

## **CARACTERIZAÇÃO DA ASSEMBLEIA DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO PARQUE ESTADUAL MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO (CEARÁ, BRASIL) E SEU USO COMO INDICADOR DE CONDIÇÕES DE ESTRESSE EM RECIFES DE CORAIS**

Characterization of the benthonic foraminifera assembly in the Pedra da Risca do Meio Marine State Park (Ceará, Brazil) and its use as an indicator of stress conditions in coral reefs

Marina Arbex de Castro Lima<sup>1</sup>, Valéria de Souza Tavares<sup>2</sup>, Narelle Maia de Almeida<sup>3</sup>, Tristan Charles Clitandre Rousseau<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: [marinaarbex@alu.ufc.br](mailto:marinaarbex@alu.ufc.br)\*

<sup>2</sup>Graduanda no curso de Oceanografia, Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: [valeriatavares@alu.ufc.br](mailto:valeriatavares@alu.ufc.br)

<sup>3</sup>Professora na Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: [narelle@ufc.br](mailto:narelle@ufc.br)

<sup>4</sup>Professor na Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: [tristanrousseau@ufc.br](mailto:tristanrousseau@ufc.br)

### RESUMO

Foraminíferos são organismos abundantes no sedimento marinho, divididos entre formas bentônicas e planctônicas, cujas carapaças são facilmente preservadas no substrato, podendo atuar como uma grande chave para estudos ecológicos e paleoecológicos. Em ambientes de recifes de coral, algumas espécies de foraminíferos bentônicos podem hospedar endossimbiontes com demandas semelhantes às dos corais em relação a condições físico-químicas. Este trabalho teve como objetivo principal identificar a assembleia de foraminíferos bentônicos presentes em um ambiente de recife de coral para determinação do índice FORAM (FI), um indicador simples e não invasivo cuja função é saber se a qualidade da água no ambiente é favorável ao crescimento ou recuperação dos recifes de coral, monitorando as condições de estresse daquele local a partir da utilização dos foraminíferos bentônicos como bioindicadores. Foram coletadas três amostras em um ponto no Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio (PEMPRIM), onde foram amostrados os três centímetros superficiais de sedimento. As amostras foram lavadas e quarteadas para triagem em estereomicroscópio binocular com identificação a nível de gênero e determinação do teor de carbonato de cálcio. A assembleia se mostrou uniforme e com uma alta diversidade, onde os gêneros *Quinqueloculina*, *Amphistegina*, *Elphidium* e *Rosalina*, característicos de águas salgadas com pouca influência continental, foram os mais abundantes. O teor de carbonato de cálcio indicou predominância de areias bioclásticas e o FI apresentou um valor médio de 3,2, o que indicou um ambiente favorável ao crescimento e desenvolvimento de corais, porém não ideal para a recuperação,

que seria 4 ou mais. Valores semelhantes foram observados em Porto Seguro e Tamandaré, o que indica que pode haver um potencial estresse nas águas do único parque marinho do estado do Ceará, bem como nesses locais.

**Palavras-chave:** Foraminíferos portadores de simbioses, índice FORAM, qualidade da água, bioindicadores, recifes costeiros.

## ABSTRACT

*Foraminifera are abundant organisms in marine sediment, divided into benthic and planktonic forms, whose shells are easily preserved in the substrate and can act as a great key for ecological and paleoecological studies. In coral reef environments, some species of benthic foraminifera can host endosymbionts with demands similar to those of corals in terms of physical and chemical conditions. The main objective of this study was to identify the main assembly of benthic foraminifera present in a coral reef environment in order to determine the FORAM index (FI), a simple, non-invasive indicator whose function is to determine whether the quality of the water in the environment is favorable to the growth or recovery of coral reefs, monitoring the stress conditions of that location by using benthic foraminifera as bioindicators. Three samples were taken at one point in the Pedra da Risca do Meio Marine State Park (PEMPRIM), where the top three centimeters of sediment were sampled. The samples were washed and quartered for sorting under compound microscope, with identification at the genus level and determination of the calcium carbonate level. The assemblage proved to be uniform and highly diverse, with the genera Quinqueloculina, Amphistegina, Elphidium and Rosalina, characteristic of salty waters with low continental influence, being the most abundant. The calcium carbonate level indicated a predominance of bioclastic sands and the FI showed an average value of 3.2, that indicated a favorable environment for coral growth and development, but not ideal for recovery, which would be 4 or above. Similar values were observed in Porto Seguro and Tamandaré, indicating that there may be a potential stress in the waters of the only marine park in the state of Ceará, as well as in these locations.*

**Keywords:** Symbiont bearing foraminifera; FORAM index; Water quality; Bioindicators; Coastal reefs.

## INTRODUÇÃO

Os ecossistemas de recifes de coral do mundo inteiro estão passando por um grande declínio desde meados da década de 1970 (Hallock *et al.*, 2003) e, apesar de ser um ecossistema extremamente dinâmico que pode apresentar uma recuperação, os recifes podem ser afetados definitivamente. Uma degradação acelerada desses ambientes causada pela superexploração dos seus recursos naturais poderá fazer com que eles possam perder a capacidade regenerativa, resultando num processo de branqueamento mais acelerado, levando à morte dos corais (Hodgson, 1999; Hoegh-Guldberg, 1999).

Recifes de corais são ecossistemas que integram tanto a comunidade coralínea quanto a formação rochosa, unindo os componentes biológicos e geológicos (Buddemeier *et al.*, 2004). Estima-se que a cobertura de recifes de coral no mundo seja entre 0,1% e 0,5% do fundo oceânico (Moberg & Folke, 1999), sendo importantes na manutenção da saúde dos oceanos, abrigando uma grande biodiversidade e atuando como uma proteção da linha de costa e podem atuar em processos biogeoquímicos, tanto como sumidouros de dióxido de carbono quanto na fixação de nitrogênio e

no equilíbrio carbonato. Além disso, os autores reconhecem que os recifes de coral contribuem entre aproximadamente 9 e 12% da pesca do mundo por possuírem uma vasta variedade de seres marinhos como peixes e invertebrados como crustáceos e pepinos do mar (Smith, 1978), bem como algas marinhas, esponjas, moluscos, anêmonas e corais moles que podem produzir substâncias muito utilizadas na indústria farmacêutica e alimentícia (Birkeland, 1997).

Os corais são sensíveis às alterações de temperatura da água, principalmente ao seu aumento, tornando-se mais vulneráveis durante o verão ou aquecimentos anômalos da temperatura da água, como o fenômeno do *El Niño* (Williams & Bunkley-Williams, 1990). Isso ocorre por conta da associação dos corais com algas endossimbiontes como as zooxantelas que permitem que ocorra uma calcificação mais rápida e eficiente do esqueleto e fornecem pigmentação para a estrutura, onde, uma vez que a água aquece além do limite superior dos corais, eles sofrem com a perda desses simbiontes e conseqüentemente ocorre um enfraquecimento da estrutura e perda na pigmentação, tornando o coral translúcido e esbranquiçado, fenômeno conhecido como branqueamento dos corais (Baker & Glynn, 2008; Lough *et al.*, 2018), fenômenos modernos que foram relatados pela primeira vez na década de 80 (Glynn, 1983).

Os foraminíferos podem ser classificados de acordo com sua morfologia e seus hábitos como planctônicos, que vivem em suspensão na coluna d'água, e como bentônicos, que vivem junto ao substrato, onde os primeiros registros foram encontrados no Cambriano (Loeblich & Tappan, 1988). Esses organismos são extremamente abundantes e possuem carapaças que são facilmente preservadas no substrato e, devido a esses aspectos, os foraminíferos fósseis atuam como uma grande chave para estudos paleoceanográficos, sendo sensíveis a variáveis físicas como a temperatura e a salinidade, que influenciam na distribuição das assembleias (Sen Gupta, 1999).

O objetivo deste trabalho é identificar a assembleia de foraminíferos bentônicos no Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio e determinar a saúde ambiental dos recifes de coral para assim inferir sobre a qualidade do ambiente, avaliando as condições de estresse daquele local a partir da utilização dos foraminíferos bentônicos como bioindicadores, bem como identificar a distribuição da densidade de foraminíferos bentônicos vivos e mortos nas amostras, determinar o teor de carbonato de cálcio do sedimento e os índices de dominância, diversidade, riqueza, número de indivíduos e equitabilidade na assembleia.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio (PEMPRIM) é uma unidade de conservação criada através da Lei Estadual nº 12.717, abrangendo uma área de 4.790 hectares completamente submersos a uma distância de aproximadamente 18,5 quilômetros do Porto do Mucuripe (Ceará, 2019). Essa porção é caracterizada como carbonática (Freire & Cavalcante, 1998; Maia de Almeida *et al.*, 2021) e a região está sob influência do clima tropical quente sub-úmido, onde o período chuvoso varia entre os meses de janeiro e maio (IPECE, 2017). A temperatura e a salinidade médias da água é 28°C e 36,8, respectivamente, encontradas no trabalho de Chaves *et al.* (2016), que não apresentaram variações ao longo da coluna d'água. Juntamente com essas variáveis, foram encontrados valores de pH entre 8,4 e 8,38. A área do parque está sob um regime de ondas semidiurnas com um período médio de 12,4 h e amplitude média máxima e mínima 3,1 m e 0,5 m, respectivamente. A maioria das ondas que atingem a área durante o primeiro semestre do ano é designada como ondas do tipo *sea* com um período de pico entre 4 s e 9 s, enquanto durante o segundo semestre possui as maiores alturas de onda, possuindo alturas máximas superiores a 4 m, sendo a altura média anual 1,3 m. As ondas possuem relação direta com os ventos do estado cearense, cujas direções variam entre E, E-NE e E-SE (Silva *et al.*, 2011; Schettini *et al.*, 2011).

A criação do parque almejou a preservação desse ambiente com uma rica biodiversidade e a mitigação dos danos causados principalmente pela pesca irregular e predatória, bem como

incentivar o turismo do mergulho e, para isso, foram realizadas diversas pesquisas nas áreas da Oceanografia e Ciências Ambientais e Biológicas. (Ceará, 2019b). Esses levantamentos apontaram a presença de cinco espécies coralíneas principais como o coral-estrela (*Siderastrea stellata*, Verrill, 1868) o mais abundante na área do parque, *Montastraea cavernosa* (Linnaeus, 1767), *Favia gravida* (Linnaeus, 1767), *Mussismilia hispida* (Verrill, 1868) e *Meandrina braziliensis* (Milne Edwards & Haime, 1848) (Ceará, 2019a).

## Coleta em campo

As amostras foram coletadas por meio de mergulho livre, onde os pesquisadores chegaram ao local de mergulho através de uma embarcação pequena. O ponto de coleta, localizado entre as coordenadas 38°24.506' W e 3°34.112' S a profundidades de 26 e 27 metros (Figura 1), foi dividido em triplicatas nomeadas de acordo com os locais coletados na expedição, sendo elas P1 RM, P2 RM e P3 RM, onde a abreviação RM foi utilizado para representar “Risca do Meio”. Para cada triplicata, foram selecionados os três centímetros superficiais do sedimento arenoso.

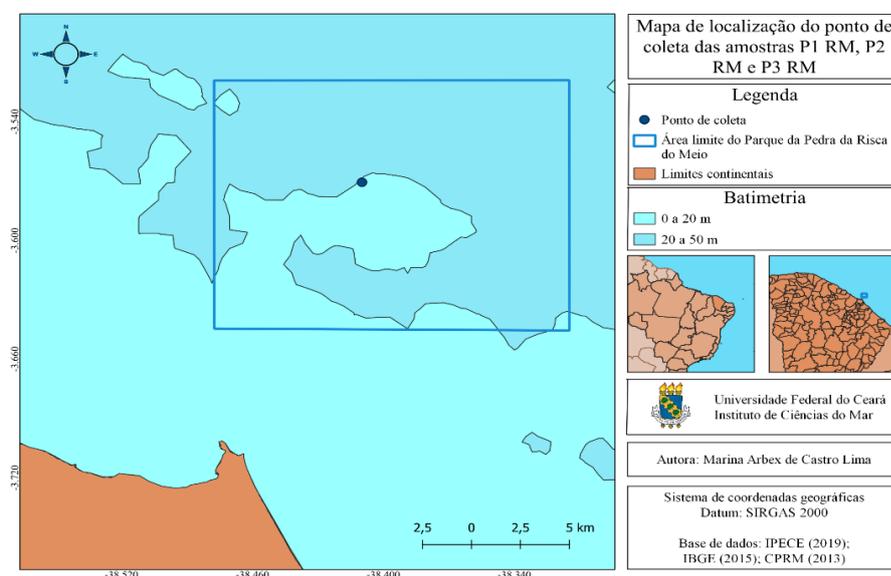


Figura 1 - Mapa de localização do ponto de coleta e da delimitação do Parque da Pedra da Risca do Meio

Logo após a coleta foi adicionada uma solução de álcool 70% e de corante Rosa de Bengala para identificar e conservar os espécimes vivos, de acordo com os protocolos de coleta e conservação descritos na iniciativa FOBIMO (FOraminiferal Blo-MONitoring) (Schönfeld *et al.*, 2012). A solução ficou em diluição na amostra por pelo menos 14 dias para que a solução fosse completamente fixada e impregnada nas carapaças.

## Análise em laboratório

Foram feitas análises sedimentológicas para determinação do teor de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) nas amostras a partir do método do calcímetro de Bernard (Cunha, 2004) modificado. Posteriormente, cada amostra foi lavada com água corrente utilizando peneiras com malhas de 63 µm e 125 µm para separação de testas maiores e menores. O material retido em cada peneira foi levado à estufa a 40°C pelo período de um dia para secagem em filtros de papel e, depois, as amostras foram quarteadas e pesadas. As análises micropaleontológicas foram realizadas utilizando uma estereoscópio binocular para triagem das carapaças dos foraminíferos, onde foram contados pelo menos 300 indivíduos por amostra, de acordo com a metodologia proposta por Tinoco (1989) e, devido ao alto número de testas por amostra, foi realizado um quarteamento prévio para uma delas. Cada testa foi identificada a nível de gênero a partir das classificações de

Loeblich e Tappan (1988) e da base de dados do *website* World Foraminifera Database. Os exemplares mais preservados foram armazenados em lâminas micropaleontológicas.

## **Análise de dados**

O índice FORAM (*Foraminifera in Reef Assessment and Monitoring*), ou FI, foi aplicado após a triagem de pelo menos 300 espécimes de cada amostra. Esse índice, cuja aplicação é fácil e não invasiva, foi desenvolvido por Hallock *et al.* (2003) nos recifes de coral da região do Caribe e permite avaliar a vulnerabilidade dos corais e monitorar as condições de saúde de ecossistemas recifais a partir do uso de foraminíferos bentônicos, uma vez que a demanda dos foraminíferos que portam simbiontes quanto à qualidade de água é semelhante em relação aos corais zooxantelados (Lee & Anderson, 1991). Os autores se basearam na premissa de que os ambientes adequados para o desenvolvimento de corais apresentavam pelo menos 25% de foraminíferos bentônicos simbiontes no sedimento. Para determinar essa proporção, os gêneros encontrados são agrupados em três grupos funcionais: foraminíferos portadores de simbiontes, foraminíferos oportunistas e foraminíferos dos demais gêneros. Após o cálculo do índice, os resultados podem indicar:  $FI > 4$  para ambientes adequados para o crescimento dos corais,  $2 > FI > 4$  para ambientes adequados ao crescimento, mas que podem ter uma recuperação imprópria e  $FI < 2$  para ambientes com condições de estresse para os corais. Esse método já foi utilizado em vários recifes de coral ao redor do mundo (Hallock *et al.*, 2003; Carnahan *et al.*, 2009; Velasquez *et al.*, 2011; Oliver *et al.*, 2014 e 2018; Emrich *et al.*, 2017; Pisapia *et al.*, 2017; Strotz & Brock, 2006; Dimiza *et al.*, 2016), inclusive em corais brasileiros (Barbosa *et al.*, 2009 e 2016; Hollerbach, 2006; Oliveira-Silva *et al.*, 2012).

Outros índices ecológicos como o número de indivíduos (N), riqueza (S) adaptada para gênero, equitatividade de Pielou (J'), diversidade de Shannon-Wiener (H'), dominância de Simpson (1-D) também foram calculados utilizando a densidade relativa a nível de gênero a partir do software PAST versão 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

## **RESULTADOS**

### **Teor de Carbonato de Cálcio**

A amostra P1 RM apresentou um teor de carbonato de 44%, sendo o sedimento classificado como areia litobioclástica e as amostras P2 RM e P3 RM apresentaram teores de 80% e 86%, respectivamente, sendo classificadas como areias bioclásticas. A área de estudo apresenta, portanto, um valor médio de carbonato de 70% com desvio padrão de  $\pm 22,71\%$ . Desta forma, caracteriza-se a área de estudo como sendo predominantemente composta por sedimentos classificados como areia bioclástica.

### **Foraminíferos e FI**

A amostra P1 RM apresentou uma maior quantidade de gêneros identificados (Figura 2), onde foram contabilizados 18 gêneros, enquanto a amostra P2 RM apresentou 17 gêneros (Figura 3) e a amostra P3 RM apresentou 14 (Figura 4). Na amostra P1 RM, foi evidenciada uma diferença na densidade dos indivíduos, em indivíduos/grama, entre foraminíferos vivos e mortos da amostra ( $\text{ind/g} > 5$ ), sendo os gêneros mais abundantes são *Quinqueloculina* (453,44), sendo o mais abundante, seguido por *Elphidium* (160,98), *Amphistegina* (156,10) e *Rosalina* (114,63). Na amostra P2 RM, os gêneros com maiores quantidades de indivíduos, ressaltando os mortos mais abundantes, foram *Quinqueloculina* (96,15), seguido pelos gêneros *Rosalina* (41,45), *Elphidium* (37,30) e *Amphistegina* (34,81), onde os valores de indivíduos mortos apresentam quantidades bem inferiores à P1 RM.

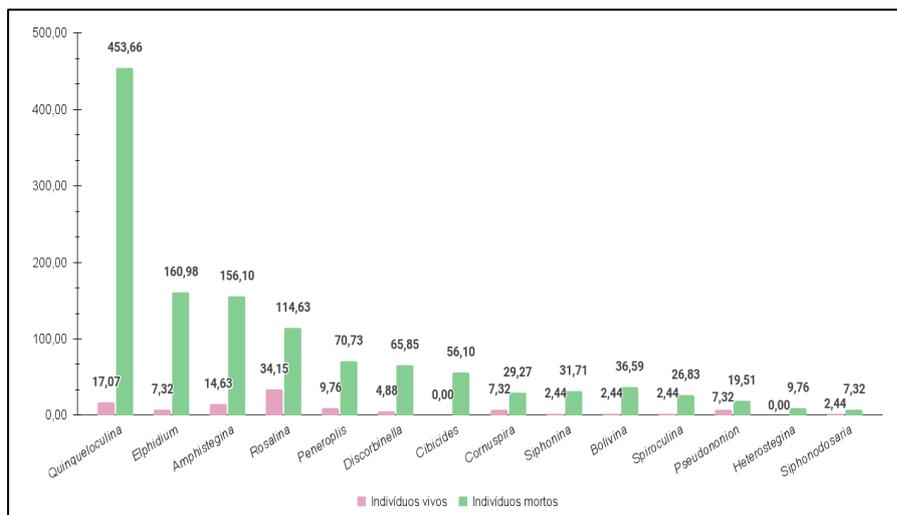


Figura 2 - Densidade (ind/g) dos gêneros de foraminíferos vivos e mortos nas amostras de P1 RM, coletadas no Parque da Pedra da Risca do Meio, Fortaleza, Ceará

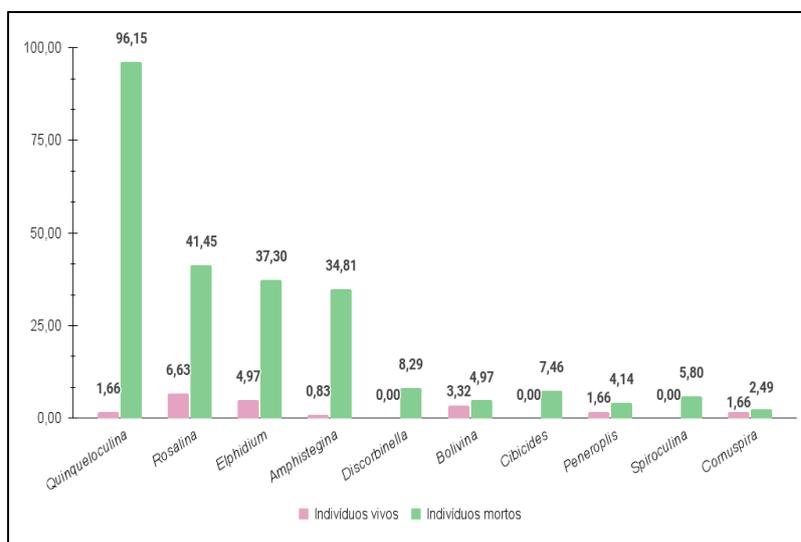


Figura 3 - Densidade (ind/g) dos gêneros de foraminíferos vivos e mortos nas amostras de P2 RM, coletadas no Parque da Pedra da Risca do Meio, Fortaleza, Ceará

De todas as amostras, P3 RM traz valores discrepantes e significativamente menores do que as outras duas amostras. É observado que os gêneros mais abundantes nesse ponto são *Quinqueloculina* (48,12), *Elphidium* (23,83), *Amphistegina* (21,08) e *Bolivina* (6,42), onde gênero *Rosalina* apresentou o menor valor em espécimes mortos. Vale ressaltar que, embora este gênero não tenha sido abundante em espécimes, ele foi o único que a quantidade de foraminíferos vivos foi maior que os mortos nas três amostras, com diferença de 0,92 para os espécimes vivos (Figura 4).

Ao observar a proporção de foraminíferos mortos e vivos em cada amostra, a densidade de vivos em relação aos mortos é baixíssima e que há uma predominância de foraminíferos mortos em relação aos foraminíferos vivos nas três amostras. Foram observados poucos organismos vivos na fração 125 µm, que abriga os indivíduos maiores, em relação aos foraminíferos abrigados na fração de 63 µm. Na amostra P1 RM, foram observados 91,6% de foraminíferos mortos, enquanto nas amostras P2 RM e P3 RM essa proporção foi de 92%, onde a média de foraminíferos mortos apresentou um valor de 91,9% ( $\pm 0,23$ ).

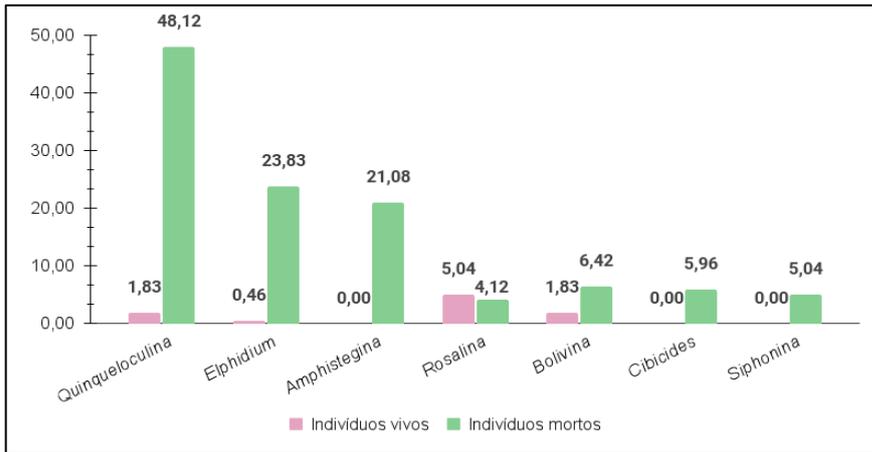


Figura 4 - Densidade (ind/g) dos gêneros de foraminíferos vivos e mortos nas amostras de P2 RM, coletadas no Parque da Pedra da Risca do Meio, Fortaleza, Ceará

Foram identificados 21 gêneros de foraminíferos nas três amostras (Figura 5). O FI foi calculado a partir dos dados de densidade representados na tabela da figura 6, de acordo com o grupo funcional de cada um e os resultados estão dispostos na figura 7, onde os valores encontrados foram 3,39 para a amostra P1 RM, 3,06 para a amostra P2 RM e 3,14 para a amostra P3 RM e, a partir deles, foi calculada uma média de 3,2 ( $\pm 0,17$ ).

Figura 5 - Fotomicrografias de foraminíferos identificados nas amostras. (1 - *Rosalina* sp.; 2, 14 - *Cornuspira* sp.; 3, 11, 12 - *Amphistegina* sp.; 4 - *Peneroplis* sp.; 5 - *Nonionella* sp.; 6 - *Spiroloculina* sp.; 7 - *Cymbaloporeta* sp.; 8 - *Nonion* sp.; 9, 10 - *Bolivina* sp.; 13 - *Quinqueloculina* sp.)

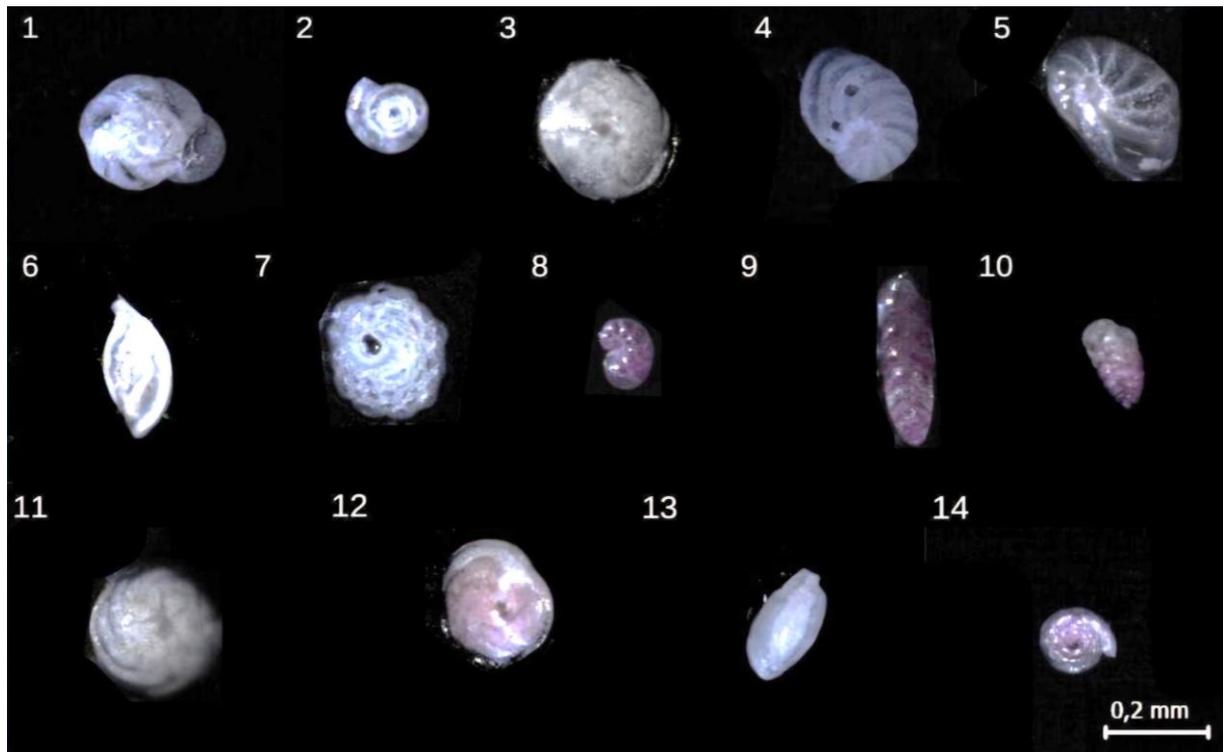


Figura 6 - Densidade (ind/g) de foraminíferos por amostra, representando a proporção de espécimes vivos e mortos e evidenciando números de cada um dos 21 gêneros identificados juntamente com os não identificados de cada uma das três amostras.

Gênero	P1 RM Vivos	P1 RM Mortos	P2 RM Vivos	P2 RM Mortos	P3 RM Vivos	P3 RM Mortos
<i>Elphidium</i>	7,32	160,98	4,97	37,3	0,46	23,83
<i>Peneroplis</i>	9,76	70,73	1,66	4,14	0,46	1,37
<i>Quinqueloculina</i>	17,07	453,66	1,66	96,15	1,83	48,12
<i>Rosalina</i>	34,15	114,63	6,63	41,45	5,04	4,12
<i>Pseudononion</i>	7,32	19,51	1,66	1,66	0	0
<i>Siphonodosaria</i>	2,44	7,32	0	0,83	0	0
<i>Discorbinella</i>	4,88	65,85	0	8,29	0,46	3,21
<i>Cornuspira</i>	7,32	29,27	1,66	2,49	0,92	3,67
<i>Spiroculina</i>	2,44	26,83	0	5,8	0	0,92
<i>Amphistegina</i>	14,63	156,1	0,83	34,81	0	21,08
<i>Fissurina</i>	0	0	0	2,49	0	0
<i>Pyrgo</i>	0	2,44	0	0	0	0
<i>Bolivina</i>	2,44	36,59	3,32	4,97	1,83	6,42
<i>Adelosina</i>	0	4,88	0	2,49	0	2,29
<i>Bulimina</i>	2,44	0	0	0	0	0
<i>Borelis</i>	0	2,44	0	0	0	0
<i>Cibicides</i>	0	56,1	0	7,46	0	5,96
<i>Heterostegina</i>	0	9,76	0	0	0	0,46
<i>Siphonina</i>	2,44	31,71	0	4,14	0	5,04
<i>Amphisorus</i>	0	0	0	4,14	0	0,46
<i>Sorites</i>	0	0	0	0,83	0	0
Outros/não identificado	2,44	117,07	0	0	0	0,46
Densidade total (indivíduos/grama)	117,07	1365,85	22,38	259,45	11	127,41

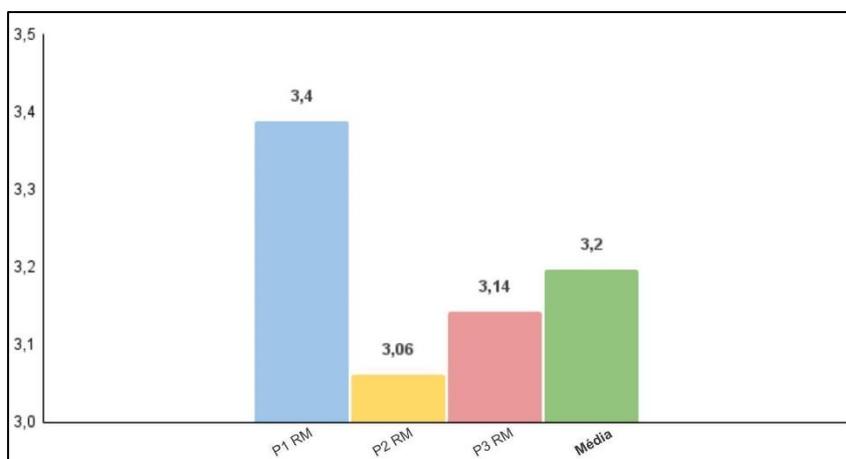


Figura 7 - Gráfico sobre o Índice Foraminífero (FI) para cada amostra P1 RM, P2 RM e P3 RM e a média calculada a partir dos três índices encontrados

## Índices Ecológicos

Os índices ecológicos calculados estão expressos na tabela da figura 8. É possível observar uma baixa variação dos valores, onde apenas a amostra P1 RM apresentou valores elevados em relação às demais amostras. O número de indivíduos (N) apresentou um mínimo de 131 (amostra P3 RM) e um máximo de 1473 (amostra P1 RM). A dominância de Simpson (1-D) apresentou valores semelhantes nas três amostras, com um mínimo de 0,8023 (amostra P3 RM) e um máximo de 0,8472 (amostra P1 RM). A diversidade de Shannon (H') apresentou uma variação entre 1,988 na amostra P3 RM e 2,261 na amostra P1 RM, assim apresentando uma diversidade mais elevada que as outras amostras. A riqueza (S), adaptada para representação do número de gêneros identificados em cada amostra, atingiu um valor máximo de 19 na amostra P1 RM e um mínimo de 15 na amostra P3 RM. A equitabilidade de Pielou (J') apresentou valores próximos a 1, representando uma distribuição uniforme de gêneros nas três amostras, onde há um mínimo de 0,718 na amostra P2

RM e um máximo de 0,7682 na amostra P1 RM, mostrando que há uma distribuição mais homogênea nessa última em relação às outras amostras.

Figura 8 - A tabela abaixo traz representação dos índices ecológicos do número de indivíduos/g (N), dominância de Simpson (1-D), diversidade de Shannon (H') e equitabilidade de Pielou (J') nas três amostras. Evidentemente, P1 RM obteve valores maiores em relação às demais amostras, em relação ao número de indivíduos/N, com 1473, enquanto as P2 RM e P3 RM apresentam quantidades de 274 e 131, respectivamente

Ponto	N	1-D	H'	S	J'
P1 RM	1473	0,8472	2,261	19	0,768
P2 RM	274	0,8077	2,035	17	0,7182
P3 RM	131	0,8023	1,988	15	0,7341

## DISCUSSÃO

O teor de CaCO<sub>3</sub> encontrado se deve principalmente à proximidade aos recifes, bem como a presença de fragmentos de conchas de bivalves no sedimento. Os altos teores de CaCO<sub>3</sub> (>50%) podem favorecer a ocorrência de foraminíferos rotalídeos e miliolídeos (Silva, 2008), tais como os gêneros *Quinqueloculina* spp., *Amphistegina* spp., *Rosalina* spp e *Elphidium* spp., que são os mais abundantes nas amostras, enquanto não há ocorrência de ordens como textularídeos, que são mais abundantes em águas salobras. Em outras regiões da plataforma continental do Ceará, que de acordo com Freire *et al.* (1997) se classifica como predominantemente carbonática, é possível observar valores semelhantes como, por exemplo, na plataforma adjacente ao município de Icapuí (CE), os teores de CaCO<sub>3</sub> encontrados por Ciarlini (2014) foram acima de 80%, mostrando uma certa semelhança em relação à predominância de areias bioclásticas. Outrossim, na região recifal de Abrolhos os teores de CaCO<sub>3</sub> encontrados por Silva (2008) foram predominantemente acima de 90% (maior presença de areias bioclásticas). Em Porto Seguro (BA), também analisado por Silva (2008), os sedimentos apresentam acima de 80% de CaCO<sub>3</sub> com maior presença de silte bioclásticos. Este menor valor encontrado se deu por conta de um maior aporte continental proveniente do rio Buranhém e de chuvas na região durante o inverno.

A assembleia de foraminíferos se mostrou uniforme nas três amostras, sendo os gêneros *Quinqueloculina* spp., *Amphistegina* spp., *Elphidium* spp. e *Rosalina* spp. os mais dominantes em todas. Além disso, *Amphistegina* spp. é um dos principais gêneros de foraminíferos do grupo funcional que abriga endossimbiontes em seu interior, descrito por Hallock *et al.* (2003), onde sua população é um importante indicador nos estudos de monitoramento da saúde das águas recifais e sua abundância entre os demais gêneros nas três amostras indica proximidade com os corais por ser um gênero que tende a habitar águas rasas entre a costa e os recifes (Hallock *et al.*, 2004). Na amostra P3 RM, correspondente a um local abaixo das formações recifais, foi observada uma maior abundância de espécimes vivos do gênero *Rosalina* spp., que se deve ao fato de que esses organismos vivem associados a fragmentos de rocha ou conchas na superfície do substrato inconsolidado (Evans *et al.*, 1973; Poag *et al.*, 1981).

O valor do FI calculado indica um ambiente favorável ao crescimento de corais, apesar de não ser um ambiente ideal para a recuperação, e é relativamente alto devido à distância da costa e ao baixo aporte continental proveniente de rios, o que faz com que o substrato seja mais adequado para a fixação de foraminíferos bentônicos (Silva, 2008). Valores semelhantes de FI foram observados em outros trabalhos realizados em recifes brasileiros, como por exemplo no trabalho de Silva (2008) na localidade de Porto Seguro, em que o índice apresenta uma média de 3,5 no verão e 3,9 no inverno, assim como no estudo de Barbosa *et al.* (2016) realizado em Tamandaré, onde os valores médios variam entre 2,8 no inverno e 3,1 no verão. No entanto, a análise do FI nos recifes do PEMPRIM precisa ser complementada para que possa ser observada uma possível variação

sazonal do índice, bem como a análise de outras variáveis.

Em relação a outros trabalhos, os valores dos índices ecológicos se mostraram bem menores do que os encontrados por Silva (2008) tanto para os recifes de Abrolhos quanto para os de Porto Seguro para a maioria dos índices ecológicos, com exceção da equitabilidade de Pielou, onde os resultados foram semelhantes. Já no estudo de Andrade (2018), realizado na plataforma externa do Rio Grande do Norte, foram observados valores semelhantes para a diversidade de Shannon. Mesmo apresentando algumas semelhanças, ainda se faz necessária a ampliação do estudo das assembleias de foraminíferos ao longo do PEMPRIM em conjunto com a análise de outras variáveis bióticas e abióticas a fim de entender suas relações, já que a assembleia analisada apresentou uma diversidade média baixa e bastante uniforme, com dominância dos mesmos gêneros nas três amostras analisadas que podem não contemplar todas as assembleias de foraminíferos presentes na área total do parque.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença de foraminíferos calcários das ordens dos rotalídeos e dos miliolídeos como *Quinqueloculina* spp., *Amphistegina* spp., *Elphidium* spp. e *Rosalina* spp., em uma assembleia com uma alta diversidade favorecida pelos valores elevados de  $\text{CaCO}_3$  e com pouca influência continental, o FI encontrado indicou que a qualidade da água do PEMPRIM permite que os corais consigam crescer se desenvolver, mas não é tão adequada para a recuperação dos mesmos, indicando um possível princípio de estresse nas águas do parque.

Por se tratar de um estudo pioneiro no local, faz-se necessário a existência de um trabalho complementar que envolva uma maior variação espacial das amostras e temporal das coletas, a fim de obter uma caracterização mais abrangente das assembleias e da saúde das espécies coralinas na área total do parque e para que possa ser feito um monitoramento.

## REFERÊNCIAS

Andrade, A. P. U. *Associações de Foraminíferos e Padrões Sedimentares da Plataforma Externa do Rio Grande do Norte, NE-Brasil*. Natal, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018. Disponível online em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/30266>. Acesso em 10 dez 2022.

Baker, A. C.; Glynn, P. W.; Riegl, B. Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 2008.

Barbosa, C. F.; Prazeres, M.; Ferreira, B.; Seoane, J. C. S. Foraminiferal assemblage and reef check census in coral reef health monitoring of East Brazilian margin. *Marine Micropaleontology*, 2009. Disponível online em: [https://www.researchgate.net/publication/230561139\\_Foraminiferal\\_assemblage\\_and\\_reef\\_check\\_census\\_in\\_coral\\_reef\\_health\\_monitoring\\_of\\_East\\_Brazilian\\_margin](https://www.researchgate.net/publication/230561139_Foraminiferal_assemblage_and_reef_check_census_in_coral_reef_health_monitoring_of_East_Brazilian_margin). Acesso em 27 nov 2022.

Barbosa, C. F.; Seoane, J. C. S.; Dias, B. B.; Allevato, B.; Brooks, P. O. S.; Gaspar, A. L. B.; Cordeiro, R. C. Health environmental assessment of the coral reef-supporting Tamandaré Bay (NE, Brazil). *Marine Micropaleontology*, 2016. Disponível online em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377839816300597?via%3Dihub>. Acesso em 27 nov 2022.

Buddemeier, R.W.; Kleypas, J; Aronson, R. *Coral reefs and global climate change: Potential contributions of climate change to stresses on coral reef ecosystems*. Pew Center on Global Climate Change, 2004. Disponível online em: [https://www.researchgate.net/publication/285976656\\_Coral\\_reefs\\_and\\_global\\_climate\\_change\\_Potential\\_contributions\\_of\\_climate\\_change\\_to\\_stresses\\_on\\_coral\\_reef\\_ecosystem](https://www.researchgate.net/publication/285976656_Coral_reefs_and_global_climate_change_Potential_contributions_of_climate_change_to_stresses_on_coral_reef_ecosystem). Acesso em 7 set

2022.

Carnahan, E. A.; Hoare, A. M.; Hallock, P.; Lidz, B. H.; Reich, C. D. Foraminiferal assemblages in Biscayne Bay, Florida, USA: Responses to urban and agricultural influence in a subtropical estuary. *Mar Pollut Bull*, 2009.

Ciarlini, C. *Aproveitamento Econômico de Exploração dos Recursos Minerais na Plataforma Continental no Município de Icapuí Ceará*. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

Ceará. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Ceará. *Plano de Manejo do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio. Produto 2: Relatório consolidado de dados secundários*. Fortaleza: SEMA, 2019. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/planos-de-manejos-das-unidades-de-conservacao/plano-de-manejo-do-parque-estadual-marinho-pedra-da-risca-do-meio/>. Acesso em: 8 nov 2022.

Ceará. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Ceará. *Plano de Manejo do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio. Produto 4: Diagnóstico socioambiental*. Fortaleza: SEMA, 2019a. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/planos-de-manejos-das-unidades-de-conservacao/plano-de-manejo-do-parque-estadual-marinho-pedra-da-risca-do-meio/>. Acesso em: 8 nov 2022.

Ceará. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Ceará. *Plano de Manejo do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio. Produto 8: Plano de Manejo do Parque Estadual Marinho da Risca do Meio*. Fortaleza: SEMA, 2019b. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/planos-de-manejos-das-unidades-de-conservacao/plano-de-manejo-do-parque-estadual-marinho-pedra-da-risca-do-meio/>. Acesso em: 8 nov 2022.

Chaves, L. M.; Lima, R.; Paiva, B.; Menezes, M.O.B. *Hidrografia da região do parque marinho Pedra da Risca do Meio (Plataforma Continental do Ceará)*. Encontros Universitários 2016. <http://www.periodicos.ufc.br/eu/article/view/17979>. 2016.

Cunha, S. M. E. *Evolução atual do litoral de Natal-RN (Brasil) e suas aplicações a gestão integrada*. 2004. Disponível online em: <https://www.tdx.cat/handle/10803/1432?show=full>. Acesso em 27 nov 2022.

Dimiza, M. D.; Triantaphyllou, M. V.; Koukousioura, O.; Hallock, P.; Simboura, N.; Karageorgis, A. P.; Papatthanasiou, E. (2016). The Foram Stress Index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators*, 2016.

Emrich, K.; Martinez-Colon, M.; Alegria, H. Is Untreated Sewage Impacting Coral Reefs of Caye Caulker, Belize? *Journal of Foraminiferal Research*, 2017. Disponível online em: <https://doi.org/10.2113/gsjfr.47.1.20>. Acesso em 8 nov 2022.

Evans, G.; Murray, J. W.; Biggs, H. E. J.; Bate, R.; Bush, P. R. *The Oceanography, Ecology, Sedimentology and Geomorphology of Parts of the Trucial Coast Barrier Island Complex, Persian Gulf*. In: Purser, B.H. (eds) *The Persian Gulf*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1973. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6_14)

Freire, G. S. S.; Cavalcanti, V. M. M.; Maia, L. P.; Lima, S. F. *Classificação dos sedimentos da plataforma continental do estado do Ceará*. Fortaleza, Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste, 1997.

Glynn, P. W. E. 'Bleaching' and death of reef corals on the Pacific coast of Panama. *Environ. Conserv.*, 1983.

Hallock, P.; Lidz, B. H.; Cockey-Burkhard, E. M. Foraminifera as Bioindicators in Coral Reef Assessment and Monitoring: The FORAM Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003. Disponível online em: <https://doi.org/10.1023/A:1021337310386>. Acesso em 25 jul 2022.

Hallock, P.; Barnes, K.; Fisher, E. Coral-reef risk assessment from satellites to molecules: a multi-scale approach to environmental monitoring and risk assessment of coral reefs. *Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology*, 2004.

Hammer, Ø.; Harper, D. A. T.; Ryan, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 2001.

Hayward, B. W.; Le Coze, F.; Vachard, D.; Gross, O. *World Foraminifera Database*. Disponível online em: <https://www.marinespecies.org/foraminifera/>. Acesso em 25 jul 2022.

Hodgson, G. A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, 1999.

Hoegh-Guldberg, O. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and freshwater research*, 1999.

Hollerbach, M. *Avaliação da qualidade ambiental do Atol das Rocas (RN) com base em foraminíferos bentônicos*. Niterói, Faculdades Integradas Maria Thereza, 2006.

Larsonneur, C. La Cartographie Des Dépôts Meubles Sur Le Plateau Continental Francais: Méthode Mise Au Point Et Utilisée Em Manche. *Journal Rech.Oceanog.*, 1977.

Lee, J. J.; Anderson, O. R. *Symbiosis in foraminifera*. Biology of Foraminifera, Academic Press, New York, 1991.

Linnaeus, C. *Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Ed. 12. 1., *Regnum Animale*. 1 & 2. [The system of nature through the three kingdoms of nature: according to classes, orders, genera, species, with characters, differences, synonyms, places. Ed. 12. 1., Animal Kingdom. 1 & 2]. Holmiae [Stockholm], Laurentii Salvii. pp. 1-532 [1766] pp. 533-1327, 1767. Disponível online em: <http://www.biodiversitylibrary.org/item/83650#5>

Loeblich, A. R. Jr.; Tappan, H. *Foraminiferal genera and their classification*. New York, Van Nostrand Reinhold Ed., 1988.

Lough, J. M.; Anderson, K. D.; Hughes, T. P. Increasing thermal stress for tropical coral reefs: 1871–2017. *Scientific Reports*, 2018. Disponível online em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-24530-9>. Acesso em 26 out 2022.

Maia De Almeida, N.; Freire, G. S. S.; Morais, J. O.; Ximenes Neto, A. R.; Abreu Neto, J. C.; Pessoa, P. R. S.; Ferro, I. M. M.; Pinheiro, L. S. *Plataforma Continental do Ceará*. In: Vital, H.; Dias, M.S.; Bastos, A.C. (Org). *Plataforma Continental Brasileira, Série II*. Rio de Janeiro: P2GM, 2021, v.1, p. 71-121. 2021.

Milne Edwards, H.; Haime, J. *Recherches sur les polypiers*. Mémoire 4. Monographie des Astréides (1). *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie, Series 3*. 10: 209-320, pls. 5-9, 1848.

Moberg, F.; Folke, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 1999. Disponível online em: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ecolec:v:29:y:1999:i:2:p:215-233>. Acesso em 7 set 2022

Oliveira-Silva, P.; Barbosa, C. F.; De Almeida, C. M.; Seoane, J. C. S.; Cordeiro, R. C.; Turcq, B. J.; Soares-Gomes, A. Sedimentary geochemistry and foraminiferal assemblages in coral reef assessment of

Abrolhos, Southwest Atlantic. *Marine Micropaleontology*, 2012.

Oliver, L. M.; Fisher, W. S.; Dittmar, J.; Hallock, P.; Campbell, J.; Quarles, R. L.; Harris, P.; Lobblue, C. Contrasting responses of coral reef fauna and foraminiferal assemblages to human influence in La Parguera, Puerto Rico. *Marine Environmental Research*, 2014. Disponível online em: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.04.005>. Acesso em 7 nov 2022.

Oliver, L. M.; Fisher, W. S.; Fore, L.; Smith, A.; Bradley, P. Assessing land use, sedimentation, and water quality stressors as predictors of coral reef condition in St. Thomas, US Virgin Islands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018

Pisapia, C.; El Kateb, A.; Hallock, P.; Spezzaferri, S. Assessing coral reef health in the North Ari Atoll (Maldives) using the FoRAM Index. *Marine Micropaleontology*, 2017. Disponível online em: <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2017.06.001>. Acesso em 8 nov 2022.

Poag, C. W.; Tresslar, R. C. Living Foraminifers of West Flower Garden Bank, Northernmost Coral Reef in the Gulf of Mexico. *Micropaleontology*, 27(1), 31-70, 1981. <https://doi.org/10.2307/1485377>

Schettini, C. A. F.; Maia, L. P.; Truccolo, E. C. Análise da variabilidade do nível de água na costa de Fortaleza, Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, [S.l.], v. 44, n. 1. 2011.

Schönfeld, J.; Alve, E.; Geslin, E.; Jorissen, F.; Korsun, S.; Spezzaferri, S. *The FOBIMO (FOraminiferal Bio-MONitoring) initiative—Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies*, 2012. Disponível online em: [https://core.ac.uk/display/20658298?utm\\_source=pdf&utm\\_medium=banner&utm\\_campaign=pdf-decoration-v1](https://core.ac.uk/display/20658298?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1). Acesso em 27 out 2022.

Silva, P. O. *Diagnóstico da saúde ambiental dos ecossistemas recifais de Abrolhos e Porto Seguro, BA, com ênfase em foraminíferos bentônicos e indicadores geoquímicos*. Niterói, 2008.

Silva, A. C. *et al.* Características das ondas "Sea" e "Swell" observadas no litoral do Ceará-Brasil: variabilidade anual e inter-annual. *Tropical Oceanography* v.39.2, p. 123-132. 2011.

Strotz, L. C.; Brock, G. A. Holocene foraminifera from the reefs surrounding Viti Levu, Fiji Islands: A test of the FORAM Index. *Anuário do Instituto de Geociências*, 2006.

Tinoco, I. M. *Introdução ao estudo dos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes*. Editora Universitária da UFPE. p. 220, 1989.

Velasquez, J.; Lopez-Angarita, J.; Sanchez, J. A. Evaluation of the FORAM index in a case of conservation: Benthic foraminifera as indicators of ecosystem resilience in protected and non-protected coral reefs of the southern Caribbean. *Biodivers. Conserv.*, 2011.

Verrill, A. E. Notes on Radiata in the Museum of Yale College, with descriptions of new genera and species. No. 4. Notice of the corals and Echinoderms collected by Prof. C.F. Hartt, at the Abrolhos Reefs, Province of Bahia, Brazil, 1867. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*. 1 (2): 351-376, 1868. Disponível online em: <https://biodiversitylibrary.org/page/13380325>

Williams, E. H.; Bunley-Williams, L. The world-wide coral reef bleaching cycle and related sources of coral mortality. *Atoll Res. Bull.*, 1990.