

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Tayse Demetro dos Santos

**Análise temporal dos efeitos de ciclos ENSO sobre comunidades da macrofauna bêntica
da Baía da Ilha de Santa Catarina**

Florianópolis

2022

Tayse Demetro dos Santos

**Análise temporal dos efeitos de ciclos ENSO sobre comunidades da macrofauna bêntica
da Baía da Ilha de Santa Catarina**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Pagliosa Alves

Coorientadora: Dra. Kalina Manabe Brauko

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Tayse Demetro dos

Análise temporal dos efeitos de ciclos ENSO sobre comunidades da macrofauna bêntica da Baía da Ilha de Santa Catarina / Tayse Demetro dos Santos ; orientador, Paulo Roberto Pagliosa, coorientadora, Kalina Manabe Brauko, 2022.

57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Mudança climática. 3. El Niño. 4. La Niña. 5. Macrofauna. I. Pagliosa, Paulo Roberto . II. Brauko, Kalina Manabe. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Tayse Demetro dos Santos

Análise temporal dos efeitos de ciclos ENSO sobre comunidades da macrofauna bêntica da Baía da Ilha de Santa Catarina

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia

Florianópolis, 09 de março de 2022.

Prof. Dra. Alessandra Larissa D' Oliveira Fonseca
Coordenadora do Curso de Oceanografia

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Roberto Pagliosa Alves
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dr. Tito Cesar Marques de Almeida
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Paulo Antunes Horta Junior
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus pais, por tudo que vocês fizeram para eu ter a educação da melhor qualidade.

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é à minha família, minha irmã Fernanda Demetro dos Santos e, em especial, meus pais, Ailton dos Santos Júnior e Luciana Constantino Demetro. Vocês me moldaram como pessoa e me fizeram chegar até aqui. Muito obrigada por acreditarem em mim.

Agradeço ao meu orientador Paulo Pagliosa, por todo aprendizado e paciência comigo desde os tempos do PIBIC. À minha coorientadora Kalina Brauko, pelo carinho e por ter me guiado no laboratório desde os primeiros dias, me ensinando coisas básicas como como diferenciar um poliqueta de uma alga filamentosa. Agradeço aos meus colegas do Laboratório de Biodiversidade Costeira e ao pessoal do NEMAR. Adorei fazer parte desse grupo.

Obrigada aos professores que foram meus avaliadores ao longo de todo o processo do TCC: Marina do Valle Chagas Azaneu, Tito Cesar Marques de Almeida, Paulo Antunes Horta Junior e Ricardo Franco Freitas. Cada sugestão me ajudou a evoluir e avançar um pouco mais na minha estrada acadêmica.

Um agradecimento especial a todos os autores citados nesse TCC. Seus trabalhos foram indispensáveis para a produção desse estudo.

Aos professores do curso de Oceanografia, muito obrigada. Vocês tornaram meu sonho de ser oceanógrafa possível. Aos colegas de turma, veteranos e calouros, foi um prazer conhecer vocês.

Agradeço ao CNPq pela oportunidade de ter sido bolsista de iniciação científica através do programa PIBIC. Essa experiência me trouxe muitos aprendizados essenciais como uma futura cientista.

À UFSC por oferecer um curso de alta qualidade e um campus cheio de possibilidades acadêmicas, científicas, culturais e sociais. Estou saindo daqui como uma nova pessoa.

Agradeço também aos meus amigos, Arthur Brito Guimarães e Yasmin Domingues de Lima que me acompanham desde o ensino médio e me deram o privilégio de conhecer pela primeira vez o que é uma amizade verdadeira. Tudo seria muito mais difícil sem vocês.

Não poderia esquecer das minhas amigas da oceano: Kelly dos Santos, por ser a Chris do meu Greg e estar do meu lado por todos esses sete anos; Gabriela Rodrigues Silveira, por cada pequena ajuda que você me deu, acadêmica ou não, os detalhes contam muito; Adriana Neves dos Santos Liebl, por ter sido minha colega de grupo várias vezes nesses semestres remotos; e Evelyn Martins Goulart (mesmo que ela não esteja mais na oceano), pela sua receptividade, mesmo que eu tenha dificuldades de me enturmar, sempre foi muito fácil estar perto de você.

Quero agradecer à Caroline Socha por todo o trabalho que viemos fazendo desde 2019. Você me ajudou a me permitir ser eu mesma, e isso não tem preço.

E por último, aos meus pets, que me ajudaram nos períodos mais difíceis da quarentena.

Eu não teria conseguido sem vocês. Muito obrigada.

Imagine uma onda no oceano. Você pode vê-la, medi-la [...] e você sabe o que é. É uma onda. E então ela se quebra na praia e se vai. Mas a água ainda está lá. A onda era apenas uma forma diferente para a água ser por um tempo.

(SCHUR, Michael, The Good Place, 2020)

RESUMO

O El Niño-Oscilação Sul, ENSO, é um importante fenômeno natural que tem sido intensificado pelas alterações climáticas atuais. Sendo um evento de atuação global, o ENSO provoca teleconexões com todos os continentes. No Brasil, a região Sul é uma das mais acometidas. A intensificação (atenuação) no regime de chuvas durante o El Niño (La Niña) aumenta (diminui) a vazão dos rios e diminui (aumenta) a salinidade de corpos d'água estuarinos, afetando a ecologia desses ambientes costeiros. Neste trabalho foi investigada a variabilidade de fatores bióticos e abióticos na Baía da Ilha de Santa Catarina (BISC) e suas correlações com o ciclo ENSO, ao longo de duas décadas. Trabalha-se com a hipótese de que o ENSO causa efeitos de conotação negativa sobre a comunidade bêntica da BISC, sendo tais resultados mais expressivos em períodos El Niño/La Niña considerados moderados ou fortes. Nossos resultados apontam significância estatística entre fatores abióticos locais e vários dos índices ENSO utilizados, principalmente com temperatura máxima, insolação e vazão mínima fluvial. A correlação negativa entre a menor descarga do Rio Cubatão do Sul e o índice ONI indica que em períodos de La Niña (El Niño) há menor (maior) input de água doce nas baías, influenciando na salinidade do sistema estuarino. Análises de regressão linear apontam variação temporal crescente da abundância média trimestral. Além disso, também encontramos correlação significativa positiva entre a abundância e eventos de La Niña. Entretanto, episódios de La Niña mais intensos levam a queda de abundância da macrofauna bêntica da BISC. Avaliamos a tendência temporal de ocorrência dos ciclos ENSO porém não foi encontrado resultados significativos entre El Niño, La Niña ou ENSO-neutro. Mesmo com diversas limitações, os dados aqui trabalhados mostram que a macrofauna bêntica local é afetada pela atuação de sistemas climáticos de escala global, como o ENSO. No entanto, faz-se necessário a realização de mais estudos acerca da intensificação e alteração da frequência dos eventos ENSO.

Palavras-chave: Mudança climática. El Niño. La Niña. Temperatura. Mortalidade.

ABSTRACT

The El Niño-Southern Oscillation, ENSO, is a major natural phenomenon that has been intensified by climate change. As a global event, ENSO provokes teleconnections to all continents. In Brazil, the South region is one of the most affected. The intensification (attenuation) in the rainfall regime during El Niño (La Niña) increases (decreases) rivers' flow therefore decreasing (increasing) the salinity of estuarine water bodies, which affects the ecology of these coastal environments. In this study, the variability of biotic and abiotic factors in the Bay of Santa Catarina Island (BISC) and their correlations with the ENSO cycle over two decades was investigated. We work with the hypothesis that ENSO causes negative effects on the BISC benthic community, with such results being more expressive in El Niño/La Niña periods considered moderate or strong. Our results show statistical significance between local abiotic factors and several of the ENSO indexes used, mainly with maximum temperature, insolation and minimum fluvial flow. The negative correlation between the lower discharge of the Cubatão do Sul River and the ONI index indicates that in periods of La Niña (El Niño) there is less (greater) freshwater input in the bays, influencing the salinity of the estuarine system. Linear regression analyzes point to increasing temporal variation of the quarterly mean abundance. In addition, we also found a significant positive correlation between abundance and La Niña events. However, more intense La Niña episodes lead to a decrease in the abundance of benthic macrofauna. We assessed the temporal trend for the occurrence of ENSO cycles, but no significant results were found between the El Niño, La Niña or ENSO-neutral periods. Even with multiple limitations, the data analyzed here show that local benthic macrofauna is affected by the action of global climate systems, such as ENSO. However, further studies on the intensification and alteration of the frequency of ENSO events are needed.

Keywords: Climate change. El Niño. La Niña. Temperature. Mortality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impactos climáticos globais da fase El Niño dentro do ciclo ENSO. -----	16
Figura 2 - Impactos climáticos globais da fase La Niña dentro do ciclo ENSO. -----	17
Figura 3 - Localização da área de estudo. -----	20
Figura 4 - Regiões do Oceano Pacífico onde são mensurados os índices ENSO -----	24
Figura 5 - Regiões do Oceano Atlântico onde são mensurados os índices ENSO -----	25
Figura 6 - Caracterização gráfica dos índices ENSO. -----	28
Figura 7 - Matriz de correlação de Pearson entre dados abióticos e índices ENSO. -----	29
Figura 8 - Resultados das análises de Modelos de Regressão Linear para (A) Abundância e (B) Riqueza de espécies ao longo dos anos. -----	35
Figura 9 - Resultados das análises de Modelos de Regressão Linear para abundância em relação ao ONI, PDO, NPI, NAO, MODOKI, SAODI e SOI. -----	36
Figura 10 - Resultados das análises de Modelos de Regressão Linear para Abundância média trimestral e as fases (A) positiva, (B) neutra e (C) negativa do índice ONI. -----	37
Figura 11 - Resultado da análise de Modelos de Regressão Linear para a fase negativa do índice ONI ao longo do tempo analisado. -----	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Configuração trimestral utilizada para análise de dados. ----- 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intensidade das fases ENSO de acordo com o índice ONI. -----	23
Tabela 2 - Índices de significância entre dados abióticos. -----	30
Tabela 3 - Índices de significância entre dados abióticos e índices ENSO. -----	31
Tabela 4 - Índices de significância entre índices ENSO. -----	32
Tabela 5 - Lista de projetos e trabalhos acadêmicos dos quais foram retiradas as planilhas que compõe o conjunto de dados bióticos. -----	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
BIOCOST - Laboratório de Biodiversidade Costeira
BISC - Baía da Ilha de Santa Catarina
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EIA - Estudo de Impacto Ambiental
ENSO - El Niño Southern Oscillation
ERSSTv5 - Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5
ETA - Estação de Tratamento de Água
EUA - Estados Unidos da América
IMA - Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
MODOKI - El Niño Modoki Index
NAO - North Atlantic Oscillation
NCAR - National Center for Atmospheric Research
NCEP - National Centers for Environmental Prediction
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
NPI - North Pacific Index
ONI - Oceanic Niño Index
PDO - Pacific Decadal Oscillation
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
SAODI - South Atlantic Ocean Dipole Index
SOI - Southern Oscillation Index
TSM - Temperatura da Superfície do Mar
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí
WoRMS - World Register of Marine Species

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	METODOLOGIA.....	19
2.1	ÁREA DE ESTUDO	19
2.2	DADOS BIÓTICOS	21
2.3	DADOS ABIÓTICOS	22
2.4	ÍNDICES ENSO	22
2.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
3	RESULTADOS	27
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS ÍNDICES ENSO.....	27
3.2	ANÁLISES DE CORRELAÇÃO.....	29
3.2.1	Correlação entre dados abióticos	29
3.2.2	Correlação entre dados abióticos e índices ENSO.....	30
3.2.3	Correlação entre índices ENSO.....	32
3.3	DADOS BIÓTICOS	32
3.4	MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR.....	35
3.4.1	DADOS BIÓTICOS X TEMPO	35
3.4.2	DADOS BIÓTICOS X ENSO.....	35
3.4.2.1	ABUNDÂNCIA X ONI.....	37
3.4.3	ONI X TEMPO	38
4	DISCUSSÕES	39
5	CONCLUSÃO.....	42
6	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICE A – Disposição trimestral dos fatores bióticos, abióticos e índices ENSO	53
	APÊNDICE B – Tabela de correlações lineares entre variáveis abióticas e índices ENSO.....	55

1 INTRODUÇÃO

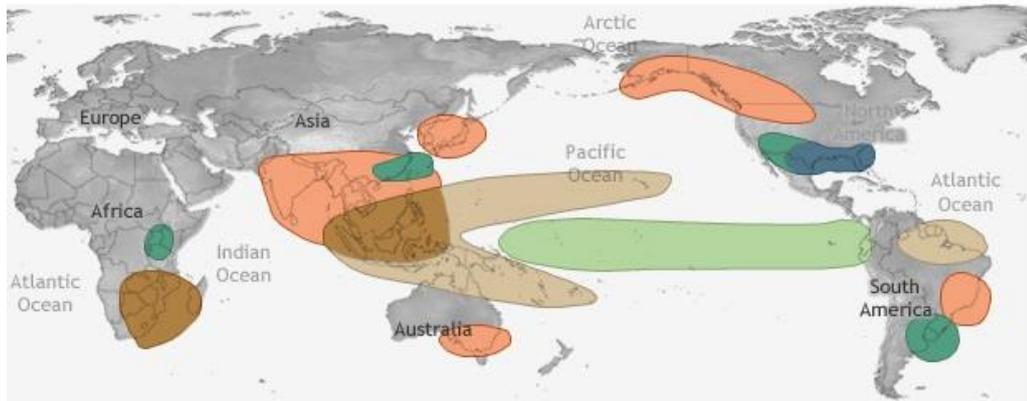
Alterações no clima global têm sido um fator importante e recorrente. Impactos negativos são observados tanto nos ecossistemas como no modo de vida humano. Aumento do nível do mar e da frequência e intensidade de tempestades, inundações e secas, mudanças no ciclo de nutrientes, migrações de populações marinhas, acidificação dos oceanos são alguns dos efeitos projetados por modelos que direta ou indiretamente estão relacionadas com o aumento das concentrações de gases de efeito estufa e seus desdobramentos. O El Niño-Oscilação Sul é um importante fenômeno natural que tem sido intensificado pelas alterações climáticas atuais (IPCC, 2019a & 2019b).

O El Niño Oscilação Sul (ENSO) é um evento climático que envolve o sistema oceano-atmosfera formado pelos dois elementos que lhe dão nome (TRENBERTH, 1997a). A parte “El Niño” se refere à variações atípicas na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do Oceano Pacífico Equatorial, enquanto que a “Oscilação Sul” diz respeito a oscilação da pressão atmosférica a nível do mar entre Darwin (Austrália) e o Taiti. Contudo, o ENSO é um evento cíclico de atuação global, dividido entre a fase quente El Niño, a fase fria La Niña, e ENSO-Neutro (TRENBERTH, 1996). Em geral, períodos de El Niño levam chuvas acima da média para as regiões Sul da América do Sul, Leste da África e Sul dos Estados Unidos (EUA), além de situações de secas na América Central, região Norte da América do Sul, Sudeste Africano, no Sul e Sudeste Asiático e Norte da Austrália (WATER, 2016; Figura 1). La Niña, por sua vez, provoca secas no Sul da América do Sul, Sul dos Estados Unidos, Sul da Ásia e Oriente Médio e condições úmidas para o Sudeste Asiático, Norte da América do Sul, Sul da África e Ilhas do Pacífico Central (NULLIS, 2021; Figura 2). A fase neutra diz respeito a momentos em que a pressão e/ou TSM se aproxima das médias históricas, não gerando grandes impactos no clima global (NOAA, 2021).

Ao longo dos anos é possível identificar variação quanto a intensidade das fases do ENSO (TRENBERTH, 1997a). Eventos moderados (La Niña de 2020/2021) a fortes (El Niño de 2015/2016) geram efeitos mais graves que eventos de intensidade fraca (IPCC, 2019b; NOAA, 2022). Como exemplo, o episódio de 2015/16 registrou enchentes e secas de altas proporções na Somália e na Indonésia, respectivamente (WFP, 2015).

Impactos Climáticos de El Niño

Dezembro - Fevereiro



Junho - Agosto

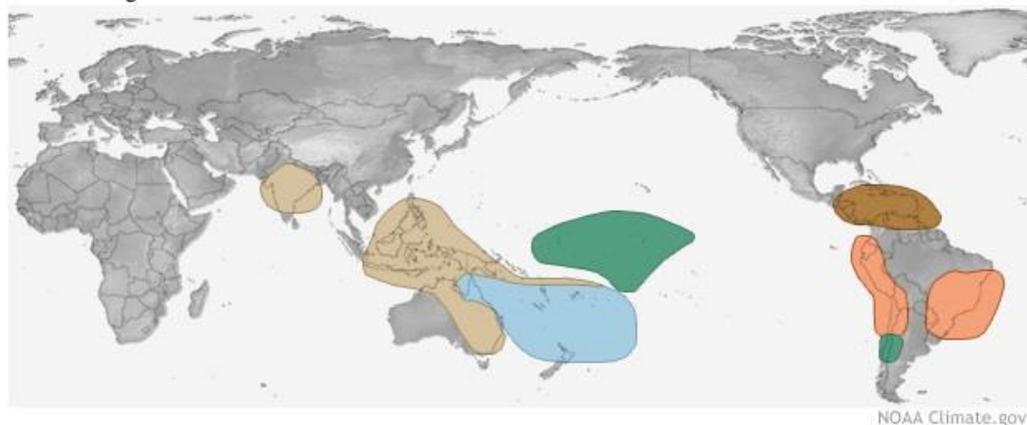


Figura 1 - Impactos climáticos globais da fase El Niño dentro do ciclo ENSO. Na imagem estão indicadas regiões de larga escala que sofrem alterações em seus padrões climáticos, se tornando mais quentes, frias, úmidas ou secas durante o verão (dezembro - fevereiro) e inverno (junho - agosto) austral. Fonte: Modificado de CLIMATE.GOV, 2021a.

A América do Sul é particularmente afetada pelos ciclos ENSO (BOENING et al, 2012). No Brasil, a região Sul é uma das mais acometidas pelas alterações dos regimes meteorológicos (GRIMM, 2009). Em anos de El Niño, são reportadas aumento na frequência de chuvas, por vezes gerando grandes enchentes, em especial no estado de Santa Catarina (JUNIOR, 2017). A La Niña, no entanto, mostra efeitos inconstantes. Enquanto alguns meses

marcam cenários de seca associadas ao La Niña, outros apresentam níveis normais de precipitação. Ainda assim, a intensificação (atenuação) no regime de chuvas durante o El Niño (La Niña) aumenta (diminui) a vazão dos rios e diminui (aumenta) a salinidade de corpos d'água estuarinos (MARENGO, 1998). Assim, eventos ENSO afetam consideravelmente a ecologia de ambientes costeiros (ROSSI, 2017).

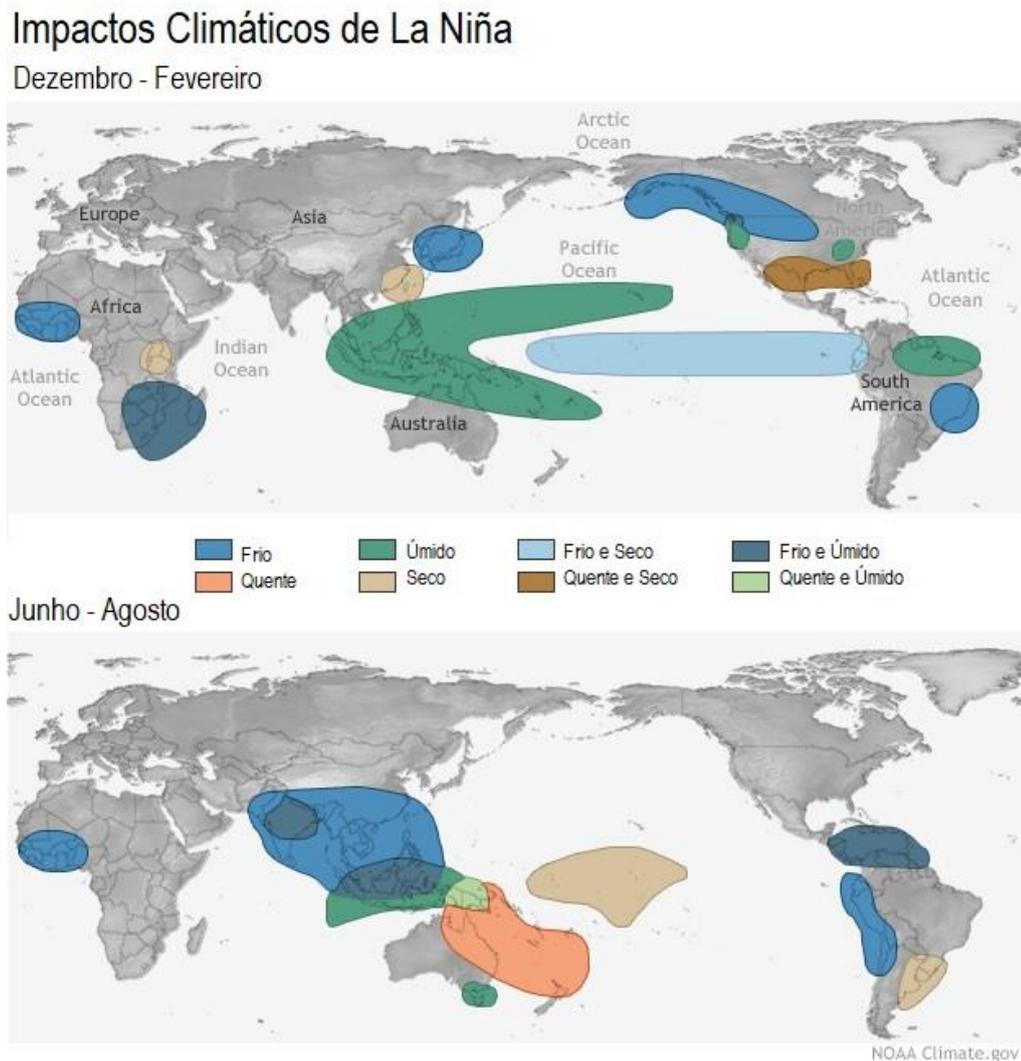


Figura 2 - Impactos climáticos globais da fase La Niña dentro do ciclo ENSO. Na imagem estão indicadas regiões de larga escala que sofrem alterações em seus padrões climáticos, se tornando mais quentes, frias, úmidas ou secas durante o verão (dezembro - fevereiro) e inverno (junho - agosto) austral. Fonte: Modificado de CLIMATE.GOV, 2021a.

Estudos acerca dos impactos do ENSO sobre a fauna aquática apontam alterações em parâmetros de comunidade em diversos lugares no mundo. Nos EUA, foi encontrado diminuição nas abundâncias da comunidade macrobêntica em eventos de El Niño, principalmente devido a alteração nos parâmetros hidrológicos locais (POLLACK et al., 2011). Em contrapartida, num estudo realizado no Uruguai foi encontrada variabilidade na fauna bêntica, apesar de não ser evidenciada diferença significativa nos efeitos das fases ENSO analisadas (BRUGNOLI, 2021). Além disso, um estudo realizado no norte do estado de Santa Catarina mostrou que a fauna de dois estuários morfologicamente distintos reagem de formas diferentes ao ENSO (FRANCISCO, 2020). A partir do momento que os efeitos variam regionalmente, faz-se necessário estudar a repercussão dos eventos do ENSO sobre estuários locais (FARACO et al., 2004).

A Baía da Ilha de Santa Catarina (BISC) pode ser considerado um complexo estuarino por ser a foz de diversos rios das regiões. Estudos apontaram que o regime pluviométrico na Ilha sofreu alterações com a presença de El Niño e La Niña (BALDO et al., 2000). A temperatura é outro fator abiótico que sofre modificação pelo ENSO. Durante episódios de El Niño (La Niña) os invernos na BISC tendem a ser mais quentes (frios) que o esperado para a estação (GRIMM, 2009). Temperatura e salinidade, ligada ao input de água doce, são dois dos principais fatores limitantes da fauna em estuários (CHAPMAN, 2001). Um evento de El Niño intenso causou a menor taxa de sobrevivência de bivalves, devido a alta temperatura das águas no setor sul da BISC (MIZUTA et al., 2011). Entretanto, um cenário de poucas chuvas durante um episódio de La Niña proporcionou maior sobrevivência de indivíduos juvenis no mesmo local (MIZUTA et al., 2012). Porém, ainda são poucos os materiais a respeito dos efeitos do ENSO sobre a comunidade bêntica da Baía da Ilha de Santa Catarina.

Assim, neste trabalho foi investigada a variabilidade de fatores bióticos e abióticos na Baía da Ilha de Santa Catarina ao longo de duas décadas, entre 2000 e 2021. O objetivo foi encontrar ligações entre as modificações de abundância e riqueza de espécies com a alteração de parâmetros ambientais que respondem ao ciclo ENSO, como a temperatura e a precipitação. Trabalhamos com a hipótese de que existe um padrão de variabilidade local da macrofauna bêntica em resposta ao ciclo ENSO. Seguindo a linhas de outros estudos, esperamos encontrar efeitos negativos sobre a fauna durante a presença de El Niño ou La Niña, diminuindo a abundância e riqueza de espécies da comunidade bêntica da Baía. Tais resultados seriam mais expressivos em períodos ENSO considerados moderados ou fortes.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A BISC está localizada entre as coordenadas 27°22' - 27°50' S e 48°20' - 48°35' W, no estado de Santa Catarina, região sul do Brasil (Figura 3). A BISC é caracterizada como um canal, ainda que finito, uma vez que há fluxo de águas constante com o Oceano Atlântico, que separa o continente da Ilha de Santa Catarina (CZIZEWESKI, 2016). As temperaturas máximas e mínimas da região apresentam padrão sazonal. O verão expressa média de 25°C, e aos invernos a temperatura média decresce para 16°C (SILVA, 2002). Em anos de El Niño os invernos se apresentam mais brandos, com temperaturas de até 0,8°C acima da média esperada. Em anos de La Niña observa-se o contrário: diminuição das temperaturas mínimas, principalmente nas estações de inverno e primavera (GUIMARÃES, 2012).

O sistema divide-se em dois setores: Baía Norte e Baía Sul. A diferenciação de ambos se dá quanto aos ventos predominantes, granulometria e hidrodinâmica. A região mais ao norte apresenta dominância de ventos de nordeste, sedimentos finos e profundidade máxima de 5 metros. O setor sul, por sua vez, prevalecem os ventos de sul e sudeste, sedimentos grossos e profundidade máxima de 9,5 metros. Tais características sugerem que a Baía Norte tenha menor grau hidrodinâmico quando comparado a Baía Sul. Todavia, em ambas baías prevalece o domínio marinho, com salinidade média de 31 (SILVA, 2002; WAHRLICH, 2018).

A pluviosidade, a vazão dos rios e as marés são aspectos importantes que ditam a salinidade do sistema estuarino (HAVENS, 2014). A BISC apresenta regime de micromarés, com amplitude média de 0,52 m (SIMONASSI, 2010). Quatro das principais Bacias Hidrográficas do estado, em junção com bacias contíguas da Ilha de Santa Catarina, desembocam na BISC (SIRHESC, 2018). O setor norte das baías recebe o aporte de águas dos rios Biguaçu e Ratoões, enquanto que a baía sul é foz dos rios Cubatão do Sul, Maruim, Tavares e Massiambu (PARIZOTTO, 2009). O Rio Cubatão do Sul tem grande influência no sistema das baías, apresentando vazão média de 11,7 m³/s (PEREIRA, 2002). Em geral, a magnitude da vazão dos rios na região é influenciada pelo regime de chuvas local (SIRHESC, 2018). Usualmente, o verão apresenta maior taxa de precipitação com média de 200,78 mm no trimestre janeiro, fevereiro e março. Em contrapartida, o inverno apresenta menor precipitação, com média de 91,71 mm para o trimestre de junho a agosto (SILVA, 2002). No que diz respeito

a eventos extremos, a precipitação diária pode chegar em torno de 85 mm/dia em chuvas intensas, ou apresentar apenas 2 mm/mês em período de estiagem prolongada (CARDOSO, 2020; JUNIOR, 2020).

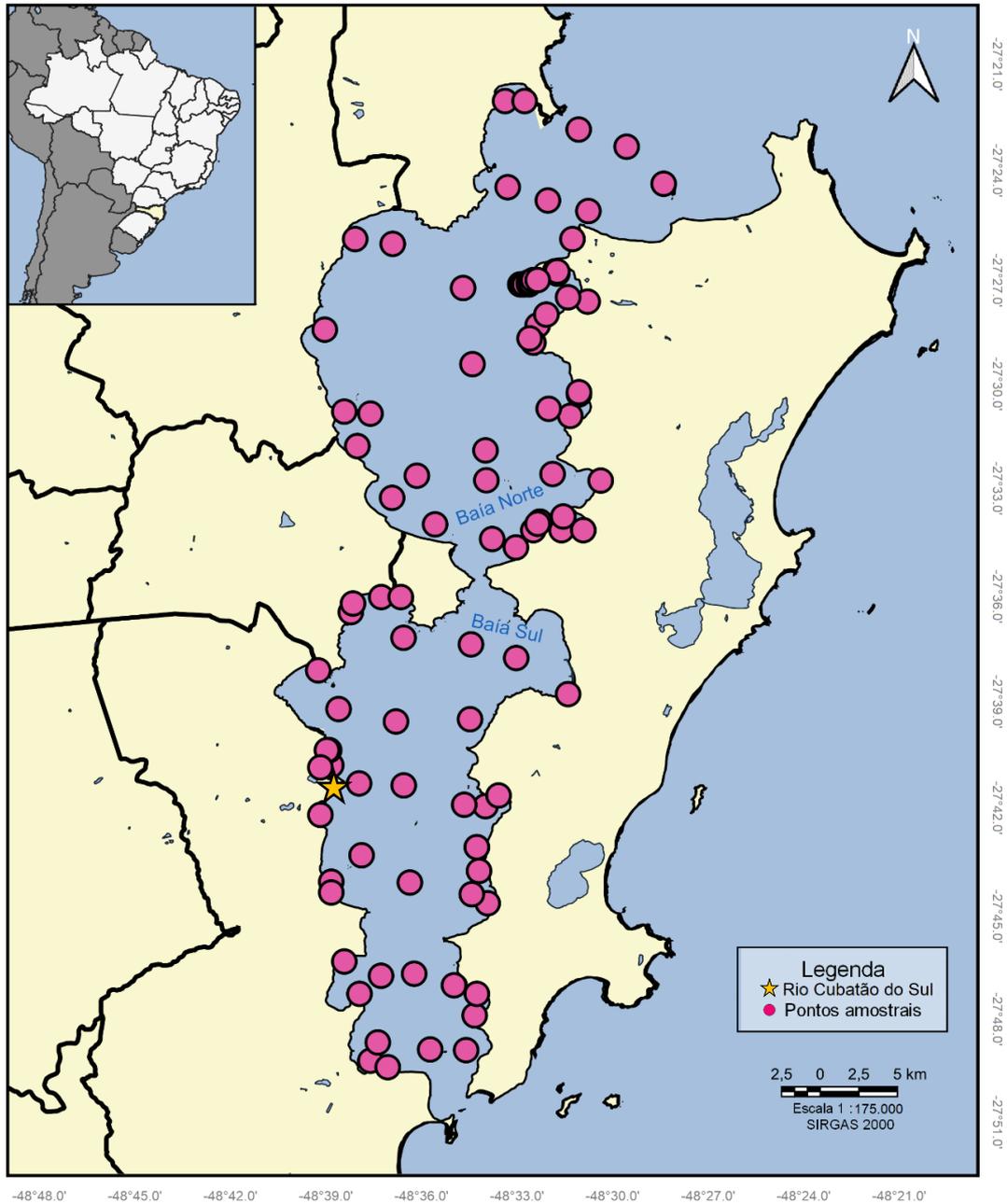


Figura 3 - Localização da área de estudo, foz do Rio Cubatão do Sul e dos pontos amostrais referentes a macrofauna bêntica para o período de 2000-2021. Fonte: Produzido pela autora, com dados da Prefeitura Municipal de Florianópolis, 2022.

2.2 DADOS BIÓTICOS

Para a obtenção de dados bióticos realizou-se levantamento de trabalhos acadêmico-científicos da macrofauna benthica na Baía da Ilha de Santa Catarina. Usamos de indexadores para consulta de artigos científicos, e do catálogo de teses e dissertações da CAPES (<https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#!/>) e repositório institucional da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (<https://repositorio.ufsc.br/>) para captação de teses e dissertações acadêmicas. As palavras chaves usadas foram: “macrofauna”, “bentos”, “benthica”, “bioindicador”, “estuário”, “Baía de Santa Catarina” e “Florianópolis”. Também, fez-se uso da ferramenta “Consulta EIA/RIMA” do website do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina - IMA (<https://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/consultas/consulta-eia-rima>) para adquirir Estudos de Impacto Ambiental (EIA) de projetos implementados na BISC. Para isso, foram selecionadas as cidades litorâneas da Grande Florianópolis.

Entramos em contato com pesquisadores do Laboratório de Ecologia de Comunidades, da Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI e do Laboratório de Biodiversidade Costeira, da UFSC. Através deles, obteve-se dados não publicados referentes a consultorias ambientais e projetos de monitoramento, além de artigos científicos.

Todos os dados foram organizados e padronizados para melhor ajuste das informações. Para cada dataset foram identificadas as datas de coleta em termos de mês e ano; o tipo e dimensões do amostrador utilizado; o número total de amostras; e a localização geográfica das estações amostrais em termos de latitude e longitude. Foram removidos dados amostrais coletados fora da área de interesse e trabalhos cuja informação biótica não estivesse expressa em termos de abundância.

Utilizamos o software RStudio para a padronização de nomes científicos, união de duplicatas, especificação de gêneros e correção de erros ortográficos sempre que necessário (R CORE TEAM, 2021). As nomenclaturas dos táxons foram validadas no banco de dados do World Register of Marine Species - WoRMS a partir da ferramenta `match_taxa`, contida no pacote `obistools` (MOZZHERIN, 2008; PROVOOST, 2018). Novas verificações foram realizadas a fim de caracterizar as espécies classificadas como *in dubio*, optando pela identificação mais antiga. Por fim, com os dados organizados na mesma unidade de área, foram calculadas as médias para densidade amostral e riqueza de espécies.

2.3 DADOS ABIÓTICOS

Reunimos dados climatológicos das principais variáveis afetadas pelos ciclos ENSO. Para isso usamos a base de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>). As definições foram aplicadas para a estação convencional de Florianópolis, código 83897, localizada no município de São José/SC, com o período de janeiro de 1999 até dezembro de 2021. Extraíu-se dados de médias mensais de temperatura máxima (°C), pressão atmosférica (mB), umidade relativa do ar (%), velocidade máxima do vento (m/s), além de insolação (h) e precipitação (mm) totais. No entanto, a série conta com dois curtos intervalos sem dados: janeiro de 1999 a julho de 2001, bem como de março de 2020, quando a estação foi fechada, até dezembro de 2021 (APÊNDICE A).

Também, usamos do sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>) para obter dados relacionados ao input de água doce na BISC. Foi consultada a estação fluviométrica ETA CASAN-MONTANTE, código 84150100, localizada no município de Palhoça/SC. Seleccionamos as variáveis vazão máxima, mínima e média (m³/s) do Rio Cubatão do Sul. O período analisado foi entre janeiro de 1999 até dezembro de 2021. Mais uma vez, a série apresenta uma pequena lacuna de informações, desta vez entre julho e dezembro de 2021 (APÊNDICE A).

2.4 ÍNDICES ENSO

A inferência acerca da atuação do ciclo ENSO foi realizada com o uso dos seguintes índices: Oceanic Niño Index - ONI (NOAA, 2022); El Niño Modoki Index - MODOKI (APCC, 2022); Southern Oscillation Index - SOI (NCEI, 2022a); North Pacific Index - NPI (NCAR, 2021); North Atlantic Oscillation - NAO (NWS, 2021); South Atlantic Ocean Dipole Index - SAODI (SOUZA, 2022b) e Pacific Decadal Oscillation - PDO (NCEI, 2022b).

O índice ONI utiliza uma série de dados históricos de 30 anos (1991-2020) para calcular a variação da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região localizada no leste equatorial do Oceano Pacífico (5°N-5°S, 120°-170°W), denominada como Niño 3.4 (CLIMATE, 2021; Figura 4). Essa região foi escolhida por apresentar melhor correlação entre as medições de pressão atmosférica e TSM, indicando a atuação de fases do ENSO com melhor

precisão (TRENBERTH, 1997a). A partir das médias mensais dos dados históricos tem-se o valor regular de TSM para cada mês do ano. Utiliza-se o dataset “Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, version 5” (ERSSTv5) para os valores mensais da TSM relativos ao tempo presente (HUANG et al. 2017). Assim, são calculadas as variações em torno da média, chamadas de “anomalias”, tanto para mais quanto para menos. É necessário haver cinco médias móveis trimestrais sobrepostas consecutivas com anomalias superiores a 0,5 °C para que seja instaurado um período de El Niño, caso os valores sejam positivos, ou La Niña, para valores negativos (NOAA, 2022). Aqueles períodos cujas anomalias não foram tão expressivas ou que não atingiram as 5 repetições necessárias são chamados de ENSO-neutro (NSW, 2021). A intensidade dos eventos ENSO é designada como mostra a Tabela 1. Para este trabalho, denominou-se como períodos intensos eventos de El Niño ou La Niña com intensidade superior a “Fraco”.

Tabela 1 - Intensidade das fases ENSO de acordo com o índice ONI.

Fase ENSO	Intensidade	ONI (anomalia de TSM)
El Niño	Fraco	+0,5 a +0,9
	Moderado	+1,0 a +1,4
	Forte	+1,5 a +1,9
	Extremo	> +2,0
Neutro		+0,5 > 0 < -0,5
La Niña	Fraco	-0,5 a -0,9
	Moderado	-1,0 a -1,4
	Forte	-1,5 a -1,9

Fonte: GGWEATHER, 2022.

O índice MODOKI diz respeito a uma variante do ciclo ENSO usual, chamado de ENSO Modoki. É calculado de forma similar ao ONI, a diferença é quanto ao local em que são mensurados os dados. Ao invés da região Niño 3.4, o índice MODOKI é medido na região Niño 4 (5°N–5°S, 160°E–150°W; Figura 4), no Pacífico Equatorial Central. Novamente, os eventos de El Niño são caracterizados por anomalias positivas de TSM, enquanto que anomalias negativas descrevem episódios de La Niña (ASHOK, 2007; FRANCISCO, 2020; YEH, 2009).

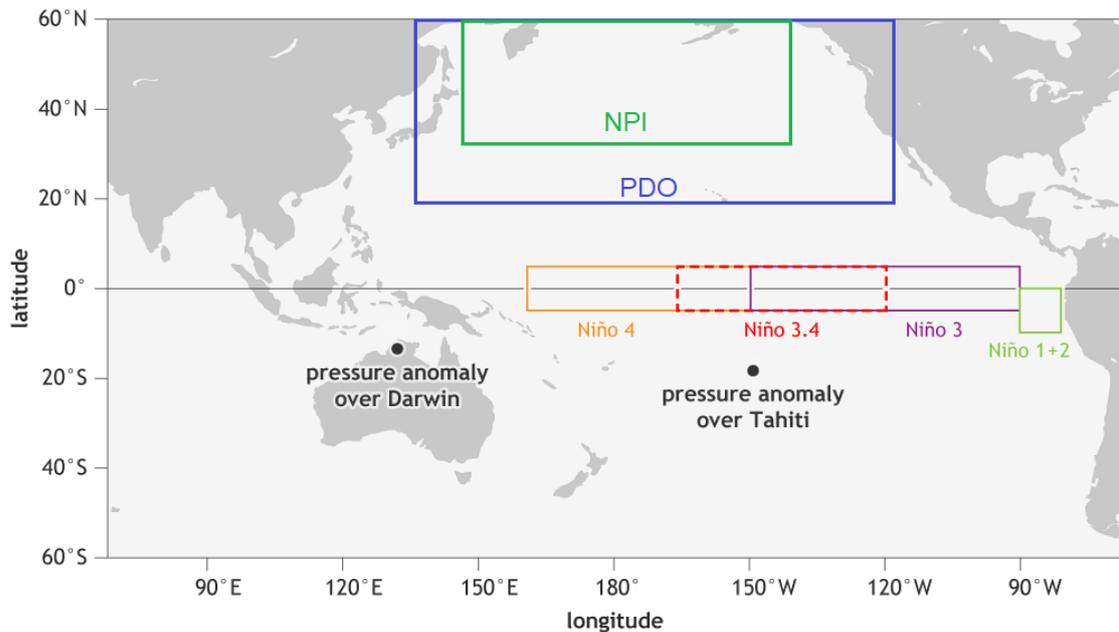


Figura 4 - Regiões do Oceano Pacífico onde são mensurados os índices Oceanic Niño Index (ONI), El Niño Modoki Index (MODOKI), Southern Oscillation Index (SOI), North Pacific Index (NPI) e Pacific Decadal Oscillation (PDO). As medições do ONI e MODOKI são realizadas nas regiões Niño 3.4 e 4, respectivamente, enquanto que as medições de pressão do índice SOI são realizadas em Darwin e Taiti. Fonte: Modificada de CLIMATE.GOV, 2021b

O índice SOI é calculado através da diferenças entre as pressões atmosféricas a nível do mar normalizadas. Os dados são provenientes de duas estações de observação, uma localizada em Darwin, Austrália e a outra no Taiti (Figura 4; BECKER, 2014). Os locais das estações são próximos ao centro de ação do fenômeno Oscilação Sul, que se refere a variação de massa atmosférica entre os Oceanos Índico e Pacífico (TRENBERTH, 1984). Os dados atuais são originários do banco de dados da NCEP/NCAR. O desvio padrão, que caracteriza o índice, é aferido a partir da variação da média mensal atual em relação a média histórica (1991-2020; APCC, 2022). O SOI negativo acontece quando a estação do Taiti apresenta menor variação de pressão enquanto que a estação de Darwin exibe maior variação de pressão, ambos em relação à suas médias históricas. Esse resultado é relativo a eventos de El Niño. O contrário caracteriza o SOI positivo, referente a períodos de La Niña (NCEI, 2022a).

O NPI é caracterizado pelas variações na pressão atmosférica ao nível do mar medidas em uma região específica (30-65°N, 160°E-140°W) do Oceano Pacífico Norte. O índice é anual, composto pelas médias dos meses do inverno boreal, de novembro a março. Esse período foi escolhido devido a maior variação de pressão na área amostrada. Os valores de anomalia

são a variação da média apurada entre os anos de 1947 a 1991. Períodos em que a pressão aferida confere uma média sazonal significativamente baixa são correlacionados com o El Niño (TRENBERTH, 1994).

O NAO é calculado a partir da diferença norte-sul de pressão atmosférica entre duas estações de observação no Oceano Atlântico Norte (Figura 5; WUNSCH, 1999). A primeira estação corresponde ao ponto mais ao norte, na Groenlândia, e a outra ao ponto mais ao sul, entre as latitudes 35°-40° N (NWS, 2021). Anomalias são calculadas a partir do desvio em relação às médias históricas. O NAO possui duas fases, positiva e negativa. A fase positiva, por exemplo, é caracterizada por anomalias negativas de pressão na região da Groenlândia ao mesmo tempo que há anomalias positivas de pressão no Atlântico Central (SOUZA, 2022a).

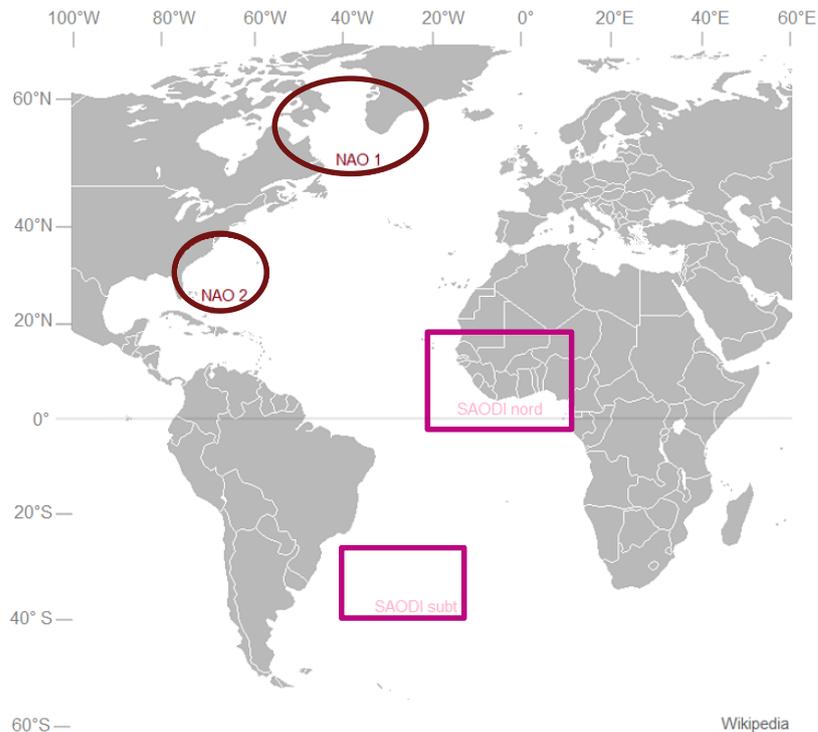


Figura 5 - Regiões do Oceano Atlântico onde são mensurados os índices North Atlantic Oscillation (NAO) e South Atlantic Ocean Dipole Index (SAODI).

O índice SAODI mede a variação nas anomalias de médias mensais de TSM no Oceano Atlântico Sul (Figura 5). Dois setores são avaliados: o setor subtropical, próximo ao Uruguai (25°S-40°S, 10°-40°W) e o setor nordeste (0°-15°S, 10°E-20°W). Para sua inferência é usado o dataset ERSSTv5 (HUANG et al, 2017). As anomalias são medidas pela diferença

normalizada de TSM entre os dois setores citados (NNAMCHI, 2011). Valores positivos (negativos) do SAODI indicam aquecimento (resfriamento) das águas do Nordeste do Atlântico concomitantemente com o resfriamento (aquecimento) das águas próximas ao Uruguai (SOUZA, 2022b). É possível que fases positivas do SAODI se correlacionem com o ENSO La Niña (NNAMCHI, 2011).

PDO é descrito como uma variação climática de escala (inter) decadal atuante no Oceano Pacífico Norte (Figura 4). Seu índice é medido através de anomalias da TSM, definidas como a variação em relação à média história. Para isso, faz-se uso da série de dados ERSSTv5 (HUANG et al, 2017; NCEI, 2022b). O PDO é caracterizado por duas fases, quente e fria. A fase quente acontece quando as águas interiores do Pacífico Norte apresentam anomalias negativas de TSM ao mesmo tempo que águas costeiras exibem anomalias positivas de TSM. Esta fase se assemelha a fase El Niño do ciclo ENSO. A fase fria do PDO é caracterizada quando há anomalias positivas de TSM nas águas interiores do Pacífico Norte, enquanto que águas costeiras apresentam anomalias negativas de TSM. De modo similar, essa fase é associada a eventos de La Niña (MANTUA, 1997). No entanto, o ENSO e o PDO não possuem mesma escala, podendo apresentar fases diferentes sincronicamente (NCEI, 2022b; SOUZA, 2021).

Quadro 1 – Configuração trimestral utilizada para análise de dados.

Meses	Trimestre
Março	MAM
Abril	
Maio	
Junho	JJA
Julho	
Agosto	
Setembro	SON
Outubro	
Novembro	
Dezembro	DJF
Janeiro	
Fevereiro	

Análises exploratórias com os índices ENSO mostraram que a divisão trimestral gera melhor aproveitamento com os nossos dados bióticos. O Quadro 1 mostra o arranjo trimestral trabalhado.

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Utilizou-se do RStudio para o processamento das amostras bióticas, abióticas e dos índices ENSO (R CORE TEAM, 2021). Foi gerada uma planilha única, contendo todos os dados, exceto períodos com carência de informações. Efetuou-se a média dos fatores bióticos e abióticos, transformando-os em variáveis trimestrais, a fim de seguir a formatação dos índices ENSO. A transformação $\log_{1p}(x) = \log(1+x)$ foi aplicada quando necessário. Para tais ações utilizamos os pacotes dplyr e devtools (WICKHAM, 2018; WICKHAM, 2021). Produzimos uma matriz de correlação para as variáveis abióticas e os índices ENSO, através do pacote corrplot, onde foram gerados coeficientes de determinação, R^2 (WEI, 2021). Para separação das fases ENSO em El Niño e La Niña seguiu-se as definições de seus respectivos índices. Também, criamos gráficos de regressão linear (r^2 , coeficiente de correlação de Pearson) a partir do pacote ggplot2 (WICKHAM, 2016). Os dados bióticos foram indicados como variáveis independentes e os índices ENSO e os anos como variáveis dependentes. Usou-se das funções base lm e summary para a realização de modelos de regressão linear, contendo o índice de significância $p < 0,05$ (R CORE TEAM, 2021).

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ÍNDICES ENSO

A partir das séries históricas de cada índice ENSO foram gerados gráficos temporais para o período de 2000 a 2021. A Figura 6 justapõe todos os índices trabalhados, evidenciando a periodicidades dos eventos ENSO além das diferentes escalas e sentidos utilizados (UNIFEI, 2022). Os índices aferidos por variações de TSM usam o mesmo sentido positivo e negativo, enquanto que os índices medidos pela oscilação de pressão usam o sentido inverso. Os índices ONI, MODOKI e SOI aparentam concordância de intervalos para as fases do ENSO. Os dois índices medidos no Atlântico (NAO e SAODI) são os mais discordantes em comparação com os outros índices que compartilham do mesmo método de aferição.

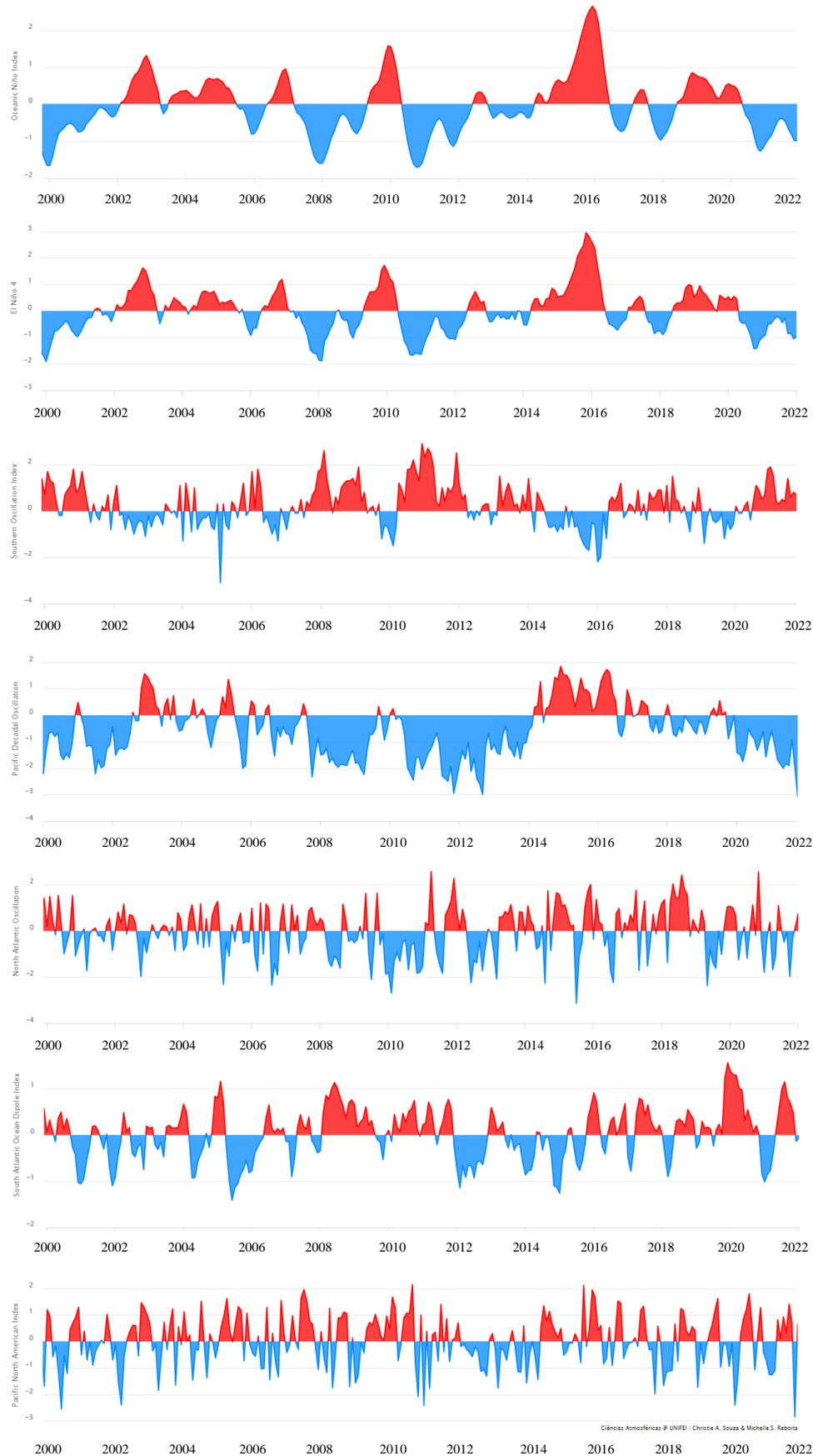


Figura 6 - Caracterização gráfica dos índices ENSO. De cima para baixo: ONI, MODOKI, SOI, PDO, NAO, SAODI e NPI. As cores vermelho e azul caracterizam anomalias positivas e negativas, respectivamente. Fonte: UNIFEI, 2022.

3.2 ANÁLISES DE CORRELAÇÃO

3.2.1 Correlação entre dados abióticos

A matriz de correlação de Pearson (Figura 7) evidenciou as relações, positivas e negativas, entre os dados abióticos e os índices ENSO (APÊNDICE B). Em geral, os valores médios trimestrais de temperatura máxima, seguida de umidade relativa do ar, pressão atmosférica, e insolação e precipitação totais foram as variáveis com maiores números de correlações encontradas.

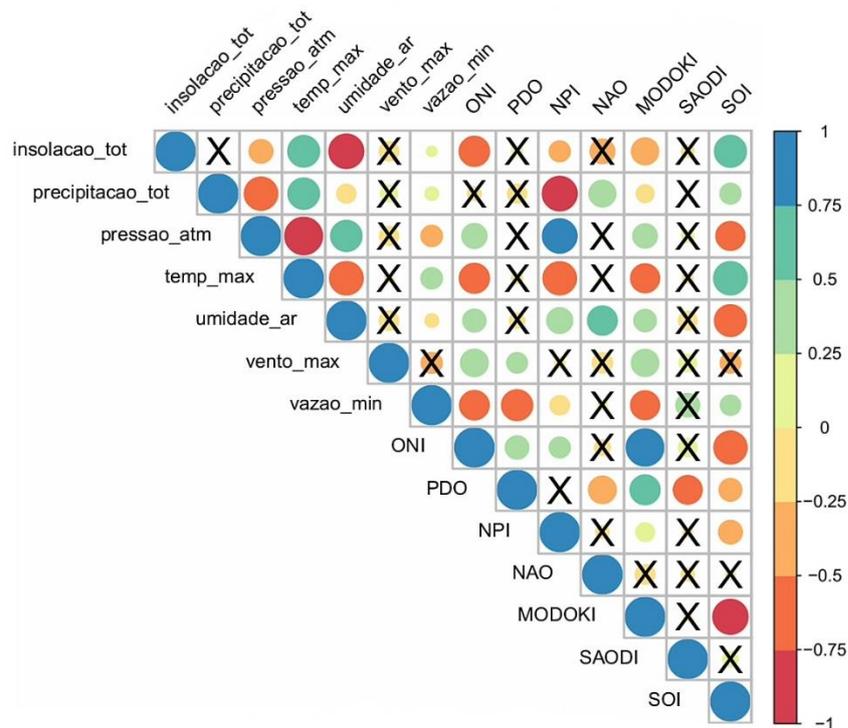


Figura 7 - Matriz de correlação de Pearson entre dados abióticos e índices ENSO. A escala de cores indica o coeficiente de determinação (R^2). Cores frias indicam correlação positiva e cores quentes apontam correlação negativa. A magnitude dos círculos indica o nível de significância. Aqueles que não apresentaram significância $p < 0,05$ são retratados com um “X”.

A temperatura máxima é positivamente correlacionada com a insolação e a precipitação, ambos com valores intermediários de R^2 , 0,64 e 0,63, respectivamente. Pressão atmosférica e umidade relativa do ar se correlacionam negativamente com a temperatura máxima ($R^2 = -0,91$ e $-0,72$, respectivamente), apresentando valores maiores à medida que a

temperatura diminui. A Tabela 2 mostra que além de correlação também há significância estatística entre as cinco variáveis.

A variável insolação mostrou correlação negativa significativa com a umidade ($R^2 = -0,77$, $r^2 = 4,76E-08$). A precipitação, por sua vez, foi negativamente correlacionada com a pressão atmosférica ($R^2 = -0,71$, $r^2 = 1,55E-09$). A umidade relativa do ar exibiu correlação positiva e significativa ($R^2 = 0,62$, $r^2 = 2,19E-06$) para a pressão atmosférica. Por último, a vazão mínima do Rio Cubatão do Sul e a velocidade máxima do vento não foram bem correlacionadas com nenhuma outra variável abiótica (Figura 7).

Tabela 2 - Índices de significância entre dados abióticos.

	Insolação total	Precipitação total	Pressão atmosférica	Temperatura máxima	Umidade do ar	Vento máximo	Vazão mínima
Insolação total	0						
Precipitação total	4,93E-01	0					
Pressão atmosférica	5,94E-03	1,55E-09	0				
Temperatura máxima	3,38E-05	3,34E-06	2,14E-14	0			
Umidade do ar	4,76E-08	1,82E-02	2,19E-06	5,50E-08	0		
Vento máximo	5,19E-02	1,39E-01	3,39E-01	7,92E-01	6,04E-01	0	
Vazão mínima	4,09E-02	1,17E-02	1,78E-03	3,84E-04	4,16E-02	5,74E-02	0

Células destacadas em vermelho indicam os valores de r^2 que apresentaram significância $p < 0,05$.

3.2.2 Correlação entre dados abióticos e índices ENSO

Da mesma forma, foram realizadas análises de correlação de Pearson entre os dados abióticos e os índices ENSO. Dentre os sete índices ENSO avaliados, o SAODI foi o único a não apresentar qualquer correlação. Os índices ONI, MODOKI e SOI foram os mais representativos na matriz de correlação (Figura 7).

A temperatura máxima foi, novamente, a variável mais altamente correlacionada: apresentou resultados negativos em relação ao NPI ($R^2 = -0,71$, $r^2 = 9,09E-10$), ONI ($R^2 = -0,57$, $r^2 = 2,61E-06$) e MODOKI ($R^2 = -0,53$, $r^2 = 5,06E-06$), e positivo somente com o SOI ($R^2 = 0,72$, $r^2 = 7,05E-10$). Outra variável destaque foi a vazão mínima do Rio Cubatão do Sul (Figura 7, Tabela 3). Agora, verificou-se três respostas de correlações inversas com PDO, ONI e MODOKI ($R^2 = -0,61$, $-0,55$ e $-0,53$ respectivamente).

A pressão atmosférica possui uma correlação altamente significativa com os índice NPI ($R^2 = 0,76$, $r^2 = 1,68E-15$) e SOI ($R^2 = -0,53$, $r^2 = 1,07E-05$). Insolação total ($R^2 = 0,65$) e umidade relativa do ar ($R^2 = -0,65$) também se correlacionaram com o índice SOI, ambos de forma significativa (Tabela 3). Além do SOI, insolação também exibiu correlação, dessa vez negativa, com o ONI ($R^2 = -0,58$, $r^2 = 9,41E-07$). Ainda que não apresente grande correlação ($R^2 = -0,46$) com o índice MODOKI, ambos tem relação significativa entre si ($r^2 = 1,98E-05$). A umidade do ar, por sua vez, mostra correlação significativa ($R^2 = 0,55$, $r^2 = 3,66E-02$) com o NAO.

A precipitação total se correlacionou, de modo significativo, exclusivamente com o índice NPI ($R^2 = -0,77$; Figura 7). Finalmente, a velocidade máxima do vento não mostrou boa correlação ($R^2 > 0,50$) com nenhum dos índices analisados (Figura 7).

Tabela 3 - Índices de significância entre dados abióticos e índices ENSO.

	Insolação total	Precipitação total	Pressão atmosférica	Temperatura máxima	Umidade do ar	Vento máximo	Vazão mínima
ONI	9,41E-07	6,88E-02	8,15E-04	2,61E-06	6,28E-04	2,57E-03	1,44E-06
PDO	6,04E-01	1,25E-01	2,78E-01	1,20E-01	9,29E-01	4,83E-03	5,40E-07
NPI	4,30E-02	4,02E-12	1,68E-15	9,09E-10	6,95E-05	2,06E-01	4,33E-03
NAO	7,20E-02	1,67E-02	5,16E-01	6,03E-01	3,66E-02	1,71E-01	7,60E-02
MODOKI	1,98E-05	4,26E-02	1,05E-03	5,06E-06	2,13E-03	1,97E-03	7,60E-08
SAODI	3,56E-01	8,21E-01	8,07E-01	6,92E-01	9,09E-01	3,86E-01	1,53E-01
SOI	3,12E-08	8,69E-03	1,07E-05	7,05E-10	6,19E-07	6,62E-02	6,06E-05

Células destacadas em vermelho indicam os valores de r^2 que apresentaram significância $p < 0,05$.

3.2.3 Correlação entre índices ENSO

ONI, MODOKI e SOI compartilham correlações lineares com as mesmas variáveis abióticas, assim, é evidente que haja alta correlação significativa entre eles (Tabela 4). O índice SOI usa de uma escala de valores inversa à usada pelos outros dois índices, fazendo com que suas correlações sejam no sentido negativo ($R^2 = -0,70$ e $-0,79$ para ONI e MODOKI, respectivamente). MODOKI, ao contrário dos outros dois, apresentou correlação ($R^2 = 0,57$) com o índice PDO (Figura 7).

O índice SAODI se correlacionou exclusivamente com o índice PDO, mostrando uma relação significativamente negativa ($R^2 = 0,52$, $r^2 = 4,42E-02$). Por fim, os índices NPI e NAO não apresentaram correlação $R^2 > 0,50$ com nenhum dos demais (Figura 7).

Tabela 4 - Índices de significância entre índices ENSO.

	ONI	PDO	NPI	NAO	MODOKI	SAODI	SOI
ONI	0						
PDO	5,43E-03	0					
NPI	8,00E-03	3,38E-01	0				
NAO	4,45E-01	1,91E-04	3,49E-01	0			
MODOKI	4,70E-19	9,02E-05	8,69E-03	2,02E-01	0		
SAODI	4,23E-01	4,42E-02	9,22E-01	9,91E-01	8,55E-01	0	
SOI	3,58E-11	1,30E-02	3,44E-04	7,18E-01	2,98E-11	9,77E-01	0

Células destacadas em vermelho indicam os valores de r^2 que apresentaram significância $p < 0,05$.

3.3 DADOS BIÓTICOS

Foram compilados 20 trabalhos (Tabela 5) contendo informações da macrofauna bêntica das Baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina. A organização final do dataset (APÊNDICE A) mostra as médias trimestrais amostrais de abundância e riqueza de espécies referentes às duas últimas décadas, com representação de todos os anos, a exceção de 2007.

Tabela 5 - Lista de projetos e trabalhos acadêmicos dos quais foram retiradas as planilhas que compõe o conjunto de dados bióticos.

Índice	Tipo	Autor	Ano da coleta	Mês	Tipo de amostrador	Diâmetro x Altura amostrador (cm)	Área do amostrador (m ²)	N total de amostras	Área do dado (m ²)
1	Artigo científico	NETTO, S. A. et al	2000	Setembro	corer	10x10	0,01	33	0,01
2	Tese de doutorado	PAGLIOSA, P. R.	2001	Abril	corer	15x10	0,018	72	0,018
3	Artigo científico	PAGLIOSA, P. R.	2001	Abril	corer	15x10	0,018	144	0,018
4	Monitoramento	ALMEIDA, T. C. M. et al.	2002	Fevereiro-Dezembro	van veen	--	0,025	144	0,025
5	Artigo científico	BOEHS, G. et al	2002	Agosto	corer	15x10	0,018	15	1
6	Monitoramento	ALMEIDA, T. C. M. et al.	2003	Fevereiro-Dezembro	van veen	--	0,025	121	0,025
7	Consultoria ambiental	ALMEIDA, T. C. M. et al.	2004	Abril	van veen	--	0,025	30	0,025
8	Monitoramento	ALMEIDA, T. C. M. et al.	2004	Março-Dezembro	van veen	--	0,025	120	0,025
9	Monitoramento	ALMEIDA, T. C. M. et al.	2005	Junho-Dezembro	van veen	--	0,025	120	0,025
10	Dissertação de mestrado	SOUZA, R. S.	2006	Janeiro-Novembro	corer	15x10	0,018	132	0,018
11	Dissertação de mestrado	XAVIER, L. A. R.	2008	Abril	corer	15x15	0,018	80	0,018
12	Consultoria ambiental	ALMEIDA, T. C. M. et al.	2008	Dezembro	van veen	--	0,042	16	0,168
13	Consultoria ambiental	ALMEIDA, T. C. M. et al.	2009	Outubro	van veen	--	0,042	70	2,94
14	Dissertação de mestrado	ALVES, G. F.	2010	Maió	corer	4x10	0,001	48	0,001

15	EIA/RIMA	Hantei Construções e Incorporações Ltda	2011	Março e Junho	van veen	--	0,042	24	0,042
16	EIA/RIMA	Hantei Construções e Incorporações Ltda	2011	Setembro e Outubro	van veen	--	0,036	60	1,08
17	Monitoramento	Laboratório de Biodiversidade Costeira - BIOCOST/UFSC	2012-2021	Fevereiro-Novembro	corer	10x10	0,01	162	0,01
18	Tese de doutorado	WEIS, W. A.	2015	Janeiro-Dezembro	corer	15x4	0,018	264	0,018
19	EIA/RIMA	ISA CTEEP	2018	Dezembro	van veen	--	0,04	36	0,04
20	Artigo científico	BRAUKO, K. M. et al	2020	Janeiro	corer	15x10	0,018	12	0,018

3.4 MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR

3.4.1 DADOS BIÓTICOS X TEMPO

A Figura 8 mostra os resultados dos modelos de regressão linear para a abundância e riqueza de espécies ao longo dos anos avaliados. A abundância mostra uma tendência temporal crescente ($p = 0,00997$), apresentando visivelmente maiores valores na última década. Em contrapartida, a riqueza de espécies não mostrou significância estatística quando analisada temporalmente ($p = 0,2481$), evidenciando uma situação de estabilidade.

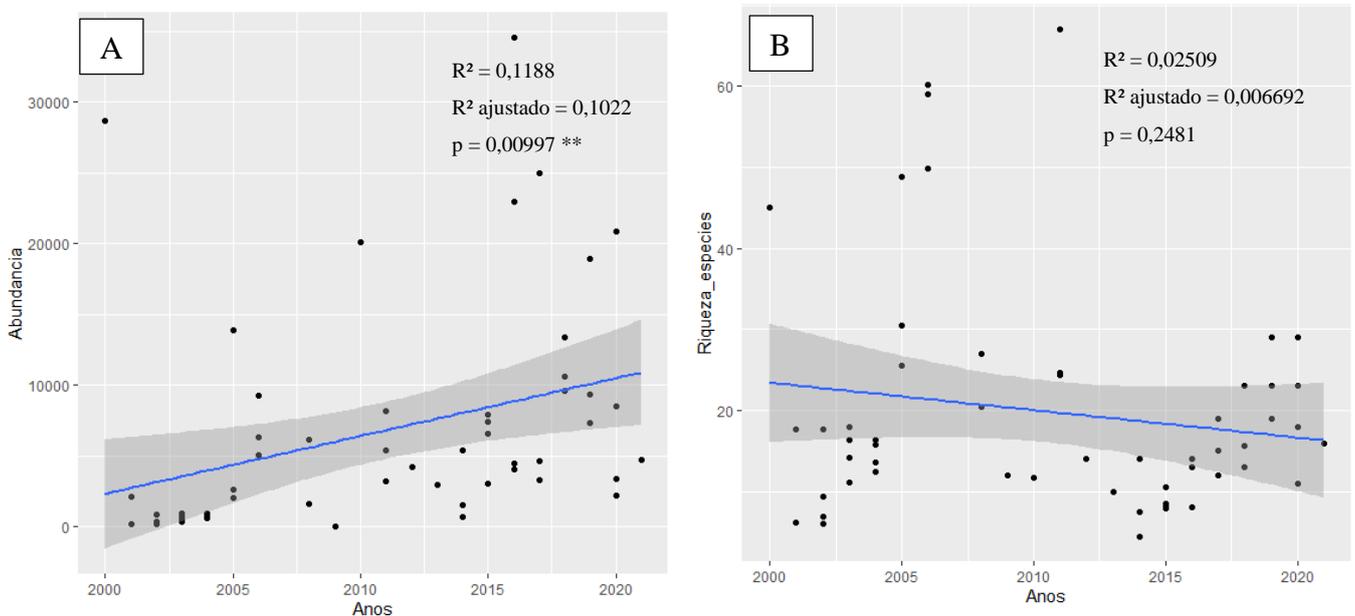


Figura 8 - Resultados das análises de Modelos de Regressão Linear para (A) Abundância e (B) Riqueza de espécies ao longo dos anos. Códigos de significância (p): 0 ‘***’; 0,001 ‘**’; 0,01 ‘*’; 0,05 ‘.’; 0,1 ‘,’

3.4.2 DADOS BIÓTICOS X ENSO

Foram realizados modelos de regressão linear entre a abundância média trimestral e os índices ENSO (Figura 9). Não foram executadas análises para a riqueza de espécies devido a sua não variabilidade temporal. Apenas o índice ONI se mostrou significativo ($p = 0,001335$).

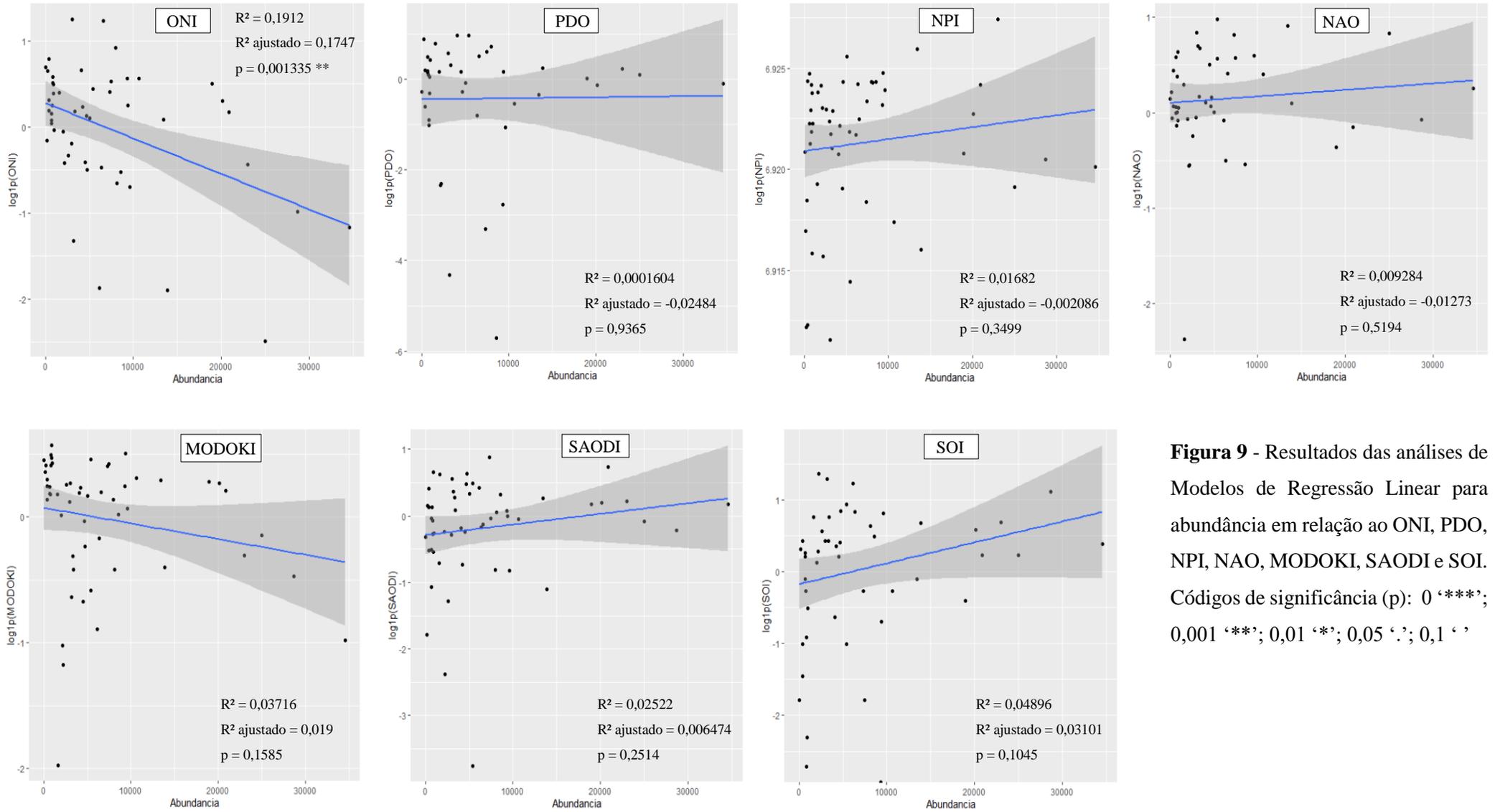
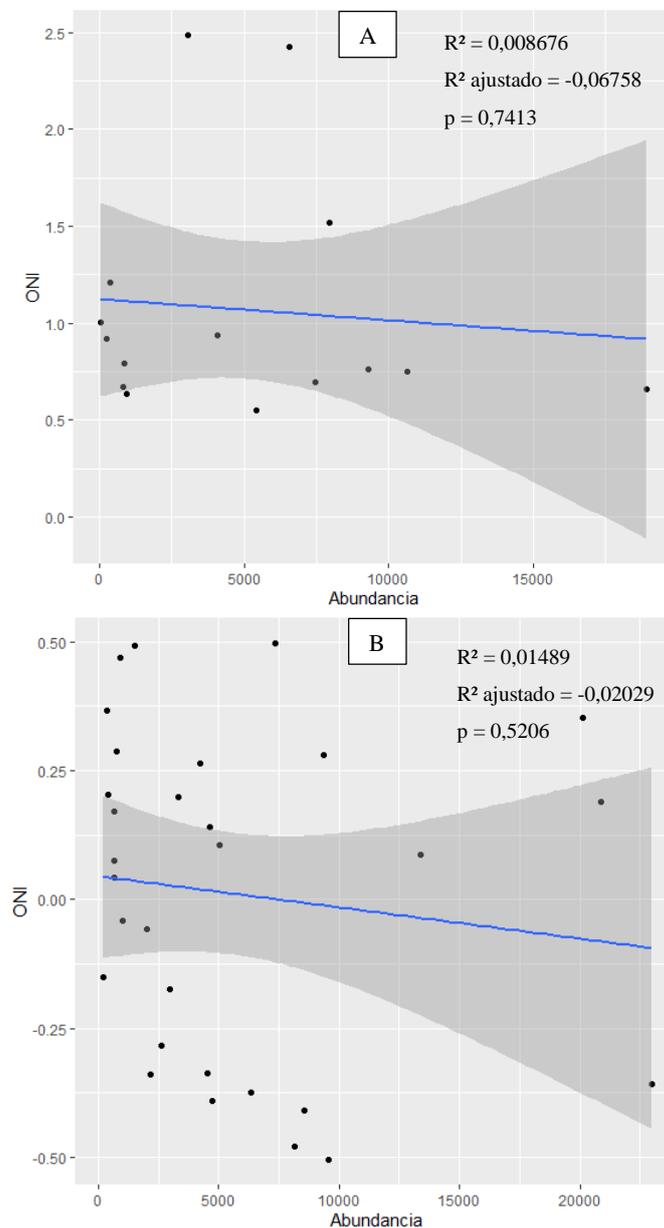


Figura 9 - Resultados das análises de Modelos de Regressão Linear para abundância em relação ao ONI, PDO, NPI, NAO, MODOKI, SAODI e SOI. Códigos de significância (p): 0 ‘***’; 0,001 ‘**’; 0,01 ‘*’; 0,05 ‘.’; 0,1 ‘ ’

3.4.2.1 ABUNDÂNCIA X ONI

Executamos análises de modelos de regressão linear comparando a abundância média trimestral com cada uma das fases do ONI: positiva (anomalias entre 0,51 e 2,50), neutra (de 0,5 a -0,5) e negativa (de -0,51 até -1,20; Tabela 1). Os resultados podem ser conferidos na Figura 10. A abundância responde unicamente a valores negativos do ONI ($p = 0,03342$), não sendo possível identificar qualquer padrão de variação para períodos de ONI positivo ($p = 0,7413$) ou neutro ($p = 0,5206$). É possível notar uma tendência de queda na abundância à medida que o ONI se torna cada vez mais negativo, com valores próximos de -1.



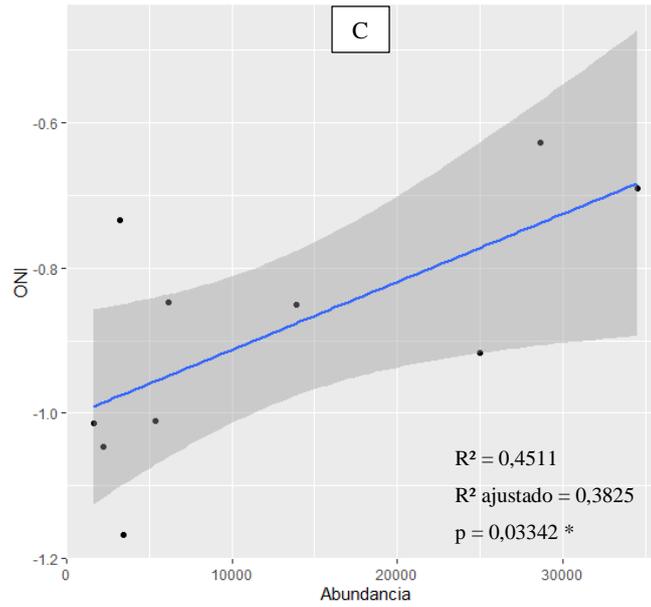


Figura 10 - Resultados das análises de Modelos de Regressão Linear para Abundância média trimestral e as fases (A) positiva, (B) neutra e (C) negativa do índice ONI. Códigos de significância (p): 0 ‘***’; 0,001 ‘**’; 0,01 ‘*’; 0,05 ‘.’; 0,1 ‘ ’

3.4.3 ONI X TEMPO

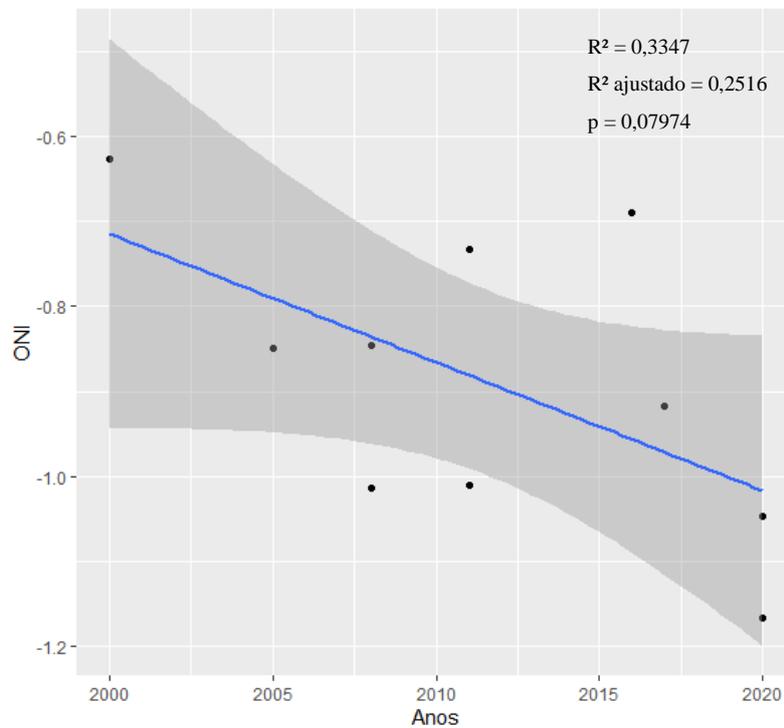


Figura 11 - Resultado da análise de Modelos de Regressão Linear para a fase negativa do índice ONI ao longo do tempo analisado. Códigos de significância (p): 0 ‘***’; 0,001 ‘**’; 0,01 ‘*’; 0,05 ‘.’; 0,1 ‘ ’

Realizamos modelos de regressão linear entre a fase negativa do índice ONI e os anos amostrais, procurando aferir sobre a frequência dos eventos de La Niña. O resultado obtido (Figura 11) não indicou significância entre os fatores analisados ($p = 0,07974$).

4 DISCUSSÕES

Em geral, todas as variáveis abióticas mostraram correlação significativa entre si, a exceção da velocidade máxima do vento. Esse resultado pode ser explicado pela forma como os dados foram manuseados, já que no processamento inicial não foi feita separação quanto a direção dos ventos analisados.

Os resultados das análises de correlação mostram que os índices ONI e MODOKI apresentaram grande significância com a variável temperatura máxima. Esse resultado era esperado, visto que ambos índices são calculados a partir de variações na média da Temperatura da Superfície do Mar. SOI e NPI foram os únicos significativamente relacionados à pressão atmosférica. Mais uma vez, o resultado era previsto pois os dois índices são inferidos a partir de dados de pressão. Todavia, os índices SAODI, PDO e NAO foram pouco correlacionados com os dados abióticos referentes a BISC. Entretanto, a alta correlação entre as variáveis meteo-oceanográficas locais com índices provenientes do Oceano Pacífico confirmam a dimensão global dos ciclos ENSO.

Os principais efeitos associados a atuação dos eventos ENSO são as variações anômalas do padrão sazonal de temperatura e precipitação (GRIMM, 2009). Nossos resultados apontam significância estatística entre ambos fatores abióticos e os índices ENSO. ONI, MODOKI e SOI foram responsáveis pela maioria das correlações significativas. ONI, no entanto, foi o único destes a não se correlacionar com a precipitação local. Apesar disso, o ONI se correlacionou significativamente, de forma inversa, com a vazão mínima do Rio Cubatão do Sul e insolação total, e, de forma positiva, com a umidade relativa do ar. Todos esses parâmetros estão indiretamente relacionados com o índice de chuvas. Os rios que desaguam na BISC seguem o padrão de chuvas da região, apresentando vazões máximas em períodos chuvosos, e mínimas em períodos de menor pluviosidade (SIRHESC, 2018). Quanto a umidade relativa do ar, em situações de El Niño a região Sul do Brasil recebe um fluxo maior de umidade vinda do Norte do país, aumentando os níveis de precipitação local (JUNIOR, 2017). Além disso, um estudo

no Rio Grande do Sul, mostrou que em ano de La Niña houve maiores níveis de insolação, ainda que no inverno, devido a ausência de chuvas (MOTA, 1999).

A correlação negativa entre a menor descarga fluvial e o índice ONI indica que em períodos de La Niña (El Niño) há menor (maior) input de água doce nas baías. Esse resultado introduz a variável salinidade em nossas discussões, uma vez que o déficit de água doce faz com que a água marinha seja dominante no sistema (KENNISH, 2002). A salinidade é um dos principais fatores limitantes para a fauna bêntica em estuários (CHAPMAN, 2001). A partir disso, iniciaremos as discussões sobre os dados bióticos.

O índice ONI foi o único a atingir o nível de significância nas análises realizadas com os dados bióticos. De fato, outros autores que conduziram pesquisas semelhantes a essa optaram por trabalhar com este índice (FRANCISCO, 2020; MIZUTA et al., 2012; POLLACK, 2011; SANTOS, 2021). Valores positivos do índice ONI dizem respeito a fase ENSO El Niño, enquanto que valores negativos do ONI caracterizam a fase ENSO La Niña. Vale ressaltar que os índices ONI, MODOKI e SOI resultaram numa alta correlação entre si. Dessa forma, os resultados aqui encontrados para o ONI também podem ser corroborados pelos outros dois índices.

As análises de regressão linear apontam variação temporal para a abundância da comunidade bêntica da BISC ao longo das últimas duas décadas. Todavia, os resultados indicam significância apenas com valores negativos do ONI. Assim, assumimos que os eventos de La Niña desempenharam maior importância nos impactos causados à fauna estuarina da BISC. Num primeiro momento há indicação de aumento da abundância à medida que o ONI diminui. Isso sugere que períodos de La Niña favoreceram o crescimento da comunidade bêntica estuarina. A diminuição do aporte fluvial reduz a turbidez das águas uma vez que o transporte de nutrientes, sedimentos terrígenos, poluentes e contaminantes é refreado. Assim, águas menos turvas favorecem a produção primária local, o que também beneficia a macrofauna bêntica, sendo possível observar um acréscimo em suas abundâncias (GRADOS, 2002). Além disso, grandes fluxos de águas prejudicam espécies cavadoras de superfície, o assentamento larval, a fixação de organismos sésseis e o crescimento de juvenis, devido a lavagem da superfície sedimentar (GARCIA, 2001; ROSSI, 2017). De fato, um estudo realizado na Austrália encontrou maiores abundâncias na comunidade macrobêntica após o cenário de uma breve seca (DITTMANN, 2015). O Rio Cubatão do Sul é um dos mais relevantes afluentes da

BISC. Uma de suas principais características é a elevada turbidez, que tende a aumentar em períodos de chuvas (SIRHESC, 2018). Assim, é possível que a diminuição da vazão do Rio, sob situação de estiagem, durante a La Niña tenha contribuído para o aumento observado na abundância média da comunidade bêntica da BISC.

Porém, houve queda na abundância em períodos de La Niña mais intensos ($ONI < -1$). A correlação descoberta entre La Niña e o aumento da temperatura máxima pode ser uma explicação razoável. O aumento exacerbado na temperatura das águas altera mecanismos fisiológicos de organismos aquáticos. Isso acontece devido a maior perda de energia para realizar processos corporais essenciais, como a respiração. Além disso, águas quentes tem menor concentração de oxigênio e nutrientes, podendo causar prejuízos em mecanismos bioquímicos dos organismos aquáticos. Ambas as situações contribuem para a mortandade em massa da macrofauna (ROSSI, 2017). Além disso, grandes períodos de estiagem levam a hipersalinização de ambientes estuarinos (KENNISH, 2002). Nossos resultados apontam para uma correlação inversa entre o índice ONI e a vazão mínima fluvial. É possível que períodos de La Niña intensos tenham levado aos menores registros de entrada de água doce à BISC, tanto pela precipitação quanto pela descarga dos rios. Outros estudos encontram resultados similares aos nossos. A alta salinidade causa estresse osmótico em várias espécies, levando queda na taxa de crescimento, infertilidade e morte (LASSERRE, 1976). Um monitoramento realizado no Espírito Santo encontrou densidades da macrofauna bêntica cerca de três vezes menores em períodos de seca em comparação com situações usuais (GOMES, 2020). O período de secas extremas na Austrália também levou a redução da abundância, biomassa e riqueza de espécies da macrofauna bêntica. Os principais fatores foram a exposição do solo e a hipersalinidade das águas estuarinas (DITTMANN, 2015).

A riqueza de espécies não apresentou variação temporal significativa. É possível que a oscilação de salinidade devido a constantes períodos de cheias e estiagem tenha contribuído com o padrão de estabilidade observado. Outra possibilidade é que a comunidade bêntica da BISC seja composta por espécies tolerantes a ambas situações estressantes, alternando a dominância na comunidade de acordo com o cenário atuante. Nessas ocasiões, a perspectiva é de que o sistema encontre um equilíbrio ecológico e antigas populações voltem a habitar o local (CHAPMAN, 2001; DITTMANN, 2015).

Por último, avaliamos a tendência temporal de ocorrência do La Niña. Apesar de não podermos confirmar estatisticamente quanto a frequência de eventos intensos de La Niña, nossos resultados mostraram uma tendência de aumento no número de episódios de ONI negativo, principalmente nos últimos dez anos. Diversos autores tem debatido acerca da intensificação dos eventos ENSO devido às mudanças climáticas (CAI, 2014; CAI, 2015; IPCC, 2019b; SODEN, 1997; TRENBERTH, 1997b; VECCHI, 2010). No entanto, ainda há discordâncias sobre o assunto, visto que se trata de um sistema complexo de escala global.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos confirmaram a variabilidade ecológica do sistema estuarino da Baía da Ilha de Santa Catarina. Ambos fatores bióticos e abióticos sofrem efeitos dos ciclos ENSO. Portanto, a macrofauna bêntica local é afetada pela atuação de sistemas climáticos de escala global.

Inicialmente, observou-se um padrão crescente da abundância com o índice ONI negativo, referente a eventos de La Niña. Isso pode ter acontecido devido a diminuição na descarga de águas fluviais. Tal condição, além de favorecer a produção primária, fornecendo fonte alimentar para o bentos, também diminui perdas de larvas e organismos pela lavagem da superfície sedimentar. Contudo, constatou-se queda da variável biótica com a intensificação da La Niña. Cenários de secas constantes contribuem para mortandade do bentos de estuários, devido a hipersalinidade causada pelo domínio do mar no sistema estuarino. A resposta encontrada corrobora a hipótese de declínio da comunidade bêntica, porém apenas na presença de eventos ENSO de intensidades moderada ou forte. É necessário, ainda, realizar mais estudos acerca da intensificação e alteração da frequência dos eventos ENSO.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. C. M. et al. **Monitoramento Baía Sul**. 2002-2005. Não publicado.
- ALMEIDA, T. C. M. et al. **Macrofauna bêntica da jazida alternativa de disposição na Baía Norte de sedimentos dragados**. 2004. Não publicado.
- ALMEIDA, T. C. M. et al. **Relatório macrofauna bêntica - Marina da Beira Mar Sul**. 2008. Não publicado.
- ALMEIDA, T. C. M. et al. **Dragagem de uma área marinha para a construção de um canal de acesso a um estaleiro**. 2009. Não publicado.
- ALVES, G. F. **O papel de *Diopatra spp.* na estrutura e metabolismo da comunidade bêntica em ambiente marinho raso**. 2011. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis.
- APCC. **Climate Indices**. 2022. Disponível em: <https://www.apcc21.org/ser/indic.do?lang=en>. Acesso em 31 jan. 2022.
- ASHOK. K. El Niño Modoki and its possible teleconnection. 2007. **Journal Geophysics Research**, vol. 112.
- BALDO, M. C. et al. Análise da precipitação pluvial do estado de Santa Catarina associada com a anomalia da temperatura da superfície do oceano Pacífico. 2000. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Ed. 2, vol. 8, p. 283-293.
- BECKER, E. **EN...SO?** 2014. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/en-so>. Acesso em 22 fev. 2022.
- BIOCOST/UFSC - Laboratório de Biodiversidade Costeira. **Rede de monitoramento de habitats bentônicos costeiros - ReBentos**. 2020. Não publicado.
- BINDOFF, N. L.; CHEUNG, W. W, L.; KAIRO, J. G. Chapter 5: Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. In: **IPCC. Special report: special report on the ocean and cryosphere in a changing climate**. 2019a. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-5/>. Acesso em 20 fev. 2022.

BOENING, C.; WILLIS, J. K.; LANDERER, F. W.; NEREM, R. S.; FASULLO, J. The 2011 La Niña: So strong, the oceans fell. 2012. **Geophysical Research Letters**. Vol. 39.

BOEHS, G. et al. Macrofauna benthica de uma planície de maré da Enseada de Ratones, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. 2003. **Biotemas**, vol. 16, ed. 2, p. 45-65.

BRAUKO, K. M. et al. Marine heatwaves, sewage and eutrophication combine to trigger deoxygenation and biodiversity loss: A SW Atlantic case study. 2020. **Frontiers in Marine Science**, vol. 7.

BRUGNOLI, E. et al. Benthic community responses to organic enrichment during an ENSO event (2009-2010), in the north coast of Rio de la Plata estuary. 2021. **Journal of Marine Systems**, vol. 222.

CAI, W. et al. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. 2014. **Nature climate change**, vol. 4, n. 02, p. 111-116.

CAI, W. et al. Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. 2015. **Nature Climate Change**, vol. 5, p. 132–137.

CARDOSO, C. S.; DE QUADRO; M. F. L.; BONETTI, C. Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no sul do Brasil: Variabilidade espacial e padrões atmosféricos. 2020. **Revista Brasileira de Meteorologia**, ed. 2, vol. 35, p. 219-231.

Catálogo de teses e dissertações da CAPES. Disponível em: <<https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>>. Acesso em 01 maio 2021.

CHAPMAN, P. M and WANG, F. Assessing sediment contamination in estuaries. 2001. **Environmental Toxicology and Chemistry**, vol. 20, n. 1, p. 3-22.

COLLINS, M; SUTHERLAND, M. Chapter 6: Extremes, abrupt changes and managing risks. In: **IPCC. Special report: special report on the ocean and cryosphere in a changing climate**. 2019b. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-6/>>. Acesso em 20 fev. 2022.

CLIMATE.GOV; LINDSEY, R. **Global impacts of El Niño and La Niña**. 2021a. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/featured-images/global-impacts-el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a>>. Acesso em 23 fev. 2022.

CLIMATE.GOV; BARNSTON, A. **Why are there so many ENSO indexes, instead of just one?** 2021b. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/why-are-there-so-many-enso-indexes-instead-just-one>>. Acesso em 25 fev. 2022.

CZIZEWESKI, A. C. **Circulação nos arredores da Ilha de Santa Catarina**. 2016. Trabalho de conclusão de curso. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

DITTMANN, S. et al. Drought and flood effects on macrobenthic communities in the estuary of Australia's largest river system. 2015. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 165, p. 36-51.

FARACO, K. R.; CASTILHOS, J. A.; FILHO, N. O. H. Morphodynamic aspects and El Niño Oscillations in Ingleses beach, Santa Catarina Island, Southern Brazil. 2004. **Journal of Coastal Research**. SI 39, p. 656-659.

FRANCISCO, A. S.; NETTO, S. A. El Niño-Southern Oscillations and Pacific Decadal Oscillation as drivers of the decadal dynamics of benthic macrofauna in two subtropical estuaries (Southern Brazil). 2020. **Ecosystems**, vol. 23, p. 1380-1394.

GARCIA et al. Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil) during cold and warm ENSO episodes. 2001. **Journal of Fish Biology**, vol. 59, p. 1218-1238.

GGWEATHER. **El Niño and La Niña years and intensities**. 2022. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em 02 fev. 2022.

GOMES, L. E. O.; BERNARDINO, A. F. Drought effects on tropical estuarine benthic assemblages in Eastern Brazil. 2020. **Science of The Total Environment**, vol. 703.

GRADOS, C. et al. Impact of ENSO on Near-Shore Dynamics of two Peruvian Upwelling Centres between 1993 - 2001. 2002. **Investigaciones marinas**, ed. 1, vol.30.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. 2009. São Paulo: Oficina de Textos, p. 356-459.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. 1998. **Journal of Climate**, vol. 11, p. 2863 - 2880.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. Impactos do Fenômeno ENOS Sobre a Temperatura no Brasil. 2012. **Revista Espinhaço**, vol, 1, p. 34-40.

HANTEI Construções e Incorporações Ltda. **Parque hotel marina Ponta do Coral**. 2011. Disponível em: <<https://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/consulta-eia-rima>>. Acesso em 11 jun. 2018.

HAVENS, K.; PINTO-COELHO, R. M. Capítulo 7: Estuários e águas costeiras. In: **Crise nas Águas**. 2014. Recóleo Editora, Belo Horizonte, (MG).

HUANG, B. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. 2017. **Journal of Climate**, vol. 30, p. 8179-8204.

IMA. **Consulta EIA/RIMA**. 2021. Disponível em: <<https://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/consulta-eia-rima>>. Acesso em 05 jul. 2021.

ISA CTEEP. **Linha de transmissão 230KV Biguaçu-Ratones C1 e C2 e subestação Ratones**. 2018. Disponível em: < <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/consulta-eia-rima>>. Acesso em 05 jul. 2021

JUNIOR, N. L. **Análise das influências do fenômeno El Niño 2015-16 sobre a região Sul do Brasil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

JUNIOR, G. X. M; RODRIGUES, M. L. G; CRUZ, G. A estiagem do outono 2020 em Santa Catarina: a atuação da Epagri, da medição do dado à análise da informação. 2020. **Agropecuária Catarinense**, ed. 2, vol.33, p.11-14.

KENNISH, M. Environmental threats and environmental future of estuaries. 2002. **Environmental Conservation**, vol. 29, p. 78 - 107

LASSERRE, P. Osmoregulatory responses to estuarine conditions: chronic osmotic stress and competition. 1976. **Estuarine Processes: Uses, stresses and adaptation to the estuary**, p. 395-413.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. 1997. **Bulletin of the American Meteorological Society**. Ed. 6, vol. 78, p. 1069-1079.

MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, G. S. Os impactos do fenômeno La Niña no tempo e no clima do Brasil: Desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/99. 1998. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Brasília: SBMET, vol. 10.

MARTINS, B. A. D. **Qualidade da água e distribuição espacial de foraminíferos bentônicos em estuários das Baías norte e sul da Ilha de Santa Catarina (Brasil)**. 2009. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis.

MIZUTA, D. D. et al. Oyster output affected by environmental features of farm site. 2011. **Global Aquaculture Advocate**.

MIZUTA, D. D. et al. Interannual variation in commercial oyster (*CRASSOSTREA GIGAS*) farming in the sea (Florianópolis, Brazil, 27°44' S; 48°33' W) in relation to temperature, chlorophyll a and associated oceanographic conditions. 2012. **Aquaculture**. 366-367, p. 105-114.

MOTA, F. S. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do trigo no estado do Rio Grande do Sul. 1999. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/313.pdf>>. Acesso em 24 fev. 2022.

MOZZHERIN, D. **WoRMS Taxon match: Scientific Names Parser**. 2008. Disponível em: <<https://github.com/GlobalNamesArchitecture/biodiversity>>.

NNAMCHI, H. C. Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean? 2011. **Journal of Geophysical Research**, vol. 116.

NCAR. **The Climate Data Guide: North Pacific (NP) Index by Trenberth and Hurrell; monthly and winter.** 2021. Disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/north-pacific-np-index-trenberth-and-hurrell-monthly-and-winter>>. Acesso em 31 jan. 2022.

NCEI. **El Niño/Southern Oscillation (ENSO).** 2022a. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/resources>>. Acesso em 22 fev. 2022.

NCEI. **Pacific Decadal Oscillation (PDO).** 2022b. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>>. Acesso em 31 jan. 2022.

NETTO, S.A. PAGLIOSA, R, P; FONSECA, A.L.O; GALLUCCI, F; FONSECA, G.F.C; SOUZA, R.S. Interação entre o microfitobentos, meiofauna e macrofauna. (Praia comprida, Santa Catarina). 2007. **Brazilian Journal of Ecology**, Ano 11 – nº ½.

NOAA Climate Prediction Center. Cold & warm episodes by season. 2022. Disponível em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em 31 jan. 2022.

NOAA Climate Prediction Center. **What does ENSO-neutral mean?** 2021. Disponível em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#NEUTRAL>. Acesso em 26 abril 2021.

NULLIS, C. **La Niña has peaked, but impacts continue.** 2021. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/la-ni%C3%B1a-has-peaked-impacts-continue>>. Acesso em 25 fev. 2022.

NWS. **North Atlantic Oscillation (NAO).** 2021. Disponível em: <<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>>. Acesso em 31 jan. 2022.

PAGLIOSA, P. R. Another diet of worms: the applicability of polychaete feeding guilds as a useful conceptual framework and biological variable. 2005. **Marine Ecology**, vol. 26, p. 246-254.

PAGLIOSA, P. R. **Variação espacial nas características das águas, dos sedimentos e da macrofauna bêntica em áreas urbanas e em unidades de conservação na Baía da Ilha de Santa Catarina**. 2004. Tese de doutorado. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos.

PARIZOTTO, B. A. D. M. **Qualidade da água e distribuição espacial de foraminíferos bentônicos em estuários das Baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina (Brasil)**. 2009. Tese de doutorado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

PEREIRA, A.; ZANIN, V. C. **Expedição ao Rio Cubatão**. 2002. Disponível em: <<https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/expedicao-ao-rio-cubatao#0>>. Acesso em 24 fev. 2022.

POLLACK, J. B.; PALMER, T. A.; MONTAGNA, P. A. Long-term trends in the response of benthic macrofauna to climate variability in the Lavaca-Colorado Estuary, Texas. 2011. **Marine Ecology Progress Series**, vol. 436, p. 67-80.

Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Geoprocessamento**. 2022. Disponível em: <<https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/geo/index.php?cms=mapas+para+download&menu=0>>. Acesso em 05 fev. 2022.

PROVOOST, P.; BOSCH, S. (2018). obistools: Tools for data enhancement and quality control. 2018. **Ocean Biogeographic Information System. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO**. Disponível em <<https://cran.r-project.org/package=obistools>>.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. 2021. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >.

Repositório institucional UFSC. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/>>. Acesso em 01 maio 2021.

RIASCOS, J. M.; SOLÍS, M. A.; PACHECO, A. S.; BALLESTEROS, M. Breaking out of the comfort zone: El Niño-Southern Oscillation as a driver of trophic flows in a benthic consumer of the Humboldt Current ecosystem. 2017. **Proceedings of the Royal Society B**. 284: 20170923.

ROSSI, S.; SOARES, M. O. Effects of El Niño on the coastal ecosystems and their related services. 2017. **Mercator**, vol. 16, e16030.

SANTOS, E. C.; BONETTI, J. Sistemas atmosféricos associados a eventos de inundação costeira na Enseada de Tijucas - Santa Catarina. 2021. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Ed. 5, vol. 14, p. 2534-2549.

SILVA, L. F. **Identificação de sub-ambientes na Baía Sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico-sedimentares**. 2002. Dissertação de mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

SIMONASSI, J. C. et al. Nutrient variations and coastal water quality of Santa Catarina Island, Brazil. 2010. **Biotemas**, vol. 23, p.211-223.

SIRHESC. **Recursos hídricos de Santa Catarina**. 2018. Disponível em: <<https://www.aguas.sc.gov.br/base-documental/bacias-hidrograficas-do-estado>>. Acesso em 01 fev. 2022.

SODEN, B. J. Variations in the tropical greenhouse effect during El Niño. 1997. **Journal of Climate**, vol. 10, p. 1050-1055.

SOUZA, C. A.; REBOITA, M. S. **Pacific Decadal Oscillation (PDO)**. 2021. Disponível em: <<https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/indice?id=pdo>>. Acesso em 31 jan. 2022.

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. **North Atlantic Oscillation (NAO)**. 2022a. Disponível em: <<https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/indice?id=nao>>. Acesso em 24 fev. 2022.

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. **South Atlantic Ocean Dipole Index (SAODI)**. 2022b. Disponível em: <<https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/indice?id=saodi#>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

SOUZA, R. S. **Efeitos dos cultivos de bivalves (Mollusca, Bivalvia) sobre as associações bênticas macrofaunais na Baía da Ilha de Santa Catarina (SC), Brasil**. 2008. Dissertação de mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

TRENBERTH, K. E. Signal versus noise in the Southern Oscillation. 1984. **Monthly Weather Review**. Ed. 2, vol. 112, p. 326-332.

TRENBERTH, K. E.; HURRELL, J. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. 1994. **Climate Dynamics**, vol. 9, p. 303-319.

TRENBERTH, K. E.; HOAR, T. J. The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation event: Longest on record. 1996. **Geophysical Research Letters**. Ed. 1, vol. 23, p. 57-60.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. 1997a. **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol. 78, n. 12.

TRENBERTH, K. E.; HOAR, T. J. El Niño and climate change. 1997b. **Geophysical Research Letters**, vol. 24, n. 23, p. 3057-3060.

UNIFEI. **Teleconexões**. 2022. Disponível em: <<https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/indices>>. Acesso em 31 jan. 2022.

VECCHI, G. A.; WITTENBERG, A. T. El Niño and our future climate: where do we stand? 2010. **John Wiley & Sons**, Ltd. WIREs Climate Change, p. 260–270.

WAHRLICH, J. Characterization of the predominant windspeed and direction in Santa Catarina, Brazil. 2018. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 23, p. 356-373.

Water Resources Research Center. **The Global Impacts of El Niño**. 2016. Disponível em: <<https://wrrc.arizona.edu/Impacts-of-El-Nino>>. Acesso em 25 fev. 2022.

WEI, T.; SIMKO, V. **R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.92)**. 2021. Disponível em: <<https://github.com/taiyun/corrplot>>.

WEIS, W. A. **Ecologia de *Laonereis acuta* como bioindicador em estuários**. 2017. Tese de doutorado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

WFP. El Niño: implications and scenarios for 2015/16 (December 2015). 2015. Disponível em: <<https://reliefweb.int/report/world/el-ni-o-implications-and-scenarios-201516-december-2015>>. Acesso em 25 fev. 2022.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.7.6. 2018. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>>.

WICKHAM, H.; HESTER, J.; CHANG, W.; BRYAN, J. **devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier**. R package version 2.4.3. 2021. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=devtools>>.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. 2016. **Springer-Verlag**, New York.

WUNSCH, C. The interpretation of short climate records, with comments on the North Atlantic and Southern Oscillations. 1999. **Bulletin of the American Meteorological Society**. Ed. 2, vol. 80.

XAVIER, L. A. R. **Estrutura e composição da macrofauna bêmica associada a bancos de *Anomalocardia brasiliana* Gmelin, 1791 (Veneridae - Bivalvia) no litoral sul brasileiro**. 2010. Dissertação de mestrado. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí.

YEH, S.W. et al. El Niño in a changing climate. 2009. **Nature**, vol. 461, p. 511-514

APÊNDICE A – Disposição trimestral dos fatores bióticos, abióticos e índices ENSO

Anos	trimestre_ano	Insolacao	Precipitacao	Pressao_atm	Temp_max	Umidade_ar	Vento_max	Vazao_min	ONI	PDO	NPI	NAO	MODOKI	SAODI	SOI	abund	riqueza_sp
2000	SON_2000	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	6664,00	-0,63	-1,37	1011,80	-0,07	-0,38	-0,20	2,07	28690,28	45,00
2001	MAM_2001	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	11426,00	-0,34	-0,90	1014,38	-0,43	-0,64	-0,21	0,33	2174,03	17,67
2001	DJF_2001	202,90	141,03	1011,54	28,86	79,15	10,22	10207,33	-0,15	-1,02	1008,24	0,24	0,43	-0,83	0,37	186,67	6,17
2002	MAM_2002	169,27	137,53	1014,38	27,72	82,75	9,96	5751,47	0,20	-1,27	1015,75	0,55	0,14	0,13	-0,63	391,67	6,00
2002	JJA_2002	145,07	81,73	1018,88	21,66	83,14	10,45	3948,30	0,79	-0,59	1015,57	0,46	0,51	-0,24	-0,93	849,12	17,68
2002	SON_2002	157,33	131,30	1014,49	24,88	78,49	11,77	6631,00	1,21	0,22	1009,77	-1,05	0,34	-0,41	-0,77	353,33	9,33
2002	DJF_2002	169,93	124,17	1011,47	29,80	76,68	10,33	6725,67	0,92	1,42	1003,45	-0,05	0,51	0,16	-1,07	234,17	6,83
2003	MAM_2003	194,13	82,60	1015,01	27,06	76,98	10,20	5983,67	-0,04	0,53	1013,61	0,05	0,53	-0,23	-0,40	998,33	14,17
2003	JJA_2003	155,57	39,17	1018,99	21,88	80,26	9,63	4839,00	0,08	0,19	1016,10	0,00	0,27	-0,04	-0,10	656,67	16,33
2003	SON_2003	169,23	109,87	1015,94	24,43	75,95	11,60	4535,67	0,29	0,11	1014,26	-0,13	0,19	0,14	-0,23	758,33	18,00
2003	DJF_2003	183,20	275,73	1012,48	28,20	76,19	10,27	5718,00	0,37	-0,45	1003,56	0,07	0,27	0,51	0,53	364,67	11,17
2004	MAM_2004	168,27	179,93	1015,24	25,77	80,06	9,50	2057,20	0,17	0,15	1013,59	0,79	0,20	-0,66	0,30	662,33	12,44
2004	JJA_2004	166,83	68,03	1020,05	21,57	81,07	8,60	5981,33	0,47	0,06	1015,13	-0,08	0,76	-0,42	-0,90	925,00	16,33
2004	SON_2004	161,70	130,87	1015,04	24,19	77,95	13,40	5638,00	0,67	-0,64	1013,19	0,00	0,64	-0,07	-0,60	836,67	15,83
2004	DJF_2004	190,17	236,87	1011,88	28,30	77,13	10,90	3660,49	0,64	-0,27	1007,10	0,89	0,60	0,92	-1,97	923,33	13,67
2005	JJA_2005	183,70	90,20	1018,34	23,55	81,39	8,87	7069,00	-0,06	0,18	1015,51	-0,06	0,01	-1,21	0,13	2020,00	25,50
2005	SON_2005	147,07	199,60	1015,91	23,48	80,19	10,40	12065,33	-0,28	-1,63	1014,31	-0,22	0,29	-0,72	0,77	2610,67	30,50
2005	DJF_2005	197,37	149,33	1011,64	28,83	76,92	9,63	9162,00	-0,85	0,27	1007,29	0,11	-0,33	-0,67	0,97	13884,44	48,78
2006	MAM_2006	209,17	61,70	1014,83	26,47	75,59	9,40	6220,67	-0,37	-0,55	1015,60	-0,39	-0,16	-0,16	1,30	6348,77	59,00
2006	JJA_2006	168,17	44,37	1018,09	22,38	79,79	10,47	4976,00	0,11	-0,08	1016,98	0,00	0,18	0,39	-1,03	5049,38	49,83
2006	SON_2006	158,60	127,43	1015,47	23,86	78,12	11,03	2908,51	0,76	-0,94	1014,56	-1,14	0,27	0,08	-1,00	9300,93	60,17
2008	MAM_2008	197,63	174,23	1013,37	26,43	78,17	8,87	5559,66	-1,01	-1,56	1015,17	-0,91	-0,86	0,87	1,13	1637,48	27,00
2008	DJF_2008	193,03	221,00	1011,85	28,11	77,84	10,70	17065,33	-0,85	-1,63	1013,04	-0,08	-0,59	0,52	2,43	6154,76	20,50
2009	SON_2009	129,77	147,03	1013,41	24,73	80,91	10,60	9256,00	1,01	-0,25	1012,17	0,15	0,57	-0,27	-0,83	52,87	12,00
2010	MAM_2010	151,40	277,90	1014,87	25,88	81,40	9,43	11207,33	0,35	-0,13	1014,11	-1,03	0,30	0,22	0,80	20100,00	11,67
2011	MAM_2011	168,83	149,67	1015,81	26,02	79,63	8,40	17301,67	-0,73	-0,99	1013,10	1,01	-0,47	0,45	2,63	3188,49	24,33
2011	JJA_2011	138,80	192,67	1017,49	20,45	80,44	7,57	9487,00	-0,48	-1,92	1015,69	-1,38	-0,34	0,05	0,90	8146,83	24,67
2011	SON_2011	184,73	141,27	1016,29	23,67	77,24	8,70	14156,00	-1,01	-2,46	1013,20	0,76	-0,44	0,63	1,57	5372,69	67,00
2012	SON_2012	168,53	91,67	1014,99	25,21	77,36	8,37	6929,67	0,26	-1,62	1013,49	-1,08	0,26	-0,52	0,43	4216,67	14,00

Anos	trimestre_ano	Insolacao	Precipitacao	Pressao_atm	Temp_max	Umidade_ar	Vento_max	Vazao_min	ONI	PDO	NPI	NAO	MODOKI	SAODI	SOI	abund	riqueza_sp
2013	SON_2013	178,17	132,67	1015,79	24,37	77,59	9,40	9045,67	-0,17	-1,25	1013,70	-0,05	0,13	-0,25	0,53	2966,67	10,00
2014	MAM_2014	172,03	106,87	1015,47	26,60	79,33	6,30	10401,00	0,04	0,64	1012,61	0,06	0,20	-0,40	0,23	675,00	4,50
2014	SON_2014	169,60	128,40	1015,26	25,57	76,87	7,47	8816,00	0,49	1,18	1010,58	0,34	0,20	-0,51	-1,23	1533,33	14,00
2014	DJF_2014	193,33	190,07	1011,97	30,29	78,15	12,00	9347,67	0,55	1,63	1005,72	1,66	0,58	-0,98	-0,63	5428,24	7,50
2015	MAM_2015	158,17	168,40	1015,67	26,44	79,74	6,17	10355,33	0,70	0,85	1014,72	0,78	0,52	-0,04	-0,83	7444,23	7,93
2015	JJA_2015	171,43	147,57	1018,09	23,45	80,98	6,43	11564,33	1,52	1,06	1015,72	-1,34	0,14	-0,56	-1,73	7955,68	8,47
2015	SON_2015	80,17	240,93	1014,18	23,88	82,90	8,30	10130,51	2,42	0,66	1013,83	0,51	0,22	-0,12	-2,10	6554,01	8,25
2015	DJF_2015	156,97	234,40	1011,86	29,62	79,35	7,90	10888,92	2,48	0,77	1002,82	1,31	0,31	0,74	-2,57	3055,09	10,50
2016	MAM_2016	164,33	153,27	1015,40	26,73	79,64	6,20	14701,00	0,94	1,63	1012,06	0,11	0,21	-0,17	-0,47	4083,33	8,00
2016	JJA_2016	171,07	79,33	1019,13	20,69	80,09	6,23	8670,33	-0,36	0,27	1018,85	-1,28	-0,27	0,24	1,00	22966,66	14,00
2016	SON_2016	173,27	89,33	1015,79	24,67	75,10	10,00	4564,88	-0,69	-0,09	1011,45	0,29	-0,63	0,19	0,47	34550,00	14,00
2016	DJF_2016	185,83	195,63	1011,70	30,22	77,38	8,33	6590,12	-0,34	0,18	1010,34	0,65	-0,49	-0,21	0,23	4516,67	13,00
2017	MAM_2017	149,83	197,40	1015,74	26,49	80,23	6,33	10764,00	0,20	0,37	1012,39	0,19	-0,27	0,31	0,53	3316,67	12,00
2017	JJA_2017	190,00	96,47	1020,07	23,36	78,79	8,00	7745,02	0,14	-0,24	1015,70	0,07	-0,03	0,60	0,50	4625,00	19,00
2017	DJF_2017	176,40	215,90	1012,84	29,24	77,58	4,00	5683,52	-0,92	0,10	1010,42	1,30	-0,14	-0,08	0,27	24966,67	15,00
2018	MAM_2018	162,80	66,73	1015,71	27,63	80,31	4,00	9047,67	-0,50	-0,66	1015,29	0,81	0,07	-0,56	1,27	9583,33	13,00
2018	JJA_2018	154,90	79,63	1018,96	21,43	82,10	8,33	4710,69	0,09	-0,29	1017,36	1,48	0,33	0,30	-0,10	13391,67	23,00
2018	DJF_2018	208,87	222,00	1012,53	30,57	79,40	9,00	6603,33	0,75	-0,42	1008,69	0,50	0,36	-0,05	-0,23	10653,13	15,58
2019	MAM_2019	#NÚM!	88,23	1014,38	27,55	79,18	6,33	7902,00	0,66	0,01	1012,12	-0,31	0,32	0,20	-0,33	18916,67	23,00
2019	JJA_2019	#NÚM!	14,97	1019,89	23,39	80,93	12,00	4053,67	0,28	0,17	1016,15	-1,23	0,65	-0,01	-0,50	9358,33	29,00
2019	DJF_2019	#NÚM!	#NÚM!	1012,32	29,71	77,54	6,67	0,34	0,50	-0,96	1009,69	1,27	0,49	1,40	-0,23	7343,06	19,00
2020	MAM_2020	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	0,33	0,19	-1,20	1015,57	-0,14	0,23	1,08	0,27	20900,00	29,00
2020	JJA_2020	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	4319,00	-0,41	-1,00	1015,72	-0,42	0,02	0,38	0,63	8533,33	23,00
2020	SON_2020	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	5288,87	-1,17	-1,08	1014,26	0,96	-0,34	0,08	1,13	3416,67	18,00
2020	DJF_2020	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	9900,29	-1,05	-0,90	1006,96	-0,42	-0,69	-0,91	2,90	2233,33	11,00
2021	JJA_2021	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	11645,00	-0,39	-1,57	-999,00	0,17	-0,21	0,89	1,33	4716,67	16,00

A tabela conta com dados de insolação, precipitação, pressão atmosférica, temperatura máxima, umidade relativa do ar, velocidade máxima do vento, vazão mínima do Rio Cubatão do Sul, além dos índices Oceanic Niño Index (ONI), Pacific Decadal Oscillation (PDO), North Pacific Index (NPI), North Atlantic Oscillation (NAO), El Niño Modoki Index (MODOKI), South Atlantic Ocean Dipole Index (SAODI) e Southern Oscillation Index (SOI). Os dados bióticos são representados pelas médias de abundância amostral e riqueza de espécies. Períodos com carência de informações foram indicados com “#NÚM!”.

APÊNDICE B – Tabela de correlações lineares entre variáveis abióticas e índices ENSO

	Insolação	Precipitação	Pressão atm	Temp máx	Umidade ar	Vento vel máx	Vazão mín	ONI	PDO	NPI	NAO	MODOKI	SAODI	SOI
Insolação	1,00													
Precipitação	0,01	1,00												
Pressão atm	-0,35	-0,71	1,00											
Temp máx	0,64	0,63	-0,91	1,00										
Umidade ar	-0,77	-0,22	0,62	-0,72	1,00									
Vento vel máx	-0,23	0,17	-0,22	-0,04	-0,23	1,00								
Vazão mín	0,06	0,11	-0,28	0,28	-0,11	-0,27	1,00							
ONI	-0,58	-0,11	0,39	-0,57	0,33	0,48	-0,55	1,00						
PDO	0,07	-0,22	-0,01	-0,07	-0,14	0,26	-0,61	0,34	1,00					
NPI	-0,27	-0,77	0,76	-0,71	0,42	-0,06	-0,23	0,27	-0,02	1,00				
NAO	-0,38	0,45	0,02	0,02	0,55	-0,25	0,05	-0,15	-0,48	-0,10	1,00			
MODOKI	-0,46	-0,19	0,37	-0,53	0,31	0,47	-0,53	0,90	0,57	0,21	-0,24	1,00		
SAODI	-0,09	0,01	0,09	-0,06	-0,21	0,18	0,35	0,21	-0,52	-0,05	-0,10	-0,03	1,00	
SOI	0,65	0,27	-0,53	0,72	-0,65	-0,26	0,25	-0,70	-0,32	-0,35	0,05	-0,79	0,14	1,00

A tabela conta com dados de insolação, precipitação, pressão atmosférica, temperatura máxima, umidade relativa do ar, velocidade máxima do vento, vazão mínima do Rio Cubatão do Sul, além dos índices Oceanic Niño Index (ONI), Pacific Decadal Oscillation (PDO), North Pacific Index (NPI), North Atlantic Oscillation (NAO), El Niño Modoki Index (MODOKI), South Atlantic Ocean Dipole Index (SAODI) e Southern Oscillation Index (SOI).