

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

Material Suplementar Ambiente Marinho

Tema: Fitoplâncton

RT- 44/ NOV 23

RSE2023 PMBA/Fest

Vitória,

Novembro de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	RESULTADOS DOS INDICADORES	3
2.1	ÍNDICE DE QUALIDADE DO FITOPLÂNCTON	4
2.2	DIVERSIDADE SHANNON	6
3	REFERÊNCIAS	7

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS – Malha e Frequência amostral**, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) **MS – Mapas das malhas amostrais**, com a espacialização histórica referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais coletadas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais coletadas a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

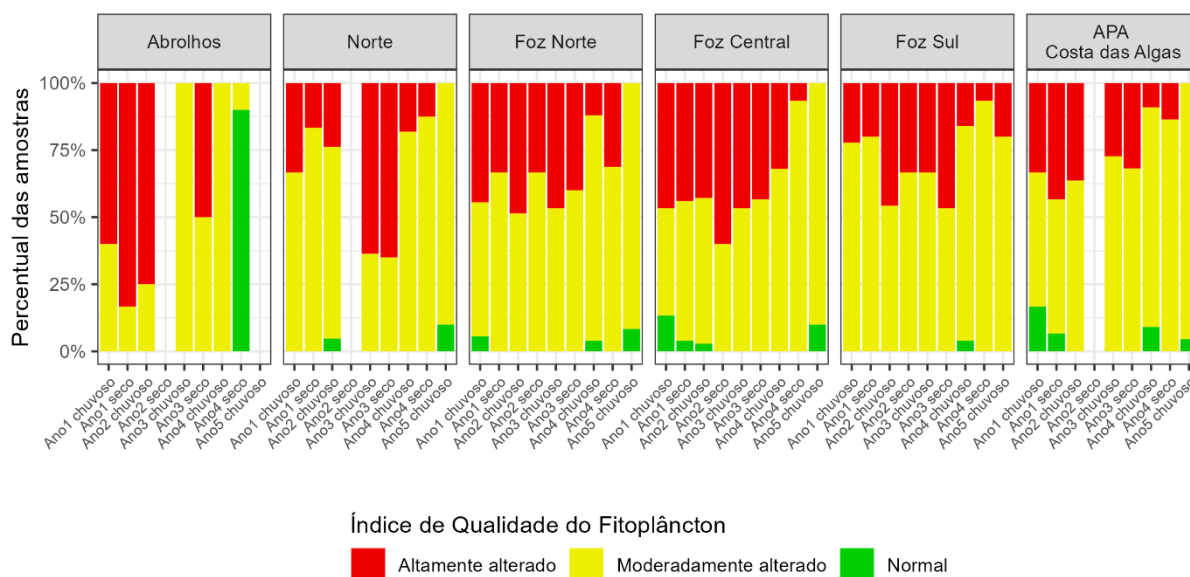
2 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – março/2023) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest vêm se consolidando ao longo do monitoramento e, seguindo a proposta estabelecida desde o Relatório Anual de 2022 (RA2022), a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

2.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DO FITOPLÂNCTON

Figura 1: Índice de qualidade do fitoplâncton do fitoplâncton do Setor Abrolhos, Norte, Foz Norte, Foz Central, Foz Sul e APA Costa das Algas nas campanhas amostrais realizadas no PMBA/Fest, durante o Ano 1 (outubro/2018 a setembro/2019), Ano 2 (outubro/2019 a março/2020), Ano 3 (dezembro/2020 a setembro/2021), Ano 4 (outubro/2021 a setembro/2022) e Ano 5 (outubro/2022 a março/2023), no período seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março). Entre abril/2020 e novembro/2020 ocorreu suspensão das atividades devido à pandemia da Covid-19.

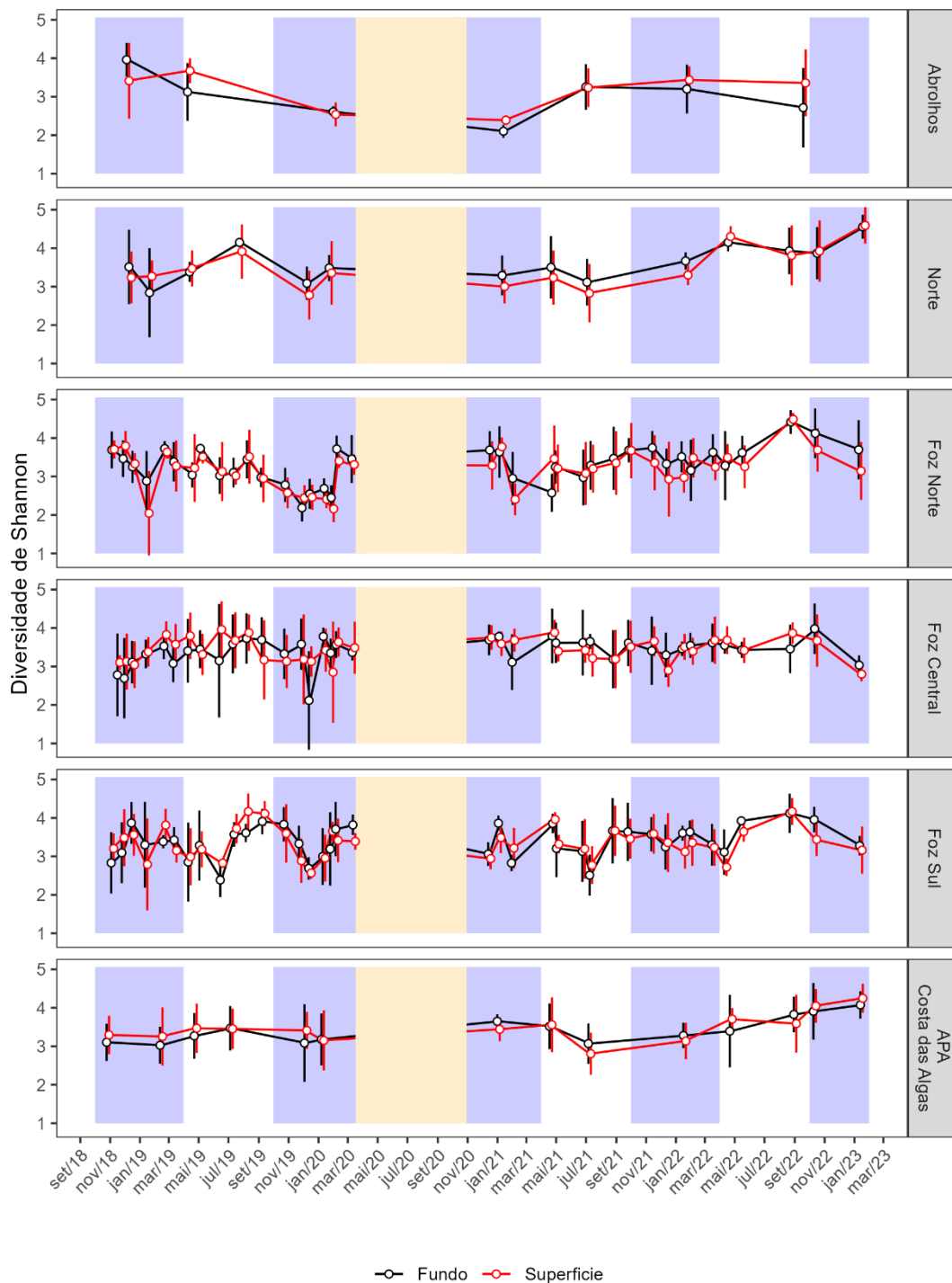


O Índice de Qualidade do Fitoplâncton aponta uma comunidade fitoplanctônica de moderadamente a altamente alterada, estando na maioria das coletas fora da normalidade, com as comunidades da Foz sendo as mais “Altamente alteradas” e estando o índice “Normal”, mesmo que em reduzidas proporções, mais restrito aos dois primeiros anos do monitoramento e no período chuvoso e na última estação seca (Ano 4) em Abrolhos (Figura 1). Observou-se que, ainda que o índice de qualidade ambiental apresente uma comunidade predominantemente alterada ao longo do tempo e espaço, o índice “Altamente alterado” apresentou um padrão de redução ao longo do monitoramento, exceto no setor Foz Sul, com aumento no período chuvoso do Ano 5, quando comparado com o Ano 4 (seco e chuvoso). Assim como observado em Abrolhos no Ano 4, não foram registradas comunidades fitoplanctônicas “Altamente alteradas”, e o aumento da frequência da condição “Normal” (quando comparado com ao Ano 4 nos Setores Norte, Foz (Norte e Central) e APA Costa das Algas. Com base nisso, considerando todo o monitoramento, pode-se constatar melhora nas condições ambientais em todos os setores, visto que nos setores Abrolhos, APA Costa das Algas e nos da Foz, o índice moderadamente alterado apresentou percentagens superiores a 50% a partir do Ano 3, com concomitante diminuição da frequência de condições “Altamente alterado”. Tal panorama pode ser devido a melhora na saúde fisiológica da comunidade fitoplanctônica ao longo do tempo nos setores monitorados, com valores de clorofila similares ao apresentado em período pré-rompimento e superando os de feopigmentos, o que poderia pressupor que a comunidade estaria em condições de estabilidade, com contínuos processos de reinício de sucessão da comunidade recém-perturbada, seja pelo aporte de material do Rio Doce em períodos de maior precipitação, bem como pela ressuspensão

dos nutrientes para a coluna d'água por causa de eventos de aumento de energia das ondas na região monitorada (RRDM, 2022). Os dados de clorofila ativa e da composição quantitativa ao longo do monitoramento, que foram marcadas pelo aumento da contribuição de espécimes frágeis como os da Classe dos coccolitoforídeos, podem justificar a crescente percentagem da condição moderadamente alterado ao longo do tempo, indicando uma possível recuperação da comunidade, embora a comunidade ainda apresente elevados valores de densidade, com picos de densidades sobretudo nos setores da Foz. Já a comunidade fitoplanctônica dos setores da Foz Norte, Foz Central e Foz Sul se encontram nas condições de maiores percentuais do índice "Altamente alterada", pois os organismos nessa região são afetados de igual modo em função da sua proximidade com o Rio Doce, estando sob a influência da pluma do Rio e mais suscetíveis as alterações deletérias. Cabe mencionar que maiores percentagens do índice "Altamente alterado" ocorreram nos setores Norte, Ano 3, e principalmente Abrolhos nos períodos seco do Ano 1 e chuvoso do Ano 2 demonstrando que a comunidade fitoplanctônica ainda prossegue sob a influência dos constantes distúrbios do ambiente, pois em Abrolhos, os períodos seco e chuvoso dos Anos 1 e 2, respectivamente, foram marcados pela tempestade tropical Iba, considerada a mais intensa dos últimos 10 anos no litoral brasileiro (RRDM, 2022).

2.2 DIVERSIDADE SHANNON

Figura 2: Variação da Diversidade de Shannon (diversidade específica) do fitoplâncton na superfície e fundo do Setor Abrolhos, Norte, Foz Norte, Foz Central, Foz Sul e APA Costa das Algas nas campanhas amostrais realizadas no PMBA/Fest, durante o Ano 1 (outubro/2018 a setembro/2019), Ano 2 (outubro/2019 a março/2020), Ano 3 (dezembro/2020 a setembro/2021), Ano 4 (outubro/2021 a setembro/2022) e Ano 5 (outubro/2022 a março/2023), sendo representado em branco o período seco e em cinza o período chuvoso. Entre abril/2020 e novembro/2020 ocorreu suspensão das atividades devido à pandemia da Covid-19.



A diversidade de Shannon da comunidade fitoplanctônica apresentou valores acima de 3,00 bits.organismo⁻¹ em todos os setores, sendo as diversidades da comunidade ao longo do monitoramento, no período chuvoso, um pouco superiores às apresentadas no período seco, sobretudo na Foz Norte, Foz Central e Foz Sul. Entretanto, nesses setores, houve evidente diminuição da diversidade durante o período chuvoso do Ano 5. De maneira oposta, foi registrada melhora na diversidade nos setores Norte e APA Costa das Algas, sendo esta observada desde o período seco do Ano 3. Os maiores valores de diversidade da comunidade desses setores ocorreram no período chuvoso do Ano 5, atingindo valores maiores que 4,00 bits.organismo⁻¹, sendo os maiores observados em todo o monitoramento. Não foi observado um padrão de evolução temporal evidente para a diversidade específica no setor da Foz Central. Contudo, foi observada tendência de variação temporal no Setor Foz Norte e Sul, com tendência a diminuição da diversidade nos períodos chuvosos, inclusive com diminuição evidente no período chuvoso do Ano 5.

3 REFERÊNCIAS

- BENJAMINI, Y.; HOCHBERG, Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal statistical society: series B (Methodological)*, v. 57, n. 1, p. 289-300, 1995.
- BOLYEN, E.; RIDEOUT J.R.; DILLON, M.R.; BOKULICH, N.A.; ABNET, C. C.; AL-GHALITH, G.A.; ALEXANDER, H.; ALM, E.J.; ARUMUGAM, M.; ASNICAR, F.; BAI, Y.; BISANZ, J.E.; BITTINGER, K.; BREJNROD, A.; BRISLAWN, C. J.; TITUS BROWN, C.; CALLAHAN, B.J.; CARABALLO-RODRÍGUEZ, A. M.; CHASE, J.; COPE, E. K.; DA SILVA, R.; DIENER, C.; DORRESTEIN, P.C.; DOUGLAS, G. M.; CAPORASO, J. G. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nature biotechnology*, v. 37, n. 8, p. 852-857, 2019.
- CALLAHAN, B.J.; MCMURDIE, P.J.; ROSEN, M.J.; HAN, A.W.; JOHNSON, A.J.A.; HOLMES, S.P., DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature methods*, 13 (7), pp.581, 2016.
- CAPORASO, J.G.; LAUBER, C.L.; WALTERS, W.A.; BERG-LYONS, D.; HUNTLEY, J.; FIERER, N., OWENS, S.M.; BETLEY, J.; FRASER, L.; BAUER, M.; GORMLEY, N. Ultra-high-throughput microbial community analysis on the Illumina HiSeq and MiSeq platforms. *The ISME journal*, 6 (8), pp.1621-1624, 2012.
- CHRÉTIENNOT-DINET, M.J. Atlas du phytoplancton marin. Volume III: Chlorarachnophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées, Euglénophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Prymnesiophycées, Rhodophycées et Tribophycées Avec la collaboration de Chantal Billard et Alain Sournia. pp. [1]-261. Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique 15, quai Anatole France - 75700 Paris. 1990.
- DAJOZ, R. Ecologia Geral. São Paulo, Vozes. 472p.,1973.

DE VARGAS, C.; AUDIC, S.; HENRY, N.; DECELLE, J.; MAHÉ, F.; LOGARES, R.; LARA, E.; BERNEY, C.; LE BESCOT, N.; PROBERT, I.; CARMICHAEL, M. Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*, 348(6237), p.1261605.-583, 2015.

DECELLE, J.; ROMAC, S.; STERN, R.F.; BENDIF, E.M.; ZINGONE, A.; AUDIC, S.; GUIRY, M.D.; GUILLOU, L.; TESSIER, D.; LE GALL, F.; GOURVIL, P. Phyto REF: a reference database of the plastidial 16S rRNA gene of photosynthetic eukaryotes with curated taxonomy. *Molecular ecology resources*, 15(6), pp.1435-1445, 2015.

DUBELAAR, G.B.J.; JONKER, R.R. Flow cytometry as a tool for the study of phytoplankton. *Sci. Mar.* v. 64, p. 135-156, 2000.

ESTEVEES, F.A. 2011. *Fundamentos de Limnologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.

GUILLOU, L.; BACHAR, D.; AUDIC, S.; BASS, D.; BERNEY, C.; BITTNER, L.; BOUTTE, C.; BURGAUD, G.; DE VARGAS, C.; DECELLE, J.; DEL CAMPO, J.; DOLAN, J.R.; DUNTHORN, M.; EDVARDESEN, B.; HOLZMANN, M.; KOOISTRA, W.H.C.F.; LARA, E.; LE BESCOT, N.; LOGARES, R.; MAHÉ, F.; MASSANA, R.; MONTRESOR, M.; MORARD, R.; NOT, F.; PAWLOWSKI, J.; PROBERT, I.; SAUVADET, A.-L.; SIANO, R.; STOECK, T.; VAULOT, D.; ZIMMERMANN, P.; CHRISTEN, R. The Protist Ribosomal Reference database (PR2): a catalog of unicellular eukaryote small sub-unit rRNA sequences with curated taxonomy. *Nucleic acids research*, v. 41, n. D1, p. D597-D604, 2012.

HILL, M.O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54 (2): 427-432. 1973.

KIRCHMAN, D. L. *Microbial Ecology of the Oceans*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 593p. 2008.

KIRK, J. T. O. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge University Press, 401p. 1986.

KIRK, J.T.O. 1994. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. 2nd. Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 528.

KLÖPPER, S.; JOHN, U.; ZINGONE, A.; MANGONI, O.; KOOISTRA, W.H.C.; CAMBELL, A. Phylogeny and morphology of a *Chattonella* (Raphidophyceae) species from the Mediterranean Sea: what is *C. subsalsa*? *Eur. J. Phycol.* 48, 79–92, 2013.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 3ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.

LI, W.K.W. Cytometric diversity in marine ultraphytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 42(5): 874-880. 1997.

LI, W.K.W.; DICKIE, P.M. 2001. Monitoring phytoplankton, bacterioplankton, and virioplankton in a coastal inlet (Bedford Basin) by Flow Cytometry. *Cytometry*, n. 44, p.236-246.

LUND J. W. G.; KIPLING, C. R., LENCREN, E.D. The inverted microscope method of estimating alga number and statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia*, v.11, p. 143- 170, 1958.

MAGURRAN, A.E.; MCGILL, B.J. 2011. Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment. Oxford: Oxford University Press.

MARGALEF, R. Diversity. In: SOURNIA, A. (Ed.). Phytoplankton manual. Paris: Muséum National d'Histoire Naturelle. UNESCO, 1976.

MARIE D., RIGAUT-JALABERT F., VAULOT, D. An improved protocol for flow cytometry analysis of phytoplankton cultures and natural samples. Cytometry, v. 85, p. 962–968, 2014.

NEVEUX, J.; LANTOINE, F. Spectrofluorometric assay of chlorophylls and phaeopigments using the least squares approximation technique. Deep-Sea Res. I, v. 40, p. 1747-1765, 1993.

NEVEUX, J.; PANOUSE, M. 1987. Spectrofluorimetric determination of chlorophylls and pheophytins. Archiv für Hydrobiologie, Vol. 109 (4): 567-58.

OKSANEN J., F. G. BLANCHET, R. KINDT, P. LEGENDRE, P. R. MINCHIN, R. B. O'HARA, G. L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M. H. H. STEVENS, E. SZOECS; H. WAGNER, 2020. Package 'vegan'. R package version 2.5-7. <http://cran.rproject.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>.

PARADA, A.E.; NEEDHAM, D.M.; FUHRMAN, J.A. Every base matters: assessing small subunit rRNA primers for marine microbiomes with mock communities, time series and global field samples. Environmental microbiology, 18(5), pp.1403-1414, 2016.

PIELOU, E. C. Mathematical ecology. New York: Wiley. 1977.

PIELOU, E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology, v.13, p.131-144, 1966.

PROPS R. et al. Measuring the biodiversity of microbial communities by flow cytometry. Methods Ecol. Evol. v. 7, p. 1376-1385, 2016.

QUAST, C.; PRUESSE, E.; YILMAZ, P.; GERKEN, J.; SCHWEER, T.; YARZA, P.; PEPLIES, J.; GLÖCKNER, F.O. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. Nucleic acids research, 41(D1), pp. D590-D596., 2012.

R CORE TEAM, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>.

REYNOLDS, C.S. 2006. Ecology of phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 535p.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Ambiente Marinho. RT-39D, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 1410 pag. 2022.

SALOMON, P.S.; JANSON, S.; GRANÉLI, E. Molecular identification of bacteria associated with filaments of *Nodularia spumigena* and their effect on the cyanobacterial growth. Harmful Algae, 2(4), pp.261-272., 2003.

SHANNON, C.E.; WEAVER, W. The mathematical theory of communication. Illinois. University Press. Urbana, 1963.

SOURNIA, A. 1986. Atlas du phytoplancton marin. Volume I: Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidiophycées. Éditions du Centre National de La Recherche Scientifique, Paris. 1986.

TENÓRIO, M.M.B.; LE BORGNE, R.; RODIER, M.; NEVEUX, J. 2005. The impact of terrigenous inputs on the Bay of Ouinné (New Caledonia) phytoplankton communities: A spectrofluorometric and microscopic approach. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 64: 531-545.

TOMAS, C.R. Identifying Marine Phytoplankton. San Diego: Academic Press, 1997.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton – methodik. Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol., v.9, p. 1–38. 1958.

VANZAN M. et al. Picoplankton and nanoplankton variability in an Antarctic shallow coastal zone (Admiralty Bay) during the austral summer of 2010/2011. Polar Biol. v.38, p. 1-18, 2015. ARIF, C. et al. Assessing Symbiodinium diversity in scleractinian corals via next-generation sequencing-based genotyping of the ITS2 rDNA region. Mol. Ecol. v. 23, p. 4418-4433, 2014.