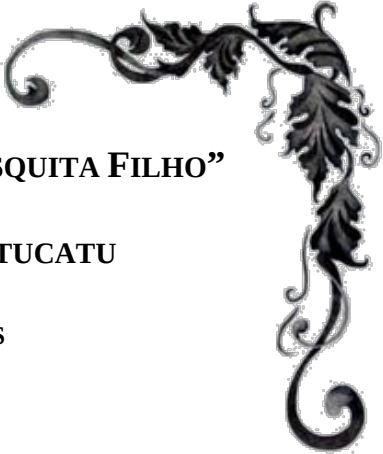




UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – CAMPUS DE BOTUCATU

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ZOOLOGIA

DOUTORADO

**DIVERSIDADE E DINÂMICA DE CARANGUEJOS
(CRUSTACEA, DECAPODA) EM UMA REGIÃO SOB
EFEITO DA RESSURGÊNCIA NA COSTA SUDESTE
DO BRASIL**

Aline Nonato de Sousa

Orientador: Prof. Dr. Antonio Leão Castilho



Botucatu – SP

2021

DIVERSIDADE E DINÂMICA DE CARANGUEJOS
(CRUSTACEA, DECAPODA) EM UMA REGIÃO SOB EFEITO
DA RESSURGÊNCIA NA COSTA SUDESTE DO BRASIL

Aline Nonato de Sousa

Orientador: Prof. Dr. Antonio Leão Castilho

Tese apresentado ao programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), do Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), *Campus* de Botucatu, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ciências Biológicas (Zoologia).

Botucatu – SP

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Sousa, Aline Nonato de.

Diversidade e dinâmica de caranguejos (*Crustacea*,
Decapoda) em uma região sob efeito da ressurgência na costa
sudeste do Brasil / Aline Nonato de Sousa. - Botucatu, 2021

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio
de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu
Orientador: Antonio Leão Castilho
Capes: 20400004

1. Caranguejos - População. 2. Biodiversidade -
Conservação. 3. Pesca. 4. *Decapoda* (*Crustacea*). 5. Fauna
bentônica.

Palavras-chave: Biodiversidade; *By-catch*; Macaé; Pesca;
Recrutamento.

*“Se o conhecimento pode criar problemas,
não é através da ignorância que podemos
solucioná-los.”*

(Isaac Asimov)

DEDICATÓRIA

*Dedico esta tese aos meus pais, Alvíno
Donizetti e Heloisa de Fátima, os quais me
motivaram do começo ao fim.*

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, por estar sempre do meu lado me dando força e sabedoria.

Ao meu orientador *Prof. Dr. Antonio Castilho* por me acolher no “*LaborAntonio*” e me ensinar o verdadeiro sentido de orientação na pós-graduação. Agradeço, principalmente, o auxílio incondicional e a confiança depositada em mim.

Aos professores *Dr. Gustavo S. Sancinetti*, *Dr. Alexandre de Azevedo*, *Dr. Rogério Caetano da Costa* e *Dr. Adilson Fransozo* por terem confiado a mim os valiosos dados a partir dos quais foram realizados esta tese.

À *Profa. Dra. Maria Lucia Negreiros-Fransozo*, por todas as conversas e sugestões, obrigada por toda dedicação, paciência e por compartilhar toda sua sabedoria, as lições que aprendi com você estarão sempre comigo.

À *Profa. Dra. Kátia Aparecida Nunes Hiroki*, meu maior exemplo como professora e pesquisadora, agradeço todos os seus valiosos ensinamentos desde a graduação, que foram muito além dos conteúdos curriculares e que tiveram um papel fundamental no meu ingresso na pós-graduação.

A *CAPES* (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de estudo concedida à *FINEP* (Financiadora de estudos e Projetos) e à *FAPERJ* (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), pelo financiamento de parte das coletas.

Ao *SISBIO/IBAMA* (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) por conceder a licença para a coleta do material na área estudada.

À *Pós-Graduação em Ciências Biológica* da *Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”* (UNESP) *Campus de Botucatu*, ao *Departamento de Zoologia* e ao *NEBECC* (Núcleo de Estudos em Biologia, Ecologia e Cultivo de Crustáceos) pelas facilidades oferecidas durante a realização da coleta e desenvolvimento da tese.

Ao *Departamento de Ciências Biológicas* da UNESP de Bauru, por ceder o espaço físico para análise de dados.

Ao *NUPEM* (Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Sócio-Ambiental de Macaé) por ceder suas dependências para a realização das atividades laboratoriais e análise dos dados.

Ao *Departamento de Química* da UNESP por permitir a utilização dos equipamentos para análise do sedimento.

Aos professores *Dr. Maurício* e *Dra. Tatiana Kono* pelo empréstimo do GPS e do pegador de Van Veen, respectivamente.

Aos funcionários da *Limnologia* pelo empréstimo da garrafa de Van Dorn.

Aos pescadores Renato, Reginaldo e Baú (Antônio) pela competência e profissionalismo nos dois anos de coleta.

Ao *Gustavo S. Sancinetti, Daphine R. Herrera, João Pantaleão, Thiago Davanso, Abner Baptista-Carvalho* e todos os integrantes que participaram das árduas coletas, sem as quais seria impossível a realização desta tese.

Aos revisores e co-autores dos meus trabalhos por me fazer crescer profissionalmente em cima de cada crítica e sugestão. Todas essas recomendações jamais serão esquecidas e sempre serão acatadas.

A todos os companheiros do “*LaborAntonio*” por me receberem amistosamente e me auxiliarem em tudo que eu precisei.

A todos amigos e colegas que fazem ou fizeram parte do NEBECC e que participaram direta ou indiretamente nesta fase da minha vida com sugestões, críticas, exemplos e amizades.

As mulheres mais corajosas que eu já conheci, *Francislene Karina, Camila Hipolito, Jeniffer Teles, Mariana Antunes, Amanda Godoy* e *Daniele Reis*, por me ensinarem o verdadeiro significado da palavra empatia.

Aos meus grandes amigos que a pós-graduação me concedeu *Thiago Elias da Silva*, *Jeniffer Teles*, *Geslaine Gonçalves*, *Ana Elisa Lopes* e *Raphael Grabowski*, por sempre estarem presente em minha vida, me apoiando e me ensinando a buscar a minha melhor versão.

Em especial a meus pais *Alvino Donizetti de Sousa* e *Heloisa de Fátima Nonato Sousa* e irmãos *Vinicius Nonato de Sousa* e *Rafael Nonato de Sousa*, pelo carinho, apoio financeiro e, principalmente, por sempre me apoiarem e não medirem esforços para ver este sonho se tornar realidade.

A todos, minha eterna gratidão!

CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	2
Referências.....	6

CAPÍTULO I —————

BATHYMETRIC DISTRIBUTION OF BRACHYURAN CRABS: ALPHA AND BETA DIVERSITY VARIATION IN AN UPWELLING AREA

Abstract.....	10
Introduction.....	11
Material and methods.....	14
Results	16
Discussion	18
References	21
Tables.....	28
Figures.....	30

CAPÍTULO II —————

CADA UM NO SEU QUADRADO: DESVENDANDO A DINÂMICA POPULACIONAL DE TRÊS ESPÉCIES DE BRACHYURA EM UMA ÁREA DE RESSURGÊNCIA

Resumo	41
Introdução	42
Material e métodos	44

Resultados	47
Discussão	49
Referências	57
Tabelas.....	70
Figuras.....	76
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 88

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1 **CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

2 O litoral sudeste brasileiro pode ser considerado como uma importante área de
3 *hotspot* em riqueza de espécies de crustáceos decápodos, em relação a biodiversidade
4 mundial. Tal fato deve-se à existência de uma enorme variedade de habitats, cujas
5 características podem determinar o estabelecimento ou exclusão de alguns organismos
6 (Mantelatto *et al.*, 2016).

7 O litoral carioca, especificamente na latitude de Cabo Frio/Rio de Janeiro (22°S),
8 há a ressurgência costeira, um dos fenômenos de frentes marítimas, proporcionando
9 ecótonos marinhos com elevada produtividade primária e secundária. Para compreender
10 a formação desse processo é necessário descrever aspectos principais do cenário sobre a
11 circulação oceanográfica do Atlântico Sul protagonizados pelo fluxo principal de água de
12 duas correntes: a corrente do Brasil proveniente do norte, a qual transporta águas tropicais
13 caracterizadas por altas salinidade e temperatura ($T \geq 20^{\circ}\text{C}$, $S \geq 36$); e a corrente das
14 Malvinas (ou Falkland) proveniente do sul, caracterizada por apresentar baixas salinidade
15 e temperatura ($T \leq 15^{\circ}\text{C}$, $S \leq 34$) (Castro Filho & Miranda, 1998). A partir das latitudes
16 de 30 e 46°S ocorre a confluência das águas tropicais (corrente do Brasil) com águas sub-
17 antárticas (corrente das Malvinas), representando a convergência subtropical do Atlântico
18 Sul Ocidental (Boltovskoy, 1999), dando origem a uma massa de água chamada de Água
19 Central do Atlântico Sul ($T \leq 18^{\circ}\text{C}$, $S \leq 36$), a qual pode ser detectada no litoral sudeste
20 brasileiro.

21 Consequentemente, as regiões costeiras podem ser influenciadas sazonalmente
22 com modificações da coluna d'água em escala horizontal e vertical em um processo de
23 mistura de diferentes massas de água, dependendo da intensidade tanto das correntes
24 como dos ventos (Castro Filho *et al.*, 1987; Odebrecht & Castello, 2001). Conforme a
25 dinâmica oceanográfica em escala temporal e espacial, diferenças no padrão físico,
26 químico e biológico ao longo da costa da América do Sul pode ser encontrado, de modo
27 que é possível sua separação em áreas biogeográficas: Zona Tropical (do Equador até
28 aproximadamente 20°S); Zona Subtropical (20 a 30-35°S); Zona de Transição (30-35 a
29 46-48°S) e Zona Sub-Antártica (> 48°S). Entre o domínio da Zona Tropical e Subtropical
30 (20 - 23°S) há uma descontinuidade, normalmente interpretada como uma fronteira entre
31 os dois domínios, uma zona de transição faunística sugerida há quase 150 anos e
32 confirmada por dados de flora e fauna (Boltovskoy, 1999).

1 Diferenças oceanográficas marcantes são encontradas na latitude de 23°S, como a
2 região de Cabo Frio (RJ), onde ocorre o fenômeno de ressurgência costeira. Nesta
3 localidade, uma forte anomalia da temperatura (baixas temperaturas) é encontrada
4 durante a maior parte do ano (Valentin, 1984). A ressurgência se torna mais forte durante
5 a primavera e verão (Stech *et al.*, 1995), de forma que a intensidade da ressurgência
6 parece estar relacionada com a penetração da massa de água ACAS (Água Central do
7 Atlântico Sul) na região costeira.

8 Em zonas com a ocorrência desse fenômeno há o transporte de nutrientes
9 (Nitrogênio e Fósforo), aprisionados nas camadas inferiores do substrato, para a zona
10 eufótica influenciando diretamente a produtividade primária, a qual normalmente é
11 dominada pelas diatomáceas (Odebrecht & Castello, 2001; Gaeta & Brandini, 2006). O
12 aumento da produtividade primária nestes locais pode exercer grande influência sobre as
13 comunidades zooplancônicas (produtividade secundária) e também bentônicas, uma vez
14 que, invertebrados bentônicos podem utilizar os nutrientes gerados pelo aumento da
15 produtividade primária na zona eufótica (Mann & Lazier, 1996). Esta alta produtividade
16 pode facilitar e modular o estabelecimento, a reprodução e o desenvolvimento de diversos
17 crustáceos (Andrade *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2014; Pantaleão *et al.*, 2016; Costa *et al.*,
18 2016; Sancinetti *et al.*, 2019).

19 Dentre os decápodes que ocorrem na região de Macaé, os Brachyura são
20 considerados os mais relevantes da comunidade bentônica marinha, devido a sua grande
21 biomassa e, conseqüentemente, importante atuação nas relações tróficas marinhas (Di
22 Benedetto, 2001, Costa *et al.*, 2016). Essa infraordem é representada por mais de 6.700
23 espécies descritas em todo mundo (Ng *et al.*, 2008; De Grave *et al.*, 2009). Dessas, mais
24 de 300 são conhecidas na costa brasileira, distribuídas em 161 gêneros, pertencentes a 23
25 famílias (Melo, 1996).

26 Os Brachyura (siris e caranguejos) possuem o abdome reduzido, estreito e
27 simétrico, dobrado contra o cefalotórax, com os urópodos, em geral, pouco desenvolvidos
28 ou ausentes (Williams, 1984). Representam uma importante etapa na irradiação
29 adaptativa dos crustáceos, apresentando hábitos e ocupando habitats extremamente
30 diversificados, ou seja, encontrados desde fossas abissais oceânicas de 6000 metros de
31 profundidade até regiões montanhosas a 2000 metros acima do nível do mar e são
32 dominantes em muitos estuários, onde a salinidade e a temperatura podem flutuar
33 drasticamente (Ng *et al.*, 2008). Algumas espécies ocuparam o ambiente terrestre,
34 precisando retornar ao ambiente aquático ocasionalmente ou apenas para liberar as larvas,

1 e outras se tornaram totalmente de água doce. Apesar de conquistarem diversos habitats,
2 a maioria é marinha, sendo encontradas em regiões costeiras, praias arenosas, águas rasas
3 entre bancos de algas, recifes de corais, fundos de conchas, entre outros (Bowman &
4 Abele, 1982; Melo, 1996).

5 Siris são indivíduos pertencentes à superfamília Portunoidea e descritos pela
6 presença de espinhos laterais na carapaça e pelo achatamento dorso-ventral do último
7 artículo do quinto par de pereiópodos, adaptados à natação. Em consequência do
8 apetrecho de pesca não seletivo de camarões marinhos e o padrão de espécies de siris
9 terem elevada biomassa, esses indivíduos em conjunto com outros organismos fazem
10 parte da fauna acompanhante ou *by-catch* da pesca de arrasto de camarões (Alverson *et*
11 *al.*, 1994).

12 Entre as várias espécies que compõem essa fauna, o siri azul *Callinectes ornatus*
13 (Ordway, 1863), o caranguejo baú *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785), e o siri *Achelous*
14 *spinicarpus* Stimpson, 1871 são os mais abundantes e constituem um dos maiores valores
15 em riqueza de espécies, quando comparado aos demais braquiúros (Di Benedetto, 2001;
16 Costa *et al.*, 2016; Sousa *et al.*, 2021). Essas espécies possuem amplas distribuições no
17 Atlântico Ocidental (Melo, 1996) e são amostrados em toda costa brasileira. A
18 distribuição de *C. ornatus* percorre desde a Carolina do Norte (EUA) até o Rio Grande
19 do Sul (Brasil), em fundos de areia, lama ou conchas, em ambiente estuarino, na foz de
20 rios e baías e até mesmo em profundidades de 75 metros (Melo, 1996; Carvalho & Couto,
21 2011). Ao contrário do siri azul, não há registros de ocorrência de *H. pudibundus* e *A.*
22 *spinicarpus* no ambiente estuarino, ambos podem ser encontrados em sedimentos
23 lamosos, areia e sob conchas (Melo *et al.*, 1998), no entanto, a distribuição de *H.*
24 *pudibundus* ocorre apenas até os 160 m de profundidade, enquanto *A. spinicarpus* pode
25 ser amostrado em águas rasas até os 550 m. Segundo um estudo realizado por Pires
26 (1992), *A. spinicarpus* compreendeu cerca de 90% da megafauna em áreas sob influência
27 sazonal da água ACAS, tal siri pode ser considerado como um bioindicador de massas de
28 águas frias (Lima *et al.*, 2014).

29 Nesse sentido, diante das peculiaridades existentes na região de Macaé e por
30 abrigar uma riqueza de Brachyura ainda pouco estudada na região, o objetivo do nosso
31 estudo é desvendar a riqueza, abundância, a diversidade e a dinâmica populacional de
32 espécies de Brachyura em uma região sob o efeito de uma frente marítima, isto é, a
33 ressurgência de Cabo Frio.

Desta maneira as seguintes hipóteses foram testadas:

(1) Riqueza e abundância apresentará um padrão distinto às demais regiões em latitudes adjacentes já estudadas, pelo efeito de uma frente marítima, onde espera-se:

- a) Que as características físicas e químicas (como baixos valores de temperatura) presentes na ressurgência modulem a diversidade alfa e beta de Brachyura na região de Macaé;
- b) Processos contemporâneos como variações nos fatores ambientais nas escalas temporal e espacial (batimetria) justificam o padrão de abundância e distribuição dos Brachyura na região de Macaé.

(2) A dinâmica populacional apresentará um padrão distinto às demais regiões em latitudes adjacentes já estudadas, pelo efeito de uma frente marítima, onde espera-se:

- a) Que os efeitos da ressurgência influenciem a distribuição dos grupos demográficos (macho, fêmea e jovens) e a estrutura populacional dos indivíduos;
- b) Que a reprodução e o recrutamento dos caranguejos estejam associados às características físicas e químicas presentes em um cenário oceanográfico sob efeito de frente marítimas;
- c) Que a ressurgência em conjunto com outros fatores bióticos regionais sejam processos ambientais os quais determinam uma ocupação diferencial dos grupos demográficos.

Estruturação dos capítulos

A presente tese foi dividida em 2 capítulos (redigidos na formatação de acordo com seus respectivos periódicos submetidos ou em submissão).

Capítulo 1: “Bathymetric distribution of Brachyuran Crabs: alpha and beta diversity variation in an upwelling area”. Este capítulo tem como objetivo avaliar a diversidade alfa e beta de uma assembleia de Brachyura em um gradiente de profundidade (5, 10, 15, 25, 35 e 45m) na região de Macaé (trabalho publicado na revista Marine Ecology).

- Teste da hipótese 1.

Capítulo 2: “Cada um no seu quadrado: desvendando a dinâmica populacional de três

espécies de Brachyura em uma área de ressurgência”. Neste capítulo foram elucidados aspectos populacionais das espécies de Brachyura mais abundantes do litoral norte fluminense, *C. ornatus*, *H. pudibundus* e *A. spinicarpus*. Essa caracterização populacional foi enfatizada na distribuição de frequência de indivíduos em classes de tamanho, proporção sexual e a ação das variáveis ambientais (temperatura, salinidade, concentração de clorofila-a, textura e teor de matéria orgânica no sedimento) na distribuição espacial e temporal dos grupos demográficos dessas espécies.

- Teste da hipótese 2.

REFERÊNCIAS

- Alverson, D.L., Freeberg, M.H., Pope, J.G. & Murawski, J.A. 1994 A global assessment of fisheries bycatch and discards. *FAO Fisheries Technical Paper*, 339: 1-233.
- Andrade, L. S., Bertini, G., Fransozo, V., Teixeira, G. M., Barros-Alves, S. P. & Fransozo, A. 2014. Differential occupation of habitat as a reproductive strategy of the blue crab *Callinectes ornatus* Ordway, 1968 (Crustacea: Decapoda). *Marine Biodiversity*, 44: 27–36. DOI:10.1007/s12526-013-0179-y
- Boltovskoy, D. 1999. South Atlantic Zooplankton. 1 vol, Backhuys Publisher, Leiden, 869p.
- Bowman, T.E. & Abele, L.G. 1982. Classification of the Recent Crustacea. The biology of Crustacea, Systematics, the fossil record, and biogeography. Academic Press, 319p.
- Carvalho, F. L. & Couto, E. C. G. 2011. Environmental variables influencing the *Callinectes* (Crustacea, Brachyura, Portunidae) species distribution in a tropical estuary – Cachoeira River (Bahia, Brazil). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 9: 793–800.
- Castro-Filho, B. M. & Miranda, L. B. 1998. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4° N and 34° S coastal segment (4°W). In: Robinson, A.R. and Brink, K.H., The Sea, John Wiley and Sons, New York, 209-251.
- Castro-Filho, B. M., Miranda, L. B. & Myao, S. Y. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 35(2): 135-151.
- Costa, R. C., Carvalho-Batista, A., Herrera, D. R., Pantaleão, J. A. F., Teodoro, S. D. S. A. & Davanzo, T. M. 2016. Carcinofauna acompanhante da pesca do camarão-

- sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri* em Macaé, Rio de Janeiro, Sudeste Brasileiro. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(3): 611-624. DOI:10.20950/1678-2305.2016v42n3p611
- De Grave, S., Pentcheff, N. D., Ahyong, S. T., Chan, T. Y., Crandall, K. A., Dworschak, P. C., Felder, D. L., Feldmann, R. M., Fransen, C. H. J. M., Goulding, L. Y. D., Lemaitre, R., Low, M. E. Y., Martin, J. W. Ng, P. K. L., Schweitzer, C. E., Tan, S. H., Tshudy, D. & Wetzler, R. 2009. A classification of living and fossil genera of decapod crustaceans. *Raffles Bulletin of Zoology*, 21: 1-109.
- Di Benedetto, A. P. 2001. A pesca artesanal na costa Norte do Rio de Janeiro. *Bioikos*, 15(2): 103-107.
- De Léo, F. C. & Pires-Vanin, A. M. S. 2006. A comparison between an upwelling and a non-upwelling ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 60: 268-284. DOI:10.1016/j.jmarsys.2006.02.002
- Gaeta, S. A. & Brandini, F. P. 2006. Produção primária do fitoplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In Rossi-Wongtschowski, C.L.; Madureira, M.S.P. O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. *EDUSP*, 219-264.
- Lima, P. A.; Andrade, L. S.; Alencar, C. E. R. D.; Pereira, R. T.; Teixeira, G. M. & Fransozo, A. 2014. Two species of swimming crabs of the genus *Achelous* (Crustacea, Brachyura): environmental requirements determining the niche. *Hydrobiologia*. 727: 197-207.
- Mann, K. H. & Lazier, J. R. N. 1996. Dynamics of Marine Ecosystems: Biological Physical Interactions in the Oceans. 2 ed. Blackwell Science Limited, Oxford, 394p.
- Mantelatto, F. L. M., Bernardo, C. H., Silva, T. E., Bernardes, V. P., Cobo, V.J. & Fransozo, A. 2016. Composição e distribuição de crustáceos decápodes associados à pesca do camarão-sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) no litoral norte do estado de São Paulo. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(2): 307-326.
- Ng, P. K. L., Guinot, D. & Davie, P. J. F. 2008. Systema Brachyurorum, Part I. An Annotated Checklist of Extant Brachyuran Crabs of the World. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 17:1-286.
- Odebrecht, C. & Castello, J. P. 2001. The convergency ecosystem in the southwest Atlantic. In U.Seeliger & B. Kjerfve. Ecological Studies. Coastal Marine Ecosystem of Latin America. 144 vol. Springer – Verlag Berlin, 360p.

- 1 Pantaleão, J. A. F., Carvalho-Batista, A., Fransozo, A. & Costa, R. C. 2016. The influence
2 of upwelling on the diversity and distribution of marine shrimp (Penaeoidea and
3 Caridea) in two tropical coastal areas of southeastern
4 Brazil. *Hydrobiologia*, 763(1): 381-395. DOI:10.1007/s10750-015-2429-4
- 5 Pires, A. M. S. 1992. Structure and dynamics of benthic megafauna on the continental
6 shelf offshore of Ubatuba, southeastern, Brazil. *Marine Ecology Progress Series*,
7 86: 63-76.
- 8 Sancinetti, G. S., Castilho, A. L., Wolf, M. R., Costa, R. C., Azevedo, A. & Fransozo, A.
9 2019. Population dynamics of shrimp *Pleoticus muelleri* in an upwelling region
10 and new implications for latitudinal gradient theories. *Journal of the Marine*
11 *Biological Association of the United Kingdom*, 99(8): 1807-1815.
12 DOI:10.1017/S002531541900081X
- 13 Silva, E. R. D., Sancinetti, G. S., Fransozo, A., Azevedo, A. & Costa, R. C. D. 2014.
14 Biodiversity, distribution and abundance of shrimps Penaeoidea and Caridea
15 communities in a region the vicinity of upwelling in Southeastern of
16 Brazil. *Nauplius*, 22(1): 1-11. DOI:10.1590/S0104-64972014000100001
- 17 Sousa, A. N., Bernardes, V. P., Bernardo, C. H., Silva, T. E., Sancinetti, G. S., Costa, R.
18 C., & Fransozo, A. 2021a. Bathymetric distribution of brachyuran crabs: Alpha
19 and beta diversity variation in an upwelling area. *Marine Ecology*, e12650.
- 20 Stech, J.L.; Lorenzzetti, J.A. & Silva, C.L.Jr. 1995. Observações por satélite da
21 ressurgência de Cabo Frio. In *Memórias do VII Simpósio Latinoamericano de*
22 *Percepción Remota*, 269-275.
- 23 Williams, A. B. 1984 Shrimps, lobsters and crabs of the Atlantic coast of the eastern
24 United States, Maine to Florida. Smithsonian Institution Press, Washington, 550p.
- 25

CAPÍTULO I

BATHYMETRIC DISTRIBUTION OF BRACHYURAN CRABS: ALPHA AND BETA DIVERSITY VARIATION IN AN UPWELLING AREA

Bathymetric distribution of brachyuran crabs: alpha and beta diversity variation in an upwelling area

<https://doi.org/10.1111/maec.12650>

Aline Nonato Sousa^{1*}, Veronica Pereira Bernardes¹, Camila Hipolito Bernardo¹, Thiago Elias Silva¹, Gustavo Sérgio Sancinetti¹, Rogério Caetano Costa^{1,2}, Adilson Fransozo¹

¹Laboratory of Carcinology (NEBECC) (Group of Studies on Crustacean Biology, Ecology, and Culture), Department of Zoology, Institute of Biosciences of Botucatu, São Paulo State University, UNESP, Botucatu, São Paulo, Brazil

²Laboratory of Biology of Marine and Freshwater Shrimp (LABCAM), Department of Biological Sciences, Faculty of Sciences, São Paulo State University, UNESP, Bauru, São Paulo, Brazil.

ABSTRACT

Biodiversity studies might help to understand the ecological dynamics of regions under the influence of upwelling and serve as a baseline to conservation and management strategies. Here we evaluated the alpha (species richness and Shannon-Wiener index — H') and beta (Bray Curtis index) diversities of a Brachyura assemblage within a depth gradient (5, 10, 15, 25, 35, and 45 m) in the Macaé region, State of Rio de Janeiro, Brazil. A total of 1,221 decapod individuals were sampled, comprising 11 species. The highest diversity index was recorded at 5 m in depth, and the lowest at 25 m. The ecological indexes (diversity and evenness indexes) were inversely proportional to the organic matter and phi (sediment texture). This finding suggests that the heterogeneous sediment of shallow areas increases habitat complexity, therefore increasing biodiversity. Since the study area is an upwelling zone, the coastal area is more affected by cold-water masses, leading to a distinct biodiversity distribution when compared with regions that are not under the influence of upwelling. Considering these peculiarities, the importance of coastal areas to the biodiversity of regions affected by upwelling becomes evident. Such areas must have differential importance when conducting environmental conservation and management projects.

KEYWORDS: biodiversity, sediment, temperature, Decapoda, by-catch, Macaé

1. INTRODUCTION

Biodiversity has become the focus of several scientific approaches in the last decade (Longo & Amado Filho, 2014). The severe depletion of populations or the extinction of species might generate uncountable damage to ecosystems (Longo & Amado Filho, 2014). According to Gaston (2000), one of the most important goals of the ecology and biogeography fields is improving the understanding of global biodiversity distribution.

Compared to terrestrial and freshwater environments, marine ecosystems have always been regarded as the least damaged environments (Culotta, 1994). This is probably linked to the lower rate of documented species loss and to the extra resilience of large geographical areas (Culotta, 1994). Nonetheless, the marine environment has been currently undergoing intense changes regarding the abundance of populations, distribution patterns of species, and general structure of benthic communities (Kaiser et al., 2002). These alterations are caused by trawling activities (Kaiser et al., 2002) that decrease coral populations (Pockley, 2000) while disseminating non-indigenous species (Molnar, Gamboa, Revenga, & Spalding, 2008; Andrade et al., 2014), and also by contamination by petroleum leaks (Pedrozo et al., 2002). Nearly 3.2 million tons of oil annually leak into the oceans (Pedrozo et al., 2002). In the first four months of 2019 in Brazil, the national news reported four oil spills in the Southeast region of the country. At the beginning of the year, a hole in the bottom part of a platform caused a spill of 4,900 liters of oil offshore Macaé, Rio de Janeiro (O Globo, 2019). These oil spills cause widespread changes in biodiversity, mainly in regards to composition and abundance of species (Oribhabor, 2016).

It is crucial to know the biodiversity of coastal regions since they have been constantly altered (Miloslavich et al., 2018) and the decrease in marine diversity is more pronounced in these regions (Costello & Chaudhary, 2017). The estimation of damage caused by these changes is impaired by the lack of basic knowledge on species diversity as well as patterns, and processes that control the distribution and abundance of organisms of coastal regions.

The coastal areas of Southeast Brazil are under the influence of the Brazil Current (temperature $\geq 20^{\circ}\text{C}$ and salinity ≥ 36) and the Malvinas Current (temperature $\leq 15^{\circ}\text{C}$ and salinity ≤ 34). The confluence of these currents in certain periods of the year, between the latitudes 25°S and 45°S in the Western Atlantic Ocean, leads to the formation of the South Atlantic Central Water (SACW) mass (temperature $\geq 20^{\circ}\text{C}$ and salinity ≥ 36.4)

(Silveira et al., 2000; Acha et al., 2004). The SACW is partially responsible for the subtropical convergence gyre and creates the Cabo Frio upwelling between the latitudes 23°S and 29°S (Castro-Filho, Miranda, & Myao, 1987; Silveira et al., 2000; Acha et al., 2004). The Cabo Frio upwelling is intensified by coastal winds and by the steep slope of the continental shelf (approximately 50 km from the coast).

The combination of these previously described outcomes results in mechanisms capable of transporting cold waters rich in nitrates from the SACW to the coast (Acha et al., 2004). Therefore, there are alterations in the water's physical conditions and nutrient concentration (Valentin, 1984). Consequently, the primary productivity of the waters from Southeast Brazil increases, mainly in Cabo Frio, Rio de Janeiro (23°S) (De Léo & Pires-Vanin, 2006).

The Cabo Frio upwelling on the west coast of the Atlantic Ocean is an uncommon phenomenon since the majority of the world's coastal regions that are influenced by this type of phenomenon are located on the east coast of the oceans. Examples of such regions include areas in Peru, Ecuador, California, Oregon (Pacific coast), and northeast South Africa in the Atlantic Ocean. The Cabo Frio upwelling is crucial for biological enrichment and, therefore, for the fishery activity in the Cabo Frio region (Franchito, Oda, Rao, & Kayano, 2007).

Studies on the influence of the SACW's physical and chemical features on the abundance and distribution of Decapoda have been conducted in the Macaé region. Silva et al. (2014) and Costa et al. (2016) evaluated how bottom water temperature variations modulate the diversity of shrimp (Penaeoidea and Caridea) and Decapoda assemblages, respectively. Sancinetti et al. (2014) and Sancinetti et al. (2019) evaluated the abundance and distribution of *Artemesia longinaris* Spence Bate, 1888 and *Pleoticus muelleri* (Spence Bate, 1888) throughout a depth gradient (5–45 m). Herrera, Pescinelli, and Costa (2017) pointed out that the physical and chemical features of the SACW contributed to an increase in abundance of *Exhippolysmata oplophoroides* (Holthuis, 1948) and a decrease of *Nematopalaemon schmitti* (Holthuis, 1950).

The effect of abiotic variables on the distribution of Decapoda in Macaé has been compared between populations under the influence of upwelling and those without its influence. Pantaleão, Carvalho-Batista, Fransozo, and Costa (2016) evaluated an assemblage of marine shrimps (Penaeoidea and Caridea) and the highest richness, diversity, and evenness were recorded in areas under the upwelling influence. Davanzo et al. (2017) and Carvalho-Baptista, Pantaleão, Castilho, and Costa (2019) studied the

1 population biology of *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) and *A. longinarius*, and pointed
2 out that lower temperatures were probably responsible for the longer longevity of
3 individuals in this area. Andrade et al. (2014) verified that areas affected by different
4 phenomena changed the composition, abundance, and assemblage structure of swimming
5 crabs (Portunoidea), i.e., *Arenaeus cribrarius* (Lamarck, 1818), *Callinectes danae* Smith,
6 1869, *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 and *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871.

7 Andrade et al. (2014) and Costa et al. (2016) investigated the abiotic variables that
8 affect the distribution pattern of Brachyura species in an upwelling area in Macaé.
9 However, these evaluations were restricted to shallow sampling areas close to the coast.
10 The diversity of Brachyura was closely related to temperature, salinity, productivity,
11 trophic relationships, and biological interactions that changed depending on depth
12 (Bertini & Fransozo, 2004). Hence, we tested the hypothesis that there is a difference in
13 diversity of brachyuran between shallow and deep regions. Studies comprising coastal
14 areas and regions far from the coast are essential to correctly address these correlations
15 between environmental factors and species. This would improve the knowledge to
16 propose efficient mitigation measures to protect brachyuran diversity.

17 The concept of a subdivision of biological diversity into alpha, beta, and gamma
18 diversity was comprehensively defined by Whittaker (1972). Whereas alpha diversity
19 simply means the diversity of a single sample or a small area (Fisher, Corbet, and
20 Williams, 1943; Whittaker, 1967), gamma diversity usually means the diversity of
21 combined alpha samples or larger regions. Beta diversity deals with diversity differences
22 between locations and along gradients (Whittaker 1960); it is based on the scattering of
23 species along changing abiotic and biotic environmental factors. This conceptual
24 partitioning of diversity of Whittaker has recently been put on a more operational base
25 (e.g., Crist, Veech, Gering, and Summerville, 2003).

26 Thus, to minimize bias caused by sampling Brachyura at shallower depths and to
27 understand how environmental factors affect alpha and beta diversity of the brachyuran
28 assemblage in a location affected by upwelling, we determined the composition,
29 abundance, and diversity of Brachyura species along a depth gradient in a region
30 influenced by the Cabo Frio upwelling before an oil spill. Such data may serve as a
31 reference for comparisons with the current conditions of this location.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Samplings and analyses of biotic and abiotic data

Sampling was conducted monthly, from July 2008 to June 2009, in Macaé, State of Rio de Janeiro, Brazil (22° 22'S and 41° 46'W) (Figure 1). Individuals were sampled from six stations parallel to the coastline (Figure 1). The shallowest stations (5, 10, and 15 m depth) were grouped as the shallow area, and the deepest ones (25, 35, and 45 m depth) as the deep area. This terminology was used to differentiate two strata: sampling stations close (shallow) and distant (deep) from the coast.

A shrimp fishing boat equipped with an otter-trawl net (3.5 m of mouth width, 20 mm of mesh size, and 15 mm in the cod end) was used for trawling. The sampling effort was 15 min at 2.0 knots. Surface and bottom water samples were taken monthly in each station using a Van Dorn bottle to estimate temperature and salinity. Water temperature was estimated immediately after sampling with a mercury thermometer placed in a thermic isolated container protected from sunlight. In the laboratory, salinity was estimated with a manual salinometer calibrated with distilled water. Depth was recorded using an echobathymeter coupled with GPS (Global Positioning System). Sediment samples were collected at the beginning and at the end of trawling on alternate months, using a Van Veen grab (0.06 m²).

In the laboratory, crabs were identified and classified according to Melo (1996) and Ng, Guinot, and Davie (2008). The sampled sediment was dried at 70 °C for 72 h in an oven.

Three 100-g sediment subsamples were used for grain size composition analysis. These subsamples were treated with 250 ml of a NaOH solution (0.2 mol l⁻¹), stirred for 5 min to release silt and clay particles, and rinsed on a 0.063-mm sieve. Grain size was classified according to the Wentworth (1922) scale: > 2 mm (gravel); 2.0–1.0 mm (very coarse sand); 1.0–0.5 mm (coarse sand); 0.5–0.25 mm (medium sand); 0.25–0.125 mm (fine sand); 0.125–0.063 mm (very fine sand), and smaller particles classified as silt and clay.

Grain diameter was expressed in phi (ϕ) values (calculated from based on the formula $\phi = -\log_2 d$, where d = grain diameter in mm) and the following classes were obtained: $-2 \leq \phi < -1$ (gravel), $-1 \leq \phi < 0$ (very coarse sand), $0 \leq \phi < 1$ (coarse sand), $1 \leq \phi < 2$ (medium sand), $2 \leq \phi < 3$ (fine sand), $3 \leq \phi < 4$ (very fine sand), and $\phi \geq 4$ (silt and clay). The 16th, 50th, and 84th percentiles were extracted from the cumulative distribution curves of the grain classes. The mean grain diameter (md) was calculated

with the following formula: $MD = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})/3$ (Suguio, 1973). The most abundant sediments were categorized into three classes according to Magliocca and Kutner (1965). Class A corresponds to sediments containing medium sand (MS), coarse sand (CS), very coarse sand (VCS), and gravel (G); class B, sediments with fine sand (FS) and very fine sand (VFS), and class C, sediments with silt and clay (S+C). For organic matter content determination, we put 10 g subsamples in porcelain containers, which were individually identified and weighed beforehand. Then, subsamples were incinerated in an oven (500 °C for 3 hours) and weighed again. The difference between initial and final weight represented the organic matter content of each sample, which was expressed as a proportion of the initial weight.

2.2 Data Analysis

Homoscedasticity (Levene) and normality (Shapiro–Wilk) tests were performed as pre-requisites for further statistical analyses (p-value = 0.05) (Zar, 1999). A parametric variance analysis (ANOVA) followed by Tukey test ($p < 0.05$) was used to compare surface and bottom temperature (ST and BT, respectively), bottom salinity (BS), percentage of organic matter in sediment (OM), and phi among sampling stations and seasons (winter from July to September; spring from October to December; summer from January to March, and autumn from April to June). Each environmental factor was also compared between shallow and deep areas through student's T-test ($p < 0.05$).

The alpha (α) diversity took into account the species richness (S') (number of species), diversity index (Shannon-Wiener Index H'), and evenness index (Pielou's Evenness Index J'). Diversity was calculated as $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2 p_i$; where "s" is the number of species and " p_i " is the proportion of individuals of species "i", (Pielou, 1966); and the evenness index as $J' = \frac{H'}{\log_2 S}$, (Pielou, 1975). The beta diversity (β) was estimated for each sampling station using the Bray and Curtis dissimilarity index (1957), which ranges from 0 (similar) to 1 (dissimilar). The using a non-parametric Kruskal-Wallis test, followed by Dunn's test (p-value < 0.05) was used to compare the values of species richness, diversity, and evenness index among sampling stations and seasons. The alpha diversity was also compared between shallow and deep areas through a Mann-Whitney test (p-value < 0.05).

Canonical Correspondence Analysis (CCA) was used to detect possible relationships between ecological indexes (diversity, evenness, and richness) and abiotic

variables (bottom temperature (BT), bottom salinity (BS), organic matter percentage (OM), and phi). We also used CCA to detect possible relationships between the abundance of species and environmental variables. The CCA produces final coordination scores that summarize the linear relationship between the explanatory and response variables. Only abiotic variables with scores higher than + 0.4 and lower than - 0.4 were considered as biologically significant (Rakocinski, Lyczkowski-Shultz, & Richardson, 1996). All statistical analyses were performed in Past 2.12 (Hammer, Harper, and Ryan, 2001) or using the package “vegan” (Oksanen et al., 2013) in R (R Development Core Team, 2013).

3. RESULTS

During the sampling period, the ST and BT values ranged from 20.0 to 28.0 °C and from 18.5 to 25.5 °C, respectively. In the deep area, the lowest means of ST ($T = -2.42$; $p = 0.02$) and BT ($T = -7.07$; $p = 0.00$) occurred mainly at 35 and 45 m ($F = 31.08$; $p = 0.00$) (Figure 2a). The highest average BT values occurred during autumn, while the lowest values were recorded in the spring ($F = 4.61$; $p = 0.00$). In addition, we observed a difference between the ST and BT values, especially during summer and spring (Figure 2b).

Although there were no major variations in BS values between sampling stations ($F = 1.57$; $p = 0.18$) (Figure 3a), the highest average values occurred in the deep area ($T = 2.21$; $p = 0.03$). Among seasons, the lowest BS values were recorded during the summer ($F = 22.04$; $p = 0.00$), mostly in March (Figure 3b).

Three typical water masses were recorded in the study region. The Coastal Water mass (CW) (temperature ≥ 20 °C, salinity ≤ 36) was predominant throughout the entire sampling period. The South Atlantic Central Water (SACW) (temperature ≤ 20 °C, salinity ≤ 36) was predominant during summer and spring, while the Tropical Water mass (TW) was the most prevalent in autumn (temperature ≥ 20 °C, salinity ≥ 36) (Figure 4).

Regarding sediment characteristics (texture and percentage of organic matter), there was a difference in phi values between shallow and deep areas ($T = 10.85$; $p = 0.00$) (Figure 5). The sampling stations in the shallow area presented the lowest phi values ($F = 31.08$; $p = 0.00$) with a predominance of Class A and B sediment. In this area, the lowest OM percentage was also obtained ($T = 12.96$; $p = 0.00$), mainly at 10 m depth ($F = 39.29$; $p = 0.00$) (Figure 5). The highest phi values were recorded in the deep area and were mainly composed of silt + clay, with a high percentage of OM (Figure 5).

We sampled a total of 1,221 individuals from five families, eight genera, and 11 species. The most abundant species was *Hepatus pudibundus* (N = 565), followed by *A. spinicarpus* (N = 284), and *C. ornatus* (N = 207). The abundance of these three species was equivalent to almost 90% of the total number of species sampled (Tables 1 and 2). Most *C. ornatus* specimens were sampled in a protected area. The crab *H. pudibundus* was the most abundant species at 25 and 35 m, mainly during autumn and winter, while *A. spinicarpus* individuals were mostly found together at 45 m and during the summer (Figure 6).

Alpha diversity values did not show significant difference among sampling stations (species richness $F = 0.48$, $p\text{-value} = 0.79$; diversity index $F = 0.07$, $p\text{-value} = 0.99$; evenness index $F = 0.17$, $p\text{-value} = 0.97$), seasons (species richness $F = 0.71$, $p\text{-value} = 0.55$; diversity index $F = 0.84$, $p\text{-value} = 0.48$; evenness index $F = 0.55$, $p\text{-value} = 0.65$), or area (species richness $T = 1.2483$, $p\text{-value} = 0.22$; diversity index $T = -0.23$, $p\text{-value} = 0.82$; evenness index $T = 0.06$, $p\text{-value} = 0.95$). Nonetheless, the highest species richness was recorded in summer ($S = 10$) and the lowest in winter and spring ($S = 8$). *Persephona lichtensteinii* Leach, 1817 and *Pilumnus reticulatus* Stimpson, 1860 were not recorded in autumn, winter and spring. The lowest diversity index was recorded in summer (Figure 7), coinciding with the period of higher abundance of *A. spinicarpus* (Table 1).

The highest diversity indexes were recorded in the shallow area stations, mainly at 5 m ($H' = 2.4$) and 10 m ($H' = 1.9$) (Figure 8). In these locations, there was a low sampling of abundant species such as *H. pudibundus* and *A. spinicarpus* (Table 2). The similarity between areas at 5–15 m and 25–35 m was above 70%. The 10 m area had the highest similarity with all the other areas (46.18%) and the 45 m area had the lowest similarity with the others (27.74%) (Figure 9).

The diversity and evenness indexes had an inversely proportional relationship with the OM percentage and phi value, and a proportional relationship with BT (Figure 10a). This means the highest diversity values and evenness indexes were obtained in seasons with high temperatures and in places with low OM percentage and low to intermediate phi values (with heterogeneous sediment, mainly composed of gravel, very coarse sand, coarse sand, and medium sand). We also observed that high OM percentage and phi (silt and clay) were related to a higher abundance of *H. pudibundus*. Meanwhile, low temperatures favored the establishment of *A. spinicarpus* (Figure 10b). The majority

of the remaining Brachyura were more abundant in high temperatures and in locations with lower phi values, that is, in areas with heterogeneous sediments (Figure 10b).

4. DISCUSSION

The diversity of brachyurans in the study area could be associated with the upwelling that influences the Macaé region. This phenomenon is often a result of horizontal differences in the superficial layer of the ocean promoted by the wind (Lehmann & Myrberg, 2008). According to Coelho-Souza et al. (2012), the SACW is far from the coast during winter, while the TW is slightly below the surface. During summer, the SACW approaches the coastline, creating a typical seasonal thermoclimate, phenomenon that was observed in the studied area. The intrusion of the SACW and the elevation of the ST promoted by the sunlight are specific features of coastal upwelling (Valentin, 2001). Therefore, the occurrence of this phenomenon may influence the structure of the biological system (González-Gurriarán & Fernández, 1993; De Léo & Pires-Vanin, 2006; Hernandez-Avila, Gomez, Lira, and Galindo, 2007).

The intrusion of the cold SACW mass in shallow areas of the sampling region during specific periods of the year generates biodiversity by connecting species of two different biogeographic regions (tropical and subtropical). Thus, the diversity of Brachyura in the studied area was very similar to that found by Stanski et al. (2019) in Babitonga bay (state of Santa Catarina, Brazil).

The species richness in the Macaé region was similar to previous surveys from the same area, but there was a higher abundance of *H. pudibundus* and *A. spinicarpus* in comparison to the study performed by Costa et al. (2016). However, our sampling effort was lower and the sampling period shorter. This design was a consequence of our sampling methodology that included areas deeper than those from the previous study. The shallow areas of our study were mainly comprised by Class A sediment, and the deep areas were comprised by Class C sediment. This difference is a consequence of a submarine tombolo (a submerged strip of sand) between the beach and the Santana archipelago located in the studied region. The fine sediments are removed from shallow areas with the occurrence of the submarine tombolo by wave action, establishing a pattern of irregular facies of medium and very coarse sand (Sancinetti et al., 2014, 2015). Hence, the abundant silt and clay found in the deep area may have favored the high abundance of *H. pudibundus* in deeper waters. Bertini, Fransozo, and Negreiros-Fransozo (2010) and

Bernardes et al. (2019) have also associated the higher abundance of *H. pudibundus* with small sediment grain size in Ubatuba, such as silt and clay.

The establishment of *A. spinicarpus* in the deep area was associated with temperature. The species has a distribution pattern associated with temperatures below 18 °C, being an indicator of cold water masses (De Léo & Pires-Vanin, 2006). *Achelous spinicarpus* responds positively to abrupt environmental changes caused by water temperature reduction (24 °C to 18–12 °C). The temperature and salinity of the study area were different from usual tropical region conditions (Sancinetti et al., 2014, 2015), which seem to have contributed to the high abundance of *A. spinicarpus* in deep areas. According to Sancinetti et al. (2015), the influence of the Cabo Frio upwelling at the Macaé region leads to decreased mean temperature and high nutrient concentration all over the year, mainly in the deep area, creating environmental features similar to the temperate climate of South America.

During spring and summer, the decrease of bottom temperature is steeper in Macaé due to the SACW influence. The SACW intensifies the Cabo Frio upwelling (Stech & Lorenzzetti, 1992) since its physical and chemical features increase nutrient production that favors primary production (Castro-Filho, Miranda, & Myao, 1987). The reduction in bottom temperature has a negative effect on some species of Brachyura, such as *C. ornatus* and *H. pudibundus*, and other tropical species that have high abundances in temperatures above 21 °C (Bernardes et al., 2019; Pires-Vanin & Matsuura, 1993; Petti, Nonato, & Paiva, 1996). Therefore, environmental conditions caused by the upwelling more intensely affect species that are adapted to temperatures close to 20 °C or lower, such as *A. spinicarpus* (De Léo & Pires-Vanin, 2006), decreasing the diversity index during the phenomenon.

The migration of *C. ornatus* and *H. pudibundus* to other areas in search of higher temperatures seems to be a common behavior. Several studies have demonstrated that low temperatures modulate the occurrence of Brachyura species during spring and summer in Macaé, and on the coast of the state of São Paulo (Costa et al., 2016; Sousa et al., 2018; Bernardes et al., 2019).

The higher diversity of Brachyura in the shallow sampling stations is probably related to the high bottom temperature and to sediment texture. The shallow area is composed of heterogeneous sediment that can be used as shelter or food (Furlan et al., 2013). This sediment feature allows the coexistence of different species that use different microhabitats. Although the shallow area may favor the abundance of *Achelous*

1 *spinimanus* (Latreille, 1819) due to its sediment heterogeneity (Sousa et al. 2018), we
2 recorded a low abundance of this species in the study area. This is probably related to the
3 low temperature recorded in Macaé. Sousa et al. (2018) presented similar results. They
4 recorded a reduction in the abundance of *A. spinimanus* in the spring and summer of 1999
5 caused by low temperatures associated with the action of the SACW in Ubatuba Bay.
6 Another factor that may explain the low abundance of *A. spinimanus* in the shallow area
7 is the high abundance of *C. ornatus*, which is known to be a territorial species with intense
8 agonistic behavior (Shinozaki-Mendes, Manghi, and Lessa, 2012).

9 *Arenaeus cribrarius* and *C. dane* also had a low abundance during the study period
10 and were restricted to the shallow area. The lower salinity of the shallow area may have
11 contributed to the occurrence of these species in this depth stratum. The life cycle of *C.*
12 *dane* is completed in estuaries and the Macaé estuary is currently affected by anthropic
13 activities, such as the petroleum industry (Hora et al., 2011), which may have contributed
14 to the low abundance of the species.

15 Since the establishment of a petroleum industry headquarters in the 1970s, Macaé
16 became the center of the petroleum and gas exploitation in the Campos Basin, thus being
17 the petroleum capital of Brazil (Lianza & Addor, 2005). Santiago et al. (2016) and
18 Gutiérrez, Conceição, Molisani, and Weber (2018) evaluated the impact caused by the
19 petroleum industry on mussel populations from the Macaé region. The amount of
20 polyaromatic hydrocarbon (PAH) found in the region suggested that both pyrogenic and
21 petrogenic sources were affecting mussels, which is a typical consequence from the
22 petroleum industry (Santiago et al., 2016). The total PAH concentration found in the
23 Macaé river estuary was similar to the concentrations recorded at the Guanabara Bay,
24 which is an area of widespread contamination by petroleum derivatives and PAHs
25 (Santiago et al., 2016). Gutiérrez, Conceição, Molisani, and Weber (2018) evaluated the
26 genotoxicity of coastal ecosystems of the Macaé region and noticed that mussels with the
27 highest DNA damages were those from urban estuaries. Individuals living in islands near
28 the coast presented genotoxicity levels close to zero (Gutiérrez, Conceição, Molisani, and
29 Weber, 2018).

30 The low abundance of *C. danae* found by the present study was similar to previous
31 studies of the same region (Andrade et al., 2014; Costa et al., 2016). However, previous
32 studies pointed to the low salinity of Macaé as a limiting factor for the abundance of *C.*
33 *danae*.

Our findings revealed that the bottom temperature was one of the modulators of the brachyuran assemblage in the studied area of Macaé. The species diversity and evenness were controlled by migratory events of species after the SACW induced temperature variation. The sediment texture also affected the diversity of species. Areas with heterogeneous sediment (shallow area) had the highest diversity indexes due a higher shelter and food availability provided by habitat heterogeneity. The results from the novel brachyuran sampling method presented here can be used as a baseline for assessing current conditions from the Macaé region. This method that included sampling shallow and deep areas can help to verify whether or not the petroleum spills have affected local biodiversity.

DATA AVAILABILITY

The data that support our findings are available in the supplementary material of this manuscript.

REFERENCES

- Acha, E. M., Mianzan, H. W., Guerrero, R. A., Favero, M., & Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral South America physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, 44, 83-105. doi: [10.1016/j.jmarsys.2003.09.005](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.09.005)
- Andrade, L. S., Frameschi, I. F., Costa, R. C., Castilho, A. L., & Fransozo, A. (2014). The assemblage composition and structure of swimming crabs (Portunoidea) in continental shelf waters of southeastern Brazil. *Continental Shelf Research*, 94, 8–16. doi: [10.1016/j.csr.2014.12.005](https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.005)
- Bernardes, V. P., Mantelatto, F. L., Silva, T. E., Sousa, N. A., Bernardo, C. H., & Fransozo, A. (2019). Influence of environmental factors on the bathymetric distribution of the flecked box crab *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (Crustacea: Aethroidea) in the Southeastern Brazilian coast. *Biota Neotropica*, 19(1), e20180549. doi: [10.1590/1676-0611-bn-2018-0549](https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0549)
- Bertini, G., & Fransozo, A. (2004). Bathymetric distribution of brachyuran crab (Crustacea, Decapoda) communities on coastal soft bottom off southeastern Brazil. *Marine Ecology Progress Series*, 279, 193-200. doi: [10.3354/meps279193](https://doi.org/10.3354/meps279193)
- Bertini, G., Fransozo, A., & Melo, G. A. S. (2004). Biodiversity of brachyuran crabs (Crustacea: Decapoda) from non-consolidated sublittoral bottom on the northern

- coast of São Paulo State, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 13(12), 2185-2207. doi:[10.1023/B:BIOC.0000047900.96123.34](https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000047900.96123.34)
- Bertini, G., Fransozo, A., & Negreiros-Fransozo, M. L. (2010). Brachyuran soft-bottom assemblage from marine shallow waters in the southeastern Brazilian littoral. *Marine Biodiversity*, 40(4), 277-291. doi:[10.1007/s12526-010-0049-9](https://doi.org/10.1007/s12526-010-0049-9)
- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325-349. doi:[10.2307/1942268](https://doi.org/10.2307/1942268)
- Carvalho-Baptista, A., Pantaleão, J. A. F., Castilho, A. L., & Costa, R. C. D. (2019). The Cabo Frio upwelling overrides geographical patterns in the population dynamics of the shrimp *Artemesia longinaris* Spence Bate, 1888 (Decapoda: Penaeidae). *Marine Ecology*, 40(2), e12534. doi:[10.1111/maec.12534](https://doi.org/10.1111/maec.12534)
- Castro-Filho, B. M., Miranda, L. B., & Myao, S. Y. (1987). Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações s sazonais e em média escala. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 35(2), 135-151. doi:[10.1590/S0373-55241987000200004](https://doi.org/10.1590/S0373-55241987000200004)
- Coelho-Souza, S. A., López, M. S., Guimarães, J. R. D., Coutinho, R., & Candella, R. N. (2012). Biophysical interactions in the Cabo Frio upwelling system, southeastern *Brazilian Journal of Oceanography*, 60(3), 353-365. doi:[10.1590/S1679-87592012000300008](https://doi.org/10.1590/S1679-87592012000300008)
- Costa, R. C., Carvalho-Batista, A., Herrera, D. R., Pantaleão, J. A. F., Teodoro, S. D. S. A., & Davanso, T. M. (2016). Carcinofauna acompanhante da pesca do camarão-sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri* em Macaé, Rio de Janeiro, Sudeste Brasileiro. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(3), 611-624. doi:[10.20950/1678-2305.2016v42n3p611](https://doi.org/10.20950/1678-2305.2016v42n3p611)
- Costello, M. J., & Chaudhary, C. (2017). Marine biodiversity, biogeography, deep-sea gradients, and conservation. *Current Biology*, 27(11), R511-R527. doi:[10.1016/j.cub.2017.04.060](https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.060)
- Crist, T. O.; Veech, J. A., Gering, J. C., Summerville, K. S. (2003). Partitioning species diversity across landscapes and regions: a hierarchical analysis of α , β , and γ diversity. *The American Naturalist*, 162, 734-743.
- Culotta, E. (1994). Is marine biodiversity at risk?. *Science*, 263, 918–920. doi:[10.1126/science.263.5149.918](https://doi.org/10.1126/science.263.5149.918)

- Davanzo, T. M., Hirose, G. L., Herrera, D. R., Fransozo, A., & Costa, R. C. (2017). Does the upwelling phenomenon influence the population dynamics and management of the seabob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) (Crustacea, Penaeidae)?. *Hydrobiologia*, 795(1), 295-311. doi:[10.1007/s10750-017-3152-0](https://doi.org/10.1007/s10750-017-3152-0)
- De Léo, F. C., & Pires-Vanin, A. M. S. (2006). Benthic megafauna communities under the influence of the South Atlantic Central Water intrusion onto the Brazilian SE shelf: a comparison between an upwelling and a non-upwelling ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 60, 268-284. doi:[10.1016/j.jmarsys.2006.02.002](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2006.02.002)
- Fisher, R. A., Corbet, A. S., & Williams, C. B. (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology*, 12, 42-58.
- Franchito, S. H., Oda, T. O., Rao, V. B., & Kayano, M. T. (2007). Interaction between coastal upwelling and local winds at Cabo Frio, Brazil: an observational study. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 1590-1598. doi:[10.1175/2007JAMC1660.1](https://doi.org/10.1175/2007JAMC1660.1)
- Furlan, M., Castilho, A. L., Fernandes-Góes, L. C., Fransozo, V., Bertini, G., & Costa, R. C. (2013). Effect of environmental factors on the abundance of decapod crustaceans from soft bottoms off southeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(4), 1345-1356. doi:[10.1590/0001-3765201394812](https://doi.org/10.1590/0001-3765201394812)
- Gaston, K. J. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783), 220-227. doi:[10.1038/35012228](https://doi.org/10.1038/35012228)
- González-Gurriarán, E., Freire, J., & Fernández, L. (1993). Geostatistical analysis of spatial distribution of *Liocarcinus depurator*, *Macropipus tuberculatus* and *Polybius henslowii* (Crustacea: Brachyura) over the Galician continental shelf (NW Spain). *Marine Biology*, 115(3), 453-461.
- Gutiérrez, J. M., Conceição, M. B., Molisani, M. M., & Weber, L. I. (2018). Genotoxicity Biomonitoring Along a Coastal Zone Under Influence of Offshore Petroleum Exploration (Southeastern Brazil). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(3), 338-343. doi:[10.1007/s00128-018-2276-x](https://doi.org/10.1007/s00128-018-2276-x)
- Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9.

- Hernandez-Avila, I., Gomez, A., Lira, C., & Galindo, L. (2007). Benthic decapod crustaceans (Crustacea: Decapoda) of Cubagua Island, Venezuela. *Zootaxa*, 1557(1), 33-45.
- Herrera, D. R., Pescinelli, R. A., & Costa, R. C. D. (2017). Ecological distribution of *Nematopalaemon schmitti* and *Exhippolysmata oplophoroides* (Crustacea: Caridea) near an upwelling area off southeastern Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(1), 149-158. doi:[10.3856/vol45-issue1-fulltext-14](https://doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-14)
- Hora, H. M. C., Tavares, J. H. S., Souza, G. L., Lugon Junior, J., & Ferreira, M. I. P. (2011). Modelagem computacional como ferramenta de gerenciamento dos recursos hídricos: uma alternativa para abordagem de problemas de usos múltiplos. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 5(1), 71-87.
- Kaiser, M. J., Collie, J. S., Hall, S. J., Jennings, S., & Poiner, I. R. 2002. Modification of marine habitats by trawling activities: prognosis and solutions. *Fish and Fisheries*, 3, 114-136. doi:[10.1046/j.1467-2979.2002.00079.x](https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2002.00079.x)
- Lianza, S., & Addor, F. (2005). ‘Tecnologia e desenvolvimento social solidário’. (UFRG: Rio Grande do Sul, Brazil).
- Lehmann, A., & Myrberg, K. (2008). Upwelling in the Baltic Sea – a review. *Journal of Marine Systems*, 74, 3–12. doi:[10.1016/j.jmarsys.2008.02.010](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.02.010)
- Longo, L. L., & Amado Filho, G. M. (2014). O conhecimento da fauna marinha bentônica brasileira através dos tempos. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 21(3), 995-1010. doi:[10.1590/S0104-59702014000300011](https://doi.org/10.1590/S0104-59702014000300011)
- Magliocca, A., & Kutner, A. S. (1965). Sedimentos de fundo da Enseada do Flamengo, Ubatuba, SP. *Contribuições do Instituto Oceanográfico*, 198, 1-15.
- Melo, G. A. S. (1996). ‘Manual de Identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do Litoral Brasileiro’. (Plêiade/FAPESP: São Paulo, Brazil).
- Miloslavich, P., Bax, N. J., Simmons, S. E., Klein, E., Appeltans, W., Aburto-Oropeza, O., ... Shin, Y. (2018). Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes. *Global Change Biology*, 24(6), 2416-2433. doi:[10.1111/gcb.14108](https://doi.org/10.1111/gcb.14108)
- Molnar, J. L., Gamboa, R. L., Revenga, C., & Spalding, M. D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers Ecology Environment*, 6(9), 485–492. doi:[10.1890/070064](https://doi.org/10.1890/070064)

- 1 Ng, P. K. L., Guinot, D., & Davie, P. J. F. (2008). Systema Brachyurorum: part I. An
2 annotated checklist of extant brachyuran crabs of the world. *Raffles Bulletin of*
3 *Zoology*, 17, 1–28.
- 4 O Globo. Petrobras paralisa produção na P-25 após vazamento em oleoduto na Bacia de
5 Campos. 2019. [https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/04/22/petrobras-paralisa-](https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/04/22/petrobras-paralisa-producao-na-p-25-apos-vazamento-em-oleoduto-na-bacia-de-campos.ghtml)
6 [producao-na-p-25-apos-vazamento-em-oleoduto-na-bacia-de-](https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/04/22/petrobras-paralisa-producao-na-p-25-apos-vazamento-em-oleoduto-na-bacia-de-campos.ghtml) campos.ghtml
- 7 Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B.,
8 ...Wagner, H. (2013). vegan: Community Ecology Package. R package version
9 2.0-7. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- 10 Oribhabor, B. J. (2016). Impact of human activities on biodiversity in Nigerian aquatic
11 ecosystems. *Science International*, 4(1), 12-20. doi:[10.17311/sciintl.2016.12.20](https://doi.org/10.17311/sciintl.2016.12.20)
- 12 Pantaleão, J. A. F., Carvalho-Batista, A., Fransozo, A., & Costa, R. C. (2016). The
13 influence of upwelling on the diversity and distribution of marine shrimp
14 (Penaeoidea and Caridea) in two tropical coastal areas of southeastern Brazil.
15 *Hydrobiologia*, 763(1), 381-395. doi:[10.1007/s10750-015-2429-4](https://doi.org/10.1007/s10750-015-2429-4)
- 16 Pedrozo, M. F., Barbosa, E. M., Corseuil, H. X., Schneider, M. R., & Linhares, M. M.
17 (2002). 'Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo'. (Centro de Recursos
18 Ambientais, Salvador, Brazil).
- 19 Petti, M. A. V., Nonato, E. F., & Paiva, P. C. D. (1996). Trophic relationships between
20 polychaetes and brachyuran crabs on the southeastern Brazilian coast. *Revista*
21 *Brasileira de Oceanografia*, 44(1), 61-67. doi:[10.1590/S1413-77391996000100007](https://doi.org/10.1590/S1413-77391996000100007)
- 22 Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological
23 collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144. doi:[10.1016/0022-](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
24 [5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- 25 Pielou, E. C. (1975). 'Ecological Diversity'. (Wiley Interscience: New York).
- 26 Pires-Vanin, M. A. S., & Matsuura, Y. (1993). Estrutura e função do ecossistema de
27 plataforma continental da região de Ubatuba, Estado de São Paulo: uma
28 introdução. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 10, 1–8.
- 29 Pockley, P. (2000). Global warming identified as main threat to coral reefs. *Nature*,
30 407(6807), 932.
- 31 R Development Core Team. (2013). 'R: A Language and Environment for Statistical
32 Computing'. (R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria)
- 33 Rakocinski, C. F., Lyczkowski-Shultz, J., & Richardson, S. L. (1996). Ichthyoplankton
34 assemblage structure in Mississippi sound as revealed by canonical

- correspondence analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43(2), 237–257.
doi:[10.1006/ecss.1996.0067](https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0067)
- Sancinetti, G. S., Azevedo, A., Castilho, A. L., Fransozo, A., & Costa, R. C. (2014). How marine upwelling influences the distribution of *Artemesia longinaris* (Decapoda: Penaeoidea)? *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(2), 322-331.
doi:[10.3856/vol42-issue2-fulltext-4](https://doi.org/10.3856/vol42-issue2-fulltext-4)
- Sancinetti, G. S., Azevedo, A., Castilho, A. L., Fransozo, A., & Costa, R. C. (2015). Population biology of the commercially exploited shrimp *Artemesia longinaris* (Decapoda: Penaeidae) in an upwelling region in the Western Atlantic: comparisons at different latitudes. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, 75(3), 305-313. doi:[10.1590/1519-6984.11813](https://doi.org/10.1590/1519-6984.11813)
- Sancinetti, G. S., Castilho, A. L., Wolf, M. R., Costa, R. C., Azevedo, A., & Fransozo, A. (2019). Population dynamics of shrimp *Pleoticus muelleri* in an upwelling region and new implications for latitudinal gradient theories. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99(8), 1807-1815.
doi:[10.1017/S002531541900081X](https://doi.org/10.1017/S002531541900081X)
- Santiago, I. U., Molisani, M. M., Nudi, A. H., Scofield, A. L., Wagener, A., & Limaverde Filho, A. M. (2016). Hydrocarbons and trace metals in mussels in the Macaé coast: Preliminary assessment for a coastal zone under influence of offshore oil field exploration in southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 103(1-2), 349-353.
doi:[10.1016/j.marpolbul.2015.12.034](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.034)
- Shinozaki-Mendes, R. A., Manghi, R. F., & Lessa, R. (2012). The influence of environmental factors on the abundance of swimming crabs (Brachyura, Portunidae) in tropical estuary, Northeastern Brazil. *Crustaceana*, 85(11), 1317-1331. doi:[10.1163/156854012X651510](https://doi.org/10.1163/156854012X651510)
- Silva, E. R. D., Sancinetti, G. S., Fransozo, A., Azevedo, A., & Costa, R. C. D. (2014). Biodiversity, distribution and abundance of shrimps Penaeoidea and Caridea communities in a region the vicinity of upwelling in Southeastern of Brazil. *Nauplius*, 22(1), 1-11. doi:[10.1590/S0104-64972014000100001](https://doi.org/10.1590/S0104-64972014000100001)
- Silveira, I. C. A., Schmidt, A. C. K., Campos, E. J. D., Godoi, S. S., & Ikeda, Y. 2000. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2), 171-183. doi:[10.1590/S1679-87592000000200008](https://doi.org/10.1590/S1679-87592000000200008)
- Sousa, A. N., Bertini, G., Taddei, F. G., Costa, R. C., Silva, T. E., & Fransozo, A. (2018). Modulating factors of the abundance and distribution of *Achelous spinimanus*

- (Latreille, 1819) (Decapoda, Portunoidea), a fishery resource, in Southeastern Brazil. *PeerJ*, 6, e5720. doi:[10.7717/peerj.5720](https://doi.org/10.7717/peerj.5720)
- Stanski, G., Gonçalves, G. R. L., Grabowski, R. C., Wolf, M. R., & Castilho, A. L. (2019). Decapod abundance and species richness in the bycatch of *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) fishery, Santa Catarina, southern Brazil. *Nauplius*, 27, e2019007. doi:[10.1590/2358-2936e2019007](https://doi.org/10.1590/2358-2936e2019007)
- Stech, J. L., & Lorenzzetti, J. A. (1992). The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research*, 97, 9507–9520. doi:[10.1029/92JC00486](https://doi.org/10.1029/92JC00486)
- Suguio, K. (1973). ‘Introdução à Sedimentologia’. (EDUSP: São Paulo, Brazil).
- Valentin, J. L. (1984). Analyses des parameters hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brasil). *Marine Biology*, 82, 259-276. doi:[10.1007/BF00392407](https://doi.org/10.1007/BF00392407)
- Valentin, J. L. (2001). ‘The Cabo Frio Upwelling System, Brazil’. Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Ecological Studies (Analysis and Synthesis). (Springer: Heidelberg, Germany).
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The journal of Geology*, 30(5), 377–392.
- Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30(1960), 279-33.
- Whittaker, R. H. (1967). Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews*, 42, 207–264.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21, 213–251.
- Zar, J. H. (1999). ‘Biostatistical Analysis’. (Prentice-Hall: New Jersey, United States).

TABLES

Table 1. Total abundance of crabs sampled in each season from July 2008 to June 2009 on the coast of Macaé, Brazil.

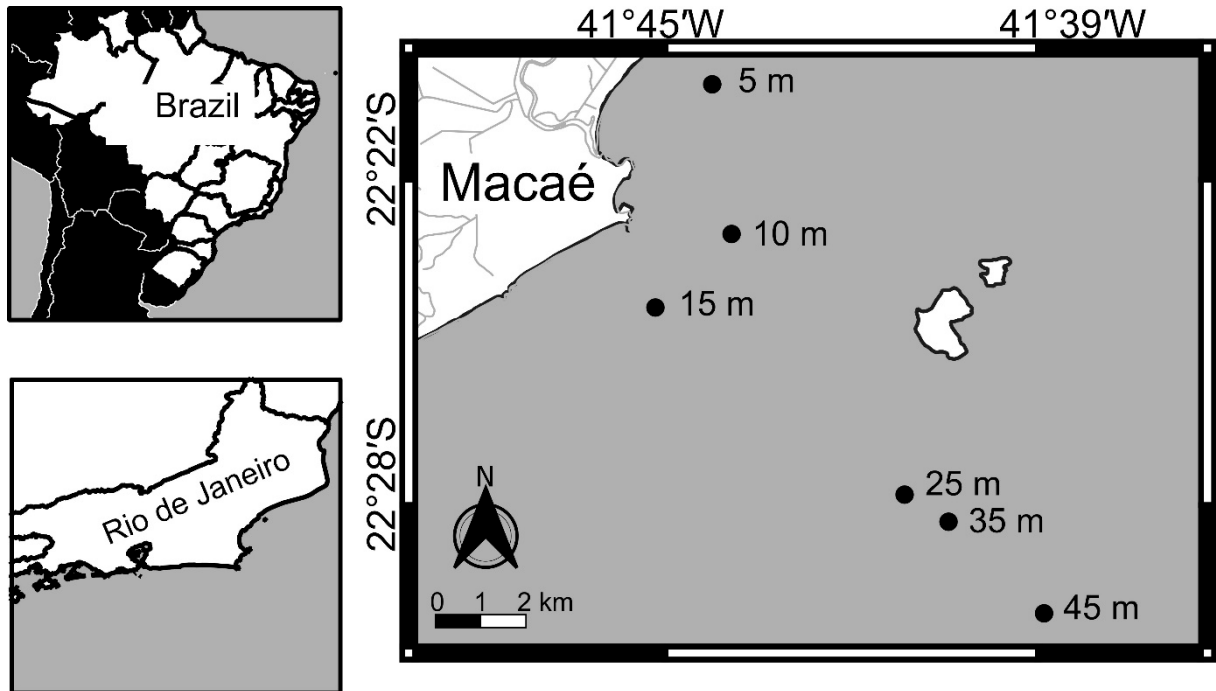
	Winter	Spring	Summer	Autumn	TOTAL
Family Aethridae					
<i>Hepatus pudibundus</i>	186	116	95	168	565
Family Leucosiidae					
<i>Persephona lichtensteinii</i>	0	0	2	0	2
<i>Persephona mediterranea</i>	7	8	8	5	28
Family Epialtidae					
<i>Libinia spinosa</i>	25	7	9	4	45
<i>Leucippa pentagona</i>	0	0	0	1	1
Family Pilumnidae					
<i>Pilumnus reticulatus</i>	0	0	1	0	1
Family Portunidae					
<i>Achelous spinicarpus</i>	29	8	229	18	284
<i>Achelous spinimanus</i>	3	1	2	10	16
<i>Arenaeus cribrarius</i>	13	9	1	18	41
<i>Callinectes danae</i>	1	13	8	9	31
<i>Callinectes ornatus</i>	59	34	13	101	207
TOTAL	323	196	368	334	1221

1 **Table 2.** Total abundance of crabs sampled in different depths from July 2008 to June
2 2009, on the coast of Macaé, Brazil.

	Shallow			Deep			TOTAL
	5 m	10 m	15 m	25 m	35 m	45 m	
Family Aethridae							
<i>Hepatus pudibundus</i>	8	61	11	148	226	111	565
Family Leucosiidae							
<i>Persephona lichtensteinii</i>	0	0	0	1	1	0	2
<i>Persephona mediterranea</i>	2	6	1	4	8	7	28
Family Epialtidae							
<i>Libinia spinosa</i>	1	2	1	3	19	19	45
<i>Leucippa pentagona</i>	0	0	1	0	0	0	1
Family Pilumnidae							
<i>Pilumnus reticulatus</i>	0	0	1	0	0	0	1
Family Portunidae							
<i>Achelous spinicarpus</i>	14	0	2	8	11	249	284
<i>Achelous spinimanus</i>	0	5	2	1	2	6	16
<i>Arenaeus cribrarius</i>	21	13	7	0	0	0	41
<i>Callinectes danae</i>	27	3	1	0	0	0	31
<i>Callinectes ornatus</i>	72	47	66	9	10	3	207
TOTAL	145	137	93	174	277	395	1221

1 **FIGURES**

2



3

4 **Figure 1.** Map of the coast of Macaé (State of Rio de Janeiro, Brazil) highlighting the
5 shallow-area (5, 10, and 15 m) and the deep-area (25, 35, and 45 m) sampling stations.

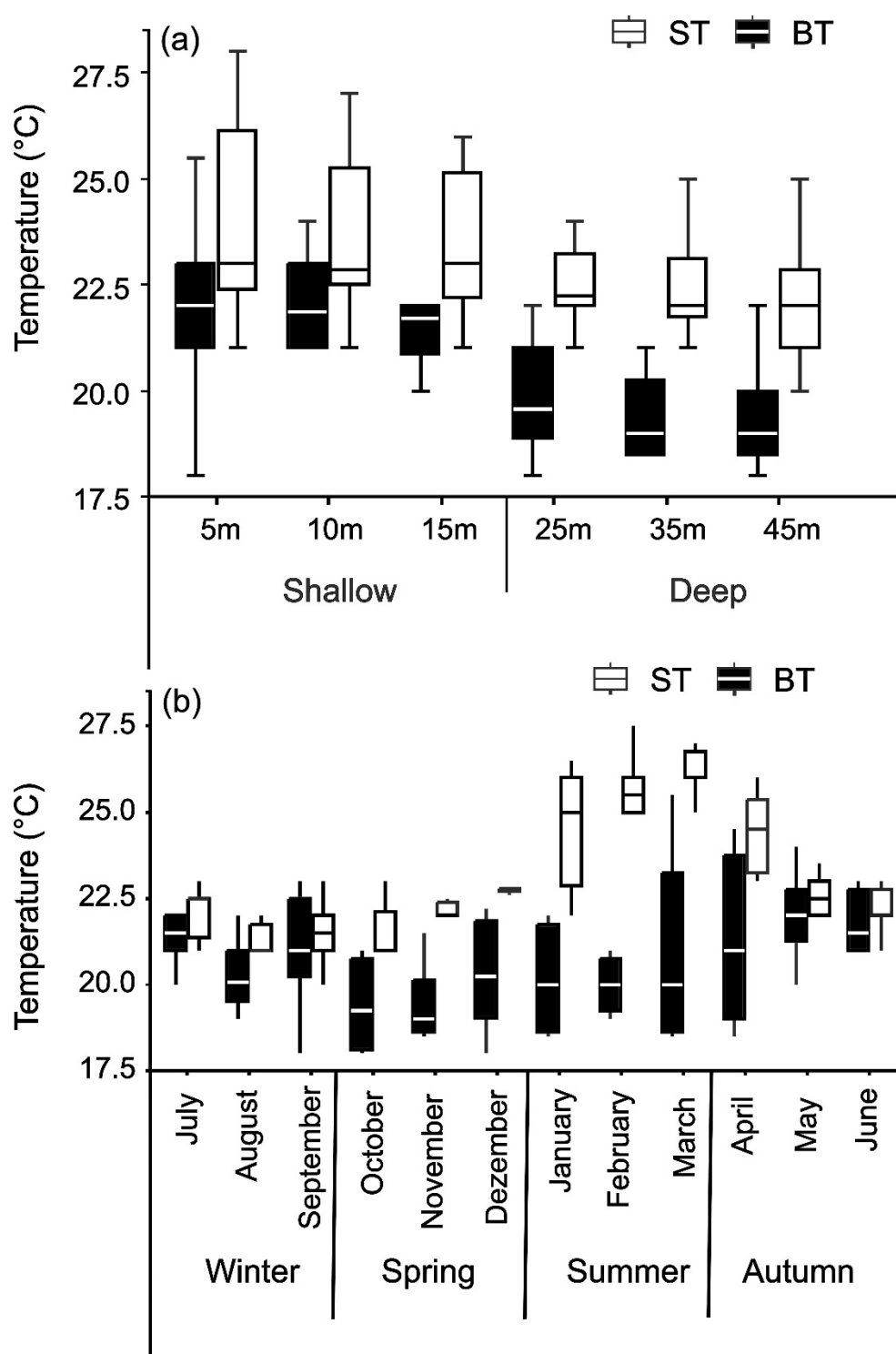


Figure 2. Spatial (a) and temporal (b) variation of median values, standard error, minimum and maximum values for temperature (°C) of surface (ST) and bottom (BT) water sampled monthly from July 2008 to June 2009 in the coastal marine area of the Macaé region, Rio de Janeiro state, Brazil.

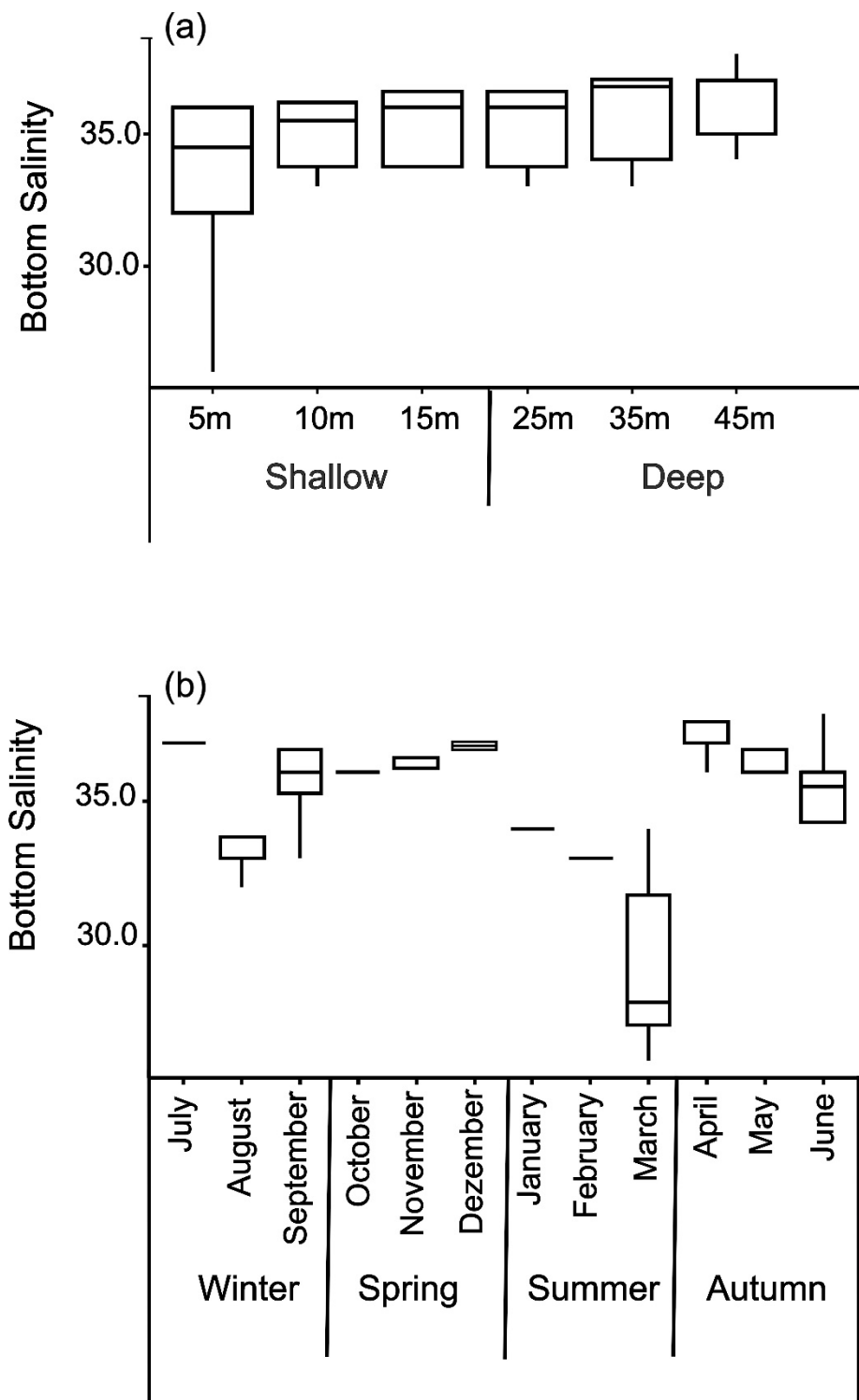


Figure 3. Spatial (a) and temporal (b) variation of median values, standard error, minimum and maximum values for salinity (‰) of bottom water, sampled monthly from July 2008 to June 2009 in the coastal marine area of the Macaé region, Rio de Janeiro state, Brazil.

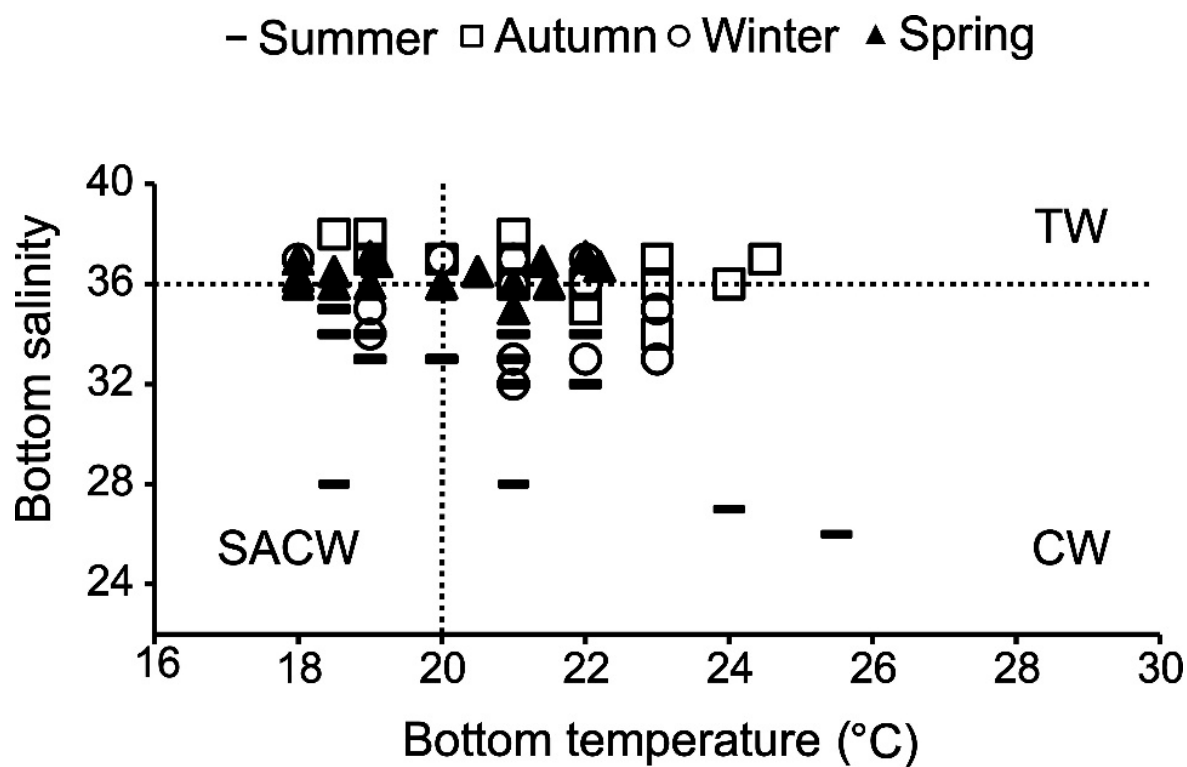
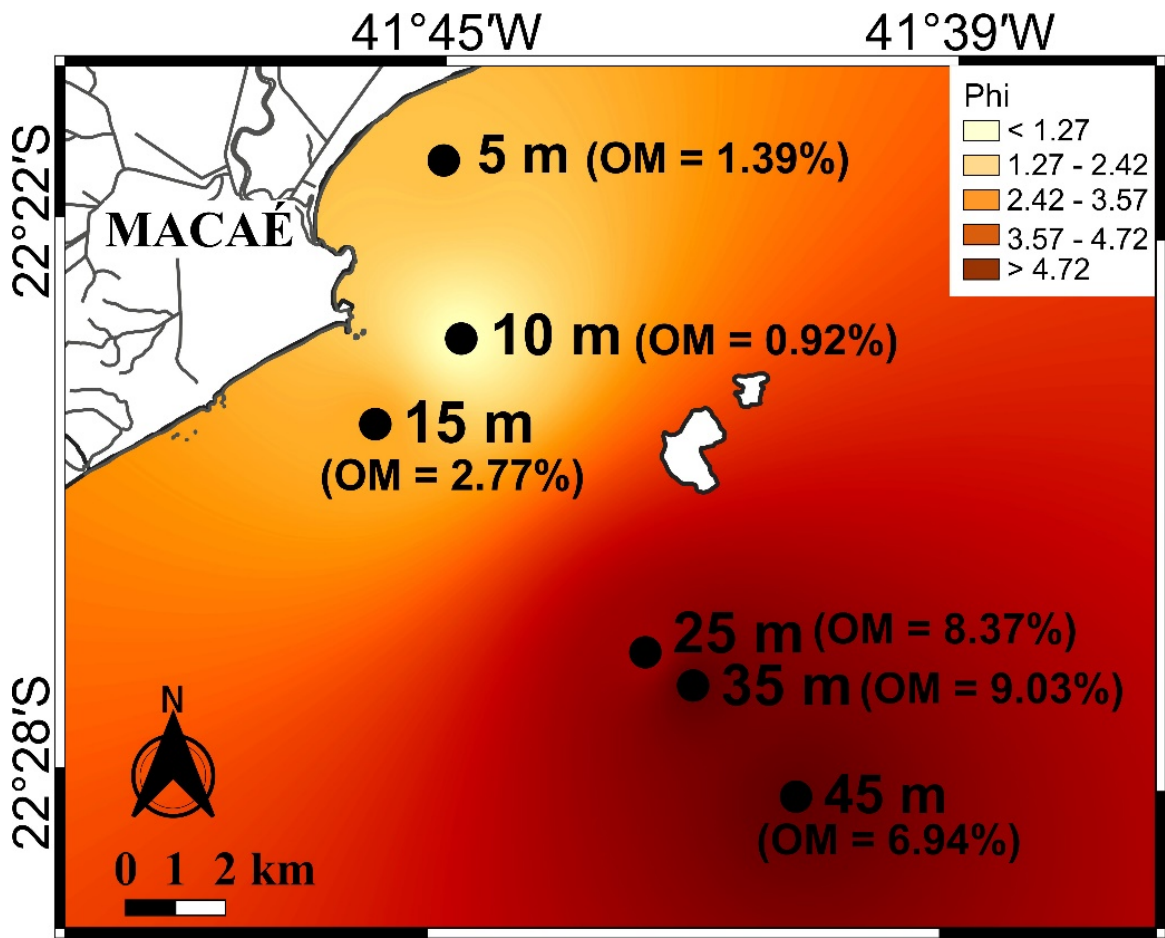


Figure 4. T-S diagrams of the seasonal variation (July 2008–June 2009) in bottom water temperature and salinity on the coast of Macaé, State of Rio de Janeiro, Brazil. CW, Coastal Water; TW, Tropical Water; SACW, South Atlantic Central Water.

1



2

3 **Figure 5.** Mean phi and organic matter content of the sediment (OM) for each depth
 4 sampled from July 2008 to June 2009 in the coastal marine area of the Macaé region, Rio
 5 de Janeiro state, Brazil.

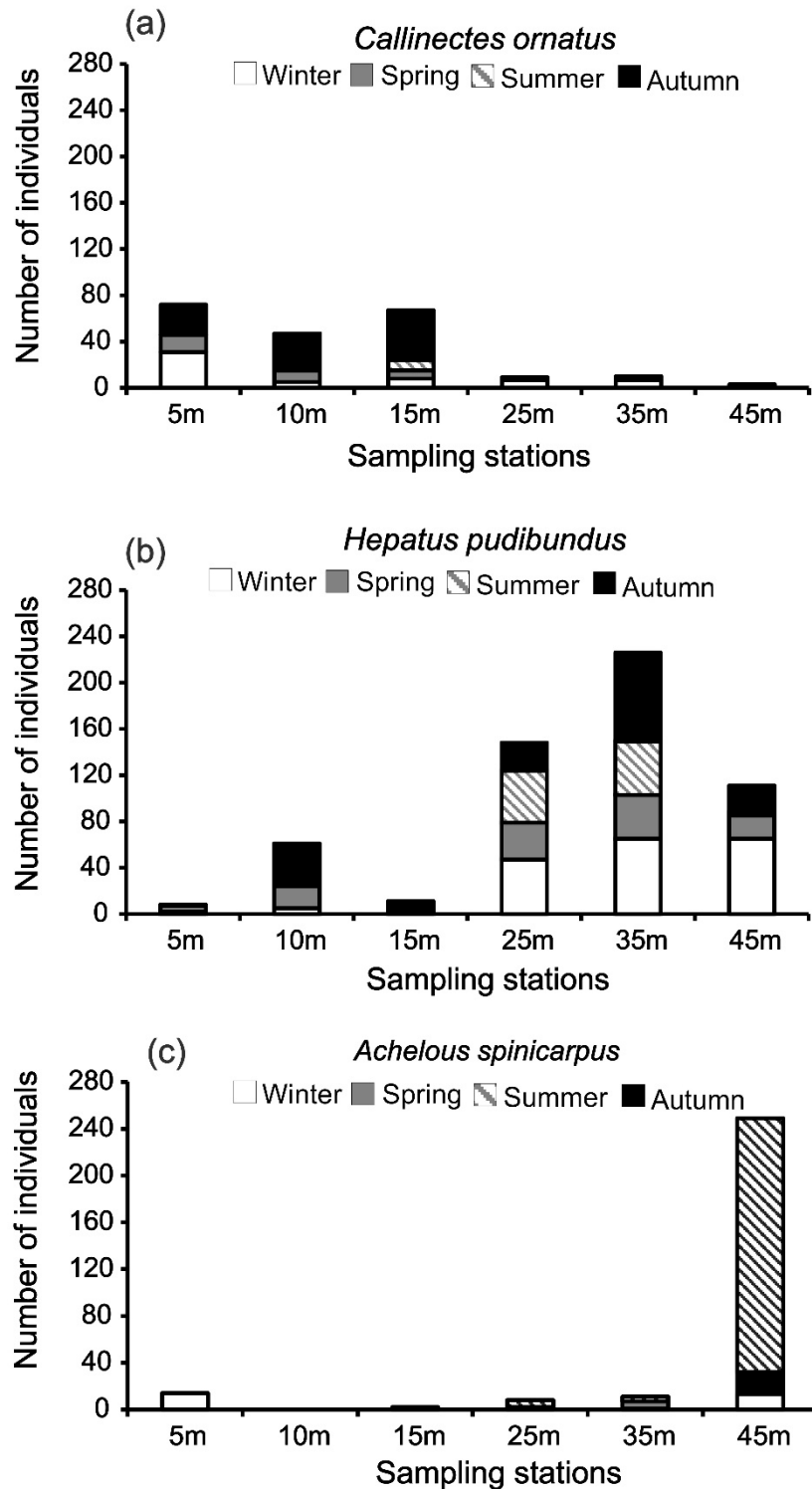


Figure 6. Spatial and temporal abundance of the most abundant species. Number of of *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (a), *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (b) and *Achelous spinicarpus* (Stimpson, 1871) (c) in each season and different depths sampled from July 2008 to June 2009, on the coast of Macaé, Brazil.

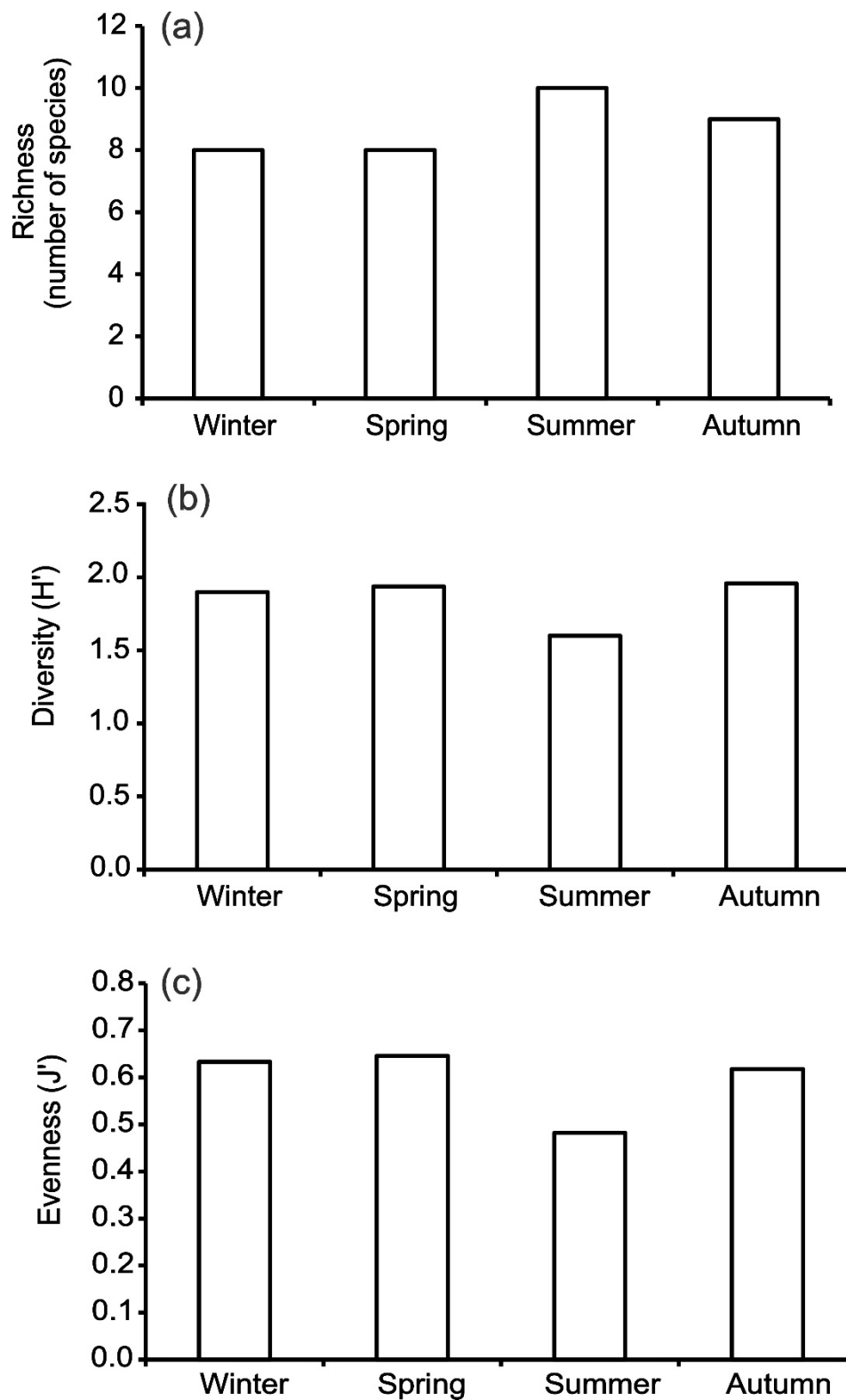


Figure 7. Seasonal (July 2008–June 2009) ecological indexes of Brachyura assemblage. Richness (a), diversity (b) and evenness (c) from July 2008 to June 2009 in the coastal marine area of the Macaé region.

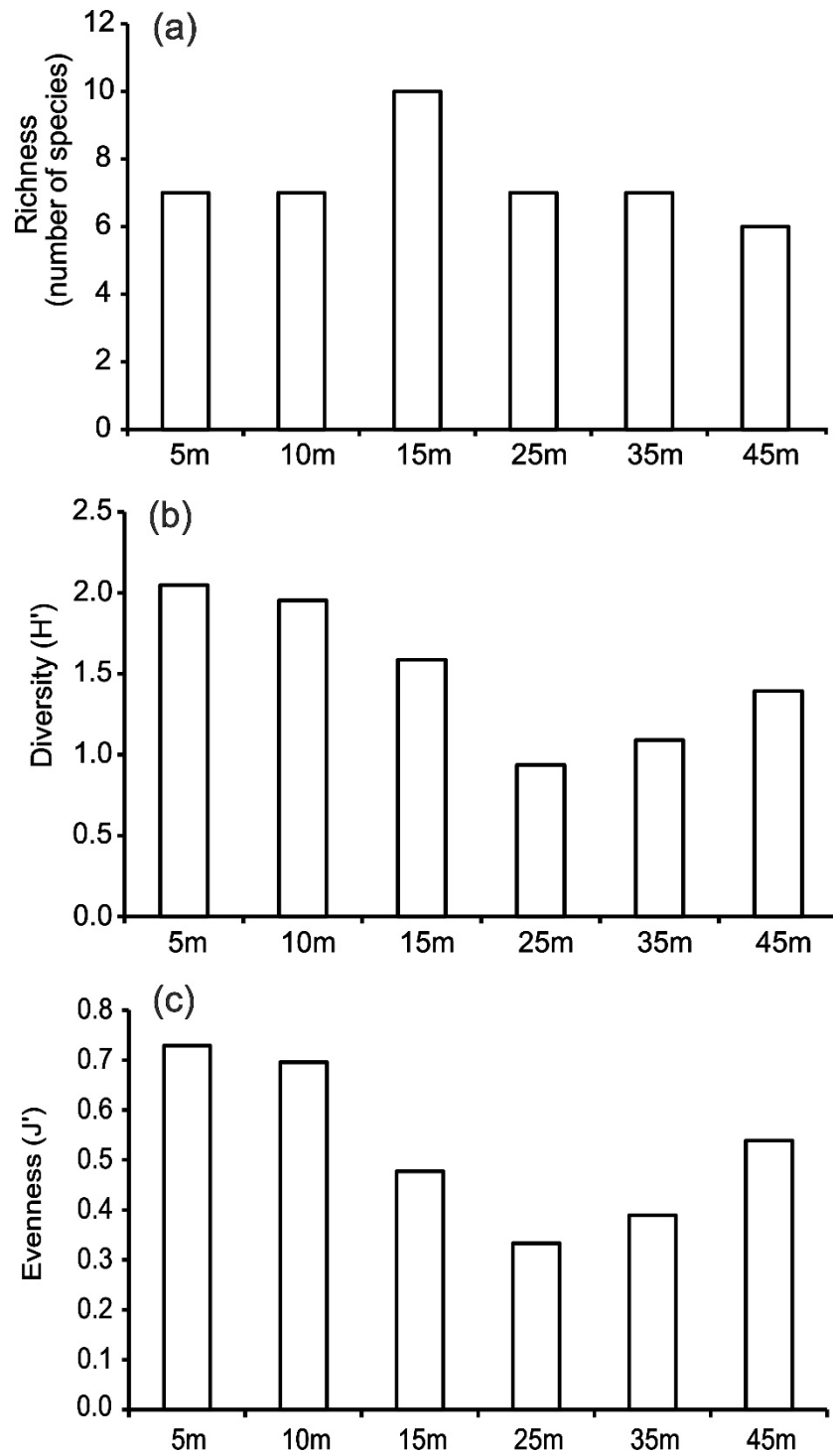
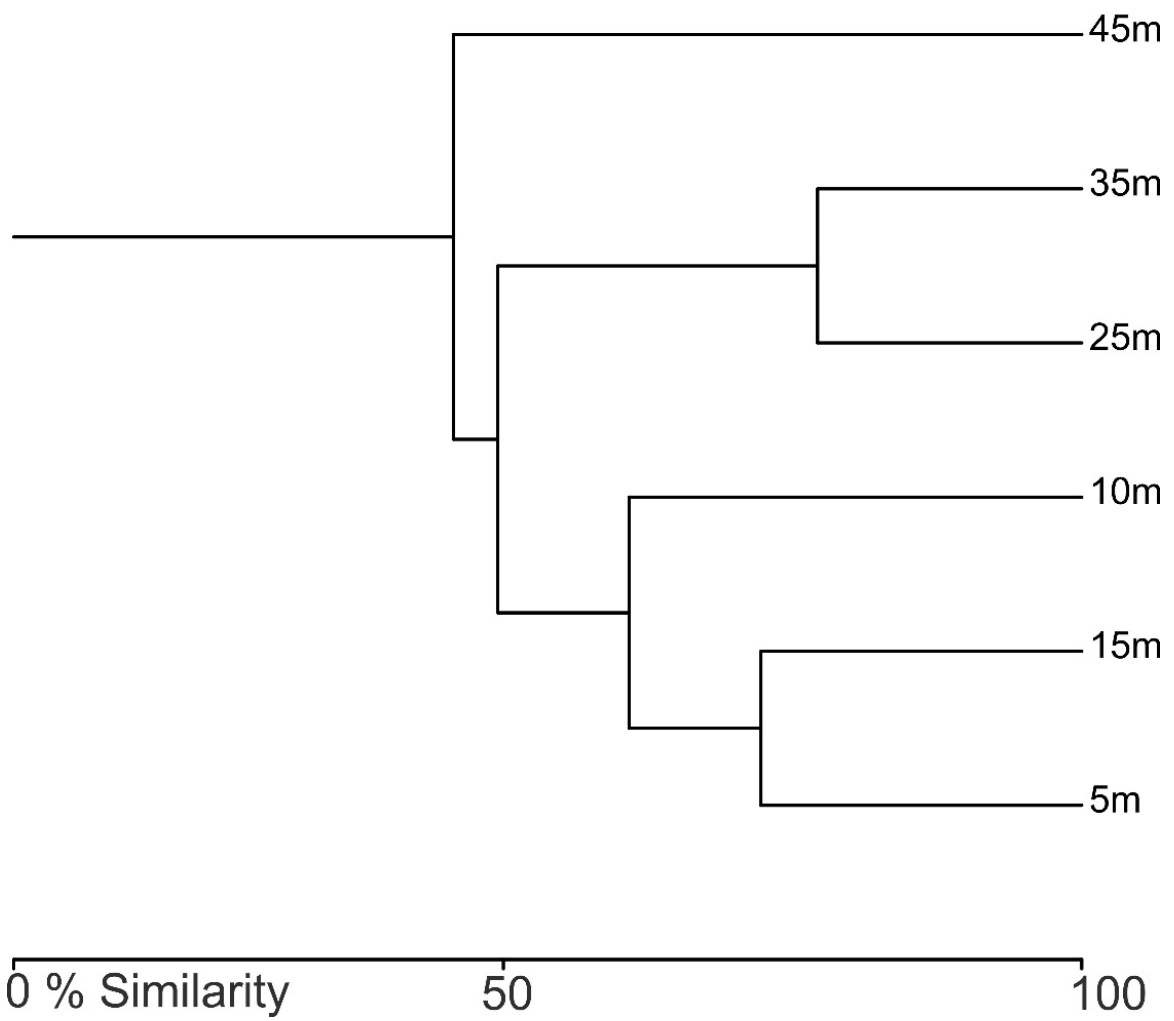


Figure 8. Spatial ecological indexes of Brachyura assemblage. Richness (a), diversity (b) and evenness (c) at different depths on the coast of Macaé, State of Rio de Janeiro, Brazil.

Bray-curtis cluster analysis



- 1
- 2 **Figure 9.** Cluster analysis dendrogram highlighting species at different depths in Macaé,
- 3 State of Rio de Janeiro, Brazil, throughout the study.

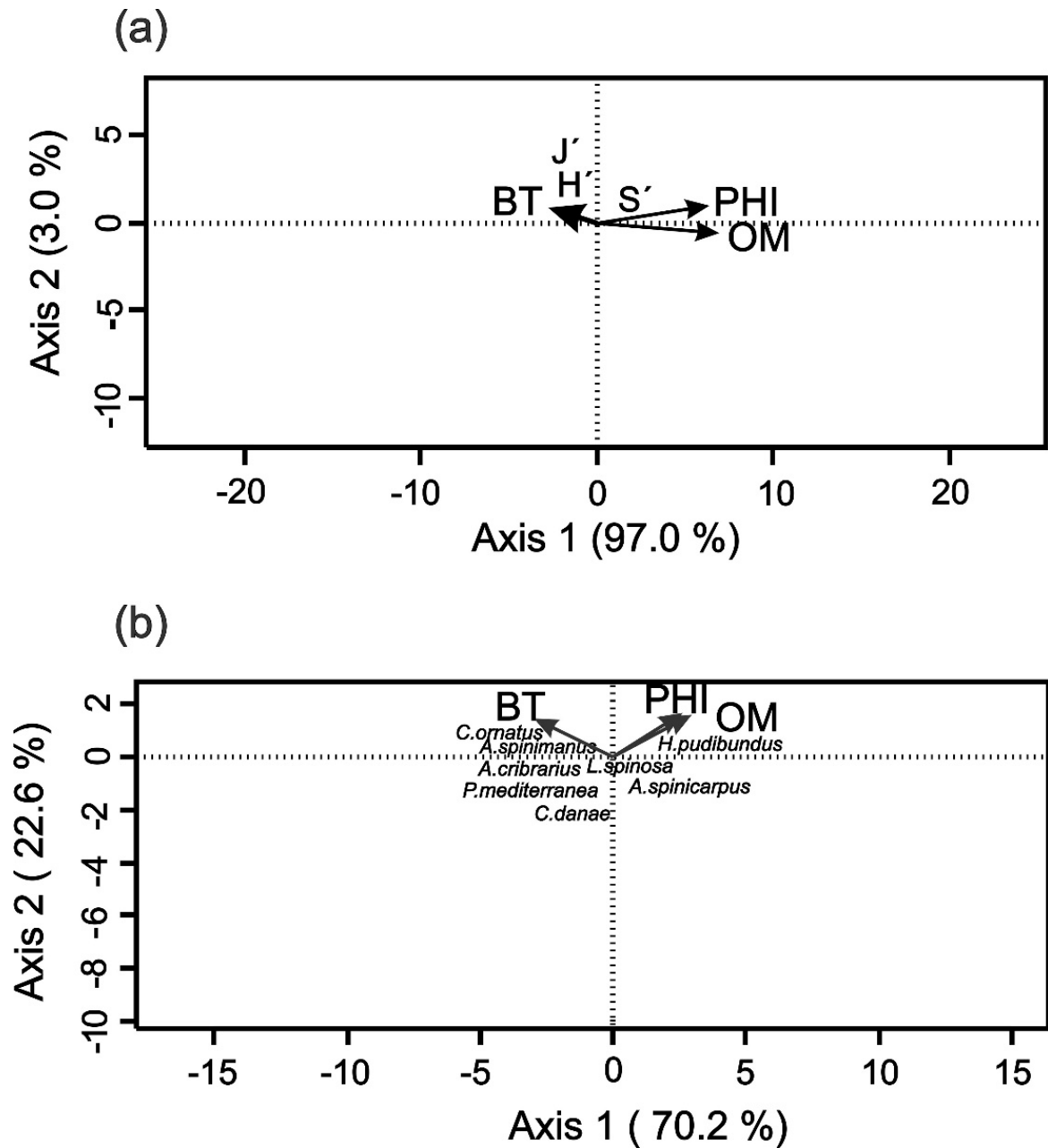


Figure 10. Results from the Canonical Correspondence Analysis (CCA). Ordination of the first two canonical axes, with environmental variable data and ecological indexes (a) and the abundance of species and the environmental variables (b). Coefficients greater than or equal to +0.4, or lower than or equal to -0.4 were considered ecologically relevant (Rakocinski, Lyczkowski-Shultz, & Richardson, 1996) and are presented in the plot. BT, bottom temperature; OM, organic matter percentage; H', diversity; J', evenness; S', richness.

CAPÍTULO II

CADA UM NO SEU QUADRADO:
DESVENDANDO A DINÂMICA
POPULACIONAL DE TRÊS ESPÉCIES DE
BRACHYURA EM UMA ÁREA DE
RESSURGÊNCIA

Cada um no seu quadrado: desvendando a dinâmica populacional de três espécies de Brachyura em uma área de ressurgência

RESUMO

Áreas de ressurgência estão entre os ecossistemas com maior taxa de produtividade, influenciando diretamente a biologia dos organismos marinhos, cenário do presente estudo em Macaé (22°S, Brasil). Nesse sentido, investigamos os aspectos populacionais dos três caranguejos mais abundantes, *Callinectes ornatus*, *Hepatus pudibundus* e *Achelous spinicarpus*, com ênfase na estrutura, proporção sexual e distribuição ecológica dos grupos demográficos sob influência da ressurgência de Cabo Frio. As coletas ocorreram mensalmente em julho de 2008 a junho de 2009, período ao qual foram coletados 1055 espécimes, sendo 565 de *H. pudibundus*, 283 e 207 siris de *A. spinicarpus* e *C. ornatus*, respectivamente. As espécies apresentaram uma ocupação diferencial, similar a um mosaico, cuja população de *C. ornatus* permaneceu concentrada nas áreas mais rasa (5, 10 e 15m), enquanto *H. pudibundus* esteve associado aos 25 e 35m e *A. spinicarpus* a estação amostral de maior profundidade (45m). Destacamos que a distribuição da maior parte dos grupos demográficos de *C. ornatus*, *H. pudibundus* e *A. spinicarpus* não se sobrepõem no espaço e no tempo e, que este resultado, possivelmente, está associado as diferentes respostas dessas espécies aos efeitos da ressurgência e da textura do sedimento. Além disso, essas características ambientais da região modularam os aspectos populacionais das espécies estudadas, principalmente, a proporção sexual.

Palavras chave: grupos demográficos, clorofila-a, classes de tamanho, siri azul, caranguejo baú, frente marítima, Rio de Janeiro.

1 INTRODUÇÃO

2 Ressurgência costeira é a ascensão de águas frias e ricas em nutrientes da camada
3 subsuperficial até a superfície. Este fenômeno favorece a produção primária na zona
4 eufótica, onde a massa e a energia são transferidas por meio das teias alimentares (Merino
5 & Monreal-Gómez, 2009). Na costa brasileira este evento afeta, principalmente, a região
6 de Cabo Frio - Rio de Janeiro (22°S), sendo mais intenso durante a primavera e o verão
7 (Calado *et al.*, 2008; Sancinetti *et al.*, 2014). A ressurgência em conjunto com a intrusão
8 da massa de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) torna a região de Cabo Frio e áreas
9 adjacentes altamente produtivas (De Léo & Pires-Vanin, 2006).

10 Essa grande disponibilidade de alimentos facilita o estabelecimento, a reprodução
11 e o desenvolvimento de diversos decápodes que ali vivem (Silva *et al.*, 2014; Pantaleão
12 *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2017; Sancinetti *et al.*, 2019),
13 consequentemente, a região se tornou alvo da pesca comercial (Costa *et al.*, 2016). Nesse
14 contexto, o estado do Rio de Janeiro é responsável pela maior produção de pescados na
15 região sudeste do Brasil (Di Benedetto, 2001; MPA, 2013). Entre os recursos pesqueiros
16 explorados estão os camarões *Artemesia longinaris* Spence Bate, 1888, *Pleoticus muelleri*
17 (Spence Bate, 1888), *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862), *Farfantepenaeus paulensis*
18 (Pérez-Farfante, 1967), *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) e *Litopenaeus*
19 *schmitti* (Burkenroad, 1936) (Silva *et al.*, 2014, 2016; Sancinetti *et al.*, 2014, 2019;
20 Pantaleão *et al.*, 2016; Davanso *et al.*, 2017; Carvalho-Baptista *et al.*, 2019).

21 Embora a pesca seja direcionada a esses camarões comerciais, várias espécies de
22 invertebrados e peixes demersais são capturadas acidentalmente, esses são classificados
23 como fauna acompanhante ou *by-catch* (Clucas, 1997; Sedrez *et al.*, 2013; Fransozo *et al.*,
24 2016; Costa *et al.*, 2016). A participação dos crustáceos decápodes na composição do
25 *by-catch* é elevada, superando a biomassa de camarões comerciais (Conolly, 1986; Graça-
26 Lopes *et al.*, 2002; Eayrs, 2007). O descarte excessivo dessa fauna contribui para a perda
27 da biodiversidade e reduz a biomassa, comprometendo a produtividade dos estoques
28 pesqueiros e alterando as comunidades bentônicas (Graça-Lopes *et al.*, 2002).

29 A indústria petrolífera também pode afetar negativamente os organismos, por
30 exemplo, ocorreu a mortalidade em massa das larvas dos camarões *Pandalus borealis*
31 Krøyer, 1838, *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939) e *Penaeus monodon*
32 Fabricius, 1798 após a exposição destas a altas concentrações de hidrocarbonetos de
33 petróleo (Bechmann *et al.*, 2010; Laramore *et al.*, 2016; Vrida *et al.*, 2019). Tal fato é
34 preocupante, pois a maior parte das reservas de petróleo marinho do Brasil estão

1 localizadas na Bacia de Campos, totalizando 95% da produção marinha (Gomes *et al.*,
2 2001; Silva *et al.*, 2015). Com pouco mais de 30 anos Macaé tornou-se a base de operação
3 da exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos, consolidando sua posição como
4 centro de atuação líder do setor no Brasil (Silva *et al.*, 2015). Assim, torna-se necessário
5 conhecer a dinâmica populacional de espécimes com e sem interesse comercial que estão
6 estabelecidos na região e que podem estar sujeitos a possíveis impactos derivados da
7 atividade petrolífera.

8 No litoral norte fluminense o siri azul, *Callinectes ornatus* (Ordway, 1863), o
9 caranguejo baú, *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) e, o siri *Achelous spinicarpus*
10 Stimpson, 1871 são os mais abundantes e constituem um dos maiores valores em riqueza
11 de espécies, quando comparado aos demais braquiúros (Di Benedetto, 2001; Costa *et al.*,
12 2016; Sousa *et al.*, 2021a). Essas espécies possuem amplas distribuições no Atlântico
13 Ocidental (Melo, 1996) e são amostrados em toda costa brasileira. O siri *C. ornatus* é
14 encontrado em ambiente estuarino, na foz de rios e baías, até profundidades de 75 m
15 (Melo, 1996; Carvalho & Couto, 2011), enquanto *H. pudibundus* e *A. spinicarpus* estão
16 distribuídos até os 160 e 550 m de profundidade, respectivamente (Melo, 1996). O fato
17 desses caranguejos apresentarem distribuições distintas e as variações na abundância dos
18 indivíduos estarem associadas as características ambientais, fez com que nós testássemos
19 a hipótese de que as características físicas e químicas presentes na ressurgência, em
20 conjunto com outros fatores ambientais, como textura do sedimento e porcentagem de
21 matéria orgânica, possam gerar uma ocupação diferencial das populações de *C. ornatus*,
22 *H. pudibundus* e *A. spinicarpus*, assim como modular a estrutura populacional dessas
23 espécies.

24 Há inúmeros estudos que já caracterizaram as populações dessas espécies em
25 diversos locais do Brasil, como: Sergipe e Alagoas (Santos *et al.*, 2016; Reis-Júnior *et al.*,
26 2020), Espírito Santo (Fernandes *et al.*, 2006; Eutrópio *et al.*, 2019), Rio de Janeiro
27 (Keunecke *et al.*, 2007, 2008; Klôh & Di Benitto, 2010), São Paulo (Mantelatto *et al.*,
28 1995a,b; Mantelatto & Fransozo, 1999; Silva *et al.*, 2017ab; Teles *et al.*, 2020a,b), Paraná
29 (Branco & Lunardon- Branco, 1993) e em Santa Catarina (Branco *et al.*, 1990; Ogawa &
30 D’Incao 2010; Sardá *et al.*, 2013). No entanto, nenhum destes evidenciou os efeitos da
31 ressurgência nessas espécies. Sendo assim, os aspectos populacionais de *C. ornatus*, *H.*
32 *pudibundus* e *A. spinicarpus* em um local influenciado pela ressurgência de Cabo Frio
33 foram investigados. Essa caracterização populacional foi enfatizada na distribuição de
34 frequência de indivíduos em classes de tamanho, proporção sexual e a ação das variáveis

ambientais (temperatura, salinidade, concentração de clorofila-a, textura e teor de matéria orgânica no sedimento) na distribuição espacial e temporal dos grupos demográficos dessas espécies.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem dos indivíduos e dos fatores abióticos

A coleta foi realizada, mensalmente, no município de Macaé, localizado no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro (22° 22'S e 41° 46'W), de julho de 2008 a junho de 2009, em seis estações amostrais paralelas ao litoral (ver em Sousa *et al.*, 2021a). As estações mais rasas (5, 10 e 15 m de profundidade) foram classificadas neste estudo como a *shallow area*, enquanto as mais profundas (25, 35 e 45 m de profundidade) foram classificadas como *deep area*. Essas terminologias foram utilizadas apenas para caracterizar estações mais próximas da costa (rasa) e aquelas distantes (profundas).

A coleta foi efetuada com uma embarcação camaroeira de pesca, equipada com uma rede de arrasto de fundo do tipo *otter-trawl*, com abertura de 4,5 m, 20 mm entre-nós na panagem e 15 mm no ensacador. Os arrastos foram realizados por um período de 15 min/estação amostral em velocidade constante de 2,1 milhas/náuticas por cerca de 1 km de extensão. Em cada estação amostral foram obtidas medidas de temperatura da água (fundo e superfície), salinidade da água (fundo), profundidade, teor de matéria orgânica no sedimento e textura do sedimento. As amostras de água foram coletadas com uma garrafa de Van Dorn e os valores de salinidade (‰) e temperatura (°C) foram obtidos com um refratômetro óptico e um termômetro de mercúrio, respectivamente. A profundidade foi mensurada por meio do ecobatímetro acoplado a um GPS.

A concentração de clorofila-a foi obtida mensalmente a partir do banco de dados (MODISA_L3m_CHL v2018). Os dados foram obtidos por meio de séries temporais de valores médios da área, com resoluções espaciais de 4 km que foram obtidas a partir da Giovanni NASA – *The Bridge Between Data and Science*, versão 4.19 (NASA – Giovanni; acessada em maio de 2020).

As amostras de sedimento foram coletadas com um pegador de Van Veen (0.06 m²). O sedimento foi analisado com o objetivo de determinar a calcular composição granulométrica e calcular a porcentagem de matéria orgânica. Cada amostra foi colocada em um saco de plástico etiquetado e, a seguir, congelada para minimizar a decomposição da matéria orgânica, até o momento da análise, em laboratório.

Os procedimentos para análise do sedimento seguiram Hakanson & Jansson (1983) e Tucker (1988). Foram separadas duas amostras de 50g cada, em seguida, 250 ml de uma solução de NaOH (0,2 N) foi adicionado para suspender o silte + argila. Logo após as subamostras foram lavadas usando uma peneira (tamanho da malha = 0,063 mm) a fim de reter somente a fração silte + argila. O sedimento restante foi seco e submetido a um peneiramento diferencial, conforme a escala de Wentworth (1922).

Essa escala leva em consideração o diâmetro dos grãos, sendo dividida em sete frações: cascalho (C, > 2,0 mm), areia muito grossa (AMG, 2,0 – 1,0 mm), areia grossa (AG, 1,0 – 0,5 mm), areia média (AM, 0,5 – 0,25 mm), areia fina (AF, 0,25 – 0,125 mm), areia muito fina (AMF, 0,125 – 0,062 mm) e silte + argila (S + A, < 0,062 mm). Desse modo, obteve-se a separação das partículas de diferentes tamanhos do sedimento através do peneiramento, cujos conteúdo de cada peneira foram novamente pesados, estimando-se, assim, a porcentagem média retirada de cada uma. Três classes granulométricas principais foram definidas segundo Magliocca & Kutner (1965): classe A = AM + AG + AMG + C, classe B = AF + AMF, e classe C = S + A.

Os valores de phi (ϕ) foram calculados a partir da fórmula: $\phi = -\log_2 d$, onde d = diâmetro do grão (mm), obtendo, desse modo, as seguintes classes: -2|—-1 (cascalho), -1|—0 (areia muito grossa), 0|—1 (areia grossa), 1|—2 (areia média), 2|—3 (areia fina), 3|—4 (areia muito fina) e > 4 (silte + argila). A partir dos valores obtidos, as medidas de tendência central foram calculadas, as quais determinaram as frações granulométricas mais frequentes no sedimento. Esses valores foram calculados com base em dados extraídos graficamente de curvas acumulativas, de distribuição de frequência das amostras do sedimento. Finalmente, os valores correspondentes aos 16°, 50° e 84° percentis foram utilizados para determinar o diâmetro médio (DM), mediante a fórmula $DM = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})$ (Suguio, 1973).

Para determinar o teor de matéria orgânica do sedimento, 3 subamostras de 10g foram acondicionadas em cadinhos de porcelana, e incineradas em uma mufla a 500 °C durante 3 horas. A porcentagem do teor de matéria orgânica do sedimento foi obtida pelo peso livre das cinzas.

Os exemplares dos caranguejos foram identificados segundo Melo (1996) e mensurados com paquímetro graduado (0,1 mm), utilizando-se como medida padrão a largura da carapaça (LC), excluindo o espinho lateral no caso de *C. ornatus* e *A. spinicarpus*. O estágio de maturação morfológica externa foi analisado de acordo com Haefner (1990) e Reigada & Negreiros-Fransozo (2000), sendo a fase de maturação

morfológica dos jovens e adultos, diferenciada pelo formato e a aderência do abdome ao esternito torácico, considerando juvenis àqueles indivíduos que possuíam o abdome selado. Em seguida, os indivíduos foram separados em quatro grupos demográficos: machos e fêmeas juvenis (J), machos adultos (MA), fêmeas adultas não ovígeras (FA) e fêmeas ovígeras (FO).

Análises dos dados

Previamente às análises, os dados bióticos foram transformados em raiz quadrada de (n), e os abióticos em $\log(x + 1)$. Em seguida, estes dados foram testados quanto a normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e a homocedasticidade (teste de Levene) (Zar, 1999). A análise de variância (ANOVA), seguida do teste a posteriori de Tukey ($p < 0.05$), foi utilizada para comparar os valores de temperatura de superfície e de fundo (TS e TF, respectivamente), salinidade de fundo (SF), concentração de clorofila-a, porcentagem de matéria orgânica no sedimento (MO) e phi entre as estações amostrais e estações do ano (sendo considerado inverno, de julho a setembro; primavera, de outubro a dezembro; verão, de janeiro a março e outono, de abril a junho). Cada fator ambiental também foi comparado entre a *shallow* e *deep area* por meio do Teste *T-student* ($p < 0.05$).

A *classification tree* (pacote *party* do R) foi utilizada para estimar as variáveis abióticas mais significativas entre as estações amostrais e as estações do ano. Os mapas de interpolação dos valores médios de phi, por estação amostral, foram criados com Qgis 3.12.2 (Quantum GIS Development Team, 2020) para proporcionar uma melhor visualização da distribuição dos tipos de sedimentos na região de Macaé.

A LC de fêmeas e machos adultos foi comparada utilizando o Teste *T-student* ($p < 0,05$) e a proporção sexual foi comparada pelo teste binomial (Wilson & Hardy, 2002), a fim de verificar se houve o desvio da razão 1♂:1♀.

Uma Análise de Componentes Principais (APC) foi usada para identificar a associação entre os grupos demográficos com as áreas amostrais e com as estações do ano. Esta técnica de ordenação usa dados linearmente transformados para mostrar os componentes significativos nas primeiras dimensões, em eixos "principais", com o propósito básico de analisar e reduzir dados, eliminando sobreposições e selecionando os dados mais significativos do linear (McCune & Grace 2002)

A relação entre a abundância de grupos demográficos das espécies e os parâmetros ambientais (TF, SF, Clorofila-a, MO e phi) foi avaliada por meio de uma Análise de

Redundância (ADR). A ADR é um teste estatístico multivariado que mede o quão forte é a associação entre grupos de variáveis. Os parâmetros ambientais foram incluídos no primeiro grupo, e a abundância de J, MA, FA e FO, no segundo grupo. A ADR gera escores finais de coordenação indicando a relação linear entre variáveis explicativas e de resposta. A ADR produz escores finais de coordenação que resumem a relação linear entre as variáveis explicativa e de resposta. Apenas variáveis ambientais com escores superiores a 0,4 e - 0,4 foram consideradas biologicamente significativas (Rakocinski *et al.*, 1996). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (Development Core Team, 2013).

RESULTADOS

Fatores ambientais

Durante o período de amostragem, os valores de TS e TF variaram de 20,0 a 28,0°C e 18,5 a 25,5 °C, respectivamente. Na *deep area* ocorreram as menores médias de TS ($T = -2,42$; $p = 0,02$) e TF ($T = -7,07$; $p < 0,01$), principalmente nos 35 e 45m ($F = 31,08$; $p < 0,01$; Figura 1A). Houve variações nos valores de temperatura entre as estações do ano, principalmente, de TF ($F = 4,61$; $p < 0,01$). No outono houve as maiores médias de TF, enquanto na primavera registraram-se os menores valores. Além disso, especialmente, durante o verão e a primavera observamos uma maior amplitude de diferença entre os valores de TS e TF (Figura 1B).

Apesar de não haver grandes variações nos valores de SF entre as estações amostrais, razão de não ocorrer diferença estatística ($F = 1,57$; $p = 0,18$; Figura 2A), os maiores valores médios ocorreram na *deep area* ($T = 2,21$; $p = 0,03$). Entre as estações do ano houve variações ($F = 22,04$; $p < 0,01$), sendo registrado durante o verão os menores valores de SF, principalmente, em março (Figura 2B).

Na região de estudo, verificou-se a presença das três massas de água típicas. Sendo a Água Costeira (AC: $T \geq 20$ °C; $S \leq 36$) predominante durante todas as estações do anos; enquanto a ACAS ($T \leq 20$ °C; $S \leq 36$) teve maior prevalência no verão e na primavera, e a Água Tropical (AT: $T \geq 20$ °C; $S \geq 36$) no outono (Figura 3).

Houve grandes variações espaciais na concentração de clorofila-a e os maiores valores foram registrados na *shallow area* ($T = -5,69$; $p < 0,01$; figura 4A). Temporalmente, também ocorreu diferença nos valores de clorofila-a ($F = 3,53$; $p < 0,01$), sendo o inverno e o verão as estações com maiores concentrações (Figura 4B).

Em relação às características do sedimento (textura e porcentagem de matéria orgânica), notou-se que há uma diferença nos valores de phi entre as áreas *shallow* e *deep* ($T = 10,85$; $p < 0,01$; Figura 5). As estações amostrais pertencentes a *shallow area* apresentaram os menores valores de phi, com a predominância da Classe A e B. Nesta área obteve-se também o menor percentual de MO ($T = 12,96$; $p < 0,01$), principalmente nos 10 m (Figura 5). Na *deep area* foram amostrados os maiores valores de phi, sendo composta, principalmente, por silte + argila e altas porcentagens de MO (Figura 5).

De acordo com a *classification tree*, o phi e a MO são as únicas variáveis ambientais que podem ser utilizadas para distinguir uma estação amostral da outra na região de Macaé. Os valores de $\phi > 5,98$ caracterizam as estações amostrais pertencentes a *deep area*, enquanto as porcentagens de $MO \leq 2,51(\%)$ representam a *shallow area* (Figura 6). Temporalmente, os valores de $SF \leq 34$ correspondem, principalmente, ao outono. Enquanto $SF > 34$ e valores de concentração de clorofila-a $\leq 3,59$ (mg/m³) caracterizam a primavera (Figura 7).

Distribuição espaço-temporal

Entre os braquiúros estudados, coletou-se 565 indivíduos de *H. pudibundus*, 283 de *A. spinicarpus* e 207 de *C. ornatus*. Ao longo do período de estudo, registrou-se que espacialmente ocorreu uma ocupação diferencial entre as três espécies (Figura 8a), enquanto temporalmente apenas a distribuição de *C. ornatus* e *H. pudibundus* ficou sobreposta (Figura 8b). A população de *C. ornatus* foi a mais abundante na *shallow area* (5, 10 e 15m), cujos J e os MA do siri azul representaram cerca de 90% dessa população e estiveram associados aos 5m (Figura 9a), enquanto as FO além de ocorrerem em áreas mais rasas também foram amostradas, ocasionalmente, nos 45m (Figura 9b).

A maior abundância do caranguejo baú foi associada, principalmente, aos 25 e 35m. No entanto, os J e as FO dessa espécie também tiveram grande representatividade nos 10 e 45m, respectivamente (Figura 9c e 9d). Houve uma grande abundância de J e FO de *C. ornatus* e *H. pudibundus* durante o inverno e o outono (Figura 9a,9b,9c e 9d).

Todos os grupos demográficos do siri *A. spinicarpus* foram correlacionados com a estação amostral de 45m, sendo que a maioria dos indivíduos foram amostrados durante o verão, com alguns espécimes de J coletados durante o outono (Figura 9e e 9f).

Exceto SF, as variáveis ambientais mensuradas (TF, MO, phi e Clorofila-a) modularam significativamente os grupos demográficos de *C. ornatus* e *A. spinicarpus* (Figura 11), enquanto a distribuição de *H. pudibundus* não apresentou uma associação

significativa com os fatores mensurados. A população de *C. ornatus* foi diretamente proporcional aos valores de TF e clorofila-a, dessa forma a abundância deste siri é maior em maiores temperaturas e em altas concentrações de clorofila-a. Os grupos demográficos do siri azul também apresentaram uma relação inversamente proporcional aos valores de MO e phi. O siri *A. spinicarpus* apresentou um resultado oposto ao encontrado por *C. ornatus*, ou seja, a abundância dos espécimes foi inversamente proporcional aos valores de TF e clorofila-a e diretamente proporcional a MO e phi.

Biologia populacional

A estrutura populacional de todas as espécies apresentou distribuição polimodal, sendo que *C. ornatus* foi caracterizada por possuir uma grande quantidade de juvenis e machos adultos, enquanto *H. pudibundus* teve uma similaridade na abundância dos grupos demográficos e *A. spinicarpus* teve como principais representantes machos e fêmeas adultas não ovígeras (Figura 11). Quando comparado o tamanho dos indivíduos, em cada espécie, os machos adultos de *H. pudibundus* e *C. ornatus* foram maiores que as fêmeas adultas. Os espécimes de *A. spinicarpus* não apresentaram diferença significativa no tamanho médio de LC ($T = 1.22$; $p = 0.22$). Os valores correspondentes à média, desvio padrão e amplitude da largura da carapaça de cada espécie e seus respectivos grupos demográficos estão representados na tabela I.

A proporção sexual da população total de *C. ornatus* foi de $1\text{♂}:0,6\text{♀}$ ($p < 0,01$) (Tabela II). Nessa espécie, os jovens tiveram uma maior quantidade de fêmeas, enquanto os adultos foram compostos majoritariamente por machos. A proporção sexual em *H. pudibundus* foi de $1\text{♂}:1,79\text{♀}$ ($p < 0,01$), sendo observada uma razão sexual desviada para as fêmeas nas classes de tamanho intermediárias, enquanto as classes de tamanho superiores foram compostas, majoritariamente, por machos (Tabela II). Na população de *A. spinicarpus*, tanto os jovens como os adultos tiveram valores similares de machos e fêmeas na população, sendo que a proporção sexual total foi de $1\text{♂}:0,9\text{♀}$ ($p > 0,01$) (Tabela II).

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo evidenciaram que a distribuição da maior parte dos grupos demográficos de *C. ornatus*, *H. pudibundus* e *A. spinicarpus* não se sobrepõem no espaço e no tempo e, que este resultado, possivelmente, está associado as diferentes respostas dessas espécies aos efeitos da TF, MO, phi e clorofila-a. Além disso, é

1 necessário ressaltar que essas características ambientais modularam os aspectos
2 populacionais das espécies estudadas.

3 A temperatura, salinidade, textura do sedimento, ocorrência de massas de água,
4 disponibilidade de alimentos e até mesmo as necessidades fisiológicas específicas de cada
5 fase do ciclo de vida podem modular a distribuição ontogenética dos Brachyura (Andrade
6 *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2017a; Bernardo *et al.*, 2019). Por exemplo, foram registradas
7 FOs de *H. pudibundus* e *A. spinicarpus* nos 45m, devido, provavelmente, ao
8 comportamento de eclosão larval em locais propícios à deriva larval facilitada pelas
9 correntes oceânicas (Barreto *et al.*, 2006; Andrade *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2018; Sousa
10 *et al.*, 2020), como também, à maior estabilidade das condições ambientais nessas áreas,
11 reduzindo assim o estresse fisiológico nas larvas (Abelló, 1989). Na enseada de
12 Chesapeake (Estados Unidos), em Pernambuco (Brasil) e no Norte do Golfo do México
13 (México), foram descritas associações das fêmeas reprodutivas do gênero *Callinectes*
14 com os maiores valores salinidade amostrados em áreas profundas, explicado pelo fato
15 da flutuação das larvas ser favorecida em locais com essas características (Hsueh *et al.*,
16 1993; Aguilar *et al.*, 2005; Barreto *et al.*, 2006).

17 No entanto, a proximidade com a zona de ressurgência costeira de Cabo Frio faz
18 com que Macaé possua baixos valores TF, principalmente nas estações amostrais de
19 maiores profundidades (Figura 2a). Tal fato, possivelmente, dificulta o estabelecimento
20 de fêmeas adultas de *C. ornatus* nessa região, uma vez que esse siri é uma espécie tropical
21 com maior ocorrência em temperaturas acima de 21°C (Pires, 1992; Pires-Vanin &
22 Matsuura, 1993). Em outras localidades caracterizadas por possuírem águas frias, como
23 em Matinhos (Paraná – Brasil) (Branco & Lunardon-Branco, 1993) e em Armação do
24 Itapocoroy (Santa Catarina – Brasil) (Branco & Fracasso, 2004) também houve uma
25 pequena quantidade de fêmeas adultas do siri azul. Em contrapartida, em Ilhéus (Bahia –
26 Brasil), onde os valores TF são maiores, a população de *C. ornatus* foi composta,
27 predominantemente, por fêmeas reprodutivas, principalmente nas maiores profundidades
28 (Carvalho *et al.*, 2011; Guizardi, 2015). Sendo assim, conjecturamos que a pequena
29 quantidade de FA e FO de *C. ornatus* coletadas em Macaé é, provavelmente, resultado da
30 migração dessas fêmeas para locais com temperaturas que favorecem o estabelecimento
31 destas.

32 O deslocamento diferencial e a redução na abundância de fêmeas reprodutivas de
33 *C. ornatus* devido aos baixos valores de TF também foram evidenciados em outros
34 estudos (Moreira *et al.*, 1988; Pita *et al.*, 1985; Mantelatto & Fransozo, 1999; Negreiros

1 -Fransozo *et al.*, 1999; Andrade *et al.*, 2014). Segundo os autores, as baixas temperaturas
2 limitavam a produtividade primária e, consequentemente, a disponibilidade de alimentos,
3 reduzindo assim o desenvolvimento gonadal e a eclosão das larvas (Andrade *et al.*, 2014).
4 Contudo, tal justificativa não pode ser empregada no presente estudo, uma vez que a
5 ressurgência costeira em conjunto com a intrusão da massa de água fria ACAS torna a
6 região de Cabo Frio e áreas adjacentes altamente produtivas (De Léo & Pires-Vanin,
7 2006).

8 Inclusive esses altos níveis de produtividade oceânica, principalmente durante o
9 inverno podem ter gerado a associação das FO de *C. ornatus* e *H. pudibundus* com a
10 referida estação e, consequentemente, resultou na maior abundância de juvenis nas
11 estações seguintes após o pico de FO. Sendo assim, podemos pressupor que a maior
12 abundância de juvenis no verão e no outono de *C. ornatus* e *H. pudibundus*, logo após os
13 maiores picos dos valores da concentração de clorofila-a (inverno e verão), somente foi
14 possível devido à grande produtividade primária que ocorreu durante essas estações,
15 implicando na maior disponibilidade de alimento para as larvas e contribuindo para a
16 sobrevivência das mesmas.

17 Tais mecanismos, utilizados por *C. ornatus* e *H. pudibundus* para ampliar o
18 sucesso reprodutivo no presente estudo, provavelmente, foram funcionais visto que a
19 “desova efetiva” ocorreu na região. Tal termo refere-se a situações em que logo após um
20 pico de abundância de indivíduos reprodutivos é possível observar um pico no número de
21 jovens no ambiente. Assim, indivíduos reprodutivos em um determinado período geraram
22 descendentes nos meses subsequentes (Crococ & Van der Velde, 1995).

23 É válido ressaltar que apesar da ocorrência de J de *C. ornatus* e *H. pudibundus*
24 durante as mesmas estações, os espaços compartilhados por essas espécies não se
25 sobrepuseram, ou seja, houve pico de recrutas de ambas as espécies nas mesmas estações,
26 mas em locais diferentes. Esse resultado ocorreu porque, possivelmente, a região de
27 Macaé, principalmente, a *shallow area* é uma zona de recrutamento juvenil para *C.*
28 *ornatus*. O aumento da produtividade primária em áreas rasas faz com que
29 proporcionalmente a densidade populacional e riqueza zooplancônica também
30 aumentem, resultando no aumento da produção secundária oceânica. Logo, os
31 invertebrados bentônicos usufruem da produção primária e da formação de detritos na
32 zona eufótica (Largier, 1993; Mann & Lazier, 1996). Essa disponibilidade de alimentos
33 atrai organismos do nécton transferindo a energia para níveis tróficos mais altos (Acha *et*
34 *al.*, 2004).

1 Além disso, em áreas com menores profundidades há uma maior quantidade de
2 alimentos ricos em cálcio, como fragmentos de conchas, mexilhões e cracas. Tais itens
3 contribuem para a abundância de J nesses locais, uma vez, que, frequentemente, estes
4 indivíduos realizam mudas e necessitam se alimentar de uma grande quantidade de cálcio
5 para maximizar o seu desenvolvimento. Segundo Mantelatto & Christofolletti (2001), a
6 dieta dos J de *C. ornatus* é composta, majoritariamente, por organismos sésseis e
7 calcários, mostrando uma tendência significativa de redução do consumo de
8 foraminíferos, anelídeos, briozoários, equinodermos e sedimentos à medida que o siri
9 aumenta de tamanho, acompanhado de uma elevação no consumo de plantas, crustáceos
10 e peixes.

11 A abundância de MA de *C. ornatus* também foi associada positivamente a altos
12 valores de TF e clorofila-a. No entanto, o que de fato influenciou esse grupo foi a
13 distribuição espaço-temporal dos juvenis, visto que a cópula de *C. ornatus* e da maioria
14 dos portunídeos, ocorre durante a muda de puberdade, momento ao qual os machos
15 adultos inseminam as fêmeas com gônadas em desenvolvimento e a “massa” de esperma
16 permanece na espermateca até completar o desenvolvimento gonadal (Hard, 1942;
17 Mantelatto & Fransozo, 1999; Pinheiro & Fransozo, 1999). Assim, o posicionamento de
18 MA próximo a fêmeas jovens facilita os pares de parceiros de acasalamento logo após a
19 muda puberal. Sendo assim, a distribuição dos J de *C. ornatus* no espaço e no tempo
20 modula o arranjo dos MA do siri azul em nossa região de estudo.

21 Assim como *C. ornatus*, o caranguejo baú, *H. pudibundus*, também teve seus MA
22 associados aos J. No entanto, a maior parte desses indivíduos estiveram concentrados nos
23 25 e 35m. Esse resultado, possivelmente, ocorreu devido as características do sedimento
24 dessas estações amostrais. Na região de estudo há a formação de um *tombolo submarine*
25 (faixa de areia submersa) entre a praia e o arquipélago de Santana. Essa faixa de areia em
26 conjunto com a ação das ondas faz com que o sedimento fino da *shallow area* seja
27 transportado para *deep area*, gerando um padrão de fácies irregulares de areia média e
28 muito grossa em áreas rasas, enquanto as estações amostrais com maior profundidade são
29 compostas por menores frações granulométricas, como silte e argila (Garcêz, 2007;
30 Sancinetti *et al.* 2014, 2019).

31 O silte e argila permiti que o caranguejo baú se enterre facilmente, prevenindo a
32 sua exposição aos predadores ou situações adversas (Mantelatto *et al.*, 1995a). Ademais,
33 a dieta deste caranguejo é composta por organismos que são mais abundantes em
34 sedimento finos, como moluscos, anelídeos, foraminíferos (Mantelatto & Petracco,

1997), isso também pode ter colaborado para o maior número de *H. pudibundus* em estações amostrais pertencentes a *deep area*. Em outras localidades, como na região de Ubatuba (São Paulo – Brasil) (Mantelatto *et al.*, 1995a; Lima *et al.*, 2014; Bernardes *et al.*, 2019); Cananéia (São Paulo – Brasil) (Bochini *et al.*, 2019) e em São Francisco do Sul (Santa Catarina – Brasil) (Stanski *et al.*, 2019) também foi evidenciado a maior abundância de *H. pudibundus* em locais compostos, majoritariamente, por silte e argila.

O siri *A. spinicarpus* também permaneceu concentrado em áreas compostas, predominantemente, por frações granulométricas menores (silte e argila), aliás, de todas as espécies estudadas esse siri foi o que apresentou a maior concentração de indivíduos na área amostral com maior profundidade (45m). Em conjunto com a textura do sedimento, os baixos valores de TF amostrados também podem ter contribuindo para a grande abundância de *A. spinicarpus* nessa área amostral, visto que esse siri possui um padrão de distribuição relacionado com valores de TF abaixo de 18°C, sendo um organismo indicador de massas de água fria (De Léo & Pires-Vanin, 2006). Essa espécie se beneficia das mudanças ambientais abruptas causadas pela redução da temperatura da água de 24°C para 18–12 °C. Nesse sentido, a *deep area* é propícia para *A. spinicarpus*, uma vez que Sancinetti *et al.* (2014, 2015) evidenciaram que as condições ambientais (temperatura e salinidade) na região de estudo diferem daquelas normalmente encontradas nas regiões tropicais. Segundo os autores, a ressurgência de Cabo Frio que prevalece em todo local de estudo e, principalmente, na *deep area* resulta em menores valores de TF e em altas concentrações de nutrientes ao longo do ano, criando condições semelhantes ao clima temperado do sul do continente (Sancinetti *et al.*, 2015).

Além disso, em Macaé durante a primavera e o verão há uma maior redução na TF devido a influência da ACAS. Esta massa de água caracterizada por baixos valores de TF é responsável por intensificar o fenômeno da ressurgência de Cabo Frio (Stech *et al.*, 1995). As características físicas e químicas presentes na ACAS provocam o enriquecimento de nutrientes na região costeira, favorecendo a produção primária (Castro-Filho *et al.*, 1987). Este incremento na produtividade primária pode ter colaborado para o aumento de espécimes de *A. spinicarpus* durante o verão, principalmente nos 45m. Ao contrário da distribuição de *C. ornatus*, cujas as maiores abundâncias são amostradas em altas TF,

O fato da redução nos valores de TF, conforme aumenta a profundidade, gerar um efeito positivo na abundância de *A. spinicarpus* possivelmente explica a pequena amostragem de FO desse siri na região. Essas fêmeas devem se estabelecer em áreas mais

1 profundas com menores valores TF, em locais não amostrados no presente estudo, uma
2 vez que as coletas foram realizadas somente até os 45m e a distribuição dessa espécie
3 pode percorrer até os 500 m de profundidade (Melo, 1996). Corroborando com esse
4 resultado, Silva *et al.* (2018) também obtiveram uma pequena quantidade de FO, ao
5 realizar uma amostragem na região de Ubatuba e Caraguatatuba (São Paulo – Brasil) até
6 os 35m de profundidade, enquanto coletas realizadas próximas aos 100 m amostraram
7 uma grande quantidade de FO de *A. spinicarpus* (Ogawa & D’Incao, 2010; Pardal-Souza
8 & Pinheiro, 2013), desse modo reforça-se a ideia de que as FO de *A. spinicarpus* no
9 presente estudo estão concentrados em áreas mais profundas.

10 A busca por locais mais favoráveis também pode ser a resposta para o pequeno
11 número de J de *A. spinicarpus* amostrados. A alta produtividade encontrada em áreas
12 rasas resultam em maiores taxas de crescimento, favorecendo o estabelecimento de J
13 nessas áreas (Silva *et al.*, 2018; Bernardo *et al.*, 2019; Sousa *et al.*, 2020). No entanto, a
14 *shallow area* é composta, predominantemente, por *C. ornatus*, um siri caracterizado por
15 possuir comportamento agonístico e territorialista (Shinozaki-Mendes *et al.*, 2012), tal
16 fato pode ter dificultado o estabelecimento de J de *A. spinicarpus* na região, até porque
17 entre as juvenis de portunídeos mais comuns do sublitoral não consolidado, *A.*
18 *spinicarpus* é a de menor tamanho. Isso significa que em combates diretos com outras
19 espécies, como por exemplo *C. ornatus*, *C. danae* Smith, 1869, *Arenaeus cribrarius*
20 (Lamarck, 1818) e *A. spinimanus* (Latreille, 1819), os J de *A. spinicarpus* teoricamente
21 estariam em desvantagem.

22 Em um estudo sobre a composição de portunídeos na região de Ubatuba e
23 Caraguatatuba (São Paulo – Brasil) realizado por Furlan (2014), ficou evidenciado que
24 dependendo do ponto amostrado a abundância de *C. ornatus* era inversamente
25 proporcional ao número de indivíduos de *A. spinicarpus*. De acordo com a autora, em
26 uma possível competição entre essas duas espécies *C. ornatus* seria o “vencedor”, devido
27 ao seu maior tamanho. Logo, o estabelecimento de *A. spinicarpus* só seria viável em
28 locais com pequena abundância dos seus possíveis competidores.

29 Guerra-Castro *et al.* (2007) também apontaram que a disputa interespecífica entre
30 as espécies de portunídeos podem ser os agentes causadores de ocupação diferencial de
31 habitat entre elas. Tais autores sugeriram que a distribuição diferencial dos siris *C.*
32 *ornatus* e *A. cribrarius* na Enseada de La Vela (Venezuela) também pode ser influenciada
33 pelos encontros agressivos interespecíficos e adaptações morfológicas e fisiológicas das
34 espécies. Os autores acreditam que o fato de *C. ornatus* ser mais agressivo que *A.*

cribrarius pode fazer com que ocorra a exclusão dessa última em áreas onde teoricamente poderiam habitar em simpatria.

As características populacionais das espécies estudadas também podem ter sido afetadas pela competição. O maior tamanho médio dos machos de *C. ornatus* quando comparado com as fêmeas da mesma espécie, provavelmente, está associada a competição intraespecífica dos machos por fêmeas reprodutivas, uma vez que essas representaram apenas 10% da população amostrada. Corroborando essa hipótese de que os machos tendem a ser maiores do que as fêmeas em populações onde essas são escassas, os indivíduos adultos de *A. spinicarpus* não apresentaram diferença significativa quando comparado o tamanho médio entre os sexos, pois a proporção sexual M:F desse grupo demográfico foi de aproximadamente 1:1. Esse fato também ocorreu em outros estudos, como em: São Francisco do Sul, Santa Catarina – Brasil (Ogawa & D’Incao, 2010) e no litoral norte paulista (Silva *et al.*, 2017b) com *A. spinicarpus* em; na mesma área estudada com para *A. spinimanus* (Andrade *et al.*, 2017) e na região de Ubatuba com *Libinia ferreirae* Brito Capello, 1871 (Sousa *et al.*, 2021b).

Sobretudo, muitos estudos enfatizam que em Brachyura os machos são comumente maiores que as fêmeas (Baptista *et al.* 2003; Sforza *et al.*, 2010; Sant’Anna *et al.*, 2015; Azevedo *et al.*, 2017; Perroca *et al.*, 2020). Isso ocorre devido os caranguejos machos possuírem um crescimento somático mais longo e um maior incremento de tamanho em cada muda. Enquanto as fêmeas, frequentemente, interrompem ou reduzem o crescimento somático a fim de alocar energia exclusivamente para produção de ovos, visto que o gasto energético para gerar oocistos requer mais energia que a produção de espermatozoides (Hartnoll, 1982,1985). Além disso, o tamanho maior dos machos facilita tanto o manuseio das fêmeas durante a cópula quanto o abraço pós-copulatório, que tende a proteger as fêmeas no pré/pós cópula garantindo assim o sucesso reprodutivo (Hartnoll, 1982, 1985). Nesse sentido, possivelmente os machos adultos de *H. pudibundus* também seguiram o princípio de serem maiores que as fêmeas, a fim de maximizar o sucesso reprodutivo.

Outro padrão corroborado pelos indivíduos das três espécies estudadas foi a de que os espécimes com maiores LC foram amostrados em latitudes elevadas (Tabela III). Este resultado, possivelmente, está associado a “Regra de James” que é baseada no fato de que geralmente os menores indivíduos de uma espécie serão encontrados em áreas geográficas com temperatura mais elevadas, ou seja, provavelmente, em regiões com latitudes menores. Enquanto os maiores espécimes serão amostrados em regiões mais

frias, consequentemente, em grandes latitudes (Blackburn *et al.*, 1999). A princípio a regra ecogeográfica que mais havia se destacado desde sua criação é a atribuída e nomeada em homenagem a Carl Bergmann (1847). No entanto, o autor descreve que este padrão deve ser interpretado apenas interespecificamente, diante disso, houve uma reformulação e a extensão intraespecífica da regra de Bergmann e ficou denominada como a “Regra de James” (Blackburn *et al.*, 1999). O aumento do tamanho corporal proporcional ao gradiente de latitude, provavelmente, ocorre devido ao fato de que em temperaturas mais baixas, maiores latitudes, ocorre uma taxa metabólica menor e, consequentemente, o gasto energético também é mais baixo, facilitando assim o acúmulo de reservas e a aquisição de um maior tamanho corpóreo (Castilho *et al.*, 2007; Terrossi *et al.*, 2010).

No entanto, apesar da ressurgência em Macaé provocar baixas TF e até mesmo valores de temperatura similares ao de regiões com maiores latitudes, o tamanho de *C. ornatus*, *H. pudibundus* e *A. spinicarpus* na área de estudo foi menor quando comparado com os indivíduos de latitudes maiores (Tabela III). Isso possivelmente ocorreu devido a distribuição dessas espécies serem restrita a latitudes de no máximo 33°S (Melo, 1996; Carvalho & Couto, 2011; Martínez *et al.*, 2009), logo os maiores indivíduos ocorrem nas maiores latitudes (26°S) e, estas são próximas a área de estudo (22°S). Ainda é necessário enfatizar que as coletas ocorreram apenas até os 45 m, e a grande parte dos espécimes permaneceram concentrados em estações amostrais rasas, com maiores valores de TF, dessa forma as taxas metabólicas dos indivíduos amostrados podem não ter sido afetadas pelos baixos valores de TF. Os efeitos da ressurgência podem não ter afetado o tamanho dos espécimes amostrados, mas modulou a abundância e distribuição dos grupos demográficos e, consequentemente, a distribuição de frequência de indivíduos.

É necessário destacar que os padrões de distribuição dos grupos demográficos dos *Brachyura* estão intimamente associados com a sobrevivência larval (Andrade *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2020). Inclusive as alterações ambientais, a disponibilidade de alimentos e a predação são a principal causa de alta mortalidade larval, estimada em até 90% nas primeiras horas após a desova (Morgan, 1995; Epifanio & Garvine, 2001; Charmantier *et al.*, 2002). Os poluentes originários de indústrias petrolífera, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), também podem afetar negativamente os estágios iniciais do ciclo de vida dos crustáceos (Almeda *et al.*, 2013; Laramore *et al.*, 2016; Vrinda, *et al.*, 2019). A morte de caranguejos e camarões foi evidenciada após as moléculas altamente tóxicas de HPAs penetrarem suas células e

comprometerem a osmoregulação desses indivíduos (Mothershead & Hale, 1992; Oberdörster *et al.*, 1999). O fato de Macaé ser a base de operação da exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos, faz com que seja necessário estudos que estimem o acúmulo potencial de HPAs e seus efeitos tóxicos nos indivíduos da região de estudo.

Com base em nossos resultados destacamos que a ressurgência modula em partes a dinâmica populacional dos caranguejos e que a hipótese de que há uma ocupação diferencial entre as espécies estudadas não pode ser rejeitada, visto que cada espécie estudada se manteve, majoritariamente, em estações amostrais distintas minimizando assim a competição por recursos. Ademais, a caracterização da dinâmica populacional inédita de *C. ornatus*, *H. pudibundus* e *A. spinicarpus* na região, tanto na *shallow* quanto na *deep area*, pode ser aplicada para o monitoramento e a avaliação de possíveis impactos naturais/antrópicos na área amostrada, cuja atividade petrolífera, como os vazamentos de petróleo tem se intensificados e podem estar alterando ou não o recrutamento e, eventualmente, a população adulta das espécies alvo.

REFERÊNCIAS

- Abelló, P. 1989. Reproduction and moulting in *Liocarcinus depurator* (Linnaeus, 1758) (Brachyura: Portunidae) in the northwestern Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, 53(1): 127–134.
- Able K, Landau, M. & O'Brien S.B. 1999. Sex ratios of two species of spider crabs, *Libinia dubia* H. Milne Edwards, 1834 and *L. emarginata* Leach, 1815, in the area of Great Bay, New Jersey. *Crustaceana* 72, 187–192.
- Acha, E. M., Mianzan, H. W., Guerrero, R.A., Favero, M. & Bava, J. 2004 Marine fronts at the continental shelves of austral South America physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, 44: 83-105.
- Aguilar R., Hines, A. H., Wolcott, T. G., Wolcott, D. L., Kramer, M. A. & Lipcius R. N. 2005. The timing and route of movement and migration of post-copulatory female blue crabs, *Callinectes sapidus* Rathbun, from the upper Chesapeake Bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 319: 117–128
- Almeda, R., Wambaugh, Z., Wang, Z., Hyatt, C., Liu, Z. & Buskey, E. J. 2013. Interactions between zooplankton and crude oil: toxic effects and bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *PloS one*, 8(6). DOI:10.1371/journal.pone.0067212

- Andrade, L. S., Bertini, G., Fransozo, V., Teixeira, G. M., Barros-Alves, S. P. & Fransozo, A. 2014. Differential occupation of habitat as a reproductive strategy of the blue crab *Callinectes ornatus* Ordway, 1968 (Crustacea: Decapoda). *Marine Biodiversity*, 44: 27–36. DOI:10.1007/s12526-013-0179-y
- Andrade, L. S., Costa, R. C., Castilho, A. L., Frameschi, I. F., Sancinetti, G. S. & Fransozo, A. 2017. Reproductive and population traits of the swimming crab *Achelous spinimanus* (Crustacea: Decapoda) in an upwelling region in southeastern Brazil. *Nauplius*, 25: e2017004. DOI:10.1590/2358-2936e2017004
- Azevedo, D. S., Silva, J. V. C. L. & Castiglioni, D. S. 2017. Population Biology of *Uca maracoani* in a Tropical Mangrove. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 33(1): 1-13. DOI:10.1007/s41208-015-0008-0
- Baptista, C., Pinheiro, M. A. A., Blankensteyn, A. & Borzone, C. A. 2003. Estrutura populacional de *Callinectes ornatus* Ordway (Crustacea, Portunidae) no Balneário Shangri-Lá, Pontal do Paraná, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(4): 661-666. DOI:10.1590/S0101-81752003000400018
- Barreto, A. V., Batista-Leite, L. M. A. & Aguiar, M. C. A. 2006. Maturidade sexual das fêmeas de *Callinectes danae* (Crustacea, Decapoda, Portunidae), nos estuários dos rios Botafogo e Carrapicho, Itamaracá, PE, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 96(2): 141-146.
- Bechmann, R. K., Larsen, B. K., Taban, I. C., Hellgren, L. J., Møller, P. & Sanni, S. 2010. Chronic exposure of adults and embryos of *Pandalus borealis* to oil causes PAH accumulation, initiation of biomarker responses and increase in larval mortality. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 2087–2098. DOI:10.1016/j.marpolbul.2010.07.010
- Bernardes, V. P., Martins, F. K., Rodrigues, G. F. B., Bernardo, C. H., Sousa, A. N., Bertini, G. & Fransozo, A. 2019. The different depths gradients may affect the reproductive dynamics of *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (Decapoda: Aethridae) in the southeastern region of Brazil. *Biologia*, 74: 1011–1019. DOI:10.2478/s11756-019-00230-1
- Bernardo, C. H., Bernardes, V. P., Sousa, A. N., Rodrigues, G. F. B., da Silva, T. E. & Fransozo, A. 2019. Environmental factors modulating the bathymetric distribution of the demographic groups of *Achelous spinimanus* (Crustacea). *Neotropical Biology and Conservation*, 14: 13-28.

- Blackburn, T. M., Gaston, K. J., & Loder, N. 1999. Geographic gradients in body size: a clarification of Bergmann's rule. *Diversity and distributions*, 5(4):165-174.
- Bochini, G. L., Stanski, G., Castilho, A. L., & Costa, R. C. 2019. The crustacean bycatch of seabob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) fisheries in the Cananéia region, southern coast of São Paulo, Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 31: 100799. DOI:10.1016/j.rsma.2019.100799
- Branco, J. O. & Fracasso, H. A. A. 2004. Biologia populacional de *Callinectes ornatus* (Ordway) na Armação do Itapocoroy, Penha, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21(1): 91-96.
- Branco, J. O. & Lunardon-Branco, M. J. 1993. Aspectos da biologia de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (Decapoda, Portunidae) da região de Matinhos, Paraná, Brasil. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 36(3): 489-496.
- Branco, J. O., Thives, A. & Porto-Filho, E. 1990. Estrutura das populações, abundância e distribuição dentro de espécies integrantes da família Portunidae (Crustacea, Decapoda), na lagoa da Conceição e área adjacente, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *II Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: estrutura, função e manejo*, 71(2): 294-300.
- Calado, L., Gangopadhyay, A. & Silveira, I. C. A. 2008. Feature-oriented regional modeling and simulations (FORMS) for the western South Atlantic: Southeastern Brazil region. *Ocean Modelling*, 25: 48-64. DOI:10.1016/j.ocemod.2008.06.007
- Carvalho, E. A. S. D., Carvalho, F. L. D. & Couto, E. D. C. G. 2011. Maturidade sexual em *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) no litoral de Ilhéus, BA, Brasil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 51(24): 367-372.
- Carvalho, F. L. & Couto, E. C. G. 2011. Environmental variables influencing the *Callinectes* (Crustacea, Brachyura, Portunidae) species distribution in a tropical estuary – Cachoeira River (Bahia, Brazil). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 9: 793–800.
- Carvalho-Batista, A., Pantaleão, J. A. F., Castilho, A. L., & Costa, R. C. D. 2019. The Cabo Frio upwelling overrides geographical patterns in the population dynamics of the shrimp *Artemesia longinaris* Spence Bate, 1888 (Decapoda: Penaeidae). *Marine ecology*, 40(2): e12534. DOI:10.1111/maec.125344
- Castilho, A. L., Bauer, R. T., Freire, F. A. M., Fransozo, V., Costa, R. C., Grabowski, R. C. & Fransozo, A. 2015. Lifespan and reproductive dynamics of the commercially important sea bob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Penaeoidea): synthesis of a 5-

- year study. *Journal of Crustacean Biology*, 35(1): 30-40.
DOI:10.1163/1937240X-00002300
- Castro-Filho, B. M., Miranda, L. B., & Myao, S. Y. (1987). Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações s sazonais e em média escala. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 35(2), 135-151. doi:10.1590/S0373-55241987000200004
- Charmantier, G., Giménez, L., Charmantier-Daures, M. & Anger, K. 2002. Ontogeny of osmoregulation, physiological plasticity and larval export strategy in the grapsid crab *Chasmagnathus granulata* (Crustacea, Decapoda). *Marine Ecology Progress Series*, 229: 185-194. DOI:10.3354/meps229185
- Clucas, I. 1997. *A study of the options for utilization of bycatch and discards from marine capture fisheries*. FAO Fisheries Circular, 59p.
- Conolly, P. C. 1986. *Status of the brazilian shrimp fishing operations and results of related research*. FAO General Contribution, (3): 1-28.
- Costa, R. C., Carvalho-Batista, A., Herrera, D. R., Pantaleão, J. A. F., Teodoro, S. D. S. A. & Davanzo, T. M. 2016. Carcinofauna acompanhante da pesca do camarão sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri* em Macaé, Rio de Janeiro, Sudeste Brasileiro. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(3): 611-624. DOI:10.20950/1678-2305.2016v42n3p611
- Crocos, P. J. & Van Der Velde, T. D. 1995. Seasonal, spatial and interannual variability in the reproductive dynamics of the grooved tiger prawn *Penaeus semisulcatus* in Albatross bay, Gulf of Carpentaria, Australia: the concept of effective spawning. *Marine Biology*, 122: 557 – 570. DOI:10.1007/BF00350678
- Davanzo, T. M., Hirose, G. L., Herrera, D. R., Fransozo, A. & Costa, R. C. 2017. Does the upwelling phenomenon influence the population dynamics and management of the seabob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) (Crustacea, Penaeidae)? *Hydrobiologia*, 795(1): 295-311. DOI:10.1007/s10750-017-3152-0
- De Léo, F. C. & Pires-Vanin, A. M. S. 2006. A comparison between an upwelling and a non-upwelling ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 60: 268-284. DOI:10.1016/j.jmarsys.2006.02.002
- Di Benedetto, A. P. 2001. A pesca artesanal na costa Norte do Rio de Janeiro. *Bioikos*, 15(2): 103-107.
- Eayrs, S. 2007. *Guía para reducir la captura de fauna incidental (bycatch) en las pesquerías por arrastre del camarón tropical*. FAO, 110p.

- 1 Epifanio, C. E. & Garvine, R. W. 2001. Larval transport on the Atlantic continental shelf
2 of North America: a review. *Estuarine, coastal and shelf Science*, 52(1): 51-77.
3 DOI:10.1006/ecss.2000.0727
- 4 Eutrópio, F. J., Almeida Padilha, M. D., Sá, F. S. & Krohling, W. 2019. Population
5 Structure of *Hepatus Pudibundus* (Herbst) (Crustacea, Decapoda) caught in
6 Traditional Fishing for the Shrimp on the Southeastern Coast of Brazil. *Multi-*
7 *Science Research (MSR)*, 2(1): 15-29.
- 8 Fernandes, J. M., Rosa, D. M., Araujo, C. C., Ripoli, L., & Santos, H. S. 2006. Biologia
9 e distribuição temporal de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (Crustacea,
10 Portunidae) em uma praia arenosa da Ilha do Frade, Vitória-ES. *Boletim do Museu*
11 *de Biologia Mello Leitão*, 20: 59-71.
- 12 Fracasso, H. A. A. & Branco, J. O. 2005. Estrutura populacional de *Hepatus pudibundus*
13 (Herbst,1785) (Crustacea, Decapoda) na Armação de Itapocoroy, Penha, Santa
14 Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(2): 342-348.
15 DOI:10.1590/S0101-81752005000200007
- 16 Fransozo, A., Sousa, A. N., Rodrigues, G. F. B., Telles, J. N., Fransozo, V. & Negreiros-
17 Fransozo, M. L. 2016. Crustáceos decápodes capturados na pesca do camarão-
18 sete-barbas no sublitoral não consolidado do litoral norte do estado de São Paulo,
19 Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42: 369-386. DOI:10.20950/1678-
20 2305.2016v42n2p369
- 21 Furlan, M. 2014. Diversidade e distribuição de siris (Decapoda: Brachyura: Portunidae)
22 e dinâmica populacional de *Callinectes ornatus* no litoral norte de São Paulo.
23 Instituto de Biociências de Botucatu – Universidade Estadual Paulista “Júlio de
24 Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, (Tese de doutorado).
- 25 Garcêz, D. S. 2007. *Caracterização da pesca artesanal autônoma em distintos*
26 *compartimentos fisiográficos e suas áreas de influência, no estado do Rio de*
27 *Janeiro*. CCMN IGEO PPGG/ UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 125p.
- 28 Graça-Lopes, R., Tomás, A. R. S., Tutui, S. L. S., Severino-Rodrigues, E. & Puzzi, A.
29 2002. Fauna acompanhante da pesca camaroeira no litoral do Estado de São Paulo,
30 Brasil. *Boletim do Instituto da Pesca*, 28(2): 173–188.
- 31 Gomes, A. S.; Palma, J. J. C.; Silva, C. G. 2001. Causas e consequências do impacto
32 ambiental na exploração dos recursos minerais marinhos. *Brazilian Journal of*
33 *Geophysics*, 18(3): 447-454.

- Gonzales-Rodriguez, E., Valentin, J. L., Andre, D. L. & Jacob, S. A. Upwelling and pownwelling at Cabo Frio (Brazil): comparision of biomass and primary production responses. *Journal of Plancton Research*, 14(2): 289-306, 1992.
- Guizardi, P. S. 2015. Biologia populacional e distribuição espaço-temporal do siri *Callinectes ornatus* na plataforma continental rasa de Ilhéus, Bahia, Brasil. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, Brasil (Dissertação de Mestrado)..
- Guerra-Castro, E.; Carmona-Suárez, C. A. And Conde, J. E. 2007. Activity patterns and zonation of the swimming crabs *Arenaeus cribrarius* and *Callinectes ornatus*. *Journal of Crustacean Biology*. 27(1): 49-58.
- Haefner, Jr. P. A. 1990. Morphometry and size at maturity of *Callinectes ornatus* (Brachyura, Portunidae) in Bermuda. *Bulletin of Marine Science*, 46(2): 274-286.
- Hakanson, L. & Jansson, M. 1983. *Principles of lake sedimentology*. Germany: Springer-Verlag.
- Hard, W. L. 1942. Ovarian growth and ovulation in the mature blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun. *Chesapeake BioPogicak Laboratory*, 46: 1-17.
- Hartnoll R. G. 1982. Growth. In Abele LG (ed.), *The Biology of Crustacea: 2. Embryology, Morphology and Genetics*. New York: Academic Press, pp. 111–196. DOI:10.1007/978-94-017-0645-2_11
- Hartnoll, R. G. 1985. Growth, sexual maturity and reproductive output. *Crustacean issues*, 3: 101–128.
- Herrera, D. R. 2017. Distribuição, estrutura populacional, reprodução e crescimento de *Callinectes danae* Smith, 1869 e *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (Decapoda, Brachyura, Portunidae) na região de Cananéia, Litoral Sul Paulista. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, Brasil (Tese de Doutorado).
- Hsueh, P., McClintock, J. B. & Hopkins, T. S. 1993. Population dynamics and life history characteristics of the Blue Crabs *Callinectes similis* and *C. sapidus* in Bay environments of the Northern Gulf of Mexico. *Marine Ecology*, 14(3): 239–257.
- Keunecke, K. A., D’Incao, F. & Fonseca, D. B. 2007. Growth and mortality of *Hepatus pudibundus* (Crustacea: Calappidae) in southwestern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87: 885–891. DOI:10.1017/S0025315407056718

- Keunecke, K. A., D’Incao, F., Moreira, F. N., Silva Jr, D. R. & Verani, J. R. 2008. Age and growth of *Callinectes danae* and *C. ornatus* (Crustacea, Decapoda) in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, 98(2): 231-235.
- Klôh, A. D. S., & Di Benitto, A. P. M. 2010. Estrutura populacional do siri-baú, *Hepatus pudibundus* (Herbst 1785) no Norte do Estado do Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil. *Biota Neotropica*, 10(3): 463-467. DOI:10.1590/S1676-06032010000300041
- Laramore, S., Krebs, W., Garr, A. 2016. Effects of exposure of pink shrimp, *Farfantepenaeus duorarum*, larvae to macondo canyon 252 crude oil and the corexit dispersant. *Journal of Marine Science and Engineering*, 4: 1–18. DOI:10.3390/jmse4010024
- Largier, J. L. 1993. Estuarine fronts: how important are they? *Estuaries*, 16: 1–11.
- Lima, P. A., Bertini, G., Fransozo, V., Gregati, R. A., Fernandes-Góes, L. C., & Castilho, A. L. 2014a. Reproductive biology of *Hepatus pudibundus* (Crustacea: Brachyura), the most abundant crab on the southeastern Brazilian coast. *Biologia*, 69(2): 219-227. DOI:10.2478/s11756-013-0301-4
- Magliocca, A. & Kutner, A. S. 1965. Sedimentos de fundo da Enseada do Flamengo, Ubatuba, SP. *Contribuições do Instituto Oceanográfico*, 198: 1-15.
- Mann, K. H. & Lazier, J. R. N. 1996. Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans, 2nd ed. Blackwell, Cambridge.
- Mantelatto, F. L. M. & Christofoletti, R. A. 2001. Natural feeding activity of the crab *Callinectes ornatus* (Portunidae) in Ubatuba Bay (São Paulo, Brazil): influence of season, sex, size and molt stage. *Marine Biology*, 138(3): 585-594.
- Mantelatto, F. L. M. & Fransozo, A. 1999. Reproductive biology and moulting cycle of the crab *Callinectes ornatus* (Decapoda, Portunidae) from the Ubatuba region, São Paulo, Brazil. *Crustaceana*, 72(1): 63–75.
- Mantelatto, F. L. M., Fransozo, A., & Negreiros-Fransozo, M. L. 1995a. Distribuição do caranguejo *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (Crustacea, Decapoda, Brachyura) na Enseada da Fortaleza, Ubatuba (SP), Brasil. *Boletim do instituto Oceanográfico*, 59-69.
- Mantelatto, F. L. M., Fransozo, A., & Negreiros-Fransozo, M. L. 1995b. Population structure of *Hepatus pudibundus* (Decapoda: Calappidae) in Fortaleza Bay, Brazil. *Revista de biologia Tropical*, 265-270.

- 1 Mantelatto, F. L. & Petracco, M. 1997. Natural diet of the crab *Hepatus pudibundus*
2 (Herbst 1785) (Brachyura: Calappidae) in Fortaleza Bay, Ubatuba (SP), Brazil.
3 *Journal of Crustacean Biology*, 17(3): 440-46. DOI:10.2307/1549438
- 4 Martínez, G., Scarabino, F. & Delgado, E. 2009. Scientific Note New records of the
5 brachyuran crabs *Hepatus pudibundus* (Aethridae) and *Persephona mediterranea*
6 (Leucosiidae) in their southernmost Western Atlantic distribution. *Pan-American*
7 *Journal of Aquatic Sciences*, 4(3): 279-282.
- 8 McCune, B. & Mefford, M. J. 2011. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data.
9 Version 6.0. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- 10 Melo, G. A. S. 1996. *Manual de Identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do*
11 *Litoral Brasileiro*. Plêiade/FAPESP, São Paulo, Brasil.
- 12 Mendoza, N. 2002. Aspectos preliminares de la biología, crecimiento y abundancia
13 poblacional de *Portunus spinicarpus* Stimpson 1871 (Decápoda portunidae) en el
14 Golfo de Salamanca (Caribe Colombiano). Fundación Universidad de Bogotá
15 Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina, Bogotá, Colômbia (Trabalho
16 de Conclusão de Curso).
- 17 Merino, M. & M.A. Monreal-Gómez. 2009. Ocean currents and their impact on marine
18 life. In: C.M. Duarte & A.L. Helguer (eds.). Marine ecology. Encyclopedia of
19 life support systems (EOLSS). Developed under the Auspices of the UNESCO.
20 *Eolss Publishers*, 1: 52-47.
- 21 Miazaki, L. F., Simões, S. M., Castilho, A. L. & Costa, R. C. 2019. Population dynamics
22 of the crab *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (Decapoda, Aethridae) on the
23 southern coast of São Paulo state, Brazil. *Journal of the Marine Biological*
24 *Association of the United Kingdom*, 99(4): 867-878.
25 DOI:10.1017/S0025315418000620
- 26 Moreira, P. S., Paiva-Filho, A.M., Okida, C.M., Schmiegelow, M.M. & Giannini, R.
27 1988. Bioecologia de crustáceos decápodas, braquiúros no sistema baía-estuário
28 de Santos e São Vicente, SP. I - ocorrência e composição. *Boletim do Instituto*
29 *Oceanográfico*, 36 (1/2): 55-62.
- 30 Morgan, S. G. 1995. The timing of larval release, p. 157–192. In L. McEdward [ed.],
31 Ecology of marine invertebrates. CRC Press
- 32 Mothershead RF, Hale RC (1992) Influence of Ecdysis on the accumulation of polycyclic
33 aromatic hydrocarbons in field exposed blue crabs (*Callinectes sapidus*). *Marine*
34 *Environmental Research*, 33: 145–156. DOI:10.1016/0141-1136(92)90138-C

- 1 MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. 2011. Boletim Estatístico da Pesca e
- 2 aquicultura ano 2011. 60p. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br>
- 3 NASA, National Aeronautics and Space Administration. Giovanni NASA – The Bridge
- 4 Between Data and Science, version 4.19. Disponível em:
- 5 <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>
- 6 Negreiros-Fransozo, M. L., Mantelatto, F. L., & Fransozo, A. 1999. Population biology
- 7 of *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (Decapoda, Portunidae) from Ubatuba (SP),
- 8 Brazil. *Scientia Marina*, 157-163.
- 9 Oberdörster, E., Cottam, D. M., Wilmot, F. A., Milner, M. J. & McLachlan, J. A. 1999.
- 10 Interaction of PAHs and PCBs with ecdysone-dependent gene expression and cell
- 11 proliferation. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 160: 101–108.
- 12 DOI:10.1006/taap.1999.8745
- 13 Ogawa, C. Y., & D'Incao, F. 2010. Crescimento somático e relativo de *Portunus*
- 14 *spinicarpus* (Stimpson, 1971) (Crustacea Portunidae) no litoral norte de Santa
- 15 Catarina, Brasil. *Atlântica, Rio Grande*, 32(2): 207-219.
- 16 Pantaleão, J. A. F., Carvalho-Batista, A., Fransozo, A., & Costa, R. C. 2016. The
- 17 influence of upwelling on the diversity and distribution of marine shrimp
- 18 (Penaeoidea and Caridea) in two tropical coastal areas of southeastern Brazil.
- 19 *Hydrobiologia*, 763(1): 381-395. DOI:10.1007/s10750-015-2429-4
- 20 Pardal-Souza, A. L. & M. A. A. Pinheiro. 2013. Relative growth and reproduction in
- 21 *Achelous spinicarpus* (Crustacea: Portunidae) on the south-eastern continental
- 22 shelf of Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United*
- 23 *Kingdom*, 93(3): 667-674.
- 24 Perroca, J. F., Herrera, D. R., Castilho, A. L. & Costa, R. C. D. 2020. Dynamics of a
- 25 subtropical population of the purse crab *Persephona punctata* (Decapoda:
- 26 Brachyura: Leucosiidae) in Southeastern Brazil. *Nauplius*, 28: e2020009.
- 27 DOI:10.1590/2358-2936e2020009
- 28 Pinheiro, M.A.A. & Fransozo, A. 1999. Reproductive behavior of the swimming crab
- 29 *Arenaeus cribrarius* (Lamarck, 1818) (Crustacea, Decapoda, Portunidae) in
- 30 captivity. *Bulletin of Marine Science*, 64(2): 243-253
- 31 Pires, A. M. S. 1992. Structure and dynamics of benthic megafauna on the continental
- 32 shelf offshore of Ubatuba, southeastern, Brazil. *Marine Ecology Progress Series*,
- 33 86: 63-76.

- Pires-Vanin, A.M.S. & Matsuura, Y. 1993. Estrutura e função do ecossistema de plataforma continental da região de Ubatuba, Estado de São Paulo: uma introdução. *Publicações Especial do Instituto Oceanográfico*, 10: 18.
- Pita, J. B., Rodrigues, E. S., Graça-Lopes, R. & Coelho, J.A.P. 1985. Levantamento da família Portunidae (Crustacea, Decapoda, Brachyura) no complexo Baía-Estúário de Santos, São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 12(3): 153-162.
- Quantum GIS Development Team. version QGIS 3.12.2 'Brighton'. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/>
- R Development Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.Rproject.org>. ISBN 3-900051-07-0.
- Rakocinski, C. F., Lyczkowski-Shultz, J. & Richardson, S. L. 1996. Ichthyoplankton assemblage structure in Mississippi sound as revealed by canonical correspondence analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43: 237–257. DOI:10.1006/ecss.1996.0067
- Reigada, A. L. D. & Negreiros-Fransozo, M. L. 2000. Reproductive cycle of *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (Crustacea, Decapoda, Calappidae) in Ubatuba, SP, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, 60: 483–491. DOI:10.1590/S0034-71082000000300013
- Reis-Júnior, J., Freire, K. M. F., Rosa, L. C. D. & Barreto, T. M. R. D. R. 2020. Population structure of *Hepatus pudibundus* (Decapoda: Aethridae) off the coast of Sergipe State, northeastern Brazil. *Nauplius*, 28. DOI:10.1590/2358-2936e2020008
- Sancinetti, G. S., Azevedo, A., Castilho, A. L., Fransozo, A. & Costa, R. C. 2014. How marine upwelling influences the distribution of *Artemesia longinaris* (Decapoda: Penaeoidea)? *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(2): 322-331. DOI:10.3856/vol42-issue2-fulltext-4
- Sancinetti, G. S., Azevedo, A., Castilho, A. L., Fransozo, A., & Costa, R. C. 2015. Population biology of the commercially exploited shrimp *Artemesia longinaris* (Decapoda: Penaeidae) in an upwelling region in the Western Atlantic: comparisons at different latitudes. *Brazilian Journal of Biology*: 75(2), 305-313.
- Sancinetti, G. S., Castilho, A. L., Wolf, M. R., Costa, R. C., Azevedo, A. & Fransozo, A. 2019. Population dynamics of shrimp *Pleoticus muelleri* in an upwelling region and new implications for latitudinal gradient theories. *Journal of the Marine*

- Biological Association of the United Kingdom*, 99(8): 1807-1815.
DOI:10.1017/S002531541900081X
- Sant'Anna, B. S., Branco, J. O., Oliveira, M. M. D., Boos, H., & Turra, A. 2015. Diet and population biology of the invasive crab *Charybdis hellerii* in southwestern Atlantic waters. *Marine Biology Research*, 11(8): 814-823.
- Santos, M. D. C. F., Dagoberto, P. O. R. T., Fisch, F., Barbieri, E., & Branco, J. O. 2016. Biologia populacional de *Callinectes ornatus* associada à pesca do camarão-sete-barbas, rio São Francisco (Alagoas e Sergipe, Brasil). *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(2): 449-456.
- Sanvicente-Añorve, L., Gómez-Ponce, A., Vázquez-Bader, A. R. & Garcia, A. 2008. Morphometry and relative growth of the swimming crab, *Portunus spinicarpus* (Stimpson, 1871) from the southern Gulf of Mexico. *Crustaceana*, 81(3): 329-339.
- Sardá, F. O., Machado, I. F., Prata, P. F. S. & Dumont, L. F. C. 2013. Population biology of the box crab *Hepatus pudibundus* (Crustacea: Aethridae) off the coast of Santa Catarina State Southern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 8: 126–138.
- Sedrez, M. C., Branco, J. O., Freitas-Junior, F., Monteiro, H. S., Barbieri, E. 2013. Ictiofauna acompanhante na pesca artesanal do camarão-sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) no litoral Sul do Brasil. *Biota Neotropica*, 13(1): 165-173.
- Sforza, R., Nalesso, R. C. & Joyeux, J. C. 2010. Distribution and population structure of *Callinectes danae* (Decapoda: Portunidae) in a tropical Brazilian estuary. *Journal of Crustacean Biology*, 30(4): 597-606. DOI:10.1651/09-3223.1
- Shinozaki-Mendes, R. A., Manghi, R. F., & Lessa, R. 2012. The influence of environmental factors on the abundance of swimming crabs (Brachyura, Portunidae) in tropical estuary, Northeastern Brazil. *Crustaceana*, 85(11), 1317-1331. DOI:10.1163/156854012X651510
- Silva, T. E., Andrade, L. S., Fransozo, V., Freire, F. A. D. M. & Fransozo, A. 2018. Population parameters and distribution of *Arenaeus cribrarius* (Crustacea, Portunoidea), in southeastern Brazilian coast. *Boletim do Instituto de Pesca*, 44: 1–9
- Silva, E. R. D., Sancinetti, G. S., Fransozo, A., Azevedo, A. & Costa, R. C. D. 2014. Biodiversity, distribution and abundance of shrimps Penaeoidea and Caridea

- communities in a region the vicinity of upwelling in Southeastern of Brazil. *Nauplius*, 22(1): 1-11. DOI:10.1590/S0104-64972014000100001
- Silva, E. R. D., Sancinetti, G. S., Fransozo, A., Azevedo, A., & Costa, R. C. D. 2015. Reproduction and recruitment of the seabob shrimp: a threatened exploitation species in southeastern of Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(1): 157-172.
- Silva, E. R., Sancinetti, G. S., Fransozo, A., Azevedo, A. & Costa, R. C. 2016. Abundance and spatial-temporal distribution of the shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Decapoda: Penaeidae): an exploited species in southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 76(3): 764-773. DOI:10.1590/1519-6984.01814
- Silva, T. E., Fransozo, V., Taddei, F., Costa, R., Almeida, A. & Fransozo, A. 2017a. Reproductive analyses of the swimming crab *Achelous spinicarpus* (Stimpson, 1871) (Crustacea: Decapoda: Portunoidea) on the northern coast of São Paulo, Brazil. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 56(1).
- Silva, T. E., Taddei, F. G., Bertini, G., Andrade, L. S., Teixeira, G. M., & Fransozo, A. 2017b. Population structure of the swimming crab *Achelous spinicarpus* (Crustacea, Portunoidea) in São Paulo northern coast, Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 12(3), 164-170.
- Sousa, A. N., Bernardes, V. P., Bernardo, C. H., Silva, T. E., Sancinetti, G. S., Costa, R. C., & Fransozo, A. 2021a. Bathymetric distribution of brachyuran crabs: Alpha and beta diversity variation in an upwelling area. *Marine Ecology*, e12650.
- Sousa, A. N., Bernardes, V. P., Bernardo, C. H., Taddei, F. G., Teixeira, G. M., Costa, R. C. & Fransozo, A. 2020. Reproductive biology of the swimming crab *Achelous spinimanus* (Decapoda, Portunoidea): a potential fishing resource. *Iheringia (Série Zoologia)*, 110: e2020010. DOI:10.1590/1678-4766e2020010
- Sousa, A., Bernardes, V., Bernardo, C., Teixeira, G., Marques, A. & Fransozo, A. 2021b. Unveiling the dynamics of the spider crab *Libinia ferreirae*, through reproductive and population characteristics on the south-eastern coast of Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-9. DOI:10.1017/S0025315420001289
- Stanski, G., Gonçalves, G. R. L., Grabowski, R. C., Wolf, M. R. & Castilho, A. L. 2019. Decapod abundance and species richness in the bycatch of *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) fishery, Santa Catarina, southern Brazil. *Nauplius*, 27: e2019007. DOI:10.1590/2358-2936e2019007

- Stech, J. L., & Lorenzzetti, J. A. 1992. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research*, 97, 9507–9520. DOI:10.1029/92JC00486
- Suguio K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP.
- Teles, J. N., Mantelatto, F. L., Castilho, A. L., Fransozo, A. & Bertini, G. 2020a. Assessing the factors driving the changes in the spatio-temporal distribution of *Hepatus pudibundus* (Decapoda, Brachyura) over a 20-year interval in a region under the influence of El Niño (ENSO). *Marine Ecology*: e12617. DOI:10.1111/maec.12617
- Teles, J. N., Mantelatto, F. L., Miazaki, L. F., Fransozo, A. & Bertini, G. 2020b. A 20-year gap evaluation of the population biology of the crab *Hepatus pudibundus* in an area overexploited by fisheries. *Biologia*, 1-12. DOI:10.2478/s11756-020-005285
- Terossi, M., Wehrtmann, I. S. & Mantelatto, F. L. 2010. Interpopulation comparison of reproduction of the Atlantic shrimp *Hippolyte obliquimanus* (Caridea: Hippolytidae). *Journal of Crustacean Biology*, 30: 571-579. DOI:10.1651/09-3233.1
- Tucker, M. 1988. *Techniques in sedimentology*. Oxford: Blackwell, Blackwell Scientific Publications, 394p.
- Valentin, J. L. 1974. O plancton na ressurgência de Cabo Frio (Brazil). II-primeiras observações sobre a estrutura física, química e biológica das águas da estação fixa período 04/02 à 16/04/1973. *Publicações do Instituto de Pesquisas Marinhas*, 83: 1-11.
- Vrinda, S., Abdulaziz, A., Abhilash, K. S., Jasmin, C., Kripa, V. & Singh, I. B. 2019. Neuroendocrine and immunotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbon, chrysene in crustacean post larvae. *Ecotoxicology*, 28(8), 964-972. DOI:10.1007/s10646-01902094-2
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5): 377–392.
- Wilson, K. & Hardy, I. C. W. 2002. *Statistical analysis of sex ratios: an introduction*. Cambridge University Press, 48-92.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. New Jersey: Prentice-Hall.

TABELAS

Tabela I. Número de indivíduos (N), média, desvio padrão (DP) e valores mínimo e máximo da largura de carapaça (LC) de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863, *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) e *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871 na região de Macaé.

	Grupos demográficos	N	Min - Max (mm)	Média ± DP (mm)
<i>Callinectes ornatus</i>	Jovens	77	19,6 – 58,0	34,6 ± 7,1
	Machos adultos	105	29,6 – 77,4	55,0 ± 11,0
	Fêmeas adultas	23	26,0 – 60,0	47,4 ± 6,8
	Fêmeas ovígeras	2	46,6 – 64,4	55,5 ± 12,5
<i>Hepatus pudibundus</i>	Jovens	62	20,4 – 32,5	27,6 ± 3,0
	Machos adultos	163	33,4 – 73,2	49,2 ± 9,8
	Fêmeas adultas	297	32,7 – 62,2	45,0 ± 6,8
	Fêmeas ovígeras	43	34,8 – 61,6	46,7 ± 7,3
<i>Achelous spinicarpus</i>	Jovens	6	13,3 – 18,8	15,9 ± 1,8
	Machos adultos	143	14,3 – 38,2	30,8 ± 6,3
	Fêmeas adultas	128	11,3 -75,0	24,7 ± 8,4
	Fêmeas ovígeras	6	27,7 – 80,5	38,9 ± 20,5

- 1 **Tabela II.** Distribuição de indivíduos de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863, *Hepatus*
2 *pudibundus* (Herbst, 1785) e *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871 na região de Macaé
3 em classes de tamanho e em grupos demográficos.

<i>Callinectes ornatus</i>									
Classes de tamanho (mm)	Jovens			Adultos			Total		
	♀	♂	<i>p</i>	♀	♂	<i>p</i>	♀	♂	<i>p</i>
18,0 — 26,0	3	7	0,34	1	0	-	4	7	0,34
26,0 — 34,0	17	8	0,10	0	6	0,03*	17	14	0,72
34,0 — 42,0	29	7	0,01*	1	10	0,09	30	17	0,04*
42,0 — 50,0	3	2	1,00	0	18	0,26	3	20	0,39*
50,0 — 58,0	0	1	1,00	0	28	0,01*	0	29	0,01*
58,0 — 66,0	0	0	-	0	18	0,01*	0	18	0,01*
66,0 — 74,0	0	0	-	0	21	0,01*	0	21	0,01*
74,0 — 82,0	0	0	-	0	4	0,12	0	4	0,12
Total	52	25	0,02*	2	105	0,01*	77	130	0,01*

<i>Hepatus pudibundus</i>									
	Jovens			Adultos			Total		
	♀	♂	<i>p</i>	♀	♂	<i>p</i>	♀	♂	<i>p</i>
20,0 — 25,0	5	9	0,42	0	0	-	5	9	0,42
25,0 — 30,0	13	18	0,47	0	0	-	13	18	0,47
30,0 — 35,0	5	12	0,14	23	7	0,00*	28	19	0,25
35,0 — 40,0	0	0	-	74	35	0,00*	74	35	0,00*
40,0 — 45,0	0	0	-	68	19	0,00*	68	19	0,00*
45,0 — 50,0	0	0	-	100	29	0,00*	100	29	0,00*
50,0 — 55,0	0	0	-	43	22	0,01*	43	22	0,01*
55,0 — 60,0	0	0	-	25	27	0,88	25	27	0,88
60,0 — 65,0	0	0	-	7	14	0,18	7	14	0,18
65,0 — 70,0	0	0	-	0	9	0,00*	0	9	0,00*
70,0 — 75,0	0	0	-	0	1	1,00	0	1	1,00
Total	23	39	0,06	340	163	0,00*	363	202	0,00*

<i>Achelous spinicarpus</i>									
	Jovens			Adultos			Total		
	♀	♂	<i>p</i>	♀	♂	<i>p</i>	♀	♂	<i>p</i>
11,0 — 16,00	2	1	1,00	9	9	1,00	11	10	1,00
16,0 — 21,0	1	2	1,00	38	35	1,00	39	37	0,90
21,0 — 26,0	0	0	-	34	38	0,72	34	38	0,72
26,0 — 31,0	0	0	-	29	23	0,40	29	23	0,40
31,0 — 36,0	0	0	-	17	28	0,13	17	28	0,13

36,0—41,0	0	0	-	4	10	0,75	4	10	0,75
41,0—46,0	0	0	-	-	-	-	0	0	-
46,0—51,0	0	0	-	-	-	-	0	0	-
51,0—56,0	0	0	-	-	-	-	0	0	-
56,0—61,0	0	0	-	-	-	-	0	0	-
61,0—66,0	0	0	-	-	-	-	0	0	-
66,0—71,0	0	0	-	1	-	1,00	1	0	1,00
71,0—76,0	0	0	-	1	-	1,00	1	0	1,00
76,0—81,0	0	0	-	1	-	1,00	1	0	1,00
Total	3	3	1,0	134	143	0,63	137	146	0,63

1

2

Tabela III. Largura máxima de carapaça (mm) de diferentes populações de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863, *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) e *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871. AL= Alagoas; BR= Brasil; ES = Espírito Santo; EUA = Estados Unidos da América; PR = Paraná; RJ= Rio de Janeiro; SE = Sergipe; SC = Santa Catarina; SP = São Paulo.

<i>Callinectes ornatus</i> Ordway, 1863			
Referências	Latitude (S)	Região (Estado/País)	LC máxima (mm)
Haefner (1990)	32° N	Bermudas/EUA	♀ 64,2 ♂ 84,4
Santos <i>et al.</i> (2016)	10°S 11°S	SE/BR AL/BR	♀ 42,0 ♂ 44,0
Fernandes <i>et al.</i> (2006)	20°S	ES/BR	♀ 67,3 ♂ 78,3
Presente estudo	22° S	RJ/BR	♀ 64,4 ♂ 77,4
Pita <i>et al.</i> (1985)	23°S	SP/BR	♀ 100,9 ♂ 83,9
Negreiros-Fransozo <i>et al.</i> (1999)	23°S	SP/BR	♀ 74,8 ♂ 84,6
Furlan (2014)	23°S	SP/BR	♀ 75,1 ♂ 80,0
Herrera (2017)	23°S	SP/BR	♀ 67,3 ♂ 82,0
Mantelatto & Fransozo (1999)	23°S	SP/BR	♀ 74,8 ♂ 84,6
Branco & Lunardon-Branco (1993)	25°S	PR/BR	♀ 80,0 ♂ 100,0
Branco <i>et al.</i> (1990)	26°S	SC/BR	♀ 85,0 ♂ 90,0

<i>Hepatus pudibundus</i> (Herbst, 1785)			
Referências	Latitude (S)	Região (Estado/País)	LC máxima (mm)
Reis-Júnior <i>et al.</i> (2020)	11°S	SE/BR	♂ 60,9 ♀ 60,1
Eutrópico <i>et al.</i> (2019)	20°S	ES/BR	♂ 65,0 ♀ 60,0
Klôh & Di Benitti (2010)	21° S	RJ/BR	♂ 68,0 ♀ 62,0
Presente estudo	22° S	RJ/BR	♂ 70,3 ♀ 62,2
Mantelatto <i>et al.</i> (1995b)	23°S	SP/BR	♂ 78,2 ♀ 66,5
Reigada & Negreiro-Fransozo (2000)	23°S	SP/BR	♂ 78,5 ♀ 67,2
Teles <i>et al.</i> (2020a)	23°S	SP/BR	1° período ♂ 71,2 ♀ 70,5
			2° período ♂ 79,0 ♀ 74,6
			♂ 77,3 ♀ 69,3
			♂ 80,0 ♀ 70,0
Miazaki <i>et al.</i> (2018)	25°S	SP/BR	♂ 77,3 ♀ 69,3
Fracasso & Branco (2005)	26°S	SC/BR	♂ 80,0 ♀ 70,0
Sardá <i>et al.</i> (2013)	26°S	SC/BR	♂ 96,7 ♀ 77,0
<i>Achelous spinicarpus</i> Stimpson, 1871			
Referências	Latitude (S)	Região (Estado/País)	LC máxima (mm)
Sanvicente-Añorve <i>et al.</i> (2008)	30°N	Golfo do México	♂ 60,5 ♀ 55,3
Mendoza (2002)	11° N	Golfo de Salamanca	♂ 40,2 ♀ 24,5
Presente estudo	22° S	RJ/BR	♂ 38,2 ♀ 80,5
Silva <i>et al.</i> (2017b)	23°S	SP/BR	Ubatuba ♂ 58,3 ♀ 55,5
			Caraguatatuba ♂ 41,9 ♀ 40,7

Pardal-Souza & Pinheiro (2012)	25°S	BRASIL	♂ 47,4 ♀ 48,2
Ogawa & D’Incao (2010)	26°S	SC/BR	♂ 103,0 ♀ 95,0

- 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

1 **FIGURAS**

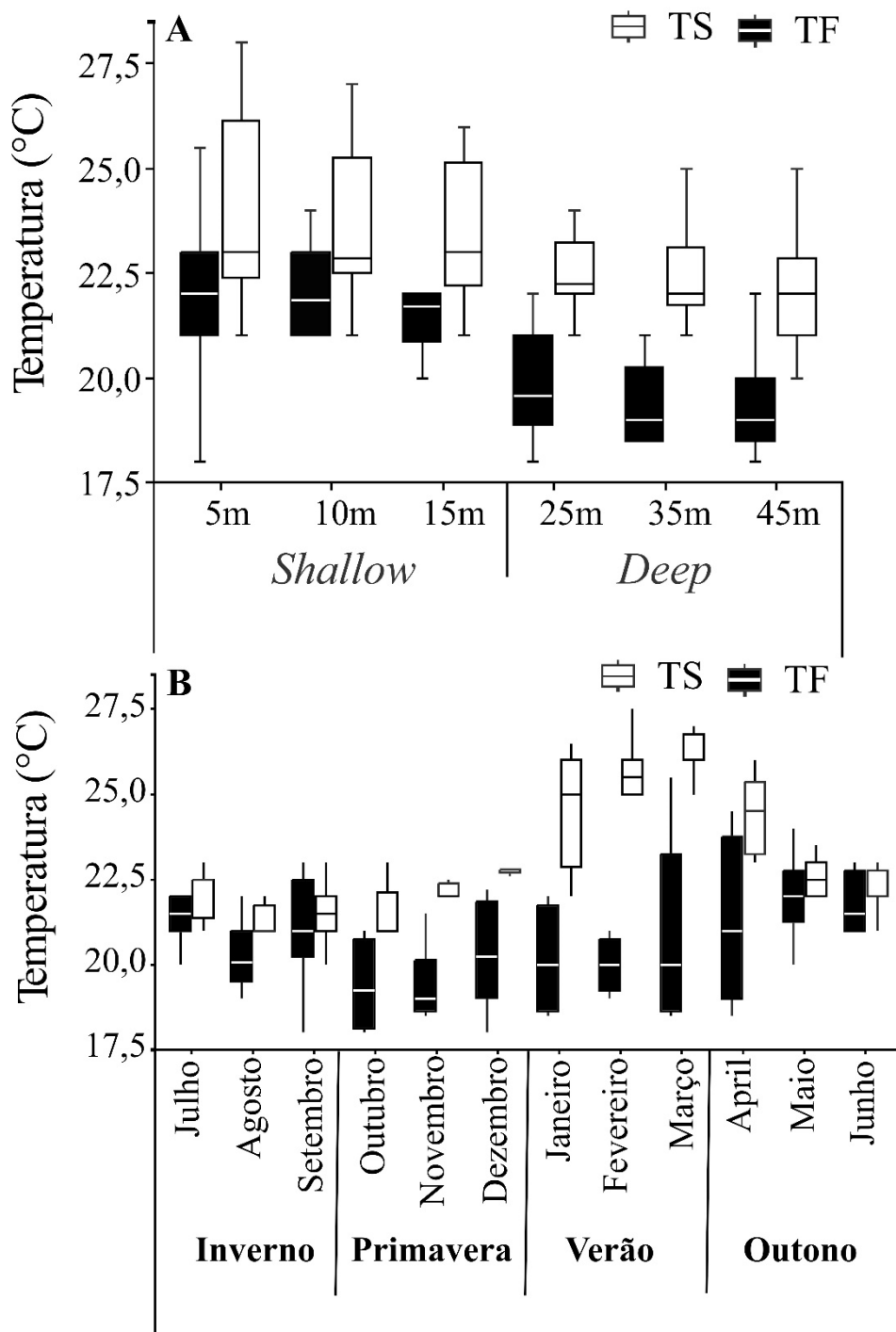


Figura 1. Espacial (A) e temporal (B) variação de valores medianos, desvio padrão, valores mínimos e máximos da temperatura (°C) de água de superfície (TS) e fundo (TF) amostradas mensalmente de julho de 2008 a junho de 2009 na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil.

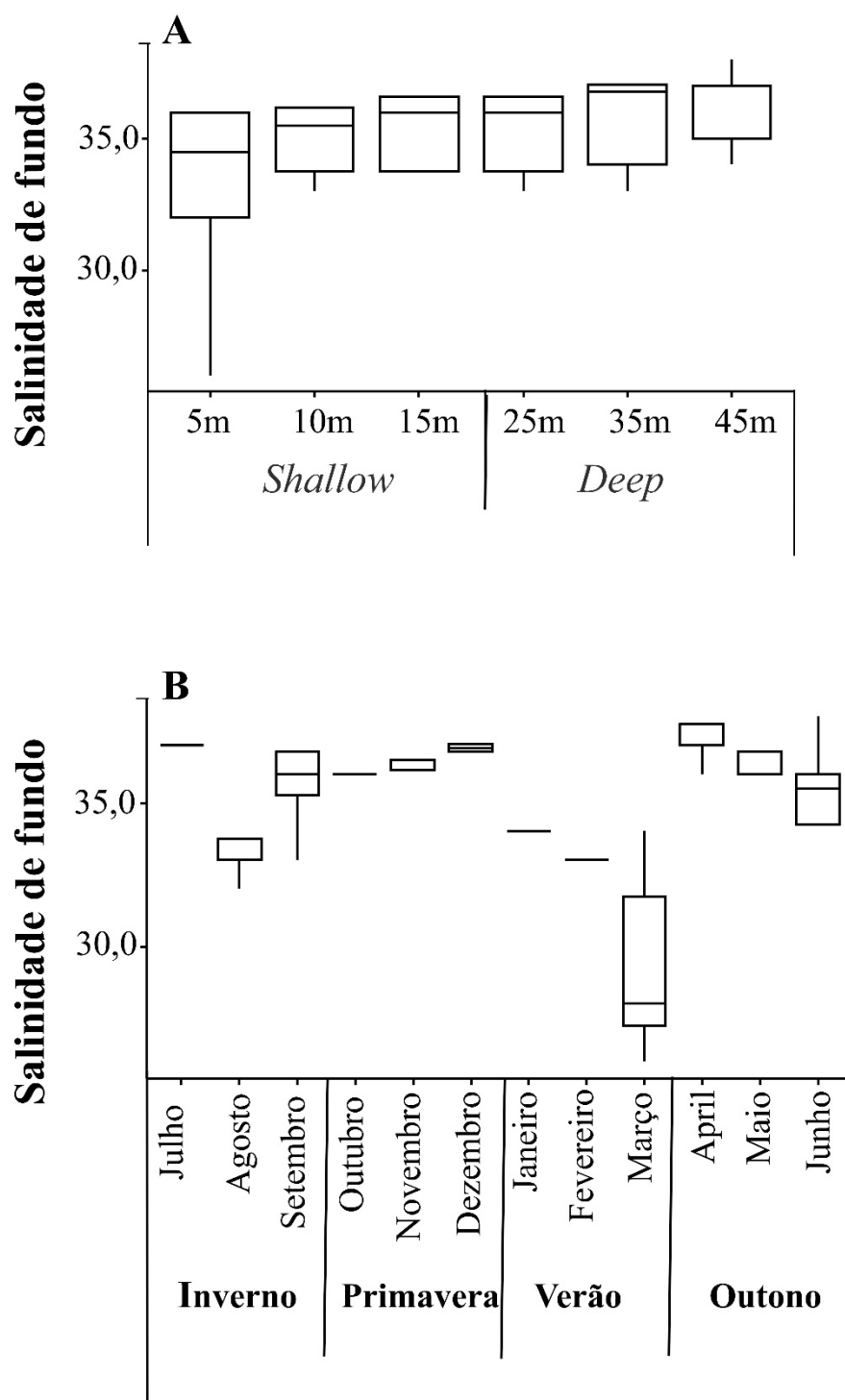
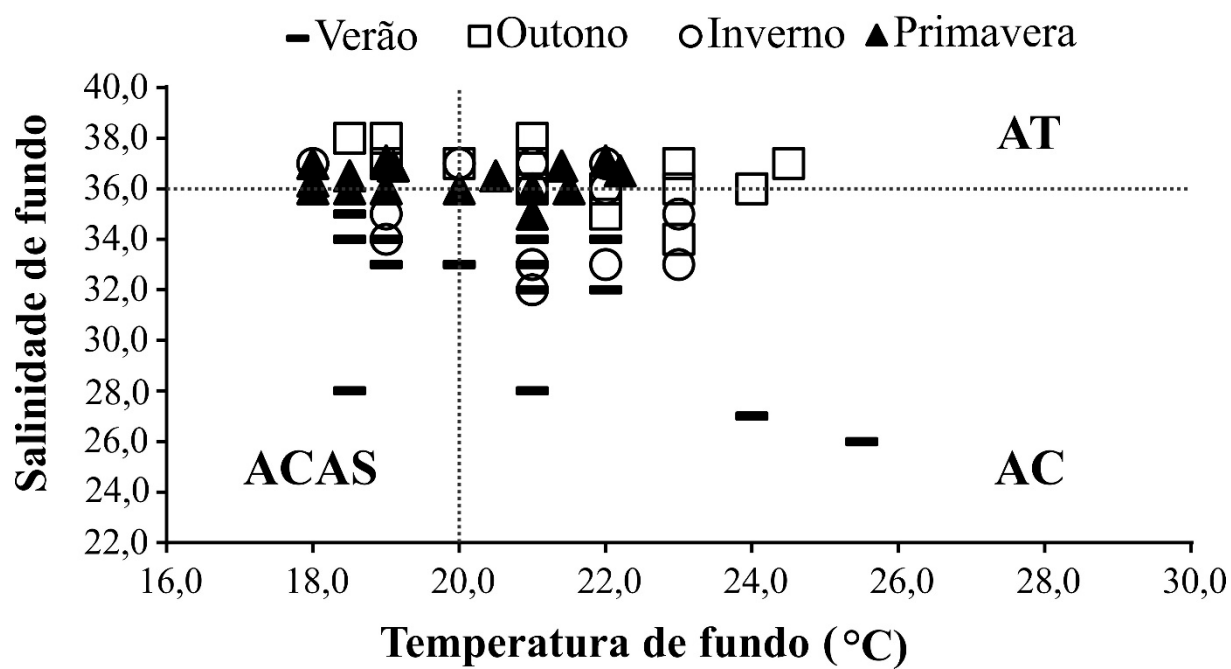


Figura 2. Espacial **(A)** e temporal **(B)** variação de valores medianos, desvio padrão, valores mínimos e máximos da salinidade (‰) da água de fundo amostrada mensalmente de julho de 2008 a junho de na região 2009 de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil.



- 1
- 2 **Figura 3.** Diagrama T-S (temperatura-salinidade) caracterizando três massas d'água
- 3 durante julho de 2008 a junho de 2009 na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil. AT =
- 4 Água Tropical, ACAS = Água Central do Atlântico Sul, AC = Água Costeira.

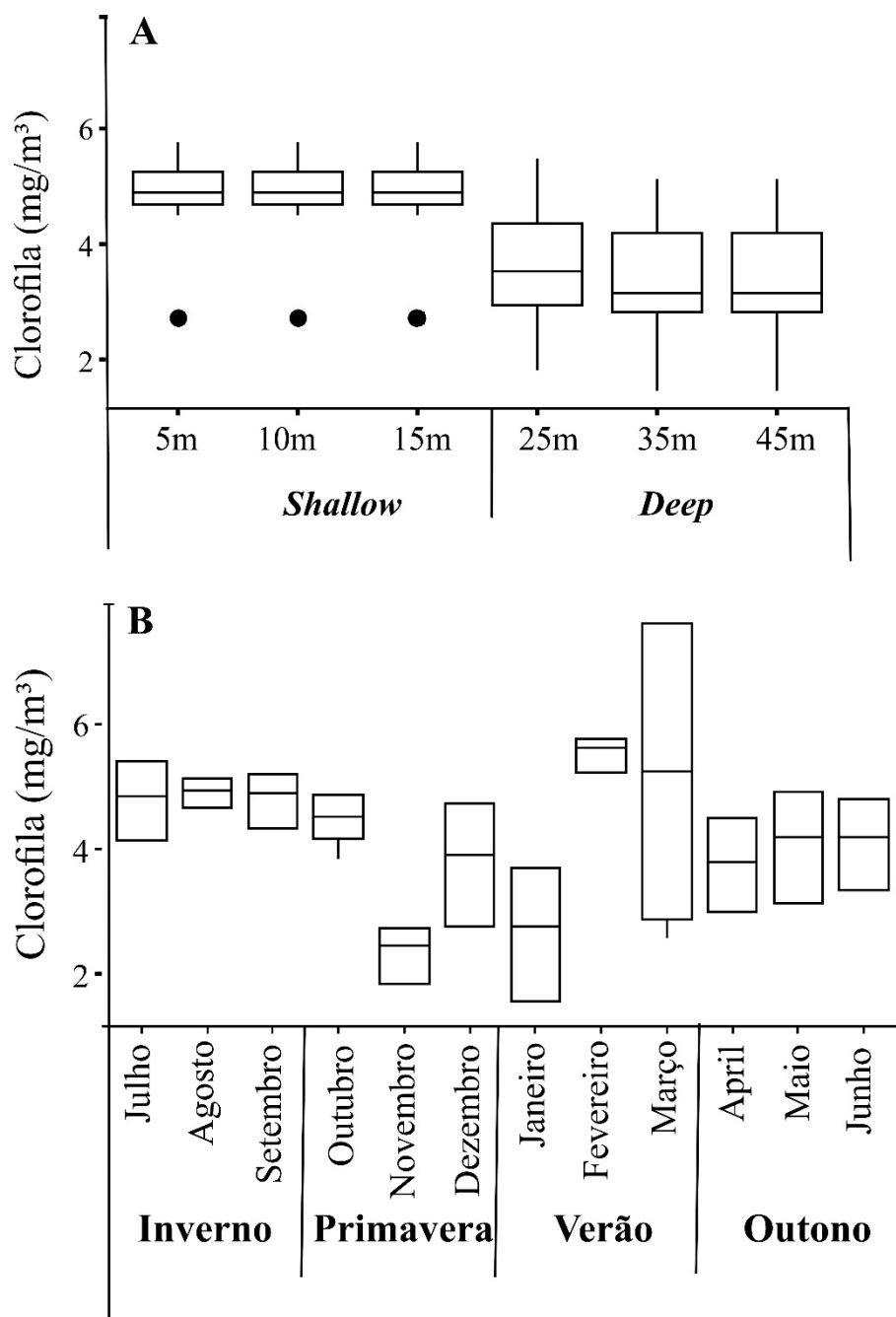


Figura 4. Espacial **(A)** e temporal **(B)** variação de valores medianos, desvio padrão, valores mínimos e máximos de clorofila-a (mg/m³) amostradas mensalmente de julho de 2008 a junho de 2009 na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil.

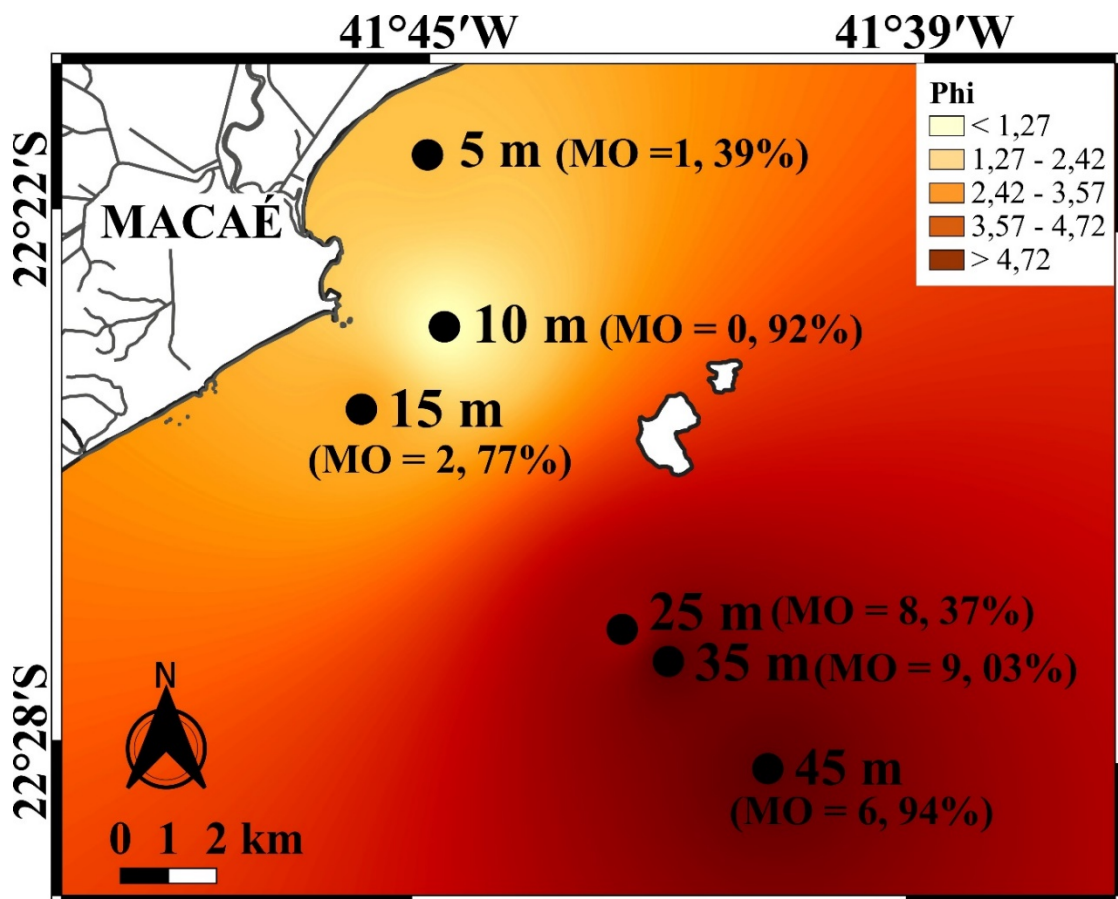


Figura 5. Valores médios de phi e porcentagem de matéria orgânica (MO) em cada profundidade amostrada durante julho de 2008 a junho de 2009 na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil.

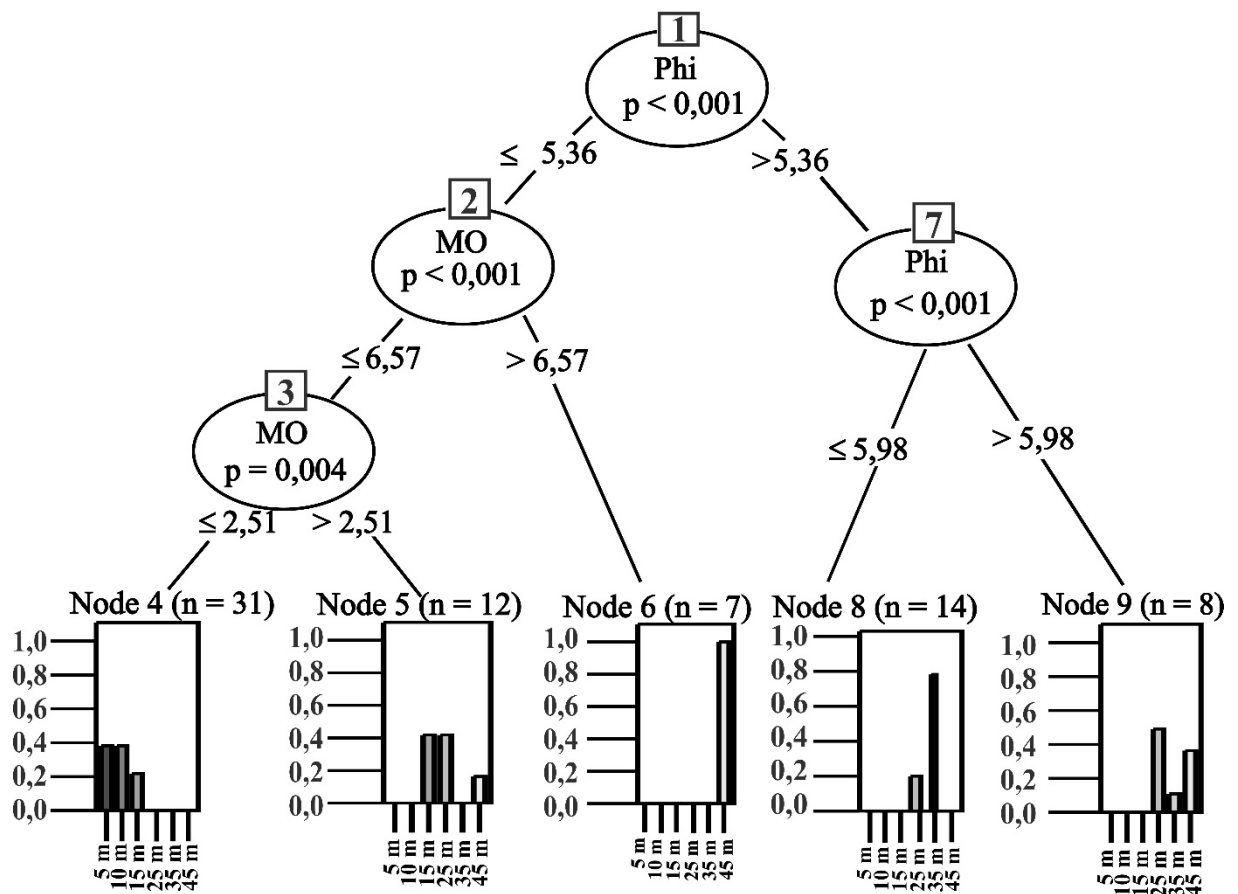


Figura 6. *Classification Tree* relacionando os fatores abióticos e as estações amostrais na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil. Os fatores significativos e os respectivos valores de p estão evidenciados dentro dos círculos. MO = matéria orgânica.

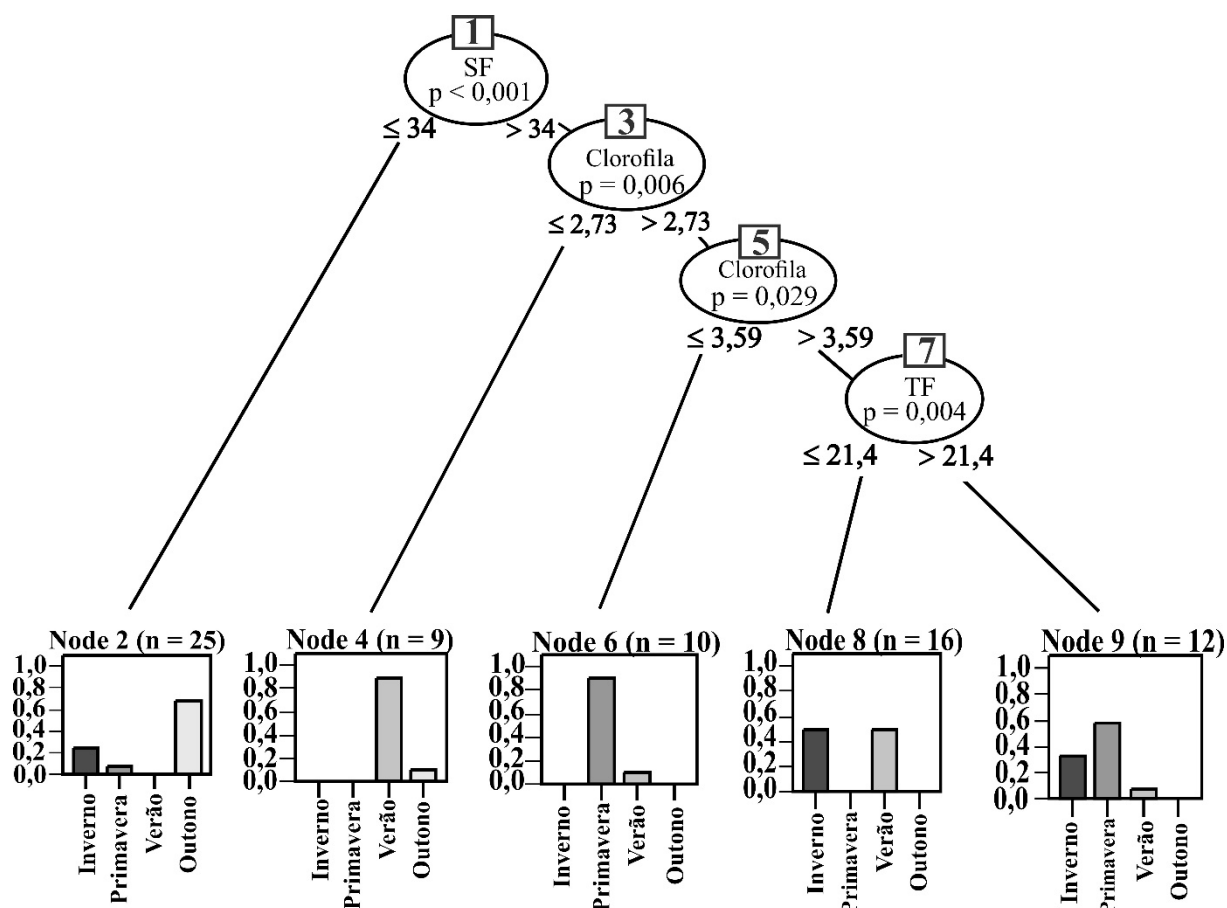


Figura 7. *Classification Tree* relacionando os fatores abióticos e as estações do ano na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil. Os fatores significativos e os respectivos valores de p estão evidenciados dentro dos círculos. SF = salinidade de fundo; TF = temperatura de fundo.

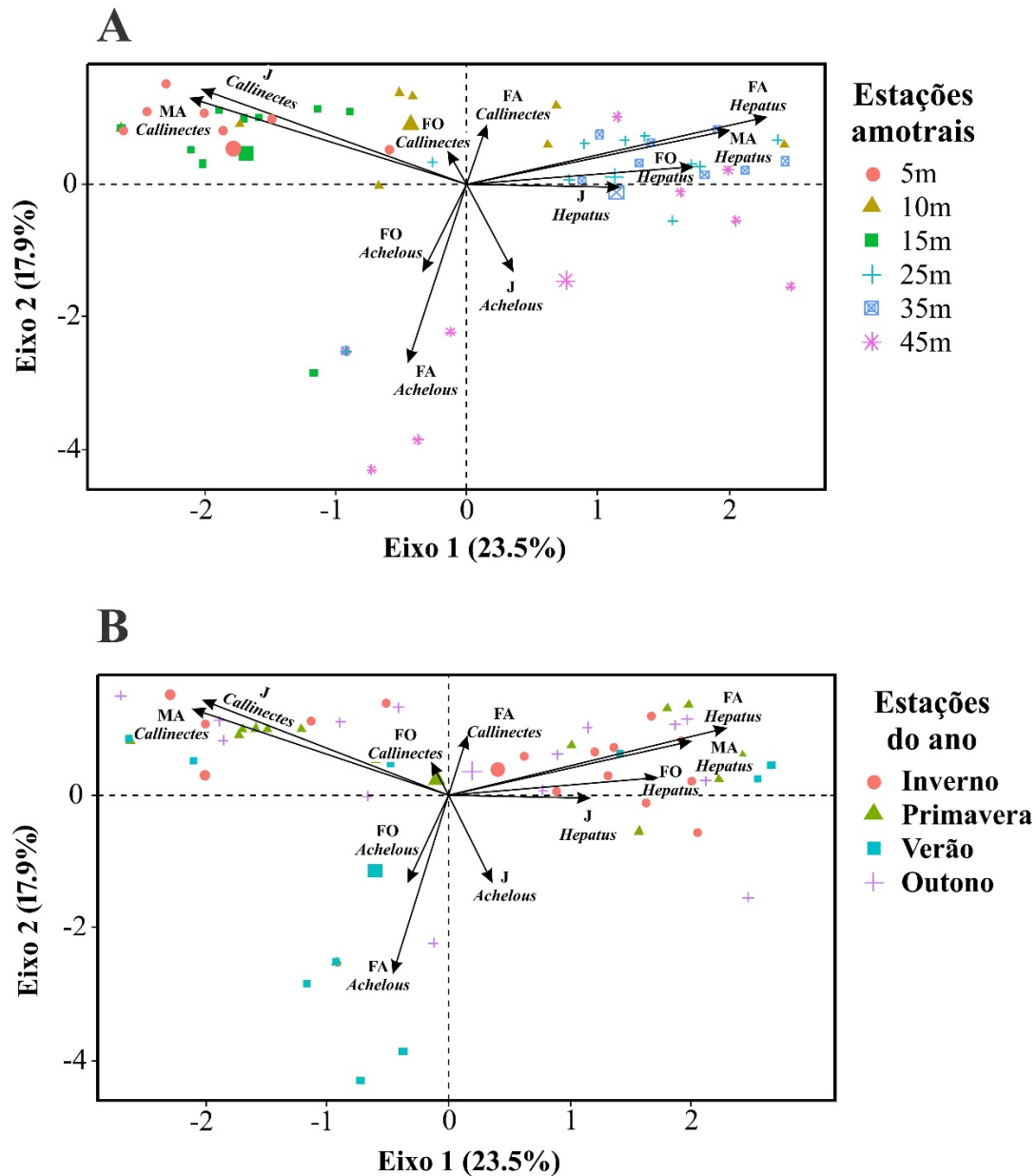
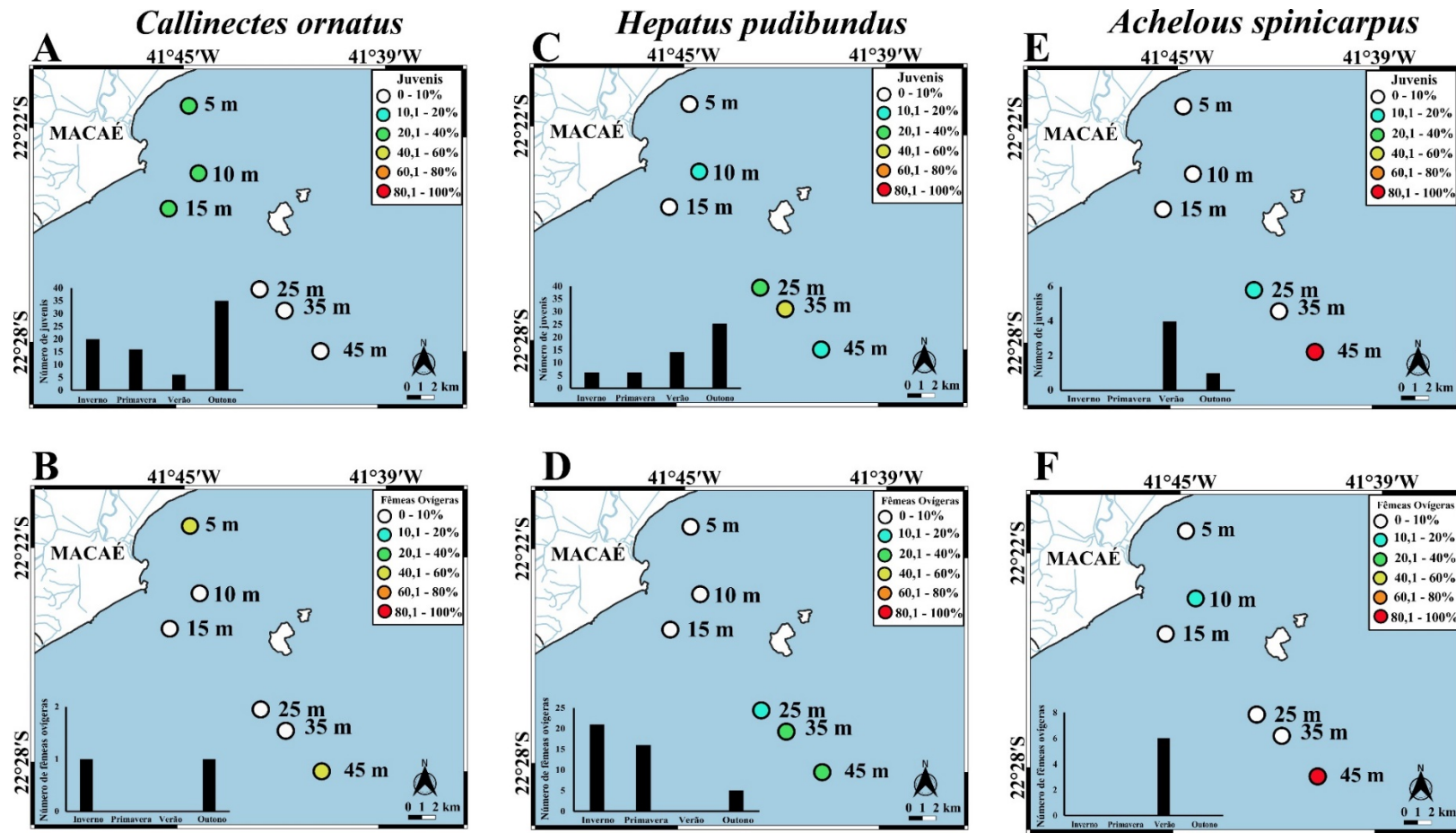


Figura 8. Espacial (A) e temporal (B) análise de correspondência dos grupos demográficos de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863, *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) e *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871 na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil. J *Callinectes* = juvenis de *Callinectes ornatus*; MA *Callinectes* = machos adultos de *Callinectes ornatus*; FA *Callinectes* = fêmeas adultas de *Callinectes ornatus*; FO *Callinectes* = fêmeas ovígeras de *Callinectes ornatus*; J *Hepatus* = juvenis de *Hepatus pudibundus*; MA *Hepatus* = machos adultos de *Hepatus pudibundus*; FA *Hepatus* = fêmeas adultas de *Hepatus pudibundus*; FO *Hepatus* = fêmeas ovígeras de *Hepatus pudibundus*; J *Achelous* = juvenis de *Achelous spinicarpus*; MA *Achelous* = machos adultos de *Achelous spinicarpus*; FA *Achelous* = fêmeas adultas de *Achelous spinicarpus*; FO *Achelous* = fêmeas ovígeras de *Achelous spinicarpus*.



1

2 **Figura 9.** Espacial e temporal variação na abundância de juvenis e fêmeas ovigeras de *Callinectes ornatus* *Callinectes ornatus* Ordway,
 3 1863 (A, B), *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (C, D) e *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871(E, F) na região de Macaé, Rio de Janeiro,
 4 Brasil.

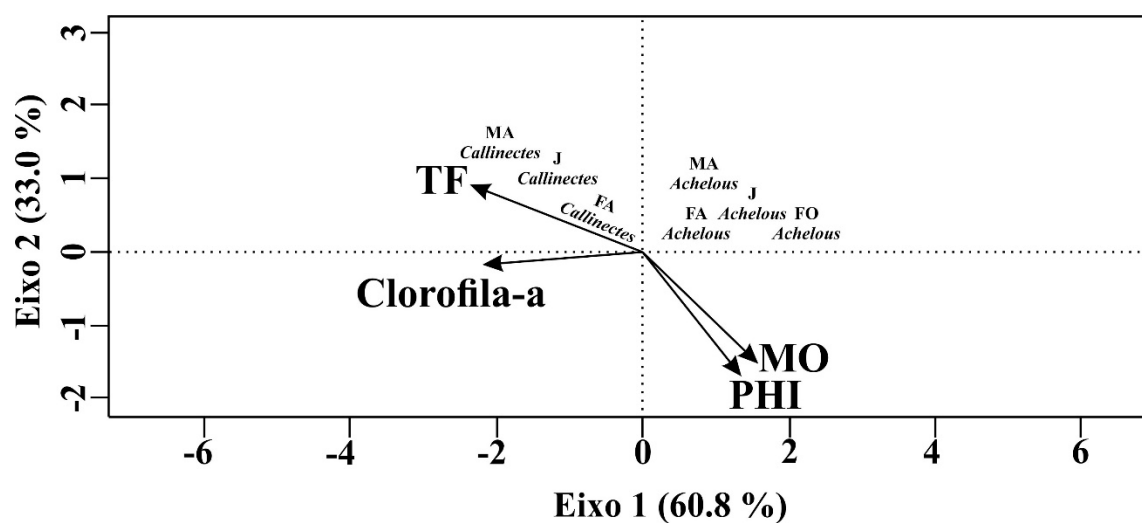


Figura 10. Resultados da análise de redundância (AR): ordenação dos dois primeiros eixos canônicos, com dados das variáveis ambientais e abundância dos grupos demográficos de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863, *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) e *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871 na região de Macaé. Apenas os coeficientes maiores ou iguais a +0,4 e -0,4 foram considerados ecologicamente relevantes (Rakocinski et al., 1996) e estão evidenciados na figura. J *Callinectes* = juvenis de *Callinectes ornatus*; MA *Callinectes* = machos adultos de *Callinectes ornatus*; FA *Callinectes* = fêmeas adultas de *Callinectes ornatus*; J *Achelous* = juvenis de *Achelous spinicarpus*; MA *Achelous* = machos adultos de *Achelous spinicarpus*; FA *Achelous* = fêmeas adultas de *Achelous spinicarpus*; FO *Achelous* = fêmeas ovígeras de *Achelous spinicarpus*.

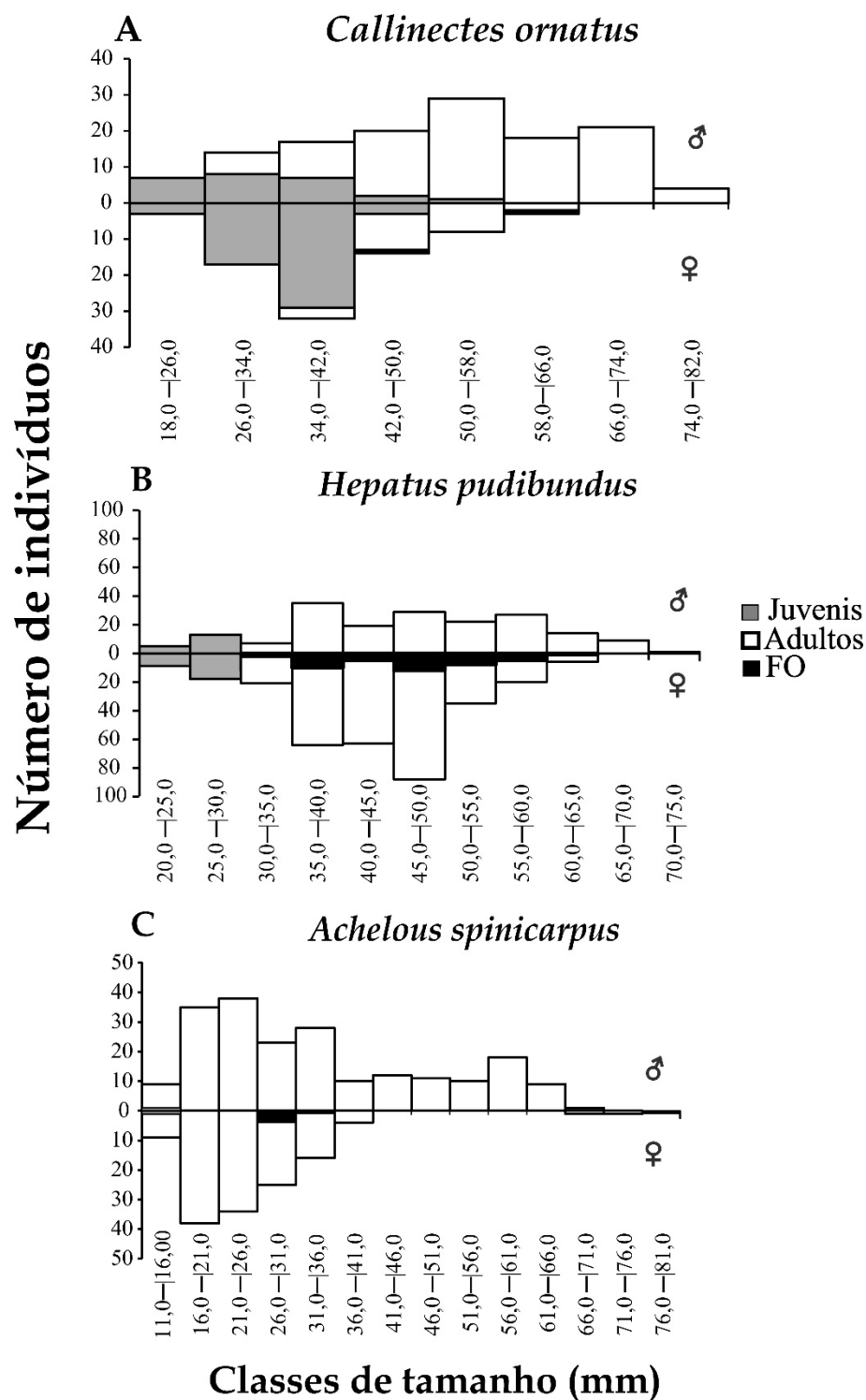


Figura 11. Distribuição de frequência por classe de tamanho, de *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (A), *Hepatus pudibundus* (Herbst, 1785) (B) e *Achelous spinicarpus* Stimpson, 1871 (C) coletados na região de Macaé durante julho de 2008 a junho de 2009 na região de Macaé, Rio de Janeiro, Brasil. FO = fêmeas ovígeras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

2 Esta tese abordou informações relevantes sobre os efeitos da ressurgência na riqueza, a
3 abundância, a diversidade e a dinâmica populacional de espécies de Brachyura na região de
4 Macaé, Rio de Janeiro.

5 Um total de 1.221 caranguejos foram amostrados, compreendendo 11 espécies. Os
6 braquiúros mais abundantes foram: *Hepatus pudibundus*, *Callinectes ornatus* e *Achelous*
7 *spinicarpus*. O maior índice de diversidade foi registrado no 5m de profundidade e o menor no
8 25m. Os índices ecológicos foram inversamente proporcionais à matéria orgânica e ao phi.
9 Sugerindo que o sedimento heterogêneo de áreas rasas aumenta a complexidade do habitat,
10 maximizando, portanto, a biodiversidade. Os menores valores de temperatura provocados pela
11 ressurgência modularam a distribuição das espécies, gerando uma ocupação distinta quando
12 comparada com regiões que não estão sob a influência desse fenômeno.

13 Ao analisar a dinâmica populacional de *C. ornatus*, *H. pudibundus* e *A. spinicarpus*
14 ficou evidenciado que a distribuição da maior parte dos grupos demográficos dessas espécies
15 não se sobrepõe, gerando uma distribuição em mosaico. Os baixos valores de TF, provocados
16 pela ressurgência, não contribuíram para que *C. ornatus* completasse seu ciclo de vida na
17 região, no entanto, a grande produtividade primária do local facilita o estabelecimento de
18 juvenis, se tornando uma possível área de berçário para essa espécie. A grande disponibilidade
19 de alimento provocada pela ressurgência e as características do sedimento, possivelmente,
20 contribuíram para abundância de *H. pudibundus*. O siri *A. spinicarpus* teve sua abundância
21 beneficiada, principalmente, pelos baixos valores de temperatura da área de estudo.

22 Ademais, nossos resultados inéditos sobre os Brachyura na região de Macaé
23 evidenciaram características populacionais singulares para as três espécies de caranguejos mais
24 abundantes. Sendo assim, torna-se necessário que todas as mudanças, diretas e indiretas, que
25 ocorram no local sejam monitoradas para evitar danos aos estoques destas espécies e,
26 provavelmente, de outras que compõem a comunidade bentônica.