLM Press, LLC. ISBN 978-0-9863935-3.
- Green, R. H. **Sampling design and statistical methods for environmental biologist.** John Wiley and Sons, Inc. New York, USA. 1979.
- Harrison, P.A., Berry, P.A. & Dawson, T.P., ed., Climate change and nature conservation in Britain and Ireland: modelling natural resource responses to climate change (the MONARCH project). Oxford: UKCIP Technical Report 2001a.
- Hartnoll, R. G., and S. J. Hawkins. **"Monitoring rocky-shore communities: a critical look at spatial and temporal variation."** *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 33.1. p. 484-494. 1980.
- Hawkins S. J. and R. G. Hartnoll. **Changes in a rocky shore community: an evaluation of monitoring.** *Mar. Environ. Res.* 9. 131-181. 1983.
- Hawkins, S. J., et al. **"Complex interactions in a rapidly changing world: responses of rocky shore communities to recent climate change."** *Climate research* 37.2-3 123-133. 2008.
- Helmuth, B., Choi, F., Matzelle, A., Torossian, J. L., Morello, S. L., Mislan, K. A. S., & Zardi, G. **Long-term, high frequency in situ measurements of intertidal mussel bed temperatures using biomimetic sensors.** *Scientific data*, 3(1), 1-11. 2016.
- Holt, C. C., **"Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages."** *JESM*, v. 29, n. 1-3, p. 123 – 125, 2004.
- Hyndman, Rob J. **"Moving Averages."** (2011): 866-869
- Jaditz, T. **Seasonality in Variance Is Common in Macro Time Series.** 73(2), p.245–254. 2000. doi:10.1086/209641
- Johnson, J.B. and Omland, K.S. **Model selection in ecology and evolution.** *Trends Ecol. Evol.* 19, 101–108 18. 2004.

- Latorre, M. D. R. D. D. O., & Cardoso, M. R. A. **Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos.** *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 4, 145-152. 2001.
- Leão, Z. M. A. N., Kikuchi, R. K. P. D., & Oliveira, M. D. D. M. D. **Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano.** *Biota Neotropica*, 8, 69-82. 2008.
- Leão, Z. M.A.N.; Kikuchi, R.K.P.; Oliveira, D.M. & Vasconcelos, V. **Status of Eastern Brazilian coral reefs in time of climate changes.** *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5: p. 224-235. 2010
- Littler, M.M. & Littler, D.S. **Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a sub-tropical rocky-intertidal system.** *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 74, 13–34. 1984.
- Lobban, Christopher S., and Paul J. Harrison. "Ecology and Physiology of seaweeds." (1994) Cambridge University Press: 1-366.
- Maddala, G. S., & Lahiri, K. (2009). **Introduction to Econometrics**, 4th Edition.
- Mansilla, A., Ojeda, J. & Rozzi, R. **Cambio climático global en el contexto de la ecorregión subantártica de Magallanes y la Reserva de Biosfera Cabo de Hornos.** *Anales del Instituto de la Patagonia* 40(1): 69-76. 2012.
- Mieszowska, N., Burrows, M. T., Pannacciulli, F. G., & Hawkins, S. J. **Multidecadal signals within co-occurring intertidal barnacles *Semibalanus balanoides* and *Chthamalus* spp. linked to the Atlantic Multidecadal Oscillation.** *Journal of Marine Systems*, 133, 70-76. 2014.
- Miloslavich P.; Bax, N. J.; Simmons, S. E.; Klein, E.; Appeltans, W.; Aburto-Oropeza, O., et al. **Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes.** *Glob. Chang. Biol.* 24 pp. 2416-2433. 2018a. <https://doi.org/10.1111/gcb.14108>
- Morettin P. A., Toloí C. M. C. **Previsão de séries temporais.** 2a. ed. São Paulo: Atual Editora; 1985.
- Muller-Karger, F. E., et al. "Satellite sensor requirements for monitoring essential biodiversity variables of coastal ecosystems." *Ecological applications* 28.3 749-760. 2018.
- Murray, S. N. **Methods for performing monitoring, impact, and ecological studies on rocky shores.** US Department of the Interior, Minerals Management Service, Pacific OCS Region, 2002.
- Nau, R. (2014). The mathematical structure of arima models. *Duke University Online Article*.
- Navarrete, S. A.; Gelcich S. and Castilla, J. C. "Long-term monitoring of coastal ecosystems at Las Cruces, Chile: Defining baselines to build ecological literacy in a world of change." *Revista Chilena de Historia Natural* 83.1: 143-157. 2010.

- Nonato, E. & Peres, J. M. **Observations sur quelques peuplements intertidaux de substrat dur dans la région d'Ubatuba (Etat de São Paulo)**. Cah. Biol. mar., 2:263-270. 1961.
- Oliveira, Lejeune P. H. **Distribuição geográfica da fauna e flora da Baía de Guanabara**. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, v. 45, p. 709-734, 1947.
- Oliveira, E. C. de; Berchez, F. A. S. **Resource biology of Pterocladia capillacea (Gelidiales, Rhodophyta) populations in Brazil**. Hydrobiologia, v. 260, n. 1, p. 255-261, 1993.
- Oliveira Filho, E. C. & Mayal, E. M. **Seasonal distribution of intertidal organisms at Ubatuba, São Paulo (Brazil)**. Revista Brasileira de Biologia 36: 305-316. 1976.
- Oliveira Filho, E. C. & Paula, E. J. **Potentiality for algin production in the São Paulo (Brazil) littoral**. In Proceedings of the 9th International Seaweed Symposium (A. Jensen & J. R. Stein, eds.). Science Press, Princeton, p.479-486.1979.
- Oliveira Filho, E. C. & Paula, E. J. **Aspectos da distribuição vertical e variação sazonal de comunidades da zona das marés em costões rochosos do litoral norte do Estado de São Paulo**. Publicações do Instituto de Pesquisas da Marinha 147:44-71.1983.
- Oliveira Filho, E. C., & Sazima, I. P. **Estudos sobre a biologia de algas agarófitas. I- recolonização, brotamento e fenologia em populações naturais de Pterocladia capillacea (Rhodophyta-Gelidiaceae)**. Boletim de Zoologia e Biologia Marinha, 30(30), 677-690. 1973.
- Ojeda, J.; Marambio, J.; Rosenfeld, S.; Rozzi, R. & Mansilla, A. **Patrones estacionales y espaciales de la diversidad de moluscos intermareales de bahía Róbalo, canal Beagle, Reserva de la Biosfera Cabo de Hornos, Chile**. Revista de Biología Marina y Oceanografía 49: 493-509. 2014.
- Ojeda, J.; Marambio, J.; Rosenfeld, S.; Contador, T.; Rozzi, R. & Mansilla, A. **Seasonal macroalgal assemblages in Magallanic sub-Antarctic channels: A case study in the rocky intertidal Róbalo Bay (54°55'S), Beagle Channel, Chile**. Polar Biology: in press. 2015.
- Pereira, H. M., et al. **Essential Biodiversity variables**. Science. 339: 277-278. 2013.
- Poloczanska, E. S., Hawkins, S. J., Southward, A. J., & Burrows, M. T. **Modeling the response of populations of competing species to climate change**. Ecology, 89(11), 3138-3149. (008).
- R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rao, V. T., Suneel, V., Raajvanshi, I., Alex, M. J., & Thomas, A. P. **Year-to-year variability of oil pollution along the Eastern Arabian Sea: The impact of COVID-19 imposed lockdowns**. Marine Pollution Bulletin, 175, 113356. (2022).
- Rawitscher, Félix K. **Algumas noções sobre a vegetação do litoral brasileiro**. AGB, 1944.

- Ribeiro, H. L. **Padrões de estruturação das comunidades marinhas bentônicas de substrato consolidado do infralitoral – Praia de Fora à Ponta do Norte – Parque Estadual da Ilha Anchieta – Ubatuba SP. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – Departamento de Botânica. 205p. 2010.**
- Rindi, L., Dal Bello, M., Dai, L., Gore, J., & Benedetti-Cecchi, L. **Direct observation of increasing recovery length before collapse of a marine benthic ecosystem.** *Nature Ecology & Evolution*, 1, s41559–017. 2017.
- Rivandeneira, M. M. & Fernández, M. **Shifts in Southern endpoints of distribution in rocky intertidal species along the south-eastern Pacific coast.** *Journal of Biogeography (J. Biogeogr.)* 2005 32, 203-209.
- Rozzi, R., Massardo, F.; Mansilla, A.; Anderson C.B., Berghöfer, A.; Mansilla M.; Gallardo, M. R.; Plana, J.; Berghöfer, U.; Arango, X.; Russell, S.; Araya, P. & Barros E. **La Reserva de Biosfera Cabo de Hornos: un desafío para la conservación de la biodiversidad e implementación del desarrollo sustentable en el extremo austral de América.** *Anales del Instituto de la Patagonia* 35: 55-62. 2007.
- Rozzi, R.; Massardo, F.; Anderson, C. B.; Heidinger, K.; Silander, J. A. **Ten principles for biocultural conservation at the southern tip of the Americas: the approach of the Omora Ethnobotanical Park.** *Ecology & Society* 11:43–70. 2006.
- Simkanin, C., Power, A., Myers, A., McGrath, D., Southward, A. J., Mieszkowska, N., Leaper, R., and O’Riordan, R. **Using historical data to detect temporal changes in the abundances of intertidal species on Irish shores.** *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 85, p. 1329–1340, 2005. doi:10.1017/S0025315405012506
- Silva, M, G., silva, J. N., fragoso, H. R. & Ghilardi-Lopes, N.P. **Temporal series analysis data for a subtropical Brazilian rocky shore.** *Data in brief.*, 24. 2019
- Solan, M.; Whiteley, N. (Ed.). **Stressors in the marine environment: physiological and ecological responses; societal implications.** Oxford University Press, 2016.
- Southward, A. J., Hawkins, S. J., & Burrows, M. T. **Seventy years' observations of changes in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature.** *Journal of thermal Biology*, 20(1-2), 127-155. 1995.
- Shuman, C. S. **Reef Check California Monitoring Protocol** (2007).
- Spalding, Mark D. et al. **Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas.** *BioScience*, v. 57, n. 7, p. 573-583, 2007.
- Steigleder, Karine M., et al. **"Latitudinal gradient in intertidal seaweed composition off the coast of southern Brazil and Uruguay."** *Aquatic Botany* 156: p. 47-56. 2019.

Stephenson, T. A.; Stephenson, A **The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts.** *The Journal of Ecology*, p. 289-305, 1949.

SZÉCHY, M. T. M., & PAULA, É. J. **Padrões estruturais quantitativos de bancos de Sargassum (Phaeophyta, Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil.** *Brazilian Journal of Botany*, 23, 121-132. (2000)

Tabarelli, M., Rocha, C. F. D. D., Romanowski, H. P., Rocha, O., & Lacerda, L. D. D.. **PELD-CNPq dez anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do Brasil: achados, lições e perspectivas.** Ed. Universidade da UFPE. 2013.

Turra, A., Cróquer, A., Carranza, A., Mansilla, A., Areces, A. J., Werlinger, C., Martínez-Bayón, C., Nassar, C. A. G., Plastino, E., Schwindt, E., Scarabino, F., Chow, F., Figueroa, F. L., Berchez, F., Hall-Spencer, J. M., Soto, L. A., Buckeridge, M. S., Copertino, M. S., Széchy, M. T. M., Ghilardi-Lopes, N. P., Horta, P., Coutinho, R., Frascetti, S. & Leão, Z. M. A. N. **Global environmental changes: setting of priorities for Latin American coastal habitats.** *Global Change Biology*, 19, 1965–1969. 2013.

Trygonis, V., & Sini, **MphotoQuad: a dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods.** *Journal of experimental marine biology and ecology*, 424, 99-108. 2012..

Underwood, A. J.; Denley, E. J. **Paradigms, explanations, and generalizations in models for the structure of intertidal communities on rocky shores.** Pages 151-180 in DR Strong, Jr., D. Simberloff, LG Abele, and AB Thistle, editors. *Ecological communities: conceptual issues and the evidence.* 1984.

Vasseur, D.A., DeLong, J. P., Gilbert, B, Greig, H. S., Harley, C. D. G., McCann, K. S., Savage V., Tunney, T. D., O'Connor, M. I. **Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming.** *Proc. R. Soc.* 2014. B281: 20132612. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2612>

Vroom, P. S., and Braun, C. L. **Benthic Composition of a Healthy Subtropical Reef: baseline species-level cover, with an emphasis on algae, in the Northwestern Hawaiian Islands.** (2010). *PLoS One* 5:e9733. doi: 10.1371/journal.pone.0009733

Wethey, D. S., Woodin, S. A., Hilbish, T. J., Jones, S. J., Lima, F. P., & Brannock, P. M. **Response of intertidal populations to climate: effects of extreme events versus long term change.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400(1-2), 132-144. 2011.

Winters, P. R. **“Forecasting sales by exponentially weighted moving averages,”** *Manage Sci*, vol. 6, no. 3, p. 324–342, 1960.

Whittingham, M. J. et al. **Why do we still use stepwise modelling in ecology and behaviour?** *J. Anim. Ecol.* 75, 1182–1189 19 Ellison, A.M. Bayesian inference in ecology. *Ecol. Lett.* 7, 509– 520. 2006.

Xie, T., & Ding, J. **Forecasting with multiple seasonality**. In *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 240-245). IEEE. 2020

Zamoner, J. B., Aued, A. W., Macedo-Soares, L. C. P., Picolotto, V. A. P., Garcia, C. A. E., & Segal, B.). **Integrating Oceanographic Data and Benthic Community Structure Temporal Series to Assess the Dynamics of a Marginal Reef**. *Frontiers in Marine Science*, 8. 2021.