

**As Ciências do Mar
em todos os seus Aspectos**

**Tayronne de Almeida Rodrigues
João Leandro Neto
Dennyura Oliveira Galvão
(Organizadores)**

Tayronne de Almeida Rodrigues
João Leandro Neto
Dennyura Oliveira Galvão
(Organizadores)

As Ciências do Mar em todos os seus Aspectos

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Lorena Prestes
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	As ciências do mar em todos os seus aspectos [recurso eletrônico] / Organizadores Tayronne de Almeida Rodrigues, João Leandro Neto, Dennyura Oliveira Galvão. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-448-1 DOI 10.22533/at.ed.481190907 1. Biologia marinha. 2. Ciências marinhas. 3. Oceanografia. I. Rodrigues, Tayronne de Almeida. II. Leandro Neto, João. III. Galvão, Dennyura Oliveira. CDD 551.46
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O mar representa para o Homem desde as mais antigas datas uma fonte de mistérios, um universo repleto de criaturas com formas fantásticas e inimagináveis e essa forma de pensar tornava mais restrita a exploração marinha e o aprofundamento de pesquisas. Em 380 A.C., o filósofo grego Aristóteles foi o primeiro a estudar os oceanos com um cunho mais científico.

As ciências do mar lidam diretamente com região costeira e a região oceânica, pois trabalha em seus diferentes aspectos, com a cultura, a função dinâmica dos sistemas e também a interação do homem com esses princípios, considerando os aspectos biológicos, físicos e químicos. A oceanografia se divide em cinco áreas: oceanografia física, oceanografia química, oceanografia biológica, oceanografia geológica e oceanografia social. Possui também subáreas: paleoceanografia, a biogeoquímica marinha, a ecotoxicologia marinha, podendo existir outras.

Esta obra é de grande relevância, pois apresenta estudos pertinentes para a comunidade acadêmica que busca ampliar seus conhecimentos nos estudos sobre as Ciências do Mar. Apresentamos este volume em onze capítulos com abordagem em pesquisas científicas sobre os macroinvertebrados, biodiversidade algal, mudanças climáticas, moluscos marinhos, medicina popular, variabilidade genética, modelagem oceânica, oceanografia operacional e etnofarmacologia. Que estas contribuições possam refletir em futuros estudos para o crescimento das ciências do mar e todos os seus aspectos.

Tayronne de Almeida Rodrigues
João Leandro Neto
Dennyura Oliveira Galvão

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INDICADORES BIOLÓGICOS DE ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS	
Thamires Barroso Lima	
Carmen Helen da Silva Rocha	
Jamerson Aguiar Santos	
Gabriel Silva dos Santos	
Simone Karlla Lima e Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4811909071	
CAPÍTULO 2	14
USE OF PEN SQUID (<i>Loligo sp</i>) FOR THE TREATMENT OF RESPIRATORY DISEASES: AN ETHNOPHARMACOLOGICAL SURVEY	
Giovanna dos Passos	
Ana Angélica Steil	
DOI 10.22533/at.ed.4811909072	
CAPÍTULO 3	20
MONITORAMENTO DA MALACOFAUNA DE COSTÕES ROCHOSOS NA ÁREA DA CENTRAL NUCLEAR ALMIRANTE ÁLVARO ALBERTO, BAÍA DA ILHA GRANDE, ANGRA DOS REIS/RJ, BRASIL	
Rodrigo Martins de Amorim	
João Pedro Garcia Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.4811909073	
CAPÍTULO 4	29
MALACOFAUNA ACOMPANHANTE DA PESCA INDUSTRIAL DE ARRASTO CAMAROEIRO NA PLATAFORMA DO AMAPÁ, LITORAL NORTE DO BRASIL	
Wagner Cesar Rosa dos Santos	
Rafael Anaisce das Chagas	
Mara Rúbia Ferreira Barros	
Marko Herrmann	
Alex Gargia Cavalleiro de Macedo Klautau	
DOI 10.22533/at.ed.4811909074	
CAPÍTULO 5	43
MONITORAMENTO DA DIVERSIDADE DE MACROALGAS NA ILHA DA TRINDADE: CONSERVAÇÃO E IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS, FRENTE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	
Franciane Pellizzari	
DOI 10.22533/at.ed.48119090745	
CAPÍTULO 6	65
VARIABILIDADE GENÉTICA DE DUAS LINHAGENS COMERCIAIS DE CAMARÃO EXPOSTAS EXPERIMENTALMENTE AO VÍRUS DA MIONECROSE INFECCIOSA (IMNV)	
Lucas Lima de Oliveira	
Jamille Martins Forte	
Luiz Fagner Ferreira Nogueira	
Rodrigo Maggioni	
DOI 10.22533/at.ed.48119090746	
CAPÍTULO 7	78
A REDE DE MODELAGEM E OBSERVAÇÃO OCEANOGRÁFICA (REMO): BREVE HISTÓRICO E ESTÁGIO ATUAL	
Janini Pereira	

Clemente Augusto Souza Tanajura
Mauro Cirano
Afonso de Moraes Paiva
Cesar Reinert Bulhões de Moraes
João Bosco Rodrigues Alvarenga
Renato Parkinson Martins
Jose Antonio Moreira Lima

DOI 10.22533/at.ed.48119090747

CAPÍTULO 8 88

METAL CORRELATIONS IN A RECIPROCAL MUSSELS TRANSPLANTATION: INDICATION OF PHYSIOLOGICAL RESPONSES AND BIOAVAILABILITY CONTRASTS

Ricardo O'Reilly Vasques
Aline Soares Freire
Bernardo Ferreira Braz
Ricardo Erthal Santelli
Olaf Malm
Wilson Machado

DOI 10.22533/at.ed.48119090748

CAPÍTULO 9 103

ANALYSIS OF THE CORRELATION BETWEEN SALINITY AND ENVIRONMENTAL VARIABLES IN THE ESTUARY OF THE PARAÍBA DO SUL RIVER - BRAZIL

Glenda Camila Barroso
Leonardo Bernado Campaneli da Silva
Vicente de Paulo Santos de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.48119090749

CAPÍTULO 10 118

GESTÃO DO ECOSISTEMA MANGUEZAL NO BRASIL

Mônica Maria Pereira Tognella
Marelce de Cássia Ribeiro Tosta
Gilberto Fonseca Barroso
Maykol Hoffman
Eduardo Almeida Filho

DOI 10.22533/at.ed.481190907410

CAPÍTULO 11 144

PROTOCOLO PARA CULTIVO DE ESPÉCIES DE MANGUEZAL

Mônica Maria Pereira Tognella
Andreia Barcelos Passos Lima Gontijo
Ully Depolo Barcelos
Gilberto Fillmann
Adriano Alves Fernandes
Antelmo Ralf Falqueto
Kamyla da Silva Pereira Amorim
Mateus Sandrini

DOI 10.22533/at.ed.481190907411

CAPÍTULO 12 158

INVESTIGANDO OS INVERTEBRADOS DA PLANÍCIE DE MARÉ DA PRAIA DO FORTE (NATAL, RIO GRANDE DO NORTE) PARA AULAS DE CAMPO EM ZOOLOGIA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Roberto Lima Santos

Elineí Araújo de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.481190907412

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 164

CAPÍTULO 1

INDICADORES BIOLÓGICOS DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

Thamires Barroso Lima

Faculdade de Estudos Superiores do Maranhão
São Luís – Maranhão

Carmen Helen da Silva Rocha

Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande - Rio Grande do Sul

Jamerson Aguiar Santos

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Manaus - Amazonas

Gabriel Silva dos Santos

Faculdade de Estudos Superiores do Maranhão
São Luís – Maranhão

Simone Karlla Lima e Silva

Universidade Federal do Maranhão
São Luís - Maranhão

RESUMO: Ecossistemas expostos a eventos estressantes poderão mostrar tanto as mudanças qualitativas/funcionais quanto alterações quantitativas/estruturais no funcionamento das comunidades biológicas. Desta forma, o monitoramento ambiental é uma das principais técnicas utilizadas para detectar mudanças ecológicas a curto e longo prazo no funcionamento das comunidades biológicas. Neste sentido, o objetivo deste artigo é avaliar o avanço do conhecimento da ciência ao longo de 21 anos de pesquisas realizados em diferentes partes do mundo. Para isso, foi realizada uma

revisão bibliográfica utilizando quatro bases de dados: do Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink e Scopus. Foram selecionados 172 artigos. Foi observado que a maioria dos estudos estão concentrados na Europa. Dos 14 grupos estudados, macroinvertebrados foi o grupo taxonômico mais utilizado com intuito de determinar a qualidade ambiental das áreas amostradas. Embora o conhecimento do monitoramento ambiental tenha aumentado, esta área ainda está longe ser completamente compreendida e representa um grande desafio para ciência.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores ecológicos. Biomonitoramento. Revisão.

ABSTRACT: Ecosystems exposed to stressful events may show both qualitative/functional changes and quantitative/structural changes in the functioning of biological communities. In this way, environmental monitoring is one of the main techniques used to detect ecological changes in the short and long term in the functioning of biological communities. In this sense, the objective of this article is to evaluate the advancement of knowledge of science over 21 years of research conducted in different parts of the world. For this, a bibliographic review was carried out using four databases: Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink and Scopus. We selected 172 articles. It has been

observed that most studies are concentrated in Europe. Of the 14 studied groups, macroinvertebrates was the most used taxonomic group in order to determine the environmental quality of the areas sampled. Although knowledge of environmental monitoring has increased, this area is still far from fully understood and represents a major challenge for science.

KEYWORDS: Ecological indicators. Biomonitoring. Review.

1 | INTRODUÇÃO

Cidades, indústrias e outras atividades de origem antrópica, são tradicionalmente desenvolvidas próximas aos ambientes aquáticos (Frontalini & Coccioni, 2011), tornando-se um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo (Marzin et al., 2012), pelos impactos provenientes da perda e fragmentação do habitat, contaminação e poluição industrial, doméstica, agrícola, de mineração entre outros (Loh et al., 2005).

Ecossistemas expostos a eventos estressantes poderão mostrar tanto as mudanças qualitativas/funcionais quanto alterações quantitativas/estruturais no funcionamento das comunidades biológicas (Desrosiers et al., 2013). Entre muitas estratégias sugeridas, a mais popular é adotar técnicas de monitoramento capazes de detectar mudanças ecológicas a curto e longo prazo (Siddig et al., 2016).

Os indicadores biológicos também chamados de bioindicadores indicam as condições ambientais incluindo a presença ou ausência de poluentes ou contaminantes onde eles são encontrados (Hering et al., 2010). Neste sentido, é relevância ter uma ideia comparativa da sensibilidade e eficiência dos diferentes indicadores na detecção de degradações ambientais induzidas pelo homem (Marzin et al., 2012).

Respostas às perturbações antrópicas nos ecossistemas aquáticos tem sido analisadas em diferentes partes do mundo, separadamente para diferentes grupos taxonômicos tais como: macroinvertebrados (Dimitriou et al., 2015; Júnior & Hamada, 2015), peixes (Whitfiel, 2014; Rautenberg et al., 2015; Colin, 2016; Liu et al., 2016), macroalgas (Fabricius et al., 2012; Schubert et al., 2013), fitoplâncton (Morro et al., 2012; Karim, 2014; Teittinen et al., 2015; Giorgio et al., 2016), macrófitas aquáticas (Testi et al., 2012; Beck et al., 2014; Ogunkunle et al., 2015; Harguinteguy et al., 2016), foraminíferos (Foster et al., 2012; Láng & Kőhidai, 2012) e zooplâncton (Jiang et al., 2013; Costa et al., 2016).

O motivo pelo qual a dinâmica de um ou mais grupos taxonômicos serem monitorados é derivado da hipótese que os efeitos cumulativos das mudanças ambientais são refletidos nos parâmetros demográficos como diversidade, abundância, densidade, estrutura, taxa de reprodução e taxa de crescimento (Siddig et al., 2016). Tornando o monitoramento biológico uma forma eficiente e confiável para detectar mudanças nos ecossistemas (Spellerberg, 2005).

Tais vantagens tem motivado a comunidade científica a realizarem inúmeras

pesquisas ambientais resultando em um grande número de publicações sobre espécies indicadoras, indicadores biológicos em uma variedade de revistas técnicas (Burger, 2006; Siddig et al., 2016).

Neste sentido, este trabalho trata-se de uma revisão sistemática da literatura sobre indicadores biológicos, tendo por objetivo responder as seguintes perguntas: (1) Quais grupos taxonômicos são mais utilizados como indicadores biológicos? (2) Quais vantagens estes grupos apresentam em relação aos demais? (3) Diferenças entre países desenvolvido e subdesenvolvido afetam a quantidade de publicações utilizando organismos bioindicadores? (4) Quais fatores estão contribuindo para o conhecimento relativo na área em relação ao avanço da ciência ao longo de duas décadas de biomonitoramento?

Para alcançar os objetivos propostos, realizou-se uma revisão sistemática da literatura utilizando uma combinação de sequências de pesquisa em quatro bases de dados: Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink e Scopus. A seleção dos artigos ocorreu pela proximidade com o foco do estudo, selecionando-se os termos “*Environmental Indicators*” combinado com o “*Aquatic Ecosystems*”, depois “*Biological Indicators*” e “*Environmental Quality*” e ainda “*lakes*”, “*lagoons*”, “*Rivers*”, “*Estuaries*” e “*Oceans*”. Em seguida, avaliou-se o título, resumo e palavras-chave de cada artigo, quando necessário, o restante do texto também foi analisado. Foram selecionados 172 artigos destes, 36 artigos foram excluídos por serem artigos de revisão, utilizarem indicadores ecológicos abióticos ou serem voltados para ecossistemas terrestres.

2 | METODOLOGIA

Análises Estatísticas

A quantidade de publicações por revista técnica foi medida a partir da proporção de artigos publicados em cada periódico em relação ao número total de artigos encontrados.

Para verificar se a quantidade de artigos publicados ao longo dos anos apresentavam uma distribuição normal, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Em seguida, a correlação de Spearman foi utilizada para verificar possíveis associações temporais entre as variáveis número de artigos e anos.

O esforço de pesquisa por continente foi medido a partir da proporção de artigos publicados em cada localidade em relação ao número total de artigos encontrados para o tema proposto.

A influência de países desenvolvidos no estudo sobre organismos bioindicadores foi avaliada a partir da categorização do desenvolvimento econômico baseado no GNI per capita nacional (World Bank, 2014): ≤ 10 , $> 10 \leq 30$ e > 30 vezes a renda necessária para viver no limiar da pobreza (USD 540,5 por pessoa ao ano; Ravallion et al., 2009).

O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para avaliar a variação média entre as variáveis esforço de pesquisa para os grupos taxonômicos e categorias de desenvolvimento econômico.

Diferenças entre a quantidade de publicações por grupo taxonômico foi verificada a partir da análise de covariância (ANCOVA) ao nível de significância de 5%.

Os testes estatísticos e a análise de correlação de Spearman foram conduzidos na plataforma R versão 3.2.2 (R Core Team, 2015).

3 | RESULTADOS

Foram revisados 136 artigos científicos distribuídos em 32 revistas, destas, foi possível observar que 16 revistas apresentavam os maiores números de publicações com destaque para *Ecological Indicators*, *Marine Pollution Bulletin*, *Science of the Total Environment* e *Marine Environmental Research* (Fig. 1). Uma análise dos objetivos e metodologias desses trabalhos revela que todos os artigos abordam a associação de organismos bioindicadores com impactos ambientais em ecossistemas aquáticos.

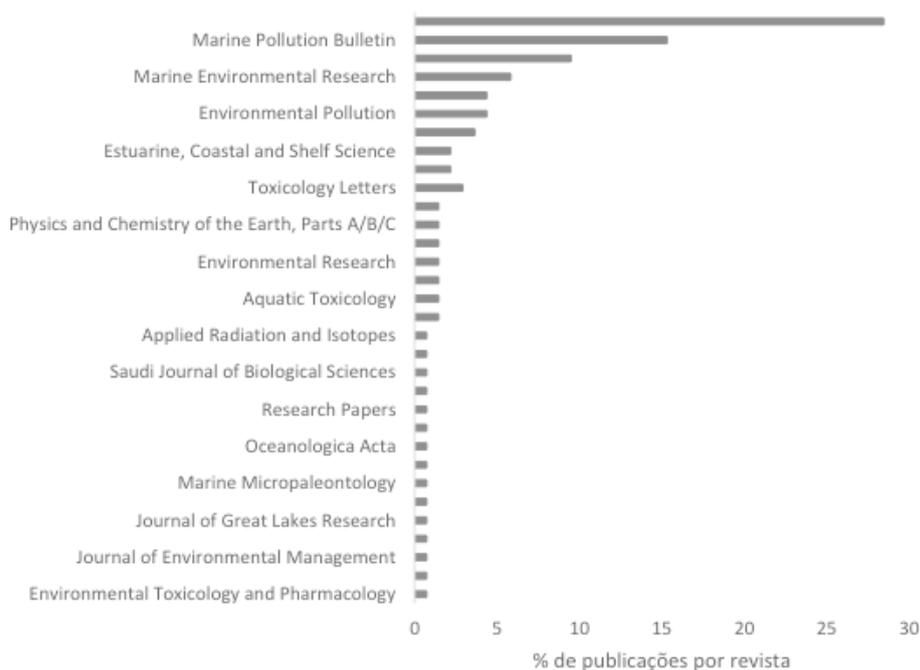


Figura 1. Revistas com maiores números de publicações sobre organismos bioindicadores.

O número de artigos publicados tem aumentado nos últimos 31 anos. Ocorrendo um acréscimo maior a partir do século XX (Fig. 4).

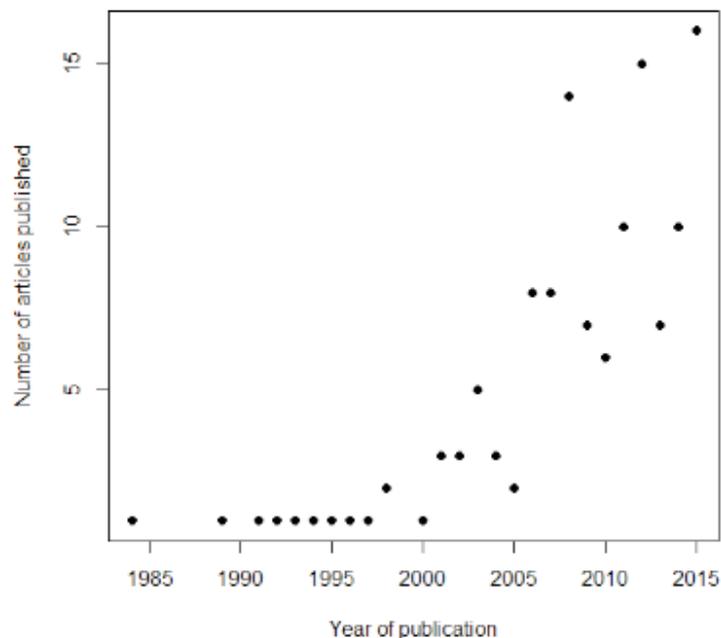


Figura 2. Quantidade de artigos publicados entre os anos de 1984 e 2015.

O uso de indicadores biológicos tem sido amplamente adotado em todo o mundo. Cerca de 50% dos estudos descritos por esses artigos foram realizados na Europa, aproximadamente 20% na América e 30% foram realizados em países localizados na Ásia, África e Oceania.

Apesar das diferenças observadas entre o esforço de pesquisa nos países com maior e menor desenvolvimento econômico, essas diferenças não foram estatisticamente significativas (Kruskal-Wallis: $p > 0.05$) (Fig. 2).

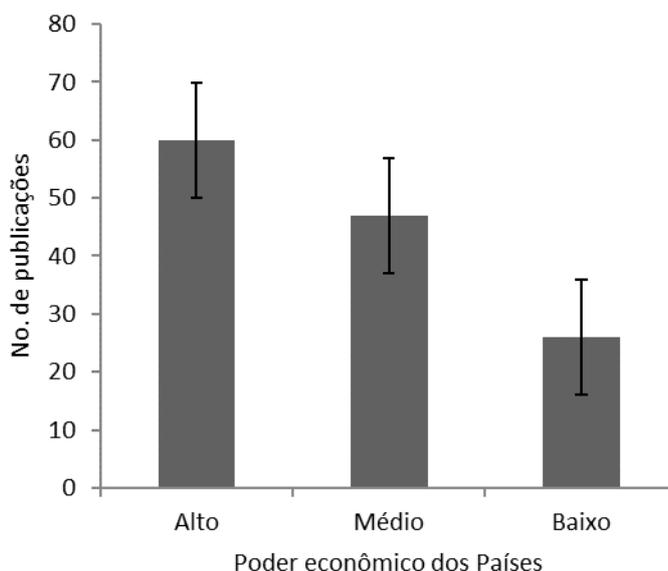


Figura 3. Número de publicações para organismos bioindicadores de ecossistemas aquáticos, de acordo com o poder econômico (High, Medium ou Low) dos países. As publicações foram categorizadas de acordo com o GNI per capita do país onde o estudo foi realizado: (a) low, <10 ; (b) medium, $>10 \leq 30$; (c) alto, >30 vezes a renda necessária para viver no limiar da pobreza.

Foram identificados 14 grupos utilizados como bioindicadores nos artigos revisados, a análise de covariância mostrou diferenças significativas na quantidade de pesquisas sendo realizadas entre os diferentes grupos taxonômicos (ANCOVA: $p < 0,05$).

Macroinvertebrados com aproximadamente 35% de estudos realizados, foi particularmente mais utilizado como indicador de qualidade da água. Os peixes representaram cerca de 25% dos artigos revisados e foram utilizados com maior frequência para a avaliação da poluição, contaminação por metais pesados e qualidade da água. O fitoplâncton com aproximadamente 10% dos estudos realizados, estavam relacionados à detecção da entrada de nutrientes e qualidade da água. Os demais grupos taxonômicos representaram aproximadamente 30% dos artigos publicados (Fig. 3).

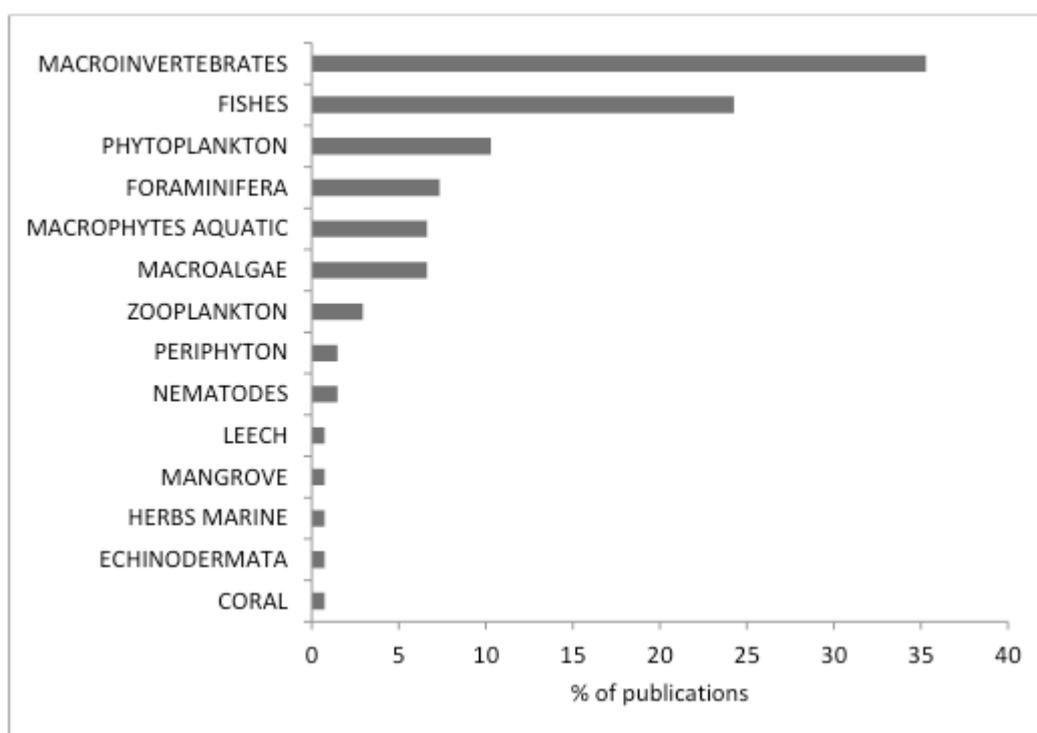


Figura 4. Grupos taxonômicos utilizados como bioindicadores.

4 | DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho revelam um aumento na quantidade de artigos sendo publicados, com ênfase no uso de bioindicadores pertencentes a diferentes grupos taxonômicos sensíveis à poluição ambiental.

Os primeiros trabalhos com bases científicas, envolvendo organismos bioindicadores em ecossistemas aquáticos, foram realizados na Alemanha por Kolkwitz & Marsson (1909). No final da década de 1960, iniciaram-se os esforços na Europa para testar a aplicabilidade de organismos bioindicadores (Arias et al., 2007).

Estes estudos estão melhorando ao longo dos anos, devido ao incentivo da Directiva Quadro da Água (DQA) que é o principal instrumento de Política da União Europeia relativa à água (WFD, 2000). A directiva visa à alcançar um bom resultado em todas as massas d'água (rios, lagos, córregos, estuários e águas costeiras) até 2020 e exige que a avaliação do estado ecológico do ambiente seja realizado utilizando principalmente indicadores biológicos (Frontalini, 2011).

Neste sentido, o aumento na quantidade de pesquisas utilizando bioindicadores ambientais, tanto em países desenvolvidos quanto em países subdesenvolvidos, se deve ao fato de que, os pesquisadores precisam de ferramentas de baixo custo, relativamente fáceis de serem amostradas, capazes de fornecer resultados claros que possam ser repassados aos gestores e a população em geral (Siddig, 2016).

Vantagens apresentadas pelos grupos taxonômicos mais frequentes nos artigos revisados

Macroinvertebrados

As razões para a popularidade de macroinvertebrados em programas de biomonitoramento incluem: 1) hábito sedentário, sendo representativos da área na qual foram amostrados; 2) em relação aos peixes, os macroinvertebrados apresentam ciclo de vida relativamente curto podendo refletir as modificações do ambiente através de mudanças na estrutura das populações e comunidades; 3) são abundantes e diversos na maioria dos ecossistemas aquáticos e apresentam diferentes respostas a diferentes impactos; 4) métodos de amostragem apresentam baixo custo e requer poucas pessoas; 5) representam um elo entre produtores primários e servem de alimento para muitos peixes, além de apresentar papel fundamental no processamento da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Callisto et al., 2001).

Peixes

Os peixes apresentam algumas vantagens, dentre as quais podemos destacar: 1) são capazes de fornecer uma resposta a longo prazo devido ao estresse ambiental; 2) são megadiversos e incluem espécies com diferentes níveis tróficos podendo refletir efeitos em todos os níveis da cadeia alimentar; 3) podem apresentar patologia externa devido a poluentes químicos; 5) podem apresentar respostas fisiológicas, morfológicas ou funcionais ao estresse; 6) estão presentes na maioria dos ecossistemas aquáticos com a exceção de ambientes extremamente poluídos e/ou degradados (Chovanee et al., 2003).

Fitoplâncton

Estes organismos são excelentes bioindicadores das condições ambientais, pois são sensíveis às mudanças na qualidade da água, são amplamente utilizados para avaliar o nível de eutrofização das águas, devido à sua resposta rápida à poluição hídrica (Desrosiers et al., 2013).

Foraminíferos

Os foraminíferos são largamente utilizados em monitoramentos biológicos

e entre as principais razões para isso, destaca-se o fato deste grupo apresentar uma elevada diversidade, em torno de 3.000-4.000 espécies (Murray, 2007), serem altamente abundantes, possuírem espécies muito sensíveis às alterações ambientais, apresentarem ciclo de vida curto e reagirem rapidamente às mudanças de curto e longo prazo, tanto em escala local quanto em escala global (Frontalini & Coccioni, 2008, Frontalini et al., 2009).

Espécies bioindicadores para avaliação de biomarcadores

As análises químicas identificam apenas uma fração de poluentes ambientais, o uso de bioindicadores por sua vez permite avaliar os efeitos globais de poluentes medidos e não medidos que interagem com estressores naturais e outros fatores antropogênicos na complexidade de sistemas naturais (Colin, 2016).

A utilização de espécies bioindicadoras para avaliação da qualidade ambiental, geralmente está associada a biomarcadores que respondem a exposição de um xenobiótico específico (Birk et al., 2012). A escolha destas espécies depende da sensibilidade aos contaminantes específicos, que por sua vez definirão quais biomarcadores serão avaliados. Na verdade o que se mensura é o efeito dos xenobióticos sobre os biomarcadores que consequentemente refletem a saúde dos indivíduos.

Um biomarcador é qualquer célula, molécula, genes, enzimas ou hormônios que sirvam como indicadores de doença ou qualquer outro estado biológico de um organismo (Sahu et al., 2011). Diversos parâmetros biológicos podem ser alterados como consequência da interação de substâncias químicas com o organismo que podem ser utilizados como indicadores biológicos quando existe relação entre intensidade da exposição e efeito da substância (Amorim, 2003).

Os biomarcadores ajudam a compreender como múltiplos estressores afetam a biota aquática. Eles podem ser observados em diferentes níveis de organização dos seres vivos, como molecular, celular, histológico, fisiológico, organismo, população, comunidade e ecossistema (Colin, 2016).

Dentre os biomarcadores mais utilizados destacam-se: O cortisol, geralmente mensurado em peixes para avaliar estresse oxidativo (Wikelski e Cooke, 2006). Quando se trata de crustáceos e bivalves geralmente os biomarcadores mais utilizados são os hormônios hipoglucêmicos e catecolaminosos (Lacoste et al., 2001).

Quando o interesse é medir as respostas de estresse enzimático e oxidativo, muitas enzimas, proteínas e metabólitos podem ser mensurados em espécies bioindicadoras, tais quais: metalotioneínas, glutathione (GSH), Glutathione-S-transferase (GST), as enzimas superóxido dismutase (SOD; converte O₂ a H₂O₂), catalase, glutathione peroxidase, glutathione reductase (Colin, 2016).

A utilização de crustáceos e moluscos também vem sendo empregadas para avaliar a peroxidação lipídica ocasionada por estresse oxidativo a partir da exposição por metais e também danos ao DNA e inibição da Acetilcolinesterase devido a exposição a compostos organoclorados (Faria et al., 2010).

Dentre os efeitos genotóxicos (ou seja, aqueles que alteram a integridade do DNA) que geralmente são avaliados em espécies de peixes e macroinvertebrados, os biomarcadores mais utilizados são ensaio do cometa (Frenzilli et al., 2009) e teste do micronúcleo (Guilherme et al., 2014).

Biomarcadores histopatológicos também são amplamente utilizados no Biomonitoramento, utilizando bioindicadores como Macroinvertebrados e peixes para observar o grau das lesões em tecidos e órgãos, ocasionados por poluentes químicos (Faria et al., 2014).

A utilização de biomarcadores em níveis mais baixos do sistema biológico são capazes de fornecer informações sobre o início de efeitos tóxicos (Depledge e Fossi, 1994) em espécies bioindicadoras antes que esses efeitos sejam observados em níveis mais altos, como em nível de populações e comunidades (Freire et al, 2008; Lama e Gray, 2003).

5 | CONCLUSÃO

No geral, esta revisão bibliográfica mostrou um aumento significativo na quantidade de publicações nos últimos 21 anos para o monitoramento e gestão ambiental dos ecossistemas aquáticos em diferentes revistas técnicas. Tendo em vista que, os organismos bioindicadores são confiáveis, possuem baixo custo de amostragem além de apresentarem respostas relativamente rápidas a um impacto ambiental. Além disso, foi possível observar que diferentes grupos taxonômicos apresentam diferentes sensibilidades às fontes de poluição. Embora o conhecimento destes organismos tenha aumentado, esta área ainda está longe de ser completamente compreendida e representa um grande desafio para ciência devido a ausência de um protocolo de amostragem que possa integrar as relações causa-efeito entre organismos bioindicadores e os processos de interesse.

REFERÊNCIAS

AMORIM, L.C.A. **O Uso dos Biomarcadores na Avaliação da Exposição Ocupacional a Substâncias Químicas.** Revista Brasileira Medicina do Trabalho. v(1): 124-132. 2003.

ARIAS, R. L.; BUSS, D. F.; ALBUQUERQUE, C. de.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA, D. F. **Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos.** Ciências & Saúde Coletiva, 12(1): 61-72. 2007.

BECK, M. W.; TOMCKO, C. M.; VALLEY, R. D.; STAPLES, D. F. **Analysis of macrophyte indicator variation as a function of sampling, temporal, and stressor effects.** Ecological Indicators, v.46: 323-335. 2014.

BIRK, S., BONNE, W., BORJA, A., BRUCET, S., COURRAT, A., POIKANE, S., et al. **Three hundred ways to assess Europe's surface waters: an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive.** Ecological Indicators. v.18, 31-41. 2012.

BURGER, J. **Bioindicators: types, development, and use in ecological assessment and research.** Environmental Bioindicators, v.1: 22–39. 2006.

CALLISTO, M.; MORETTI, M. & GOULART, M. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos.** Revista Brasileira Recursos Hidrico, 6 (1): 71-82. 2001.

CHOVANEE, A.; HOFER, R.; SCHIEMER, F. **Trace Metals and other Contaminants in the Environment. In: Fish as bioindicators. Bioindicators and Biomonitoring.** v.(6): 639-676. 2003.

COLIN, N.; PORTE, C.; FERNANDES, D.; BARATA, C.; PADRÓS, F.; CARRASÓN, M.; MONROY, M.; ROCABAYERA-CANO, ORIOL; SOSTOA, A.; PIÑA, B.; VEIGA-MACEDO, A. **Ecological relevance of biomarkers in monitoring studies of macroinvertebrates and fish in Mediterranean rivers.** Science of The Total Environment, v.540: 307-323. 2016.

COSTA, B. N. S.; PINHEIRO, S. C. C.; AMADO, L. L.; LIMA, M. O. **Microzooplankton as a bioindicator of environmental degradation in the Amazon.** Ecological Indicators, v.61(2): 526-545. 2016.

DAMATO, M. **O emprego de indicadores biológicos na determinação de poluentes orgânicos perigosos.** In Maia, N. B.; Martos, H. L.; Barrella, W. (Org.). Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC – Editora da PUC –SP. p. 227-236. 2001.

DEPLEDGE, M. H; FOSSI, M.C. **The role of biomarkers in environmental assessment (2).** Invertebrates. Ecotoxicology Sep.; 3(3):161-72. 1994.

DESROSIERS, C.; LEFLAIVE, J.; EULIN, A.; TEN-HAGE, L. **Bioindicators in marine waters: Benthic diatoms as a tool to assess water quality from eutrophic to oligotrophic coastal ecosystems.** Ecological Indicators, v.32: 25-34. 2013.

DIMITRIOU, P. D.; KARAKASSIS, L.; PITTA, P.; TSAGARAKI, T. M.; APOSTOLAKI, E. T.; MAGIOPOULOS, L.; NIKOLIOUDAKIS, N.; DILIBERTO, S.; THEODOROU, J. A.; TZOVENIS, I.; KAGALOU, I.; BEZA, P.; TSAPAKIS, M. **Mussel farming in Malaikos Gulf and quality indicators of the marine environment: Good Benthic below poor pelagic ecological status.** Marine pollution Bulletin, v.101(2): 784-793.

FABRICIUS, K. E.; COOPER, T. F.; HUMPHREY, C.; UTHICKE, S.; ATH, G. DE.; DAVIDSON, J.; LEGRAND, H.; TOMPSON, A.; SCHAFFELKE, B. **A bioindicator system for water quality on inshore coral reefs of the Great Barrier Reef.** Marine Pollution Bulletin, v.65(4-9): 320-332. 2012.

FARIA, M.; LÓPEZ, M.A.; DÍEZ, S.; BARATA, C. 2010. **Are native naiads more tolerant to pollution than exotic freshwater bivalve species? An hypothesis tested using physiological responses of three species transplanted to mercury contaminated sites in the Ebro River (NE, Spain).** Chemosphere v.(81): 1218–1226. 2010.

FARIA, M., OCHOA, V., BLÁZQUEZ, M., SAN JUAN, M.F., LAZZARA, R., LACORTE, S., et al., 2014. **Separating natural from anthropogenic causes of impairment in Zebra mussel (Dreissena polymorpha) populations living across a pollution gradient.** Aquatic Toxicology v(152): 82–95.

FOSTER, W. J.; CHÂTELET, E. A. DU.; ROGERSON, M. **Testing benthic foraminiferal distributions as a contemporary quantitative approach to biomonitoring estuarine heavy metal pollution.** Marine Pollution Bulletin, v.64(5): 1039-1048. 2012.

FRENZILLI, G.; NIGRO, M.; LYONS, B.P. **The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments.** Mutation Research/Reviews in Mutation Research. v.681(1): 80–92. 2009.

FREIRE, M.M. et al. **Biomarcadores na avaliação da saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos.** Oecologia brasiliensis, v12(3):347-354. 2008.

- FRONTALINI, F. & COCCIONI, R. **Benthic foraminifera for monitoring heavy metal pollution: a case study from the Central Coast Adriatic Sea Italy.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76: 404-417. 2008.
- FRONTALINI, F.; BUOSI, C.; COCCIONI, R.; CHERCHI, A.; BUCCI, C. **Benthic foraminifera as bio-indicators of trace element pollution in the lagoon of Santa Gilla heavily contaminated (Cagliari, Italy).** *Marine Pollution Bulletin*, 58: 858-877. 2009.
- FRONTALINI, F.; COCCIONI, R. **Benthic foraminifera as bioindicators of pollution: A review of Italian research over the last three decades.** *Revue de Micropaléontologie*, v54: 115-127. 2011.
- GIORGIO, A.; BONIS, S. DE.; GUIDA, M. **Macroinvertebrate and diatom communities as indicators for the biological assessment of river Picentino (Campania, Italy).** *Ecological Indicators*, v.64: 85-91. 2016.
- GUILHERME, S.; SANTOS, M.A.; GAIVÃO, I.; PACHECO, M. **Are DNA- damaging effects induced by herbicide formulations (Roundup® and Garlon®) infish transient and reversible upon cessation of exposure?.** *Aquatic Toxicology* v.(155): 213–221. 2014.
- HARGUINTEGUY, C. A.; COFRÉ, M. N.; CIRELLI, A. F.; PIGNATA, M. L. **The macrophytes *Potamogeton pusillus* L. and *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. As potential bioindicators of a river contaminated by heavy metals.** *Microchemical Journal*, v.124: 228-234. 2016.
- HERING, D.; BORJA, A.; CARSTENSEN, J.; CARVALHO, L.; ELLIOTT, M.; FELD, C. K.; HEISKANEN, A. S.; JOHNSON, R. K.; MOE, J.; PONT, D.; SOLHEIM, A. L.; BUND, W. **The European Water Framework Directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future.** *Science Total Environmental*, 408: 4007–4019. 2010.
- JIANG, Y.; YANG, E. J.; MIN, J. O.; KANG, S. H.; LEE, A. H. **Using pelagic ciliated microzooplankton communities as an indicator for monitoring environmental condition under impact of summer sea-ice reduction in western Arctic Ocean.** *Ecological Indicators*, v.34: 380-390. 2013.
- JÚNIOR, DA C. S. M.; HAMADA, L. J. N. **Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: Adult odonates as bioindicators of environmental quality.** *Ecological Indicators*, v.48: 303-311. 2015.
- KARIM, M. S. A. EL. **Epipellic algal distribution in Ismailia Canal and the possible use of diatoms as bioindicators and a biomonitoring tool.** *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, v.40(4): 385-393. 2014.
- KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. **Oekologie der tierischen Saprobien.** *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, v.2: 126-152. 1909.
- LACOSTE, A., MALHAM, S.K., CUEFF, A., POULET, S.A. **Stress-induced catecholamine changes in the hemolymph of the oyster *Crassostrea gigas*.** *General and Comparative Endocrinology*. v.122 (2): 181–188. 2001.
- LÁNG, J.; KŐHIDAI, L. **Effects of the aquatic contaminant human pharmaceuticals and their mixtures on the proliferation and migratory responses of the bioindicator freshwater ciliate *Tetrahymena*.** *Chemosphere*, v.89(5): 592-601. 2012.
- LIUA, W. X.; WANGA, Y.; HEA, W.; QINA, N.; KONGA, X. Z.; HEA, Q. S.; YANGA, B.; YANGA, C.; JIANGA, Y. J. JORGENSENB, S E.; XUA, F. L. **Aquatic biota as potential biological indicators of the contamination, bioaccumulation and health risks caused by organochlorine pesticides in a large, shallow Chinese lake (Lake Chaohu).** *Ecological Indicators*, v.60: 335-345.
- LOH, J.; GREEN, R.E.; RICKETTS, T.; LAMOREUX, J.; JENKINS, M.; KAPOS, V.; RANDERS, J. **The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity.** *Philos. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci.*, 360 (2005), pp. 289–295.

MARZIN, A.; ARCHAIMBAULT, V.; BELLIARD, J.; CHAUVIN, C.; FRANÇOIS, D.; PONT, D. **Ecological assessment of running waters: Do macrophytes, macroinvertebrates, diatoms and fish show similar responses to human pressures?**. *Ecological Indicators*, v(23): 56-65. 2012.

MORRO, C. A.; NIELL, G. M.; TABERNER, A. M. **Phytoplankton as bioindicator for waste stabilization ponds.** *Journal of Environmental Management*, v.(95): S71-S76. 2012.

MSFD. Common implementation strategy for Marine Strategy Framework Directives (2008/56/EC). **Establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive).** Official Journal of the European Union, p. 164. 2008.

OGUNKUNLE, C. O.; MUSTAPHA, K.; OYEDEJI, S.; FATOBA, P. O. **Assessment of metallic pollution status of surface water and aquatic macrophytes of earthen dams in Ilorin, north-central of Nigeria as indicators of environmental health.** *Journal of King Saud University – Science*, In Press, Corrected Proof – Note to users. 2015.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria URL <http://www.R-project.org/>. 2015.

RAUTENBERGA, G. E.; AMÉB, M. V.; MONFERRÁNC, M. V.; BONANSEAB, R. I.; HUEDA, A. C. **A multi-level approach using *Gambusia affinis* as a bioindicator of environmental pollution in the middle-lower basin of Suquíá River.** *Ecological Indicators*, v.48: 706-720. 2015.

RAVALLION, M.; CHEN, S.; SANGRAULA, P. **Dollar a day revisited.** *The World Bank Economic Review*, 23, 163-184.

SAHU, P. et al. **Biomarkers: An Emerging Tool for Diagnosis of a Disease and Drug Development.** *Asian Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. v(1): 09-16. 2011

SCHUBERT, P. R.; KAREZ, R.; REUSCH, T. B. H.; DIERKING, J. **Isotopic signatures of eelgrass (*Zostera marina* L.) as bioindicator of anthropogenic nutrient input in the western Baltic Sea.** *Marine Pollution Bulletin*, v.72(1): 64-70. 2013.

SIDDIG, A. A. H.; ELLISON, A. M.; OCHS, A.; VILLAR-LEEMAN, C.; LAU, M. K. **How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in *Ecological Indicators*.** *Ecological Indicators*, v.60: 223-230.

SPELLERBERG, I. F. **Monitoring Ecological Change.** Cambridge University Press, Cambridge. 2005.

TEITTINEN, A.; TAKA, M.; RUTH, O.; SOININEN, J. **Variation in stream diatom communities in relation to water quality and catchment variables in a boreal, urbanized region.** *Science of The Total Environment*, v.530(531): 279-289. 2015.

TESTI, A.; FANELLI, G.; CROSTI, R.; CASTIGLIANI, V.; ANGELI, D. D. **Characterizing river habitat quality using plant and animal bioindicators: A case study of Tirino River (Abruzzo Region, Central Italy).** *Ecological Indicators*, v.20: 24-33. 2012.

WFD-CIS. Common implementation strategy for water framework directive (2000/60/EC). **Guidance Document No. 5. Transitional and coastal waters – typology, reference conditions and classification systems.** Working Group 2.4-COAST. Office for Official Publications of the European Communities, p. 107. 2003.

WHITFIELD, A. K. **Fishes as Indicators of Estuarine Health.** Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. 2014.

WIKELSKI, M. & COOKE, S.J. **Conservation physiology.** *Trends in Ecology & Evolution*. v.21(1):

38–46. 2006.

SOBRE OS ORGANIZADORES

TAYRONNE DE ALMEIDA RODRIGUES Filósofo e Pedagogo, especialista em Docência do Ensino Superior e em Biodiversidade. Desenvolve pesquisas na área das ciências ambientais, filosofia do ensino, educação ambiental e ética. É defensor do desenvolvimento sustentável, com relevantes conhecimentos no processo de ensino-aprendizagem. E-mail: tayronnealmeid@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9378-1456>

JOÃO LEANDRO NETO Filósofo, especialista em Docência do Ensino Superior e Gestão Escolar. Publica trabalhos em eventos científicos com temas relacionados a pesquisa na construção de uma educação valorizada e coletiva. Dedicar-se a pesquisar sobre métodos e comodidades de relação investigativa entre a educação e o processo do aluno investigador na Filosofia, trazendo discussões neste campo. Também é pesquisador da arte italiana, com ligação na Scuola de Lingua e Cultura – Itália. Amante da poesia nordestina com direcionamento as condições históricas do resgate e do fortalecimento da cultura do Cariri. E-mail: joaoleandro@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-1164>

DENNYURA OLIVEIRA GALVÃO Possui graduação em Nutrição pela Universidade Federal da Paraíba, mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e doutorado em Ciências Biológicas (Bioquímica Toxicológica) pela Universidade Federal de Santa Maria (2016). Atualmente é professora titular da Universidade Regional do Cariri. E-mail: dennyura@bol.com.br LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4808691086584861>

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-448-1

