



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL**

TARCILA FRANCO MENANDRO

Análise da composição e estrutura interna de rodólitos da Cadeia Vitória –  
Trindade

Vitória  
2018



TARCILA FRANCO MENANDRO

Análise da composição e estrutura interna de rodolitos da Cadeia Vitória –  
Trindade

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Oceanografia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos  
Coorientador: Prof. Dr. Gilberto M. Amado Filho

Vitória  
2018



TARCILA FRANCO MENANDRO

Análise da composição e estrutura interna de rodolitos da Cadeia Vitória –  
Trindade

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos  
Orientador - Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valéria da Silva Quaresma  
Examinadora Interna - Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Dr. Guilherme Henrique Pereira Filho  
Examinador Externo - Universidade Federal de São Paulo

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Poliana Silva Brasileiro  
Examinadora Externa – Instituto de Pesquisa Jardim Botânico

---

Dr. Ricardo da Gama Bahia  
Examinador Externo – Instituto de Pesquisa Jardim Botânico

Vitória  
2018



*Aos meus pais,  
pelo apoio incondicional,  
tudo é graças à vocês.*

## **Agradecimentos**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado e auxílio financeiro ao projeto de pesquisa.

Às agências CNPQ, FAPES, CAPES e FAPERJ que financiaram as campanhas de coleta de rodolitos na Cadeia Vitória-Trindade.

Ao Programa Estratégico - Capes pelo financiamento do estágio de doutorado sanduíche durante quatro meses e à *Università degli Studi di Ferrara* (Itália) na pessoa do Prof. Dr. Davide Bassi por toda a dedicação, disponibilidade e por ser fonte inesgotável de inspiração.

Ao projeto de P&D ANP JBRJ/BRASOIL pelo financiamento de estágio no exterior e à *Universidad de Granada* (Espanha) na pessoa do Prof. Dr. Juan Carlos Braga pela disponibilidade dos laboratórios e do imensurável conhecimento sobre as algas calcárias.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos por toda a paciência, compreensão e apoio. Seu amor e respeito pela ciência são exemplo para todos que convivem com você.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Gilberto Amado-Filho pelo apoio e financiamento na realização das análises e aos queridos colegas do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGOAm – UFES) pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao Labogeo pela infraestrutura cedida para o desenvolvimento dos trabalhos e aos seus brilhantes integrantes pelo companheirismo, força e amizade (que é o mesmo que café quente e fresco o dia inteiro).

À minha família e amigos que me incentivaram durante todo o percurso, mesmo que muitas vezes isso representasse minha ausência.

Ao Pedro por acreditar em mim mesmo quando eu mesma tinha dúvidas. Te amo!

A todos aqueles que de alguma forma estiveram comigo durante mais essa etapa em minha vida. Obrigada!

*“entre as pedras, minha história passa,  
corta o continente para, enfim,  
ser enterrada no mar.*

*Por isso, hoje te entrego meu corpo e minha alma,  
para que leves junto com suas águas  
até o oceano”*

Thiony Emanuel Simon

## RESUMO

Rodolitos são compostos principalmente por algas calcárias e outros organismos incrustantes subordinados (OIS), formados por seguidos processos sobrepostos de incrustações. Os rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade apresentaram como principais construtores as algas calcárias (gêneros *Sporolithon*, *Mesophyllum*, *Lithothamnion*, *Hydrolithon* e *Titanoderma*) e peyssonneliáceas (gênero *Peyssonnelia*). Os principais grupos de OIS foram foraminíferos incrustantes (*Homotrema rubrum*, aglutinantes ou demais foraminíferos incrustantes), briozoários, serpulídeos e cirripédios. Em rodolitos onde a taxa de bioerosão é muito elevada ocorre a obliteração dos caracteres morfológicos diagnósticos das algas calcárias e a identificação em nível de espécie é impossibilitada, dificultando a caracterização ambiental uma vez que esta deve ser feita em nível de espécie. Assim, o estudo da composição de OIS é uma alternativa ao estudo da assembleia algal nestes ambientes. A análise da composição de OIS foi distinta entre o monte submarino e a plataforma insular indicando diferenças locais nestes ambientes que estariam influenciando o estabelecimento dos organismos. A icnoassembleia dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade foi composta por microperfurações e macroperfurações do tipo *Entobia* (associado a ação de esponjas perfurantes), *Gastrochaenolites* (associado a ação de bivalves) e *Trypanites* (associado a ação de poliquetas e vermes sipúnculas). O estudo da icnoassembleia identificou um ambiente com baixa taxa de sedimentação e baixa hidrodinâmica que permitiu o desenvolvimento por longos períodos ininterruptos dos organismos perfurantes. A formação dos espaços vazios pelo processo de bioerosão permite a deposição de sedimento que podem aprisionar macroforaminíferos bentônicos. No monte Jaseur, o gênero *Amphistegina* apresentou maior contribuição em ambos os locais de coleta e em Trindade foi o gênero *Archaias*. O grande número de perfurações devido à intensa bioerosão poderia levar ao colapso dos nódulos, entretanto, rodolitos com grandes dimensões foram observados (diâmetros maiores com médias de  $17,8 \pm 3,8\text{cm}$ ;  $15,92 \pm 2,14\text{cm}$  e  $11,74 \pm 1,40\text{cm}$ , em Jaseur 74m, Jaseur 66m e Trindade 65m, respectivamente). O material de preenchimento das perfurações da estrutura interna dos rodolitos apresentou textura sedimentar e estava litificado integrando a estrutura rígida no interior dos nódulos. A litificação corre devido ao crescimento de cristais de cimento carbonático nos poros vazios na estrutura interna e são fundamentais para a manutenção da integridade dos nódulos. A litificação do sedimento de preenchimento cria novas estruturas rígidas dentro da estrutura interna mais antiga e estas se tornam susceptíveis a novas incrustações de organismos perfurantes. A repetição dos processos de perfuração, preenchimento, cimentação e nova perfuração substitui a estrutura interna original (composta majoritariamente por organismos incrustantes) pela estrutura resultante da repetição dos processos (composta por fragmentos de organismos calcários e sedimento litificado). O presente trabalho identificou a importância do estudo integrado de todos os componentes da estrutura interna dos rodolitos como a melhor forma de se compreender a dinâmica envolvida no desenvolvimento dos nódulos e como ferramenta na obtenção de indicadores ambientais sólidos.

**Palavras-chaves:** Organismos incrustantes subordinados, icnoassembleia, bioerosão e modificação dos componentes principais.

## ABSTRACT

Rhodoliths are nodules composed mainly of calcareous algae and other subordinate encrusting organisms (SEO), formed by subsequent overlapping processes of incrustations. The rhodoliths of the Vitória-Trindade Seamount Chain presented as main builders the calcareous algae (genera *Sporolithon*, *Mesophyllum*, *Lithothamnion*, *Hydrolithon* and *Titanoderma*) and peyssonneliaceae (genus *Peyssonnelia*). The main groups of SEO were encrusting foraminifers (*Homotrema rubrum*, agglutinated foraminifera or encrusting foraminifera), bryozoans, serpulids and cirripids. In rhodoliths where the bioerosion is very high, obliteration of the morphological characters of calcareous algae occurs, and identification at the species level is impossible, making it difficult to characterize the environment since this must be done at the species level. The study of the composition of SEO is an alternative to the study of the algal assemblage in environments with high bioerosion index. The analysis of the composition of SEO was distinct between the seamount and the insular platform indicating local differences in these environments that would be influencing the establishment of organisms. The ichno-assemblage of the Vitória-Trindade Seamount Chain was composed of microperforations and macroperforations of the *Entobia* type (associated with perforating sponges); *Gastrochaenolites* (associated with bivalves) and *Trypanites* (associated with polychaetes and sipunculus worms). The study of the ichno-assemblage identified an environment with low sedimentation rate and low hydrodynamics that allowed the development for long uninterrupted period of bioerosion. The formation of empty spaces by the bioerosion process allows the deposition of sediment that can trap benthic macroforaminifera. In Jaseur the genus *Amphistegina* was more frequent in both collection sites and in Trindade it was the genus *Archaias* that presented greater contribution. The large number of perforations due to the intense bioerosion could lead to the collapse of the nodules; however, large rhodoliths were observed (larger diameters with a mean of  $17.8 \pm 3.8$ cm for Jaseur 74m,  $15.92 \pm 2.14$ cm for Jaseur 66m and of  $11.74 \pm 1.40$ cm for Trindade 65m). The filling material of the perforations of the rhodoliths internal structure presented a sedimentary texture and was lithified; integrating the rigid structure inside the nodules. The lithification due to the growth of carbonaceous cement crystals in the empty pores in the internal structure is fundamental for the maintenance of nodule integrity. The lithification of the filling sediment creates new rigid structures within the older inner structure and these become susceptible to new infestations of perforating organisms. The repetition of the processes of perforation, filling, cementation and new perforations replaces the original internal structure (composed mainly by encrusting organisms) by the structure resulting from the repetition of processes (composed of bioclasts and lithified sediment). The present study identified the importance of the integrated study of all components of the internal structure of rhodoliths as the best way to understand the dynamics involved in the development of nodules and as a tool to obtaining solid environmental indicators.

**Keywords:** Subordinate encrusting organisms, ichnoassemblage, bioerosion and modification of the main components.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização e número de amostras coletadas .....	31
Tabela 2: Descrição das características morfológicas observadas em lâminas delgadas para a taxonomia das CCAs. Os gêneros citados foram identificados para a Cadeia Vitória-Trindade (referências na Tabela 3).	38
Tabela 3: Taxonomia das principais algas formadoras de rodolitos .....	41
Tabela 4: Composição de algas calcárias encontrada em área próxima a superfície e área próxima ao núcleo do rodolito. ....	45
Tabela 5: Contribuição percentual média dos organismos incrustantes subordinados encontrados no presente estudo ( $\pm$ Desvio Padrão).....	46
Tabela 6: Espécies de algas formadoras de rodolitos descritas para a Cadeia Vitória-Trindade. Fonte: Modificada a partir de Bahia (2014). ....	49
Tabela 7: Características típicas de rodolitos de ambientes mesofóticos. Fonte: adaptada de Matsuda e Iryu (2011). ....	51
Tabela 8: Percentual de contribuição dos três icnogêneros identificados nas lâminas petrográficas.....	68
Tabela 9: Distribuição de macroforaminíferos bentônicos (%) para os locais de estudo (n=61).....	72
Tabela 10: Profundidades de dominância das principais espécies dos gêneros <i>Archaias</i> e <i>Amphistegina</i> na plataforma continental brasileira.....	76
Tabela 11: Processos tafonômicos encontrados em rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade. Incrustação: Vestígio de serpulídeo crescendo sobre um fragmento de concha de molusco e sobre o serpulídeo ocorre o crescimento de algas calcárias incrustante; Cimentação: Perfuração em material sedimentar cimentado; Bioerosão: Fragmento de concha de molusco apresentando bioerosões associadas a organismos macroscópicos (macroperfuração) e microscópicos (microperfuração); Abrasão: <i>Archaias</i> apresentando indícios de erosão com contornos suaves; Fragmentação: fragmentos de esqueletos de organismos (bioclastos) compondo o sedimento fino que preenche as perfurações.....	87
Tabela 12: Média e desvio padrão dos principais parâmetros medidos para rodolitos coletados na plataforma insular de Trindade e no monte Jaseur (n=24). ....	89
Tabela 13: Idades calculadas e calibradas para amostras da estrutura interna dos rodolitos. O símbolo (-) indica idades fora do intervalo do método.....	91
Tabela 14: Principais grupos de componentes encontrados na estrutura interna de rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade ( $\pm$ DP = Desvio Padrão).....	92
Tabela 15: Classificação do processo de incrustação nos rodolitos dos locais de estudo de acordo com análise em lâmina petrográfica.....	95

Tabela 16: Classificação do processo de bioerosão nos rodolitos dos locais de estudo de acordo com análise em lâmina petrográfica..... 95

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Locais escolhidos para o estudo dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade: monte Jaseur e ilha de Trindade..... 30
- Figura 2: Cartas náuticas com representação de isóbatas (profundidades) identificando as áreas de estudo e localização dos locais de coleta (pontos em vermelho): A) monte submarino Jaseur e; B) ilha e plataforma insular de Trindade..... 31
- Figura 3: Elaboração das lâminas petrográficas. A) bloco cortado de 25x50mm com 1cm de espessura e B) lâmina petrográfica de 25x50mm com 15 µm de espessura. A escala (traço preto) é a mesma para ambas as figuras e equivalente a 2mm..... 32
- Figura 4: Exemplo de formação de “rodolito modelo” com interior mais antigo e região externa mais recente: A) Esquema de formação de rodolito por crescimento sobreposto de crostas de algas calcárias incrustantes ao longo do tempo (Figura sem escala) e; B) Exemplo de rodolito coletado na costa do Espírito Santo com estrutura interna laminar concêntrica devido ao crescimento de algas calcárias incrustantes (majoritariamente) ao redor de uma concha (seta vermelha) (Fonte: Leal 2013)..... 33
- Figura 5: Estrutura interna de um rodolito do monte Jaseur 74m seccionado com a demarcação das áreas para a confecção de três lâminas petrográficas. As lâminas L32 e L34 representam a região externa enquanto a lâmina L33 representa a região interna do rodolito..... 34
- Figura 6: Identificação dos organismos incrustantes em lâminas petrográficas (L32, L33 e L34) de rodolito de Jaseur 74m. L32 (lâmina na região externa, letras em vermelho): a) briozoário (seta vermelha); b) foraminífero *Homotrema rubrum* (seta vermelha); c) tubo de serpulídeo (seta vermelha) e; d) cirripédios (seta vermelha). L33 (lâmina na região interna, letras em amarelo): e) foraminífero *Homotrema rubrum* (seta vermelha); f) cirripédio (seta vermelha), g) tubo de serpulídeo (seta vermelha, briozoário (seta branca) e início do crescimento de *Homotrema rubrum* (seta preta); h) foraminífero incrustante indeterminado (setas vermelhas). L34 (lâmina na região externa, letras em vermelho): i) tubos de serpulídeos (seta vermelha); j) cirripédios (seta vermelha); k) foraminífero incrustante *Homotrema rubrum* (seta vermelha) e; l) cirripédios (seta vermelha). As setas pretas indicam a direção preferencial de crescimento do rodolito..... 41
- Figura 7: Soros característicos do gênero *Sporolithon*: a) alga encontrada em rodolito de Trindade 65m e; b) alga perfurada (seta vermelha) encontrada em rodolito de Jaseur 74m..... 42
- Figura 8: Algas da família *Corallinaceae*: a) *Titanoderma* sp. (seta vermelha) em rodolito de Jaseur 74m; b) *Titanoderma* sp. (seta vermelha) em rodolito de Trindade 65m; c) conceptáculos uniporados com crescimento de cristais de cimento carbonático (seta vermelha) do gênero *Hydrolithon* sp. em rodolito de Trindade 65m; d) alga fértil do gênero *Hydrolithon* sp. com inúmeros conceptáculos (seta vermelha) em rodolito de Jaseur 74m..... 43
- Figura 9: Algas da família *Hapalidiaceae*: a) conceptáculos multiporados do gênero *Mesophyllum* encontrada em Jaseur 66m, nota-se a recristalização ocorrendo em metade do conceptáculo (seta vermelha); b) conceptáculos multiporados (seta vermelha) do gênero *Mesophyllum* encontrado em Trindade

65m; c) conceptáculos multiporados do gênero <i>Lithothamnion</i> encontrados em Trindade 65m apresentam-se perfurados (seta vermelha) e preenchidos com material recristalizado; d) conceptáculo multiporado preenchidos com material recristalizado (seta vermelha) do gênero <i>Lithothamnion</i> encontrado em Trindade 65m.....	44
Figura 10: Caracteres diagnósticos do gênero <i>Peyssonnelia</i> : a) células de coloração translúcida em lâmina petrográfica (seta vermelha), espécime encontrada em Jaseur 74m e; b) recristalização das células de composição aragonítica tornando a alga com coloração esbranquiçada em lâmina petrográfica (seta vermelha) e placa basal (PB) que se adere ao substrato, encontrada em Trindade 65m.....	45
Figura 11: Contribuição percentual dos grupos de organismos incrustantes subordinados em relação aos locais de coleta e à posição na estrutura interna dos rodolitos (superfície e núcleo).....	47
Figura 12: Três subcategorias de foraminíferos incrustantes encontradas no presente estudo: <i>Homotrema rubrum</i> , foraminíferos aglutinantes e demais foraminíferos carbonáticos. INT = região interna; EXT = região externa.....	48
Figura 13: Sequência de eventos para abertura dos nódulos. A) nódulo inteiro, B) processo de corte com serra elétrica manual e C) face interna do nódulo serrado. Em que $d_m$ é o diâmetro maior do nódulo.....	61
Figura 14: Microrganismos perfurantes (cabeças de setas) observados na estrutura interna de rodolitos da ilha da Trindade e monte Jaseur: a) microrganismos perfurantes em alga calcária; e b) microrganismos perfurantes em esqueleto carbonático.....	64
Figura 15: Exemplos de microperfurações (cabeças de setas) na estrutura interna dos nódulos calcários: a) microperfuração em forma de canal em alga calcária; b) microperfuração em forma de furos na extremidade de esqueleto carbonático; c) microperfuração em forma de furos em alga calcária; e d) microperfurações em forma de canais em esqueleto carbonático possivelmente devido à ação de fungos ou cianobactérias.....	64
Figura 16: Identificação de icnogênero <i>Entobia</i> em nódulos calcários da Ilha da Trindade e do monte Jaseur: a) Imagem do bloco elaborado na face interna do nódulo para a elaboração de lâmina petrográfica; b) Lâmina petrográfica em que se pode observar as perfurações cilíndricas típicas de <i>Entobia</i> ; c) Macrobioerosão cilíndrica típica de <i>Entobia</i> preenchida por micrita, a moldura preta indica a área destacada na figura seguinte; d) detalhe do limite da macrobioerosão evidenciando as microestruturas cuspidiformes (cabeça de seta preta); e) Rede de câmaras e canais características de <i>Entobia</i> , a moldura preta indica a área da figura seguinte e; f) Detalhe de uma das perfurações cilíndricas de <i>Entobia</i> ainda com a presença de espículas (E) de esponjas.....	66
Figura 17: Perfurações atribuídas ao icnogênero <i>Trypanites</i> (cabeças de setas) podem ser observadas em lâmina petrográfica como canais (cortes longitudinais) ou círculos (seções transversais). .....	67
Figura 18: <i>Gastrochaenolites</i> isp. em nódulos calcários da Ilha da Trindade. A) Caracteres diagnóstico pescoço (P) e câmara principal (CP), a seta negra indica a presença da concha do bivalve preservada; B) Câmara principal (CP) alongada no eixo longitudinal e larga em seção transversal e C) cortes transversais da perfuração.....	68

- Figura 19: Relação comprimento *versus* largura em *Gastrochaenolites* (n = 32). O círculo com linha pontilhada inclui indivíduos possivelmente adultos enquanto a linha contínua inclui os indivíduos possivelmente juvenis..... 70
- Figura 20: Macroforaminíferos bentônicos encontrados na estrutura interna dos nódulos calcários: a) corte longitudinal de carapaça de *Archaias*; b) corte transversal de carapaça de *Archaias*; c) corte longitudinal da extremidade de carapaça de *Archaias*; d) dois exemplares de *Amphistegina*; e) corte longitudinal de carapaça de *Amphistegina*; f) corte longitudinal da extremidade de carapaça de *Amphistegina* (seta vermelha); g) macroforaminífero porcelanáceo indeterminado; h) macroforaminífero arenáceo indeterminado e; i) macroforaminífero hyalino indeterminados. .... 71
- Figura 21: Diferenças na macrofauna perfurante (cor cinza) em rodolitos de ambientes distintos. À esquerda rodolito de ambiente com maiores taxa de sedimentação e turbulência e menor profundidade apresentando menor abundância de organismos perfurantes e à direita rodolito de ambiente de menores taxas de sedimentação e turbulência e maior profundidade com maior abundância de organismos perfurantes (e.g.; Cadeia Vitória-Trindade). .... 75
- Figura 22: Distribuição batimétrica das principais espécies dos gêneros *Archaias* e *Amphistegina* na plataforma continental brasileira (ver fonte na Tabela 10)..... 77
- Figura 23: Imagem gerada através do programa CPCe com pontos aleatórios (n=100) em imagem de lâmina petrográfica..... 85
- Figura 24: Diagrama triangular de esfericidade modificada por Bosence (1976) para rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade (n = 24). Onde, a, b e c são respectivamente os diâmetros maior, intermediário e menor. ... 90
- Figura 25: Local da subamostragem para datação (X), composição do material (negrito) e idade calibrada (BP); onde a) Trindade 65m, b) Jaseur 66m e c) Jaseur 74m..... 91
- Figura 26: Exemplo de perfurações preenchidas (P) e não preenchidas (NP) observadas em lâminas petrográficas da estrutura interna de rodolitos..... 93
- Figura 27: Percentual equivalente às perfurações preenchidas e não preenchidas a partir da quantificação dos principais componentes das lâminas petrográficas..... 93
- Figura 28: Diagramas triangulares contendo os principais componentes das lâminas petrográficas (L): algas calcárias, organismos incrustantes subordinados e perfurações nos três locais analisados, Trindade (n = 7), Jaseur 66 m (n= 10), Jaseur 74m (n = 7)..... 94
- Figura 29: Preenchimento dos espaços vazios na estrutura interna dos rodolitos por sedimento: a) Preenchimento de perfurações (P) em alga calcária (CCA) e; b) preenchimento no interior de tubo de serpulídeo (S). .... 96
- Figura 30: Crescimentos de cristais de cimento carbonático nos espaços intersticiais do material de preenchimento: a) grumos peloidais em perfuração (GP); b) grumos peloidais (GP) no interior de tubo de serpulídeo (setas brancas); c) material de preenchimento de granulometria fina litificado (a moldura

vermelho corresponde à imagem seguinte) e; d) detalhe do crescimento dos cimentos carbonáticos (setas vermelhas) nos espaços vazios entre o sedimento. .... 97

Figura 31: Crescimento de cristais de cimentos carbonáticos em espaços intraesqueletais dos organismos presentes na estrutura interna dos rodolitos: a) espaço circundado por alga calcária (CCA) onde ocorre o crescimento do cimento (a moldura vermelha corresponde a área da imagem seguinte); b) Crescimento radial dos cristais de cimento típicos do tipo botryoidal em espaço formado pelo crescimento da alga calcária (CCA); c) poro formado no espaço de esqueleto de coral (C) com crescimento de cristais aciculares de cimento carbonático (a moldura vermelha corresponde a área da imagem seguinte); e d) detalhe de camada de cristais aciculares na extremidade da estrutura carbonática de coral (C). .... 98

Figura 32: Rodolito (R) coletado no monte submarino Jaseur 66 metros de profundidade com incrustação de coral (C) na superfície. .... 99

Figura 33: Esquema representativo dos ciclos de perfuração e cimentação sobre as crostas de algas calcárias: a) presença apenas de conceptáculos (C); b) presença de estruturas de perfuração (G = Gastrochaenolites, T = Trypanites e E = Entobia); c) preenchimento e cimentação das perfurações e crescimento de cimentos carbonáticos nos conceptáculos; d) novas fases de perfuração agora tanto sobre a estrutura da alga quanto sobre os preenchimentos cimentados; e) novas fases de preenchimento e cimentação e f) estrutura resultante composta por fragmentos de alga calcária vermelha, preenchimentos litificados e perfurações não preenchidas. Figuras fora de escala. .... 106

Figura 34: Esquema representativo dos processos de construção e modificação da estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade: a) organismos incrustantes construtores compostos por alga calcária (cor rosa), briozoários (1), foraminíferos incrustantes (2), cirripédios (3) e tubos de serpulídeos (4); b) icnoassembleia formada pela ação de organismos perfurantes e composta principalmente por *Entobia* (5), seguido de *Gastrochaenolites* (6) e *Trypanites* (7) formando espaços vazios (cor branca) na estrutura interna que podem servir para a deposição de sedimento (cor marrom) e pequenos organismos bentônicos como macroforaminíferos (8); e c) estrutura interna resultante da interação dos organismos construtores e perfurantes. O crescimento de cimentos carbonáticos (cor cinza) ocorre nos espaços intraesqueletais dos organismos construtores e nas perfurações preenchidas por sedimento. Figuras fora de escala. .... 111

## SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO I - Introdução ao tema e apresentação geral da tese</i> .....	17
1 INTRODUÇÃO AO TEMA .....	17
<b>1.1 Estrutura interna</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2 Distribuição geográfica</b> .....	<b>20</b>
2 ÁREA DE ESTUDO .....	22
<b>2.1 Formação e morfologia da Cadeia Vitória-Trindade</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2 Características físico-químicas ao longo da Cadeia Vitória-Trindade</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3 Características ecológicas</b> .....	<b>27</b>
3 OBJETIVO DA TESE.....	28
4 METODOLOGIA EM COMUM AOS CAPÍTULOS .....	30
<i>CAPÍTULO II - Principais organismos construtores da estrutura interna de rodólitos da Cadeia Vitória-Trindade: fauna incrustante associada como alternativa a análise da assembleia algal em rodólitos com alto índice de bioerosão</i> .....	35
1 INTRODUÇÃO.....	35
2 METODOLOGIA.....	37
3 RESULTADOS .....	39
<b>3.1 Composição de algas calcárias</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2 Organismos incrustantes subordinados</b> .....	<b>46</b>
4 DISCUSSÃO.....	48
5 CONCLUSÃO .....	55
<i>CAPÍTULO III - Icnossembleia e macroforaminíferos na estrutura interna de rodólitos da Cadeia Vitória-Trindade como indicadores de ambientes oceânicos mesofóticos</i> .....	57
1 INTRODUÇÃO.....	57
2 METODOLOGIA .....	60
<b>2.1 Análise de icnocenose</b> .....	<b>61</b>
<b>2.2 Macroforaminíferos bentônicos</b> .....	<b>62</b>
3 RESULTADOS .....	63
<b>3.1 Icnossembleia</b> .....	<b>63</b>
3.1.1 <i>Microrganismos perfurantes</i> .....	63

3.1.2	<i>Macroorganismos perfurantes</i> .....	64
3.2	<b>Macroforaminíferos bentônicos</b> .....	<b>70</b>
4	DISCUSSÃO .....	72
5	CONCLUSÃO .....	79
	<b><i>CAPÍTULO IV - Composição e estrutura interna resultante em rodolitos de ambiente com alto índice de bioerosão e os processos envolvidos em sua modificação</i></b> .....	<b>81</b>
1	INTRODUÇÃO .....	81
2	METODOLOGIA .....	84
2.1	<b>Preparação e medição dos rodolitos</b> .....	<b>84</b>
2.2	<b>Análise quantitativa dos componentes principais</b> .....	<b>85</b>
2.3	<b>Análise dos principais processos tafonômicos</b> .....	<b>86</b>
2.4	<b>Datação e período de crescimento</b> .....	<b>87</b>
3	RESULTADOS .....	89
3.1	<b>Tamanho e morfologia dos nódulos</b> .....	<b>89</b>
3.2	<b>Idades dos nódulos</b> .....	<b>90</b>
3.3	<b>Principais componentes da estrutura interna</b> .....	<b>92</b>
3.4	<b>Processos tafonômicos de indução biológica</b> .....	<b>94</b>
3.5	<b>Cimentos carbonáticos na estrutura interna dos rodolitos</b> .....	<b>96</b>
4	DISCUSSÃO .....	99
5	CONCLUSÕES .....	107
	<i>CAPÍTULO V - Considerações finais</i> .....	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	113



## ***CAPÍTULO I - Introdução ao tema e apresentação geral da tese***

### **1 INTRODUÇÃO AO TEMA**

Rodolitos são nódulos calcários formados principalmente pelo crescimento sobreposto de algas calcárias incrustantes (Bosence 1983; Foster 2001). Apesar de representarem os organismos majoritários na estrutura interna de rodolitos, outros organismos que também mineralizam carbonato de cálcio podem ocorrer em paralelo com o crescimento das algas calcárias. Os principais organismos incrustantes associados ao crescimento de nódulos carbonáticos são foraminíferos, briozoários, corais, moluscos, cirripédios e serpulídeos (Reyes-Bonilla *et al.* 1997; Matsuda e Iryu 2011; Villas-Boas *et al.* 2014).

Rodolitos ocorrem em extensos depósitos chamados bancos de rodolitos com densidade de nódulos distinta dependendo das condições energéticas do ambiente, podendo apresentar nódulos com crescimento ativo (vivos) como também nódulos que não apresentam algas em atividade em sua superfície (mortos) (Steller e Foster 1995; Steller *et al.* 2003). O termo bretão *maerl* também é utilizado como sinônimo de rodolito principalmente na Europa e está associado à observação de extensos depósitos cascalhosos de algas calcárias (Grall e Hall-Spencer 2003).

Os bancos de rodolitos são engenheiros do ecossistema que transformam um depósito bidimensional em tridimensional com características mais complexas (Nelson 2009; Teichert 2013). A estabilidade de um substrato rígido oferecida pelos bancos rodolitos permite o estabelecimento de uma rica flora e fauna, aumentando assim a diversidade de organismos que formam a comunidade associada ao banco (Steller *et al.* 2003; Teichert 2013). Além disso, bancos de rodolitos são considerados *hotspots* de biodiversidade devido à utilização por muitos organismos destes ambientes como berçários, refúgios e zonas de alimentação (Nelson 2009; Pinheiro *et al.* 2015).

A importância da formação dos bancos de rodolitos se dá ainda por sua ocupação em uma vasta diversidade de ambientes dentro da zona fótica. A capacidade de manter taxas

eficientes de fotossíntese em um amplo espectro de luz solar permite a distribuição das algas em diferentes profundidades (Aguirre *et al.* 2000). Bancos de rodolitos cobrem grandes áreas de ambientes carbonáticos mesofóticos (>30m de profundidade) ao longo do globo (e.g.: Havaí, Adey *et al.* 1982; Caribe, Reid e Macintyre 1988; Flórida, Prager e Ginsburg 1989; Bahamas, Littler *et al.* 1991; Austrália, Lund *et al.* 2000; Japão, Matsuda e Iryu 2011; Abrolhos, Amado-Filho *et al.* 2012a).

A precipitação de calcita magnesiana nas células das algas calcárias as faz resistentes aos mais extremos ambientes (Adey, Macintyre 1973; Round 1981; Wilson *et al.* 2004) e a altas taxas de herbivorismo (Steneck 1986; Maneveldt, Keats 2008; Burkepile, Hay 2010). Além disso, a precipitação da calcita magnesiana faz com que os bancos de rodolitos sejam um importante depósito global de carbonato de cálcio nos oceanos (Nelson 2009; Amado-Filho *et al.* 2012a,b), podendo ser considerados os mais importantes produtores de sedimento carbonático tanto em ambientes polares quanto tropicais (Sewell *et al.* 2007; Johnson *et al.* 2012).

Tendo em vista a importância de estruturas como rodolitos na modificação do ambiente em que ocorrem aumentando a biomassa e biodiversidade de organismos associados, torna-se imprescindível a preservação e gerenciamento adequado em regiões em que eles ocorrem. Entretanto, para que o processo seja feito com sucesso é necessário antes de tudo adquirir o conhecimento. É importante entender as condições ambientais em que as espécies de algas formadoras de rodolitos ocorrem bem como os demais organismos incrustantes subordinados, mas também como ocorre o processo de crescimento dos nódulos.

Além disso, a identificação da composição taxonômica, da estrutura interna de rodolitos e a compreensão dos fatores que controlam o desenvolvimento dos nódulos em longo prazo são importantes para a reconstrução dos paleoambientes em que os rodolitos fósseis cresceram (Bosence 1983; Bassi *et al.* 2009; Braga *et al.* 2010; Aguirre *et al.* 2012, 2017).

Nos próximos tópicos são abordados aspectos da estrutura interna dos rodolitos, tema desta tese, e a seguir são apresentados dados sobre a distribuição de bancos de rodolitos no mundo e a importância da maior área de ocorrência contínua encontrada na costa brasileira.

## 1.1 Estrutura interna

A formação dos nódulos calcários individualizados que compõem os bancos de rodolitos acontece por seguidos processos sobrepostos de incrustação cujos responsáveis são organismos que secretam carbonato de cálcio de diversas formas (Flugel 2010). As algas calcárias são o principal grupo de organismos formadores de rodolitos (Bosence 1983), seu desenvolvimento inicial acontece quando a alga incrustante envolve uma partícula que passa a constituir o núcleo do rodolito ou ainda pelo crescimento de um fragmento de alga em torno de si mesmo. Devido a esta forma de crescimento a estrutura interna resultante apresenta configuração concêntrica na maior parte dos rodolitos (Rivera *et al.* 2004).

A formação da estrutura carbonática rígida dos rodolitos passa a ser atrativa para o estabelecimento de uma fauna associada que desenvolve suas atividades biológicas no interior da estrutura dos nódulos (Ekdale 1985) exercendo processos de bioerosão (Neumam 1966). Para isso estes organismos produzem perfurações e podem contribuir para a destruição do nódulo ou para a criação de espaços vazios potenciais para a deposição de sedimento.

O material de granulometria que é formado durante o processo de bioerosão pode ser facilmente acumulado nas perfurações e sofrer processos de cimentação (Bromley 1994; Flugel 2010). Novas bioerosões podem ocorrer no material cimentado formando ciclos de perfurações e preenchimentos (Bromley 1994). Os ciclos podem se repetir ininterruptamente até que ocorra a modificação da estrutura original do substrato consolidado (Ekdale *et al.* 1984).

Muitos trabalhos foram realizados recentemente sobre rodolitos da costa brasileira (Amado-Filho *et al.* 2012a; Figueiredo *et al.* 2012; Pereira-Filho *et al.* 2012; Villas-Bôas *et al.* 2014; Moura *et al.* 2016), entretanto, pouco se sabe ainda sobre seu arranjo e composição internos (Leal 2013; Tamega *et al.* 2014; Vale *et al.* 2018; Brasileiro *et al. submetido*).

Diversos fatores ambientais podem influenciar na distribuição dos organismos incrustantes e na assembleia de organismos perfurantes, dentre eles a penetração da luz até o substrato, a concentração de nutrientes, a estabilidade dos nódulos e a turbidez na

coluna d'água (Choi e Ginsburg 1983; Bromley, D'Alessandro 1990; Sammarco e Risk 1990; Martindale 1992; Bromley e Asgaard 1993; Bromley 1994; Caragnano *et al.* 2016).

Portanto, a estrutura interna de rodolitos pode ser considerada dinâmica e influenciada por diversos fatores ambientais. A generalização no estudo destas estruturas deve ser evitada uma vez que os bancos de rodolitos podem ser encontrados em ambientes muito distintos que apresentam características próprias e cada um deles apresentará rodolitos com estruturas particulares.

## 1.2 Distribuição geográfica

Os bancos de rodolitos ocorrem ao longo das margens continentais, em plataformas insulares e em topos de montes submarinos e são encontrados em todos os oceanos, desde os trópicos aos polos (Foster 2001), desde a zona entremarés a profundidades que alcançam 270 m (maior profundidade encontrada para uma planta marinha; Littler e Littler 1984). São comuns e amplamente distribuídos mundialmente, são particularmente abundantes no Mediterrâneo, México, Noruega, Irlanda, Escócia, Canadá, Caribe, Japão e Austrália (Foster 2001).

A maior extensão latitudinal de bancos de rodolitos encontra-se na costa brasileira, cobrindo extensões das plataformas continentais norte, nordeste, sudeste e sul (Kempf 1970; Milliman 1977; Amado-Filho *et al.* 2012a; Moura *et al.* 2016).

O limite norte da distribuição de bancos de rodolitos na costa brasileira é caracterizado por amostras coletadas na plataforma continental adjacente a foz do rio Amazonas em profundidades entre 25 e 120m (Moura *et al.* 2016; Vale *et al.* 2018). De acordo com Amado-Filho *et al.* (2017), a partir desta região encontra-se uma grande área não mapeada mas que representa grande potencial para a presença de bancos de rodolitos.

Segundo o autor, o mapeamento de bancos de rodolitos volta a aparecer na literatura científica apenas na região nordeste com os trabalhos de Testa e Bosence (1999) na costa do estado do Rio Grande do Norte e Riul *et al.* (2009) no estado da Paraíba. O relatório de PETROBRÁS (2005) também identifica a presença eventual de rodolitos nas planícies entre-mares e na plataforma interna (<20m) da Bacia Potiguar. Além destes, recentemente os trabalhos de Fontes *et al.* (2017) e PETROBRAS (2015) na Bacia de

Sergipe–Alagoas caracterizaram a presença de rodolitos na plataforma continental externa (>45m de profundidade). Ainda na região Nordeste, Bahia *et al.* (2010) caracterizou detalhadamente um banco de rodolitos em uma área próxima á cidade de Salvador.

Na transição entre as regiões Nordeste e Sudeste, a plataforma se alarga formando grandes áreas de ambientes propícios ao desenvolvimento dos rodolitos. A região, chamada de Plataforma de Abrolhos, é a maior área de extensão de banco de rodolitos do mundo (20.902 km<sup>2</sup>) (Amado Filho *et al.* 2012a), área comparada aos recifes do Caribe (21.600 km<sup>2</sup>) e a da Grande Barreira de Corais (20.055 Km<sup>2</sup>) (Vecsei 2004).

Em seguida, na costa do Estado do Espírito Santo - região Sudeste, a plataforma continental volta a se estreitar. A plataforma capixaba é amplamente descrita com extensas áreas de bancos de rodolitos em diversas profundidades, intercaladas com áreas de depósitos siliciclásticos associados às desembocaduras fluviais (Amado-Filho *et al.* 2007, 2010; Berlandi *et al.* 2012; Dias e Villaça 2012; Villas-Boas *et al.* 2014; Vieira 2017).

Ao norte do Estado do Rio de Janeiro, ainda na Região Sudeste, a plataforma continental volta a se alargar formando a plataforma continental da Bacia de Campos, uma importante área de exploração de óleo e gás. Apesar de representar potencialmente uma área ocupada por rodolitos próxima a estimada por Amado-Filho *et al.* (2012a) para a Plataforma de Abrolhos poucos dados foram publicados em trabalhos científicos sobre a distribuição dos bancos de rodolitos na plataforma continental da Bacia de Campos (Amado-Filho *et al.* 2017). Della Giustina (2006) descreve a produção carbonática por algas calcárias em um trecho da plataforma continental da Bacia de Campos e a presença de rodolitos entre as profundidades de 70 a 110m. Ainda na Bacia de Campos, um banco de rodolitos de águas profundas (aproximadamente 100m de profundidade) foi descrito por vários trabalhos associados ao estudo no campo Peregrino de exploração de óleo (Figueiredo *et al.* 2012; Tâmega *et al.* 2013, 2014).

A partir do limite sul da Bacia de Campos, os bancos de rodolitos não são descritos na literatura, com exceção a um banco isolado na região Sul identificado na Reserva Biológica Marinha da Ilha do Arvoredo. O banco que representa o limite sul de ocorrência de rodolitos na plataforma brasileira foi amplamente descrito em relação às algas

formadoras e também à fauna associada (e.g., Gherardi 2004; Metri 2006; Pascelli *et al.* 2013).

Apesar do aumento do esforço de mapeamento dos bancos de rodolitos no litoral brasileiro, muito ainda deve ser feito principalmente nas regiões mesofóticas (>30m) onde o acesso requer mais recursos financeiros e técnicas específicas de mergulho (Amado Filho e Pereira Filho 2012; Amado-Filho *et al.* 2017). Bancos de rodolitos em áreas mesofóticas já foram descritos em alguns locais da plataforma continental como na foz do rio Amazonas (Moura *et al.* 2013), na plataforma de Abrolhos (Amado Filho *et al.* 2012a) e na costa do Espírito Santo (Amado-Filho *et al.* 2007).

Além disso, trabalhos realizados em ilhas e montes submarinos oceânicos da costa brasileira destacam a presença de extensos bancos de rodolitos. Amado-Filho *et al.* (2012b) mapearam bancos de rodolitos em plataformas insulares do Arquipélago Fernando de Noronha, enquanto Amado-Filho *et al.* (2016) e Pereira Filho *et al.* (2012) identificaram bancos de rodolitos presentes nos topos planos dos montes submarinos na Cadeia Vitória-Trindade e na plataforma da Ilha de Trindade.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A Cadeia Vitória-Trindade encontra-se na região tropical da plataforma continental brasileira, e tem início a partir de uma série linear de *guyots*<sup>1</sup> e montes submarinos com ilhas oceânicas em sua extremidade oriental, dispostos entre os paralelos 20° e 21° S. A Cadeia possui orientação oeste-leste e inicia-se no talude continental adjacente a cidade de Vitória (ES), constituem-na os bancos: Besnard, Vitória, Congress, Champlaine, Montague, Jaseur, Columbia, Davies e Dogaressa, além de montes menores; terminando na ilha de Trindade e arquipélago Martin Vaz.

A produção carbonática atual nos montes da Cadeia Vitória-Trindade está fortemente relacionada a presença de extensos bancos de rodolitos nos topos dos montes submarinos e na plataforma insular da Ilha de Trindade (Pereira-Filho *et al.* 2012). A área

---

<sup>1</sup> Edifícios vulcânicos inativos arrasados pela erosão marinha e subaérea passam a formar bancos submarinos de topo truncado (ver Hess 1946).

de cobertura de bancos de rodolito no monte Jaseur é estimada em 40 Km<sup>2</sup> e corresponde a maior taxa de produção de carbonato de cálcio entre os montes e ilhas na Cadeia Vitória-Trindade ( $7.4 \times 10^{-5}$  Gt ano<sup>-1</sup>) (Pereira-Filho *et al.* 2012). Na plataforma da ilha de Trindade a área de cobertura por bancos de rodolitos estimada foi de 16km<sup>2</sup> sendo responsáveis por uma taxa de produção de CaCO<sub>3</sub> estimada em 0.4 kg m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> (Pereira-Filho *et al.* 2012). Considerando os montes Davis, Jaseur, Vitória e a plataforma insular de Trindade, Pereira-Filho *et al.* (2011) estimaram uma área total de 1511km<sup>2</sup> de cobertura de bancos de rodolitos para toda a Cadeia Vitória-Trindade e uma taxa de produção de CaCO<sub>3</sub> de  $1.5 \times 10^{-3}$  Gt ano<sup>-1</sup>.

A seguir serão apresentadas informações sobre a formação da Cadeia Vitória-Trindade e algumas características físicas e ecológicas associadas a esta feição.

## 2.1 Formação e morfologia da Cadeia Vitória-Trindade

A teoria mais aceita sobre a formação da Cadeia Vitória-Trindade diz sobre a atividade de um *hotspot* cujo magmatismo pode ter aproveitado zonas de fratura na crosta oceânica (Zona de Fratura Vitória-Trindade) como condutor para ascender e formar vulcões à medida que ocorria o deslocamento da placa Sul-America para oeste (Gibson *et al.* 1997; Thompson *et al.* 1998; Alves *et al.* 2006; Almeida 2006). A origem do *hotspot* atribuído a formação da Cadeia Vitória-Trindade ainda é discutida. Almeida (2006) defende a formação de um *hotspot* do tipo andersoniano (Anderson 2000) ligado à astenosfera como formas passivas de rompimento litosférico. Entretanto, a hipótese mais difundida atribui a formação do *hotspot* à uma pluma mantélica que se encontraria atualmente sob a ilha de Trindade e o arquipélago de Martin Vaz (Burke, Dewey 1973; Gibson *et al.* 1997; Thompson *et al.* 1998; Siebel *et al.* 2000, Skolotnev *et al.* 2011).

Os montes submarinos têm forma geral de cone, constituída por elevação no sopé, edifício vulcânico principal e topo planar (Motoki *et al.* 2012). A grande altura dos vulcões e a extensa área do topo planar sugerem que os montes submarinos formavam ilhas vulcânicas de milhares de metros de altitude original cuja parte emersa foi erodida durante o tempo geológico pela ação de ondas do mar (Motoki *et al.* 2012).

Motoki *et al.* (2012) analisou a geomorfologia da Cadeia Vitória-Trindade por meio de batimetria predita com base no banco de dados do TOPO versão 14.1. Segundo o autor,

a elevação morfológica correspondente à Ilha de Trindade é constituída por dois edifícios vulcânicos, que estão posicionados a uma distância de 25km um do outro – Trindade do Norte e Trindade do Sul, sendo que a Ilha de Trindade situa-se na superfície de topo plano do vulcão Trindade do Norte a 20°31'S e 29°20'W. Segundo os autores, o monte submarino Jaseur que está situado em 23°30'S e 36°00'W não apresenta forma cônica, sugerindo que este é constituído mais de um edifício vulcânico - Jaseur do Leste, Jaseur do Meio e Jaseur do Oeste.

Segundo Skolotnev *et al.* (2011), a parte central da Cadeia Vitória-Trindade, onde localiza-se o monte Jaseur, foi formada a cerca de  $29.8 \pm 6.6$  Ma. Já a formação da ilha de Trindade é relativamente recente, constituída por derrames e intrusões formados entre o Plioceno Médio e o Holoceno (Cordani 1970, Hansen *et al.* 1998). Santos e Marques (2007) dataram o complexo vulcânico mais antigo de Trindade obtendo idades de 3,6–1,1Ma, enquanto Cordani e Blazekovik (1970) encontraram idades  $4 \pm 01$ Ma ao datar um dique de basanita.

Ao longo do tempo geológico ocorreu a erosão dos topos dos edifícios vulcânicos resultando em montes submarinos com topos planos que se encontram a cerca de 60m de profundidade (10 a 110m de profundidade), a maioria dentro da zona mesofótica (Pereira-Filho *et al.* 2012). Atualmente, a plataforma insular equivalente a Ilha de Trindade apresenta profundidade máxima de 100m, largura irregular que varia entre 740 e 2.950 m (Besnard 1951; Motoki *et al. et al.* 2012). Já o monte submarino Jaseur é caracterizado por grande área de topo planar, com comprimento de 60km e largura de 20km (Motoki *et al. et al.* 2012).

## **2.2 Características físico-químicas ao longo da Cadeia Vitória-Trindade**

A Corrente do Brasil é a feição mais importante na costa leste brasileira e apresenta temperatura média de 26°C e salinidade maior que 36 (Evans *et al.* 1983; Evans e Signorini 1985; Stramma *et al.* 1999). A corrente do Brasil é formada pelo empilhamento de quatro massas de água posicionadas em diferentes profundidades ao longo da coluna d'água: Água Tropical, Água Central do Atlântico Sul, Água Intermediária Antártica, Água Circumpolar Superior e Água Profunda do Atlântico Norte (Silveira *et al.* 2000).



A Cadeia Vitória-Trindade representa um obstáculo físico à passagem da Corrente do Brasil que flui ao longo da quebra da plataforma continental brasileira. Existem muitas incertezas em relação ao comportamento da Corrente do Brasil e o fluxo de massas de água ao longo da Cadeia. Alguns autores apontam que ao encontrar a Cadeia Vitória-Trindade, a Corrente do Brasil flui por uma passagem estreita e profunda próxima à costa entre os bancos Besnard e Vitória, não sendo observado nenhum fluxo ao longo da cadeia decorrente da passagem da corrente (Evans *et al.* 1983; Schmid *et al.* 1994). Já Evans e Signorini (1985) apontam que a passagem da Corrente do Brasil pode ser deslocada a leste, ocorrendo entre os bancos Vitória e Montague. Stramma *et al.* (1990) descrevem também uma possível reflexão em direção a norte de uma porção da Corrente Sul Equatorial devido a presença da Cadeia Vitória-Trindade, que por isso não atravessa a cadeia mas forma um giro ciclônico na porção *offshore* da plataforma.

Após a passagem pela Cadeia Vitória-Trindade, a Corrente do Brasil passa a apresentar um comportamento meandrante e pode originar um vórtice ciclônico sobre a plataforma continental conhecido como Vórtice de Vitória, caracterizado por águas frias, de baixa salinidade e ricas em nitrato em seu interior que está associado com alta produtividade biológica, concentração de nutrientes e valores de clorofila *a* (Schmid *et al.* 1995; Gaeta *et al.* 1999, Andrade *et al.* 2004). Campos (2006) através de simulação numérica apresentou dois cenários possíveis da trajetória do vórtice de Vitória em que ambos iniciavam o percurso em direção noroeste, ou seja, em direção a Cadeia Vitória-Trindade. No primeiro cenário o vórtice se torna estacionário ao sul da cadeia e retorna a trajetória em direção sudeste, corroborando ao encontrado por Schmid *et al.* (1995) através de dados empíricos. No segundo cenário, entretanto, a trajetória continua em direção noroeste atravessando a cadeia na altura do monte Vitória. O autor aponta que, apesar de nunca ter sido observada empiricamente, a situação é possível.

As instabilidades provocadas pela passagem da Corrente do Brasil na região, permite a formação de feições físicas junto aos montes submarinos mais próximos à plataforma continental brasileira as quais poderiam favorecer a ascensão ou subsidência de água sobre e próximo aos montes submarinos (Lemos 2014). Lemos (2014) identifica em seu estudo o estabelecimento de um domo isopical devido à formação de Cone de Taylor que seria responsável por trazer águas profundas ricas em nutrientes para águas superficiais. O autor aponta ainda que a formação desta feição encontra-se restrita ao banco de Vitória, monte Jaseur e monte Davis, mostrando que possivelmente esses

montes submarinos apresentam processos físico-biológicos (forma estrutural, dinâmica de correntes superficiais e mistura turbulenta) diferentes dos demais montes da Cadeia Vitória-Trindade.

A ascensão de águas frias ricas em nutrientes em particular para dentro da zona eufótica, aumenta a produtividade em montes submarinos de águas rasas (Genin e Boechlert 1985). O Cone de Taylor identificado por Lemos (2014) para os montes mais a leste da Cadeia é responsável pela disponibilização de nutrientes para a comunidade bentônica. Segundo o autor, nos meses de inverno imagens de satélite mostraram as maiores concentrações de clorofila-*a* nas águas superficiais próximas aos topos dos montes. O autor aponta o desenvolvimento do Cone para Coluna de Taylor devido à diminuição da estratificação da coluna d'água nesse período, possibilitando a disponibilização dos nutrientes trapeados junto ao junto para toda a coluna d'água.

Metzler *et al.* (1997) também evidenciaram a produtividade primária na região do Atlântico sudoeste e observaram núcleos mais elevados de produção sobre os bancos de Vitória, Montague e Jaseur, estendendo-se no inverno até os banco de Dogaressa e as ilhas Trindade e Martin Vaz. Os dados de clorofila *a*, ortofosfato, nitrato e nitrogênio amoniacal obtidos pelo Programa REVIZEE também mostram maiores concentrações sobre a Cadeia Vitória-Trindade que poderiam promover a fertilização da zona fótica (Metzler *et al.* 1997; Rezende *et al.* 2007).

Todos os dados apresentados acima mostram indícios do aumento da produtividade associada aos montes Vitória, Montague, Jaseur e Davis em relação ao oceano oligotrófico adjacente devido à menor profundidade do topo dos montes e à uma modificação na passagem das correntes (Bonecker *et al.* 1993).

Além disso, Meirelles *et al.* (2015) encontraram indícios de processos de *downwelling* ao analisarem a concentração de nutrientes inorgânicos na coluna d'água sobre os topos de alguns montes da cadeia Vitória-Trindade. Segundo os autores, durante os eventos de *downwelling*, a concentração de nutrientes inorgânicos diminui fazendo com que o crescimento microbial da coluna d'água seja possibilitado apenas pela excreção e exudação da comunidade bentônica. Essa relação indica ser um efeito do acoplamento bentônico-pelágico e esta fortemente relacionada a uma alta produtividade primária (Meirelles *et al.* 2015).

## 2.3 Características ecológicas

Os montes submarinos atuam como obstáculos para a passagem de correntes nos oceanos podendo causar modificações nos padrões de escoamento gerando efeitos globais ou locais (Boehlert e Genin 1987). Os processos hidrodinâmicos ao redor dos montes submarinos podem desencadear uma série de processos e respostas biológicas, enriquecendo o ambiente marinho criando verdadeiros oásis no oceano profundo oligotrófico, principalmente devido à entrada de nutrientes inorgânicos em águas com penetração de luz solar (Dower *et al.* 1992; Comeau *et al.* 1995; Vecsei 2000; Haury *et al.* 2000; Mouriño *et al.* 2001). Entretanto, estima-se que apenas 0,4–4% dos montes submarinos foram diretamente amostrados para propósitos científicos (Kvile *et al.* 2014).

No Brasil a Cadeia Vitória-Trindade formada por montes submarinos e ilhas oceânicas marca uma área de transição entre a biota marinha tropical e subtropical (Floeter *et al.* 2001; Spalding *et al.* 2007) e vem sendo testada como uma feição que permite a dispersão ao longo dos montes desde a plataforma Continental até as ilhas oceânicas (Simon 2014). Vários autores descrevem a distribuição de organismos ao longo da Cadeia para peixes (Floeter e Gasparini 2000; Simon 2014; Pinheiro *et al.* 2015), gastrópodes (Leal e Bouchet 1991), poliquetas (Paiva 2006) e para algas epibênticas e invertebrados, em geral (O'Hara *et al.* 2010). Os montes seriam utilizados como alpondras permitindo a colonização de ambientes adjacentes, até alcançarem as ilhas (Simon 2014).

A principal assembleia bentônica da Cadeia Vitória-Trindade é dominada por macroalgas (incrustantes ou não) com manchas esparsas formadas por outros organismos bentônicos, como esponjas e corais (Pereira-Filho *et al.* 2011; Meirelles *et al.* 2015). As extensas áreas dominadas por macroalgas na maioria dos montes submarinos da Cadeia Vitória-Trindade e na plataforma insular de Trindade (Pereira Filho *et al.* 2012, Meirelles *et al.* 2015) reforçam a hipótese de elevada produtividade primária associada a estas feições e é corroborada pela grande biomassa de peixes encontrada na região (Pinheiro *et al.* 2015).

O principal tipo de fundo da Cadeia Vitória-Trindade em extensão é constituído por bancos de rodólitos (Pereira-Filho *et al.* 2011; Pereira-Filho *et al.* 2012; Meirelles *et al.* 2015) que possuem um importante papel ecológico na estruturação dos recifes mesofóticos nos montes submarinos e como corredores entre o ambiente raso e mesofótico na ilha de Trindade (Pereira-Filho *et al.* 2011; Pereira-Filho *et al.* 2012).

A presença dos bancos de rodolitos oferece um substrato propício ao crescimento de algas epífitas que são alimentos para espécies de peixes abundantes em Trindade (Pereira-Filho *et al.* 2011). Outra relação observada com a ictiofauna é a formação de tocas pela espécie *Malacanthus plumieri*, a qual transporta os nódulos com a boca para formar montes utilizados como abrigo (Pereira-Filho *et al.* 2011). Mesmo com a alta biomassa e riqueza de espécies de peixes, a escassez de peixes herbívoros especializados (Floeter e Gasparini 2000; Francini-Filho *et al.* 2010; Pinheiro *et al.* 2015) favorece o desenvolvimento das algas calcárias na Cadeia Vitória-Trindade.

Apesar de ser considerada um hotspot de biodiversidade marinha (Pinheiro *et al.* 2015), a Cadeia Vitória-Trindade está sob constante ameaça. As principais atividades antrópicas que ameaçam as comunidades biológicas da Cadeia são a pesca intensiva (*overfishing*; Pereira-Filho *et al.* 2011; Simon 2014; Pinheiro *et al.* 2015), exploração dos nódulos de Ferro e Manganês (Bazilevskaya e Skolotnev 2011) e exploração dos bancos de rodolitos para a produção de fertilizantes calcários (Vasconcelos 2012).

### 3 OBJETIVO DA TESE

Os bancos de rodolitos são encontrados na maioria dos topos dos montes submarinos da Cadeia Vitória-Trindade (Pereira-Filho *et al.* 2012), bem como ao longo de quase toda a Plataforma Continental Brasileira (Amado-Filho *et al.* 2017). A importância dos bancos de rodolitos no ambiente marinho é reconhecida pelo IBAMA que considera o impacto sobre os nódulos de algas calcárias marinhas como ameaça a biodiversidade ecossistêmica, principalmente nos elos da cadeia trófica, e por isso controla a comercialização e exploração destas algas no litoral brasileiro (IBAMA, Instrução Normativa nº 89, de 02/02/2006).

Além disso, durante processos licitatórios no ambiente marinho, a presença de rodolitos pode direcionar uma resposta negativa do órgão ambiental. Entender como ocorre a formação do nódulo calcário é importante para fundamentar tomadas de decisões como estas.

O estudo da formação da estrutura interna de rodolitos em ambiente oceânico distante da costa representa uma condição de controle em que os nódulos possuem menor probabilidade de sofrer influência dos impactos antrópicos como poluição ou retirada/destruição dos nódulos. Dessa forma, rodolitos coletados em regiões oceânicas e mesofóticas da Cadeia Vitória-Trindade foram escolhidos como objeto do presente trabalho.

Tendo em vista a importância da presença de rodolitos no ambiente marinho, esta tese teve como principal objetivo compreender a formação da estrutura interna resultante dos nódulos carbonáticos. Para isso, foi necessário reconhecer os organismos envolvidos no estabelecimento da estrutura interna dos nódulos, bem como compreender os processos físicos e biológicos associados à formação e modificação da estrutura carbonática.

Com este intuito, foram estabelecidos objetivos específicos abordados em três capítulos, sendo eles:

- Capítulo II: analisar a estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade como ferramenta para a caracterização do ambiente de formação de rodolitos e avaliar a composição dos organismos incrustantes subordinados como alternativa à utilização da assembleia algal em rodolitos com alto índice de bioerosão;
- Capítulo III: identificar os principais agentes dos processos de bioerosão em rodolitos na Cadeia Vitória-Trindade e avaliar a utilização das icnocenoses e de macroforaminíferos bentônicos aprisionados no material de preenchimento das perfurações como indicadores de ambiente oceânico mesofótico com influência humana restrita devida a grande distância da costa;
- Capítulo IV: investigar a interação de processos tafonômicos em rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade e caracterizar os componentes da estrutura interna resultante.

Sendo que o Capítulo I é de apresentação dos principais temas abordados na tese e de informações sobre a área de estudo, além de trazer a metodologia que foi comum aos capítulos de discussão. E, por fim, o Capítulo V apresenta as principais informações oriundas dos capítulos e discussão de forma integrada.

#### 4 METODOLOGIA EM COMUM AOS CAPÍTULOS

De forma a representar as principais feições da CVT, foram escolhidos para amostragem um monte submarino e uma plataforma insular. Assim, foram coletados nódulos calcários localizados no topo do monte submarino Jaseur e na plataforma insular da Ilha de Trindade como mostra a Figura 1.

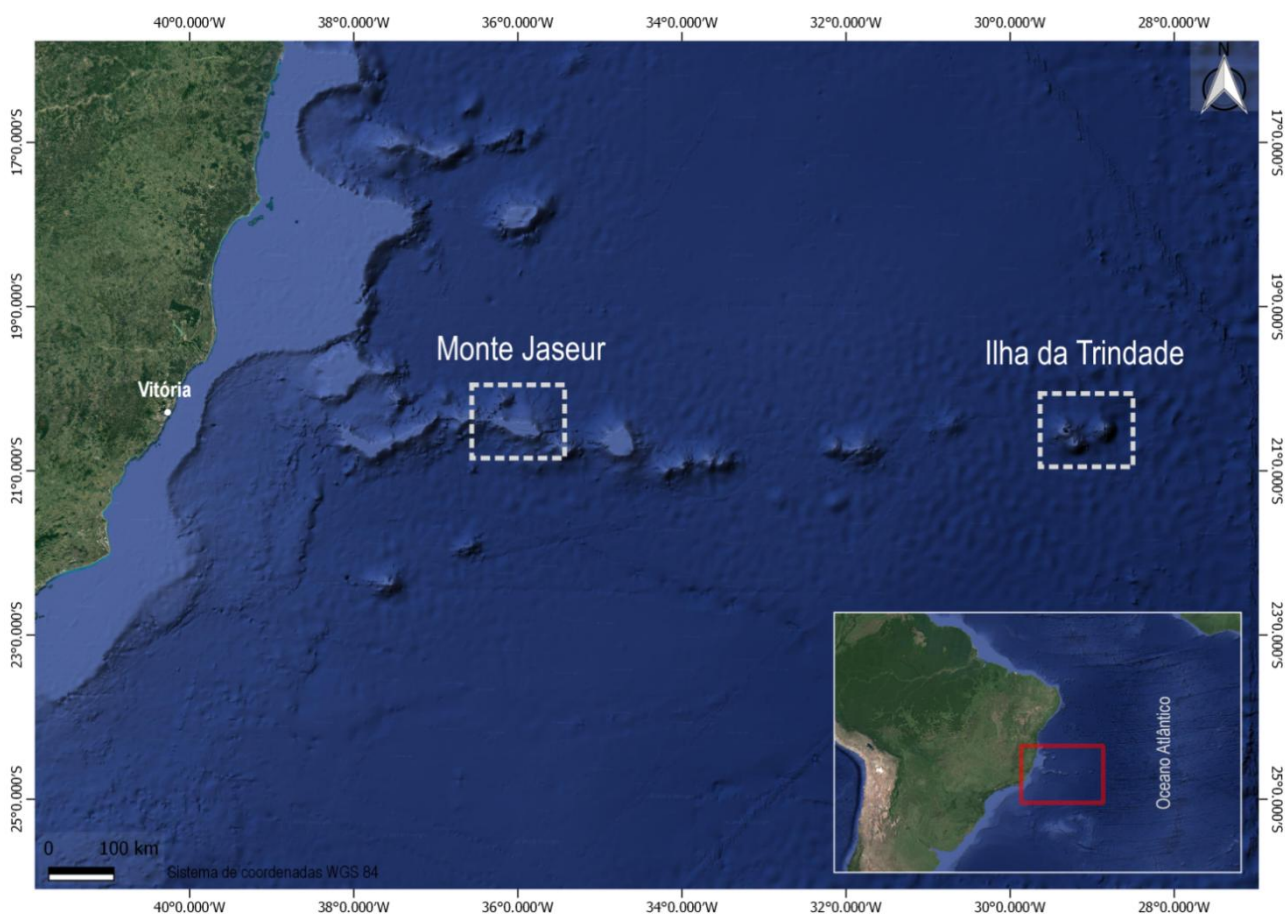


Figura 1: Locais escolhidos para o estudo dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade: monte Jaseur e ilha de Trindade.

Os rodolitos foram coletados manualmente através de mergulho autônomo em campanhas realizadas em março de 2009 em dois locais de Jaseur (a 66m e a 74m de profundidade) e em um local de Trindade (a 65m de profundidade) (Figura 2).

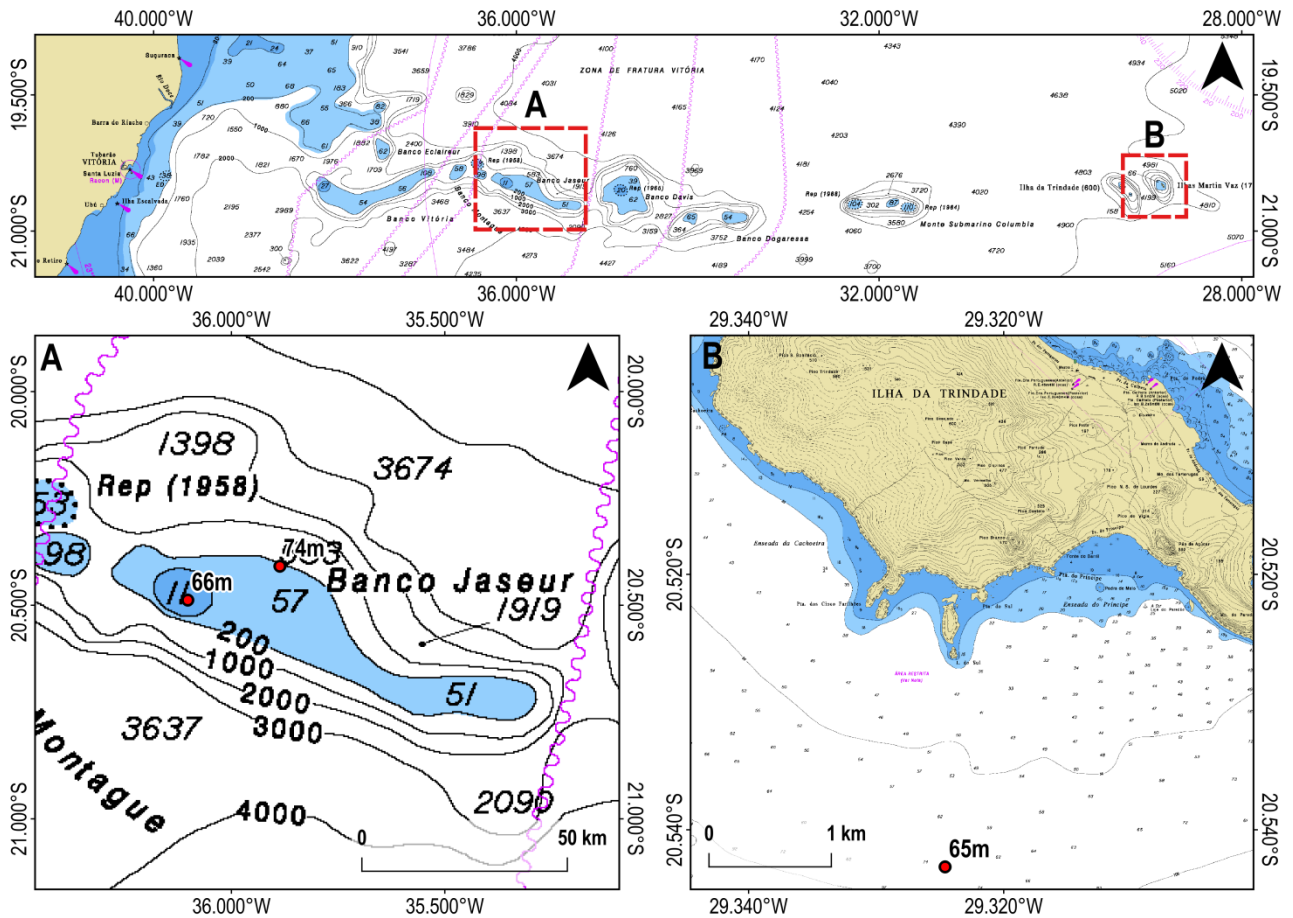


Figura 2: Cartas náuticas com representação de isóbatas (profundidades) identificando as áreas de estudo e localização dos locais de coleta (pontos em vermelho): A) monte submarino Jaseur e; B) ilha e plataforma insular de Trindade.

Foram coletados 24 rodolitos para a realização das análises (Tabela 1). Logo após as coletas, os rodolitos foram imersos em formol 4% para armazenamento durante as atividades e início dos procedimentos de triagem e análises em laboratório.

Tabela 1: Localização e número de amostras coletadas.

PONTO	COORDENADAS	PROFUNDIDADE	Nº DE AMOSTRAS
Iha de Trindade	S 20°32.571' - W 29°19.476'	65m	7
Monte Jaseur	S 20°29.288' - W 36°06.124'	66m	10
Monte Jaseur	S 20°24.529' - W 35°53.179'	74m	7

Em laboratório, os rodolitos foram lavados com água corrente e secos em estufa a 40°C para eliminar água que poderia permitir a proliferação de microrganismos. Depois de secos os rodolitos foram pesados em balança e fotografados individualmente.

Para uma análise com maior detalhe dos organismos e estruturas que compõem a matriz carbonática do nódulo foram elaboradas lâminas petrográficas em cinco rodolitos de cada local de coleta. As lâminas petrográficas são secções finas de 15  $\mu\text{m}$  de espessura com dimensões de 25x50mm (pequenas) ou de 50x75mm (grandes). Foram elaboradas um total de 41 lâminas, sendo 14 (7 pequenas e 8 grandes) do monte Jaseur raso, 12 (9 pequenas e 4 grandes) do monte Jaseur profundo e 12 (8 pequenas e 5 grandes) na plataforma insular de Trindade. Para a elaboração das lâminas, foram cortados blocos com as mesmas dimensões, porém com espessura de 1 cm os quais foram enviados para a empresa *National Petrographic Service, Inc.* (Houston, EUA) para a conclusão do processo (Figura 3).

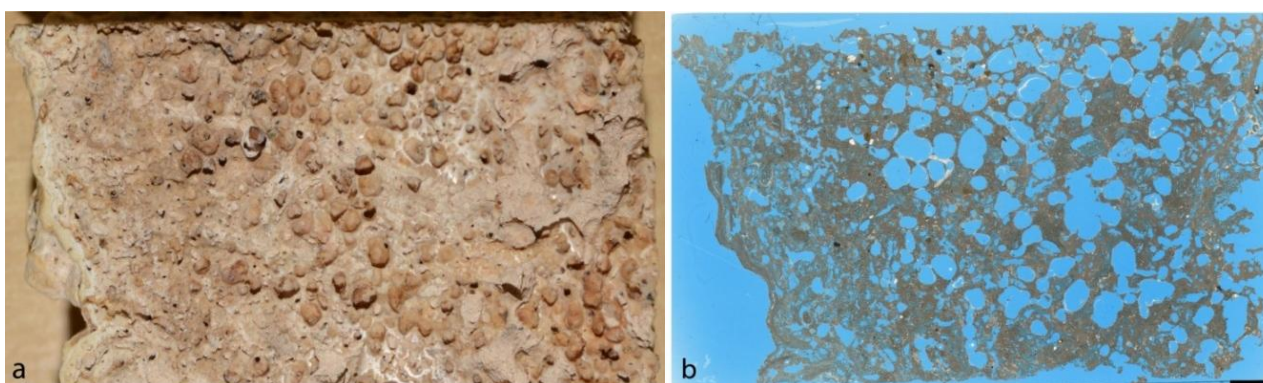


Figura 3: Elaboração das lâminas petrográficas. A) bloco cortado de 25x50mm com 1cm de espessura e B) lâmina petrográfica de 25x50mm com 15  $\mu\text{m}$  de espessura. A escala (traço preto) é a mesma para ambas as figuras e equivalente a 2mm.

Tendo em vista a natureza concêntrica de um rodolito modelo (Figura 4), a região mais interna do nódulo será sempre mais antiga do que a região mais externa. Assim, considerando toda a estrutura do rodolito a região externa do nódulo é a única onde ocorre o crescimento ativo da alga, ou seja, onde a alga está viva.



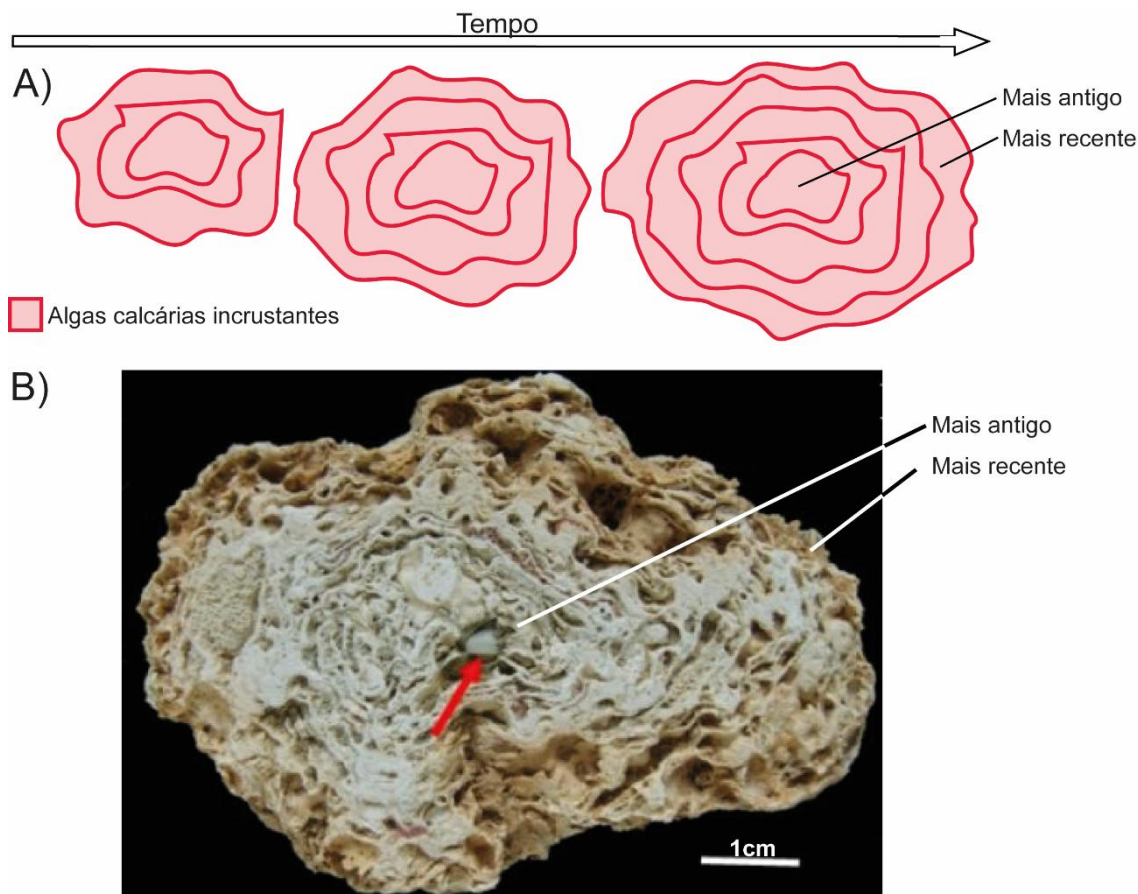


Figura 4: Exemplo de formação de “rodolito modelo” com interior mais antigo e região externa mais recente: A) Esquema de formação de rodolito por crescimento sobreposto de crostas de algas calcárias incrustantes ao longo do tempo (Figura sem escala) e; B) Exemplo de rodolito coletado na costa do Espírito Santo com estrutura interna laminar concêntrica devido ao crescimento de algas calcárias incrustantes (majoritariamente) ao redor de uma concha (seta vermelha) (Fonte: Leal 2013).

A análise sistemática dos componentes das lâminas petrográficas em microscópio possibilitou o mapeamento da transição entre a região mais externa onde mais recente e a região mais interna mais antiga. Dessa forma, todos os levantamentos em lâminas petrográficas foram realizados considerando as regiões interna e externa (Figura 5).

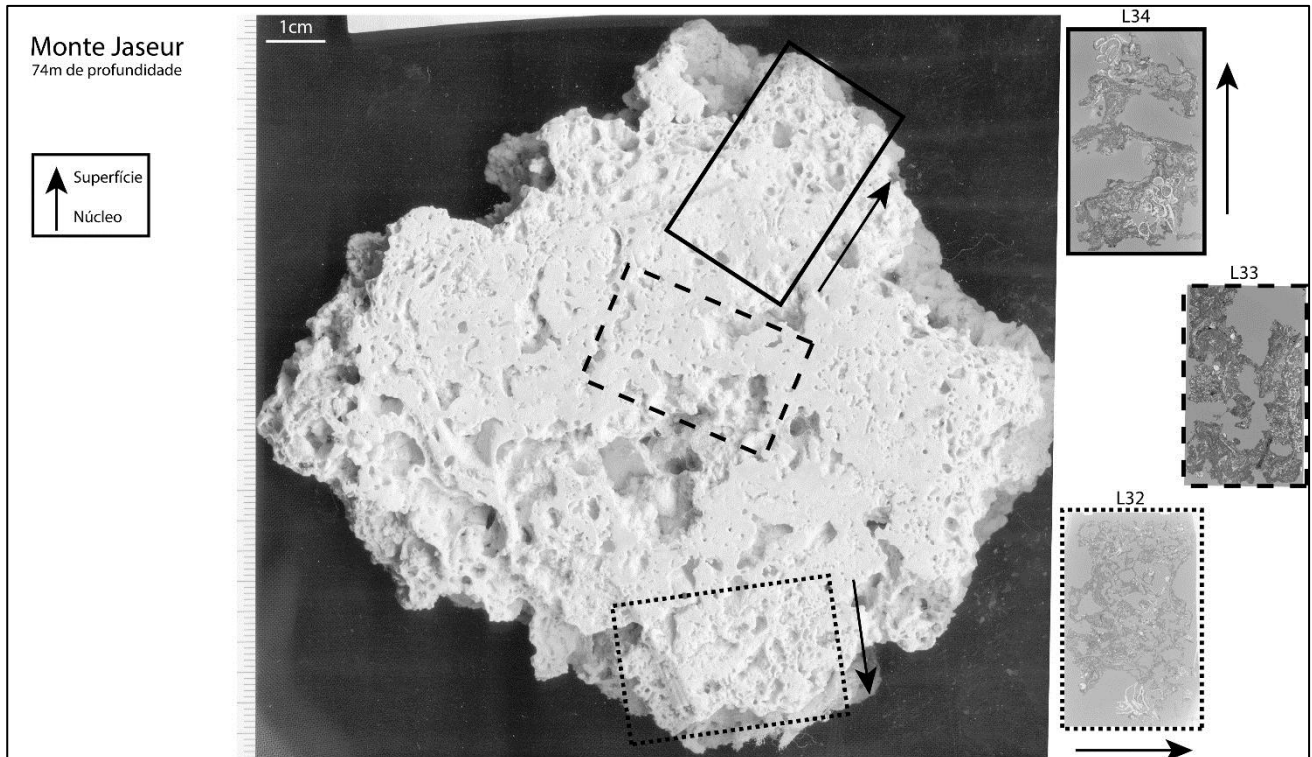


Figura 5: Estrutura interna de um rodolito do monte Jaseur 74m seccionado com a demarcação das áreas para a confecção de três lâminas petrográficas. As lâminas L32 e L34 representam a região externa enquanto a lâmina L33 representa a região interna do rodolito.

Dessa forma, todos os resultados obtidos foram analisados e discutidos em relação à profundidade de coleta (65, 66 e 74m), ao local de coleta (plataforma insular e monte submarino) e à posição na estrutura interna do nódulo (superfície e núcleo).

## **CAPÍTULO II - Principais organismos construtores da estrutura interna de rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade: fauna incrustante associada como alternativa a análise da assembleia algal em rodolitos com alto índice de bioerosão**

### 1 INTRODUÇÃO

Os rodolitos são formados pelo crescimento concêntrico e sobrepostos de organismos incrustantes que secretam carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) resultando em uma estrutura nodular rígida (Flugel 2010). O grupo de organismo formado pelas algas calcárias é o principal responsável pela formação de rodolitos e corresponde ao componente majoritário de seus esqueletos carbonáticos (Bosence 1983). Outros grupos de organismos incrustantes que contribuem para o crescimento dos rodolitos, porém que aparecem em menor proporção na estrutura dos nódulos serão aqui chamados organismos incrustantes subordinados.

A caracterização da composição de algas calcárias formadoras de rodolitos pode ser utilizada como indicador das condições ambientais como penetração de luz e turbulência, assim como da variação destes parâmetros com o tempo ao analisarmos a evolução da composição interna e externa dos nódulos (Basso 1998; Checconi *et al.* 2010; Bassi *et al.* 2012a). Essa análise é realizada de acordo com as espécies de algas encontradas nos nódulos em que cada espécie encontra sua distribuição associada a um intervalo de condições ambientais.

A taxonomia das algas formadoras de rodolitos é realizada principalmente através da análise sistemática das estruturas reprodutivas e é considerada como difícil por causa de sua variabilidade morfológica e porque muitas vezes são relatadas como não férteis (Nelson *et al.* 2012). Quando o processo de bioerosão é muito intenso a maior parte da estrutura vegetativa das algas é destruída incluindo as estruturas reprodutivas, quando presentes. Dessa forma, caracteres morfológicos críticos não podem ser avaliados

dificultando a taxonomia das mesmas no nível de espécie. Os caracteres moleculares fornecem uma alternativa que amplia a possibilidade de espécimes identificáveis incluindo material estéril e erodido (Broom *et al.* 2008). No entanto, o custo é mais elevado e poucos dados de sequência de DNA foram publicados sobre espécies formadoras de rodolitos na costa brasileira (Bahia *et al.* 2014, 2015, Sissini *et al.* 2014).

A análise da composição de organismos incrustantes subordinados é uma alternativa em estudos paleoambientais em ambientes com elevados índices de bioerosão, uma vez que, a taxonomia da assembleia de organismos incrustantes subordinados ainda pode ser realizada mesmo com grandes números de perfurações nas estruturas. Devido a sua distribuição em habitats diversos, seus tamanhos reduzidos e sua mineralogia, organismos calcários incrustantes possuem o potencial de serem indicadores precisos de macro e microambientes (Martindale 1992).

São inúmeros os organismos incrustantes subordinados descritos em bancos de rodolitos, dentre eles estão foraminíferos coloniais incrustantes (Reid e Macyntire 1988; Rasser e Piller 1997; Matsuda e Iryu 2011), briozoários (Matsuda e Iryu 2011; Villas-Boas *et al.* 2014), serpulídeos (Reid e Macyntire 1988; Matsuda e Iryu 2011), cirripédios (Villas-Boas *et al.* 2014), esponjas (Ávila e Riosmena-Rodríguez 2011; Matsuda e Iryu 2011; Villas-Boas *et al.* 2014) e corais (Scoffin *et al.* 1985; Reyes-Bonilla *et al.* 1997).

Para a colonização do substrato, os organismos incrustantes subordinados necessitam de certo tempo de residência (Bassi *et al.* 2013) que pode ser afetado pela energia de ondas do ambiente. Tanto a penetração de luz quanto a energia de ondas são parâmetros que podem estar diretamente relacionados à profundidade do ambiente, fazendo com que seja um importante controlador na assembleia de organismos incrustantes em geral. Vários trabalhos descrevem, por exemplo, a transição na dominância de algas calcárias, seguidas de algas peyssonneliáceas para enfim, uma dominância de foraminíferos incrustantes na composição da estrutura interna de rodolitos com o aumento da profundidade (Rasser 1994; Rasser e Piller 1997).

O conjunto de variáveis propícias ao crescimento tanto das algas calcárias (baixa sedimentação e penetração de luz até o fundo, Simpson e Heydorn 1965; Oceana 2006; Pereira Filho *et al.* 2012; Tsuda *et al.* 2015) quanto dos organismos incrustantes subordinados no geral (baixa energia de ondas e baixa taxa de sedimentação, Martindale

1992; Wust 2011) podem ser encontradas, por exemplo, nos topos de montes submarinos oceânicos mesofóticos.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos ao longo da Cadeia Vitória-Trindade com o intuito de identificar as principais algas formadoras de rodolitos (Pereira-Filho *et al.* 2011; Pereira-Filho *et al.* 2012; Henriques *et al.* 2014a,b; Bahia 2014; Sissini *et al.* 2014; Bahia *et al.* 2014). Já os organismos incrustantes subordinados aparecem apenas em descrições da comunidade bentônica estabelecida junto aos bancos de rodolitos ou na descrição dos organismos presentes na superfície externa dos nódulos (Pereira-Filho *et al.* 2011; Meirelles *et al.* 2015). Nenhum trabalho objetivou a contribuição destes organismos na formação estrutura carbonática interna dos nódulos.

Tendo em vista as particularidades da estrutura interna de rodolitos com alto índice de bioerosão, a identificação dos principais grupos de organismos que compõem a estrutura interna aumenta o conhecimento sobre a formação destes nódulos e sobre a ecologia associada aos bancos mesofóticos. Dessa forma, o presente trabalho visa à análise da estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade como ferramenta para a caracterização do ambiente de formação de rodolitos. Além disso, o trabalho pretende avaliar a composição dos organismos incrustantes subordinados como alternativa à utilização da assembleia algal em rodolitos com alto índice de bioerosão onde a taxonomia das algas em nível de espécie não é possível.

## 2 METODOLOGIA

A identificação taxonômica das algas calcárias em lâminas delgadas foi realizada pela observação sistemática de caracteres morfológicos diagnósticos ao longo de toda a lâmina segundo a literatura atual até o nível de identificação mais específico possível (Johansen 1981; Adey *et al.* 1982; Harvey *et al.* 2005; Harvey e Woelkerling 2007).

Considerando as CCA's, os principais caracteres diagnósticos são a forma de organização do tecido (coaxial ou não coaxial), a conexão entre as células (secundária ou por fusão celular) e os tipos e tamanhos de conceptáculos (tetrasporangiais, uniporados ou multiporados) (Tabela 2).

Tabela 2: Descrição das características morfológicas básicas observadas em lâminas delgadas para a taxonomia das CCAs. Os gêneros citados foram identificados para a Cadeia Vitória-Trindade (referências na Tabela 3).

<b>Gênero</b>	<b>Forma do tetrasporângio</b>	<b>Conexão do filamento vegetativo</b>	<b>Construção do talo</b>
<i>Sporolithon</i>	Compartimentos calcificados	Fusão e conexão celular secundária	Monômera não coaxial
<i>Titanoderma</i>	Conceptáculos uniporados	Conexão celular secundária	Dímera
<i>Hydrolithon</i>	Conceptáculos uniporados	Fusão celular	Monômera do tipo não coaxial
<i>Spongites</i>	Conceptáculos uniporados	Fusão celular	Monômera do tipo não coaxial
<i>Lithothamnium</i>	Conceptáculos multiporados	Fusão celular	Monômera do tipo não coaxial
<i>Mesophyllum</i>	Conceptáculos multiporados	Fusão celular	Monômera do tipo coaxial ou não coaxial

Já as Peysonneliaceas estão entre as algas que secretam aragonita diferentemente das CCAs, que secretam calcita magnesiana. A identificação das Peysonneliaceas é possível pela observação da recristalização das células destas algas devido a composição aragonítica fazendo com que a alga em lâmina delgada apresente coloração esbranquiçada, acinzentada (completamente recristalizada) ou até mesmo translúcida e com pontos negros no interior das células (pouco recristalizada). Além disso, as células vão diminuindo de tamanho em direção à superfície e pode apresentar uma placa basal de aragonita que se prende ao substrato (Flugel 2010).

Após da identificação das algas calcárias formadoras da estrutura interna dos rodolitos, foi realizada uma segunda varredura em microscópio petrográfico a fim de se estabelecer quais gêneros de algas eram mais frequentes em cada lâmina. Dessa forma foram encontrados os gêneros mais frequentes de cada local de estudo.

A identificação dos principais organismos subordinados também foi realizada por meio da observação da lâmina em microscópio petrográfico. O processo consiste na observação de toda a extensão da lâmina sempre sob o aumento de 10x. Uma vez posicionada a lâmina sob o microscópio todos os componentes principais presentes no campo de visão permitido pelo aumento são identificados e só então a lâmina é movida de forma que permita a observação da região consecutiva da lâmina. Após a identificação e contagem dos organismos, foi calculada a contribuição percentual de cada grupo em relação aos organismos incrustantes subordinados totais. As médias e desvio padrão de cada grupo foram calculados a partir dos resultados das lâminas petrográficas.

Para avaliar possíveis diferenças significativas na composição da estrutura dos rodolitos entre os diferentes locais amostrados, além de possíveis diferenças entre as regiões

interna e externa, utilizou-se a análise de variância permutacional multivariada (*one-way PERMANOVA*), com o auxílio do *software Past 3.18* (Hammer *et al.* 2001).

### 3 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em tópicos em que são apresentados os parâmetros morfológicos dos nódulos calcários e os principais organismos incrustantes observados na estrutura interna dos rodolitos.

A análise dos organismos incrustantes em lâmina petrográfica resultou na identificação de algas calcárias e organismos subordinados na região do núcleo e próxima à superfície do nódulo que serão descritos separadamente nos próximos itens. As CCA foram os organismos incrustantes mais frequentes na estrutura interna, como era o esperado para rodolitos (conforme abordado no Capítulo 4, na quantificação dos componentes principais da estrutura interna). A Figura 6 abaixo ilustra alguns dos grupos de organismos identificados nos rodolitos de Jaseur 74m (ver Figura 5).

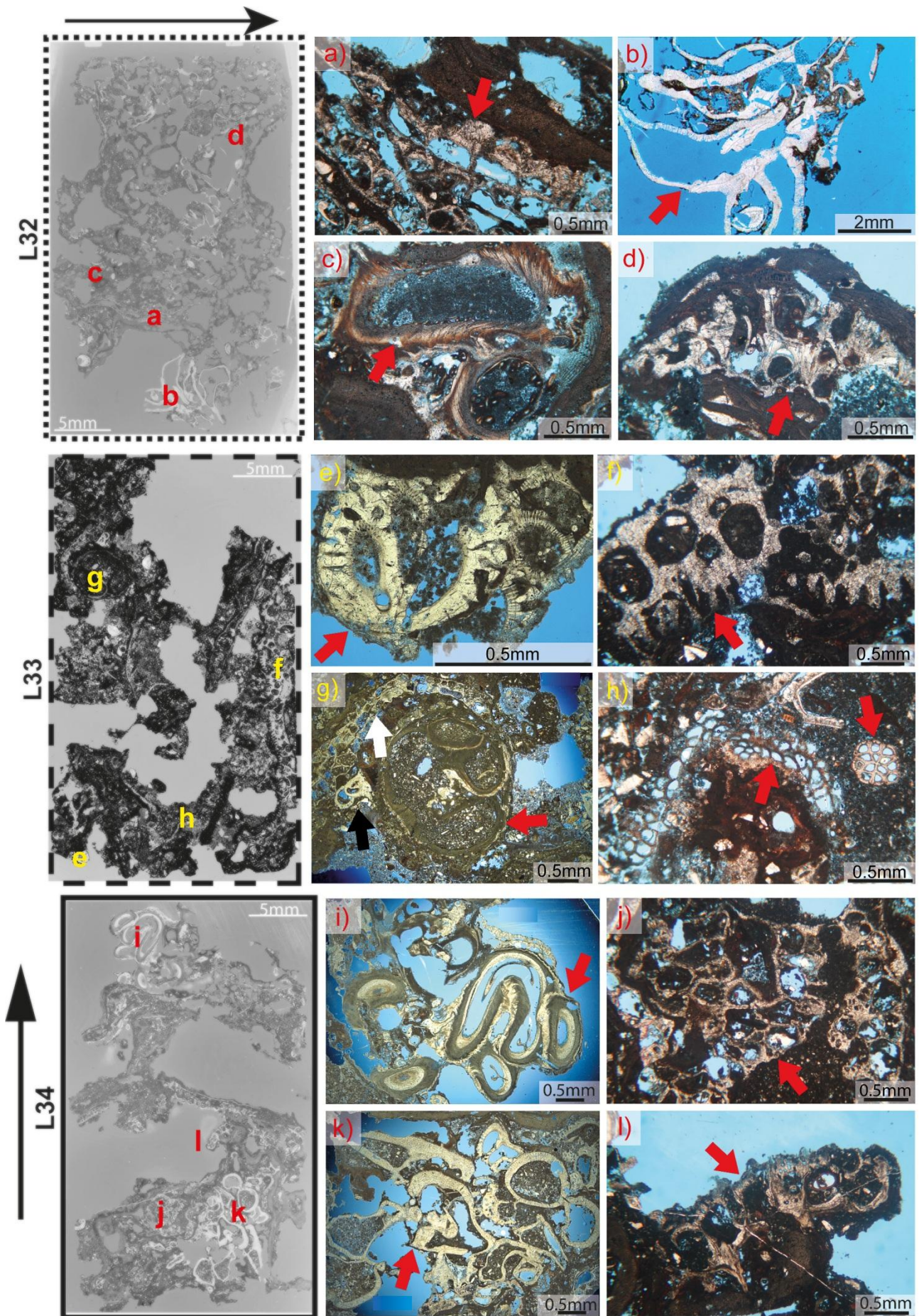




Figura 6: Identificação dos organismos incrustantes em lâminas petrográficas (L32, L33 e L34) de rodolito de Jaseur 74m. L32 (lâmina na região externa, letras em vermelho): a) briozoário (seta vermelha); b) foraminífero *Homotrema rubrum* (seta vermelha); c) tubo de serpulídeo (seta vermelha) e; d) cirripédios (seta vermelha). L33 (lâmina na região interna, letras em amarelo): e) foraminífero *Homotrema rubrum* (seta vermelha); f) cirripédio (seta vermelha), g) tubo de serpulídeo (seta vermelha), briozoário (seta branca) e início do crescimento de *Homotrema rubrum* (seta preta); h) foraminífero incrustante indeterminado (setas vermelhas). L34 (lâmina na região externa, letras em vermelho): i) tubos de serpulídeos (seta vermelha); j) cirripédios (seta vermelha); k) foraminífero incrustante *Homotrema rubrum* (seta vermelha) e; l) cirripédios (seta vermelha). As setas pretas indicam a direção preferencial de crescimento do rodolito.

### 3.1 Composição de algas calcárias

A taxonomia dos gêneros identificada desde sua Classe é apresentada na Tabela 3. Seis gêneros foram descritos para a Cadeia Vitória-Trindade, correspondentes a duas subclasses diferentes: *Corallinophycidae* (que inclui as CCAs) e a *Hildenbrandiophycidae* (Peyssoneliaceae). Em relação às CCAs, foram encontradas algas de todas as famílias nos três locais de coleta: *Sporolithaceae*, *Coralinaceae* e *Hapalidiaceae*.

Tabela 3: Taxonomia das principais algas formadoras de rodolitos.

Classe	Subclasse	Ordem	Família	Subfamília	Gênero
Florideophyceae	Corallinophycidae	Sporolithales	Sporolithaceae		Sporolithon
		Corallinales	Corallinaceae	Lithophylloideae	Titanoderma
				Mastophoroideae	Hydrolithon
			Hapalidiaceae	Melobesiodeae	Lithothamnium Mesophyllum
	Hildenbrandiophycidae	Hildenbrandiales	Hildenbrandiaceae		Peyssonelia

A família *Sporolithaceae* apresenta tetrasporângio em compartimentos calcificados que são chamados soros (Figura 7). O gênero *Sporolithon* sp. (Heydrich 1897) identificado no presente estudo foi encontrado em ambos os locais de coleta e inclui a espécie *Sporolithon yoneshigueae* descrita inicialmente por Bahia *et al.* (2015).

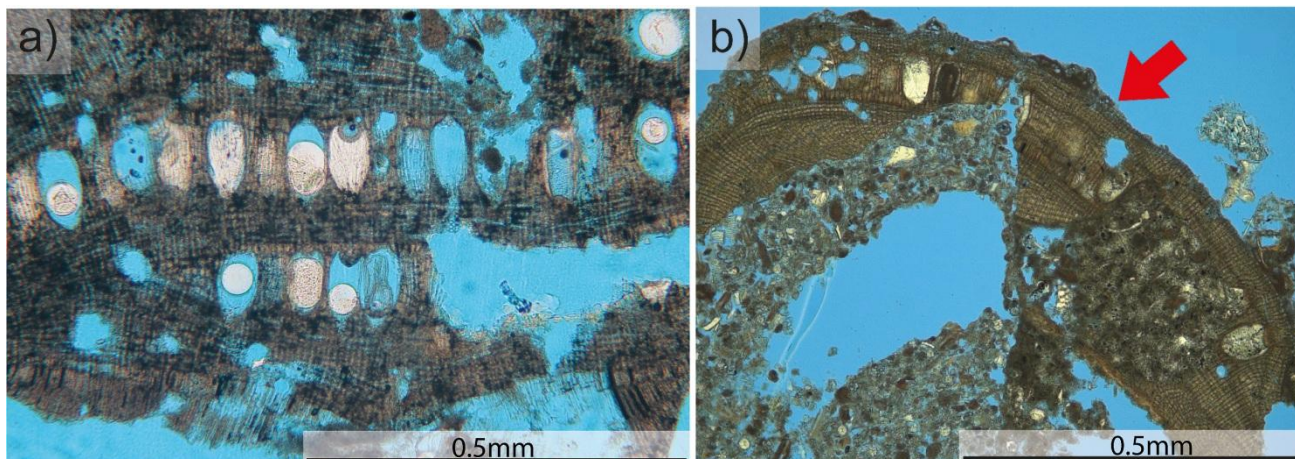


Figura 7: Soros característicos do gênero *Sporolithon*: a) alga encontrada em rodolito de Trindade 65m e; b) alga perfurada (seta vermelha) encontrada em rodolito de Jaseur 74m.

Da família *Corallinaceae* foram encontrados dois gêneros, *Titanoderma* (Nägeli 1858) e *Hydrolithon* (Foslie 1909) (Figura 8). O gênero *Titanoderma* sp. foi encontrado em todos os locais de coleta. O gênero *Hydrolithon* sp. foi encontrado em Trindade 65m e em Jaseur 74m, a identificação incluiu as espécies *Hydrolithon rupestre* (Penrose 1996) encontrada em Jaseur 74m e *Hydrolithon munitum* (Penrose 1996) encontrada em Trindade 65m.

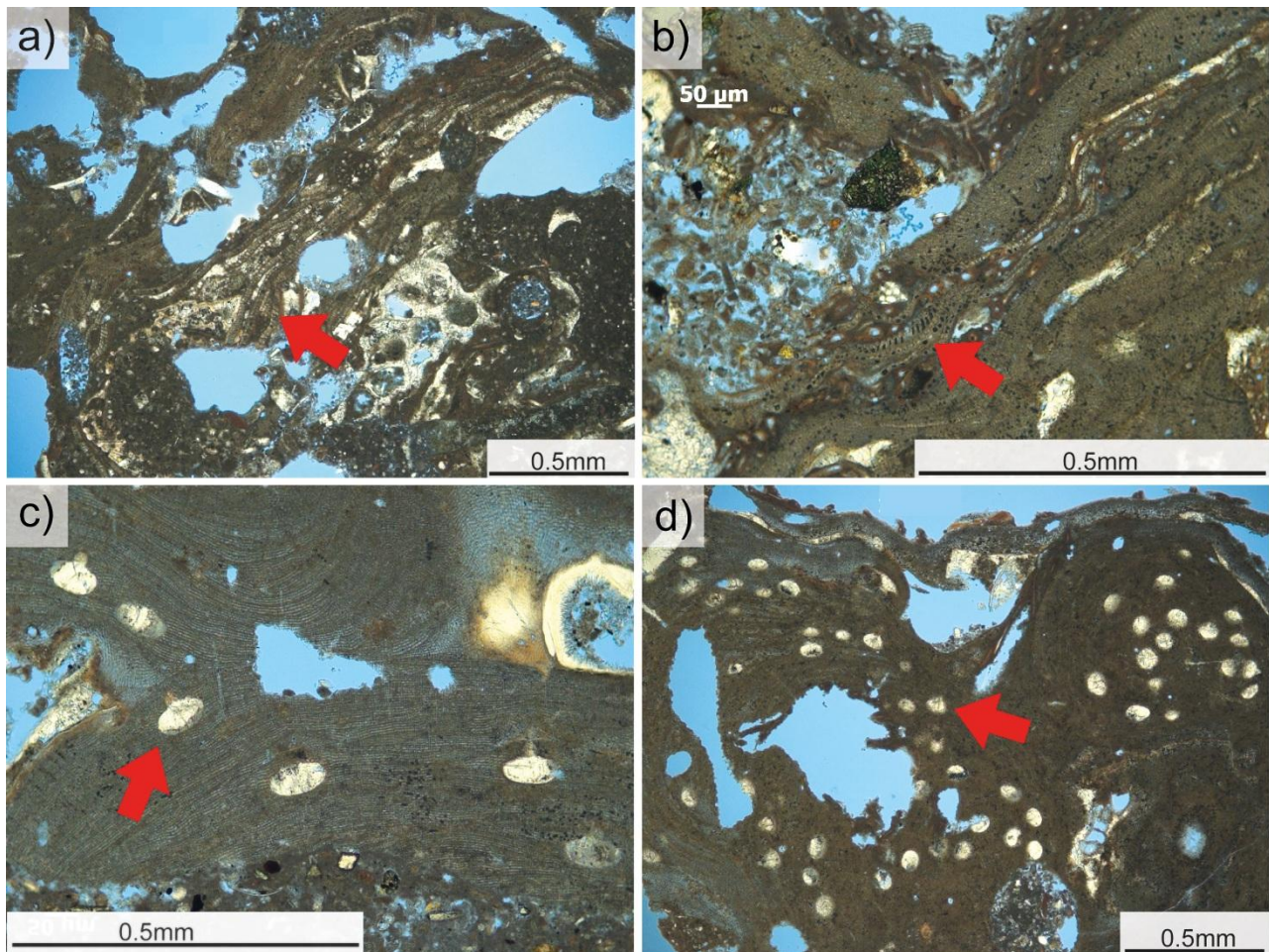


Figura 8: Algas da família *Corallinaceae*: a) *Titanoderma* sp. (seta vermelha) em rodolito de Jaseur 74m; b) *Titanoderma* sp. (seta vermelha) em rodolito de Trindade 65m; c) conceptáculos uniporados com crescimento de cristais de cimento carbonático (seta vermelha) do gênero *Hydrolithon* sp. em rodolito de Trindade 65m; d) alga fértil do gênero *Hydrolithon* sp. com inúmeros conceptáculos (seta vermelha) em rodolito de Jaseur 74m.

A família Hapalidiaceae correspondeu a dois gêneros: *Mesophyllum* (Lemoine 1928) e *Lithothamnion* (Heydrich 1897) (Figura 9). O gênero *Mesophyllum* foi o mais frequente, sendo encontrado em todos os locais de coleta, e inclui a espécie *Mesophyllum engelhartii* (Adey 1970) identificada em Jaseur 66m. O gênero *Lithothamnion* foi encontrado apenas em Trindade 65m e Jaseur 66m e inclui a espécie *Lithothamnion crispatum* (Hauck 1878) identificada em Trindade 65m.

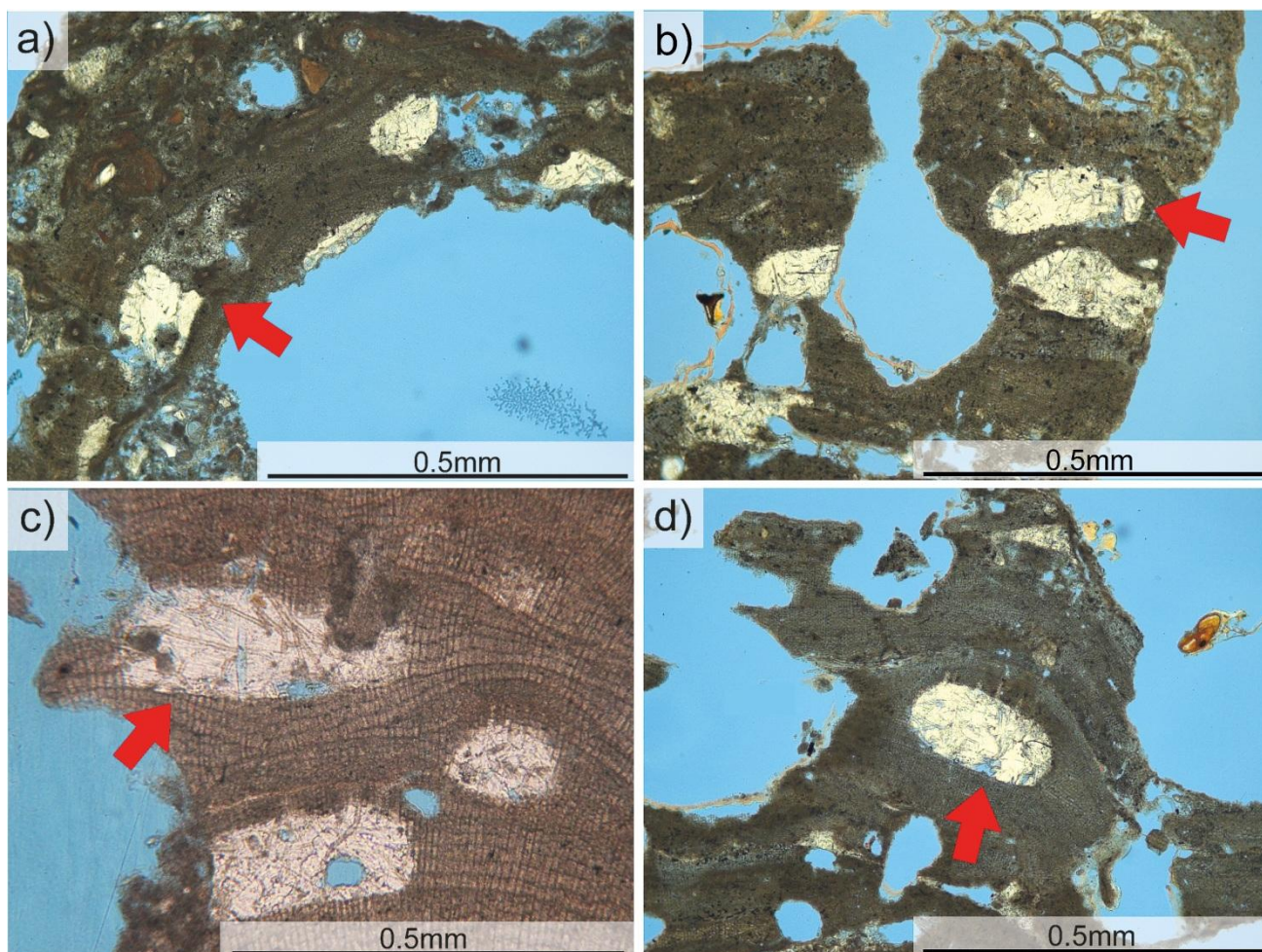


Figura 9: Algas da família *Hapalidiaceae*: a) conceptáculos multiporados do gênero *Mesophyllum* encontrada em Jaseur 66m, nota-se a recrystalização ocorrendo em metade do conceptáculo (seta vermelha); b) conceptáculos multiporados (seta vermelha) do gênero *Mesophyllum* encontrado em Trindade 65m; c) conceptáculos multiporados do gênero *Lithothamnion* encontrados em Trindade 65m apresentam-se perfurados (seta vermelha) e preenchidos com material recrystalizado; d) conceptáculo multiporado preenchidos com material recrystalizado (seta vermelha) do gênero *Lithothamnion* encontrado em Trindade 65m.

O gênero *Peyssonnelia* sp. (Decaisne 1841) é facilmente identificado em lâmina petrográfica devido à recrystalização da aragonita e deixa a alga esbranquiçada (Figura 10). O gênero foi encontrado em todos os locais de coleta, mas foi mais frequente em Jaseur 74m.

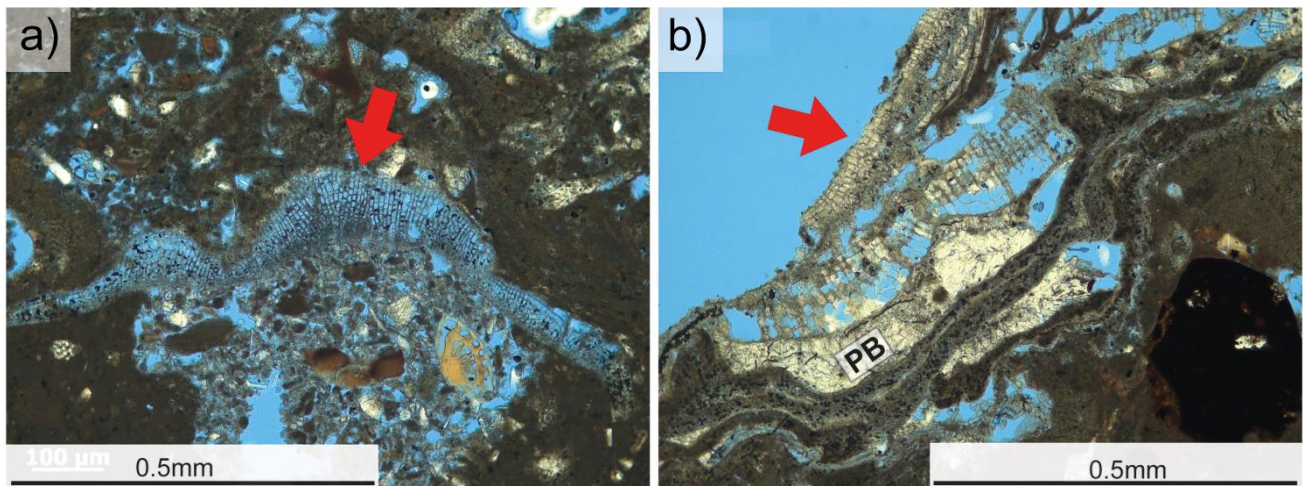


Figura 10: Caracteres diagnósticos do gênero *Peyssonnelia*: a) células de coloração translúcida em lâmina petrográfica (seta vermelha), espécime encontrada em Jaseur 74m e; b) recristalização das células de composição aragonítica tornando a alga com coloração esbranquiçada em lâmina petrográfica (seta vermelha) e placa basal (PB) que se adere ao substrato, encontrada em Trindade 65m.

Os gêneros mais frequentes também não variaram em relação à posição na estrutura interna, entretanto, houve variação em relação à profundidade (Tabela 4). Em Trindade 65m e em Jaseur 66m o gênero mais frequente foi *Mesophyllum* enquanto que em Jaseur 74m foi a associação dos gêneros *Sporolithon* e *Hydrolithon*.

Tabela 4: Composição de algas calcárias encontrada em área próxima a superfície e área próxima ao núcleo do rodolito.

Algas calcárias	Trindade 65m		Jaseur 66m		Jaseur 74m	
	Superfície	Núcleo	Superfície	Núcleo	Superfície	Núcleo
<i>Hydrolithon</i> sp.	x	x			x	x
<i>Hydrolithon munitum</i>	x					
<i>Hydrolithon rupestre</i>						x
<i>Lithothamnium</i> sp.	x	x	x	x		x
<i>Lithothamnium crispatum</i>	x					
<i>Mesophyllum</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Mesophyllum engelhartii</i>			x			
<i>Peyssonnelia</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Sporolithon</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Sporolithon yoneshigueae</i>					x	x
<i>Titanoderma</i> sp.	x	x		x	x	x

### 3.2 Organismos incrustantes subordinados

A assembleia de organismos incrustantes subordinados é formada principalmente por foraminíferos incrustantes, briozoários, serpulídeos e cirripédios (Tabela 5). A exceção foram dois rodolitos de Jaseur 66m em que foram encontrados, além desses, esponja calcária e coral. A maior diferença na contribuição percentual entre os grupos foi representada pela contribuição de foraminíferos incrustantes no monte Jaseur (tanto a 66 quanto a 74m de profundidade) em oposição à contribuição de briozoários na plataforma insular de Trindade.

Tabela 5: Contribuição percentual média dos organismos incrustantes subordinados encontrados no presente estudo ( $\pm$  Desvio Padrão).

Organismos incrustantes		Trindade 65m	Jaseur 66m	Jaseur 74m
<b>EXTERNA</b>	Foraminíferos incrustantes	27,22 ( $\pm$ 19,15)	50,73 ( $\pm$ 6,40)	41,67 ( $\pm$ 15,17)
	Briozoários	49,68 ( $\pm$ 13,96)	22,74 ( $\pm$ 3,62)	19,44 ( $\pm$ 14,18)
	Serpulídeos	19,32 ( $\pm$ 8,49)	12,03 ( $\pm$ 8,72)	21,18 ( $\pm$ 8,54)
	Cirripédios	3,77 ( $\pm$ 4,37)	14,49 ( $\pm$ 15,41)	17,71 ( $\pm$ 9,37)
<b>INTERNA</b>	Foraminíferos incrustantes	27,12 ( $\pm$ 20,20)	38,46 ( $\pm$ 18,34)	35,05 ( $\pm$ 21,87)
	Briozoários	52,53 ( $\pm$ 16,66)	22,61 ( $\pm$ 6,24)	17,25 ( $\pm$ 9,86)
	Serpulídeos	19,36 ( $\pm$ 6,90)	21,49 ( $\pm$ 7,70)	26,07 ( $\pm$ 10,31)
	Cirripédios	0,98 ( $\pm$ 1,70)	4,36 ( $\pm$ 4,11)	21,63 ( $\pm$ 13,72)
	Esponja calcária	0 0	0,77 ( $\pm$ 1,72)	0 0
	Corais	0 0	12,30* ( $\pm$ 27,52)	0 0

\*Valor elevado devido a um rodolito cujo núcleo era composto basicamente por coral.

Considerando o conjunto dos grupos da fauna incrustante (100%), os organismos com maior contribuição na estrutura foram (Figura 11): foraminíferos incrustantes (34%); briozoários (32%), serpulídeos (20,6%), cirripédios (11,5%) e esponjas calcárias e corais (1,9%) (ambos encontrados em apenas um rodolito de Jaseur 66m).

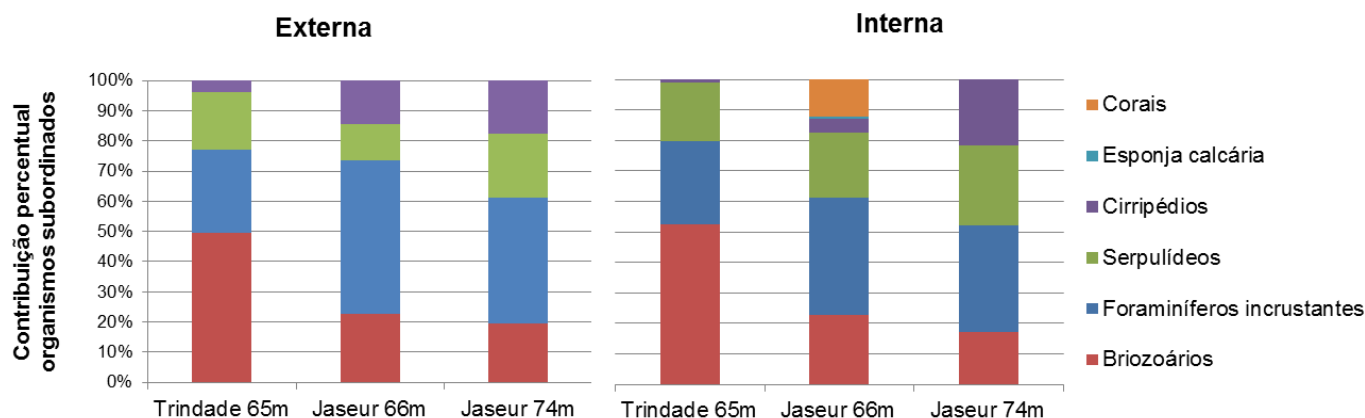


Figura 11: Contribuição percentual dos grupos de organismos incrustantes subordinados em relação aos locais de coleta e à posição na estrutura interna dos rodolitos (superfície e núcleo).

Foi observada diferença significativa entre os dois locais de Jaseur e Trindade ( $p < 0.05$ ) quando comparados os resultados de contribuição percentual de organismos incrustantes subordinados entre Trindade 65m, Jaseur 66m e Jaseur 74 m de profundidade. Os resultados foram: i) entre Trindade e Jaseur 66m,  $p = 0.0449$ ; ii) entre Trindade e Jaseur 74m,  $p = 0.0153$ ; iii) entre Jaseur 66m e Jaseur 74m,  $p = 0.1072$ . Esse último não apresentando diferenças significativas. As diferenças encontradas podem ser atribuídas à maior contribuição percentual de foraminíferos carbonáticos incrustantes no monte submarino e de briozoários na plataforma insular (Figura 11).

Em relação às regiões interna e externa, não foi encontrada diferença significativa em relação à composição de organismos incrustantes subordinados em ambos locais de Jaseur (Jaseur 66m:  $p=0,3389$  e Jaseur 74m:  $p=0,4001$ ) e em Trindade ( $p=0,9764$ ). Entretanto, a comparação entre os locais de coleta apresentou diferença significativa entre o monte submarino e a ilha (Trindade 65m e Jaseur 66m:  $p=0,0003$  e Trindade 65m e Jaseur 74m:  $p=0,0002$ ). Não houve diferença significativa na composição de organismos incrustantes subordinados entre os dois locais de Jaseur ( $p=0,093$ ).

Dentro do grupo dos foraminíferos incrustantes foram agrupadas três subcategorias: *Homotrema rubrum*, foraminíferos aglutinantes e demais foraminíferos carbonáticos (Figura 12). Os demais foraminíferos carbonáticos são aqueles que secretam carbonato de cálcio para a formação ativa de seu esqueleto; esta subcategoria foi mais frequente na plataforma insular de Trindade. A espécie *Homotrema rubrum* está entre os foraminíferos que constroem ativamente seu esqueleto carbonático, entretanto foi separada como uma subcategoria devido a sua grande contribuição, principalmente nos rodolitos do monte Jaseur. Já a terceira subcategoria inclui os foraminíferos aglutinantes que formam suas testas a partir de partículas unidas por matéria orgânica e cimentos de diversas composições (Flügel 2010); esta categoria foi mais frequente na plataforma insular de Trindade.

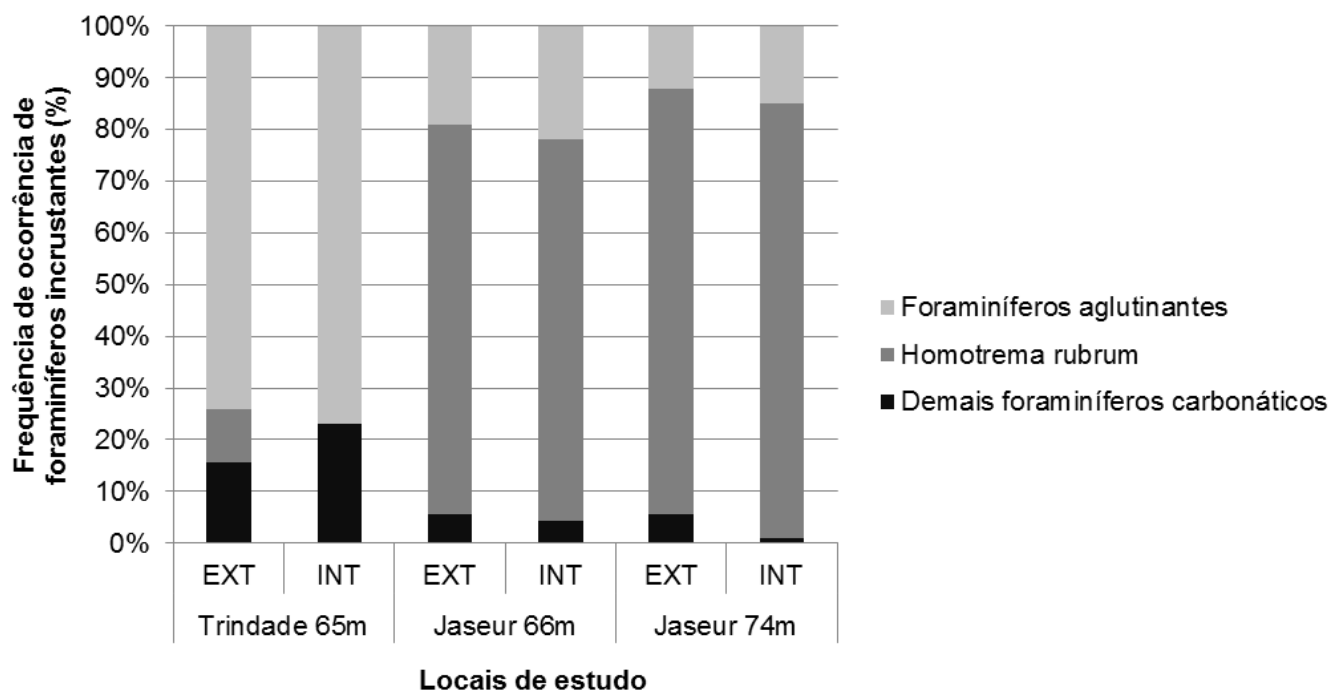


Figura 12: Três subcategorias de foraminíferos incrustantes encontradas no presente estudo: *Homotrema rubrum*, foraminíferos aglutinantes e demais foraminíferos carbonáticos. INT = região interna; EXT = região externa.

Foram identificadas diferenças estatísticas significativas em relação aos foraminíferos incrustantes entre os locais do monte Jaseur e a Ilha de Trindade ( $p=0,0001$ ;  $p<0,05$ ). As diferenças entre os locais do monte Jaseur não foram estatisticamente significativas ( $p=0,1462$ ;  $p>0,05$ ).

#### 4 DISCUSSÃO

A taxonomia das espécies de algas fósseis através da observação dos caracteres vegetativos e reprodutivos foi dificultada devido a elevada bioerosão das algas. Dentre as espécies encontradas no presente estudo, *Hydrolithon munitum* e *Mesophyllum engelhartii* não haviam sido identificadas para a Cadeia Vitória-Trindade em trabalhos anteriores considerando as mesmas profundidades da área de estudo. Em nível de gêneros, todos os gêneros descritos no presente trabalho já foram citados em trabalhos anteriores para a Cadeia Vitória-Trindade na faixa de batimetria correspondente (60-80m)



(Tabela 6). Todos os rodolitos apresentaram pelo menos dois gêneros de algas calcárias vermelhas incrustantes sendo considerados multigenéricos, o que está de acordo com o encontrado em outros estudos na plataforma do Brasil incluindo a Cadeia Vitória-Trindade (Amado-Filho *et al.* 2017).

Tabela 6: Espécies de algas formadoras de rodolitos descritas para a Cadeia Vitória-Trindade. Fonte: Modificada a partir de Bahia (2014).

Espécie	Local	Prof. 60 - 80m	Referências
<i>Hydrolithon breviclavium</i>	Montes submarinos*	x	Henriques <i>et al.</i> (2014)
<i>Hydrolithon onkodes</i>	Ilha de Trindade e montes submarinos*	x	Pereira-Filho <i>et al.</i> (2011), Henriques <i>et al.</i> (2014), Meirelles <i>et al.</i> (2015)
<i>Hydrolithon rupestre</i>	Ilha de Trindade	x	Pereira-Filho <i>et al.</i> (2012), Bahia (2014)
<i>Lithophyllum prototypum</i>	Ilhas de Trindade e Martin Vaz e montes submarinos*	x	Pereira-Filho <i>et al.</i> (2011), Meirelles <i>et al.</i> (2015)
<i>Lithothamnium crispatum</i>	Ilha de Trindade	x	Bahia (2014)
<i>Lithothamnium sp.</i>	Banco Davis		Pereira-Filho <i>et al.</i> (2012), Bahia (2014)
<i>Mesophyllum erubescens</i>	Ilha de Trindade		Bahia (2014), Sissini <i>et al.</i> (2014)
<i>Phymatolithon masonianum</i>	Ilha de Trindade e montes submarinos*	x	Pereira-Filho <i>et al.</i> (2011), Meirelles <i>et al.</i> (2015)
<i>Peyssonelia sp.</i>	Ilha de Trindade e montes submarinos*	x	Pereira-Filho <i>et al.</i> (2011), Meirelles <i>et al.</i> (2015)
<i>Spongites fruticulosa</i>	Ilha de Trindade		Bahia (2014)
<i>Spongites sp.</i>	Ilha de Trindade e montes submarinos*	x	Pereira-Filho <i>et al.</i> (2011), Meirelles <i>et al.</i> (2015)
<i>Sporolithon molle</i>	Ilha de Trindade	x	Bahia <i>et al.</i> (2014)
<i>Sporolithon ptychoides</i>	Ilha de Trindade		Pereira-Filho <i>et al.</i> (2012), Bahia (2014)
<i>Sporolithon yoneshigueae</i>	Montes Jaseur e Davis	x	Bahia <i>et al.</i> (2015)

\*Henriques *et al.* (2014) e Meirelles *et al.* (2015) não discriminam em quais montes cada espécie foi encontrada.

Em outros ambientes oceânicos da costa brasileira foi identificada uma composição de algas calcárias semelhante a do presente estudo com poucos gêneros distintos. No atol das Rocas (>30m de profundidade) os bancos de rodolitos também foram o principal habitat encontrado e as espécies de algas calcárias formadoras de rodolitos foram *Hydrolithon rupestre*, *Lithothamnion crispatum*, *Pneophyllum sp.* e *Sporolithon ptychoides* (Amado-Filho *et al.* 2016). No arquipélago de Fernando de Noronha (10 a 50m de profundidade) a composição de algas calcárias foi constituída de *Hydrolithon rupestre*, *Lithophyllum corallinae*, *Lithothamnion crispatum*, *Sporolithon episporum*, *Sporolithon ptychoides* e *Mesophyllum engelhartii* (Amado-Filho *et al.* 2012b).

De acordo com Pascelli *et al.* (2013) *Lithothamnion* parece ser o gênero mais importante na formação de rodolitos no Atlântico sudoeste, uma vez que *L. crispatum* domina no limite sul deste habitat e também no maior banco de rodolitos do mundo em extensão (Banco de Abrolhos, Amado-Filho *et al.* 2012a). Entretanto, no presente trabalho o gênero *Mesophyllum* foi o mais frequente na estrutura interna da maioria dos nódulos da ilha de Trindade 65m e do monte Jaseur 66m. Já no local de coleta de maior profundidade, monte Jaseur 74m, houve uma mudança na alga mais frequente em que o principal grupo

presente na estrutura interna dos nódulos foi uma associação entre os gêneros *Sporolithon* e *Hydrolithon*.

O controle da composição de algas calcárias devido a gradientes de profundidades foi descrito em diversos trabalhos ao longo do globo. Em águas quentes da plataforma continental da ilha Fraser na Austrália, Lund *et al.* (2000) encontraram em regiões rasas (28 – 60m de profundidade) a dominância dos gêneros *Peyssonnelia*, *Phymatolithon* e *Lithothamnion* (sendo as duas últimas pertencentes a mesma subfamília do gênero *Mesophyllum* encontrado como mais frequente nos locais de 65 e 66m profundidades do presente estudo). Na mesma plataforma, os autores descrevem a dominância da associação entre os gêneros *Sporolithon*, *Peyssonnelia* e *Phymatolithon* em profundidades superiores a 60m passando para a dominância do gênero *Sporolithon* para profundidades superiores a 80m. A transição de dominância de algas melobesioidais (como *Mesophyllum*, *Phymatolithon* e *Lithothamnion*) em torno de 60m de profundidade para uma maior abundância do gênero *Sporolithon* a partir de profundidades em torno de 80m também foi descrita por Matsuda e Iryu (2011) para rodólitos de águas temperadas da plataforma das ilhas Ryukyus (Japão).

A dominância do gênero *Peyssonnelia* foi observada em vários trabalhos com o aumento de profundidade (e.g.; >30m; Minnery *et al.* 1985, Vadas e Steneck 1988; Littler *et al.* 1991; Rasser e Piller 1997; Lund *et al.* 2000). Embora gêneros de CCA tenham sido os mais frequentes no presente estudo, a alga calcária *Peyssonnelia* sp. foi identificada em todos os locais de coleta e sua contribuição na estrutura interna dos nódulos foi maior no ambiente de maior profundidade (Jaseur 74m).

A mudança nos gêneros mais frequentes pode indicar a influência da profundidade no controle da composição de algas calcárias devido à variação principalmente da irradiação solar junto ao fundo e da temperatura (Adey *et al.* 1982; Perrin *et al.* 1995). Entretanto, para uma caracterização paleoambiental mais precisa, é necessário avaliar a assembleia algal em nível de espécie visto que a variação das características dentro de um gênero pode ser muito ampla de acordo com o número de espécies. A zonação de algas calcárias vermelhas incrustantes em relação à profundidade, por exemplo, ocorre devido a suas diferentes composições de pigmentos o que as permite utilizar diferentes comprimentos de ondas e intensidade de luz fazendo com que cada espécie apresente um habitat particular de preferência (Martindale 1992).

A distribuição dos gêneros de algas calcárias formadoras dos rodolitos encontrados na estrutura interna dos nódulos da Cadeia Vitória-Trindade, não demonstrou uma transição evidente na composição de algas calcárias da região interna para região externa. A análise qualitativa da composição de algas calcárias em relação à profundidade também não apresentou diferença visto que os mesmos gêneros foram encontrados em todos os locais de coleta.

A identificação das algas em nível de espécies poderia dar uma resposta diferente, entretanto, a perda dos caracteres morfológicos diagnósticos nos nódulos da Cadeia Vitória-Trindade impede essa avaliação. A identificação da fauna incrustante subordinada pode ser utilizada como complemento a essa caracterização e surge principalmente como uma alternativa para o estudo de rodolitos em ambientes com alta bioerosão onde as algas perderam grande parte de seus caracteres morfológicos diagnósticos.

A caracterização da assembleia algal é priorizada no estudo da estrutura carbonática dos rodolitos em detrimento dos organismos incrustantes subordinados e a maior parte dos trabalhos realiza as análises na porção mais superficial dos rodolitos onde as algas encontram-se ainda em atividade (Tabela 7). Para a Cadeia Vitória-Trindade este é o primeiro trabalho a caracterizar a contribuição dos organismos incrustantes subordinados além da assembleia algal na estrutura interna dos rodolitos. Os resultados encontrados para os rodolitos do presente estudo foram semelhantes às características descritas em trabalhos realizados em ambientes mesofóticos ao longo do globo.

Tabela 7: Características típicas de rodolitos de ambientes mesofóticos. Fonte: adaptada de Matsuda e Iryu (2011).

CAPÍTULO II - Principais organismos construtores da estrutura interna de rodolitos da CVT

Localização	Profundidade	Construtores associados	Espécies e gêneros de CCA	Referências
<i>Cadeia Vitória-Trindade</i>				
Monte Jaseur, ilha de Trindade	65-74m	Foraminíferos incrustantes, briozoários, serpulídeos, cerripédios, corais, esponja calcária	<i>Hydrolithon</i> , <i>H. munitum</i> , <i>H. rupestris</i> , <i>Lithothamnium</i> , <i>L. crispatum</i> , <i>Mesophyllum</i> , <i>Sporolithon</i> , <i>Titanoderma</i> , <i>Peyssonnelia</i>	Presente estudo
Monte Champlain, banco Davis, monte Jaseur, banco Columbia, monte Almirante Saldanha, banco Vitória, monte Eclairer, ilha de Trindade	40-78m	Sem descrição	<i>Hydrolithon onkodes</i> , <i>H. breviclavium</i> , <i>H. onkodes</i> , <i>H. rupestris</i> , <i>Lithophyllum prototypum</i> , <i>Peyssonnelia</i> sp., <i>Phymatolithon masonianum</i> , <i>Spongites</i> sp., <i>Sporolithon episoredion</i> , <i>S. yoneshigueae</i> , <i>S. molle</i> , <i>S. ptychoides</i> , <i>Mesophyllum engelhartii</i> , <i>Lithothamnion</i> sp.	Pereira-Filho <i>et al.</i> (2012), Henriques <i>et al.</i> (2014), Bahia <i>et al.</i> (2014), Bahia <i>et al.</i> (2015), Meirelles <i>et al.</i> (2015)
<i>Oceano Atlântico</i>				
Golfo do México	45-80 m	Sem descrição	<i>Lithothamnium</i> , <i>Lithophyllum</i> , <i>Tenarea</i> , <i>Hydrolithon</i> , <i>Mesophyllum</i> , <i>Lithoporella</i> , <i>Archaelithothamnium</i> , <i>Melobesia</i>	Rezak <i>et al.</i> (1985), Minnery (1990)
Flórida	35-65 m	foraminíferos incrustantes, esponjas, serpulídeos	<i>Lithothamnium</i> , <i>Lithoporella</i> , <i>Tenarea</i> , <i>Mesophyllum</i> , <i>Lithophyllum</i> , <i>Archaelithothamnium</i>	Prager e Ginsburg (1989)
San Salvador	67-290 m	Coral incrustante	<i>Lithophyllum</i> e outras CCAs	Little <i>et al.</i> (1991)
Caribe	20-130 m	<i>Peyssonnelia</i> sp., serpulídeos, <i>Homotrema rubrum</i> , corais	<i>Mesophyllum syntrophicum</i> , <i>Neogoniolithon mammillare</i> , <i>Hydrolithon borgesensei</i> , <i>Lithoporella?</i> , <i>Paragoniolithon</i> , <i>Archaelithothamnium</i> cf. <i>dimotum</i>	Reid e MacIntyre (1988)
Ilhas Canárias	37-125 m	Sem descrição	<i>Goniolithon accretum</i> , <i>Porolithon</i>	McMaster e Conover (1966)
<i>Oceanos Pacífico e Índico</i>				
Ryukyu	50-150 m	Anelídeos, moluscos, esponjas, algas filamentosas e frondosas, algas peyssonneliáceas, briozoários	<i>Spongites</i> , <i>Hydrolithon</i> , <i>Lithoporella</i> , <i>Lithophyllum</i> , <i>Mesophyllum</i> , <i>Lithothamnion</i> , <i>L. australe</i> , <i>L. pulchrum</i> , <i>Lithoporella</i> , <i>Sporolithon</i>	Tsuji (1993); Matsuda e Iryu (2011)
Ilha Fraser	42-117 m	Algas peyssonneliáceas, briozoários, serpulídeos, foraminíferos incrustantes, gastrópodes vermetídeos	<i>Lithoporella</i> , <i>Lithophyllum</i> , <i>Mesophyllum</i> , <i>M. erubescens</i> , <i>Lithothamnion</i> , <i>L. australe</i> , <i>Phymatolithon</i> , <i>Sporolithon</i>	Marshall <i>et al.</i> (1998), Lund <i>et al.</i> (2000)

As diferenças significativas entre os locais de estudo do monte Jaseur e a ilha de Trindade em relação ao grupo de organismo incrustante subordinado na estrutura interna dos rodolitos indica diferenças ambientais que podem estar influenciando a distribuição destes organismos.

A competição interespecífica por espaço é um dos fatores controladores mais críticos na distribuição da comunidade bentônica epilítica (Maughan e Barnes 2000). Os foraminíferos incrustantes crescem mais lentamente que os demais organismos encontrados nas lâminas da Cadeia Vitória-Trindade (Birkeland 1977), portanto, o ambiente deve apresentar características que favoreçam seu crescimento em contraposição aos demais grupos. As características mais importantes que favorecem o crescimento dos foraminíferos incrustantes são baixa turbulência e menor competição por substrato (Logan *et al.* 1984; Bassi *et al.* 2012a). Além disso, a distribuição de

foraminíferos também é influenciada pela penetração de luz no fundo devido à sua composição de algas simbióticas (Martindale 1992).

A espécie *Homotrema rubrum* se destacou entre os foraminíferos incrustantes e foi a subcategoria mais frequente no monte Jaseur. Esta espécie é particularmente frequente em ambientes protegidos, com baixa penetração de luz (Choi e Ginsburg 1983; Choi 1984; Logan *et al.* 1984; Martindale 1992; Gischler e Ginsburg 1996; Gischler 1997), podendo ser encontrada em um grande intervalo de profundidades.

A importância de foraminíferos carbonáticos incrustantes na formação de nódulos carbonáticos em ambientes profundos é amplamente descrita (*i.e.*, >30m, Reid e Macintyre 1988; Prager e Ginsburg 1989; Lund *et al.* 2000; Matsuda e Iryu 2011). No entanto, na plataforma insular de Trindade o grupo de organismos mais frequente na estrutura interna considerando os incrustantes subordinados foram os briozoários. Os briozoários compõem o grupo de organismos incrustantes subordinados mais frequente na composição de rodolitos coletados na plataforma continental brasileira adjacente à Cadeia Vitória-Trindade, seguidos de cirripédios e esponjas, além de raros moluscos, bivalves, corais e *Peyssonnelia* sp. (Villas-Boas *et al.* 2014). O filo Briozoa é um significativo grupo de invertebrados aquáticos devido a sua diversidade, abundância e ampla distribuição global (Rocha e d'Hondt 1999) sendo encontrados em várias profundidades (Martindale 1992). Por serem organismos filtradores, os briozoários são sensíveis ao soterramento e apresentam maior abundância em ambiente de baixa sedimentação e alta hidrodinâmica (Maugahn e Barnes 2000; Cochrane *et al.* 2012).

Os serpulídeos foram o terceiro grupo de organismos subordinados em contribuição percentual e apresentaram pouca variação entre os locais de coleta e as posições na estrutura interna. Os serpulídeos são encontrados em várias profundidades, mas são típicos de ambientes pouco iluminados de baixa sedimentação onde competem por espaço com briozoários e foraminíferos (Martindale 1992). Entretanto, em geral estes organismos não apresentam uma zonação bem definida e por isso não possuem uma aplicação paleoecológica precisa (Martindale 1992).

Os cirripédios foram o quarto grupo em contribuição percentual na estrutura interna dos rodolitos. Estes organismos são abundantes em ambientes rasos, de temperaturas frias a temperadas (Flugel 2010), entretanto, a zonação batimétrica está altamente relacionada

ao nível de espécie. No presente trabalho não foi possível alcançar este nível de detalhamento devido à má preservação das estruturas carbonáticas.

Como podemos observar, as características ambientais que influenciam a distribuição destes organismos incrustantes subordinados são relativamente semelhantes para o monte submarino e a plataforma insular (ambientes mesofóticos e, portanto com baixa taxa de sedimentação e baixa hidrodinâmica). Dessa forma, as diferenças significativas entre a composição de organismos incrustantes subordinados entre Trindade e Jaseur podem indicar variações ambientais locais que estariam favorecendo um grupo de organismos em detrimento do outro.

Diversos trabalhos identificaram foraminíferos e briozoários como integrantes da fauna incrustante juntamente com outros organismos (e.g.; Best e Kidwell 2000; Rodland *et al.* 2004). Maughan e Barnes (2000) observaram uma relação oposta em relação a estes organismos com briozoários sendo mais frequentes em ambiente com correntes mais fortes e foraminíferos dominando ambientes com maiores taxas de sedimentação.

O crescimento lento dos foraminíferos carbonáticos incrustantes faz com que tenham desvantagem na competição por espaço, fazendo com que briozoários tenham maior sucesso na colonização de ambientes em equilíbrio. A presença em maior frequência de foraminíferos incrustantes pode representar eventos fora do equilíbrio de ambientes mesofóticos e oligotróficos como o monte Jaseur e a ilha de Trindade. Flugel (2010) aponta que a incrustação por estes organismos pode ser favorecida em ambientes pobres em oxigênio e ricas em nutrientes o que favoreceria as algas simbióticas.

Dessa forma, a composição de organismos incrustantes do monte Jaseur e da ilha de Trindade pode indicar processos de ressurgência no monte submarino que não aconteceriam (ou seriam menos comuns) na ilha. Processos de ressurgência foram descritos para os montes da Cadeia Vitória-Trindade mais próximos à costa, incluindo Jaseur, devido a processos de interação com a corrente de contorno (Corrente do Brasil) oeste e a morfologia dos montes (tamanho, profundidade, forma, alinhamento) (Metzler *et al.* 1997; Braid 2008; Lemos *et al.* 2018).

Outros trabalhos recentes na costa brasileira observaram a influência de fatores ambientais na estrutura interna de rodolitos. Brasileito *et al.* (2018) observou diferenças na estrutura interna de rodolitos de duas regiões relativamente próximas na costa

brasileira (Abrolhos e Sul do Espírito Santo), porém em plataformas continentais com morfologia e regimes sedimentares distintos. Vale *et al.* (2018) estudaram rodolitos encontrados em regiões próximas à desembocadura do Rio Amazonas ainda sob influência da pluma fluvial e observaram e que esta era, provavelmente a maior controladora da estrutura e composição interna em diferentes profundidades (23 a 120m). Segundo os autores os principais fatores relativos à presença da pluma eram a penetração de luz, aporte de nutrientes, níveis de matéria orgânica e eventos de sedimentação/soterramento dos nódulos.

## 5 CONCLUSÃO

Os rodolitos coletados no monte Jaseur e na ilha de Trindade analisados neste trabalho apresentaram como principal organismo construtor da estrutura interna as algas calcárias (CCA e peyssoneliáceas) e apresentaram como construtores subordinados uma assembleia de fauna incrustante formada por foraminíferos incrustantes, briozoários, serpulídeos e cirripédios, principalmente.

Os gêneros de algas calcárias encontrados no presente estudo estão de acordo com o encontrado em outros trabalhos que descreveram ambientes mesofóticos. Embora os resultados indiquem que a distribuição dos gêneros esteja influenciada pela profundidade do ambiente de coleta apresentando padrões semelhantes para Trindade 65m e Jaseur 66m e distintos para Jaseur 74m, a avaliação mais precisa da caracterização ambiental através das algas calcárias deve ser feita em nível de espécie. Os rodolitos do presente estudo apresentam alto índice de bioerosão o que dificulta a taxonomia em nível de espécie das algas formadoras de rodolitos uma vez que o processo causa a destruição dos caracteres morfológicos diagnósticos.

A identificação da composição de organismos incrustante subordinados pode ser utilizada como alternativa à caracterização ambiental em rodolitos com presença de algas extremamente perfuradas. A assembleia de organismos incrustantes subordinados também esteve de acordo com o encontrado em outros trabalhos para ambientes com profundidades semelhantes às do presente estudo. Entretanto, a distribuição destes organismos não esteve associada à profundidade uma vez que a assembleia foi

semelhante para Jaseur 66m e Jaseur 74m e distinta para Trindade 65m. É possível que a fauna incrustante esteja sendo mais influenciada por condições ambientais locais, como, por exemplo, processos de ressurgência descritos para o monte Jaseur ou pelo maior aporte sedimentar oriundo da plataforma insular de Trindade.

Dessa forma, a caracterização ambiental pelos diversos grupos de organismos incrustantes que formam a estrutura interna de rodolitos quando realizada de forma integrada permite o maior entendimento do ambiente de formação dos nódulos, principalmente em ambientes com alto índice de bioerosão onde a identificação das algas calcárias em nível de espécie não é possível.



### **CAPÍTULO III - Icnofauna e macroforaminíferos na estrutura interna de rodólitos da Cadeia Vitória-Trindade como indicadores de ambientes oceânicos mesofóticos**

#### 1 INTRODUÇÃO

Bancos de rodólitos suportam uma grande diversidade de organismos associados uma vez que transformam o ambiente em estruturas heterogêneas e rígidas que aumentam a distribuição de diferentes espécies (Steller *et al.* 2003). A endofauna constitui o grupo de organismos que desenvolvem suas atividades biológicas dentro da estrutura rígida dos nódulos (Ekdale 1985). Neste capítulo serão abordados como endofauna apenas os organismos euendolíticos (Golubic *et al.* 1981), ou seja, aqueles que penetram ativamente os substratos rígidos. Para isso estes organismos produzem perfurações e podem contribuir para a destruição do nódulo e a criação de espaços vazios potenciais para a deposição de material presente no meio.

O termo bioerosão foi proposto por Neumam (1966) para os processos através dos quais organismos atacam substratos minerais ou líticos. A bioerosão associada à endofauna cobre um vasto intervalo de tamanhos e é separada em duas categorias principais: macrobioerosões (dimensões >100µm) e microbioerosões (dimensões <100µm) (Bromley 1994; Tribollet *et al.* 2011). As dimensões das perfurações não estão diretamente associadas às dimensões dos organismos que as formaram, uma vez que, microrganismos perfurantes podem formar macrobioerosões.

O grupo de microrganismos perfurantes é constituído por cianobactérias, algas, fungos, foraminíferos, entre outros (Tribollet *et al.* 2011). Os macroorganismos perfurantes são inúmeros, para bancos de rodólitos são amplamente descritos na literatura científica a ação de moluscos, crustáceos, esponjas, vermes sipúnculas e poliquetas (*e.g.*: Birkett *et al.* 1998; Steller *et al.* 2003; Hinojosa-Arango, Riosmena-Rodríguez 2004, Bassi *et al.* 2013). A maioria dos organismos responsáveis por macrobioerosões são filtradores

(Tribollet *et al.* 2011) e, por isso, necessitam de condições ambientais específicas para seu estabelecimento, como a baixa taxa de sedimentação na coluna d'água (Bassi *et al.* 2012a) e disponibilidade de alimento ou nutrientes (Le Grand, Fabricius 2011).

A maior parte dos organismos responsáveis por processos de bioerosão possuem corpo mole e por isso não são preservados por muito tempo após sua morte, entretanto, eles deixam marcas e/ou estruturas relacionadas às suas atividades biológicas (Bromley 1994). Essas marcas e estruturas podem ser preservadas e passam a constituir icnofósseis ou *trace fossils* (Ekdale 1984). A icnotaxonomia é a identificação de icnofósseis segundo caracteres morfológicos diagnósticos seguindo a classificação de Lineu (Bromley 1990), entretanto a classificação existe apenas para os níveis icnogênero e icnoespécie (Pickerill 1994). A classificação em nível de icnoespécie é difícil uma vez que é comum a modificação da estrutura original devido a agentes como tectonismo, bioerosão/bioturbação, diagênese, entre outros, por isso é amplamente utilizada à taxonomia em nível de icnogênero (Pickerill 1994).

Os icnofósseis se diferem dos demais fósseis por representarem apenas o registro de uma atividade do organismo e não o organismo em si. Uma vez que os icnofósseis representam aspectos de seu comportamento, estes podem ser classificados de acordo com a forma como são produzidos. Foram estabelecidas categorias que separavam os icnofósseis segundo seus aspectos comportamentais, dentre elas cinco categorias são atribuídas a feições decorrentes de atividades de bioerosão (Bromley 1996; Gibert *et al.* 2004), sendo elas: Domicnia (Seilacher 1953) estruturas de habitação - constituem estruturas de ocupação permanente); Fodicnia (Seilacher 1953) perfurações para alimentação – combinam atividades de habitação e alimentação; Pascicnia (Seilacher 1953) rastros de pastagem - combinam atividades de deslocamento e alimentação; Praedicnia (Ekdale 1985) marcas de predação - pressupõe a ação de um organismo predador sobre sua vítima; Equilibricnia (Bromley 1990) traços de ajuste ao substrato - estruturas da locomoção da infauna para adaptação em resposta a eventos de deposição ou erosão e; Fixicnia (Gibert 2004) marcas de ancoragem – cicatrizes superficiais deixadas por organismos epilíticos sobre seu hospedeiro.

De todas as categorias apresentadas, as estruturas Domicnia e Fodicnia são as mais comuns de serem encontradas em substratos rígidos indicando processos de bioerosão (Ekdale *et al.* 1984; Bromley 1990). As estruturas de Fomicnia são formadas por

organismos infaunais para habitação e refúgio, dentre eles organismos suspensívoros, saprofágicos ou carnívoros (Ekdale 1985). Já as estruturas de Fodicnia são traços deixados por organismos infaunais que desenvolvem atividades de habitação e transformam o sedimento por alimento simultaneamente, formado principalmente por fungos e bactérias (Ekdale 1985).

A icoassembleia é fortemente influenciada pelos parâmetros ambientais e fatores ecológicos. Variações na composição da icoassembleia são amplamente descritas na literatura científica em função da batimetria (e.g., Perry 1996; Checconi *et al.* 2010; Bassi *et al.* 2011, Bassi *et al.* 2013) e da distância da costa (e.g., Sammarco e Risk 1990; Bromley e Asgaard 1993; Risk *et al.* 1995; Tribollet e Golubic 2005). Para ambientes rasos é descrita uma maior diversidade na icoassembleia e abundância aproximadamente semelhante para cada icoespécie, à medida que a profundidade aumenta, a diversidade diminui e a abundância de uma ou poucas icoespécies aumenta em relação aos demais grupos (Bromley, D'Alessandro 1990; Bromley 1994). A distância da costa atua no mesmo sentido, regiões próximas à costa possuem maior concentração de nutrientes o que favorece um maior número de organismos, à medida que nos afastamos da costa o ambiente se torna oligotrófico o que favorece um menor grupo aumentando sua abundância (Sammarco e Risk 1990).

Os espaços vazios criados pelos processos de bioerosão são chamados *destructural voids*. Além destes, os espaços vazios que ocorrem no interior da estrutura dos rodolitos também podem ser formados pelo crescimento dos organismos incrustantes, que podem deixar intervalos entre suas camadas ou no interior de câmaras formadas em sua estrutura carbonática sendo chamados *constructional voids* (Nitsh *et al.* 2015).

O material acumulado pela sedimentação nos espaços da estrutura interna contém organismos da comunidade bentônica associada ao banco de rodolitos. Os macroforaminíferos (>1mm; >3mm<sup>3</sup>) bentônicos são organismos de vida livre que podem se aderir ao substrato buscando maior estabilidade e ser aprisionados durante o processo de sedimentação nas perfurações. Estes organismos são exclusivamente bentônicos e participam de relações simbióticas com algas unicelulares (Langer e Hottinger 2000). Os macroforaminíferos são comuns em ambientes tropicais e subtropicais (Langer e Hottinger 2000), necessitam de ambientes em que ocorra a penetração da luz (Leutenegger 1984) e são adaptados a condições oligotróficas (Hallock 1985).

Os macroforaminíferos são componentes muito importantes do sedimento devido à preservação das tecas mesmo após a morte dos organismos e à sua ampla utilização como indicadores ambientais de produtividade (Smart *et al.* 1994; Diz e Barker 2016; Theodor *et al.* 2016a; Theodor *et al.* 2016b), temperatura (Arreguín-Rodríguez *et al.* 2016; Mackensen e Schmiedl 2016; Stap *et al.* 2016; Maeda *et al.* 2017) e batimetria (Leuteneger 1984; Racey 1994; Zamagni *et al.* 2008; Stefanoudis *et al.* 2016), entre outros.

Os bancos de rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade desempenham importante papel ecológico na estruturação dos recifes mesofóticos dos montes submarinos e como corredores entre o ambiente raso e mesofótico na ilha da Trindade (Pereira-Filho *et al.* 2011; Pereira-Filho *et al.* 2012, Meirelles *et al.* 2015). Entretanto, os estudos sobre rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade tiveram como objetivo, principalmente, a área de cobertura dos bancos (Pereira Filho *et al.* 2012, Meirelles *et al.* 2015), a assembleia algal formadora dos nódulos (Pereira Filho *et al.* 2011, Bahia *et al.* 2015), a vitalidade das algas calcárias (Meirelles *et al.* 2015), a morfologia dos nódulos (Pereira Filho *et al.* 2012) e a produção de carbonato de cálcio (Pereira Filho *et al.* 2012). Pouco ainda se sabe sobre a estrutura interna dos rodolitos da costa brasileira (*e.g.*; Leal 2013) e nenhum estudo foi direcionado ao entendimento das perfurações e as suas aplicações como indicadores ambientais.

O estudo de ambientes carbonáticos recentes é uma importante ferramenta para o entendimento de ambientes fósseis seguindo o conceito do atualismo geológico proposto por Lyell em 1830. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva preencher a lacuna sobre o entendimento dos processos de bioerosão em rodolitos na Cadeia Vitória-Trindade e avaliar a utilização da icnocenose e de macroforaminíferos bentônicos aprisionados no material de preenchimento das perfurações como indicadores de ambiente oceânico mesofótico com influência humana restrita devida a grande distância da costa.

## 2 METODOLOGIA

Para avaliar possíveis diferenças significativas nos rodolitos entre os diferentes locais amostrados, além de possíveis diferenças entre as regiões interna e externa do nódulo, utilizou-se a análise de variância permutacional multivariada (one-way PERMANOVA), com o auxílio do software *Past 3.18* (Hammer *et al.* 2001).

A composição da icnocenso e dos macroforaminíferos bentônicos foi identificada segunda a metodologia descrita a seguir.

## 2.1 Análise de icnocenso

Para a observação da estrutura interna 24 nódulos foram serrados com serra elétrica manual (Makita® - Modelo 4100NH2) na direção do maior diâmetro (Figura 13) e as superfícies internas lixadas com lixa d'água para eliminar eventuais desníveis (Bassi *et al.* 2012b). Após o procedimento as amostras foram secas, fotografadas e separadas em sacos plásticos com a devida identificação.

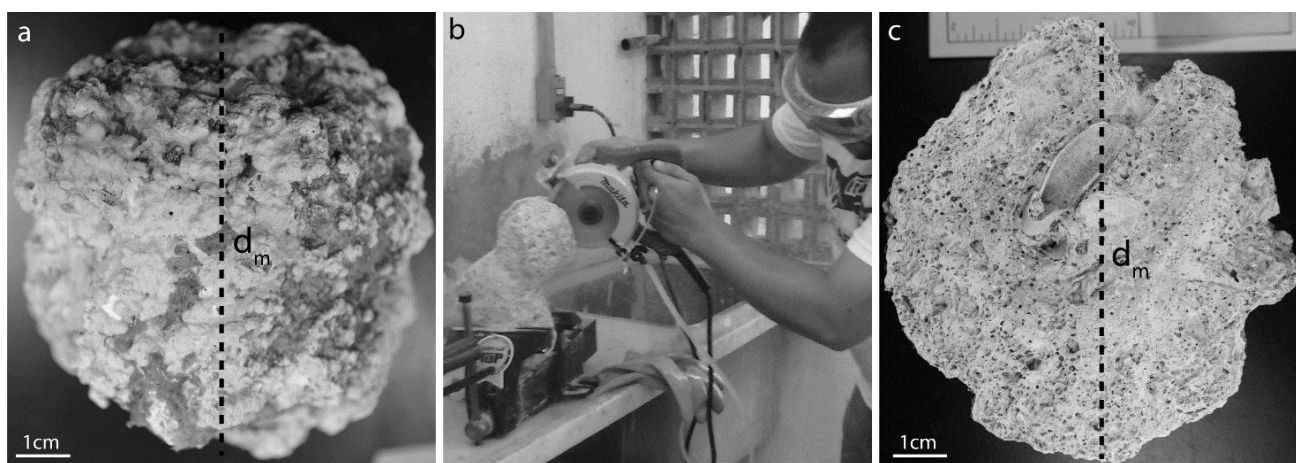


Figura 13: Sequência de eventos para abertura dos nódulos. A) nódulo inteiro, B) processo de corte com serra elétrica manual e C) face interna do nódulo serrado. Em que  $d_m$  é o diâmetro maior do nódulo.

A observação das faces internas através de microscópio estereoscópio e de lâmina petrográfica em microscópio permitiu a classificação qualitativa dos padrões das icnocensos. A icnotaxonomia foi realizada através da observação de caracteres morfológicos diagnósticos como formato da perfuração, dimensões e posição em relação à superfície do nódulo (Bromley e D'Alessandro 1984; Kelly e Bromley 1984; Ekdale *et al.*

1984). A identificação em nível de icnoespécie não foi possível no presente trabalho devido à falta de equipamentos e técnicas específicas (e.g., Golubic *et al.* 1970; Faber *et al.* 2016), dessa forma os resultados foram adquiridos em nível de icnogênero.

Após a identificação da icnossembléia foi realizada uma análise semiquantitativa nas lâminas petrográficas que apresentavam exclusivamente as regiões interna ou externa. A análise consistiu na varredura das lâminas em aumento de 2,5x e classificação e contagem de cada perfuração. Para a análise em relação à posição na estrutura interna do nódulo (interna *versus* externa), foram analisadas lâminas que continham exclusivamente uma das duas regiões (n=18).

Devido a seu maior tamanho e por representarem perfurações individualizadas, foi realizada uma análise quantitativa do icnogênero *Gastrochaenolites* pela contagem de indivíduos por área (cm<sup>2</sup>) nas faces internas cortadas por meio de lupas manuais. O comprimento e a largura de cada perfuração também foram medidos com paquímetro sempre que possível (a posição do corte de algumas perfurações não permitia medir todos os parâmetros) para a elaboração do gráfico de distribuição de indivíduos adultos e juvenis.

## 2.2 Macroforaminíferos bentônicos

Os macroforaminíferos observados no sedimento de preenchimento das perfurações foram contabilizados de acordo com as áreas (mm<sup>2</sup>) das lâminas petrográficas elaboradas em superfície e núcleo. A quantificação das áreas que representam núcleo e superfície foi realizada em plataforma CAD (ferramenta similar ao AutoCAD, mas de código aberto) conhecendo-se a área absoluta das lâminas petrográficas.

A análise qualitativa foi realizada baseada na bibliografia científica (Langer e Hottinger 2000; Beavington-Penney e Racey 2004). A identificação foi realizada até o nível de gênero apenas devido à dificuldade da observação dos caracteres morfológicos externos necessários para a identificação em nível de espécie em lâminas petrográficas.

### 3 RESULTADOS

Os resultados alcançados serão apresentados em dois tópicos principais. O primeiro aborda quais foram os principais organismos perfurantes e icnossembleias associadas aos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade e o segundo aborda quais foram os macroforaminíferos bentônicos identificados no material depositado nas perfurações.

#### 3.1 Icnossembleia

A quantificação de *constructional voids* não foi possível no presente trabalho devido ao intenso processo de bioerosão que eliminou grande parte das estruturas dos organismos incrustantes. A seguir serão apresentados os resultados sobre quais organismos são responsáveis pelos processos de bioerosão ou *destructional voids*.

##### 3.1.1 *Microrganismos perfurantes*

Um dos componentes da infauna observado em grande parte das lâminas, em maior ou menor quantidade, foi caracterizado como um microrganismo perfurante, possivelmente uma bactéria ou fungo, entretanto, sua identificação em lâmina petrográfica não foi possível. Trata-se de inúmeros microtubos de coloração alaranjada com diâmetro em torno de 0,01mm (Figura 14).

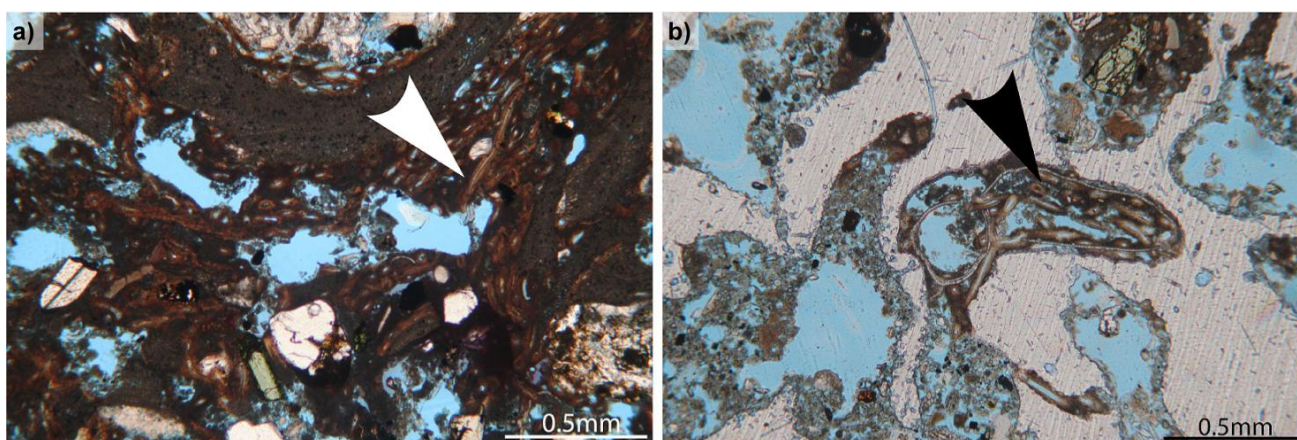


Figura 14: Microrganismos perfurantes (cabeças de setas) observados na estrutura interna de rodolitos da ilha da Trindade e monte Jaseur: a) microrganismos perfurantes em alga calcária; e b) microrganismos perfurantes em esqueleto carbonático.

As microperfurações foram encontradas em toda a estrutura carbonática em maior ou menor quantidade. Este tipo de perfuração foi reconhecido pelas formas dos furos e canais apresentando diâmetro menor que 0,1mm (Figura 15).

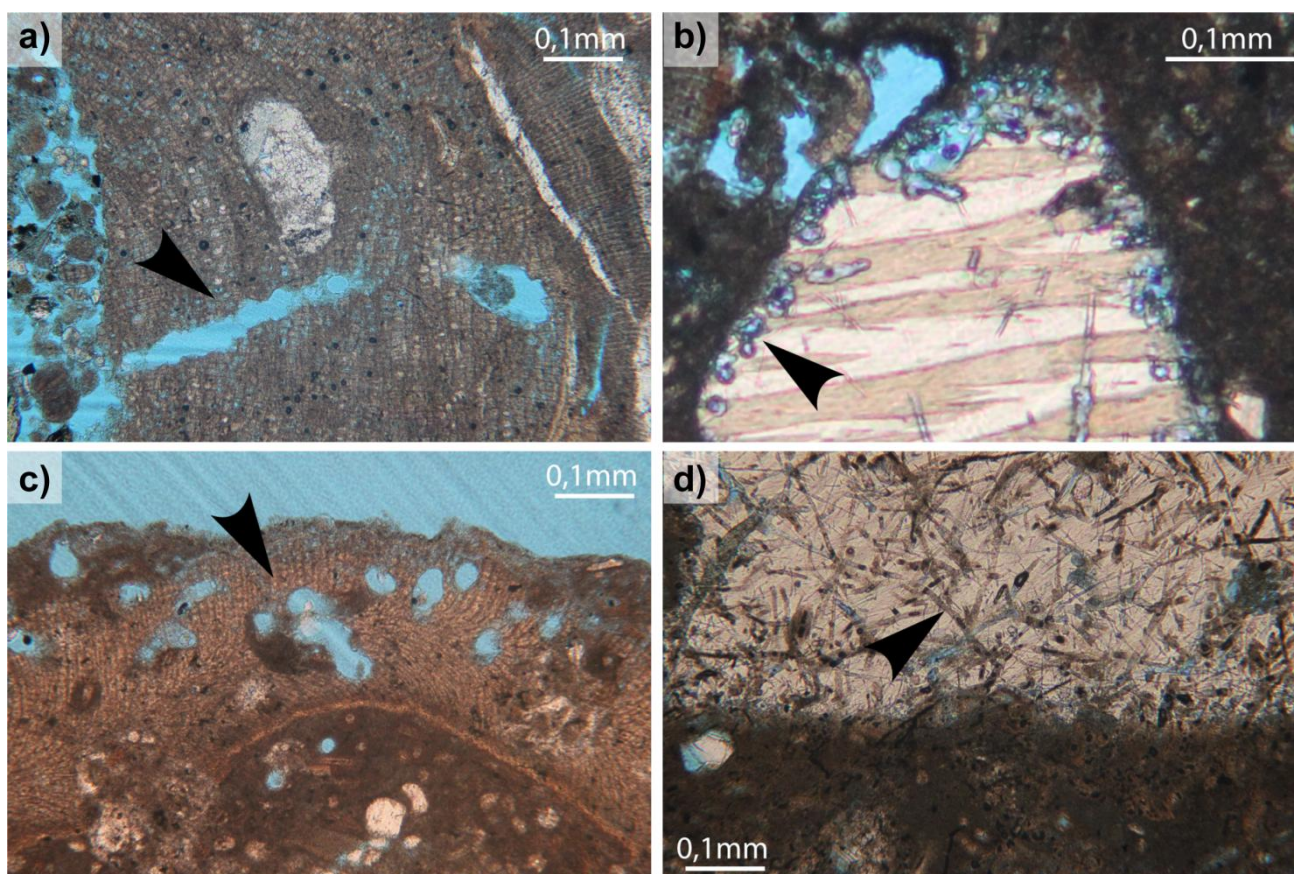


Figura 15: Exemplos de microperfurações (cabeças de setas) na estrutura interna dos nódulos calcários: a) microperfuração em forma de canal em alga calcária; b) microperfuração em forma de furos na extremidade de esqueleto carbonático; c) microperfuração em forma de furos em alga calcária; e d) microperfurações em forma de canais em esqueleto carbonático possivelmente devido à ação de fungos ou cianobactérias.

### 3.1.2 Macroorganismos perfurantes

Todas as perfurações de macroorganismos na estrutura interna dos nódulos corresponderam a estruturas do tipo domicnia. As perfurações associadas à



macroorganismos perfurantes encontradas foram do tipo: *Entobia* Bronn (1837-38), *Gastrochaenolites* Leymerie (1842) e *Trypanites* Mägdefrau (1932).

As perfurações identificadas como o icnogênero *Entobia* foram representadas por câmaras cilíndricas a subcilíndricas e muitas vezes com canais de menos de 1mm de diâmetro fazendo a conexão entre as câmaras. As macroperfurações do Tipo *Entobia* podem apresentar em sua borda microestruturas cuspidiformes devido à ação de esponjas perfurantes ao produzirem a perfuração. Essas microestruturas puderam ser observadas em várias lâminas petrográficas do presente estudo (Figura 16d). Outro fator propício à identificação de *Entobia* foi a presença de espículas de esponjas em várias perfurações que ainda não haviam sido preenchidas pelo processo de sedimentação (Figura 16f).

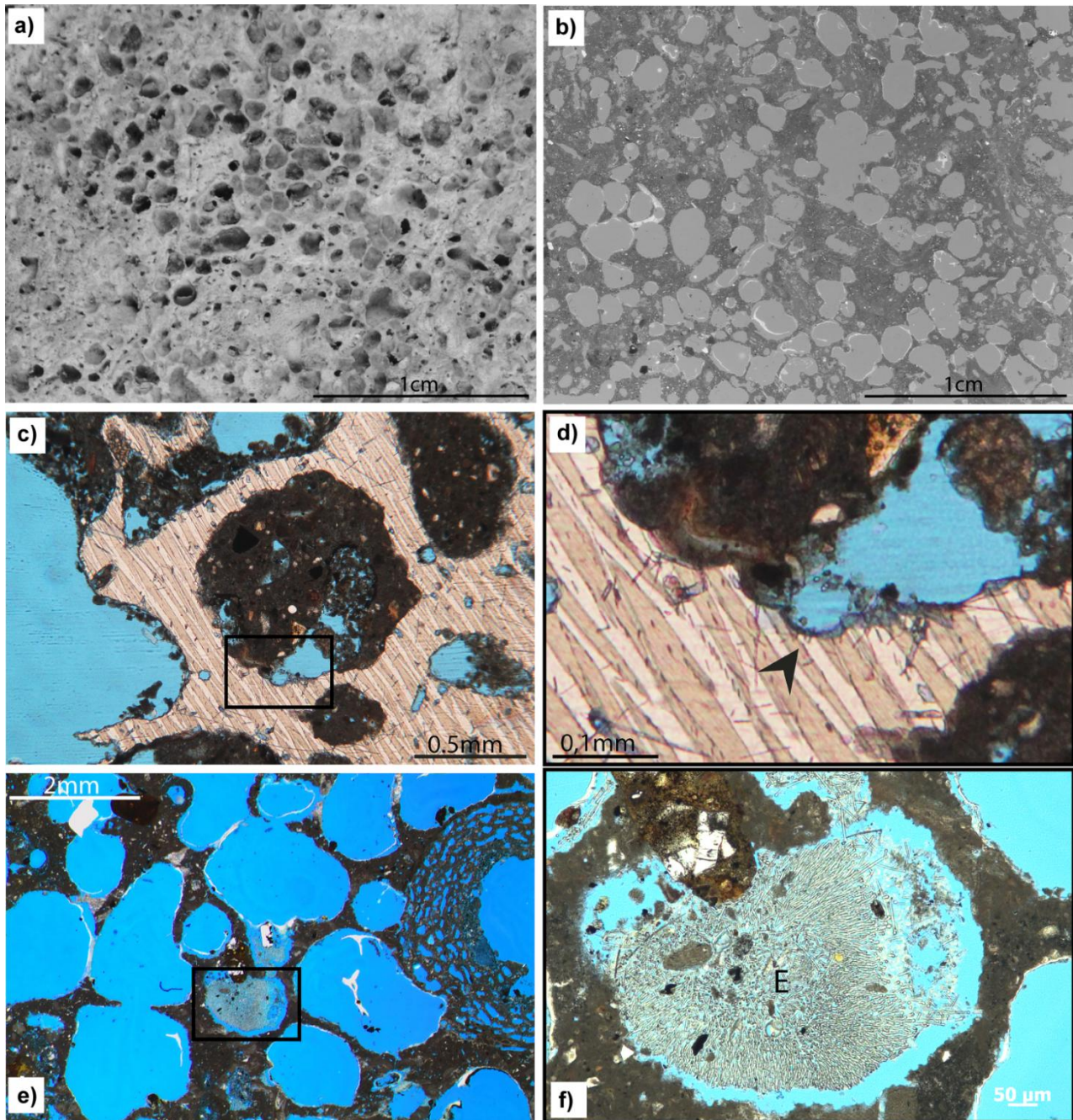


Figura 16: Identificação de icnogênero *Entobia* em nódulos calcários da Ilha da Trindade e do monte Jaseur: a) Imagem do bloco elaborado na face interna do nódulo para a elaboração de lâmina petrográfica; b) Lâmina petrográfica em que se pode observar as perfurações cilíndricas típicas de *Entobia*; c) Macrobioerosão cilíndrica típica de *Entobia* preenchida por micrita, a moldura preta indica a área destacada na figura seguinte; d) detalhe do limite da macrobioerosão evidenciando as microestruturas cuspidiformes (cabeça de seta preta); e) Rede de câmaras e canais características de *Entobia*, a

moldura preta indica a área da figura seguinte e; f) Detalhe de uma das perfurações cilíndricas de *Entobia* ainda com a presença de espículas (E) de esponjas.

A análise das espículas em microscópio possibilitou a identificação de dois gêneros: *Cliona* sp. e *Jaspis* sp. O gênero *Cliona* é um tipo de esponja perfurante responsável pela destruição da matriz carbonática e criação de novos espaços. Já o gênero *Jaspis* não é uma esponja perfurante, porém faz parte da criptofauna por ocupar espaços produzidos por outros organismos.

O icnogênero *Trypanites* é caracterizado por perfurações de entradas simples, cilíndricas a subcilíndricas, não ramificadas. As perfurações apresentaram cerca de 1mm de diâmetro e comprimentos variados. Os cortes em lâmina petrográfica podem ser representados por seção transversal circular e eixos retos, curvos ou irregulares (Figura 17).

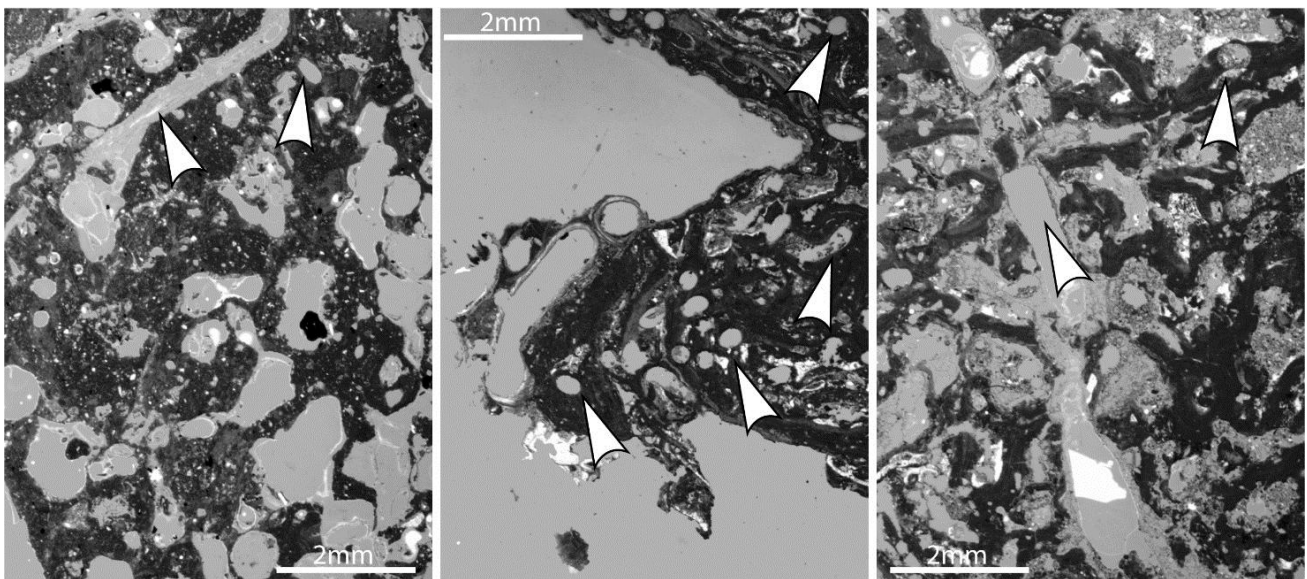


Figura 17: Perfurações atribuídas ao icnogênero *Trypanites* (cabeças de setas) podem ser observadas em lâmina petrográfica como canais (cortes longitudinais) ou círculos (seções transversais).

O icnogênero *Gastrochaenolites* é formado por bivalves, sendo que muitas vezes suas conchas ainda podem ser encontradas no local da perfuração (e.g.; Bassi *et al.* 2012a). Por serem formados por organismos filtradores estão sempre posicionados de maneira perpendicular à superfície externa do nódulo. As perfurações apresentam uma abertura estreita que pode se prolongar formando o pescoço e se alarga em direção ao fundo da

perfuração na câmara principal em forma de garrafa (*flask-shaped*; Kelly e Bromley 1984) (Figura 18).

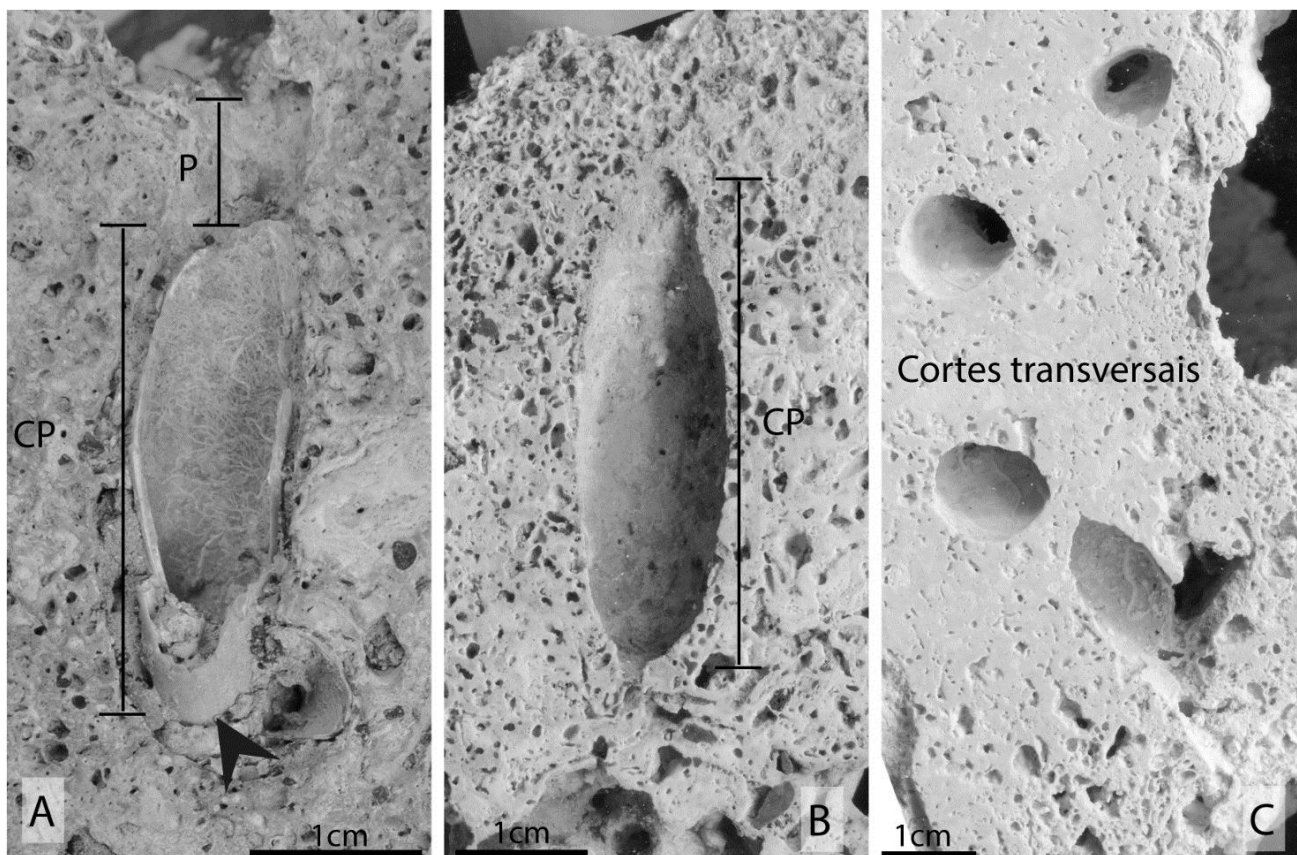


Figura 18: *Gastrochaenolites* isp. em nódulos calcários da Ilha da Trindade. A) Caracteres diagnóstico pescoço (P) e câmara principal (CP), a seta negra indica a presença da concha do bivalve preservada; B) Câmara principal (CP) alongada no eixo longitudinal e larga em seção transversal e C) cortes transversais da perfuração.

Através da análise das lâminas petrográficas foi possível observar que o icnogênero *Entobia* foi o mais frequente considerando todos os locais de coleta, independente da posição da estrutura interna/externa (Tabela 8). O icnogênero *Trypanites* mostrou variação quanto à posição na estrutura, sendo maior na parte externa. Isso pode estar associado à dificuldade de reconhecer essas perfurações após o retrabalho de cimentação e bioerosão na estrutura interna do rodolito.

Tabela 8: Percentual de contribuição dos três icnogêneros identificados nas lâminas petrográficas.

		<b>Trindade 65m</b>	<b>Jaseur 66m</b>	<b>Jaseur 74m</b>
		MÉDIA (±DP)	MÉDIA (±DP)	MÉDIA (±DP)
<b>EXTERNNA</b>	<i>Entobia</i>	95,31% (±1,92)	81,91% (±3,9)	76,89% (±18,91)
	<i>Gastrochaenolites</i>	1,14% (±1,99)	1,94% (±1,76)	1,51% (±2,62)
	<i>Trypanites</i>	3,53% (±3,45)	16,14% (±5,02)	21,59% (±19,67)
<b>INTERNNA</b>	<i>Entobia</i>	90,70% (±8,34)	88,20% (±14,21)	89,71% (±2,56)
	<i>Gastrochaenolites</i>	3,03% (±2,94)	2,99% (±2,66)	0% 0
	<i>Trypanites</i>	6,26% (±6,45)	8,80% (±12,47)	10,28% (±2,56)

Entretanto não houve diferença estatística significativa entre a icnossembleia dos montes em relação à região externa (Trindade e Jaseur 66m:  $p=0,105$ ; Trindade e Jaseur 74m:  $p=0,1004$  e Jaseur 66m e Jaseur 74m:  $p=0,9021$ ) ou à região interna (Trindade e Jaseur 66m:  $p=0,7976$ ; Trindade e Jaseur 74m:  $p=0,7987$  e Jaseur 66m e Jaseur 74m:  $p=0,898$ ). Em relação aos locais de coleta, houve diferença estatística significativa entre a ilha da Trindade e monte Jaseur 74m ( $p=0,0492$ ).

O diagrama de largura vs. comprimento mostra a distribuição de indivíduos de tamanhos variados nos três locais de estudo. Os *Gastrochaenolites* apresentaram forma elipsoidal com o comprimento do maior eixo variando de 4 a 23mm em Jaseur 74m ( $n = 6$ ), de 11 a 37mm em Jaseur 66m ( $n = 16$ ) e de 8 a 40mm em Trindade 65m ( $n = 13$ ). Em relação ao local de coleta, é possível observar que em Jaseur 74m foram encontrados apenas indivíduos menores e na superfície dos nódulos, podendo indicar uma colonização recente por bivalves, admitindo-se que os bivalves aumentam suas dimensões ao passarem da fase juvenil para a fase adulta (Figura 19).

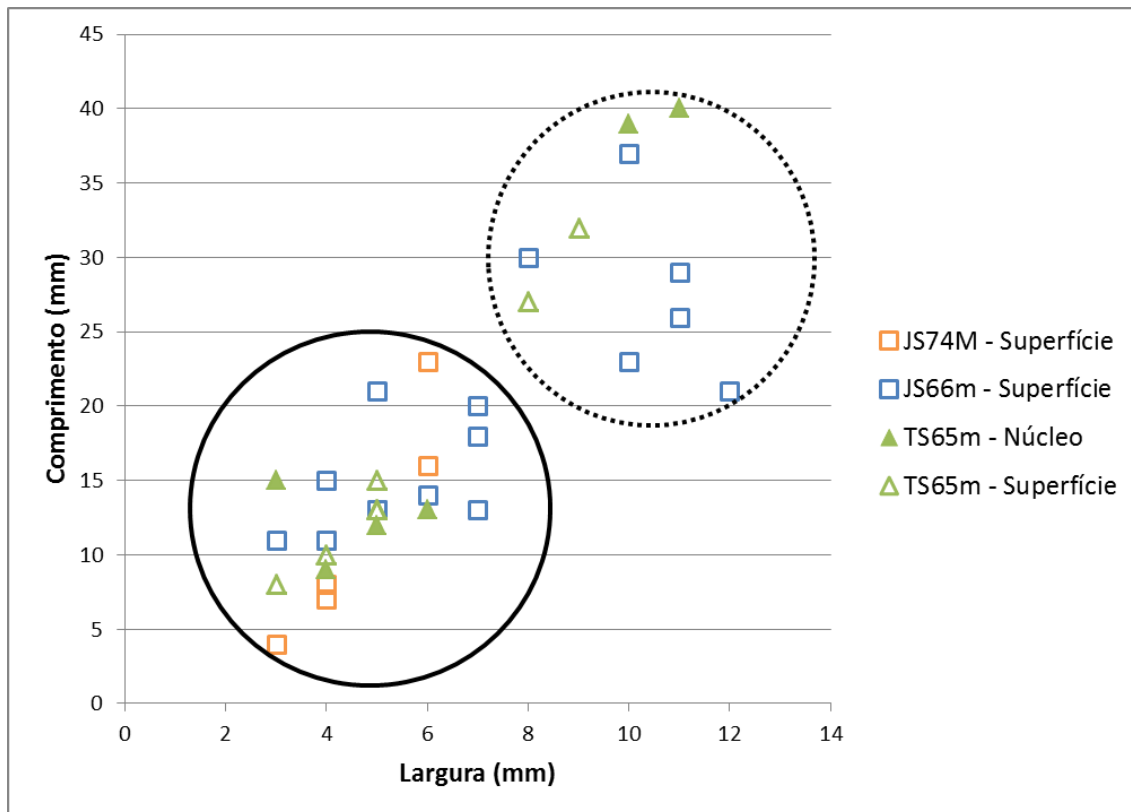


Figura 19: Relação comprimento *versus* largura em *Gastrochaenolites* (n = 32). O círculo com linha pontilhada inclui indivíduos possivelmente adultos enquanto a linha contínua inclui os indivíduos possivelmente juvenis.

As perfurações do icnogênero *Gastrochaenolites* encontradas na face interna dos nódulos foram contabilizadas e o resultado em indivíduos/área foi de 0,03/cm<sup>2</sup> para Trindade 66m, de 0,02/cm<sup>2</sup> para Jaseur 65m e de 0,02/cm<sup>2</sup> para Jaseur 74m.

### 3.2 Macroforaminíferos bentônicos

Os macroforaminíferos bentônicos foram analisados de acordo com a distribuição ao longo dos três locais de coleta e da sua posição na estrutura interna do nódulo e classificados em três grupos: *Archaias* sp., *Amphistegina* sp. e macroforaminíferos indeterminados.

As características morfológicas identificáveis em lâminas petrográficas para a classificação dos gêneros é a organização dos cristais que constroem a concha e o formato dos septos. O gênero *Archaias* (Figura 20 a, b, c) possui organização

porcelanácea e em lâminas apresentam coloração mais escura uma vez que os cristais de calcita são orientados casualmente causando certo desvio da luz do microscópio. A *Amphistegina* (Figura 20d, e, f) é do tipo hyalino e em lâmina são brancas ou transparentes, pois os cristais são orientados em uma única direção (a luz não sofre desvios). Os demais macroforaminíferos foram agrupados em macroforaminíferos indeterminados, sendo que os mais comuns foram os de organização aglutinante ou arenácea (Figura 20 g) que agregam partículas do meio para formar as carapaças.

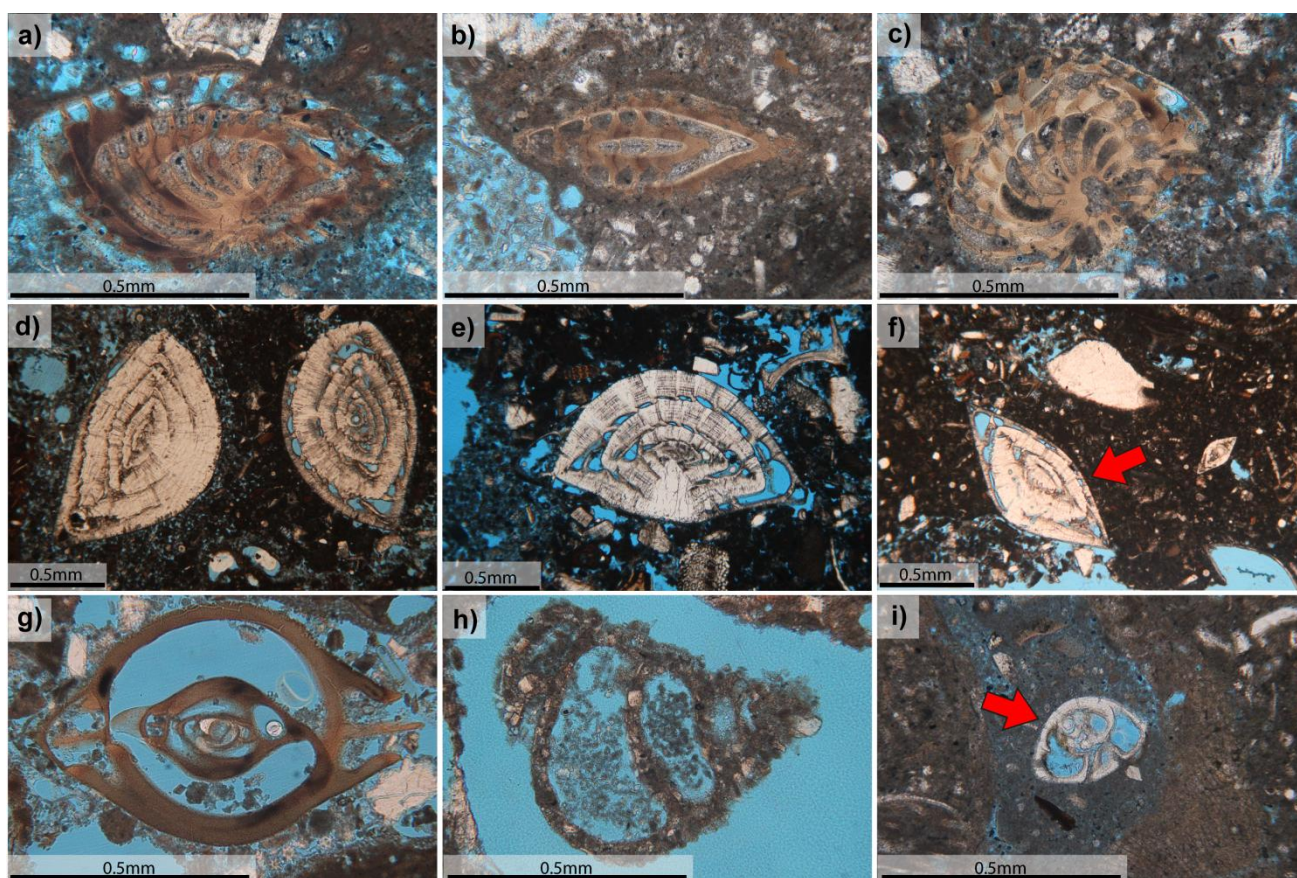


Figura 20: Macroforaminíferos bentônicos encontrados na estrutura interna dos nódulos calcários: a) corte longitudinal de carapaça de *Archaias*; b) corte transversal de carapaça de *Archaias*; c) corte longitudinal da extremidade de carapaça de *Archaias*; d) dois exemplares de *Amphistegina*; e) corte longitudinal de carapaça de *Amphistegina*; f) corte longitudinal da extremidade de carapaça de *Amphistegina* (seta vermelha); g) macroforaminífero porcelanáceo indeterminado; h) macroforaminífero arenáceo indeterminado e; i) macroforaminífero hyalino indeterminados.

A Tabela 9 apresenta a distribuição média dos macroforaminíferos bentônicos. Os três grupos foram identificados em todos os locais de coleta, mas apresentaram diferenças

quanto ao grupo mais frequente, principalmente entre a plataforma insular de Trindade e o monte Jaseur. O gênero *Archaias* foi mais frequente na plataforma de Trindade enquanto que em ambos os locais do monte Jaseur foi mais frequente o gênero *Amphistegina*.

Tabela 9: Distribuição de macroforaminíferos bentônicos (%) para os locais de estudo (n=61).

		<b>Trindade 65m</b>	<b>Jaseur 66m</b>	<b>Jaseur 74m</b>
		MÉDIA (±DP)	MÉDIA (±DP)	MÉDIA (±DP)
<b>EXTERNA</b>	<i>Archaias</i> sp.	39,46% (±29,12)	30,72% (±24,85)	30,64% (±29)
	<i>Amphistegina</i> sp.	13,16% (±10,7)	40,44% (±27,68)	44,12% (±28,42)
	Macroforaminifera indet.	47,38% (±22,99)	28,84% (±5,7)	25,24% (±6,52)
<b>INTERNA</b>	<i>Archaias</i> sp.	43,86% (±17,02)	29,41% (±10,21)	21,49% (±16,42)
	<i>Amphistegina</i> sp.	8,55% (±9,9)	44,44% (±6,7)	43,66% (±15,8)
	Macroforaminifera indet.	47,59% (±24,07)	26,15% (±6,81)	34,85% (±24,12)

A quantificação em indivíduos por área mostrou que em ambos os locais do monte Jaseur foram encontradas maiores quantidades dos indivíduos quando comparados à plataforma insular de Trindade. Em Trindade foram encontrados 0,012 indivíduos/mm<sup>2</sup>, enquanto que para Jaseur raso foram 0,045 indivíduos/mm<sup>2</sup> e para Jaseur 74m foram 0,036 indivíduos/mm<sup>2</sup>.

Foi observada diferença significativa na composição de macroforaminíferos bentônicos entre o monte Jaseur e a Ilha da Trindade (Trindade e Jaseur 66m:  $p=0,0001$ ; Trindade e Jaseur 74m:  $p=0,0066$ ). Entre os locais do monte Jaseur as diferenças não foram estatisticamente significantes ( $p=0,1345$ ).

#### 4 DISCUSSÃO

As microperfurações em forma de furos e canais, muitas vezes próximas à borda de macroperfurações, são decorrentes da ação de fungos (e.g. Noe *et al.* 2006), organismos procariontes ou algas (Bromley 1994). Em profundidades semelhantes as do presente estudo, Perry e Hepburn (~50m; 2008) identificaram perfurações decorrente da ação de



fungos como principais responsáveis por microbioerosão de recifes de corais (e.g., *O. fusiferum*, *S. sphaerula*, *P. araneola*).

As microperfurações foram reconhecidas na estrutura interna dos rodolitos do presente estudo em todas as lâminas petrográficas. Entretanto, a maior parte das perfurações foram macroperfurações do tipo Domicnia, o que já era esperado para endofauna de rodolitos (e.g. Checconi, Monaco 2008; Bassi *et al.* 2012a). Segundo Ekdale *et al.* (1984), a ocorrência dos icnofósseis do tipo Domicnia formados por bivalves (*Gastrochaenolites*), poliquetas (*Trypanites*), esponjas (*Entobia*) e balanídeos (*Rogerella*) é relativamente comum. A icnossembléia identificada para a Cadeia Vitória-Trindade é representada principalmente por três destes icnogêneros: *Entobia*, *Gastrochaenolites* e *Trypanites*.

No presente estudo, tanto no núcleo quanto em superfície, o icnogênero *Entobia* foi o mais frequente. O icnogênero *Entobia* é produzido por esponjas perfurantes que escavam o interior de substratos carbonáticos para servir de abrigo contra predadores. As perfurações resultantes são inúmeras aberturas que se conectam à superfície e penetram em direção ao interior do substrato formando uma complexa rede de passagens (Bromley e D'Alessandro 1984; Bromley 1994). As passagens se tornam amplas em intervalos regulares formando câmaras que podem ser numerosas e pequenas ou poucas e grandes (Bromley e D'Alessandro 1984).

A ação de esponjas perfurantes é comum em diversos substratos carbonáticos como recifes de corais (Sammarco e Risk 1990; Risk *et al.* 1995; Tribollet e Golubic 2005; Perry e Hepburn 2008), esqueletos de algas calcárias (Nitsch *et al.* 2005; Checconi e Monaco 2008; Checconi *et al.* 2010; Ávila *et al.* 2013), conchas (Hartman 1958; El-Hedeny 2007; Gibert *et al.* 2007) e crostas calcimicrobianas (Cherchi e Schroeder 2010).

O segundo icnogênero mais frequente nas lâminas petrográficas foi *Trypanites* formados pela ação de poliquetas (Häntzshel 1975) ou vermes sipúnculas (Bromley 1972). Em seguida está o icnogênero *Gastrochaenolites* que pode ser formado através de dois processos de perfuração associados a bivalves que perfuram substratos rígidos: químico e mecânico (Savazzi 1994).

Bromley e Asgaard (1993) descrevem um ambiente com perfuração por esponjas, vermes sipúnculas, bivalves e poliquetas, formadores dos icnogêneros encontrados na Cadeia Vitória-Trindade, como a Icnofacies *Entobia*. Os autores atribuem a sua presença a um

ambiente com pouco ou nenhum aporte sedimentar em que os processos de bioerosão são formados a longo termo e ininterruptos por pulsos de sedimentação. Além disso, Bromley *et al.* (1991) descrevem a presença de *Gastrochaenolites* e *Entobia* para ambientes com processos de bioerosão avançados, equivalentes a comunidades clímax em uma sucessão ecológica.

Bassi *et al.* (2011) descrevem uma icnossembléia similar à encontrada no presente trabalho para a plataforma insular de Kikai-jima (Japão) cujo aporte sedimentar é correspondentemente baixo e localiza-se também em águas oceânicas a profundidades de 62 a 105m. Goreau e Hartman (1963) observaram intensa ação de esponjas perfurantes em profundidades entre 30 a 70m em recifes de talude na Jamaica e pontuaram que a bioerosão nesse intervalo de profundidades foi mais significativa do que em regiões rasas devido aos processos de calcificação (incrustação) mais lentos e a menor ação de ondas.

Assim como as esponjas, os organismos formadores de *Trypanites* possuem preferência por ambientes de baixa sedimentação (Bassi *et al.* 2011). Bassi *et al.* (2013) observaram a dominância da icnossembléia *Trypanites* e *Maendropolydora* para a plataforma insular das Ilhas Fraser (Austrália) em profundidades de 68 a 117m e associaram a baixa presença de *Gastrochaenolites* e *Entobia* ao tamanho reduzido dos nódulos, 20 a 50mm. Os nódulos calcários do presente trabalho apresentaram dimensões maiores do que as encontradas pelo autor (100 a 240mm), favorecendo o estabelecimento de *Entobia* em detrimento de *Trypanites*.

O icnogênero *Gastrochaenolites* já foi associado exclusivamente a ambientes rasos (Kleeman 1973; Bromley e D'Alessandro 1990; Bromley e Asgaard 1993; Goldring 1995; Taylor *et al.* 2003), apenas recentemente estudos vêm demonstrando sua presença também em ambientes profundos (>60m; Bassi *et al.* 2011; Bassi *et al.* 2013). Sammarco e Risk (1990) atribuem a abundância da ação dos bivalves perfurantes próximo à costa não a profundidade em si, mas à maior concentração de nutrientes. Assim, com estabelecimento de condições oligotróficas em áreas *offshore*, a abundância desses organismos diminui.

A composição de organismos perfurantes nos rodólitos da Cadeia Vitória-Trindade confirma o favorecimento das atividades desses organismos em locais de baixa

sedimentação e turbulência e maior profundidade. A menor turbulência permite o crescimento ininterrupto dos organismos devido a maior estabilidade dos nódulos enquanto a baixa taxa de sedimentação favorece organismos filtradores, além disso, a maior profundidade faz com que os processos de incrustação sejam mais lentos diminuindo a morte dos organismos da endofauna por obstrução das perfurações. Assim, as diferenças nas condições ambientais poderiam explicar diferenças na abundância da icoassembleia de rodolitos (Figura 21).

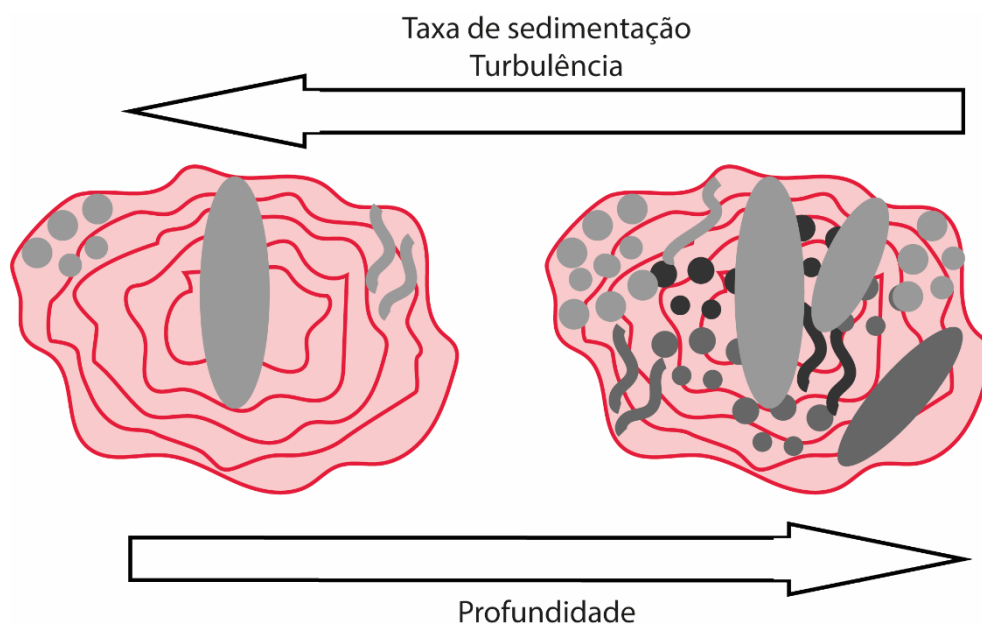


Figura 21: Diferenças na macrofauna perfurante (cor cinza) em rodolitos de ambientes distintos. À esquerda rodolito de ambiente com maiores taxa de sedimentação e turbulência e menor profundidade apresentando menor abundância de organismos perfurantes e à direita rodolito de ambiente de menores taxas de sedimentação e turbulência e maior profundidade com maior abundância de organismos perfurantes (e.g.; Cadeia Vitória-Trindade).

Os macroforaminíferos bentônicos presentes no material de preenchimento das perfurações podem auxiliar na compreensão do ambiente em que se estabelecem os organismos perfurantes uma vez que podem ser depositados nas perfurações simultaneamente ou após a morte dos organismos. No presente estudo, foram identificados três grupos de macroforaminíferos, dois deles compostos pelos gêneros *Archaias* e *Amphistegina* e o terceiro, agrupou todos os demais indivíduos que não puderam ser identificados em lâmina petrográfica.

A distribuição dos gêneros *Archaias* e *Amphistegina* ao longo da plataforma continental brasileira apresenta associações com outros gêneros caracterizando assembleias diretamente influenciadas pela profundidade (Tabela 10).

Tabela 10: Profundidades de dominância das principais espécies dos gêneros *Archaias* e *Amphistegina* na plataforma continental brasileira.

Espécie	Profundidade	Localização	Referência
<i>Archaias angulatus</i>	2 a 29 m	Bahia	Machado e Araújo (2011)
	13 a 26 m	Pernambuco	Araripe <i>et al.</i> (2016)
	14 a 60 m	Bahia	Mirante <i>et al.</i> (2013)
	20 a 40 m	Bahia	Figueiredo <i>et al.</i> (2011)
	30 m	Sergipe	Lemos Junior <i>et al.</i> (2014)
<i>Amphistegina lessoni</i>	13 a 30 m	Pernambuco	Araripe <i>et al.</i> (2016)
	13 a 300 m	Bahia	Mirante <i>et al.</i> (2013)
	20 a 60 m	Bahia	Figueiredo <i>et al.</i> (2011)
	30 m	Sergipe	Lemos Junior <i>et al.</i> (2014)
	45 a 705 m	Espírito Santo e Rio de Janeiro	Oliveira Silva <i>et al.</i> (2005)
<i>Amphistegina gibbosa</i>	22 a 300 m	Bahia	Mirante <i>et al.</i> (2013)
	30 m	Espírito Santo e Rio de Janeiro	Lemos Junior <i>et al.</i> (2014)

Machado e Araújo (2011), ao analisarem o sedimento interrecifal de um trecho da plataforma continental de Abrolhos (Bahia) em profundidades de 0 a 30m, observaram a dominância do gênero *Quinqueloculina*, seguido do gênero *Archaias* representado apenas pela espécie *A. angulatus*. Ao analisarem um trecho da plataforma continental da Bahia a norte de Salvador em profundidades de 14 a 20m, Mirante *et al.* (2011) encontraram como espécies de foraminíferos predominantes *Peneroplis carinatus*, *Archaias angulatus* e *Peneroplis proteus*. A espécie *Archaias angulatus* (Fichtel & Moll) já foi descrita para a ilha da Trindade por Narchi (1956). Em maiores profundidades, Mirante *et al.* (2011) encontraram a maior abundância das espécies *Amphistegina lessonii*, *Amphistegina gibbosa* e *Peneroplis carinatus* na plataforma média (profundidades entre 20 e 40m). Oliveira-Silva *et al.* (2005) observaram a dominância de *Amphistegina lessonii* em sedimentos da plataforma continental adjacente ao rio Doce (Espírito Santo) a 45m de profundidade. Para a plataforma externa (profundidades entre 43 a 60m), Mirante *et al.* (2011) identificaram como espécies de foraminíferos predominantes *Amphistegina lessonii*, *Amphistegina gibbosa*, *Peneroplis carinatus*, *Globigerinoides ruber* e *Discorbis mira*. Os mesmos autores encontraram predominância das espécies *Amphistegina*

*lessonii*, *Cassidulina laevigata*, *Cibicides pseudoungerianus* e *Globigerinoide ruber* para a região do talude (60 a 120m de profundidade).

Como podemos observar a abundância do gênero *Archaias* é descrito principalmente para a plataforma interna enquanto o gênero *Amphistegina* passa a dominar em regiões de plataforma média ao talude (Figura 22). Leutenegger (1984) afirma que espécies que abrigam simbiontes como clorofíceas (e.g., *Archaias*) são favorecidas em ambientes rasos onde a penetração da luz vermelha e violeta são maiores, já espécies que abrigam diatomáceas (e.g., *Amphistegina*) possuem uma maior tolerância de profundidade por serem favorecidas pela penetração da luz verde e azul em regiões mais profundas.

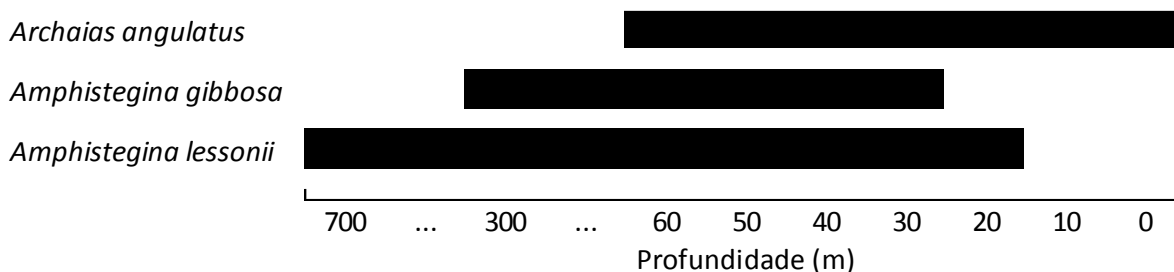


Figura 22: Distribuição batimétrica das principais espécies dos gêneros *Archaias* e *Amphistegina* na plataforma continental brasileira (ver fonte na Tabela 10).

A distribuição dos foraminíferos bentônicos na plataforma continental brasileira quanto à profundidade também pode ser correlacionada à proximidade da costa. Dessa forma, a espécie do gênero *Archaias* é encontrada mais próxima à costa quando comparada às espécies de *Amphistegina*. De forma análoga, a maior frequência do gênero *Archaias* poderia estar associada à plataforma insular de Trindade, uma vez que a ilha é uma potencial fonte de aporte sedimentar e material orgânico, assim como a região costeira é para a plataforma continental adjacente.

A distribuição biogeográfica de macroforaminíferos também está diretamente ligada à temperatura d'água e sua distribuição latitudinal depende da tolerância de cada espécie às temperaturas mais baixas (Langer e Hottinger 2000). A distribuição do gênero *Amphistegina* em geral tolera um maior intervalo de temperaturas alcançando regiões com temperaturas mais baixas do que outras espécies (e.g., *Archaias angulatus*; Langer e Hottinger 2000).

O maior intervalo de temperaturas suportado pelo *Amphistegina* poderia influenciar a maior frequência do gênero no monte Jaseur em oposição ao gênero *Archaias*. Entretanto, o monte submarino Jaseur e a ilha da Trindade encontram-se alinhados latitudinalmente e estão situados na mesma zonação climática global. Assim, a diferença significativa identificada entre o gênero *Amphistegina* encontrado com maior frequência em ambos os locais de coleta do monte Jaseur e do gênero *Archaias* na plataforma insular de Trindade é influenciada por parâmetros locais que estariam acontecendo nestes ambientes.

Lemos (2014) descreve o estabelecimento de um domo isopical denominado Cone de Taylor restrita ao banco de Vitória, monte Jaseur e monte Davis, mostrando que possivelmente esses montes submarinos apresentam processos físico-biológicos (forma estrutural, dinâmica de correntes superficiais e mistura turbulenta) diferentes dos demais montes da Cadeia Vitória-Trindade. De acordo com o autor, essa feição é responsável por trazer águas profundas ricas em nutrientes para águas superficiais. Outros autores identificaram maiores concentrações de clorofila *a*, ortofosfato, nitrato e nitrogênio amoniacal sobre a Cadeia Vitória-Trindade que poderiam promover a fertilização da zona fótica (Metzler *et al.* 1997; Rezende *et al.* 2007). Braid (2008) identificou a ocorrência de águas frias, pobres em oxigênio dissolvido e ricas em nutrientes (nitrato e fosfato) típicas de águas de ressurgência sobre o monte Jaseur.

Dessa forma, a maior frequência do gênero *Amphistegina* pode ser indicativa dos processos de ressurgência no monte Jaseur, uma vez que, as temperaturas mais baixas favoreceriam a dominância do gênero *Amphistegina* em relação ao gênero *Archaias* (Langer e Hottinger 2000). Entretanto, outras análises devem ser feitas para comprovar essa indicação. Durante a formação das carapaças dos foraminíferos ocorre a incorporação de elementos traço cujas concentrações são regidas por condições físicas e químicas do ambiente marinho circundante (Rollion-Bard e Erez 2010; McKay *et al.* 2015). Dessa forma, análises geoquímicas podem ser realizadas a fim de melhor entender quais parâmetros são mais importantes na variação na composição dos macroforaminíferos bentônicos entre o monte submarino e a ilha.

## 5 CONCLUSÃO

Os bancos de rodólitos possuem grande importância ecológica no ambiente mesofótico por servirem de substrato rígido para o estabelecimento de organismos que utilizam a estrutura interna como fonte de alimento e refúgio, entre outros. O estudo da estrutura interna dos rodólitos permite fornecer informações sobre estes organismos e sobre o ambiente em que se desenvolveram.

A icnocoleção de rodólitos foi semelhante para o monte submarino Jaseur e para a ilha da Trindade. O icnogênero *Entobia* apresentou a maior contribuição percentual, seja na região interna seja na externa dos rodólitos. Houve ainda uma menor contribuição dos icnogêneros *Trypanites* e *Gastrochaenolites*.

A análise da icnocoleção possibilitou sua utilização como indicadores de ambiente de baixa sedimentação, baixa energia de ondas e longo período de ação de processos bioerosivos. Dessa forma, os bancos de rodólitos dos montes e ilhas oceânicas da Cadeia Vitória-Trindade podem ser caracterizados como ambientes propícios ao desenvolvimento de macrofauna perfurante responsável por intensos processos de bioerosão ininterruptos.

A produção de espaços vazios pelos organismos perfurantes na estrutura interna dos rodólitos pode abrigar organismos bentônicos pequenos que se depositaram simultaneamente ao organismo ou logo após sua morte. Os macroforaminíferos bentônicos são comumente aprisionados nas perfurações e passam a integrar o registro geológico dos rodólitos. Macroforaminíferos também podem ser usados como indicadores do ambiente em que se encontram aumentando assim as informações adquiridas a partir do registro da estrutura interna dos rodólitos.

A análise da distribuição dos macroforaminíferos bentônicos na estrutura interna dos nódulos calcários da Cadeia Vitória-Trindade mostrou diferença significativa entre a composição do monte submarino e da ilha. Essa diferença indica a presença de características distintas atuando no monte Jaseur e na plataforma insular da Ilha da Trindade que estariam influenciando na coleção de macroforaminíferos.

A proximidade com a porção emersa da ilha da Trindade pode ter influenciado a maior frequência do gênero *Archaias* na plataforma insular, uma vez que este é encontrado na plataforma continental brasileira próximo à costa. Por outro lado, processos de ressurgência indicados para o monte Jaseur poderiam beneficiar o gênero *Amphistegina* em comparação ao gênero *Archaias* devido ao surgimento de menores temperaturas no monte submarino.



## ***CAPÍTULO IV - Composição e estrutura interna resultante em rodolitos de ambiente com alto índice de bioerosão e os processos envolvidos em sua modificação***

### **1 INTRODUÇÃO**

A tafonomia é o estudo dos processos que afetam o potencial e a qualidade da preservação de um fóssil e podem ocorrer no momento da morte do organismo, no intervalo de tempo entre a morte e o completo soterramento ou ainda após o soterramento (Savrda 2007). Os diversos processos tafonômicos extraem informações ecológicas sobre o fóssil ao mesmo tempo em que agregam novas informações sobre o ambiente em que ocorreram (Brett e Baird 1986). Em ambientes carbonáticos esses processos podem influenciar o sistema de forma construtiva (adicionando carbonato as estruturas) ou destrutiva (removendo carbonato das estruturas) (Brett e Baird 1986; Scoffin 1992).

Os principais processos tafonômicos em ambientes carbonáticos como bancos de rodolitos são a incrustação (processo construtivo), abrasão, fragmentação e bioerosão (ambos destrutivos) (Nebelsick *et al.* 2011). A abrasão é causada por processos físicos (ondas e correntes) resultando na destruição de caracteres na superfície de partículas e formando superfícies suaves e arredondadas. A fragmentação leva a redução do tamanho das partículas e é reconhecida por deixar fragmentos com pontas afiadas e terminações abruptas. A incrustação leva a um aumento no tamanho da estrutura em que ocorre devido à agregação de outros organismos e pode ser responsável pela estabilização de componentes e sedimentos. Já a bioerosão pode ser mecânica ou química, está associada principalmente a substratos carbonáticos ou lenhosos e é resultado da ação de organismos perfurantes.

O processo de incrustação é o principal responsável pela formação de nódulos carbonáticos compostos predominantemente por organismos incrustantes (Hottinger 1983; Peryt 1983). A maior parte destes nódulos é composta por mais de um organismo

com abundâncias variadas. Quando o principal organismo na estrutura interna dos nódulos são as algas calcárias vermelhas, eles são denominados rodolitos (Bosellini e Ginsburg 1971; Adey e Macintyre 1973; Bosence 1983). Os rodolitos se desenvolvem a partir de repetidos processos de crescimento (*overgrowing*) e apresentam como estrutura interna resultante uma integração dos esqueletos calcários das algas e dos demais organismos incrustantes subordinados.

Nódulos carbonáticos semelhantes aos rodolitos podem ser formados por diversos tipos de organismos incrustantes e diferentes nomenclaturas são usadas quando estes organismos constituem a maior parte da estrutura interna dos nódulos. Quando os principais componentes são foraminíferos bentônicos incrustantes os nódulos são chamados *foraminiferal-algal* (Reid, Macintyre 1988) ou *for-algaliths* (Prager, Ginsburg 1989) ou são chamados *nódulos de serpulídeos* quando estes organismos ultrapassam as algas em composição (Aguirre *et al.* 1993) e para definir qualquer nódulo revestido de movimento livre composto por organismos incrustantes utiliza-se o termo generalista macroide (Hottinger 1983).

A calcificação produzida pelos organismos incrustantes aumenta a resistência dos nódulos às adversidades do ambiente, por outro lado, a complexidade do processo faz com que o crescimento da maior parte destes organismos seja lento (Foster 2001; Bosence e Wilson 2003). A maior resistência dos nódulos permite seu crescimento por longos períodos (nem sempre contínuo), podendo ser encontrados desde rodolitos modernos (Goldberg, Heine 2008, Tâmega *et al.* 2014) até rodolitos com centenas (Goldberg 2006, Littler *et al.* 1991) a milhares de anos (Goldberg 2006, Littler *et al.* 1991, Amado-Filho *et al.* 2012a, Tâmega *et al.* 2014).

Vários autores apontam que a distribuição de organismos responsáveis por processos de incrustação é determinada principalmente pela penetração de luz e energia de ondas (Martindale 1992; Rasser e Piller 1997; Hepburn *et al.* 2015). Muitos organismos incrustantes são fotossintetizantes (*e.g.*, algas calcárias) ou apresentam simbiose com organismos fotossintetizantes (*e.g.*, corais e foraminíferos) e, portanto, são altamente dependentes da presença de luz no ambiente. Para a colonização do substrato, os organismos incrustantes necessitam de certo tempo de residência (Bassi *et al.* 2013) que pode ser afetado pela energia de ondas do ambiente.

A formação de substratos carbonáticos por organismos incrustantes se torna atrativo para o estabelecimento de organismos perfurantes responsáveis por processos de bioerosão (Neumann 1966). O processo de bioerosão está entre os principais agentes de destruição de estruturas carbonáticas em ambientes distantes da costa e de baixa energia (Driscoll 1970; Driscoll e Weltin 1973). A bioerosão em rodolitos é considerada um processo autodestrutivo em que a preservação dos nódulos só ocorre através do isolamento das perfurações pelo crescimento de novas crostas de algas calcárias ou através do preenchimento das perfurações e seguida cimentação do material (Bromley 1994).

Os processos de bioerosão são responsáveis por dois fatores importantes: a produção de sedimento inconsolidado a partir do substrato rígido perfurado (Neumann 1966; Futterer 1974) e a formação de espaços vazios que são locais potenciais para a acumulação de sedimento. O sedimento formado é disponibilizado para o ambiente externo e passa a fazer parte de material de granulometria fina comum em ambientes carbonáticos sendo denominado micrita (Futterer 1974; Flugel 2010). A micrita juntamente com componentes de granulometria maior podem se acumular nos novos espaços formados e sofrer processos de cimentação.

Processos de cimentação são amplamente descritos em ambientes carbonáticos (Land e Goreau 1970; Ginsburg *et al.* 1971; Schroeder 1972; Schroeder 1973; Macintyre 1977; James e Ginsburg 1979; Land e Moore 1980; Perry e Hepburn 2008; Macintyre 2011) e são responsáveis pela adição de carbonato nas estruturas em que ocorrem e, portanto, também participam de forma construtiva no crescimento das estruturas calcárias (Land e Moore 1979; Purser e Schroeder 1986; Perry e Hepburn 2008). Os cimentos encontrados em recifes modernos são na forma de aragonita e calcita magnesiana (com alto teor de Mg) (Macintyre e Marshall 1988). Os processos de cimentação aumentam em ambientes de alta energia de ondas e/ou de baixa taxa de sedimentação (Macintyre e Marshall 1988). Portanto, a produção de cimentos carbonáticos não está restrito a ambientes rasos (Perry e Hepburn 2008) e são encontrados em profundidades maiores que 60m (Land e Goreau 1970).

A cimentação ocorre devido à presença de água do mar supersaturada no interior das estruturas carbonáticas que induz a precipitação de cimentos carbonáticos em espaços vazios de pequenos tamanhos (poros) (Perry e Hepburn 2008). Poros formados no interior de bioclastos são chamados intragranular, enquanto poros formados no espaço intersticial

do sedimento são chamados intergranular (Milliken e Choh 2011). Cimentos do tipo intragranular podem ser encontrados no interior dos conceptáculos de algas vermelhas calcárias, nas câmaras de foraminíferos ou no interior de esqueletos carbonáticos em geral (Scoffin 1992), nos chamados poros intraesqueletais (Perry e Hepburn 2008).

Novas bioerosões podem ocorrer no material cimentado formando ciclos de perfurações e preenchimentos compostos pelas seguintes etapas: 1) bioerosão; 2) preenchimento; 3) cimentação e 4) bioerosão (Bromley 1994). Os ciclos podem se repetir ininterruptamente até que ocorra a modificação da estrutura original de um substrato consolidado, processo conhecido como litoturbação (análogo a bioturbação para substrato inconsolidado; Ekdale *et al.* 1984). Em ambientes mesofóticos é comum a observação de rodolitos com núcleo extremamente bioerodido e intenso processo de litificação do material de preenchimento das perfurações (Reid e Macyntire 1988; Matsuda e Iryu 2011).

A mudança na composição da estrutura interna dos rodolitos através dos ciclos de perfurações e preenchimentos pode influenciar na obtenção da idade de formação dos nódulos devido à contaminação do material por elementos de idade posterior ao crescimento dos organismos incrustantes. Essa contaminação pode ocorrer principalmente através do crescimento de cristais de cimento carbonático após a morte do organismo ou através da perfuração do esqueleto carbonático e seguido preenchimento por material exógeno.

Como podemos observar, o resultado da interação de processos tafonômicos em rodolitos pode acarretar a modificação dos componentes principais e da estrutura interna original. O detalhamento destes processos e o resultado de sua interação na estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade serão abordados no presente capítulo.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Preparação e medição dos rodolitos

Os 24 rodolitos coletados foram pesados em balança e medidos com um paquímetro na direção dos eixos maior, menor e intermediário. A classificação morfológica dos nódulos foi realizada através da utilização da planilha Tri-Plot desenvolvida por Graham e Midgley

(2000). O resultado gerado é um diagrama triangular proposto por Sneed e Folk (1958) com a adaptação dos termos para rodolitos proposta por Bosence (1976).

Os rodolitos coletados foram selecionados por apresentarem grandes diâmetros com o objetivo de melhor representarem a estrutura interna, dessa forma não serão considerados representativos do ambiente em que foram coletados em relação à suas dimensões.

## 2.2 Análise quantitativa dos componentes principais

A quantificação dos principais grupos identificados na estrutura interna dos nódulos foi realizada utilizando o programa *Coral Point Count with Excel extensions – CPCe*, versão 4.1 (Kohler e Gill 2006). Este programa permite ao usuário escolher a quantidade de pontos que será distribuída sobre uma imagem, os quais podem ser aleatórios (Figura 23) ou não. Para as lâminas pequenas foi estabelecido um total de 100 pontos aleatórios e para as lâminas grandes (aproximadamente o dobro do tamanho) foi estabelecido um total de 200 pontos.

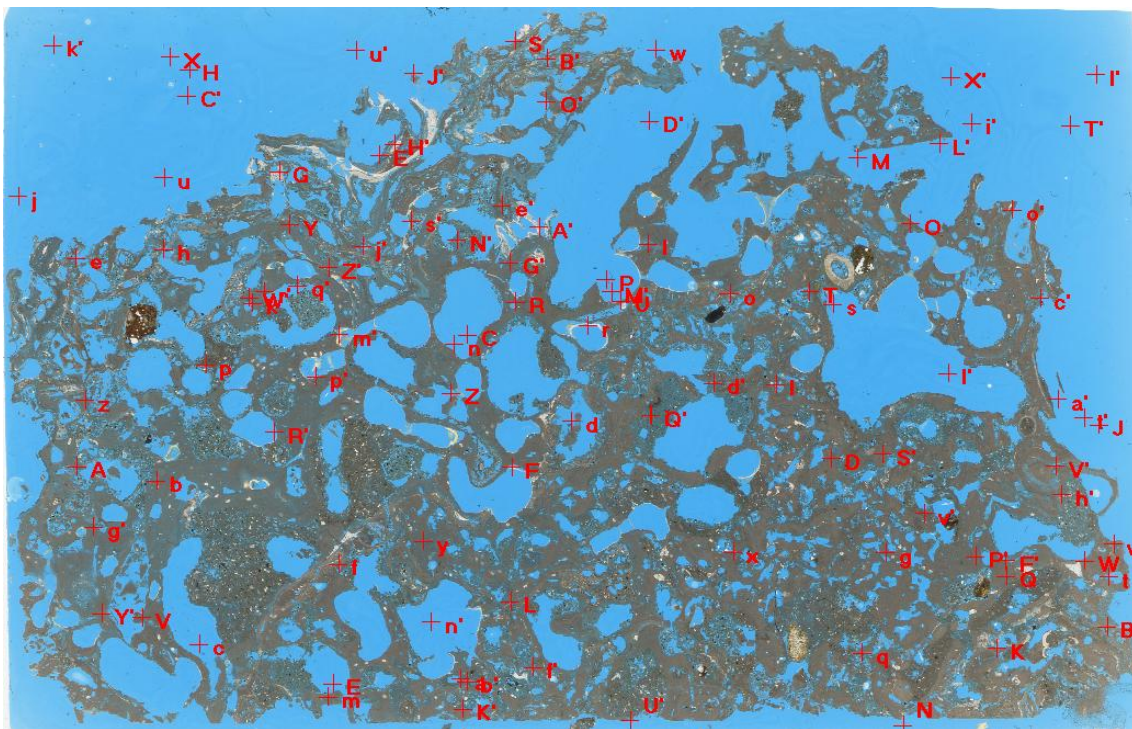


Figura 23: Imagem gerada através do programa CPCe com pontos aleatórios (n=100) em imagem de lâmina petrográfica.

Para a utilização do programa foi desenvolvida uma chave de classificação contendo os principais grupos de componentes observados em lâminas petrográficas: algas calcárias, organismos incrustantes subordinados, perfurações preenchidas e perfurações não preenchidas. Os pontos aleatórios foram classificados de acordo com os componentes em relação à sua posição na estrutura interna (região interna ou externa) e com este resultado o programa calculou o percentual de contribuição de cada grupo sobre a lâmina.

A fim de melhor ilustrar os resultados obtidos para os principais componentes da estrutura interna foram elaborados diagramas triangulares através da versão livre do programa *RockWorks17* revisão 2018.1.31 (*Copyright 1983-2018 RockWare Incorporated*). A construção de diagramas triangulares foi possível devido à identificação de três grupos principais que juntos compõem 100% da imagem amostrada, sendo eles: alga calcária, organismos incrustantes subordinados e perfurações (preenchidas ou não).

### **2.3 Análise dos principais processos tafonômicos**

De forma a ponderar a influência dos processos tafonômicos na estrutura dos rodolitos foi realizada uma análise em que a presença de cada processo foi classificada em rara, comum e abundante. A análise consistiu na varredura das lâminas em aumento de 2,5x e na classificação de cada campo de visão.

Os processos tafonômicos que podem ser encontrados na estrutura interna de rodolitos são: fragmentação, abrasão, incrustação, bioerosão e cimentação (Tabela 11).

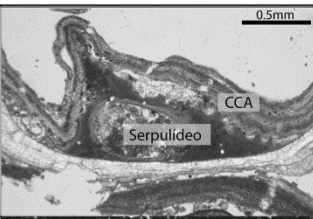


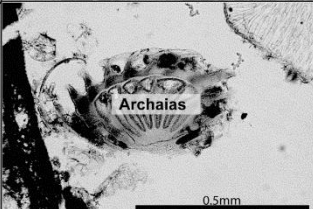
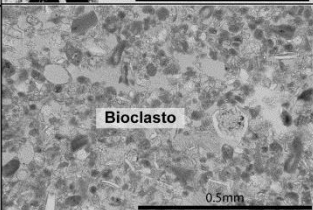
Processo	Efeito	Indução	Característica	Exemplo
INCRUSTAÇÃO	Construtivo	Biológica	Aumento no tamanho dos componentes devido a agregação de outros organismos	
CIMENTAÇÃO	Construtivo	Físico-química	Observação de cristais em espaços vazios e/ou de perfurações de organismos endolíticos em material de textura sedimentar.	
BIOEROSÃO	Destrutivo	Biológica	Resultado da ação de organismos perfurantes macroscópicos ou microscópicos	
ABRASÃO	Destrutivo	Física	Destruição de caracteres na superfície formando contornos suaves	
FRAGMENTAÇÃO	Destrutivo	Física	Redução do tamanho das partículas formando terminações abruptas	

Tabela 11: Processos tafonômicos encontrados em rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade. Incrustação: Vestígio de serpulídeo crescendo sobre um fragmento de concha de molusco e sobre o serpulídeo ocorre o crescimento de algas calcárias incrustante; Cimentação: Perfuração em material sedimentar cimentado; Bioerosão: Fragmento de concha de molusco apresentando bioerosões associadas a organismos macroscópicos (macroperfuração) e microscópicos (microperfuração); Abrasão: Archaia apresentando indícios de erosão com contornos suaves; Fragmentação: fragmentos de esqueletos de organismos (bioclastos) compoendo o sedimento fino que preenche as perfurações.

## 2.4 Datação e período de crescimento

Para as análises de datação com  $^{14}\text{C}$  foram subamostrados cinco pontos da estrutura interna de três rodolitos, um de cada local de coleta. As regiões de interesse para

subamostragens corresponderam a algas calcárias e demais organismos construtores, uma vez que estes se desenvolvem em um local fixo e representam a idade de formação inicial do nódulo.

A composição do material foi identificada em lâminas petrográficas elaboradas a partir da outra metade dos nódulos correspondente à face subamostrada. Foram escolhidos organismos incrustantes sempre que possível (corais, foraminíferos coloniais e algas calcárias), quando estes ocupavam áreas muito pequenas, optou-se pela subamostragem de micrita. As posições para subamostragem foram escolhidas de forma a representarem a região mais próxima ao núcleo, a região intermediária e a região próxima à superfície. A partir da datação de organismos localizados próximo ao núcleo e à superfície será possível calcular uma taxa de crescimento relativa do rodolito.

Por ser o rodolito uma estrutura complexa formada por diversos organismos que não necessariamente possuem a mesma idade de formação, a datação por blocos infere em erros. A subamostragem foi realizada através da utilização de uma microrretificadora por permitir amostrar regiões homogêneas de menor tamanho (e.g., Littler *et al.* 1991; Halfar *et al.* 2000). A microrretificadora utilizada foi a Dremel® 4000 com brocas de 0,8 mm de diâmetro para retirada de 50mg de amostra.

As datações por carbono 14 foram realizadas pelo Centro de Estudos Aplicados de Isótopos da Universidade de Geórgia (EUA). De acordo com metodologia estabelecida, inicialmente as amostras foram tratadas com HCl diluído para remover qualquer contaminação da superfície. As razões de grafite  $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$  foram medidos usando o acelerador de espectrômetro de massa CAIS 0,5 MeV e medidas separadamente utilizando um espectrômetro de massa de razões de isótopos estáveis e expressas como  $\delta^{13}\text{C}$  em relação ao PDB, com um erro de menos de 0,1 ‰.

As idades adquiridas pelo processo são dadas em anos de radiocarbono não calibradas antes do presente (*before present* ou BP, sendo o “presente” o ano de 1950), utilizando a meia-vida de  $^{14}\text{C}$  de 5568 anos. A idade em radiocarbono não corresponde a idade real da amostra, pois apresentam uma diferença em relação ao local de formação da amostra. Organismos marinhos, por exemplo, apresentam maiores valores do que organismos terrestres devido ao grande reservatório de carbono dos oceanos. Mas, por causa de complexidades na circulação oceânica, a concentração de carbono também varia nos oceanos de acordo com sua localização (Stuiver e Reimer 1993).



Assim, é necessária uma calibração a fim de comparação entre amostras marinhas e terrestres que leve em consideração as variações da concentração de carbono no local de formação da amostra. O fator que considera as variações locais do reservatório marinho é designado  $\Delta R$  (Stuiver e Braziunas 1993) e são encontrados no banco de dados mundial *Marine Reservoir Correction Database* (Stuiver e Reimer 2016). O Valor de  $\Delta R = 32 \pm 44$  utilizado na calibração das amostras do presente estudo foi calculado por Alves *et al.* (2015) para a costa brasileira.

Portanto, a idade em radiocarbono deve ser corrigida a fim de corresponder a uma idade calendário calibrada antes do presente (a.p. ou BP). Para isso será utilizado o programa *CALIB 7.10 - Radiocarbon Calibration Program* (Stuiver e Reimer 1993) que utiliza a curva de calibração *Marine13* (Reimer *et al.* 2013) para amostras marinhas.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Tamanho e morfologia dos nódulos

As médias dos valores dos três eixos medidos e do peso dos rodolitos são apresentadas na Tabela 12. Os nódulos coletados no monte Jaseur 74m apresentaram os maiores valores para os diâmetros (maior com média de  $17.8 \pm 3.8$ cm) e peso (média de  $1,42 \pm 0,75$ kg). Os rodolitos de Trindade apresentaram os menores valores entre os três locais para os diâmetros (maior com média de  $11,74 \pm 1.40$ cm) e peso (média de  $0,60 \pm 0,21$ kg).

Tabela 12: Média e desvio padrão dos principais parâmetros medidos para rodolitos coletados na plataforma insular de Trindade e no monte Jaseur (n=24).

	Trindade 65m	Jaseur 66m	Jaseur 74m
<b>D<sub>menor</sub> (cm)</b>	6,86 ( $\pm 1,33$ )	9,81 ( $\pm 2,14$ )	10,17 ( $\pm 1,79$ )
<b>D<sub>intermediário</sub> (cm)</b>	9,14 ( $\pm 1,06$ )	12,63 ( $\pm 2,35$ )	14,13 ( $\pm 2,68$ )
<b>D<sub>maior</sub> (cm)</b>	11,74 ( $\pm 1,40$ )	15,92 ( $\pm 2,14$ )	17,80 ( $\pm 3,51$ )
<b>Peso (kg)</b>	0,60 ( $\pm 0,21$ )	1,16 ( $\pm 0,42$ )	1,42 ( $\pm 0,75$ )

Em relação à forma dos rodolitos, diagrama triangular de esfericidade (Figura 24) mostra que um rodolito de cada local apresentou forma esférica e apenas um rodolito de Jaseur 74m apresentou forma subdiscoide. Nos três locais de coleta os rodolitos apresentaram predominantemente forma subesférica de acordo com a classificação proposta por Bosence (1976).

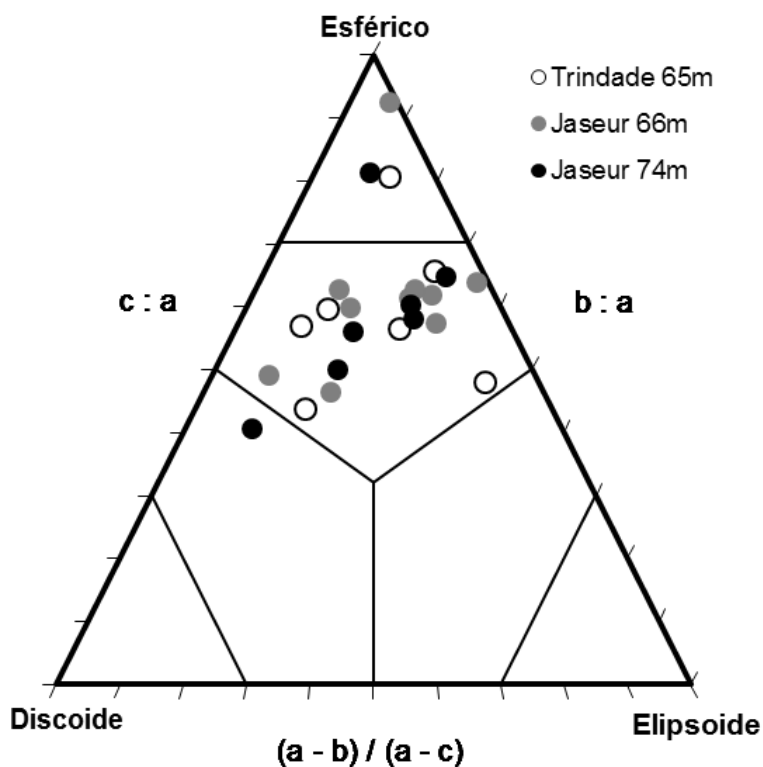


Figura 24: Diagrama triangular de esfericidade modificada por Bosence (1976) para rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade (n = 24). Onde, a, b e c são respectivamente os diâmetros maior, intermediário e menor.

### 3.2 Idades dos nódulos

As idades medidas e os dados utilizados para a calibração em idade calendário são apresentados na

Tabela 13. Duas amostras próximas à superfície, uma em Trindade 65m e outra em Jaseur 66m, apresentaram idade fora do intervalo válido para a curva de calibração (Idades de radiocarbono entre 448 e 46.806) e não puderam ser calibradas.

Tabela 13: Idades calculadas e calibradas para amostras da estrutura interna dos rodolitos. O símbolo (-) indica idades fora do intervalo do método.

Local	14C BP (CRA)	14C Idade	SD anos	d13C per mil	Cal BP	2 Sigma
Trindade 65m	1110	25		2,0	541 - 725	1
	1020	25		2,1	502 - 651	1
	200	-		-0,9	-	-
	1210	25		1,7	640 - 849	1
	930	25		1,2	438 - 613	1
Jaseur 66m	640	30		2,3	93 - 398	1
	620	20		2,5	60 - 329	0,998
	210	-		0,5	-	-
	660	25		2,5	132 - 408	1
	580	20		2,4	49 - 282	0,972
Jaseur 74m	1040	20		3,0	513 - 659	1
	790	20		2,0	296 - 483	1
	770	25		2,4	283 - 473	1
	810	20		2,8	306 - 494	1
	1030	25		2,4	507 - 656	1

Como pode ser observado na Figura 25 abaixo, a datação mais antiga foi encontrada em subamostra de coral na região interna do rodolito de Trindade 65m (640-849 anos BP). A maior idade em Jaseur 74m foi encontrada em subamostra de alga calcária e micrita (513 - 659 anos BP) e em Jaseur 66m foram encontradas as menores idades sendo que a maior delas foi encontrada em subamostra de alga calcária e micrita (apenas de 132 – 408 anos BP).

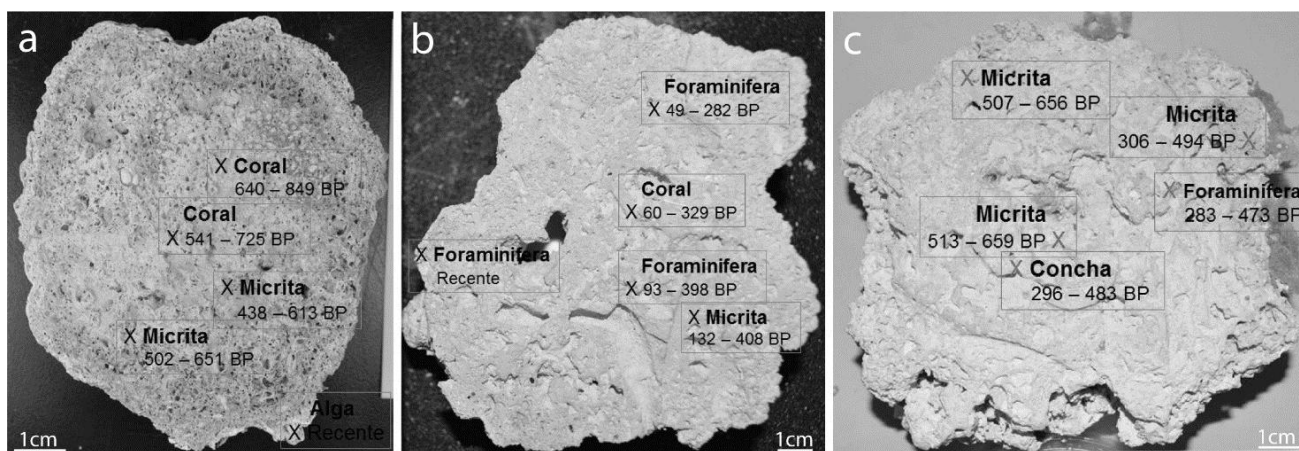


Figura 25: Local da subamostragem para datação (X), composição do material (negrito) e idade calibrada (BP); onde a) Trindade 65m, b) Jaseur 66m e c) Jaseur 74m.

### 3.3 Principais componentes da estrutura interna

A análise das lâminas petrográficas identificou quatro grupos de componentes principais que puderam ser quantificados através do programa CPCe (Tabela 14). Alguns dos componentes identificados faziam parte da estrutura original (algas calcárias e organismos incrustantes subordinados) enquanto outros se estabeleceram após a formação dos rodolitos (perfurações preenchidas e não preenchidas). Os resultados mostraram que para os rodolitos do presente estudo a contribuição média de alga calcária foi de 6,37%(±4,27) na região interna de Jaseur 66m a 19,87%(±15,87) na região externa de Trindade 65m e a contribuição média dos demais organismos incrustantes foi de 3,2%(±4,21) na região externa de Jaseur 66m e 7,81%(6,61) na região interna de Jaseur 74m.

Tabela 14: Principais grupos de componentes encontrados na estrutura interna de rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade (±DP = Desvio Padrão).

		Trindade 65m	Jaseur 66m	Jaseur 74m
Grupos		Média (%) (±DP)	Média (%) DP	Média (%) DP
Interna	Alga calcária	8,67 (±12,59)	6,37 (±4,27)	9,73 (±9,47)
	Organismos incrustantes subordinados	6,96 (±10,39)	7,28 (±5,55)	7,81 (±6,61)
	Perfurações preenchidas	14,59 (±14,10)	19,93 (±11,45)	21,23 (±17,40)
	Perfurações não preenchidas	14,91 (±14,45)	40,45 (±18,46)	24,72 (±19,52)
Externa	Alga calcária	19,87 (±15,87)	6,63 (±7,65)	8,82 (±11,66)
	Organismos incrustantes subordinados	4,97 (±3,94)	3,20 (±4,21)	4,79 (±7,10)
	Perfurações preenchidas	20,34 (±14,72)	11,10 (±13,55)	16,60 (±20,37)
	Perfurações não preenchidas	9,70 (±11,99)	5,04 (±6,78)	6,31 (±8,07)

Em todos os locais de coleta e em ambas as regiões dos rodolitos, a contribuição de perfurações na estrutura interna foi alta em relação aos demais grupos. As perfurações se apresentam de duas formas: *preenchidas* ou *não preenchidas* (Figura 26). O material de preenchimento das perfurações é principalmente composto por material fino encontrado junto ao fundo e pode ser depositado por processos gravitacionais ou por indução biológica (e.g., peloides).

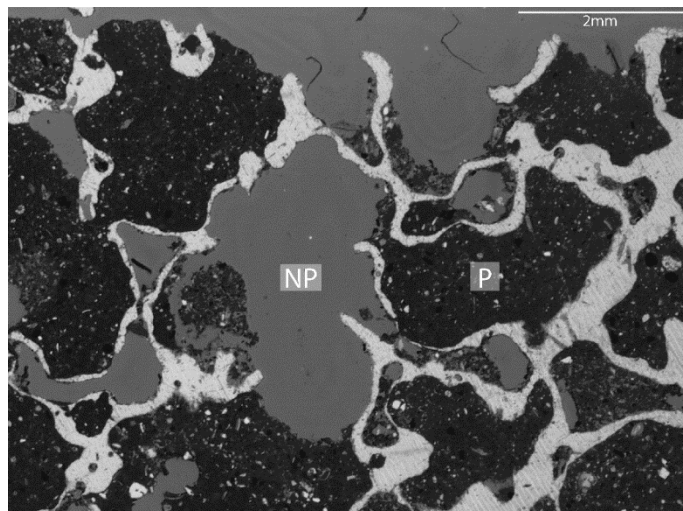


Figura 26: Exemplo de perfurações preenchidas (P) e não preenchidas (NP) observadas em lâminas petrográficas da estrutura interna de rodolitos.

A contribuição percentual das duas categorias foi adquirida durante o processo de quantificação dos componentes principais. Foi possível observar que a contribuição de perfurações preenchidas foi maior nas regiões internas nos três locais de coleta enquanto que nas regiões externas foi maior a contribuição de perfurações não preenchidas (Figura 27).

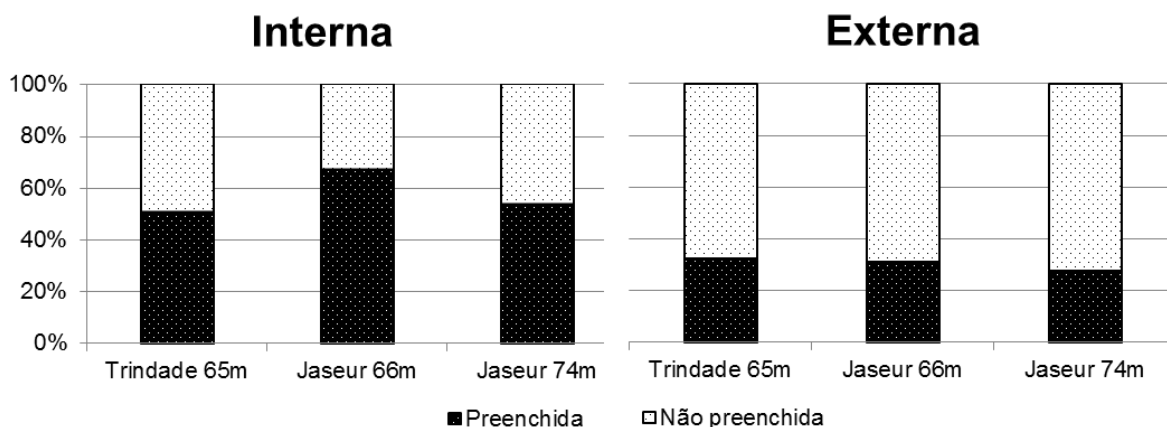


Figura 27: Percentual equivalente às perfurações preenchidas e não preenchidas a partir da quantificação dos principais componentes das lâminas petrográficas.

Agrupando as perfurações preenchidas e não preenchidas e considerando os componentes principais com contribuições percentuais que totalizaram 100% da matriz carbonática, foi possível a elaboração de diagramas triangulares em que a proximidade dos vértices representa a maior contribuição do componente. Os diagramas mostram a maior contribuição das perfurações na estrutura interna dos rodolitos, com destaque para

o monte Jaseur 66m em que todas as lâminas apresentaram mais de 80% de perfurações (Figura 28).

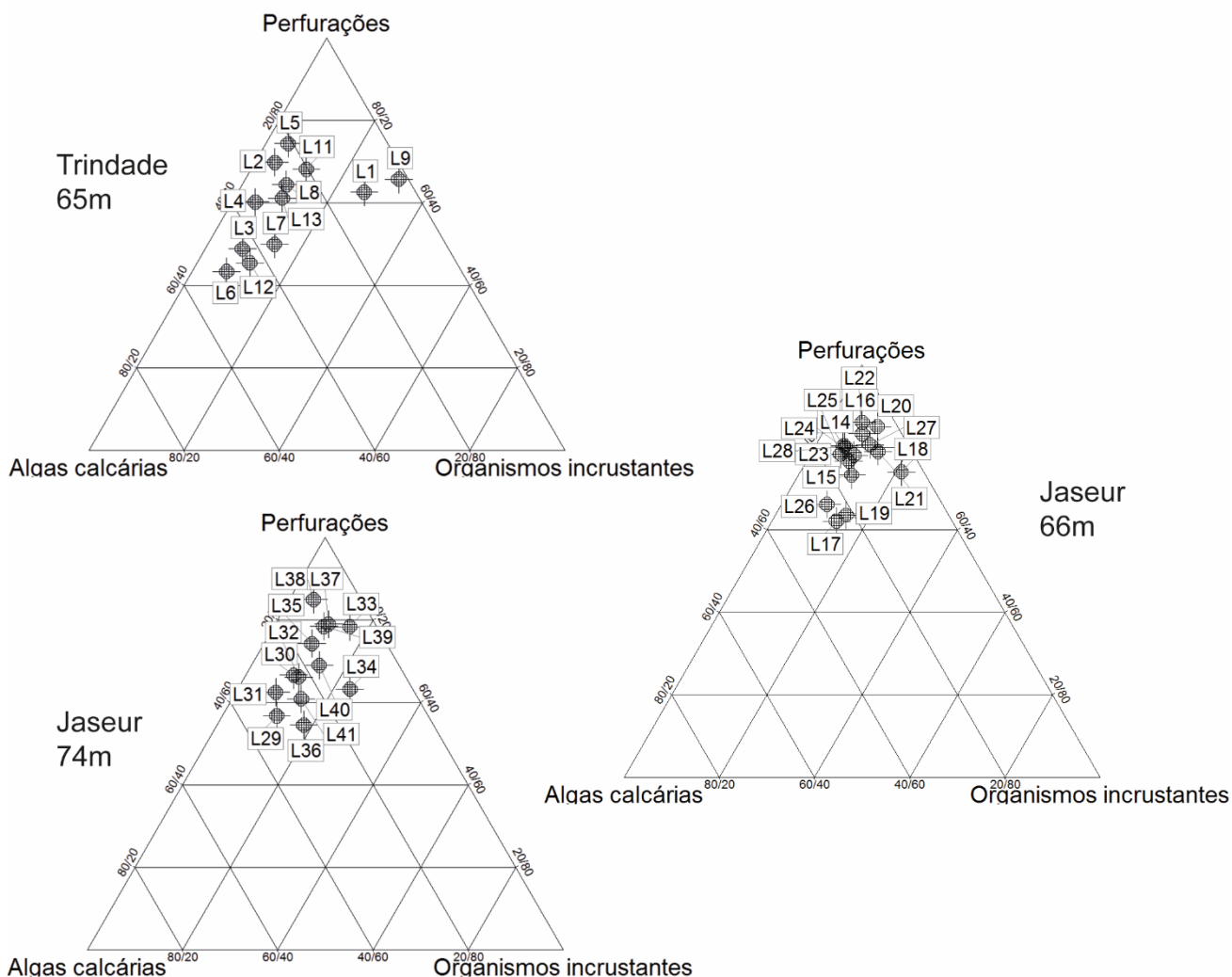


Figura 28: Diagramas triangulares contendo os principais componentes das lâminas petrográficas (L): algas calcárias, organismos incrustantes subordinados e perfurações nos três locais analisados, Trindade (n = 7), Jaseur 66 m (n= 10), Jaseur 74m (n = 7).

### 3.4 Processos tafonômicos de indução biológica

Os processos tafonômicos de indução física (abrasão e fragmentação) não foram identificados na estrutura carbonática das algas calcárias, entretanto, sua presença pode ter sido obliterada pelo intenso processo de bioerosão observado. A quantificação dos processos de cimentação não foi possível devido ao reduzido tamanho dos cimentos carbonáticos que não podem ser observados sem o auxílio de microscópio eletrônico.

Assim, os principais processos tafonômicos identificados associados aos nódulos calcários foram os de indução biológica: incrustação e bioerosão.

A análise visual dos processos de incrustação e bioerosão em relação à abundância apoiou a compreensão da dinâmica da modificação da estrutura interna dos rodolitos. Considerando esses processos como antagônicos na estrutura interna de rodolitos, o aumento da abundância de um influenciará na redução do outro. Dessa forma, foi possível observar a transição na modificação da estrutura interna com predomínio de processos de incrustação devido à presença de organismos incrustantes construtores dos nódulos para o predomínio dos processos de bioerosão ao longo do tempo.

Os processos de incrustação foram classificados como comuns na região externa dos rodolitos de Trindade e de Jaseur passaram a ser classificados como mais raros na região interna dos rodolitos de Trindade (Tabela 15). Em Jaseur a classificação não foi alterada, sendo considerada comum em ambas as regiões.

Tabela 15: Classificação do processo de incrustação nos rodolitos dos locais de estudo de acordo com análise em lâmina petrográfica.

		<b>Trindade 65m</b>	<b>Jaseur 66m</b>	<b>Jaseur 74m</b>
		MÉDIA (%) (±DP)	MÉDIA (%) (±DP)	MÉDIA (%) (±DP)
<b>Externa</b>	Raro	1,39 (±4,81)	2,78 (±8,33)	8,73 (±18,13)
	Comum	60,53 (±36,92)	82,94 (±21,85)	63,02 (±31,24)
	Abundante	38,08 (±37,14)	14,29 (±22,30)	28,25 (±34,68)
<b>Interna</b>	Raro	49,13 (±39,5)	67,07 (±14,46)	12,19 (±17,69)
	Comum	39,71 (±33,37)	32,28 (±15,35)	71,83 (±18,36)
	Abundante	11,16 (±26,27)	0,65 (±2,43)	15,98 (±13,91)

A bioerosão foi considerada abundante na maior parte das lâminas petrográficas em ambos os locais (Tabela 16). É possível observar um aumento nas classificações como abundantes da região externa para a região interna principalmente em Trindade 65m e Jaseur 66m.

Tabela 16: Classificação do processo de bioerosão nos rodolitos dos locais de estudo de acordo com análise em lâmina petrográfica.

		Trindade 65m	Jaseur 66m	Jaseur 74m
		MÉDIA (%) (±DP)	MÉDIA (%) (±DP)	MÉDIA (%) (±DP)
Externa	Raro	2,08 (±7,22)	1,59 (±4,76)	- -
	Comum	35,43 (±37,35)	12,70 (±21,66)	28,25 (±34,68)
	Abundante	62,49 (±37,41)	85,71 (±22,30)	71,75 (±34,68)
Interna	Raro	- -	- -	- -
	Comum	10,56 (±27,26)	3,29 (±7,39)	21,23 (±17,93)
	Abundante	89,44 (±27,26)	96,71 (±7,39)	78,77 (±17,93)

### 3.5 Cimentos carbonáticos na estrutura interna dos rodolitos

O tamanho reduzido das perfurações mais abundantes encontradas no presente estudo (*Entobia* e *Trypanites*) permite que a maior parte do sedimento que se acumula em seu interior seja litificado formando uma nova estrutura rígida (Figura 29a). Nas lâminas petrográficas do presente estudo, a presença dos cimentos carbonáticos é observada principalmente nos espaços intersticiais do material de preenchimento das perfurações. Os processos de incrustação também contribuíram para o processo de cimentação ao possibilitar o acúmulo de sedimentos entre as camadas de organismos ou no interior das estruturas carbonáticas (Figura 29b).

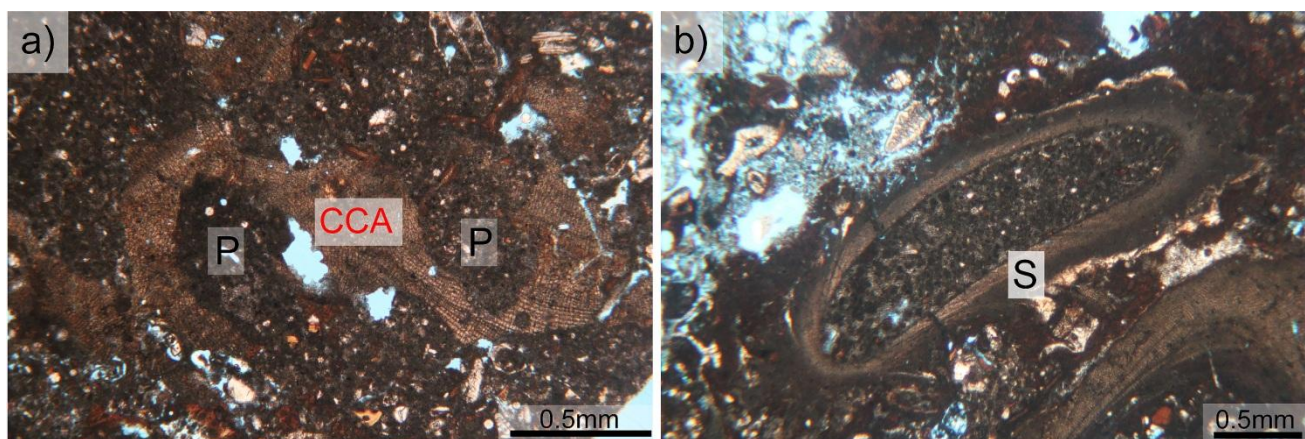


Figura 29: Preenchimento dos espaços vazios na estrutura interna dos rodolitos por sedimento: a) Preenchimento de perfurações (P) em alga calcária (CCA) e; b) preenchimento no interior de tubo de serpulídeo (S).

Grande parte do crescimento dos cimentos carbonáticos nas lâminas dos três locais de estudo é possibilitada pelo reduzido tamanho dos poros vazios nos espaços intersticiais.



A presença de grumos peloidais e micrita contribui para a formação dos cristais de cimento em ambientes controlados como o encontrado na estrutura interna dos rodolitos. Os grumos peloidais possuem aspecto granular e sua gênese pode ser atribuída à indução da precipitação de carbonato pela atividade de bactérias em cavidades semi-isoladas (Figura 30a, b). A micrita é composta por material carbonático de granulometria muito fina que se deposita nos espaços vazios da estrutura interna dos rodolitos (Figura 30c, d).

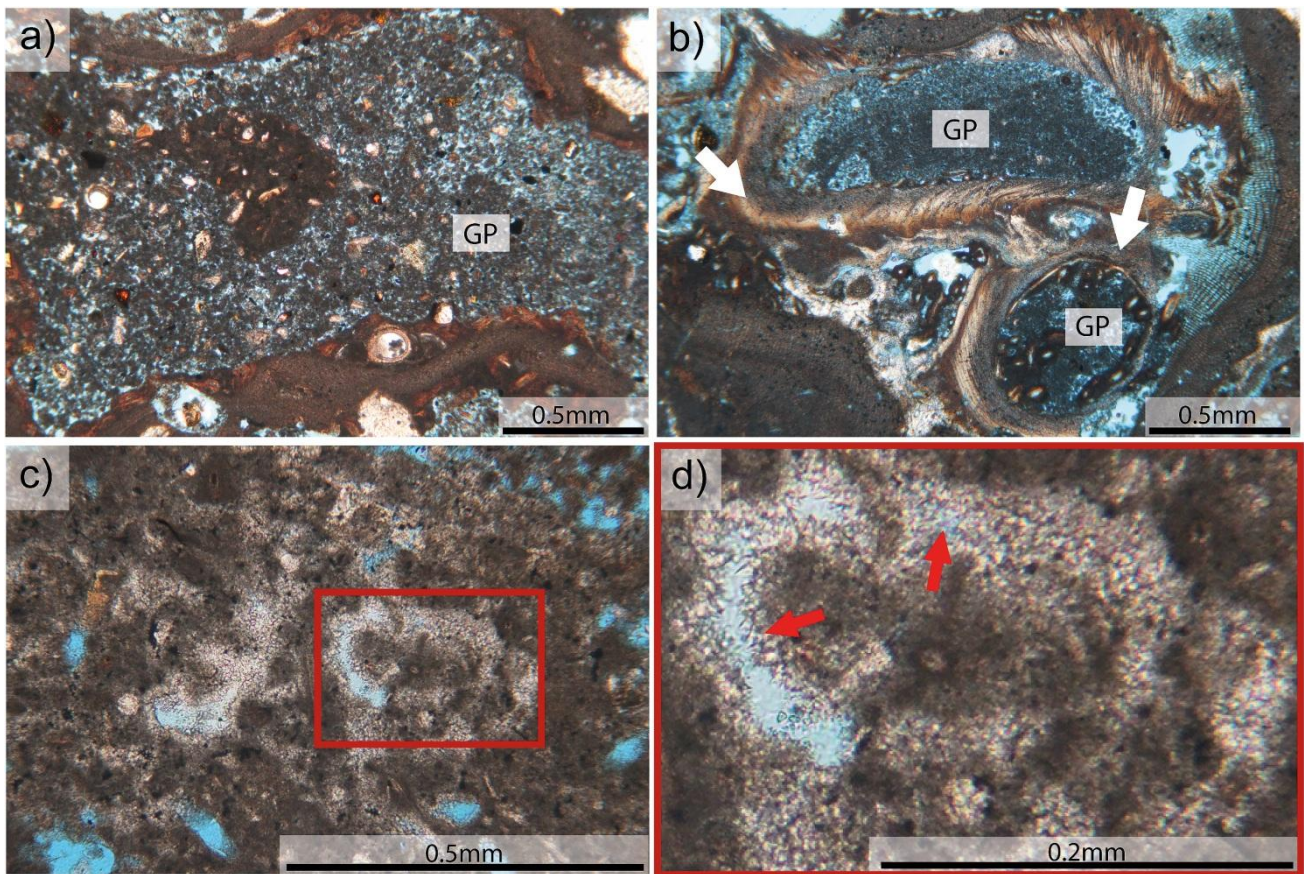


Figura 30: Crescimentos de cristais de cimento carbonático nos espaços intersticiais do material de preenchimento: a) grumos peloidais em perfuração (GP); b) grumos peloidais (GP) no interior de tubo de serpulídeo (setas brancas); c) material de preenchimento de granulometria fina litificado (a moldura vermelho corresponde à imagem seguinte) e; d) detalhe do crescimento dos cimentos carbonáticos (setas vermelhas) nos espaços vazios entre o sedimento.

Em menor escala e principalmente associados a espaços intragranulares e intraesqueletais (e.g., no interior de esqueletos de corais e entre crostas de algas calcárias vermelhas sucessivas), foram observados cristais aciculares de maiores

dimensões que apresentaram crescimento em forma de inúmeras esferas ou formando crostas próximas a superfície do substrato (Figura 31c). Cimentos do tipo botryoidal de composição aragonítica são conhecidos pelo crescimento esférico à partir de um centro, semelhante ao observado nas lâminas da Cadeia Vitória-Trindade (Figura 31a).

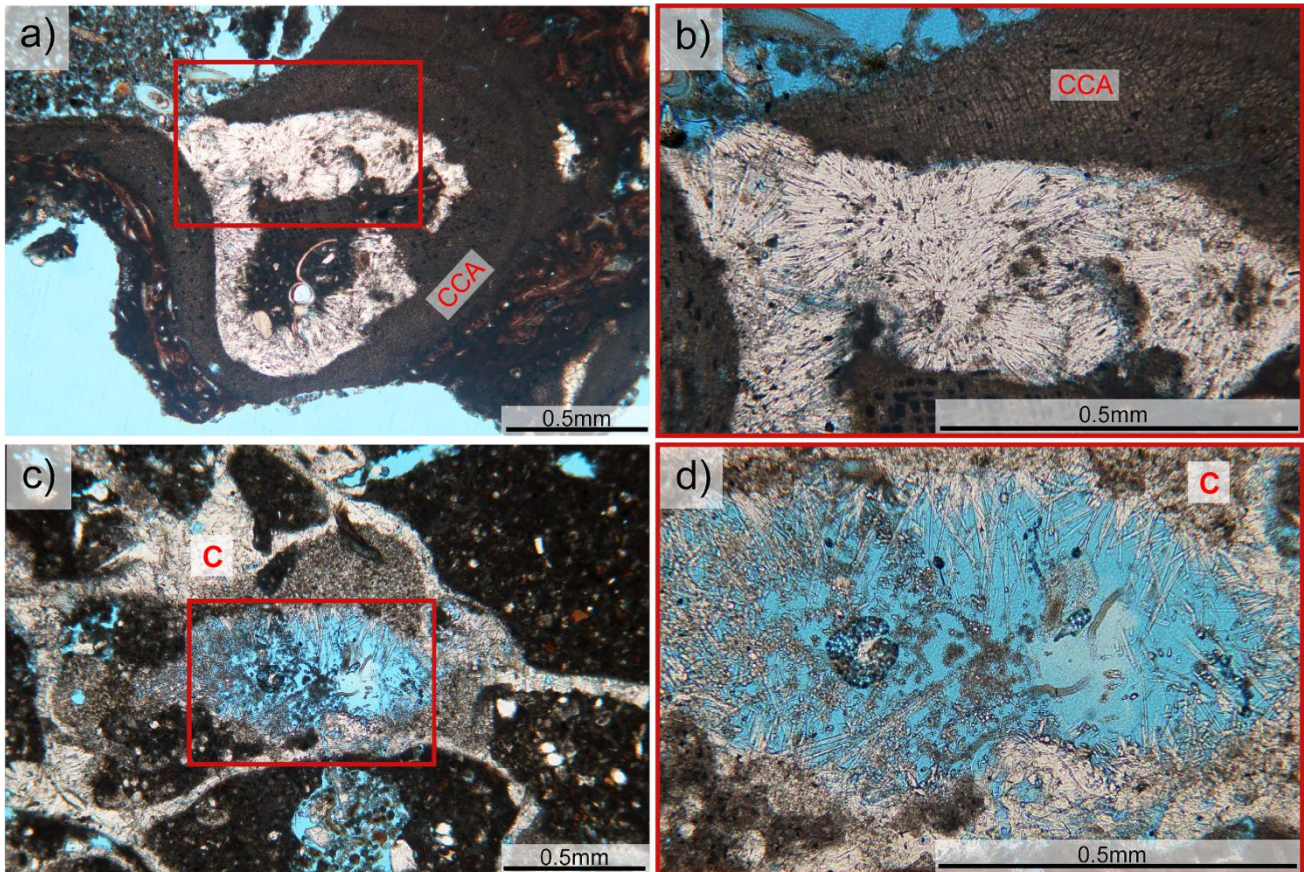


Figura 31: Crescimento de cristais de cimentos carbonáticos em espaços intraesqueléticos dos organismos presentes na estrutura interna dos rodolitos: a) espaço circundado por alga calcária (CCA) onde ocorre o crescimento do cimento (a moldura vermelha corresponde a área da imagem seguinte); b) Crescimento radial dos cristais de cimento típicos do tipo botryoidal em espaço formado pelo crescimento da alga calcária (CCA); c) poro formado no espaço de esqueleto de coral (C) com crescimento de cristais aciculares de cimento carbonático (a moldura vermelha corresponde a área da imagem seguinte); e d) detalhe de camada de cristais aciculares na extremidade da estrutura carbonática de coral (C).

#### 4 DISCUSSÃO

A morfologia subesférica encontrada para os rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade no presente estudo também está associada a ocorrência da movimentação ocasional dos nódulos (Nitsch *et al.* 2015; Bassi *et al.* 2012). Rodolitos do tipo esférico tem maior propensão a movimentações periódicas, ao passo que, rodolitos do tipo discoide ou elipsoide representam um substrato mais estável e favorável ao estabelecimento de organismos. Estudos realizados em rodolitos da plataforma continental brasileira descrevem as formas esféricas a subesféricas como dominantes, independente da profundidade de coleta (Gherardi 2004; Amado Filho *et al.* 2007; Bahia *et al.* 2010; Pereira-Filho *et al.* 2012).

A presença de organismos de vida longa como corais na superfície de um dos rodolitos corrobora ao cenário de baixa movimentação associada aos nódulos (Amado-Filho *et al.* 2017, Johnson *et al.* 2017) (Figura 32). A baixa frequência de rolamento não prejudica o crescimento dos rodolitos, uma vez que, as algas calcárias possuem a habilidade de sobreviver em regiões foto-negativas dos nódulos, dessa forma, apenas a região em contato direto com o sedimento de fundo estaria vetada aos processos de crescimento das algas calcárias (Prager e Ginsburg 1989).

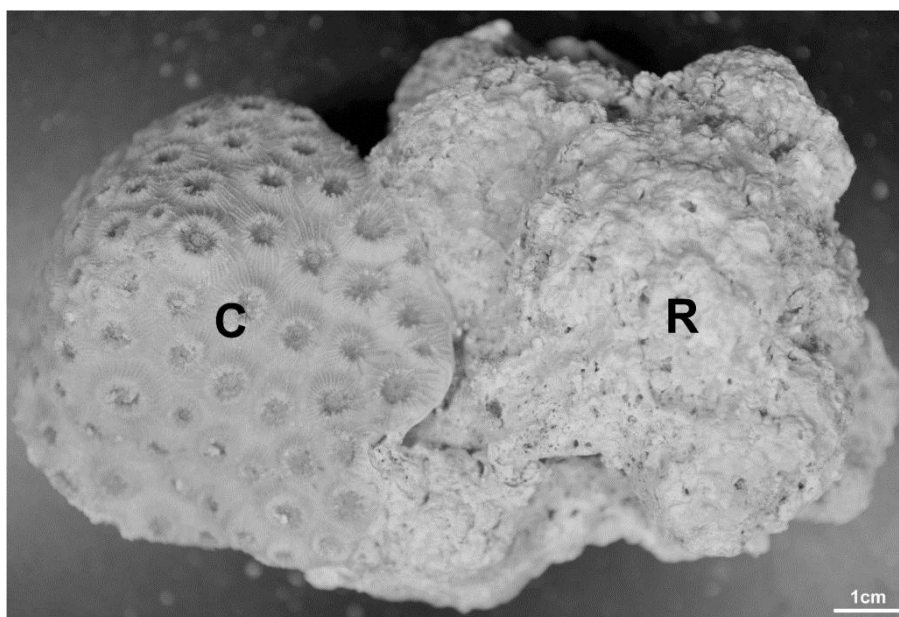


Figura 32: Rodolito (R) coletado no monte submarino Jaseur 66 metros de profundidade com incrustação de coral (C) na superfície.

Embora a morfologia de rodolitos tenha sido atribuída à movimentação da água por alguns autores (Foster *et al.* 1997; Basso 1998), muitas vezes esta não é o fator controlador (Steller e Foster 1995; Lund *et al.* 2000). A morfologia de rodolitos é descrita como dependente de diversas variáveis ambientais além da movimentação da água, como atividade biológica e penetração de luz, e, portanto, o parâmetro morfologia é pouco utilizado como indicador de condições ambientais (Reid e Macyntire 1988; Marrack 1999, Braga e Martín 1988; Foster 2001; Gagnon *et al.* 2012).

Regiões com correntes de baixa intensidade junto ao fundo que permitam o rolamento dos rodolitos, porém com pouca frequência permitindo o crescimento dos organismos incrustantes por maior período de tempo estão associados aos maiores diâmetros de rodolitos (Basso 1998). Da mesma forma, Wilson (1887) afirma que a frequência de rolamento é inversamente correlacionada ao tamanho dos nódulos. O mesmo foi encontrado por Santos *et al.* (2011), que, além da evidência das grandes dimensões, atribuíram a grande intensidade de bioerosões a maior estabilidade dos nódulos junto ao fundo.

Na Cadeia Vitória-Trindade, Pereira-Filho *et al.* (2012) encontraram rodolitos com os maiores diâmetros máximos no monte Vitória (14,2cm  $\pm$  0,8) e os menores em Trindade (8,4cm  $\pm$  0,4) em profundidades mesofóticas (~60m de profundidade). Amado-Filho *et al.* (2012b) encontrou para o arquipélago de Fernando de Noronha rodolitos com média de diâmetros maiores de 5,9cm ( $\pm$ 0,4) a 16m de profundidade. Para o presente trabalho os rodolitos foram selecionados devido a seu maior tamanho, com médias de diâmetros maiores variando de 11,74cm em Trindade 65m a 17,80cm em Jaseur 74m. Para alcançar diâmetros tão grandes quando comparados com as médias de outros ambientes oceânicos na costa brasileira e devido ao lento crescimento das algas calcárias, os rodolitos do presente estudo precisariam de grande período de tempo para ser formados.

A produção carbonática em montes submarinos de baixa latitude (os quais englobam os locais da área de estudo) começa a ser significativa a partir de 14000 anos BP quando o nível do mar cobre a maior parte dos topos dos montes submarinos o que permite sua ocupação por organismos marinhos (Vecsei 2004). A partir deste período não houve redução significativa do nível do mar que causasse a exposição dos topos dos montes submarinos mesofóticos com consequente morte dos organismos e interrupção da produção carbonática (Vecsei 2004; Lambeck *et al.* 2014).

Apenas entre 5800 e 5000 anos BP a costa leste brasileira tem registrado leve redução relativa do nível do mar culminando no nível atual (Angulo *et al.* 2006; Bastos *et al.* 2015). Machado *et al.* (2018) identificaram para o estuário de Vitória (Espírito Santo) evidências de uma fase de transgressão marinha que ultrapassou o nível de mar atual em 6700-6600 anos BP, alcançando nível máximo em torno de 5567 anos BP (~3,4m acima do atual) e seguinte regressão marinha até o nível atual. Com base em evidências de antigos níveis marinhos mais elevados que o atual, Angulo *et al.* (2017) reconstruíram paleoníveis marinhos na Ilha da Trindade, que se mostraram semelhantes aos que ocorrem na costa brasileira com uma descida relativa do nível do mar de cerca de 3m.

Considerando as profundidades de coleta e segundo as evidências de variação relativa do nível do mar (Bastos *et al.* 2015, Ângulo *et al.* 2017), os bancos de rodolitos do presente estudo estiveram sempre suscetíveis a condições propícias ao crescimento dos organismos incrustantes. Dessa forma, era esperado que os rodolitos da Cadeia Vitória – Trindade apresentassem idades muito antigas na região próxima ao núcleo. Entretanto, os resultados mostraram idades recentes, com o valor máximo encontrado em Trindade 65m (640-849 anos BP).

Brasileiro *et al.* (*submetido*) analisando a estrutura interna de rodolitos na costa brasileira encontraram idades semelhantes as do presente estudo (menores que 700 anos BP) para a costa Sul do Espírito Santo e idades bem maiores no núcleo de rodolitos da plataforma continental de Abrolhos (7.000 anos BP a 2.000 anos BP) em profundidades semelhantes à do presente estudo.

Na plataforma continental adjacente à desembocadura do rio Amazonas em profundidades de até 55m, Vale *et al.* (2018) também encontraram idades semelhantes. Entretanto, em profundidades ainda maiores que as do presente estudo (95-120m), os autores encontraram idades de milhares de anos no núcleo de rodolitos (14.680 anos BP a 2.050 anos BP). Segundo os autores, o reduzido tempo de residência disponível para o crescimento dos rodolitos seria o resultado do alto aporte de sedimentos da pluma do rio Amazonas fazendo com que os rodolitos de menores profundidades apresentem as menores idades.

No presente estudo, processos de recristalização observados na estrutura interna podem ter influenciado o método de datação mesmo com o cuidado do uso de microdrill para amostragens mais precisas devido ao tamanho reduzido dos cristais de cimento.

Os sinais de recristalização associados às crostas de algas calcárias (preenchimento de *constructional voids* e conceptáculos por cristais de cimento) representam um processo que pode ter ocorrido próximo ao período de morte do organismo (Reid e Macyntire 1988) e não acarretaria um desvio muito grande na real idade de formação do esqueleto. Entretanto, o crescimento dos cristais de cimento no sedimento de preenchimento após a formação das perfurações sobre os organismos construtores representam idades mais recentes. Além disso, o material de preenchimento também pode representar uma contaminação nas idades de formação dos nódulos, pois apresenta origens distintas e com isso idades de formação variadas.

Assim, a idade de formação original da estrutura dos rodolitos não pôde ser adquirida com exatidão. A idade resultante da datação de rodolitos com intensa perfuração, preenchimento e cimentação pode ser considerada como a idade em torno da qual se desenvolve o processo de modificação da estrutura. A idade adquirida no presente estudo, por exemplo, está entre a idade mais antiga (de crescimento dos organismos incrustantes) e a idade mais recente (de crescimento dos cristais de cimento).

A classificação dos processos tafonômicos em raro, comum e abundante permite entender a dinâmica de modificação da estrutura interna uma vez que a incrustação deixa de ser o processo mais abundante (como seria o esperado para nódulos formados por organismos carbonáticos incrustantes) e a bioerosão passa a ser a mais abundante. A modificação da estrutura interna é possível ser observada também na transição entre região interna e externa dos rodolitos, em que a região interna (mais antiga devida a natureza concêntrica de crescimento dos rodolitos) possui mais classificações de bioerosão abundante do que a região externa (mais nova).

Em ambientes mesofóticos como os do presente trabalho (>60m de profundidade) as taxas de incrustação são menores quando comparados a ambientes mais iluminados devido à diminuição das taxas fotossintéticas das algas e organismos simbiotes com o aumento da profundidade (James e Ginsburg 1979; Littler *et al.* 1991). As menores taxas de incrustação favorecem a maior presença dos processos de bioerosão (Bassi *et al.* 2013).

Ao contrário do que se espera de rodolitos formados por processos dominantes de incrustação em que a estrutura interna é formada majoritariamente por algas calcárias, os resultados do presente estudo mostraram a dominância das perfurações como

componente principal da estrutura. A análise dos componentes principais encontrados na estrutura interna corrobora a maior contribuição dos processos de bioerosão ao apontar como componentes principais da estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade as perfurações na estrutura interna e não os organismos calcários como se era esperado.

Estrutura interna semelhante foi encontrado por Brasileiro *et al.* (*submetido*) em rodolitos coletados na plataforma continental de Abrolhos entre 20 e 75m de profundidade. Segundo os autores os rodolitos foram provavelmente formados por incrustações de algas calcárias e organismos incrustantes subordinados (como corais e foraminíferos), mas o núcleo dos rodolitos era composto por 50-60% de perfurações e preenchimento que não apresentavam estrutura (diferente do que se é esperado em rodolitos de crescimento concêntrico). A grande bioerosão encontrada nos rodolitos foi justificada pelos autores pela grande distância da costa devido ao alargamento da plataforma, baixo aporte sedimentar, grande tempo de residência dos nódulos em superfície e pela alta produtividade local na região.

A modificação na contribuição percentual dos componentes principais da estrutura interna dos rodolitos pode também afetar a nomenclatura do nódulo calcário. De acordo com a definição baseada na composição, rodolitos são estruturas de vida-livre formados em sua maioria (>50%) por algas calcárias não-geniculadas (Macintyre 1973; Bosence 1983) cujos demais componentes são organismos incrustantes subordinados que também secretam algum tipo de carbonato de cálcio e fazem parte da estrutura calcária do nódulo. Nos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade a contribuição das algas calcárias não atinge o percentual mínimo da definição. Entretanto, por serem maioria em relação aos organismos incrustantes as algas calcárias serão tidas como principais construtoras e os nódulos do presente estudo serão chamados rodolitos.

As perfurações sendo mais abundantes na estrutura interna podem indicar que os eventos bioerosivos de retirada de carbonato da estrutura são mais rápidos do que a construção da estrutura por organismos incrustantes (Scoffin 1972) o que poderia levar a fragilização da estrutura interna e conseqüente redução no tamanho e até destruição dos nódulos calcários.

Entretanto, os nódulos apresentaram diâmetro elevado, o que indica que, apesar dos intensos processos de bioerosão, os nódulos não são destruídos e conseguem atingir

grandes dimensões. Apesar da grande quantidade de perfurações identificadas em lâminas petrográficas, a observação das faces internas dos rodolitos a olho nu corresponde a uma rocha carbonática porosa, porém densa. A observação de uma feição sedimentar que mesmo muito porosa é bastante litificada é associada ao crescimento de cimentos carbonáticos (Milliken e Choh 2011). Dessa forma, a estabilização da estrutura interna dos nódulos da Cadeia Vitória-Trindade pode então ser atribuída ao preenchimento das perfurações e ao crescimento de cimentos carbonáticos.

Os resultados mostram que mais de 45% das perfurações na região do núcleo dos rodolitos é preenchida e mais de 25% na região da superfície e podem ser potencialmente litificadas. A maior parte do material de preenchimento de ambientes carbonáticos oceânicos como bancos de rodolitos e recifes de corais tem origem a partir da ação de processos tafonômicos destrutivos como fragmentação, abrasão e bioerosão sobre os organismos que compõem o ambiente. Por ser um ambiente mesofótico com baixa energia de ondas e correntes distante de aporte sedimentar continental, o material de preenchimento é principalmente devido aos processos de bioerosão (Neumam 1966). Isso indica que o material depositado nas perfurações dos nódulos da Cadeia Vitória-Trindade é, em sua maioria, de composição de calcita magnesiana originado pelo ataque da estrutura calcária dos rodolitos.

Devido à profundidade de coleta do presente estudo e às idades adquiridas pelo método de carbono 14, é possível afirmar que os cimentos carbonáticos encontrados nas amostras do presente estudo são formados por águas de origem marinha, pois sempre estiveram abaixo do nível do mar. Os cimentos carbonáticos submarinos podem ser de composição de calcita magnesiana ou aragonita (Ginsburg *et al.* 1971; Schroeder 1972; Schroeder 1973). Em ambientes carbonáticos os cimentos de calcita magnesiana são mais abundantes do que de aragonita (*e.g.*, Land e Goreau 1970; Ginsberg *et al.* 1971; Macintyre 1977; Perry e Hepburn 2008), mas ambas as formas podem ocorrer na mesma amostra, inclusive ocorrer em uma mesma cavidade (*e.g.*, Land e Goreau 1970; Ginsberg *et al.* 1971; Schroeder 1972). Entretanto, a classificação dos cimentos carbonáticos de acordo com sua composição é dificultada pelo tamanho geralmente muito pequeno dos cristais que, portanto, requerem técnicas apropriadas (Ginsberg *et al.* 1971).

O crescimento dos cristais pode ser facilitado pelo ambiente controlado dentro da estrutura interna dos rodolitos, entretanto, os fatores que influenciam a litificação



submarina ainda não são claros (Macintyre 2011). O processo é conhecido como um importante papel na edificação de recifes de corais (Land e Moore 1979; Purser e Schroeder 1986). Assim também a cimentação rápida do material de preenchimento das perfurações desempenha um papel importante na manutenção da estabilidade da estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade.

Em locais onde a bioerosão é intensa e a subsequente cimentação acontece, ocorre uma substituição significativa dos componentes principais da estrutura carbonática (Focke e Gebelein 1978; James e Ginsburg 1979). Alguns autores descrevem para nódulos calcários com intensa bioerosão o preenchimento por micrita e bioclastos (Reid e Macintyre 1988) como os encontrados no presente estudo ou por sedimento de granulometria arenosa (Bassi *et al.* 2011). O material depositado e litificado nas perfurações e passa a integrar a estrutura rígida dos nódulos.

Nos nódulos da Cadeia Vitória-Trindade, as crostas de algas calcárias sofreram intensos processos de bioerosão principalmente a partir de esponjas perfurantes (*Entobia*), bivalves (*Gastrochaenolites*) e poliquetas e/ou sipúnculas (*Trypanites*). Assim, a estrutura interna observada em lâmina petrográfica passou a ser composta por fragmentos de algas calcárias e outros organismos e por extensas regiões de perfurações vazias ou preenchidas por sedimento e/ou cimentos carbonáticos (Figura 33).

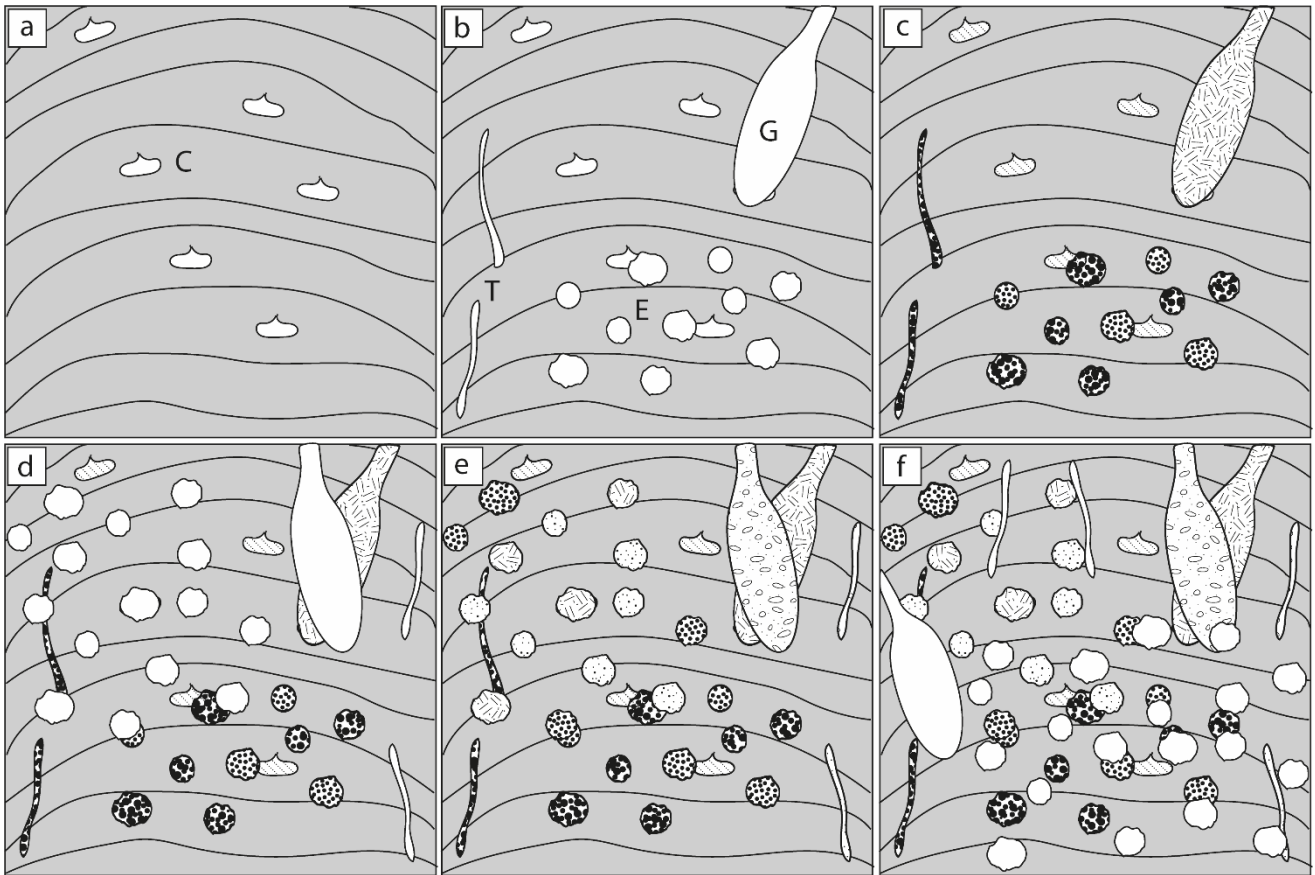


Figura 33: Esquema representativo dos ciclos de perfuração e cimentação sobre as crostas de algas calcárias: a) presença apenas de conceptáculos (C); b) presença de estruturas de perfuração (G = Gastrochaenolites, T = Trypanites e E = Entobia); c) preenchimento e cimentação das perfurações e crescimento de cimentos carbonáticos nos conceptáculos; d) novas fases de perfuração agora tanto sobre a estrutura da alga quanto sobre os preenchimentos cimentados; e) novas fases de preenchimento e cimentação e f) estrutura resultante composta por fragmentos de alga calcária vermelha, preenchimentos litificados e perfurações não preenchidas. Figuras fora de escala.

A substituição ocorre gradualmente devido aos sucessivos processos de bioerosão e cimentação. A litificação do sedimento de preenchimento cria novas estruturas rígidas dentro da estrutura interna mais antiga dos nódulos e estas se tornam susceptíveis a novas infestações de organismos perfurantes (Ginsburg *et al.* 1971; Scoffin 1992). A observação de perfurações de organismos endolíticos que perfuram substratos rígidos como *Entobia* e *Gastrochaenolites* em material de textura sedimentar comprova a ocorrência de processos rápidos de cimentação que causam a litificação do material (e.g.; Land e Goreau 1970). A repetição dos processos de perfuração, preenchimento,

cimentação e nova perfuração, aos poucos substitui a estrutura interna original (composta majoritariamente por organismos incrustantes) pela estrutura resultante da repetição dos processos (Scoffin 1992; Macintyre 2011).

A substituição da estrutura original pode ser tão acentuada a ponto de causar a obliteração dos organismos incrustantes responsáveis pela construção inicial do nódulo calcário (Ginsburg e Schroeder 1973) fazendo com que a maior parte da estrutura seja substituída pelo material de preenchimento (Macintyre 2011). Além disso, informações sobre os organismos perfurantes também pode ser perdida, uma vez que, apenas a última geração das perfurações é preservada na nova estrutura formada (Scoffin 1992).

Tendo em vista que a mudança na composição é observada através de detalhamento da composição da estrutura interna, análises que utilizam métodos não destrutivos devem ser avaliadas com cautela. A quantificação da estrutura carbonática maciça e dos espaços vazios através da utilização de métodos computadorizados (Leal *et al.* 2012; Nitsch *et al.* 2015) devem levar em consideração que perfurações preenchidas e cimentadas serão contabilizadas como estrutura rígida, possivelmente como organismos incrustantes, e não como processos de bioerosão.

## 5 CONCLUSÕES

A interação dos processos tafonômicos causou a modificação da composição da estrutura interna dos nódulos da Cadeia Vitória-Trindade. A estrutura carbonática construída por organismos incrustantes foi amplamente bioerodida e as perfurações, preenchidas ou não, passaram a ser o componente principal da estrutura. O preenchimento das perfurações faz com que sejam formados microambientes controlados que permitem o crescimento de cristais de cimento carbonático ocasionando o processo de litificação. A litificação do material permite o estabelecimento de nova fauna perfurante dando continuidade ao ciclo de perfuração e cimentação.

A bioerosão é um dos processos tafonômicos mais atuantes na estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade. Embora os processos de incrustação sejam fundamentais na formação dos rodolitos, foi possível observar nos nódulos da Cadeia

Vitória-Trindade que os processos de cimentação que ocorrem tanto entre as partículas do material de preenchimento quanto na estrutura dos organismos, podem ser considerados como um processo tafonômico construtivo importante devido a seu papel na manutenção da estrutura, principalmente no núcleo.

É possível concluir também que ambientes mesofóticos distantes da costa e por isso, distantes da influência humana favorece o estabelecimento de condições para o estabelecimento tanto de organismos incrustantes quanto de organismos perfurantes. Os bancos de rodolitos presentes nestes ambientes constituem microhabitats caracterizados pela alta bioerosão e pela modificação de sua estrutura interna típica podendo ser utilizados para interpretar o contexto paleoambiental do desenvolvimento de rodolitos fósseis comuns no registro geológico.

## ***CAPÍTULO V - Considerações finais***

A necessidade de conservação dos bancos de rodolitos é discutida em todos os locais onde ocorrem dada sua importância ecológica principalmente como engenheiros do ecossistema (Birkett *et al.* 1998; Grall e Hall-Spencer 2003; Steller *et al.* 2003; Nelson 2009). Entretanto, o gerenciamento eficiente desta comunidade, assim como de todas as outras, só é possível através do conhecimento sobre sua formação, dinâmica, equilíbrio e interação com os fatores abióticos. O estudo integrado de todos os componentes da estrutura interna de um rodolito é fundamental para o entendimento dos processos que ocorrem durante a formação e possível modificação do nódulo.

Os rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade são formados principalmente por algas calcárias (gênero *Sporolithon*, *Mesophyllum*, *Lithothamnion*, *Hydrolithon* e *Titanoderma*) e peyssoneliáceas (gênero *Peyssonelia*). Também aparecem na constituição da estrutura interna organismos incrustantes subordinados como foraminíferos incrustantes (*Homotrema rubrum*, aglutinantes ou demais foraminíferos incrustantes), briozoários, serpulídeos e cirripédios. A composição dos organismos incrustantes de rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade é semelhante à descrita ao longo do globo.

Entretanto, também foi observada na estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade um intenso processo de bioerosão que obliterou grande parte dos caracteres morfológicos das algas. Sem a análise da distribuição da fauna incrustante associada aos nódulos a caracterização ambiental seria prejudicada e os indícios de processos ambientais distintos ocorrendo no monte Jaseur e na ilha de Trindade não poderiam ser observados.

A distribuição da fauna incrustante esteve influenciada por condições ambientais locais, como, por exemplo, por processos de ressurgência no monte Jaseur ou pelo maior aporte sedimentar oriundo da plataforma insular de Trindade. Tais processos foram corroborados pela identificação de macroforaminíferos bentônicos trapeados no interior das perfurações. A diferença da distribuição entre *Archaias* e *Amphistegina* apontou a presença de possíveis processos de ressurgência (ambiente com menores temperaturas) no monte submarino Jaseur que estariam beneficiando o segundo gênero em comparação ao primeiro.

A caracterização das perfurações ao serem classificadas como icnocenose também permite inferências sobre o ambiente em que os rodolitos foram formados. A icnoassembleia dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade foi composta por microperfurações e macroperfurações do tipo *Entobia* (associado à ação de esponjas perfurantes), *Gastrochaenolites* (associado à ação de bivalves) e *Trypanites* (associado à ação de poliquetas e vermes sipúnculas). O estudo da icnoassembleia nos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade identificou um ambiente com baixa taxa de sedimentação e baixa hidrodinâmica que permitiu o desenvolvimento por longos períodos ininterruptos dos organismos perfurantes.

A interação entre os organismos construtores responsáveis por processos de incrustação e dos organismos perfurantes responsáveis por processos de bioerosão, faz com ocorra a modificação da estrutura interna dos rodolitos. O estudo dos principais componentes revelou que os organismos incrustantes não são os que mais contribuem para a composição da estrutura interna dos rodolitos como seria o esperado. A quantificação dos componentes principais mostrou que as perfurações (preenchidas e não preenchidas) são maioria na estrutura interna.

A observação do material de preenchimento como integrante da estrutura interna dos rodolitos foi possível devido ao crescimento de cristais de cimento carbonático em espaços vazios no interior dos nódulos. Foi possível observar também que os processos de perfuração e cimentação não ocorreram em uma única etapa, mas sim em inúmeras etapas separadas por grandes períodos de tempo, suficiente para que o processo de lificação pudesse ocorrer e o material ser perfurado novamente.

A repetição dos processos de perfuração, preenchimento, cimentação e nova perfuração, aos poucos substitui a estrutura interna original (composta majoritariamente por organismos incrustantes) pela estrutura resultante da repetição dos processos (composta por fragmentos de organismos calcários e sedimento litificado).

A Figura 34 apresenta os processos de formação e modificação da estrutura interna de rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade abordados no presente documento. O Capítulo II da tese apresentou os resultados dos principais organismos construtores dos rodolitos como representado na Figura 34a e ressaltou a importância do estudo da composição de organismos incrustantes subordinados como alternativa ao estudo da assembleia algal em ambientes com alto índice de bioerosão. O Capítulo III abordou a icnoassembleia

encontrada nos rodolitos e utilizou a composição de macroforaminíferos bentônicos aprisionados nas perfurações como ferramenta para auxiliar na identificação de características do ambiente em que ocorrem como representado no esquema da Figura 34b. O Capítulo IV abordou os processos envolvidos na modificação da estrutura interna dos rodolitos e caracteriza a estrutura resultante composta não só por organismos incrustantes como pelo material de preenchimento litificado no interior das perfurações, como no esquema da Figura 34c.

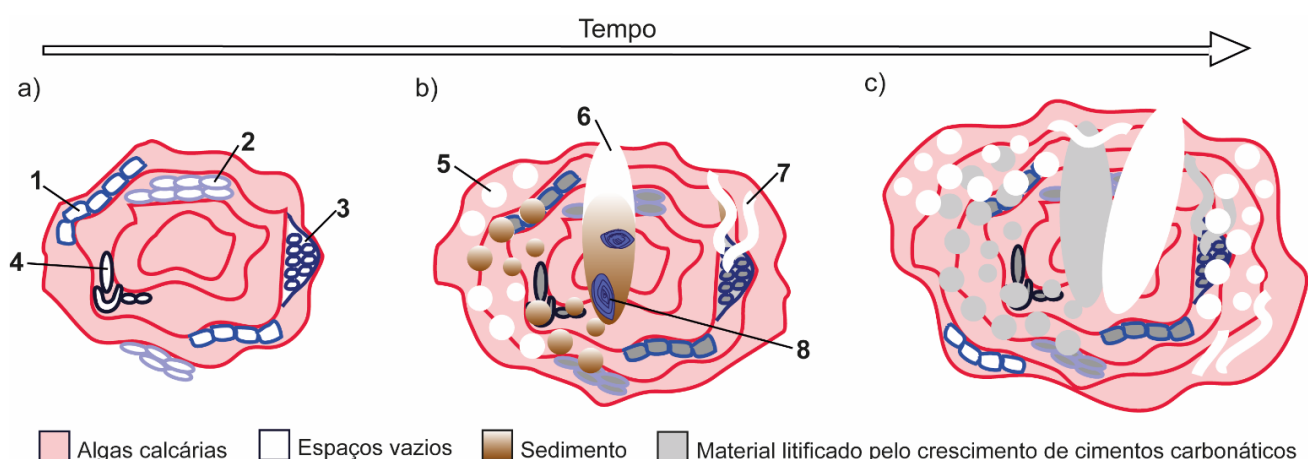


Figura 34: Esquema representativo dos processos de construção e modificação da estrutura interna dos rodolitos da Cadeia Vitória-Trindade: a) organismos incrustantes construtores compostos por alga calcária (cor rosa), briozoários (1), foraminíferos incrustantes (2), cirripédios (3) e tubos de serpulídeos (4); b) icnoassembleia formada pela ação de organismos perfurantes e composta principalmente por *Entobia* (5), seguido de *Gastrochaenolites* (6) e *Trypanites* (7) formando espaços vazios (cor branca) na estrutura interna que podem servir para a deposição de sedimento (cor marrom) e pequenos organismos bentônicos como macroforaminíferos (8); e c) estrutura interna resultante da interação dos organismos construtores e perfurantes. O crescimento de cimentos carbonáticos (cor cinza) ocorre nos espaços intraesqueléticos dos organismos construtores e nas perfurações preenchidas por sedimento. Figuras fora de escala.

Diversos trabalhos descrevem a composição dos organismos construtores de nódulos carbonáticos ou sobre a icnoassembleia de organismos perfurantes no interior dos nódulos (Reid e Macintyre 1988; Prager e Ginsburg 1989; Littler *et al.* 1991; Lund *et al.* 2000; Checconi *et al.* 2007; Checconi *et al.* 2010; Matsuda e Iryu 2011). Enquanto análises do material de preenchimento das perfurações não são comuns e poderiam contribuir no entendimento da evolução dos nódulos ao longo do tempo. O estudo

integrado de todos os componentes da estrutura interna dos rodolitos é a melhor abordagem para se compreender a dinâmica envolvida no desenvolvimento dos nódulos além de ser uma importante ferramenta na obtenção de indicadores ambientais sólidos.

O presente trabalho alcançou os objetivos propostos e destaca a importância da análise integrada dos organismos construtores (algas calcárias e organismos incrustantes subordinados), da icnoassembleia e do material de preenchimento como ferramenta metodológica nos estudos da estrutura interna de rodolitos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adey WH, Townsend RA, Boykins WT. 1982. The Crustose Coralline Algae (Rhodophyta: Corallinaceae) of the Hawaiian Islands. *Smithsonian contributions to the marine sciences*; 15.

Aguirre J, Riding R, Braga JC. 2000. Diversity of coralline red algae: origination and extinction patterns from the Early Cretaceous to the Pleistocene. *Paleobiology*, 26(4): 651–667

Aguirre J, Braga JC, Bassi D. 2017. Rhodoliths and rhodolith beds in the rock record, *in* Riosmena-Rodríguez, R., Nelson, W., Aguirre, J. (eds.), *Rhodolith/maërl beds: a global perspective*. Springer, Berlin Heidelberg, *Coastal Research Library*, 15: 105–138

Almeida FFM. 2006. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terræ Didactica*, 2(1): 3-18.

Alves EC, Maia M, Sichel SE, Campos CMP. 2006. Zona de fratura de Vitória-trindade no oceano Atlântico sudeste e suas implicações tectônicas. Eliane da costa. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(1): 117-127.

Amado-Filho GM, Maneveldt G, Manso RCC, Marins-Rosa BV, Pacheco MR, Guimarães SMPB. 2007. Structure of rhodolith beds from 4 to 55 meters deep along the southern coast of Espírito Santo State, Brazil. *Ciencias Marinas*, 33(4): 399–410

Amado-Filho GM, Moura RL, Bastos AC, Salgado LT, Sumida PY, Guth AZ, Francini-Filho RB, Pereira-Filho GH, Abrantes DP, Brasileiro PS, Bahia RG, Leal RN, Kaufman L, Kleypas JA, Farina M, Thompson FL. 2012a. Rhodolith Beds Are Major CaCO<sub>3</sub> Bio-Factories in the Tropical South West Atlantic. *PLoS ONE*, 7(4): 1 - 6.

Amado-Filho GM, Pereira-Filho GH, Bahia RG, Abrantes DP, Veras PC, Matheus Z. 2012b. Occurrence and distribution of rhodolith beds on the Fernando de Noronha Archipelago of Brazil. *Aquatic Botany*, 101: 41–45.

Amado-Filho GM, Moura RL, Bastos AC, Francini-Filho RB, Pereira-Filho GH, Bahia RG, Moraes FC, Motta FS. 2016. Mesophotic ecosystems of the unique South Atlantic atoll are composed by rhodolith beds and scattered consolidated reefs. *Mar. Biodivers*, <http://dx.doi.org/10.1007/s12526-015-0441-6>

Amado-Filho GM, Bahia RG, Pereira-Filho GH, Longo LL. 2017. South Atlantic Rhodolith Beds: latitudinal distribution, species composition, structure and ecosystem functions, threats and conservation status. *In*. *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*. Eds. Riosmena-Rodríguez R, Nelson W, Aguirre J. *Coastal Research Library*, 15: 299 – 317.

Andrade L, Gonzalez AM, Valentin JL, Paranhos R. 2004. Bacterial abundance and production in the southwest Atlantic Ocean. *Hydrobiologia*, 511: 103–111

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo RJ, Lessa GC, Souza MC. 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25: 486–506
- Angulo R, Souza MC, Barboza EG, Rosa MLC, Fernandes LA, Guedes CCF, Oliveira LHS, Manzolli RP, Disaró ST, Ferreira Junior AL, Martin CM, Santos FA, Garcia MH. Quaternário e paleoníveis marinhos na ilha de Trindade. *In: Protrindade: programa de pesquisas científicas na Ilha da Trindade (Ed.: Sidnei da Costa Abrantes et al)*. Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, 43-63
- Araripe RVC, Oliveira DH, Assis HMB, Barreto AMF. 2016. Caracterização da fauna de foraminíferos bentônicos da plataforma continental de Itamaracá, PE – Brasil. *Estudos Geológicos*, 26(2). DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n2p91-107.
- Arreguín-Rodríguez GJ, Alegret L, Thomas E. 2016. Late Paleocene-middle Eocene benthic foraminifera on a Pacific seamount (Allison Guyot, ODP Site 865): Greenhouse climate and superimposed hyperthermal events. *Paleoceanography*, 31: 346 – 364. doi:10.1002/2015PA002837.
- Ávila E, Riosmena-Rodríguez R. 2011. A Preliminary Evaluation Of Shallow-Water Rhodolith Beds In Bahia Magdalena, Mexico. *Brazilian Journal Of Oceanography*, 59(4): 365 – 375.
- Ávila E, Riosmena-Rodríguez R, Hinojosa-Arango G. 2013. Sponge–rhodolith interactions in a subtropical estuarine system. *Helgol Mar Res*, 67:349 – 357.
- BahiaG, Abrantes DP, Brasileiro OS, Pereira Filho GH, Amado-Filho GM. 2010. Rhodolith bed structure along a depth gradient on the Northern Coast Of Bahia State, Brazil. *Brazilian Journal Of Oceanography*, 58(4):323-337,
- Bahia RG. 2014. Algas coralináceas formadoras de rodolitos da plataforma continental tropical e ilhas oceânicas do Brasil: inventário florístico e taxonomia. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, Escola Nacional de Botânica Tropical, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Botânica, Rio de Janeiro.
- Bahia RG, Amado Filho GM, Maneveldt GW. 2014. *Sporolithon molle* (Heydrich) Heydrich (Sporolithales, Corallinophycidae, Rhodophyta): An Addition to the Atlantic Flora Found on a Remote Oceanic Island. *Cryptogamie, Algologie*, 35 (1): 7-14.
- Bahia RG, Amado-Filho GM, Maneveldt GW, Adey WH, Johnson G, Jesionek MB, Longo LL. 2015. *Sporolithon yoneshigueae* sp. nov. (Sporolithales, Corallinophycidae, Rhodophyta), a new rhodolith-forming coralline alga from the southwest Atlantic. *Phytotaxa*, 224 (2): 140–158.
- Bassi D, Humblet M, Iryu Y. 2011. Recent ichnocoenosis in deep water macroids, Ryukyu Islands, Japan. *PALAIOS*, 26: 232–238.
- Bassi D, Iryu Y , Humblet M, Matsuda H, Machiyama H, Sasaki K, Matsuda S, Arai K, Inoue T. 2012a. Recent macroids on the Kikai-jima shelf, Central Ryukyu Islands, Japan. *Sedimentology*, 59: 2024–2041.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bassi D, Iryu Y, Nebelsick JH. 2012b. To Be or Not to Be a Fossil Rhodolith? Analytical Methods for Studying Fossil Rhodolith Deposits. *Journal of Coastal Research*, 28(1): 288 - 295.
- Bassi D, Iryu Y, Braga JC, Takayanagi H, Tsuji Y. 2013. Bathymetric distribution of ichnocoenoses from recent subtropical algal nodules off Fraser Island, eastern Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 369 (2013) 58–66.
- Basso D. 1998. Deep rhodolith distribution in the Pontian Islands, Italy: A model for the paleoecology of a temperate sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137: 173-187.
- Bastos AC, Quaresma VS, Marangoni MB, D'Agostini DP, Bourguignon SN, Cetto PH, Silva AE, Amado-Filho GM, Moura RL, Collins M. 2015. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 63: 125 – 136
- Bazilevskaya ES, Skolotnev SG. 2011. Iron-manganese formations on seamounts of the Brazil Basin (South Atlantic). *Doklady Earth Sciences*, 439: 1039-1043.
- Beavington-Penney SJ, Racey A. 2004. Ecology of extant nummulitids and other larger benthic foraminifera: applications in palaeoenvironmental analysis. *Earth-Science Reviews*, 67: 219 – 265.
- Berlandi RM, Figueiredo MAO, Paiva PC. 2012. Rhodolith Morphology and the Diversity of Polychaetes Off the Southeastern Brazilian Coast. *Journal of Coastal Research*, 28 (1): 280-287.
- Besnard W. 1951. Resultados científicos do Cruzeiro do “Baependi” e do “Vega” à ilha da Trindade: Contribuição para o conhecimento da plataforma insular da Ilha da Trindade. *Bolm. Inst. Paulista de Oceanografia*, II (2): 37- 48.
- Best MMR, Kidwell SM. 2000. Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings. I. Environmental variation in shell condition. *Paleobiology*, 26(1): 80-102
- Birkeland C. 1977. The importance of rate of biomass accumulation in early successional stages of benthic communities to the survival of coral recruits. *Proceedings of the Third International Coral Reef Symposium*, 15-21
- Birkett DA, Maggs CA, Dring MJ. 1998. 'MAERL: (Volume V): an overview of dynamics and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. Scottish Association for Marine Science'. (UK Marine SACs Project). 116 pp.
- Boehlert GW, Genin A. 1987. A review of the effects of seamounts on biological processes. *In: Seamounts, Islands and Atolls*. Keating BH, Fryer P, Batiza R, Boehlert GW (eds.). *Geophys. Monogr.*, 43: 319–334.
- Bosence DWJ. 1976. Ecological studies on two unattached coralline algae from western Ireland. *Palaeontology*, 19:365–95.
- Bosence DWJ. 1983. Coralline algal reef frameworks. *J. geol. Soc. London*, 140: 365 - 376

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bosence DWJ, Wilson J. 2003. Maerl growth, carbonate production rates and accumulation rates in the northeast Atlantic. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 13: S21–S31
- Braga JC, Martin JM. 1988. Neogene coralline-algal growth-forms and their palaeoenvironments in the Ahnanzora river valley (Almeria, S.E. Spain). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 67: 285-303
- Braid MNM. 2008. Caracterização da região oceânica da Cadeia Vitória-Trindade com base na avaliação dos parâmetros físico-químicos da coluna d'água. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Química.
- Brasileiro PS, Braga JC, Amado-Filho GM, Leal RN, Bassi D, Franco T, Bastos AC, Moura RL. Holocene rhodoliths from the Brazilian Shelf. *Palaios*, (Submetido).
- Brett CE, Baird GC. 1986. Comparative Taphonomy: A Key to Paleoenvironmental Interpretation Based on Fossil Preservation. *PALAIOS*, 1: 207-227
- Bromley RG. 1990. Trace fossils: Biology and Taphonomy. Special Topics in Palaeontology 3. London: Unwin Hyman, 280 pp
- Bromley RG, D'Alessandro A. 1990. Comparative analysis of bioerosion in deep and shallow water, Pliocene to Recent, Mediterranean Sea. *Ichnos*, 1: 43-49.
- Bromley RG, Nils-Martin H, Asgaard U. 1991. Shallow marine bioerosion: preliminary results of an experimental study. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 38: 243- 252.
- Bromley RG, Asgaard U. 1993. Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change. *Geol Rundsch*, 82: 276-280
- Bromley RG. 1994. The paleoecology of bioerosion. In: The paleobiology of trace fossil. Donovan SK (ed.). Wiley, 134 – 154.
- Checconi A, Monaco P. 2008. Trace fossil assemblages in rhodoliths from the Middle Miocene of Mt. Camposauro (Longano Formation, Southern Apennines, Italy). *Studi Trent Sci Nat, Acta Geol*, 83: 165-176.
- Bromley RG. 1996. Trace Fossils: biology, taphonomy and applications. 2 ed., Chapman & Hall, London, 361p.
- Broom JES, Hart DR, Farr TJ, Nelson WA, Neill KF, Harvey AS, Woelkerling WMJ. 2008. Utility of psbA and nSSU for phylogenetic reconstruction in the Corallinales based on New Zealand taxa. *Mol Phylogenet Evol* 46:958–973
- Campos EJD. 2006. Equatorward translation of the Vitoria Eddy in a numerical simulation. *Geophysical Research Letters*, 33: 1-5, L22607, doi:10.1029/2006GL026997
- Caragnano A, Basso D, Rodondi G. 2016. Growth rates and ecology of coralline rhodoliths from the Ras Ghamila back reef lagoon, Red Sea. *Marine Ecology*, 37 (4): 713–726.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Checconi A, Monaco P. 2008. Trace fossil assemblages in rhodoliths from the Middle Miocene of Mt. Camposauro (Longano Formation, Southern Apennines, Italy). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 83: 165-176.

Checconi A, Bassi D, Carannante G, Monaco P. 2010. Re-deposited rhodoliths in the Middle Miocene hemipelagic deposits of Vitulano (Southern Apennines, Italy): Coralline assemblage characterization and related trace fossils. *Sedimentary Geology*, 225: 50–66

Cherchi A, Schroeder R. 2010. Boring sponges (ichnogenus *Entobia*) in Mesozoic *Lithocodium* calcimicrobial crusts. *Rivista italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 116 (3): 351-356

Choi DR, Ginsburg RN. 1983. Distribution of Coelobites (Cavity-Dwellers) in Coral Rubble Across the Florida Reef Tract. *Coral Reefs*, 2:165-172

Choi DR. 1984. Ecological succession of reef cavity-dwellers (coelobites) in coral rubble. *Coral Reef Paper. Bulletin of Marine Science*, 35(1): 72-79

Cochrane SKJ, Pearson TH, Greenacre M, Costelloe J, Ellingsen IH, Dahle S, Gulliksen B. 2012. Benthic fauna and functional traits along a Polar Front transect in the Barents Sea – Advancing tools for ecosystem-scale assessments. *Journal of Marine Systems*, 94: 204–217

Dias GTM, Villaça RC. 2012. Coralline Algae Depositional Environments on the Brazilian Central–South-Eastern Shelf. *Journal of Coastal Research*, 28: 270–279, ISSN 0749-0208.

Diz P, Barker S. 2016. Approaches and constraints to the reconstruction of palaeoproductivity from Cape Basin abyssal benthic foraminifera (South Atlantic). *Journal of Micropalaeontology*, 35 (2): 195-204.

Dower J, Freeland H, Juniper K. 1992. A strong biological response to oceanic flow past Cobb seamount. *Deep-Sea Res.*, 42:1139-45.1997.

Driscoll EG. 1970. Selective bivalve shell destruction in marine environments, a field study. *Journal Of Sedimentary Petrology*, 40 (3): 898-905

Driscoll EG, Weltin TP. 1973. Sedimentary parameters as factors in abrasive shell reduction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 13: 275 - 288

Ekdale AA, Bromley RG, Pemberton SG. 1984. Ichnology: Trace fossils in sedimentology and stratigraphy. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists - Short course notes*, 15: 1 – 317.

Ekdale AA. 1985. Paleoecology of the marine endobenthos. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 50: 63-81.

El-Hedeny M. 2007. Encrustation and bioerosion on Middle Miocene bivalve shells and echinoid skeletons: paleoenvironmental implications. *Revue de Paléobiologie*, 26 (2): x-xx. ISSN 0253-6730

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Evans DL, Signorini SR, Miranda LB. 1983. A Note on the Transport of the Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*. 13: 1732-1738
- Färber C, Titschack J, Schönberg CHL, Ehrig K, Boos K, Baum D, Illerhaus B, Asgaard U, Bromley RG, Freiwald A, Wisshak M. 2016. Long-term macrobioerosion in the Mediterranean Sea assessed by micro-computed tomography. *Biogeosciences*, 13: 3461 – 3474.
- Floeter SR, Gasparini JL. 2000. The southwestern Atlantic reef fish fauna: composition and zoogeographic patterns. *Journal of Fish Biology*, 56: 1099–1114. doi:10.1006/jfbi.2000.1231
- Floeter, S. R.; Rocha, L. A.; Robertson, D.R.; Joyeux, J. C.; Smith-Vaniz, W. F.; Wirtz, P.; Edwards, A. J.; Barreiros, J. P.; Ferreira, C.E. L.; Gasparini, J. L.; Brito, A.; Falcon, J.M.; Bowen, B.W.; Bernardi, G, 2001. Atlantic reef fish biogeography.
- Flügel E. 2010. Microfacies data: matrix and grains. *In: Microfacies of carbonate rocks – Analysis, Interpretation and application*. Springer, Berlin, 984 pp.
- Fontes LCS, Kowsmann RO, Puga–Bernabéu A. Sedimentos superficiais da plataforma continental de Sergipe–Alagoas. *In: Caracterização Ambiental da Bacia de Sergipe e sul de Alagoas (Org. Maria Eulália Rocha Carneiro)*. *Coleção Projeto Marseal*, Livro 1, 263p.
- Foslie M. 1909. Algologiske notiser VI. Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter, 2: 1-63.
- Foster MS. 2001. Rhodoliths: between rocks and soft places. *J. Phycol.*37: 659–667.
- Foster MS, Riosmena-Rodriguez R, Steller DL, Woelkerling WJ. 1997. Living rhodolith beds in the Gulf of California and their implications for paleoenvironmental interpretation. *Geological Society of America, Special Paper*, 318: 127-138
- Francini-Filho RB, Ferreira CM, Coni ECO, Moura RL, Kaufman L. 2010. Foraging activity of roving herbivorous reef fish (Acanthuridae and Scaridae) in eastern Brazil: influence of resource availability and interference competition. *J. mar. Biol. Ass. U.K.*, 90: 481 – 492.
- Futterer DK. 1974. Significance of the boring sponge *Cliona* for the origin of fine grained material of carbonate sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44 (1): 79-84.
- Gaeta AS, Lorenzetti JA, Miranda LB, Susini-Ribeiro SMM, Pompeu M, Araujo CES. 1999. The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. *Archive of Fishery and Marine Research*, 47(2/3): 253- 270
- Gagnon P, Matheson K, Stapleton M. 2012. Variation in rhodolith morphology and biogenic potential of newly discovered rhodolith beds in Newfoundland and Labrador (Canada). *Botanica Marina*, 55: 85 – 99.
- Gherardi DFM. 2004. Community structure and carbonate production of a temperate rhodolith bank from Arvoredo Island, Southern Brazil. *Brazilian Journal Of Oceanography*, 52(3/4): 207-224

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gibert JM, Domènech R, Martinell J. 2004. An ethological framework for animal bioerosion trace fossils upon mineral substrates with proposal of a new class, fixichnia. *Lethaia*, 37 : 429 - 437.
- Gibert JM, Domènech R, Martinell J. 2007. Bioerosion in shell beds from the Pliocene Roussillon Basin, France: Implications for the (macro)bioerosion ichnofacies model. *Acta Palaeontologica Polonica*, 52 (4): 783–798.
- Gibson SA, Thompson RN, Weska RK, Dickin AP, Leonardos OH. 1997. Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. *Contrib Mineral Petrol*, 126: 303 – 314.
- Ginsberg RN, Marszalek DS, Schneidermann N. 1971. Ultrastructure of carbonate cements in a holocene algal reef of Bermuda. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41(2): 472-482
- Gischler E, Ginsburg RN. 1996. Cavity dwellers (coelobites) under coral rubble in Southern Belize barrier and atoll reefs. *Bulletin of Marine Science, Coral Reef Paper*, 58(2): 570-589.
- Gischler E. 1997. Cavity dwellers (coelobites) beneath coral rubble in the Florida Reef Tract Bulletin of Marine Science, Coral Reef Paper, 61(2): 467–484,
- Della Giustina I. 2006. Sedimentação carbonática de algas vermelhas coralináceas da plataforma continental da bacia de Campos: um modelo carbonático análogo para o Terciário. Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Goldberg NA. 2006. Age estimates and description of rhodoliths from Esperance Bay, Western Australia. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 86: 1291 – 1296.
- Goldberg NA, Heine JN. 2008. Age estimates of *Sporolithon durum* (Corallinales, Rhodophyta) from Rottnest Island, Western Australia, based on radiocarbon-dating methods. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 91: 27 - 30.
- Golubic S, Brent G, Le Campion T. 1970. Scanning electron microscopy of endolithic algae and fungi using a multipurpose casting-embedding technique. *Lethaia*, 3: 203 – 209.
- Golubic S, Friedmann I, Schneider J. 1981. The lithobiontic ecological niche, with special reference to microorganisms. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2): 475–478.
- Goreau TF, Hartman WD. 1963. Boring Sponges as Controlling Factors in the Formation and Maintenance of Coral Reefs. In: Sognnaes RF (ed) Mechanisms of hard destruction. *Publ Am Assoc Adv Sci*, 75: 25-54
- Graham DJ, Midgley NG. 2000. Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an Excel spreadsheet method. *Earth Surfaces Process*, 25 (13): 1473–1477.
- Grall J, Hall-Spencer JM. 2003. Problems facing maerl conservation in Brittany. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 13: S55–S64

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Halfar J, Zack T, Kronz A, Zachos JC. 2000b. Growth and high-resolution paleoenvironmental signals rhodoliths (coralline red algae): A new biogenic archive. *Journal of Geophysical Research*, 105 (22): 107 - 116.

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4 (1): 9pp.

Harvey AS, Woelkerling WJ, Farr TJ, Neill KF, Nelson WA. 2005. Coralline algae of central New Zealand: An identification guide to common 'crustose' species. NIWA Information Series No. 57. 145 p.

Harvey AS, Woelkerling WJ. 2007. A guide to nongeniculate coralline red algal (Corallinales, Rhodophyta) rhodolith identification. *Ciencias Marinas*, 33(4): 411-426.

Haury L, Fey C, Newland C, Genin A. 2000. Zooplankton distribution around four eastern North Pacific seamounts. *Prog. Oceanogr.*, 45: 69-105.

Henriques MC, Coutinho LM, Riosmena-Rodríguez R, Barros-Barreto MB, Khader S, Figueiredo MAO. 2014a. Three deep water species of Sporolithon (Sporolithales, Rhodophyta) from the Brazilian continental shelf, with the description of Sporolithon elevatum sp. nov. *Phytotaxa*, 190 (1): 320–330.

Henriques MC, Riosmena-Rodríguez R, Coutinho LM, Figueiredo MAO. 2014b. Lithophylloideae and Mastophoroideae (Corallinales, Rhodophyta) from the Brazilian continental shelf., *Phytotaxa* 190 (1): 112–129.

Hepburn LJ, Blanchon P, Murphy G, Cousins L, Perry CT. 2015. Community structure and palaeoecological implications of calcareous encrusters on artificial substrates across a Mexican Caribbean reef. *Coral Reefs*, 34: 189–200. DOI 10.1007/s00338-014-1227-1

Heydrich F. 1897. Melobesieae. *Ber. dt. Bot. Ges*, 15: 403-420.

Hinojosa-Arango G, Riosmena-Rodríguez R. 2004. Influence of rhodolith-forming species and growth-form on associated fauna of rhodolith beds in the Central-West Gulf of California, México. *Marine Ecology*, 25 (2): 109 – 127.

Kelly SRA, Bromley RG. 1984. Ichnological nomenclature of clavate borings. *Palaeontology*, 27: 793 – 807.

Kleeman 1973. *Lithophaga lithophaga* (L.) (bivalvia) in different limestone. *Malacologia*, Proc. Fourth Europ. Malac. Congr., 14: 345-347

Kohler KE, Gill SM. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, 32 (9): 1259-1269. DOI:10.1016/j.cageo.2005.11.009

Kvile KØ, Taranto GH, Pitcher TJ, Morato T. 2014. A global assessment of seamount ecosystems knowledge using an ecosystem evaluation framework. *Biological Conservation*, 173: 108-120.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lambeck K, Rouby H, Purcell A, Sun Y, Sambridge M. 2014. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *PNAS*, 111 (43): 15296–15303
- Land LS, Goreau TF. 1970. Submarine lithification of Jamaican reefs: Notes. *Journal of Sedimentary Research*, 40(1): 457-462. DOI: <https://doi.org/10.1306/74D71F82-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Land LS, Moore CH. 1980. Lithification, micritization and syndepositional diagenesis of biolithites on the Jamaican Island Slope. *Journal of Sedimentary Petrology*, 50(2): 0357.-0370.
- Langer MR, Hottinger L. 2000. Biogeography of Selected "Larger" Foraminifera. *Micropaleontology*, 46 (1): 105-126.
- Leal JH, Bouchet F. 1991. Distribution patterns and dispersal of prosobranch Gastropods along a seamount chain in the Atlantic Ocean. *F. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 71: 11-25
- Leal RN, Bassi D, Posenato R, Amado-Filho GM. 2012. Tomographic Analysis for Bioerosion Signatures in Shallow-Water Rhodoliths from the Abrolhos Bank, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 28(1): 306-309
- Leal RN. 2013. Processos de biomineralização de carbonato de cálcio em rodolitos da costa leste brasileira. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico. Rio de Janeiro.
- Le Grand HM, Fabricius KE. 2011. Relationship of internal macrobioeroder densities in living massive Porites to turbidity and chlorophyll on the Australian Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 30 (1): 97–107.
- Lemoine M. 1928. Un nouveau genre de Mélobésiées: *Mesophyllum*. *Bulletin de la Société Botanique de France* 75: 251-254.
- Lemos AT. 2014. Aspectos Meteo-oceanográficos associados com a Concentração de Clorofila-a ao longo da Cadeia Vitória-Trindade. Tese apresentada ao Departamento de Oceanografia e Ecologia da Universidade Federal do Espírito Santo, para a obtenção de Título de Doutor em Oceanografia Ambiental.
- Lemos AT, Ghisolfi RDR, Mazzini PLF. 2018. Annual phytoplankton blooming using satellite-derived *chlorophyll-a* data around the Vitória-Trindade Chain, Southeastern Brazil. *Deep-Sea Research Part I*, (in press).
- Leutenegger S. 1984. Symbiosis in benthic foraminifera: specificity and host adaptations. *Journal of Foraminiferal Research*, 14: 16– 35.
- Leymarie MA. 1842. Suite du mémoire sur le terrain Crétacé du Département de l'Aube. *Mémoires de la Société Géologique de France*, 5 : 1 – 34.
- Littler MM, Littler DS, Hanisak MD. 1991. Deep-water rhodolith distribution, productivity, and growth history at sites of formation and subsequent degradation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 150: 163-182.
- Littler MM, Littler DS. 2011. Algae, Coralline. In:Hopley D [Ed.] *Encyclopedia of modern coral reefs: Structure, form and process*. Springer, pp. 20 – 30.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Logan A, Mathers SM, Thomas MLH. 1984. Sessile Invertebrate Coelobite Communities from Reefs of Bermuda: Species Composition and Distribution. *Coral Reefs*, 2: 205-213
- Lund M, Davies PJ, Braga JC. 2000. Coralline algal nodules off Fraser Island, Eastern Australia. *Facies*, 42, 25–34.
- Lyell C. 1830–1833. Principles of Geology, Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes Now in Operation. Murray, 3 vols. London.
- Machado AJ, Araújo HAB. 2011. Composição da microfauna de foraminíferos da área recida de Abrolhos, Bahia. *Gravel*, 9(1): 11 – 24.
- Machado GMV, Bastos AC, Freitas AS, Baptista Neto JA. 2018. Sedimentary, geochemical and micropaleontological responses to sea level variations in the Vitoria Estuary, Espírito Santo. *Radiocarbon*, 1–18. DOI:10.1017/RDC.2018.5
- Macintyre IG. 1977. Distribution of submarine cements in a modern caribbean fringing reef, Galeta Point, Panama. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47(2): 503-516
- Macintyre IG. 2011. In:Hopley D [Ed.] Encyclopedia of modern coral reefs: Structure, form and process. Springer, pp. 1052 – 1058.
- Mackensen A, Schmiedl G. 2016. Brine formation recorded by stable isotopes of Recent benthic foraminifera in Storfjorden, Svalbard: palaeoceanographical implications. *Boreas*, 45: 552 – 566.
- Maeda A, Fujita K, Horikawa K, Suzuki A, Yoshimura T, Tamenori Y, Kawahata H. 2017. Evaluation of oxygen isotope and Mg/Ca ratios in high-magnesium calcite from benthic foraminifera as a proxy for water temperature. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 122 (1): 185–199.
- Marrack EC. 1999. The relationship between water motion and living rhodolith beds in the southwestern Gulf of California, Mexico. *Palaos*, 14: 159 - 171.
- Martindale W. 1992. Calcified epibionts as palaeoecological tools: examples from the Recent and Pleistocene reefs of Barbados. *Coral Reefs*, 11: 167-177
- Matsuda S, Iryu Y. 2011. Rhodoliths from deep fore-reef to shelf areas around Okinawa-jima, Ryukyu Islands, Japan. *Marine Geology*, 282: 215 – 230
- Maughan BC, Barnes DKA. 2000. Epilithic boulder communities of Lough Hyne, Ireland: the influences of water movement and sediment. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 80: 767-776
- McKay CL, Groeneveld J, Filipsson HL, Gallego-Torres D, Whitehouse MJ, Toyofuku T, Romero OE. 2015. A comparison of benthic foraminiferal Mn/Ca and sedimentary Mn/Al as proxies of relative bottom-water oxygenation in the low-latitude NE Atlantic upwelling system. *Biogeosciences*, 12: 5415–5428

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Meirelles PM, Amado-Filho GM, Pereira-Filho GH, Pinheiro HT, Moura RL, Joyeux JC, Mazzei EF, Bastos AC, Edwards RA, Dinsdale E, Paranhos R, Santos EO, Iida T, Gotoh K, Nakamura S, Sawabe T, Rezende CE, Gadelha LMR, Francini-Filho RB, Thompson C, Thompson FL. 2015. 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*, 10(6): e0130084. doi:10.1371/journal.pone.0130084
- Metri R. 2006. Ecologia de um banco de algas cacárias da reserva biológica marinha do Arvoredo, SC, Brasil. Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de doutor em Ciências área de concentração Zoologia da Universidade Federal do Paraná.
- Metzler PM, Glibert PM, Gaeta SA, Ludlam JM. 1997. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. *Deep-Sea Research I*, 44(3): 363-384
- Mirante ACF, Scalon JD, Araújo TMF, Araújo HAB. 2013. Caracterização da plataforma e do talude continentais do Estado da Bahia, a partir da análise de agrupamento dos dados sedimentológicos e da microfauna de foraminíferos. *Pesquisas em Geociências*, 40 (2): 157 – 175.
- Motoki A, Motoki KF, Melo DP. 2012. Submarine morphology characterization of the Vitória-Trindade chain and the adjacent areas, state of Espírito Santo, Brazil, based on the predicted bathymetry of the topo version 14.1. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13 (2): 151-170.
- Moura RL, Secchin NA, Amado-Filho GM, Francini-Filho RB, Freitas MO, Minte-Vera CV, Teixeira JB, Thompson FL, Dutra GF, Sumida PYG, Güth AZ, Lopes RM, Bastos AC. 2013. Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank. *ContShelf Res* 70:109-117.
- Moura *et al.* 2016. An extensive reef system at the Amazon River mouth. *Sci. Adv.*, 2: e1501252
- Mouriño B, Fernandez E, Serret P, Harbour D, Sinha B, Pingree R. 2001. Variability and seasonality of physical and biological fields at the Great Meteor Tablemount (sub tropicalNE Atlantic). *Oceanologica Acta*, 42: 1-20.
- Nägeli C. 1858. Die Stärkekörner. In: Pflanzenphysiologische Untersuchungen Nägeli C, Cramer C. (Eds.) Vol. 2, Schulthess-Verlag, Zürich, 623 pp.
- Narchi W. 1956. Foraminíferos recentes do Brasil: Famílias Miliolidae, Peneroplidae e Alveolinellidae. *Xxx* 7(1 e 2): 161 – 192.
- Nebelsick JH, Bassi D, Rasser MW. 2011. Microtaphofacies: Exploring the potencial for taphonomic analysis in carbonates. In. *Taphonomy: Process and bias through time*. Allison PA e Bttjer DJ (eds.). Topics in Geobiology 32, 337 – 373.
- Nelson WA. 2009. Calcified macroalgae – critical to coastal ecosystems and vulnerable to change: a review. *Marine and Freshwater Research*, 60: 787–801

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Nelson W, Neill K, Farr T, Barr N, D'Archino R, Miller S, Stewart R. 2012. Rhodolith beds in Northern New Zealand: characterisation of associated biodiversity and vulnerability to environmental stressors. *New Zealand Aquatic Environment and Biodiversity*, Report No. 99
- Neumann AC. 1966. Observations on coastal erosion in bermuda and measurements of the boring rate of the sponge, *Cliona Lampa*. *Limnology and Oceanography*, 11 (1): 92–108. doi: 10.4319/lo.1966.11.1.0092.
- Nitsch F, Nebelsick JH, Bassi D. 2015. Constructional and destructional patterns—void classification of rhodoliths from Giglio Island, Italy. *PALAIOS*, 30(9): 680 - 691.
- Noé S, Titschack J, Freiwald A, Dullo WC. 2006. From sediment to rock: diagenetic processes of hardground formation in deep-water carbonate mounds of the NE Atlantic. *Facies*, 52: 183–208
- Oceana. 2006. The seamounts of the Gorringe Bank. Disponível em: [http://oceana.org/sites/default/files/reports/seamounts\\_gorringe\\_bank\\_eng2.pdf](http://oceana.org/sites/default/files/reports/seamounts_gorringe_bank_eng2.pdf). Acesso em: 02 de maio de 2016.
- O'Hara TD, Consalvey M, Lavrado HP, Stocks KI. 2010. Environmental predictors and turnover of biota along a seamount chain. *Marine Ecology*, 31(1): 84–94
- Oliveira-Silva P, Barbosa CF, Soares-Gomes A. 2005. Distribution of macrobenthic foraminifera on Brazilian Continental Margin between 180S – 230S. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(2): 209 – 216.
- Pascelli C, Riul P, Riosmena-Rodríguez R, Schernera F, Nunes M, Hall-Spencer JM, Oliveira EC, Horta PA. 2013. Seasonal and depth-driven changes in rhodolith bed structure and associated macroalgae off Arvoredo island (southeastern Brazil). *Aquat Bot*, 111: 62–65
- Penrose D. 1996. Genus *Hydrolithon* (Foslie) Foslie 1909: 55. *In*: The marine benthic flora of southern Australia. Rhodophyta. Part IIIB, Gracilariales, Rhodymeniales, Corallinales and Bonnemaisoniales. Womersley HBS (Eds). Canberra: Australian Biological Resources Study, 255–266.
- Pereira-Filho GH, Amado-Filho GM, Guimarães SMPB, Moura RL, Sumida PYG, Abrantes DP, Bahia RG, Güth AZ, Jorge RR, Francini-Filho RB. 2011. Reef fish and benthic assemblages of the Trindade and Martin Vaz Island Group, Southwestern Atlantic. *Brazilian Journal of Oceanography*, 59 (3): 201-212.
- Pereira-Filho GH, Amado-Filho GM, Moura RL, Bastos AC, Guimarães SMPB, Salgado LT, Francini-Filho RB, Bahia RG, Abrantes DP, Guth AZ, Brasileiro OS. 2012. Extensive Rhodolith beds cover the summits of southwestern atlantic ocean seamounts. *J Coastal Res*, 28: 261-269.
- Perrin C, Bosence D, Rosen B. 1995. Quantitative approaches to palaeozonation and palaeobathymetry of corals and coralline algae in Cenozoic reefs. *In*: Bosence DWJ & Allison PA (eds), *Marine Palaeoenvironmental Analysis from Fossils. Geological Society Special Publication*, 83: 181-229
- Perry CT. 1996. Distribution and abundance of macroborers in an upper Miocene reef system, Mallorca, Spain: implications for reef development and framework destruction. *Palaios*, 11: 40–56.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Perry CT, Hepburn LJ .2008. Syn-depositional alteration of coral reef framework through bioerosion, encrustation and cementation: Taphonomic signatures of reef accretion and reef depositional events. *Earth-Science Reviews*, 86: 106–144
- PETROBRAS. 2005. Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás nos Campos de Pescada e Arabaiana, Unidade PARB-2 - Bacia Potiguar. Relatório de Avaliação Ambiental.
- PETROBRAS. 2015. Projeto de caracterização regional da bacia de Sergipe-Alagoas - ETAPA III: algas calcárias, corais e moluscos da bacia de Sergipe-Alagoas. Volume III, 59p.
- Pickerill RK. 1994. Nomenclature and taxonomy of invertebrate trace fossils. *In* The Palaeobiology of Trace Fossils (ed. Donovan SK). The John Hopkins University Press and Wiley.
- Pinheiro HT, Mazze E, Moura RL, Amado-Filho GM, Carvalho-Filho A, Braga AC, Costa PAS, Ferreira BP, Ferreira CEL, Floeter SR, Francini-Filho RB, Gasparini JL, Macieira RM, Martins AS, Olavo G, Pimentel CR, Rocha LA, Sazima I, Simon T, Teixeira JB, Xavier LB, Joyeux JC. 2015. Fish Biodiversity of the Vitória-Trindade Seamount Chain, Southwestern Atlantic: An Updated Database. *PLoS ONE* 10(3): e0118180. doi:10.1371/journal.pone.0118180
- Prager EJ, Ginsburg RN. 1989. Carbonate Nodule Growth on Florida's Outer Shelf and Its Implications for Fossil Interpretations. *PAIAIOS*, 4 (4): 310 – 317.
- Racey A. 1994. Biostratigraphy and palaeobiogeographic significance of Tertiary nummulitids (foraminifera) from northern Oman. *In*: Micropalaeontology and Hydrocarbon Exploration in the Middle East, Simmons MD (ed.). Chapman & Hall, London. ISBN 0 412 42770 2
- Rasser M. 1994. Facies and palaeoecology of rhodoliths and acervulinid macroids in the Eocene of the Krappfeld (Austria). *Beitr. Paläont*, 19: 191-217.
- Rasser M, Piller WE. 1997. Depth distribution of calcareous encrusting associations in the Northern Red Sea (Safaga, Egypt) and their geological implications. *Proc 8th Int Coral Reef Sym*, 743-748
- Reid RP, MacIntyre IG. 1988. Foraminiferal-Algal nodules from the Eastern caribbean: growth history and implications on the value of nodules as paleoenvironmental indicators. *Palaios*, 3: 424-435.
- Reyes-Bonilla H, Rlosmena-Rodriguez R, Foster MS. 1997. Hermatypic Corals Associated with Rhodolith Beds in the Gulf of California, Mexico. *Pacific Science*, 51 (3): 328 – 337.
- Risk MJ, Sammarco PW, Edinger EN. 1995. Bioerosion in *Acropora* across the continental shelf of the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 14:79-86
- Riul P, Lacouth P, Pagliosa PR, Christoffersen ML, Horta PA. 2009. Rhodolith beds at the easternmost extreme of South America: Community structure of an endangered environment. *Aquatic Botany*, 90: 315–320

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Rodland DL, Kowalewski M, Carroll M, Simões MG. 2004. Colonization of a 'Lost World': Encrustation Patterns in Modern Subtropical Brachiopod Assemblages. *PALAIOS*, 19: 381–395
- Rollion-Bard C, Erez J. 2010. Intra-shell boron isotope ratios in the symbiont-bearing benthic foraminiferan *Amphistegina lobifera*: Implications for  $\delta^{11}\text{B}$  vital effects and paleo-pH reconstructions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74: 1530–1536
- Sammarco PW, Risk MJ. 1990. Large-scale patterns in internal bioerosion of Porites: cross continental shelf trends on the Great Barrier Reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 59: 145-156
- Santos A, Mayoral E, Bromley RG. 2011. Bioerosive structures from Miocene marine mobile-substrate communities in southern Spain, and description of a new sponge boring. *Palaeontology*, 54 (3): 535 – 545.
- Santos RN, Marques LS. 2007. Investigation of  $^{238}\text{U}$ – $^{230}\text{Th}$ – $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$ – $^{228}\text{Ra}$ – $^{228}\text{Th}$  radioactive disequilibria in volcanic rocks from Trindade and Martin Vaz Islands (Brazil; Southern Atlantic Ocean). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 161: 215–233.
- Savazzi E. 1994. Functional morphology of boring and burrowing invertebrates. In: *Palaeobiology of trace fossils*. Pp. 43-82, Donovan SK (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Savrda CE. 2007. Taphonomy of trace fossil. In. *Trace Fossils: concepts, problems and prospects*. Miller W (ed.). Elsevier, 92 – 109.
- Schmid C, Schafer H, Podestá G, Zenk W. 1995. The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, 25: 2532-2546
- Schroeder JHS. 1972. Fabrics and sequences of submarine carbonate cements in Holocene Bermuda cup reefs. *Geol Rundsch*, 61: 708-730. <https://doi.org/10.1007/BF01896342>
- Schroeder JHS. 1973. Submarine and vadose cements in Pleistocene Bermuda Reef Rock. *Sedimentary Geology*, 10: 179-204
- Scoffin TP, Stoddart DR, Tudhope AW, Woodroffe C. 1985. Rhodoliths and coralloliths of Muri Lagoon, Rarotonga, Cook Islands. *Coral Reefs*, 4: 71–80.
- Scoffin TP. 1992. Taphonomy of coral reefs: a review. *Coral Reefs*, 11: 57-77.
- Seilacher A. 1953. Studien zur Palichnologie. I Über die Methoden der Palichnologie. *Neus Jahrbuch für Geologie und Palaontologie. Abhandlungen*, 98 : 87 – 124.
- Sewell AA, Johnson ME, Backus DH, Ledesma-Vázquez J. 2007. Rhodolith detritus impounded by a coastal dune on Isla Coronados, Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 33(4): 483–494
- Silva PC, Johansen HW. 1986. A reappraisal of the order Corallinales (Rhodophyta). *Br. Phycol. J.* 21: 245-254.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Silveira ICA, Schmidt ACK, Campos EJD, Godoi SS, Ikeda Y. 2000. The Brazil Current off the Eastern Brazilian Coast. *Rev. bras. oceanogr.*, 48(2): 171-183
- Simon TE. 2014. Montes submarinos da Cadeia Vitória-Trindade como alpondras para peixes recifais. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Animal) da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Biologia Animal.
- Simpson ESW, Heydorn AEF. 1965. Vema Seamount. *Nature*, 207: 249 – 251.
- Sissini MN, Oliveira MC, Gabrielson PW, Robinson NM, Okolodkov YB, Riosmena Rodríguez R, Horta PA. 2014. *Mesophyllum erubescens* (Corallinales, Rhodophyta) — so many species in one epithet. *Phytotaxa*, 190 (1): 299–319.
- Skolotnev SG, Bylinskaya ME, Golovina LA, Ipat'eva IS. 2011. First Data on the Age of Rocks from the Central Part of the Vitoria–Trindade Ridge (Brazil Basin, South Atlantic). *Doklady Akademii Nauk*, 437 (1): 74–80.
- Smart CW, King SC, Gooday AJ, Murray JW e Thomas E. 1994. A benthic foraminiferal proxy of pulsed organic matter paleofluxes. *Marine Micropaleontology*, 23: 89-99.
- Sneed ED, Folk RL. 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis. *J. Geol.*, 66 (2): 114-150.
- Spalding *et al.* 2007. Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, 57(7): 573-583
- Stap LB, Boer B, Ziegler M, Bintanja R, Lourens LJ, van de Wal RSW. 2016. CO<sub>2</sub> over the past 5 million years: Continuous simulation and new  $\delta^{11}\text{B}$ -based proxy data. *Earth and Planetary Science Letters*, 439: 1–10.
- Stefanoudis PV, Schiebel R, Mallet R, Durden JM, Bett BJ, Gooday AJ. 2016. Agglutination of benthic foraminifera in relation to mesoscale bathymetric features in the abyssal NE Atlantic (Porcupine Abyssal Plain). *Marine Micropaleontology*, 123: 15-28.
- Steller DL, Foster MS. 1995. Environmental factors influencing distribution and morphology of rhodoliths in Bahía Concepción, México. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 194: 201–212.
- Steller DL, Riosmena-Rodríguez R, Foster MS, Roberts CA. 2003. Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of disturbance. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 13 : 5–20.
- Steneck RS. 1986. The ecology of coralline algal crusts: convergent patterns and adaptative strategies. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 17: 273 - 303.
- Stramma L, Ikeda Y, Peterson RG. 1990. Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S. *Deep-Sea Research*, 37(12): 1875-1886

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Stuiver M, Braziunas TF. 1993. Modeling atmospheric  $^{14}\text{C}$  influences and  $^{14}\text{C}$  ages of marine samples to 10,000 BC. *Radiocarbon*, 35:137-189.

Stuiver M, Reimer PJ. 1993. Extended  $^{14}\text{C}$  data base and revised calib 3.0  $^{14}\text{C}$  age calibration Program. *Radiocarbon*, 35 (1): 215-230.

Stuiver M, Reimer PJ. 2016. 14CHRONO Marine Reservoir Database. Disponível em: <<http://calib.qub.ac.uk/marine/>>. Acesso em: 06 de maio de 2016.

Tâmega FTS, Oliveira PS, Figueiredo MAO. 2013. Catalogue of the benthic marine life from Peregrino oil field, Campos Basin, Brazil. Instituto Biodiversidade Marinha, Rio de Janeiro.

Tâmega FTS, Bassi D, Figueiredo MAO, Cherkinsky A. 2014. Deep-water rhodolith bed from central Brazilian continental shelf, Campos Basin: coralline algal and faunal taxonomic composition. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 16: 21 – 31

Taylor A, Goldring R, Gowland S. 2003. Analysis and application of ichnofabrics. *Earth-Science Reviews*, 60: 227–259

Teichert S. 2013. Rhodoliths (Corallinales, Rhodophyta) as a Biosedimentary System in Arctic Environments (Svalbard Archipelago, Norway). Disponível em: <https://d-nb.info/1033029963/34>

Theodor M, Schmiedl G, Jorissen F, Mackensen A. 2016a. Stable carbon isotope gradients in benthic foraminifera as proxy for organic carbon fluxes in the Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, 13 (23): 6385 – 6404.

Theodor M, Schmiedl G, Mackensen A. 2016b. Stable isotope composition of deep-sea benthic foraminifera under contrasting trophic conditions in the western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 124: 16 – 28.

Thompson RN, Gibson SA, Mitchell JG, Dickin AP, Leonardos OH, Brod JA, Greenwood JC. 1998. Migrating Cretaceous–Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume?. *Journal of Petrology*, 39 (8): 1493–1526.

Tribollet A, Golubic S. 2005. Cross-shelf differences in the pattern and pace of bioerosion of experimental carbonate substrates exposed for 3 years on the northern Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 24: 422–434

Tribollet A, Radtke G, Golubic S. 2011. Bioerosion. In: *Encyclopedia of Geobiology* (Ed. Thiel JRV). *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, University of Göttingen. ISBN 978-1-4020-9211-4

Tsuda RT, Vroom PS, Page Albins KN, Giuseffi L. 2015. Marine Benthic Algae from Seamounts along the Mariana Islands, Western Pacific. *Micronesica*, 4: 1 – 19.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Vale NF, Amado-Filho GM, Braga JC, Brasileiro PS, Karez CS, Moraes FC, Bahia RG, Bastos AC, Moura RL. 2018. Structure and composition of rhodoliths from the Amazon River mouth, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 84: 149–159
- Vecsei A. 2000. Database on Isolated Low-latitude Carbonate Banks. *Facies*, 43: 205-222
- Vecsei A. 2004. Carbonate production on isolated banks since 20 k.a.BP: climatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 214: 3–10.
- Villas-Boas AB, Riosmena-Rodriguez R, Figueiredo MAO. 2014. Community structure of rhodolith-forming beds on the central Brazilian continental shelf. *Helgol Mar Res*, 68:27 – 35
- Wilson S, Blake C, Berges JA, Maggs CA. 2004. Environmental tolerances of free-living coralline algae (maërl): implications for European marine conservation. *Biological Conservation*, 120: 279–289.
- Woelkerling W J. 1988. The Coralline Red Algae: an analysis of the genera and subfamilies of nongeniculate Corallinaceae. Oxford, Oxford Press. 268 p.
- Wust RAJ. 2011. Binding organisms. In:Hopley D [Ed.] *Encyclopedia of modern coral reefs: Structure, form and process*. Springer, pp. 136 – 138.
- Zamagni J, Mutti M, Kosir A. 2008. Evolution of shallow benthic communities during the Late Paleocene–earliest Eocene transition in the Northern Tethys (SW Slovenia). *Facies*, 54: 25–43. DOI 10.1007/s10347-007-0123-3
- Žuljević A, Kaleb S, Peña V, Despalatović M, Cvitković I, De Clerck O, Le Gall L, Falace A, Vita F, Braga JC, Antolić B. 2016. First freshwater coralline alga and the role of local features in a major biome transition. *Scientific Reports*, 6:19642, 1 – 12. DOI: 10.1038/srep19642