



## Ciência de dados aplicada à biotecnologia marinha: avaliação do potencial biotecnológico das espécies bentônicas de Arraial do Cabo (RJ, Brasil)

Mariana Lima da Cunha<sup>a\*</sup>, Danieli Lima da Cunha<sup>a\*</sup>, Rafael Gomes de Menezes<sup>a</sup>,  
Estefan Monteiro da Fonseca<sup>a</sup>, Ricardo Coutinho<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal Fluminense, Brasil

\* Autor correspondente ([danielicunha@id.uff.br](mailto:danielicunha@id.uff.br))

### INFO

#### Keywords

marine biotechnology  
marine biology  
biodiversity

### ABSTRACT

*Data science applied to marine biotechnology: assessment of the biotechnological potential of benthic species from Arraial do Cabo (RJ, Brazil)*

Several marine living beings have unknown substances that can be used in many areas of science. Biotechnology, more specifically marine biotechnology, is an emerging field with promising achievements in different areas (biochemistry, genetics, genomics, aquaculture, bioenergy, among others), as it plays an important role in the discovery and sustainable use of these substances. In this context, the present study aimed to validate a Web Scraping search algorithm developed by Menezes (2019) to search, based on the literature, benthic marine species from the rocky shores of Arraial do Cabo with relevant biotechnological potential in areas of application of marine biotechnology. According to the algorithm, of the 922 species that were best ranked for presenting the largest number of works and that stood out in relation to their biotechnological potential were: *Rachycentron canadum* (Fish), *Amphibalanus amphitrite* (Crustaceous), *Ulva fasciata* (Macroalgae), *Asparagopsis taxiformis* (Macroalgae), *Bugula neritina* (Bryozoan), and *Palythoa caribaeorum* (Cnidarian). Of the evaluated and selected works (n=257), the groups Macroalgae, Cnidarians, Poriferans, and Echinoderms, presented a greater variety of biotechnological potential, respectively. Regarding the classification of biotechnological potential, Biogenetics, Natural Products for Medicine, and Aquaculture were the most studied areas of marine biotechnology. The results showed that the methodology used reduced the time of the bibliographic search linked to the biotechnology of each species listed in the catalog, proving to be useful in data from places of great biodiversity and little knowledge about the species.

### RESUMO

Diversos seres vivos marinhos possuem substâncias desconhecidas que podem ser utilizadas em muitas áreas como da ciência. A biotecnologia, mais especificamente a biotecnologia marinha é um campo emergente e com realizações promissoras nas áreas de bioquímica, genética, genômica, aquicultura, bioenergia e em outros. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo validar um algoritmo de busca do tipo Web Scraping desenvolvida por Menezes (2019) para buscar, com base na literatura, espécies dos costões rochosos de Arraial do Cabo relevantes em áreas de aplicação da biotecnologia marinha. De acordo com o algoritmo, das 922 espécies as mais bem classificadas por apresentarem maior número de trabalhos e que se destacaram em relação ao potencial biotecnológico foram: *Rachycentron canadum* (Peixe), *Amphibalanus amphitrite* (Crustáceo), *Ulva fasciata* (Macroalga), *Asparagopsis taxiformis* (Macroalga), *Bugula neritina* (Briozóario) e *Palythoa caribaeorum* (Cnidário). Dos trabalhos avaliados e selecionados (n=257), os grupos Macroalgas, Cnidários, Poríferos e Equinodermos, apresentaram maior variedade do potencial biotecnológico, respectivamente. Com relação à classificação do potencial biotecnológico, biogenética, produtos naturais para medicina e aquicultura foram as áreas da Biotecnologia Marinha mais estudadas. Os resultados mostraram que a metodologia utilizada reduziu o tempo da busca bibliográfica ligada a biotecnologia de cada espécie listada no catálogo, mostrando ser útil em dados oriundos de locais de grande biodiversidade e pouco conhecimento sobre as espécies.

#### Palavras-chaves

biotecnologia marinha  
biologia marinha  
biodiversidade

Received 03 July 2023; Received in revised from 02 August 2023; Accepted 22 August 2023



## INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a biotecnologia teve um impacto inegável em todos os aspectos da vida humana, desde a produção de alimentos e energia até a descoberta de organismos com potenciais medicinais (Burgess, 2012; Blicharska et al., 2019). Com os mesmos objetivos, a biotecnologia marinha emergiu como uma nova área pela grande abundância de organismos marinhos e da extensa diversidade química das moléculas encontradas nos oceanos (Varela et al., 2014). Na década de 50, por exemplo, foram descobertos nucleosídeos na esponja caribenha *Tethya crypta*, classificada por Laubenfels em 1949, que serviram de modelo para o desenvolvimento de medicamentos antivirais como azidotimidina e aciclovir, utilizado para o tratamento da AIDS e herpes, respectivamente (Newman e Cragg, 2004; Leary et al., 2009).

Desde então muitos cientistas e instituições redirecionam a investigação biotecnológica para os oceanos, uma vez que esta apresenta promissores campos de atuação na busca de novos fármacos, no desenvolvimento de tecnologias biológicas com intuito de identificar pontos de estresse ecológico no ambiente, bem como de tecnologias moleculares que garantem a segurança dos recursos alimentícios oriundos da aquicultura, maricultura, entre outros (Brasil, 2010; Cozzolino, 2012; Pimenta e Martins, 2017).

De acordo com Leary et al. (2009) no período entre 1973 e 2007 foram identificadas 135 patentes envolvendo recursos genéticos marinhos. Estas patentes foram classificadas de acordo com a sua aplicação e 53,5% estavam relacionados à química. No Brasil, as pesquisas em biotecnologia marinha iniciaram nos anos 70, com estudos sobre a criação de camarão no estado do Rio Grande do Norte. Nas décadas seguintes, os estudos foram avançando através do isolamento dos metabólitos de invertebrados marinhos e a elucidação das estruturas químicas de compostos bioativos dos organismos marinhos (Amaral e Jablonski, 2005; Thompson et al., 2018).

Entre as ações propostas pelo governo brasileiro dentro do escopo da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), a biotecnologia marinha se destaca na promoção de pesquisas nas áreas marítimas sob jurisdição e de interesse nacional. A expectativa é que o potencial da biotecnologia marinha para aplicações inovadoras e participação no mercado cresça à medida que se tornem disponíveis e que um número maior de espécies possa ser utili-

zado (Leary et al., 2009). Lembrando que a conservação e o uso sustentável da biodiversidade marinha requerem a ampliação do conhecimento de seus potenciais e limites de uso, de modo a promover o equilíbrio dos ecossistemas (United Nations, 2006).

Com uma extraordinária biodiversidade, distribuída em vários biomas, ecorregiões, zonas úmidas de importância internacional (locais de Ramsar) e pontos de conservação (Lima Junior et al., 2018), o governo brasileiro vem realizando esforços em colaborações internacionais e na consolidação do conhecimento da biodiversidade marinha do país, através da criação de bancos de dados (Meirelles et al., 2015; Thompson et al., 2018). Isto porque a avaliação das informações obtidas através desses bancos de dados é fundamental para tomadas de decisão em políticas públicas, bem como para outras áreas como a indústria e academia (Thompson et al., 2017). Segundo Sala e Knowlton (2006) existem aproximadamente 300.000 espécies marinhas descritas a nível nacional, que representam cerca de 15% de todas as espécies descritas, contudo essa lista seria apenas uma aproximação devido à incerteza de várias fontes.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi validar um algoritmo de busca do tipo *Web Scraping*, desenvolvida por Menezes (2019), para selecionar, com base na literatura disponível online, as espécies marinhas bentônicas dos costões de Arraial do Cabo com um relevante potencial biotecnológico em áreas de aplicação da biotecnologia marinha. A coleta de dados web, ou *Web Scraping*, é uma forma de mineração que permite a extração de dados de sites convertendo-os em informação estruturada para posterior análise. A cidade de Arraial do Cabo, sudeste do Brasil tropical, foi selecionada para este estudo, uma vez que está localizada em uma região sujeita a ressurgência costeira e abriga uma importante área de proteção ambiental, a Unidade de Conservação Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo, conhecida também como Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (ResExMar-AC) (Valentin, 1994; Brasil, 1997).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

Localizado na região dos Lagos, na costa leste do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), o município de Arraial do Cabo (42°01'40"W - 22°57'58"S), ocupa uma área de 152,3 Km<sup>2</sup> de extensão e é considerado um importante patrimônio e base das principais atividades econômicas da região, como o turismo e pesca.

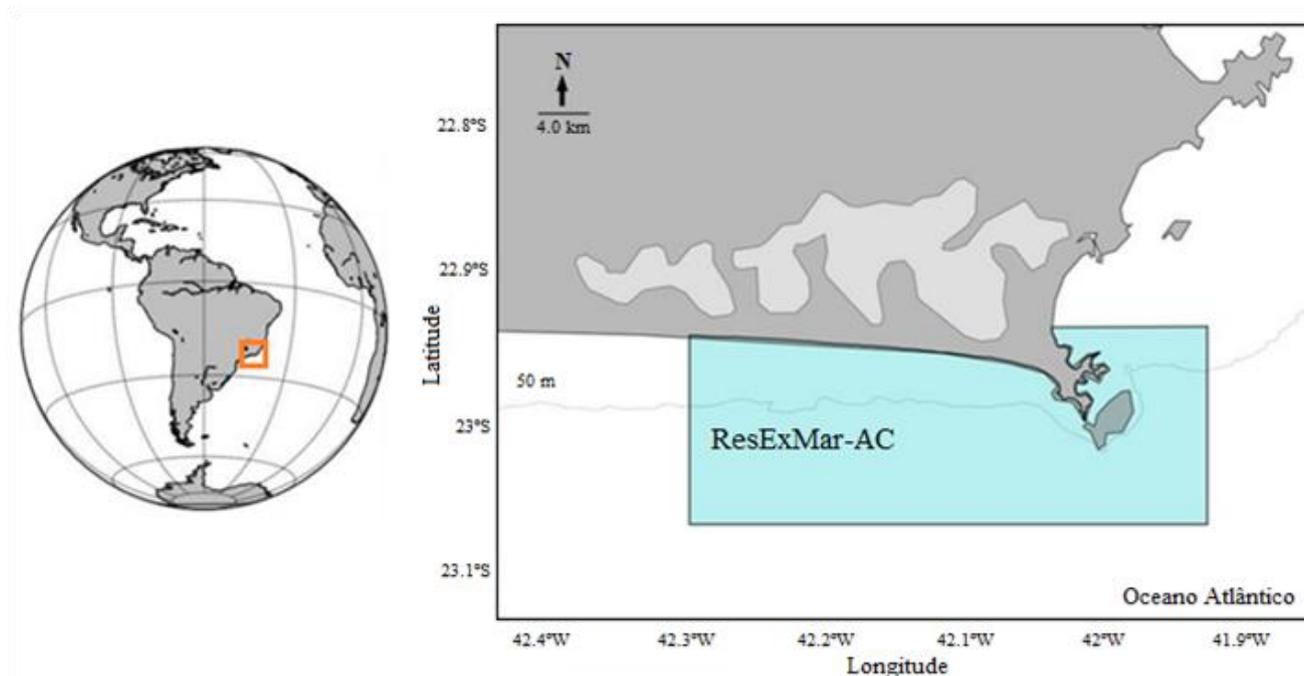


Figura 1 - Localização da área de estudo, Unidade de Conservação Federal, Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (ResExMar-AC/ICMBio), RJ, Brasil. Fonte: Adaptado de Menezes (2019).

Sua região costeira se caracteriza por uma península com formações irregulares com praias, costões rochosos e ilhas (Fonseca-Kruel e Peixoto, 2004). Devido à sua geomorfologia e do regime de ventos, esta área sofre influência direta do fenômeno da ressurgência, caracterizado pelo afastamento da água costeira e ascensão de massas de águas profundas e frias de origem polar. Esta massa de água é rica em nutrientes e faz do local ser de grande biodiversidade biológica e abundância marinha (Valentin, 1994; Codato et al., 2011). Além disso, a presença das ilhas de Cabo Frio e dos Porcos formam uma baía na região, apresentando uma característica mais tropical, principalmente em sua parte interna, com maior diversidade de espécies, enquanto que fora deste limite, devido à influência direta das águas frias da ressurgência, a região apresenta características subtropicais (Ferreira, et al., 2001; Rodrigues, 2001).

Ainda no seu litoral, Arraial do Cabo apresenta uma importante área de proteção ambiental do Brasil, a ResExMar-AC. Esta Reserva, criada em 3 de janeiro de 1997 pelo Ministério do Meio Ambiente/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), possui uma área de 51.601,46 hectares de lâmina d'água, e compreende um cinturão pesqueiro entre a praia de Massambaba, na localidade de Pernambuco e a praia do Pontal, na divisa com o município de Cabo Frio, incluindo a faixa marinha de três milhas da costa de Arraial do Cabo. Tem como principal

objetivo garantir a exploração autossustentável e a conservação dos recursos naturais renováveis, tradicionalmente utilizados para pesca artesanal, pela população extrativista deste município (Brasil, 1997).

### Coleta e Tratamento dos Dados

Para a coleta de dados, foi utilizada como base a lista de espécies marinhas bentônicas de Arraial do Cabo descritas no livro “Biodiversidade Marinha dos Costões Rochosos de Arraial do Cabo: Histórico, Ecologia e Conservação” (Batista et al., 2020). Este livro é composto por 14 capítulos, perfazendo um compilado do conhecimento sobre as características oceanográficas, ambientais e dos principais grupos taxonômicos que ocorrem nos costões rochosos da região. Aproximadamente 40 pesquisadores de dez renomadas instituições brasileiras foram convidados para participar na redação dos capítulos de acordo com a especialidade de cada um.

Ao todo foram analisadas 922 espécies do banco de dados descritos por Batista et al. (2020), sendo estas transcritas para uma planilha (.exe) e separadas em dez grupos: peixes, moluscos, macroalgas, poríferos, crustáceos, poliquetas, briozoários, ascídias, cnidários e equidornemos.

### Web Scraping para Potencial Biotecnológico

Com a planilha gerada das listas de espécies de

cada grupo, foi necessário dividí-las em um conjunto de quatro para que fosse possível aplicar o algoritmo ‘Sci-stat’ (disponível em <https://github.com/mogekag/sci-stat.git>), adaptado de Menezes (2019), que utilizou um rastreador automatizado de estatísticas com base no algoritmo de busca ‘Scholar.py’ (disponível em <https://github.com/ckreibich/scholar.py.git>) permitindo a busca de teses, artigos, dissertações entre outras produções implementadas na plataforma.

O algoritmo desenvolvido por Menezes (2019) foi configurado para obter as estatísticas dos trabalhos das mil primeiras páginas e para buscar pelo nome da espécie associada ao termo *biotechnology*, com a intenção de obter todos os trabalhos que retornarem da busca. O algoritmo retorna dois arquivos: uma planilha (.exe) com os nomes das espécies, o número total de resultados, os anos da publicação dos trabalhos, a média das citações (‘cited by’) e os índices I1, I2 e I3 de todos os trabalhos acessado (como as equações a seguir); e um outro arquivo de texto (.txt) para cada termo buscado com os metadados dos vinte primeiros trabalhos retornados (os que aparecerem primeiro em um caso de busca manual), como: título, endereço URL, ano, número de citações, número de versões, *cluster* ID, endereço em PDF, endereço da lista de citações, endereço da lista de versões, e primeiros caracteres do resumo.

$$I1 = \frac{10 \sqrt{\left(\frac{N}{ano_{m\acute{a}x} - ano_{m\acute{i}n}}\right) \bar{C}}}{1} \quad (1)$$

$$I2 = \left(\frac{10 \sqrt{N}}{ano_{m\acute{a}x} - ano_{m\acute{i}n}}\right) \quad (2)$$

$$I3 = \left(\frac{10 \sqrt{N}}{ano_{m\acute{a}x} - ano_{m\acute{i}n}}\right) \bar{C} \quad (3)$$

Sendo N o número de resultados obtidos; *anomáx* e *anomín* os anos do trabalho mais recente e mais antigo, respectivamente; e " $\bar{C}$ " o valor médio das citações (*cited by*) de cada resultado.

Os índices I1, I2 e I3 foram adicionados no algoritmo com o objetivo de ranquear as espécies com maior relevância acadêmica no âmbito da biotecnologia marinha, com isso é possível ponderar e reduzir a variação dos dados

brutos, principalmente do número total de resultados.

### Classificação dos Trabalhos de acordo com sua Relevância e Área de Atuação na Biotecnologia

Após a realização de ranqueamentos independentes das espécies, baseado nos índices apresentados acima, foram selecionadas as cinco espécies que estavam presentes nos três índices dentre a 10<sup>a</sup> e 30<sup>a</sup> posição, a depender da quantidade de espécies de cada grupo, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Posição de corte do ranqueamento das espécies segundo cada grupo.

Grupo	Posição
Peixes	30 <sup>a</sup>
Moluscos	11 <sup>a</sup>
Macroalgas	15 <sup>a</sup>
Poríferos	18 <sup>a</sup>
Crustáceos	17 <sup>a</sup>
Poliqueta	15 <sup>a</sup>
Briozoários	15 <sup>a</sup>
Ascídia	13 <sup>a</sup>
Cnidários	15 <sup>a</sup>
Equinodermos	10 <sup>a</sup>

Com base na classificação da relevância dos trabalhos, foi feita uma análise amostral acessando manualmente os dez primeiros trabalhos (a partir dos metadados salvos), e verificando se estes correspondiam à espécie. Em caso afirmativo, foi realizada uma classificação do potencial biotecnológico de acordo com as áreas da biotecnologia marinha (I - Aquicultura marinha; II - Produtos naturais para medicina; III - Nutracêuticos marinhos; IV - Bioenergia marinha; V - Biomateriais marinhos; VI - Biorremediação marinha; VII - Biogenética; e, VIII – Bioindicadores) e as demais foram consideradas como falso positivo.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos dados obtidos observou-se que os grupos mais abundantes de espécies marinhas na ResExMar-AC foram, respectivamente: Peixes (33%), Moluscos (19%), Macroalgas (16%), Poríferos (7%), Crustáceos (6%), Poliquetas (5%), Briozoários (4%), Ascídia (4%), Cnidários (3%) e Equinodermos (3%), conforme a Figura 2. E o ranqueamento independente das cinco espécies mais relevantes de cada grupo taxonômico citado acima pode ser observado na Tabela 2 (a lista completa das espécies encontra-se no Apêndice I).

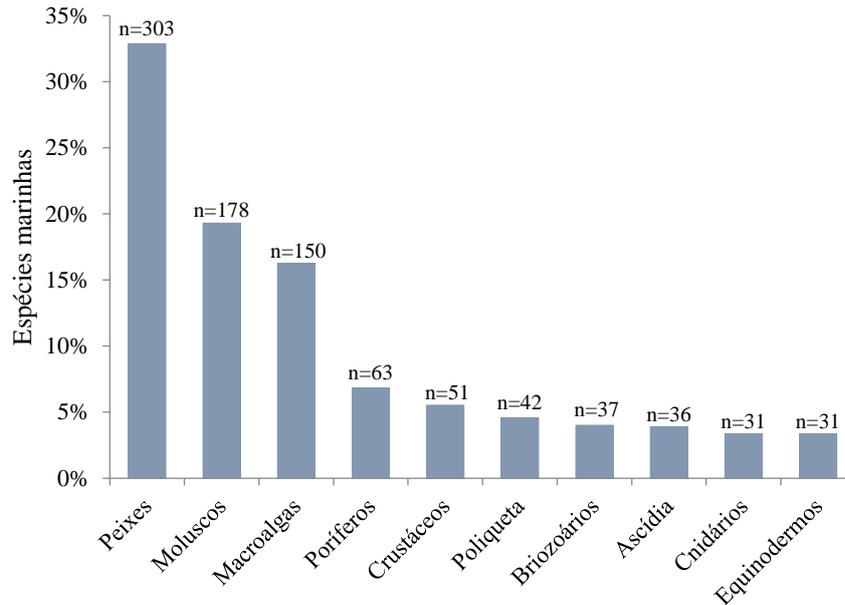


Figura 2 - Quantidade das espécies marinhas (n=922) na Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (ResExMar-AC/ICMBio) avaliadas por grupo taxonômico.

Tabela 2 - Espécies marinhas da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (ResExMar-AC/ICMBio) classificadas através dos índices como as cinco mais relevantes de cada grupo taxonômico.

Grupo/Espécie	Resultados	ano <sub>mín</sub>	ano <sub>máx</sub>	Período (anos)	Média de Citação	Índice		
						I	II	II
<b>Peixes</b>								
<i>Pagrus pagrus</i>	12300	1993	2012	19	71,55	2,93	0,13	9,30
<i>Rachycentron canadum</i>	4380	2001	2014	13	51,20	2,65	0,18	9,22
<i>Epinephelus marginatus</i>	1610	1999	2015	16	45,40	2,32	0,13	5,90
<i>Epinephelus itajara</i>	697	2001	2016	15	30,74	2,07	0,13	4,00
<i>Kyphosus vaigiensis</i>	228	2003	2019	16	69,75	1,99	0,11	7,67
<b>Moluscos</b>								
<i>Spurilla braziliiana</i>	4020	2001	2016	15	53,90	2,61	0,15	8,08
<i>Octopus vulgaris</i>	2810	2000	2012	12	40,35	2,50	0,18	7,26
<i>Taringa telopia</i>	427	2004	2018	14	19,29	1,89	0,13	2,52
<i>Navanax gemmatus</i>	25	2010	2017	7	19,20	1,53	0,20	3,78
<i>Felimida clenchi</i>	23	2015	2016	1	13,00	1,77	1,37	17,79
<b>Macroalgas</b>								
<i>Caulerpa brachypus</i>	5060	1995	2014	19	98,50	2,77	0,12	11,82
<i>Caulerpa racemosa</i>	3880	2001	2016	15	82,65	2,71	0,15	12,40
<i>Sargassum vulgare</i>	2520	2003	2017	14	48,65	2,48	0,16	7,78
<i>Ulva fasciata</i>	3930	2000	2016	16	49,95	2,56	0,14	6,99
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	1070	2001	2018	17	46,50	2,22	0,12	5,58
<b>Poríferos</b>								
<i>Axinella corrugata</i>	415	1997	2015	18	66,45	2,08	0,10	6,64
<i>Arenosclera brasiliensis</i>	234	2002	2018	16	35,90	1,87	0,11	3,95
<i>Mycale microsigmatosa</i>	164	2001	2019	18	99,05	1,97	0,09	8,91
<i>Geodia corticostylifera</i>	154	2004	2018	14	28,95	1,78	0,12	3,47
<i>Polymastia janeirensis</i>	118	2008	2018	10	24,10	1,76	0,16	3,86

(continua...)

Tabela 2 - Espécies marinhas da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (ResExMar-AC/ICMBio) classificadas através dos índices como as cinco mais relevantes de cada grupo taxonômico (continuação).

<b>Crustáceos</b>								
<i>Balanus trigonus</i>	4100	1994	2013	19	61,30	2,58	0,12	7,36
<i>Amphibalanus amphitrite</i>	1060	2009	2018	9	17,45	2,14	0,22	3,84
<i>Alpheus heterochaelis</i>	216	1980	2018	38	39,90	1,72	0,05	2,00
<i>Megabalanus tintinnabulum</i>	172	1982	2017	35	31,45	1,66	0,05	1,57
<i>Megabalanus coccopoma</i>	157	2007	2019	12	38,85	1,86	0,14	5,44
<b>Poliquetas</b>								
<i>Pholoe minuta</i>	312	1981	2019	38	63,25	1,87	0,05	3,16
<i>Exogone arenosa</i>	72	1988	2018	30	106,84	1,74	0,05	5,34
<i>Glycera americana</i>	63	1996	2019	23	82,55	1,72	0,07	5,78
<i>Podarkeopsis capensis</i>	39	1989	2019	30	74,35	1,58	0,05	3,72
<i>Scoletoma tetraura</i>	36	1998	2019	21	45,70	1,55	0,07	3,20
<b>Briozoários</b>								
<i>Bugula neritina</i>	3040	1990	2010	20	83,80	2,57	0,11	9,22
<i>Watersipora subtorquata</i>	342	2003	2019	16	50,70	2,01	0,11	5,58
<i>Bugula stolonifera</i>	386	1986	2018	32	55,55	1,92	0,06	3,33
<i>Bugula carvalhoi</i>	258	1997	2018	21	94,10	2,02	0,08	7,53
<i>Cradoscrupocellaria bertholletii</i>	26	2014	2019	5	7,82	1,45	0,28	2,17
<b>Ascídias</b>								
<i>Ciona robusta</i>	1670	2007	2020	13	15,80	2,14	0,16	2,53
<i>Cystodytes dellechiajei</i>	303	1988	2013	25	48,26	1,89	0,07	3,38
<i>Ascidia sydneiensis</i>	300	1990	2016	26	29,80	1,79	0,07	2,09
<i>Didemnum rodriguensis</i>	240	1993	2016	23	49,45	1,87	0,08	3,96
<i>Ascidia curvata</i>	131	2001	2017	16	38,44	1,78	0,10	3,84
<b>Cnidários</b>								
<i>Palythoa caribaeorum</i>	599	1990	2019	29	36,35	1,94	0,07	2,54
<i>Mussismilia hispida</i>	497	1999	2018	19	41,15	2,01	0,10	4,03
<i>Tubastraea coccinea</i>	453	1996	2019	23	42,75	1,96	0,08	3,42
<i>Siderastrea stellata</i>	347	2000	2018	18	15,65	1,77	0,10	1,57
<i>Phyllogor giadilatata</i>	141	2000	2018	18	21,16	1,67	0,09	1,90
<b>Equinodermos</b>								
<i>Lytechinus variegatus</i>	2450	1978	2016	38	42,80	2,21	0,06	2,57
<i>Echinometra lucunter</i>	731	1966	2018	52	46,35	1,91	0,04	1,85
<i>Amphipholis squamata</i>	656	1991	2018	27	41,65	2,00	0,07	2,92
<i>Astropecten brasiliensis</i>	128	1986	2015	29	58,17	1,74	0,06	3,49
<i>Echinaster brasiliensis</i>	89	1996	2019	23	46,53	1,68	0,07	3,26

Os dez primeiros resumos dos trabalhos de cada espécie foram avaliados quanto à sua relevância e à sua respectiva área de atuação na biotecnologia marinha (Figura 3).

De maneira geral, as espécies *R. canadum* (Peixe), *A. amphitrite* (Crustáceo), *U. fasciata* (Macroalga), *A. taxiformis* (Macroalga), *B. neritina*

(Briozoário) e *P. caribaeorum* (Cnidário) foram as mais bem classificadas por apresentarem maior número de trabalhos avaliados. Com isso é possível apontar que da lista com 922 espécies, essas seis são as espécies que mais se destacam em relação ao potencial biotecnológico.

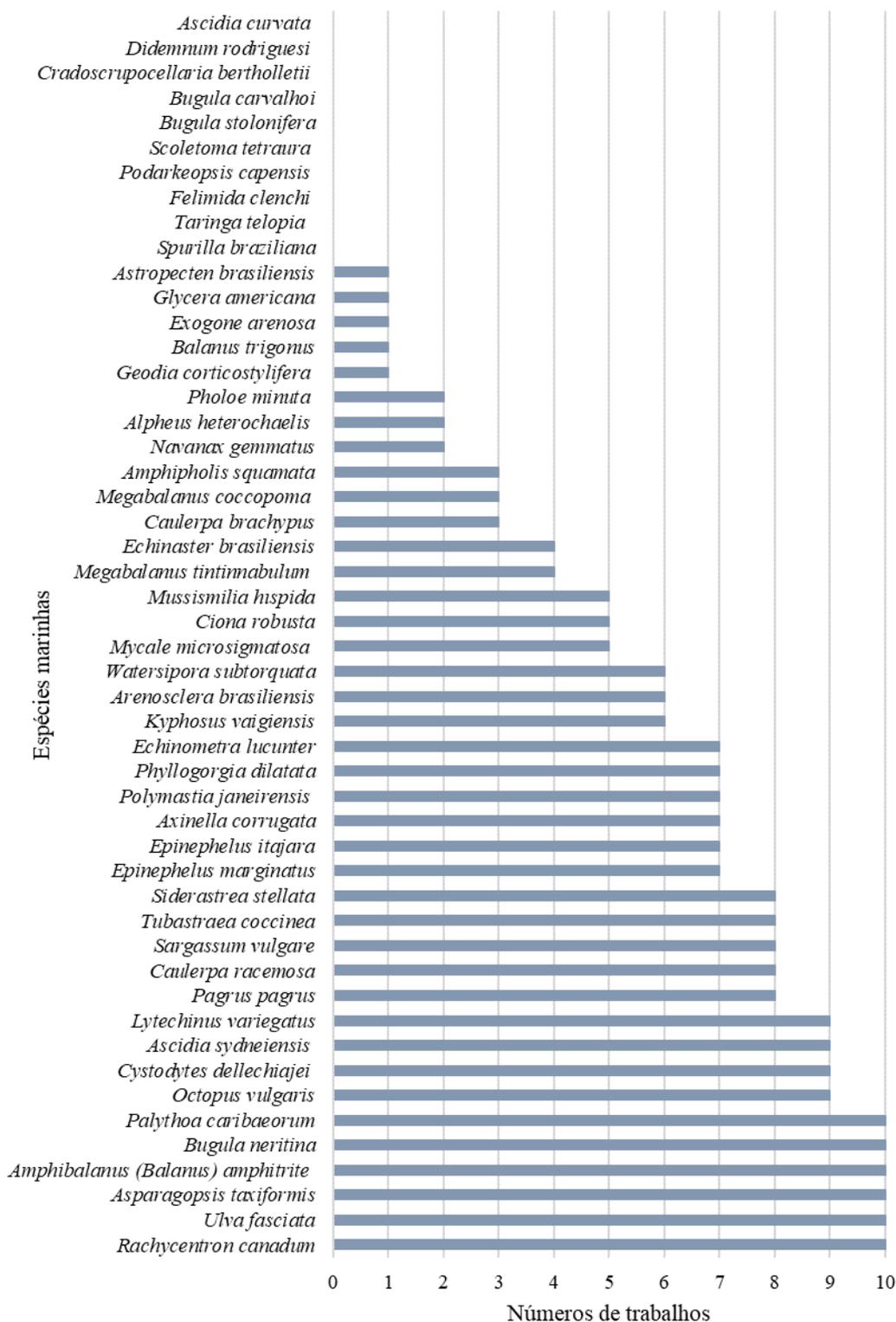


Figura 3 - Resultado da avaliação dos dez primeiros trabalhos para validar a busca de espécies na ResExMar-AC/ICMBio e seu potencial biotecnológico.

Dos dez primeiros trabalhos de cada espécie foram avaliados 257, sendo: 42 para Peixes, 39 para Macroalgas, 38 para Cnidários, 30 para Ascídeas, 27 para Equinodermos, para 25 Poríferos, 21 para

Crustáceos, 19 para Briozários, 12 para Moluscos e 4 para Poliquetas. Estes dois últimos grupos mesmo apresentando uma quantidade menor de trabalhos relacionados às espécies pesquisadas não

necessariamente se caracterizam por não ter um potencial biotecnológico, apenas são classificados neste estudo com um menor potencial quando comparado com outros grupos taxonômicos. Como proposto no tópico anterior, as espécies que obtiveram o resultado maior do que três tiveram

seus trabalhos selecionados, como mostra a Tabela 3, e a Figura 4 apresenta a classificação destes grupos taxonômicos segundo sua área de conhecimento da biotecnologia marinha.

Tabela 3 - Classificação quanto ao potencial biotecnológico dos trabalhos validados dos grupos taxonômicos.

Grupos/Espécies		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peixes	<i>Rachycentron canadum</i>	I	II	I	I	II	II	I	I	I	VIII
	<i>Pagrus pagrus</i>	I	I e VIII	I	I e VIII	I	-	-	I	II	I
	<i>Epinephelus itajara</i>	I e VII	VII	I	-	-	I	I	I	-	VII
	<i>Epinephelus marginatus</i>	VII	I e VII	I	I	I	I	-	I	-	-
	<i>Kyphosus vaigiensis</i>	VII	VII	-	I	I	-	I	-	-	I
Moluscos	<i>Octopus vulgaris</i>	VII	VII	I	I	I	I	I	-	I	I
	<i>Navanax gemmatus*</i>	VII	-	-	-	VII	-	-	-	-	-
	<i>Felimida clenchi*</i>	-	-	-	VII	-	-	-	-	-	-
	<i>Spurilla braziliana*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Taringa telopia*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Macroalgas	<i>Ulva fasciata</i>	II	II	II	II	I e II	I	VII	II	II	II
	<i>Asparagopsis taxiformis</i>	II	II	II	II	VII	II	VII	IV	II	II
	<i>Caulerpa racemosa</i>	-	V	VI	II	III	-	II	III	III	II
	<i>Sargassum vulgare</i>	-	II	II	I	-	II	IV	III	II	II
	<i>Caulerpa brachypus*</i>	-	-	-	-	-	-	-	VII	-	VII
Poríferos	<i>Axinella corrugata</i>	II	I	VII	VII	-	II	-	-	VII	II
	<i>Arenosclera brasiliensis</i>	II	VII	VII	VII	II	-	II	-	-	-
	<i>Mycale microsigmatosa</i>	-	II	II	VII	I	-	-	-	-	I
	<i>Geodia corticostylifera*</i>	VI	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Polymastia janeirensis</i>	II	VII	VI	-	VI	-	-	V	I	V
Crustáceos	<i>Balanus trigonus*</i>	-	I	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Amphibalanus amphitrite</i>	I	VII	I	II	VII e I	VII	VII	VII	I	VII
	<i>Alpheus heterochaelis*</i>	-	-	I	I	-	-	-	-	-	-
	<i>Megabalanus tintinnabulum</i>	I	-	I	I	-	-	I	-	-	-
	<i>Megabalanus coccopoma</i>	VII	-	I	-	I	-	-	-	-	-
Poliquetas	<i>Pholoe minuta*</i>	VII	-	-	-	-	I	-	-	-	-
	<i>Exogone arenosa*</i>	-	VII	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Glycera americana*</i>	-	-	VII	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Podarkeopsis capensis*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Scoletoma tetraura*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Briozoários	<i>Bugula neritina</i>	II	II	III e V	VII	VII	II	II e VII	VII	II	II e VI
	<i>Watersipora subtorquata</i>	-	-	VII	VII	VII	II	VII	-	-	VII
	<i>Bugula carvalhoi*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Bugula stolonifera*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cradosrupocellaria bertholletii*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ascídias	<i>Ciona robusta</i>	-	II e VII	-	II	VII	VII	-	-	VII	-
	<i>Cystodytes dellechiaiei</i>	II e VII	VII	II	VII	II	II	-	VII	II	II
	<i>Ascidia sydneiensis</i>	VI e VII	VI e VII	VI	II	VII	-	VI e VII	VI e VII	VI e VII	VI

(continua...)

Tabela 3 - Classificação quanto ao potencial biotecnológico dos trabalhos validados dos grupos taxonômicos (continuação)

	<i>Didemnum rodriguessi*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Ascidia curvata*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cnidários</b>	<i>Palythoa caribaeorum</i>	VI	VII	II	II	II e III	VII	II	II	VII	V
	<i>Siderastrea stellata</i>	VII	VII	-	I	-	VII	VI	I	II	VII
	<i>Tubastraea coccinea</i>	VII	VII	II	VII	VII	VII	VII	-	-	-
	<i>Phyllogorgia dilatata</i>	III	VII	II	II	II	VII	-	-	V	-
	<i>Mussismilia hispida</i>	VII	V	-	-	-	VII	VII	-	-	VIII
<b>Equinodermos</b>	<i>Lytechinus variegatus</i>	V	VII	V	I	-	VII	VII	VII	VII	II
	<i>Echinometra lucunter</i>	VII	-	VII	-	VII	VII	I e VII	II e VII	-	VII
	<i>Echinaster brasiliensis</i>	II	-	-	II	-	-	-	II e III	-	II e III
	<i>Amphipholis squamata*</i>	-	VII	VII	VII	-	-	-	-	-	-
	<i>Astropecten brasiliensis*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

I - Aquicultura marinha; II - Produtos naturais para medicina; III - Nutracêuticos marinhos; IV - Bioenergia marinha; V - Biomateriais marinhos; VI - Biorremediação marinha; VII - Biogenética; e, VIII – Bioindicadores. \*Falso positivo.

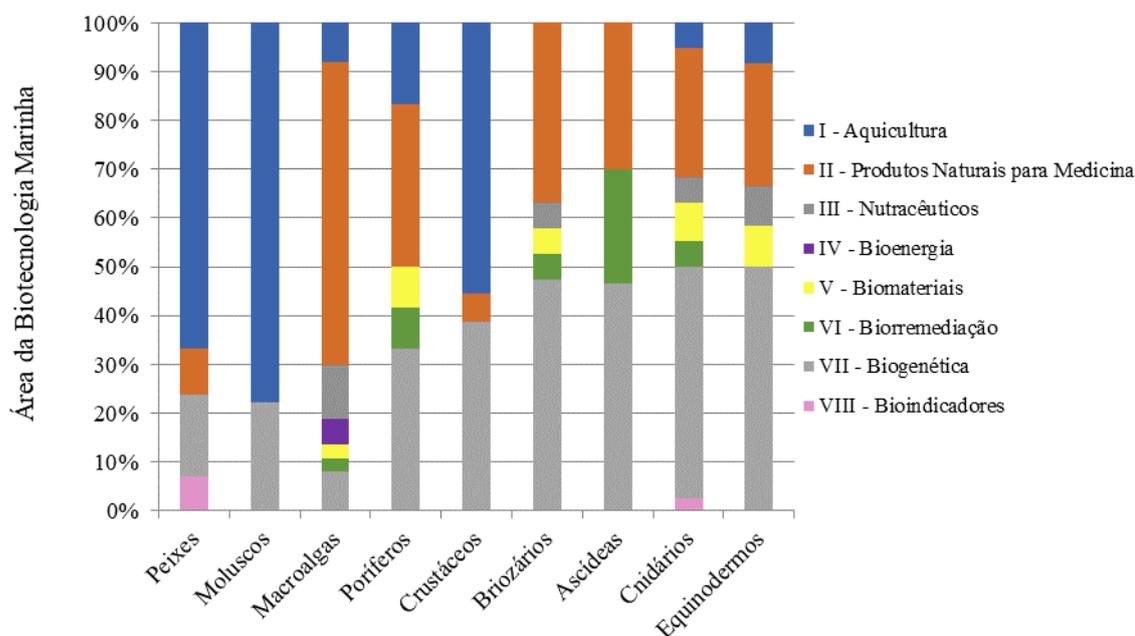


Figura 4 - Grupos taxonômicos da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (ResExMar-AC/ICMBio) classificados segundo sua área de conhecimento da biotecnologia marinha.

Os grupos Macroalgas e Cnidários apresentaram maior variedade do potencial biotecnológico quando comparamos com os outros grupos, seguidos dos Poríferos e Equinodermos. Com relação às Poliquetas, mesmo algumas espécies apresentando alguns estudos, estas foram classificadas como falsos positivos não chegando ao mínimo de quatro trabalhos, portanto foram excluídas no detalhamento do potencial biotecnológico. O mesmo ocorreu com algumas espécies de outros grupos.

Além disso, durante o detalhamento do potencial biotecnológico das espécies selecionadas foi

observado que a *B. carvalhoi* e *B. stolonifera* sofreram alterações taxonômicas para *B. carvalhoi* e *B. stolonifera*, e tiveram majoritariamente os resultados como falso positivo de outro congêneres (a *B. neritina*), levando a exclusão dessas espécies. Ocorrendo o mesmo com as espécies *C. brachypus*, *A. squamata*, *A. brasiliensis*, *A. curvata* e *D. rodriguessi* que foram excluídas por apresentar resultados abordando outras espécies, o gênero e até mesmo o filo.

Ao analisar minuciosamente cada grupo apresentado na Figura 4, 66,7% dos trabalhos do grupo Peixes estão relacionados a Aquicultura,

16,7% a Biogenética, 9,5% a Produtos naturais para medicina, 7,1% a Bioindicadores. Não foram observados trabalhos na área de biotecnologia marinha voltados para Nutracêuticos, Bioenergia, Biomateriais e Biorremediação. As espécies *R. canadum* e *P. pagrus* chamam atenção por apresentarem três potenciais biotecnológico para Aquicultura, Produtos naturais para medicina e Bioindicadores, enquanto *E. itajara*, *E. margiantus* e *K. vaigiensis* para Aquicultura e Biogenética. O fato dos cordatos apresentarem potencial biotecnológico para Aquicultura pode ser explicado uma vez que representam uma das mais importantes fontes marinhas para suplementos proteicos para o consumo humano. Entretanto, a sobrepesca e as mudanças no ambiente global estão contribuindo para o desaparecimento deste recurso alimentar (Kim e Venkatesan, 2015).

Para os Moluscos, das cinco espécies selecionadas quatro foram consideradas falso positivas, sendo *O. vulgaris* a grande responsável pela sua classificação, com 77,8% na Aquicultura e 22,2% na Biogenética. Dentre os trabalhos avaliados, foram observados temas relacionados na identificação de algumas bactérias relacionadas a enfermidades e outros sobre a identificação genética desta espécie em diferentes lugares do mundo (Farto, 2003; Oosthuizen et al., 2004).

Já o grupo Macroalgas foi o que apresentou maior diversidade de potencial biotecnológico, sendo a principal aplicação biotecnológica para Produtos naturais para medicina com 62,2%, seguidos de Nutracêuticos com 10,8%, Biogenética e Aquicultura com 8,1%, Bioenergia com 5,4% e 2,7% para Biomateriais e Biorremediação. A maior parte dos trabalhos das espécies *U. fasciata*, *A. taxiformis*, *C. racemosa* e *S. vulgare* estão relacionados à área de Produtos naturais para medicina.

Ao comparar os resultados obtidos neste estudo com os de Menezes (2019) pode-se verificar que a *A. taxiformis* aparece bem ranqueada com trabalhos nas áreas de Produtos naturais para medicina e Biogenética, tendo sido acrescido mais um potencial biotecnológico para esta espécie, Bioenergia marinha. A espécie *S. vulgare* produz polissacarídeos compostos como alginatos e que revelaram atividade antitumoral com inibição de crescimento *in vivo* (Carvalho, 2013), mostrando uma importante aplicação biotecnológica.

O grupo dos Poríferos teve 33,3% dos seus trabalhos avaliados como potencial biotecnológico para Produtos naturais para medicina e para Biogenética, 16,7% para Aquicultuta e 8,3% para Biorremediação e Biomateriais. *A. corrugata* e *A. brasiliensis* estão principalmente relacionadas a Produtos naturais para medicina e Biogenética. A

*P. aneirensis* foi a única que apresentou potencial para Biomateriais e Biorremediação. O fato deste grupo possuir uma grande representatividade na área de Produtos naturais para medicina é porque, segundo Dobson et al. (2015), grande parte dos compostos bioativos dos poríferos estão voltados aos seus microrganismos associados, e estes compostos têm uma potencial utilidade para indústria farmacêutica.

No grupo dos Crustáceos, 55,6 % dos trabalhos avaliados estão relacionados à Aquicultura seguidos, de 38,9% para Biogenética e 5,6% para Produtos naturais para medicina. A maioria dos trabalhos da espécie *A. amphitrite* possuía vários trabalhos na área na Biogenética e o restante das espécies possuía um grande potencial para Aquicultura. Alguns peptídeos bioativos isolados de proteínas provenientes de crustáceos possuem atividades anticâncer, hipocolesterolêmico, anticoagulante, antimicrobiano e antioxidante, entre outros (Kim e Venkatesan, 2015). A espécie *A. amphitrite* é utilizada como modelo biológico em diversos tipos de experimentos e é cultivada em laboratório (Messano et al., 2014), podendo ter diferentes potenciais biotecnológicos.

Analisando o grupo dos Briozoários, pode-se observar que 47,4% estão na área de Biogenética, 36,8% em Produtos naturais para medicina e 5,3% para Nutracêuticos, Biomateriais e Biorremediação Marinha. A maior parte dos trabalhos voltados para as espécies *B. carvalhoi* e *B. stolonifera* estavam relacionadas à *B. neritina*, que por sua vez possui vários trabalhos na área da biotecnologia marinha. Destaque para área de Produtos naturais para medicina, que segundo Haldar e Mody (2015) é uma fonte de briostatina (proteína inibidora da quinase C) que foi designada para tratamento de câncer esofágico, indicando seu potencial para produção de medicamentos, seguida de Biogenética, Nutracêuticos, Biomateriais e Biorremediação.

No grupo das Ascídias quase a metade dos trabalhos avaliados estão relacionados à área de Biogenética, 30,0% a Produtos naturais para medicina e 23,3% a Biorremediação. As espécies *C. robusta* e *C. dellechiajei* apresentaram trabalhos envolvendo a área de Produtos naturais para medicina e Biogenética. Segundo os autores Martínez-García et al. (2007) e Prado (2002), a *C. dellechiajei* produz alcaloides de piridoacridina que apresenta uma atividade antitumoral, confirmando o seu potencial biotecnológico. Para *A. sydneyensis*, esta chama atenção pelo seu potencial de acumulação de vanádio podendo ser utilizada na área de Biorremediação, e neste estudo também foi observado o potencial biotecnológico em

Biogenética (Yamaguchi et al., 2006; Kawakami et al., 2016).

As espécies Cnidárias, com alta diversidade biotecnológica, possuem um campo de pesquisa vasto em Biogenética (47,4%) e Produtos naturais para medicina (26,3%) aparecendo em quase todas ou em todas as espécies avaliadas neste trabalho, seguidas das áreas de Biomateriais (7,9%), Aquicultura (5,2%), Biorremediação (5,2%), Nutracêuticos (5,2%) e Bioindicadores (2,6%). Vale ressaltar que as espécies *P. dilatata* e *M. hispida* também possuem trabalhos nas áreas de Nutracêuticos e Biomateriais. De acordo com Kim e Venkatesan (2015) até 2011 foram descritos 3244 Produtos naturais para medicina voltadas para o filo dos Cnidários, o que mostra a importância deste grupo para biotecnologia.

Os trabalhos relacionados ao grupo Equinodermos apresentaram metade do seu conteúdo voltado para área de Biogenética (50,0%), seguidas dos Produtos naturais para medicina (25,0%) e Aquicultura, Nutracêuticos e Biomateriais (com 8,3% cada). Neste grupo as espécies *E. lucunter* e *E. brasiliensis* tiveram a maior parte dos trabalhos voltados para Biogenética e Produtos naturais para medicina. Além destas áreas apresentadas, a *L. variegatus* apresentou também trabalhos na área de Biomateriais.

## CONCLUSÕES

O estudo mostrou que os costões rochosos de Arraial do Cabo possuem uma grande diversidade de espécies com um alto potencial biotecnológico. Da lista com 922 espécies, seis delas (*R. canadum*, *A. amphitrite*, *U. fasciata*, *A. taxiformis*, *B. neritina* e *P. caribaeorum*) foram as que mais se destacaram.

Dos dez primeiros trabalhos de cada espécie (n=257), os grupos Macroalgas e Cnidários, seguidos dos Poríferos e Equinodermos, apresentaram maior variedade do potencial biotecnológico ao comparar com os outros grupos. E com relação à classificação do potencial biotecnológico, Biogenética, Produtos naturais para medicina e Aquicultura foram as áreas da biotecnologia marinha mais estudadas. O grupo Poliquetas foi excluído no detalhamento do potencial biotecnológico, pois não chegou ao mínimo de quatro trabalhos, sendo classificado como falso positivo. O mesmo ocorreu com algumas espécies de outros grupos.

A metodologia aplicada mostrou-se positiva para a realização deste trabalho, uma vez que a busca automatizada e aplicação dos índices estatísticos foram ferramentas úteis para o

levantamento bibliográfico reduzindo o tempo de busca, sendo possível a utilização desse método em locais que haja uma grande biodiversidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral ACZ, Jablonski S. Conservação da biodiversidade marinha e costeira no Brasil. *Conservation Biology*, v.19, n.3, p.625-631, 2005.
- Batista D, Granthom-Costa LV, Coutinho R. Biodiversidade Marinha de Costões Rochosos de Arraial do Cabo: Histórico, Ecologia, e Conservação. Arraial do Cabo. IEAPM: Rio de Janeiro/Arraial do Cabo, Brasil, 407 p. 2020.
- Blicharska M, Smithers RJ, Mikusinski G, Rönnbäck P, Harrison PA, Nilsson M, Sutherland WJ. Biodiversity's contributions to sustainable development. *Nature Sustainability*, v.2, p.1-11, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0417-9>
- Brasil (1997) Decreto s/nº, de 03 janeiro de 1997. Dispõe sobre a criação da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo, no Município de Arraial do Cabo, Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. p. 11.
- Brasil (2010) Ministério da Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde. Ministério da Ciência e Tecnologia. Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha no Brasil / Ministério da Saúde, Organização Pan-Americana da Saúde, Ministério da Ciência e Tecnologia. – Brasília: Ministério da Saúde, p.134.
- Burgess JG. New and emerging analytical techniques for marine biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, v.23, n.1, p.29-33, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.12.007>
- Carvalho LG. Avaliação do potencial biotecnológico de micro e macroalgas da flora portuguesa. 2013. 114 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal) - Universidade de Coimbra, Portugal.
- Codato GAS, Watanabe B, Calado L, Martins N, Ramos AEA. A influência da frente térmica da ressurgência costeira de cabo frio na perda do sinal acústico: um estudo numérico. X Encontro de Tecnologia Acústica Submarina-ETAS, 2011.
- Cozzolino S. Nutracêuticos: o que significa. Associação Brasileira para Estudo da Obesidade, v.55, p.1-5, 2012.
- Dobson ADW, Jackson SA, Kennedy J, Margassery LM, Flemer B, O'Leary N, Morrissey JP, O'Gara F. Marine Sponges – Molecular Biology and Biotechnology. In: Kim SK (Org.) *Springer Handbook Marine Biotechnology*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015. p. 219-254.
- Farto R, Armada SP, Montes M, Guisande JA, Pérez MJ, Nieto TP. *Vibrio lentus* associated with diseased wild octopus (*Octopus vulgaris*). *Journal of Invertebrate Pathology*, v.83, n.2, p.149-156, 2003. [https://doi.org/10.1016/s0022-2011\(03\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0022-2011(03)00067-3)
- Ferreira CEL, Gonçalves JEA, Coutinho R. Community structure of fishes and habitat complexity on a tropical rocky shore. *Environmental Biology of Fishes*, v.61, n.4, p. 353-369, 2001.

- Fonseca-kruel VS, Peixoto AL. Etnobotânica na reserva extrativista marinha de Arraial do Cabo, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.18, n.1, p.177-190, 2004.
- Haldar S, Mody K. Genome Mining for Bioactive Compounds. In: Kim SK (Org) Springer Handbook Marine Biotechnology. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015. p.531-539.
- Kawakami N, Ueki T, Matsuo K, Gekko K, Michibata H. Selective metal binding by Vanabin2 from the vanadium-rich ascidian, *Ascidia sydneiensissamea*. *Biochimica et Biophysica Acta*, v.1760, n.7, p.1096-1101, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbagen.2006.03.013>
- Kim SK, Venkatesan J. Introduction to Marine Biotechnology. In: Kim SK (Org.) Springer Handbook Marine Biotechnology. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015. p.01-08.
- Leary D, Vierros M, Hamon G, Arico S, Monagle C. Marine genetic resources: a review of scientific and commercial interest. *Marine Policy*, v.33, n.2, p.183-194, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.05.010>
- Lima Junior DP, Magalhães ALB, Pelicice FM, Vitule JRS, Azevedo-Santos VM, Orsi ML, Simberloff D, Agostinho AA. Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi Biodiversity Targets. *Ambio*, v.47, n.4, p.427-440, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-017-1001-z>
- Martínez-García M, Diaz-Valdés M, Ramos-Esplá A, Salvador N, Lopez P, Larriba E, Antón J. Cytotoxicity of the ascidian *Cystodytes dellechiaiei* against tumor cells and study of the involvement of associated microbiota in the production of cytotoxic compounds. *Marine Drugs*, v.5, n.3, p.52-70, 2007. <https://doi.org/10.3390/md503052>
- Meirelles PM, Amado-Filho GM, Pereira-Filho GH, Pinheiro HT, Moura RL, JC, Mazzei EF, Bastos AC, Edwards RA, Dinsdale E, Paranhos R, Santos EO, Iida T, Gotoh K, Nakamura S, Sawabe T, Rezende CE, Gadelha LM Jr, Francini-Filho RB, Thompson C, Thompson FL. Baseline Assessment of Mesophotic Reefs of the Vitória-Trindade Seamount Chain Based on Water Quality, Microbial Diversity, Benthic Cover and Fish Biomass Data. *PLoS ONE*, v.10, n.6, p.1-22, 2015.
- Menezes RG. Ciência de dados aplicada a conservação e a bioprospecção marinha: síntese do banco de dados do SIS-BIO para Arraial do Cabo (RJ) e Fernando de Noronha (PE), Brasil. 2019. 136 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Marinha) - Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreirauff/Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- Messano LVR, Reznik LY, Sathler L, Coutinho R. Evaluation of biocorrosion on stainless steels using laboratory-reared barnacle *Amphibalanus amphitrite*. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, v.61, n.6, p.402-408, 2014.
- Newman D, Cragg GM. Marine natural products and related compounds in clinical and advanced preclinical trials. *Journal of Natural Products*, v.67, n.8, p.1216-1238, 2004.
- Oosthuizen A, Jiwaji M, Shaw P. Genetic analysis of the *Ocotopus vulgaris* population on the coast of South Africa. *South African Journal of Science*, v.100, n.11-12, p.603-607, 2004.
- Pimenta CS, Martins EO. Paradiplomacia e energias marinhas renováveis na perspectiva de um diálogo entre cidades. *Revista de Estudos Jurídicos*, v.20, n.31, 2017.
- Prado MP. Estudo da ação antiproliferativa de extratos de organismos marinhos. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rodrigues RR. Um Estudo numérico da ressurgência costeira de Cabo Frio (RJ). 1997. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Sala E, Kowlton N. Global marine biodiversity trends. *Annual Review of Environment and Resources*, v.31, p.93-122, 2006.
- Thompson CC, Kruger RH, Thompson FL. Unlocking marine biotechnology in the developing world. *Trends in Biotechnology*, v.35, n.12, p.1119-1121, 2017.
- Thompson F, Krüger R, Thompson CC, Berlinck, et al. Marine Biotechnology in Brazil: Recent Developments and Its Potential for Innovation. *Frontiers in Marine Science*, v.5, p.1, 2018.
- United Nations. Report of the Ad Hoc Open-ended Informal Working Group to Study Issues Relating to the Conservation and Sustainable Use of Marine Biological Diversity in Areas Beyond National Jurisdiction. UN Doc. A/61/65, p. 8, 2006.
- Valentin JL. Ressurgência: fonte de vida dos oceanos. *Ciência Hoje*, v.18, n.102, p.9- 25. 1994.
- Varela J, Pereira H, Santos E, Monteiro I, Tocha C, Custódio, L, Barreira L. Os oceanos e a biotecnologia marinha: um novo desafio para Portugal. *Biotecnologia*, v.2, n.5, p.8-10, 2014.
- Yamaguchi N, Amakawa Y, Yamada H, Ueki T, Michibata H. Localization of vanabins, vanadium-binding proteins, in the blood cells of the vanadium-rich ascidian, *Ascidia sydneiensis samea*. *Zoological Science*, v.23, n.10, p. 909-915, 2006. <https://doi.org/10.2108/zsj.23.909>