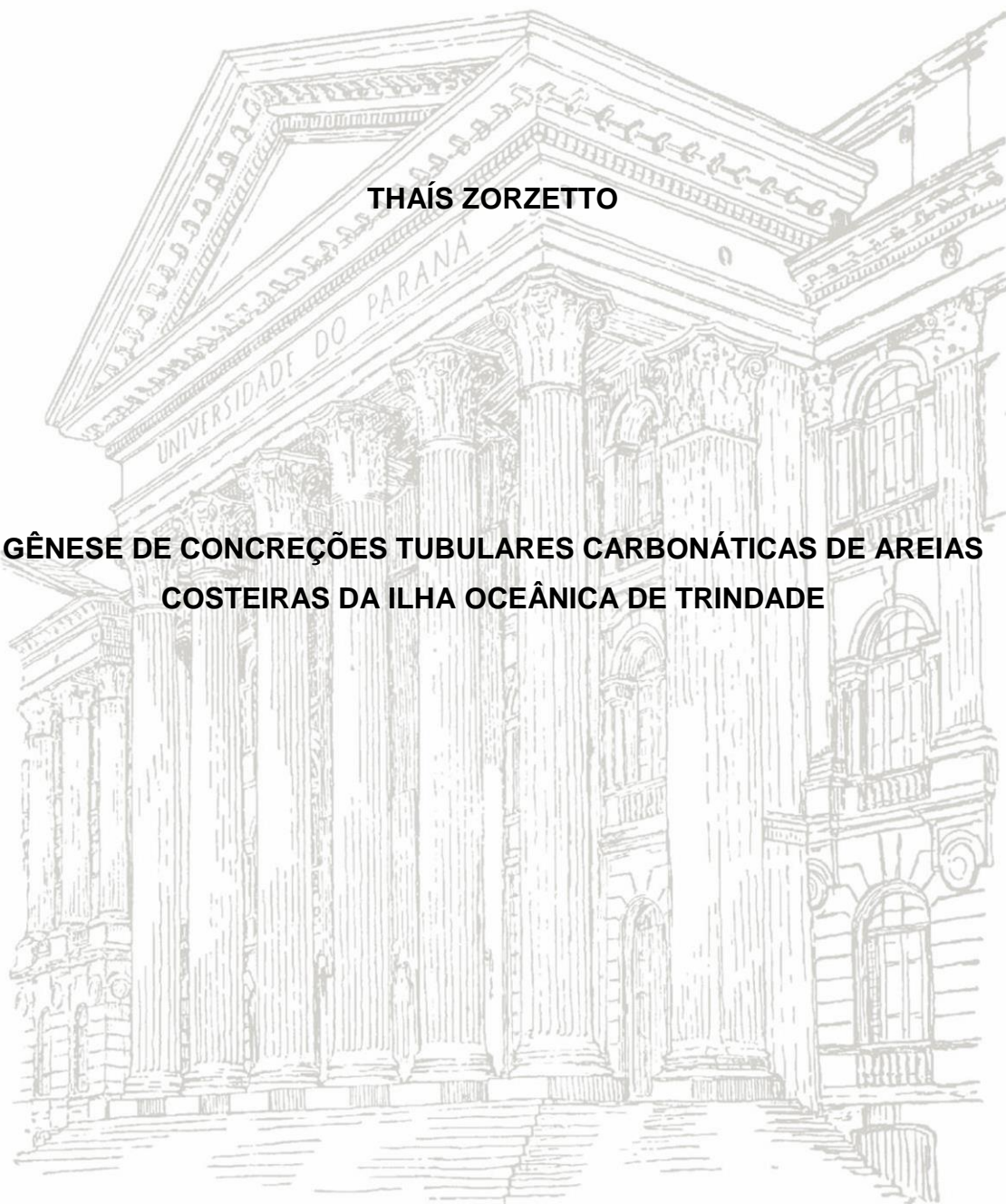


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**THAÍS ZORZETTO**

**GÊNESE DE CONCREÇÕES TUBULARES CARBONÁTICAS DE AREIAS  
COSTEIRAS DA ILHA OCEÂNICA DE TRINDADE**



**CURITIBA**

**2017**

**THAÍS ZORZETTO**

**GÊNESE DE CONCREÇÕES TUBULARES CARBONÁTICAS DE AREIAS  
COSTEIRAS DA ILHA OCEÂNICA DE TRINDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geologia da Universidade Federal do  
Paraná como requisito parcial à obtenção do  
grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes

**CURITIBA**

2017

## RESUMO

As concreções carbonáticas estudadas, provenientes Ilha de Trindade, segundo Zucolotto et al. (1997), seriam fulguritos, porém, tendo em vista que, de acordo com Pye (1982), os fulguritos possuem entre as principais características a composição silicática e ainda que muitos pesquisadores afirmaram se tratarem de rizocreções - concreções formadas em torno de materiais biológicos, surge o questionamento sobre qual seria a origem das concreções tubulares estudadas. Sendo assim, objetivou-se com esse estudo esclarecer a gênese dessas concreções tubulares carbonáticas da Ilha de Trindade utilizando, principalmente, os métodos de caracterização petrográfica. Especificando um pouco mais, a pesquisa foi voltada para a investigação e estudo das hipóteses de gênese das concreções, tratando de processos relacionados a fulguritos e ainda daqueles relacionados a atividades biológicas (rizocreções). As amostras estudadas, como já citado anteriormente, foram obtidas na Ilha de Trindade, que pertence ao Estado do Espírito Santo, no domínio dos depósitos holocênicos, localizado na Praia das Tartarugas. Mas especificamente, foram coletadas na região do limite norte da praia, local aonde faz limite com a praia do Andrada.

**Palavras chave:** rizocreções, fulguritos, Ilha de Trindade,

## **ABSTRACT**

The carbonate concretions studied, coming from the Island of Trindade, according to Zucolotto et al. (1997), would be fulgurites, however, given that, according to Pye (1982), the fulgurite possess, among the main characteristics, the silica composition and still that many researches have stated that they are rhyzocretions (concretions formed around biological material), arises the question about which would be the origin of the tubular concretions. Therefore it was aimed, with this research, to clarify the genesis of these concretions of the Island of Trindade using, mainly, the petrographic characterization methods. Specifying a little more, the research was focused on the investigation and the study of the hypothesis of genesis of concretions, dealing with processes related to fulgurites and still those related to biological activities. The studied samples, as already mentioned, were obtained on the Island of Trindade, which belongs to the State of Espírito Santo, in the field of holocenic deposits, located on the Beach of Tartarugas. More specifically, were collected in the northern boundary of the beach, where it borders the Andrada Beach.

*Keywords:* rhyzocretions, fulgurites, Island of Trindade

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização regional da área de coleta das concreções e de detalhe da área. Imagem superior à esquerda: modificado de Almeida (1995); imagem superior à direita: Google; imagem inferior: modificado de Ângulo <i>et al.</i> (2015) .....	2
Figura 2: Localização da Ilha de Trindade. Modificado de Almeida (2006) .....	3
Figura 3: Destaque da Cadeia Vitória-Trindade em mapa batimétrico ao longo da cadeia entre a costa, a Ilha de Trindade e o Arquipélago Martin Vaz. Modificado de Almeida (2006). ....	3
Figura 4: Mapa geológico da Ilha de Trindade, com a distribuição espacial dos diferentes litotipos das unidades litoestratigráficas da ilha, com exceção dos depósitos holocênicos. Modificado de Almeida (1963) .....	4
Figura 5: Unidades geológicas quaternárias da Ilha de Trindade. Modificado de Angulo <i>et al.</i> , (2015) .....	6
Figura 6: Constituintes principais de uma raiz. Fonte: <a href="https://www.todamateria.com.br/tipos-de-raizes">https://www.todamateria.com.br/tipos-de-raizes</a> .....	10
Figura 7: Gráficos de setores mostrando quantificação das características catalogadas .....	14
Figura 8: Concreções com protuberâncias milimétricas. Na imagem à esquerda é possível observar orifícios bem evidentes nas extremidades de todas as protuberâncias.....	15
Figura 9: Concreções com diferentes padrões de ramificações .....	15
Figura 10: À esquerda ocorre concreções com bifurcação em uma das extremidades principais do tubo. Na imagem à direita ocorre concreção com dois orifícios em uma das extremidades principais .....	16

Figura 11: À esquerda ocorre concreção com preenchimento de aspecto maciço. À direita ocorre concreção com preenchimento de aspecto posterior, argiloso.....	17
Figura 12: Presença de cimento carbonático e matriz argilosa.....	18
Figura 13: Identificação de fragmentos de espinhos de quinoídes de diferentes cores. Fotografia tirada em lupa binocular.....	19
Figura 14: A: Fragmento de foraminífero destacado por flecha; B: Espinho de equinoide observado em perfil longitudinal; C: Espinho de equinoide novamente em perfil longitudinal; D: Espinho de quinoide em posição "deitada". Fotografias tiradas em lupa binocular.....	19
Figura 15: Concreções com presença de orifícios milimétricos em suas cavidades. Os orifícios são destacados pelas flechas e pelos quadrados de cor amarela. Fotografias tiradas com lupa binocular.....	21
Figura 16: Sulcos observados no interior, na cavidade de concreção tubular. Fotografia tirada em lupa binocular .....	22
Figura 17: Sulco observado dentro de cavidade de concreção, com parte se estendendo para fora. Fotografia tirada em lupa binocular.....	22
Figura 18: Fragmento de alga vermelha ao centro, com estrutura bem preservada, envolta por cimento carbonático e material micrítico. Fotomicrografia tirada em MOP .....	23
Figura 19: Fragmentos de bioclastos (majoritariamente no meio), grão terrígeno oxidado (à esquerda) e intraclasto carbonático (canto inferior direito). Fotomicrografia tirada em MOP .....	23

Figura 20: Bioclastos muito bem preservados. À esquerda ocorre foraminídeo e à direita ocorre espinho de equinoide. Fotomicrografia tirada em MOP ..... 24

Figura 21: Bioclastos intensamente recristalizados e micritizados. Os dois bioclastos tratam-se de foraminídeos, porém de diferentes espécies. Fotomicrografia tirada em MOP ..... 24

Figura 22: Intraclasto carbonático com inclusões de olivina, bioclastos e fragmentos líticos oxidados. Está envolto por cimento microespático granular. Fotomicrografia tirada em MOP ..... 24

Figura 23: Destaque para transição brusca de cimento microespático, mais cristalino (à esquerda), para material mais micrítico, turvo (à direita). Fotomicrografia tirada em MOP ..... 25

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. CONTEXTO E PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS .....	1
1.3. LOCALIZAÇÃO .....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1. ILHA DE TRINDADE .....	3
2.1.1. DEPÓSITOS HOLOCÊNICOS.....	4
2.1.1.1. DEPÓSITOS COSTEIROS .....	6
2.1.1.1.1. PRAIA DAS TARTARUGAS .....	8
2.2. FULGURITOS .....	9
2.3 RIZOCREÇÕES.....	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.2. DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA .....	11
3.3. DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA.....	11
3.4. MEV E EDS.....	12
4. RESULTADOS .....	13
4.1. ANÁLISES MACROSCÓPICAS.....	13
4.1.1. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA.....	13
4.1.2. ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	17
4.1.2.1. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA .....	17
4.2. CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA .....	20
4.2.1 CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL .....	20

4.2.2 ARCABOUÇO .....	21
4.2.3. CIMENTO/MATRIZ .....	25
4.2.4 POROSIDADE .....	26
4.3 ANÁLISES COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV) E EDS.....	26
5. DISCUSSÃO .....	28
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	30

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. CONTEXTO E PROBLEMA**

Concreções são materiais rochosos, de dimensões centimétricas, de forma esférica a arredondada irregular, resultantes de precipitações contínuas a partir de um núcleo inicial.

Rizocreções (ou rizoconcreções) são concreções formadas devido à precipitação de material carbonático em torno de raízes (Angulo et al., 2015). Adquirem, em consequência, formas similares às raízes.

As concreções estudadas nesta pesquisa, provenientes da Ilha oceânica de Trindade são carbonáticas, tubulares, centimétricas e de cor branco amarelado. Zucolotto et al. (1997) afirmaram que tais concreções seriam fulguritos - materiais rochosos fundidos por consequência de descargas elétricas, em altas temperaturas - por apresentarem formas que se assemelham a esse tipo de material. Entretanto, seriam os primeiros e únicos fulguritos de composição carbonática reportados até o momento. Segundo Pye (1982), os fulguritos possuem entre as principais características, composição silicática.

Por outro lado, tais feições poderiam se tratar de rizocreções - concreções formadas em torno de materiais biológicos, como raízes de plantas, ou ainda, decorrentes de atividades de animais escavadores.

### **1.2. OBJETIVOS**

O trabalho teve por objetivo esclarecer a gênese das concreções tubulares carbonáticas, com uso, sobretudo, de métodos de caracterização petrográfica. Tratando-se de objetivos específicos, a pesquisa visou investigar e estudar as hipóteses de gênese das concreções, tratando de processos relacionados a fulguritos e, do outro lado, processos relacionados a atividades biológicas (rizocreções).

### **1.3. LOCALIZAÇÃO**

As concreções tubulares foram coletadas na Ilha de Trindade, no domínio dos depósitos holocênicos, na praia das Tartarugas. As amostras foram coletadas na região do limite norte da praia, local aonde faz limite com a praia do Andrada. A localização geográfica é dada na Figura 1 e possui as seguintes coordenadas:

longitude: 259.675; lat: 7.729.732.



**Figura 1:** Localização regional da área de coleta das concreções e de detalhe da área. Imagem superior à esquerda: modificado de Almeida (1995); imagem superior à direita: Google; imagem inferior: modificado de Ângulo *et al.* (2015).

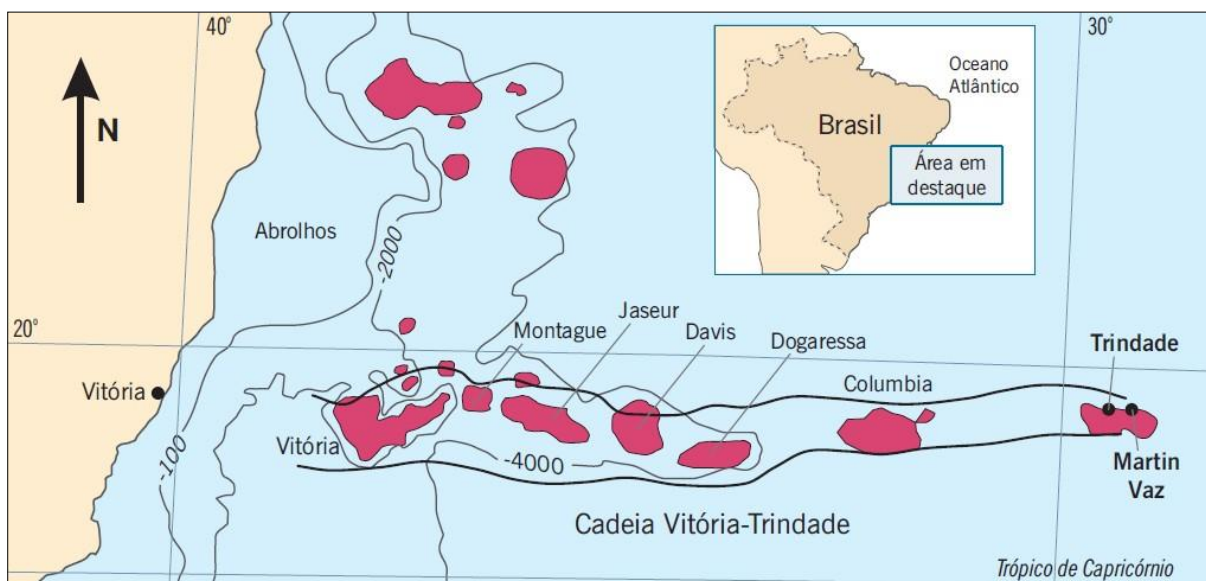
## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. ILHA DE TRINDADE

A ilha oceânica de Trindade faz parte do grupo de cinco ilhas e arquipélagos formados no assoalho oceânico, pertencente ao território nacional: São Pedro e São Paulo, Fernando de Noronha e atol das Rocas, na região equatorial, e a ilha de Trindade e arquipélago de Martin Vaz na região Tropical (Almeida 2006). A ilha de Trindade tem área de 13 km<sup>2</sup>, situa-se no oceano Atlântico Sul e encontra-se afastada 1.170 km da costa brasileira, aproximadamente no paralelo de Vitória, estado do Espírito Santo (Figura 2). Localiza-se no extremo leste de uma cadeia de montes submarinos de direção W-E, chamada Cadeia Vitória-Trindade (Pires *et al.*, 2013) (Figura 3), cuja formação se deu por vulcanismo associado a zonas de fraturas. Estas zonas de fraturas estão relacionadas à formação da Dorsal Meso-Atlântica no período de ruptura do Gondwana, correspondendo a traços inativos remanescentes de falhas transformantes pretéritas formadas em ambiente de vale de rifte, dentro da dorsal. A ilha corresponde ao último indício de atividade vulcânica associada à passagem de uma pluma mantélica sob a placa Sul-Americana durante o Cenozoico. O magmatismo mantélico gerado pela pluma possivelmente aproveitou as extensas zonas de fraturas na crosta oceânica como condutos para ascender e formar vulcões (Gibson *et al.*, 1997).



**Figura 2:** Localização da Ilha de Trindade. Modificado de Almeida (2006).



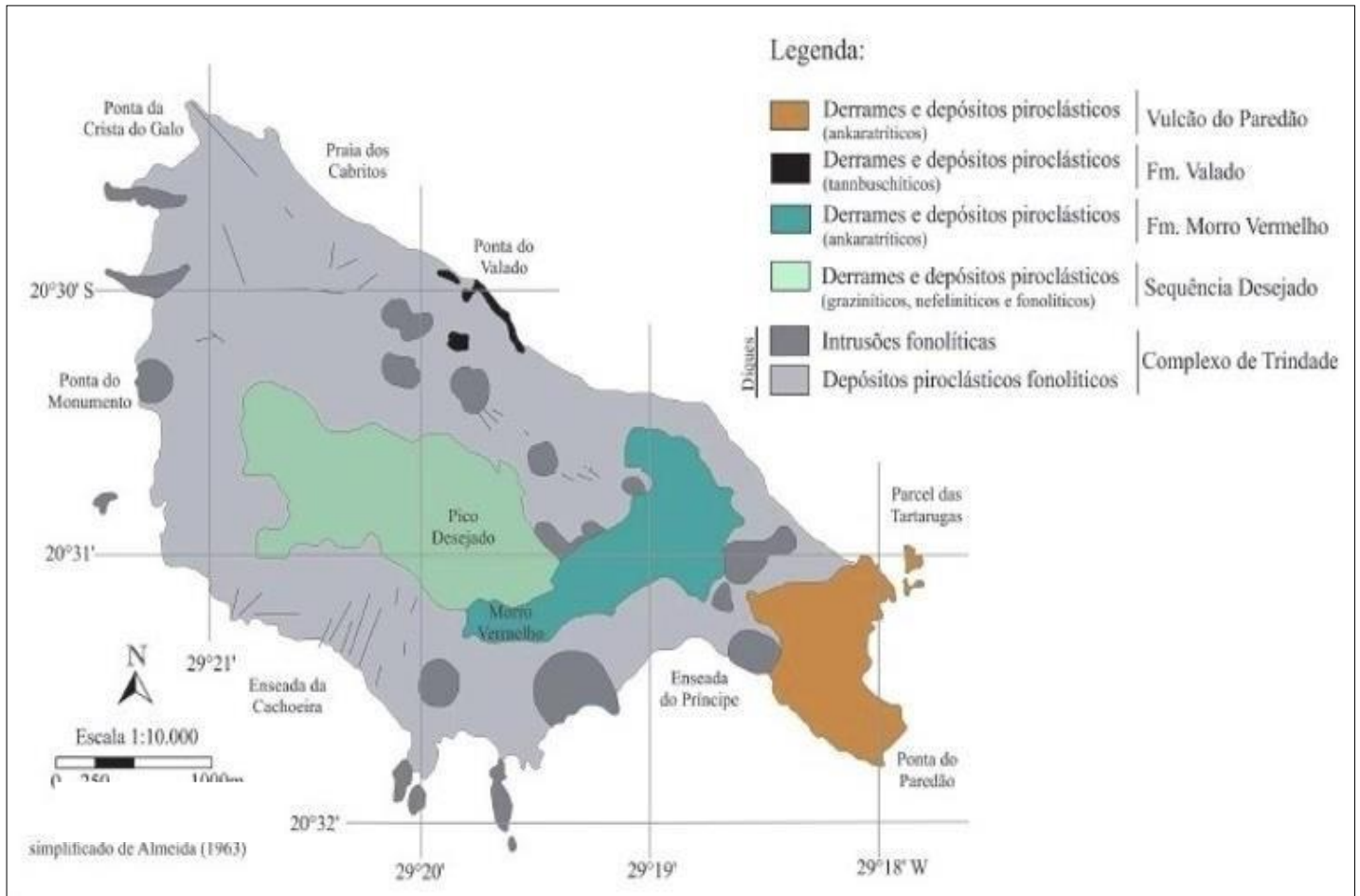
**Figura 3:** Destaque da Cadeia Vitória-Trindade em mapa batimétrico ao longo da cadeia entre a costa, a Ilha de Trindade e o Arquipélago Martin Vaz (Almeida 2006).

A parte emersa da ilha apresenta forma de um cimo erodido e repousa sobre o assoalho oceânico a aproximadamente 5.500 m de profundidade (Castro & Antonello, 2006). O relevo da ilha é bastante acidentado, tendo os pontos mais altos, altitudes de cerca de 600 m. Os ambientes geológicos são caracterizados por rochas vulcânicas fortemente sódico-alcálinas e piroclastos diversos, recifes de algas, praias estreitas, depósitos eólicos móveis (dunas escalonares) e pequenos depósitos fluviais (Castro 2010). Quanto à litoestratigrafia da ilha (Figura 4), segundo Almeida (1961), ela é constituída de seis unidades geológicas individualizadas: Complexo Trindade, Sequência Desejado, Formação Morro Vermelho, Formação Valado, Vulcão do Paredão e Depósitos Holocênicos.

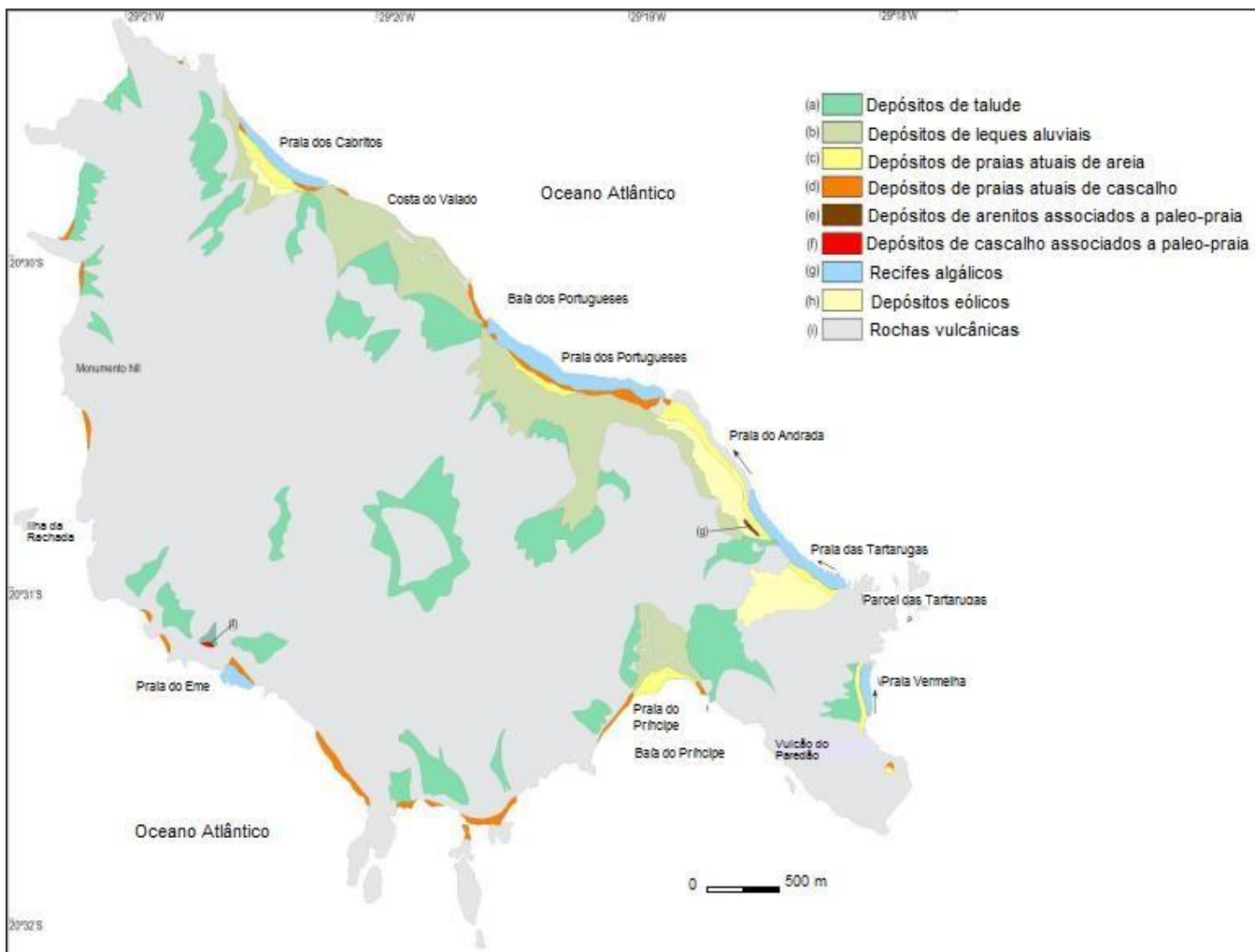
### 2.1.1. DEPÓSITOS HOLOCÊNICOS

Os depósitos holocênicos, contexto geológico das concreções tubulares, constituem uma pequena parcela, em área, das unidades estratigráficas que ocorrem na ilha de Trindade (Castro & Antonello 2006). Almeida (1961) reconheceu e nomeou oito unidades Quaternárias (Figura 5): depósitos de tálus, depósitos de leque aluvial; depósitos costeiros, subdivididos entre as praias atuais de areia e as de cascalho; depósitos arenosos e cascalhosos de *paleo-praia*; recifes algálicos e por fim os depósitos eólicos. Os depósitos de paleo-praia consistem tanto de areia e cascalho como de arenitos e conglomerados. Castro (2010) separou os depósitos

eólicos em depósitos eólicos e depósitos eólicos escalonares (dunas), estes provenientes das contribuições exclusivas de tufos vulcânicos, materiais piroclásticos e recifes algálicos.



**Figura 4:** Mapa geológico da Ilha de Trindade, com a distribuição espacial dos diferentes litotipos das unidades litoestratigráficas da ilha, com exceção dos depósitos holocênicos. Modificado de Almeida (1963).



**Figura 5:** Unidades geológicas quaternárias da Ilha de Trindade. Modificado de Angulo et al., (2015).

#### 2.1.1.1. DEPÓSITOS COSTEIROS

Segundo Angulo et al. (2015), os depósitos continentais correspondem aos de talude e os de leques aluviais, e os depósitos costeiros abrangem as praias, areias eólicas e os recifes algálicos.

Segundo Ulbrich *et al.* (2004), ocorrem 12 praias na ilha, denominadas como praias estreitas por Almeida (1995) e Pires *et al* (2013). Os depósitos de praia abrangem as paleo-praias e as praias atuais, e consistem de areias, cascalhos, arenitos e conglomerados (Angulo *et al.*, 2015).

Praias de cascalho são encontradas majoritariamente nas costas ocidental e meridional da ilha e na costa nordeste nas praias de Valado, Portugueses e Cabritos. Possuem clastos vulcânicos imbricados e arredondados, e bioclastos

calcários (Angulo *et al.*, 2015). As praias arenosas são encontradas, sobretudo, na costa nordeste da ilha, nas praias de Cabritos, Andrada, Tartarugas e Vermelha, e na praia do Príncipe na costa sudoeste. São compostas de bioclastos e litoclastos sedimentares e vulcânicos, variando em suas proporções (Angulo *et al.*, 2015). Em diversas praias arenosas da costa sudeste, como na praia de Andrada, na praia Vermelha, no Parcel das tartarugas e na praia das Tartarugas, ocorrem afloramentos de arenito calcífero (Angulo *et al.*, 2015).

“Os arenitos calcíferos (calcarenitos) consistem principalmente de fragmentos de algas calcáreas com fragmentos de minerais instáveis, como a sanidina. O componente detrítico desses arenitos é idêntico aos das areias das praias atuais da ilha, também semelhante ao componente detrítico dos *beach rocks* calcareníticos formados.” (Clemente *et al.*, 2009)

As *beach rocks* consistem de arenitos cascalhosos com laminação plano-paralela, contém areia cascalhosa bioclástica, com bioclastos caracterizados majoritariamente como fragmentos do recife algálico. Segundo Schaefer *et al.* (2005 *apud* Clemente *et al.*, 2009), a maior parte das areias de praias atuais são produtos de retrabalhamento erosivo das plataformas de calcarenitos que ocorrem circundando a ilha. Essas plataformas, planas, ocorrem restritas em áreas localizadas entre 2 e 3 m acima do nível do mar (Clemente *et al.*, 2009).

Os sedimentos inconsolidados nas praias da ilha são constituídos, também, de minerais pesados. A energia de espraiamento das ondas promove a seleção hidráulica das partículas sedimentares de acordo com a densidade dos grãos, resultando em acúmulos desses minerais pesados na parte superior da face da praia. Estas características foram observadas nas praias do Príncipe e do Eme, na porção sudoeste da ilha, e nas praias das Tartarugas, Portugueses e Túnel no segmento nordeste (Castro 2010).

Os depósitos de areias eólicas ocorrem nas praias expostas aos ventos vindos do leste. Estes se estendem para o interior do continente por aproximadamente 70 metros na praia de Cabritos, 200 metros na de Andrada, limitado por alto relevo, e 450 metros na praia de Tartarugas, aonde uma paleo-baía ocorre e o relevo é mais suave. Consistem predominantemente de grãos carbonáticos biodetríticos e

são encontrados em depósitos de lençóis de areia, frentes de dunas e em dunas cavalgantes (Angulo et al, 2015).

Os recifes algálicos ocorrem nas praias de Cabritos, Portugueses, Andrada, Vermelha e Tartarugas, abaixo do nível de baixa maré. São constituídos principalmente de algas calcárias e tubos vermetídeos (Angulo et al, 2015).

#### **2.1.1.1.1. PRAIA DAS TARTARUGAS**

As concreções tubulares estudadas ocorrem na praia das Tartarugas. Seus depósitos atuais se assentam sobre um paleo recife algálico. Os sedimentos consistem de litoclastos e bioclastos, incluindo alga vermelha calcífera, conchas de molusco e corais (Angulo et al., 2015). Os depósitos de paleo-praia têm espessura de 3,2 a 3,4 metros e apresentam fácies arenosa de estratificação cruzada de baixo ângulo com laminação plano-paralela (Angulo et al., 2015).

Os depósitos da praia das Tartarugas, inserida na face das praias voltadas para o quadrante nordeste-leste, apresenta composição mineral que reflete a rocha adjacente (piroclastos de fonólito e tufos vulcânicos), com magnetitas, concreções hematíticas, zircão e rutilo, com areia de granulação fina a média. (Castro 2010).

Os *beach rocks* da praia das Tartarugas são litoarenitos de acordo com a classificação de Folk (1974), se tratam de grãos de areia média a grossa, com cimento carbonático. São compostos de 80% de fragmentos terrígenos de rochas vulcânicas ou grãos monominerálicos e são classificados como moderadamente selecionadas e submaturas em termos texturais e mineralógicos. Os grãos bioclásticos consistem predominantemente de resquícios de algas vermelhas carbonáticas, equinodermos, gastrópodes, esponjas, bivalves e foraminíferos (Angulo 2015). Cimento isópaco aragonítico acicular reveste as paredes dos espaços entre os grãos. Por vezes o cimento ocorre como calcita fibrosa, botrioidal ou equigranular. Há pequena parcela de porosidade secundária, preenchida por óxidos/hidróxidos.

No interior da praia, próximo ao ambiente de pós-praia, desenvolveu-se uma planície arenosa, aonde predomina o transporte de areia. Neste local os depósitos eólicos não se fazem presentes, e um depósito residual de cascalho, constituído

principalmente de clastos vulcânicos, rizocrecções, conchas de moluscos e fragmentos de caranguejo. Dunas cavalgantes ocorrem nas encostas íngremes que circundam a planície costeira das Tartarugas (Angulo et al., 2015).

## **2.2. FULGURITOS**

Segundo Newcott e Menzel (1993) a formação de fulguritos ocorre quando um raio dispara atingindo e escavando solo arenoso, com sua elevada temperatura, com a consequente fusão do material atingido, adquirindo forma que indica o caminho percorrido pelo raio. Isso ocorre pois, com o término da descarga atmosférica, a temperatura volta rapidamente ao normal, solidificando todo o material anteriormente fundido. Harland (1978 *apud* Pye 1982) afirma que fulguritos são formados quando um raio dispara e derrete localmente sedimentos arenosos não litificados. Pye (1982) descreveu fulguritos quartzosos, como tubos ocos, geralmente medindo 1 a 3 cm de diâmetro e 1 a 5 m, ou mais, de comprimento. Eles podem medir até 5 m ou mais quando intactos, situação essa rara, devido à natureza frágil dos fulguritos. Pedacos fragmentados são comumente encontrados em superfícies de sedimentos arenosos, consequência de exposição a deflação eólica ou erosão fluvial.

Pye (1982) descreveu características gerais apresentadas pelos fulguritos quartzosos: muitos fulguritos intactos afunilam em direção às suas partes inferiores e podem exibir ramificação ou terminar em forma bulbosa distendida; a superfície externa é geralmente relatada com aspecto áspero e amorfo devido à aderência dos grãos de quartzo e por se apresentarem parcialmente fundidos; já a superfície interna do tubo é normalmente suave e vítrea em sua aparência, ocasionalmente projetando agulhas ou fibras de vidro silicoso. As paredes dos tubos normalmente têm menos de 1 mm de espessura, com a cavidade central comumente oval ou irregular. Fulguritos foram descritos com vincos que se estendem subparalelamente ao longo do comprimento do tubo. Segundo Pye (1982), numerosas análises já feitas indicam que fulguritos arenosos consistem na grande maioria de vidro silicoso natural. Este vidro é altamente vesicular, em grande parte dos casos.

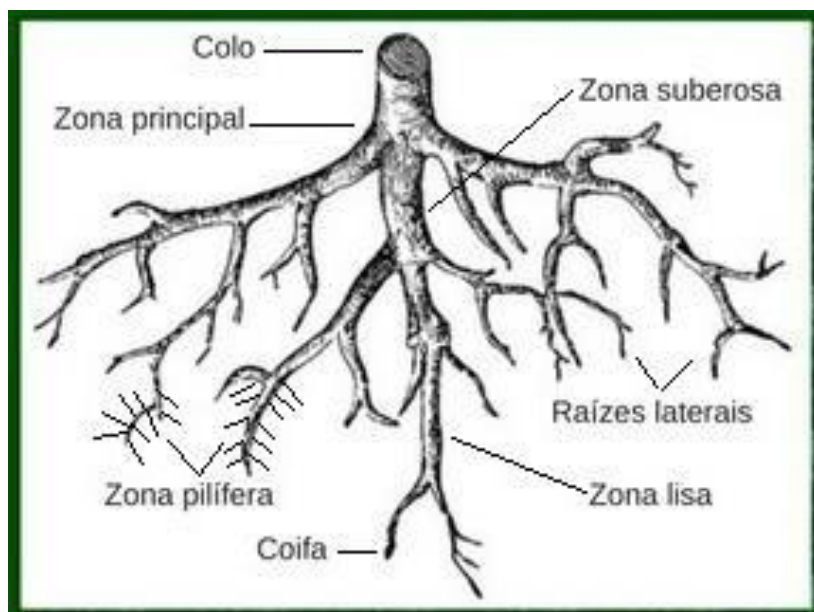
Semelhante às características descritas por Pye (1982), Terra (2016) descreve os fulguritos tendo forma tubular, vítrea por dentro, com aspecto fosco em seu exterior, e muito frágeis.

Na ilha de Trindade, Brasil, foram reportados por Zucolotto *et al.* (1997) os primeiros e únicos fulguritos de composição carbonática, até o momento.

### 2.3 RIZOCREÇÕES

Rizocreções (ou rizoconcreções) são concreções formadas devido à precipitação de material carbonático em torno de raízes (Angulo et al., 2015). Adquirem, em consequência, formas similares às raízes.

A raiz é caracterizada como um órgão cilíndrico (Figura 6), aclorofilado que se distingue do caule por não apresentar divisões representadas por nós e internós, e por não formar folhas ou gemas (<http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br> – Profa. Dra. Neuza Maria de Castro).



**Figura 6:** Constituintes principais de uma raiz. Fonte: <https://www.todamateria.com.br/tipos-de-raizes/>.

A estrutura primária da raiz tem origem no chamado meristema apical, os quais são responsáveis pela diferenciação dos tecidos primários da raiz. O periciclo, camada(s) externa(s) do cilindro vascular da raiz, localiza-se abaixo da endoderme.

Secundariamente, ocorrem as raízes laterais, que são formadas próximas do meristema apical de outra raiz. Devido à origem profunda, a partir de divisões das células do periciclo, são ditas endógenas.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Na pesquisa foram descritos 49 exemplares de concreções, pertencentes ao acervo de pesquisas do projeto da CNPq intitulado como “Paleoníveis marinhos, paleoclima, paleogeografia e riscos geoambientais nas ilhas oceânicas brasileiras”, financiado pelo CNPq. Sete delas são do ano de 2012, e o restante foi coletado no mês de maio deste ano. Foram utilizadas diferentes técnicas de descrição petrográfica visando a compreensão da gênese das concreções tubulares.

A pesquisa foi executada nas seguintes etapas: i) revisão bibliográfica; ii) análise macroscópica; iii) análise microscópica; iv) análises com microscópio eletrônico de varredura (MEV), com uso de espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS).

#### **3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica e compilação de trabalhos visou o contexto geológico da Ilha de Trindade, principalmente dos domínios costeiros, região de ocorrência das concreções carbonáticas, assim como sobre as diferentes hipóteses de gênese das concreções. Esta etapa seguiu do início até o fim da pesquisa, tendo sido necessárias consultas constantes e procura de novos materiais que pudessem auxiliar na compreensão do problema da pesquisa.

#### **3.2. DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

As amostras foram descritas em escala macroscópica para caracterização das concreções, como tamanho, forma, cor, textura e composição, quando possível enxergar a olho nu. Nesta etapa utilizou-se lupa binocular da marca *Zeiss Achromats*, com câmera acoplada para obtenção de fotografias da marca *Axio Cam*, do LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas, e também lupa binocular do Laboratório de Foraminíferos e Micropaleontologia Ambiental (LaFMA).

#### **3.3. DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA**

Foram confeccionadas e descritas dez seções delgadas. A confecção das lâminas ocorreu no LAMIR. As amostras foram impregnadas com resina devido à grande fragilidade das mesmas; as menores foram mergulhadas inteiras em resina para que pudessem ser cortadas posteriormente, e as maiores foram cortadas em

tamanho que coubesse no suporte utilizado na impregnação.

Para a descrição utilizou-se microscópio óptico de luz polarizada transmitida, da marca *Leica DMLP*, com diferentes objetivas, cedido pelo LabESed – Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar. As fotomicrografias foram obtidas com câmera acoplada ao microscópio, da marca *Leica DC 180*. O estudo petrográfico visa caracterizar as relações texturais e composicionais das concreções, bem como porosidade.

As seções delgadas foram confeccionadas com diferentes padrões de corte das amostras, com cortes transversais e paralelos, em relação ao raio principal das concreções. Foram confeccionadas, também, lâminas com diferentes proporções dos constituintes mineralógicos e diferentes tamanhos das concreções. Essa confecção de seções delgadas com variação de padrões de cortes e de características das amostras foi feita a título de posterior comparação.

### **3.4. MEV E EDS**

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) produz imagens com alta ampliação (até 300.000 x) e resolução. As imagens fornecidas possuem caráter virtual, pois o que é visto no monitor do aparelho é a transcodificação de energia emitida por elétrons ([degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm](http://degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm)), ao contrário da radiação de luz associada aos microscópios ópticos convencionais. O método auxiliou na observação em escalas menores, com a caracterização de feições, hábitos e composição do arcabouço, cimento e suas relações.

Nas seções foram utilizadas concreções dos menores tamanhos disponíveis, para que coubessem no suporte de amostras, o qual é esférico e apresenta raio de aproximadamente 3 cm. Em cada seção a amostra era fragmentada em pedaços e estes eram dispostos em diferentes posições no suporte de amostras. As disposições eram definidas de acordo com o que se pretendia observar em cada seção.

O EDS (*energy dispersive x-ray detector*), acessório ao MEV, foi utilizado para caracterização composicional das amostras. Esta técnica consiste na incidência de

feixe de elétrons sobre um mineral. Os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos e, ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida e esta é emitida em comprimento de onda no espectro de raios-x. Um detector mede a energia associada a esse elétron e, tendo os elétrons de um determinado átomo energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar que elementos químicos estão presentes naquele local e assim identificar rapidamente qual mineral está sendo observado (degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISES MACROSCÓPICAS

#### 4.1.1. CARACTERIZAÇÃO DE FORMAS

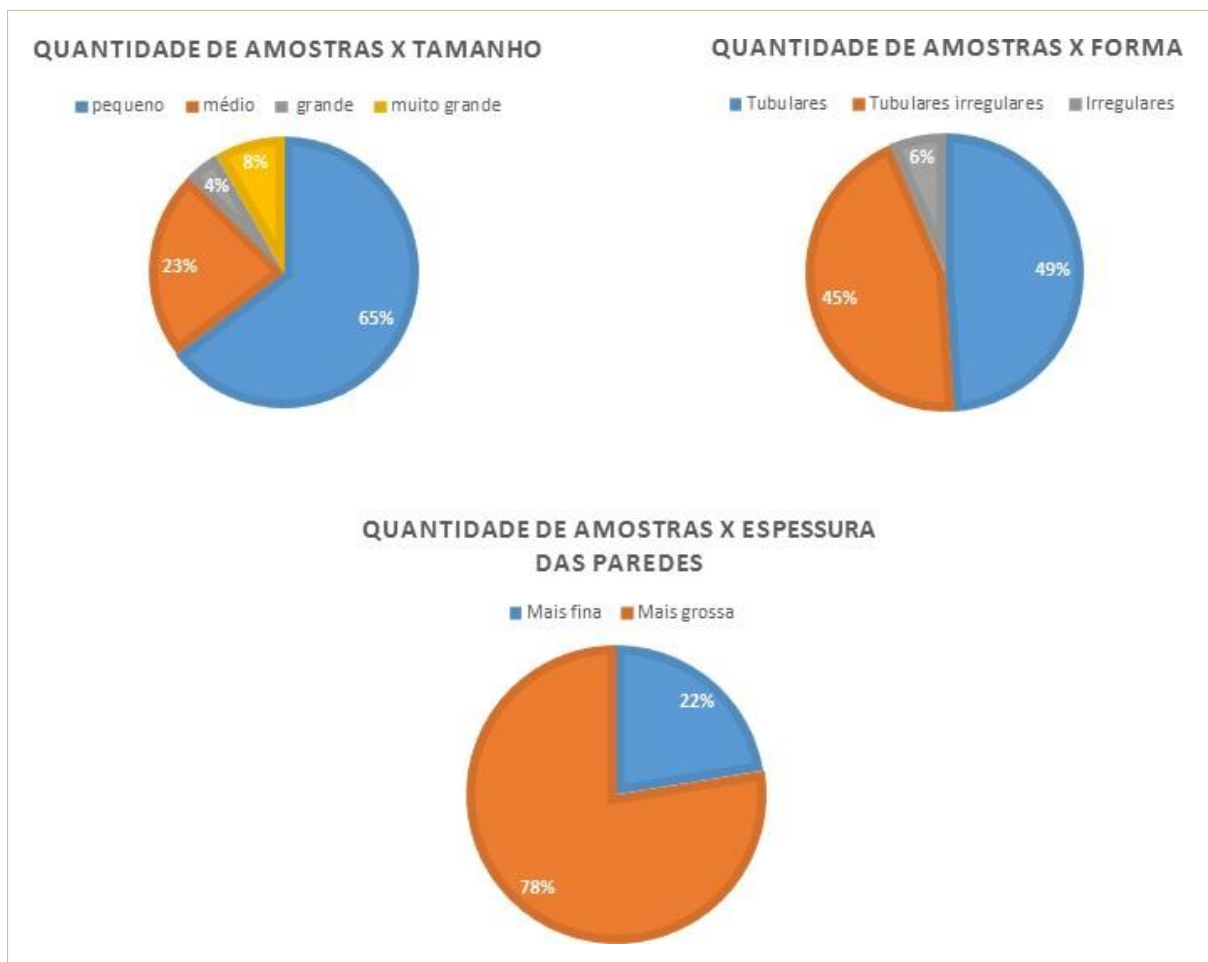
Primeiramente, na etapa de descrição macroscópica, as amostras foram analisadas e catalogadas com uso de planilha de *Excel* de acordo com as características: tamanho, forma e espessura das paredes dos tubos das concreções tubulares.

Em escala macroscópica as concreções são similares em aspectos composicionais, porém variam em tamanho, forma e espessura da parede do tubo (Quadro 1).

**Quadro 1:** Características macroscópicas das concreções catalogadas

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÕES	
TAMANHO	pequeno	comprimento médio = 2,70 cm; largura média = 1cm
	médio	comprimento médio = 3,50 cm; largura média = 1,8cm
	grande	comprimento médio = 6,80 cm; largura média = 3,0cm
	muito grande	comprimento médio= 8,40 cm; largura média= 3,3cm
FORMA	tubulares	-
	tubulares irregulares	protuberâncias ramificações
	irregulares, sem forma	-
ESPESSURA DA PAREDE	mais fina	≤ 2 mm
	mais espessa	2 – 7 mm

Após a confecção da planilha foram elaborados gráficos (Figura 7) para análise visual e apresentação de resultados das variações de cada característica. Os principais resultados são apresentados a seguir.

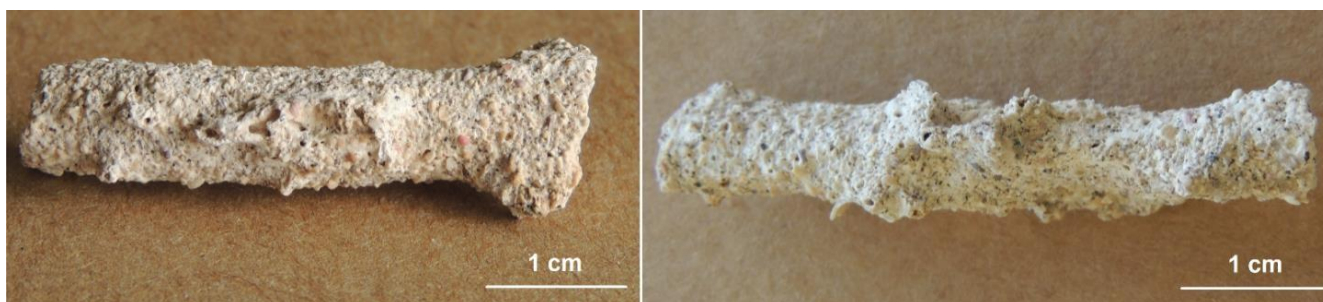


**Figura 7:** Gráficos de setores mostrando quantificação das características catalogadas.

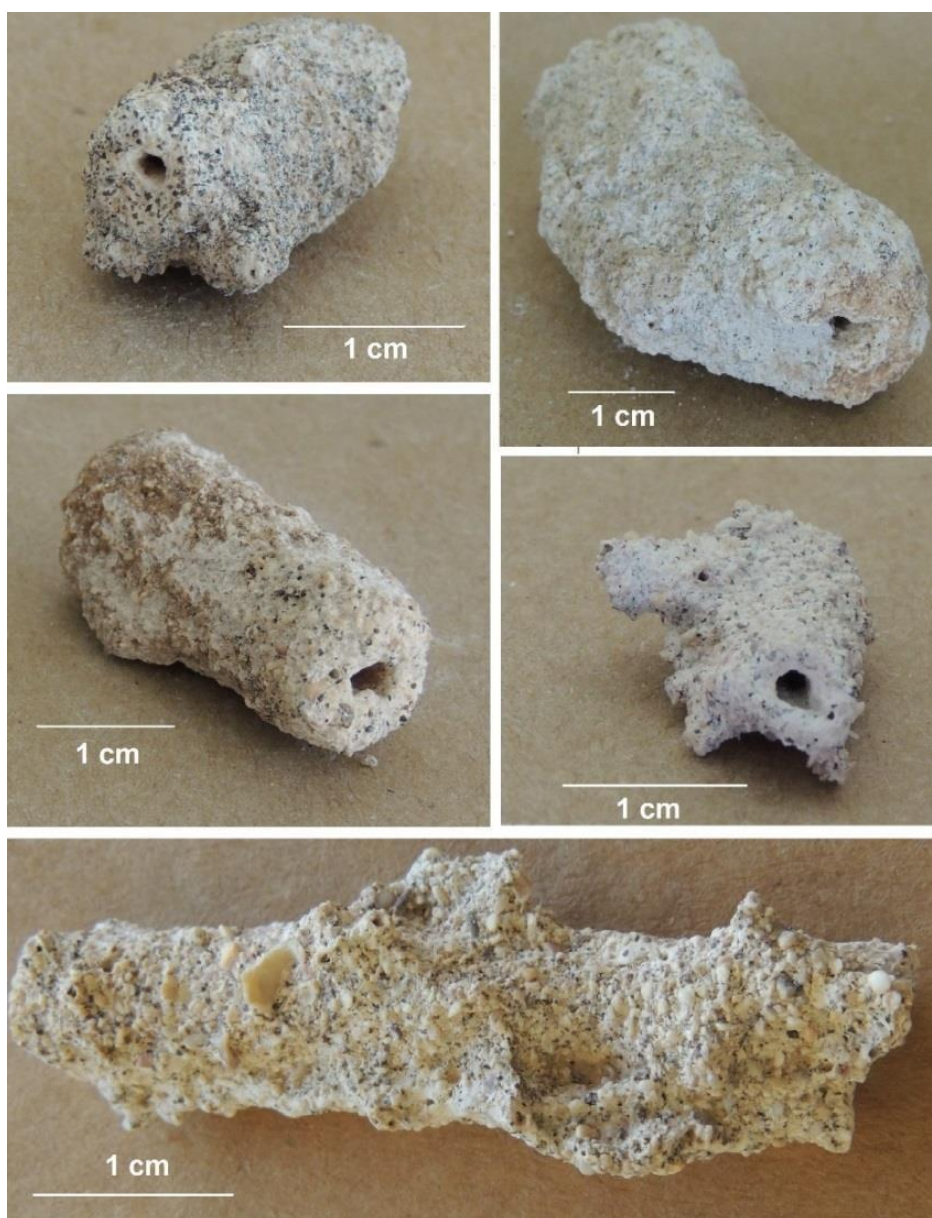
As concreções de tamanho menor são as mais frequentes; há quantidade ligeiramente maior das concreções tubulares regulares e as concreções de paredes mais espessas estão em maior quantidade.

No grupo das concreções tubulares irregulares, ocorrem as com protuberâncias, as com ramificações, e ainda aquelas com os dois tipos de feições. As protuberâncias são majoritariamente milimétricas e mais frequentes nas concreções de tamanho pequeno (Figura 8), apesar de ocorrer, também, nas de tamanhos maiores. A maior parte apresenta orifícios nas extremidades (Figura 8). As ramificações também predominam em amostras de porte pequeno, apresentam

espessuras milimétricas, com casos raros de maior espessura. Todas apresentam orifícios em suas extremidades (Figura 9).



**Figura 8:** Concreções com protuberâncias milimétricas. Na imagem à esquerda é possível observar orifícios bem evidentes nas extremidades de todas as protuberâncias.



**Figura 9:** Concreções com diferentes padrões de ramificações.

Parte das ramificações observadas nas amostras se apresenta na forma de bifurcações em uma das extremidades principais dos tubos (Figura 10). Situação parecida, mas que não se relaciona a ramificações, são os casos de tubos com dois orifícios em uma das extremidades principais, ao invés de apenas um (Figura 10).



**Figura 10:** À esquerda ocorre concreções com bifurcação em uma das extremidades principais do tubo. Na imagem à direita ocorre concreção com dois orifícios em uma das extremidades principais.

Concreções com cavidades totalmente ou parcialmente preenchidas também ocorrem (Figura 11), por vezes com preenchimento de aspecto maciço, e outros casos com preenchimento posterior à formação das concreções, de material argiloso (Figura 11). Algumas amostras foram cortadas ao meio, para observação com lupa binocular, e com isso foi possível confirmar que há em algumas amostras esse preenchimento de aspecto maciço, contemporâneo à formação das concreções.



**Figura 11:** À esquerda ocorre concreção com preenchimento de aspecto maciço. À direita ocorre concreção com preenchimento de aspecto posterior, argiloso.

A análise de dimensões e características macroscópicas serviu de base para uma primeira comparação com a literatura, conforme revisão apresentada no item 2 (Fundamentação teórica).

#### **4.1.2. ANÁLISE PETROGRÁFICA**

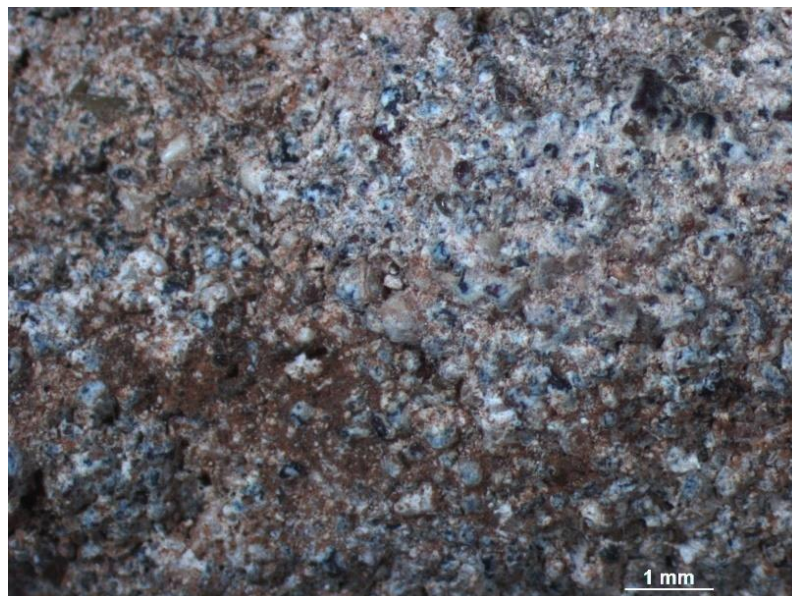
A segunda etapa das análises macroscópicas consistiu em descrição petrográfica com lupa binocular. Foram descritas cor, presença ou ausência de alteração, composição do arcabouço e características texturais.

##### **4.1.2.1. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA**

As concreções tubulares são de cor branco amarelado a acinzentado.

##### *Características texturais*

Arcabouço constituído de grãos de areia fina a média, moderadamente selecionados, com contatos pontuais e planos entre si. Estão cimentados por material carbonático, por vezes com presença de matriz argilosa (Figura 12). Os grãos terrígenos são arredondados a subarredondados e de esfericidade moderada a baixa.



**Figura 12:** Presença de cimento carbonático e matriz argilosa

### *Composição mineral*

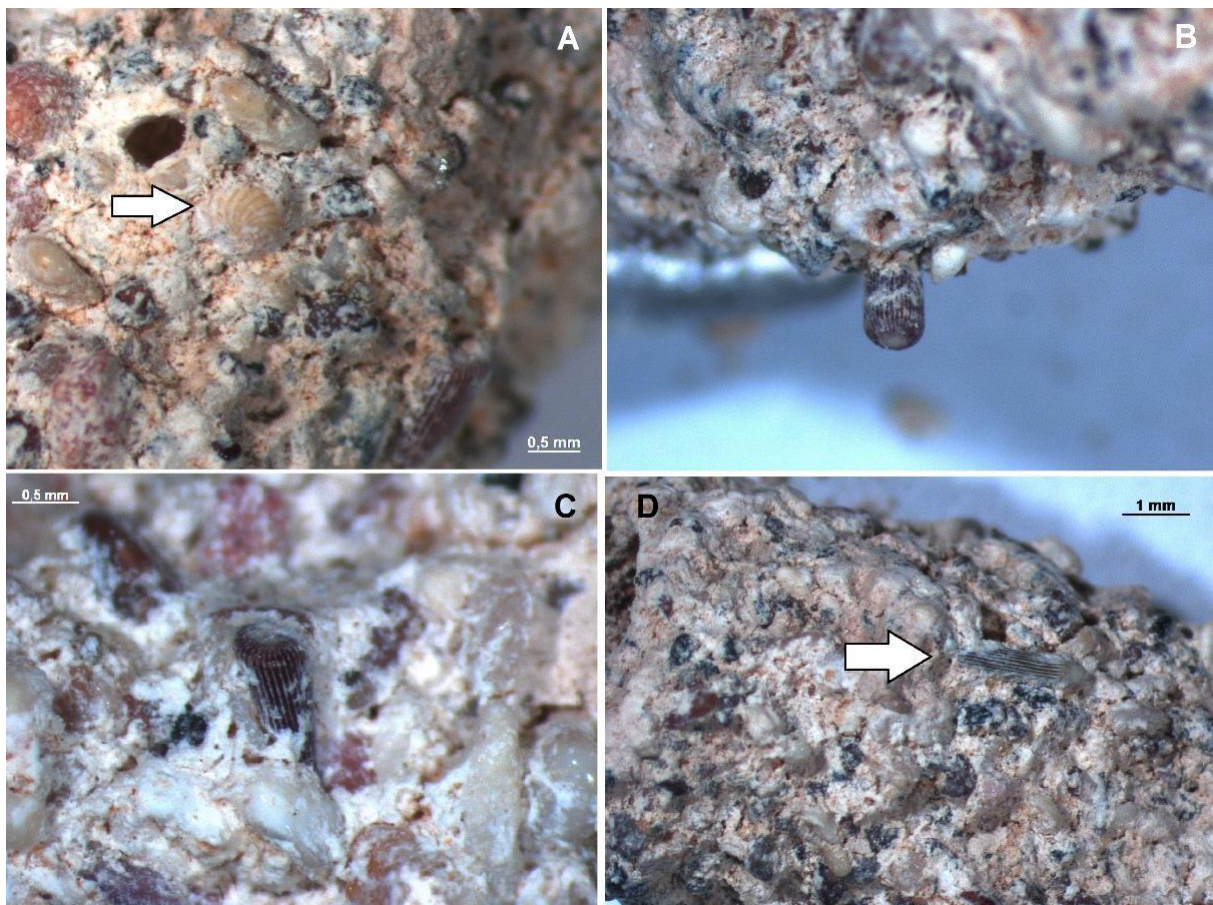
O arcabouço é constituído por minerais máficos e grãos carbonáticos, incluído nestes bioclastos, em porcentagem aproximada de 50% nas concreções. Os grãos de minerais máficos apresentam cor cinza escuro a vermelho escuro acastanhado, com ocorrência menos frequente de cristais esverdeados. São de granulação de areia muito fina a média. Os grãos carbonáticos variam de esbranquiçados até avermelhados e esverdeados, estas últimas cores, características de alguns bioclastos (Figura 13). São finos a grossos. A lupa binocular possibilitou a melhor observação dos bioclastos, incluindo a definição das espécies presentes. Ocorrem fragmentos de bivalves, de gastrópodes, foraminíferos e espinhos de equinoides (Figura 14).

### *Porosidade*

A porosidade é intergranular e ocorre em porcentagem de aproximadamente 5%. São observados orifícios na parede externa das concreções, porém estes não aparentam estar relacionados à porosidade intergranular das amostras, mas sim como um fenômeno que ocorreu posterior à formação destas.



**Figura 13:** Identificação de fragmentos de espinhos de quinoídes de diferentes cores. Fotografia tirada em lupa binocular.



**Figura 14:** A: Fragmento de foraminífero destacado por flecha; B: Espinho de equinoide observado em perfil longitudinal; C: Espinho de equinoide novamente em perfil longitudinal; D: Espinho de quinoide em posição "deitada". Fotografias tiradas em lupa binocular.

### *Observações complementares*

A observação em lupa binocular auxiliou na identificação de feições de dimensões milimétricas que não poderiam ser vistos a olho nu ou apenas com lupa de mão. Como anteriormente mencionado, a identificação de algumas espécies de bioclastos foi viável apenas com o maior aumento fornecido pela lupa. Tratando da relação entre cimento e arcabouço, observou-se que há variação, entre as concreções analisadas, da quantidade de cimento que reveste os grãos e preenche poros, sendo assim, muitas concreções têm cor mais esbranquiçada devido à maior quantidade relativa de cimento. Já outras amostras apresentam maior quantidade de grãos máficos, menor quantidade de cimento e material carbonático em geral, apresentando cor mais escura, acinzentada.

Foi possível fazer distinção entre concreções com maior quantidade de grãos mais grossos e as com maior quantidade de grãos mais finos.

Por fim, feições bastante interessantes para a pesquisa, e que não observáveis a olho nu, são os orifícios internos observados nas cavidades dos tubos (Figura 15), milimétricos, que não se estendem para fora, e que ocorrem em quantidade significativa. Foram registradas também algumas feições que se assemelham a sulcos, ranhuras milimétricas, encontradas também nas cavidades internas dos tubos (Figura 16), alguns se estendendo para fora e sendo observado dos orifícios principais das concreções (Fig 17). Tanto os orifícios como as ranhuras deixam a impressão de algo que seriam vestígios deixados por raízes pretéritas que estiveram presentes no meio dessas cavidades.

## **4.2. CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA**

Neste item serão apresentados os aspectos observados nas seções delgadas descritas.

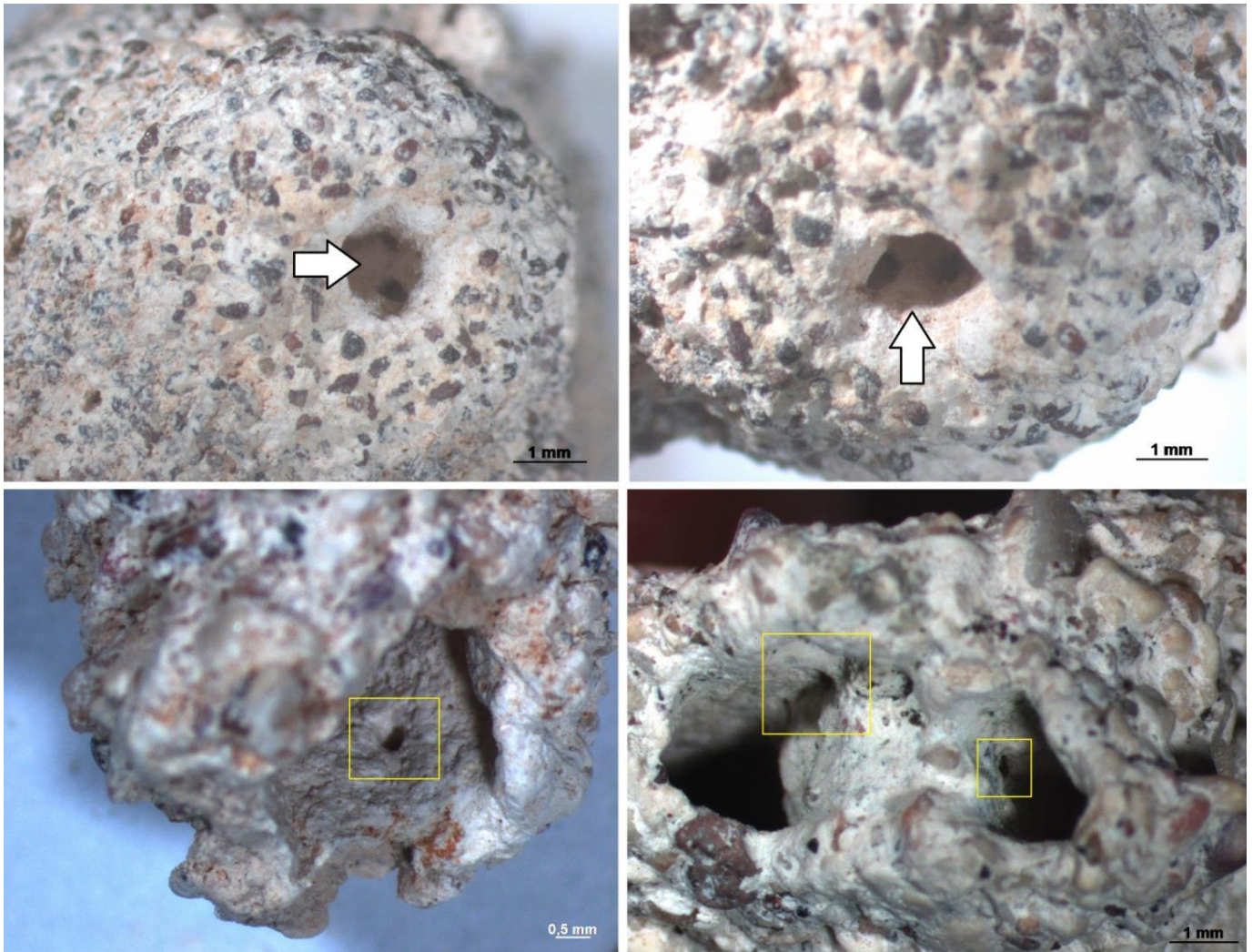
### **4.2.1 CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL:**

Arcabouço com grãos de areia fina a média, moderadamente a bem selecionados. Observa-se localmente contatos planos e pontuais. Os grãos terrígenos são arredondados a subarredondados, de esfericidade moderada a baixa.

#### 4.2.2 ARCABOUÇO

Constituição: 60 - 65%;

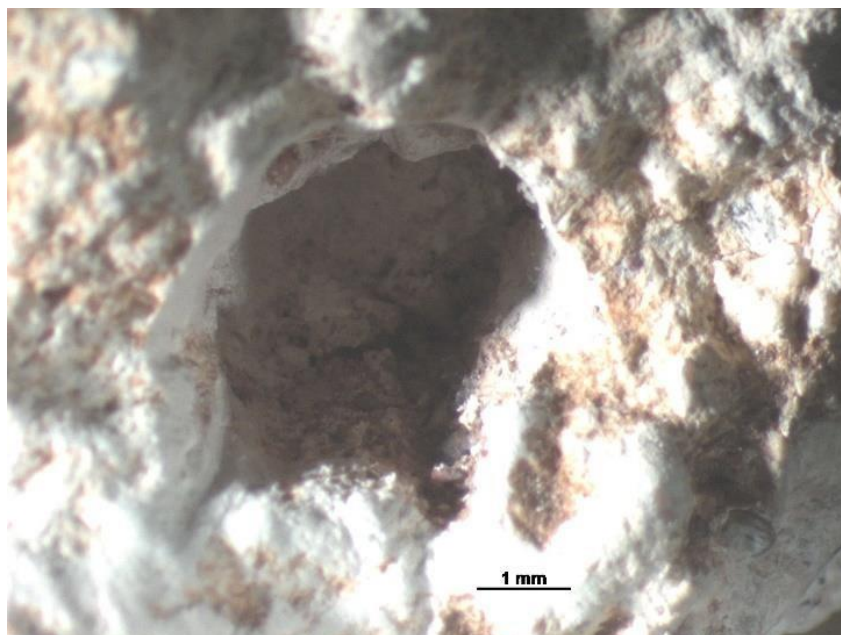
O arcabouço é composto de grãos carbonáticos e máficos. Os grãos carbonáticos consistem de bioclastos e intraclastos. Os minerais máficos consistem de óxidos de alteração, olivina e minerais opacos.



**Figura 15:** Concreções com presença de orifícios milimétricos em suas cavidades. Os orifícios são destacados pelas flechas e pelos quadrados de cor amarela. Fotografias tiradas com lupa binocular.

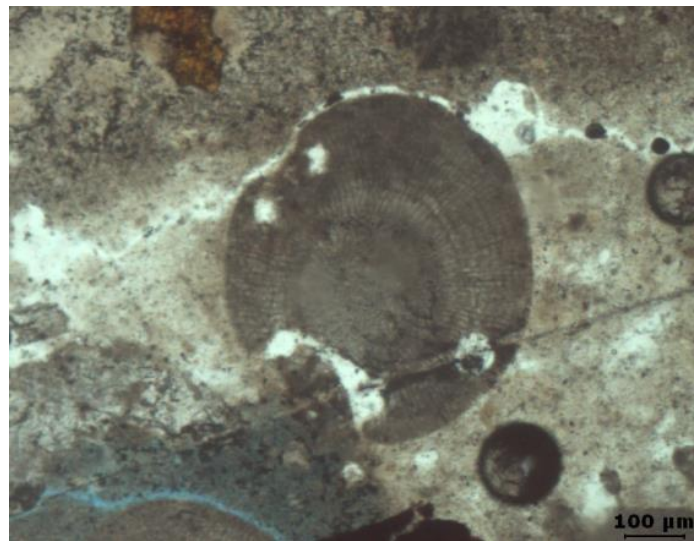


**Figura 16:** Sulcos observados no interior, na cavidade de concreção tubular. Fotografia tirada em lupa binocular.

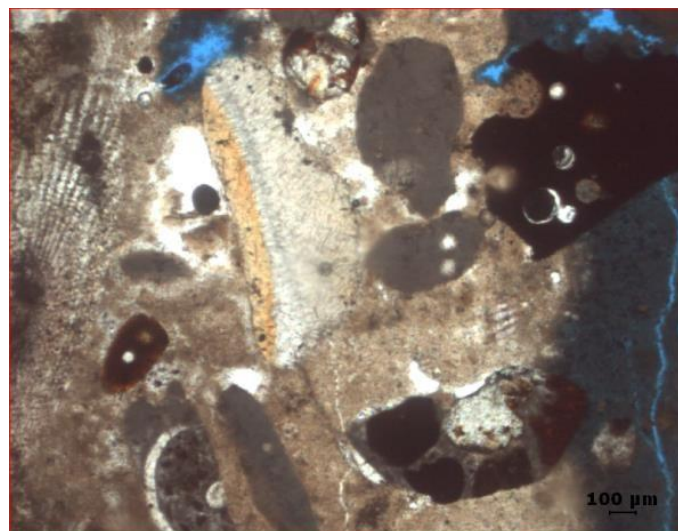


**Figura 17:** Sulco observado dentro de cavidade de concreção, com parte se estendendo para fora. Fotografia tirada em lupa binocular.

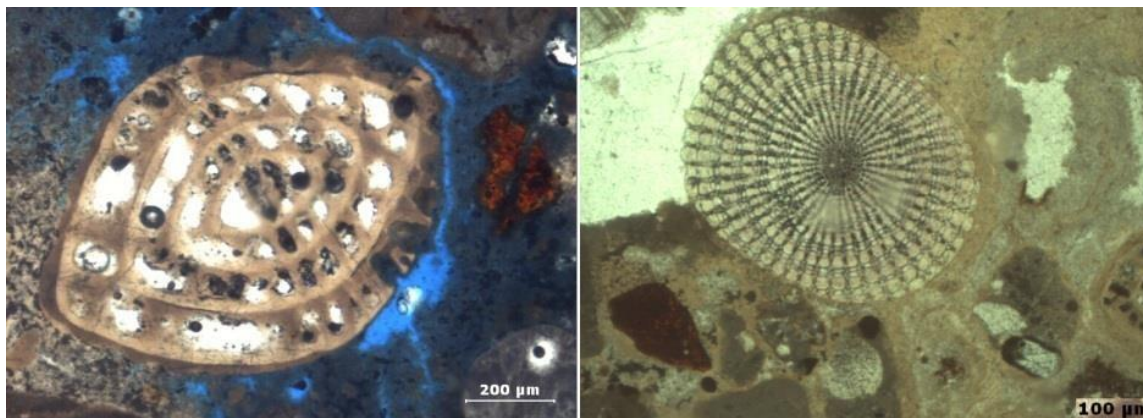
Bioclastos (60%): A alga vermelha é o bioclasto predominante, sendo encontrado em grande porcentagem em todas as seções delgadas descritas (Figura 18). Ocorre ainda espinhos de equinoides, foraminíferos, bivalves e gastrópodes. Ocorrem como grãos finos a médios, principalmente como fragmentos (Figura 19), entretanto são encontrados alguns muito bem preservados (Figura 20). É frequente a recristalização dos bioclastos em cimento ou matriz, em vários casos estando quase que completamente recristalizados, apresentando poucos vestígios de sua forma original (Figura 21).



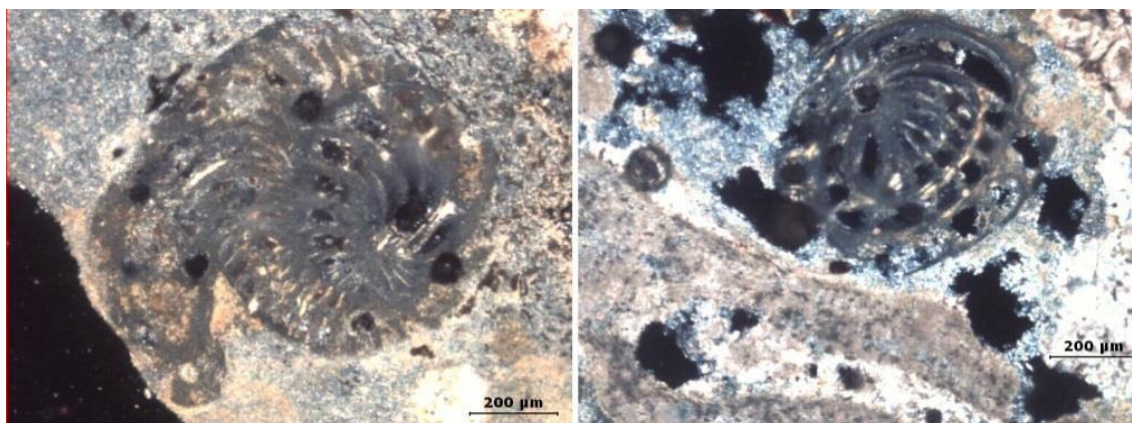
**Figura 18:** Fragmento de alga vermelha ao centro, com estrutura bem preservada, envolta por cimento carbonático e material micrítico. Fotomicrografia tirada em MOP.



**Figura 19:** Fragmentos de bioclastos (majoritariamente no meio), grão terrígeno oxidado (à esquerda) e intraclasto carbonático (canto inferior direito). Fotomicrografia tirada em MOP.



**Figura 20:** Bioclastos muito bem preservados. À esquerda ocorre foraminídeo e à direita ocorre espinho de equinoide. Fotomicrografia tirada em MOP.



**Figura 21:** Bioclastos intensamente recristalizados e micritizados. Os dois bioclastos tratam-se de foraminídeos, porém de diferentes espécies. Fotomicrografia tirada em MOP.

Intraclastos (traço a 5%): Intraclastos carbonáticos com inclusões de bioclastos e de cristais máficos como olivina e óxidos (Figura 22).

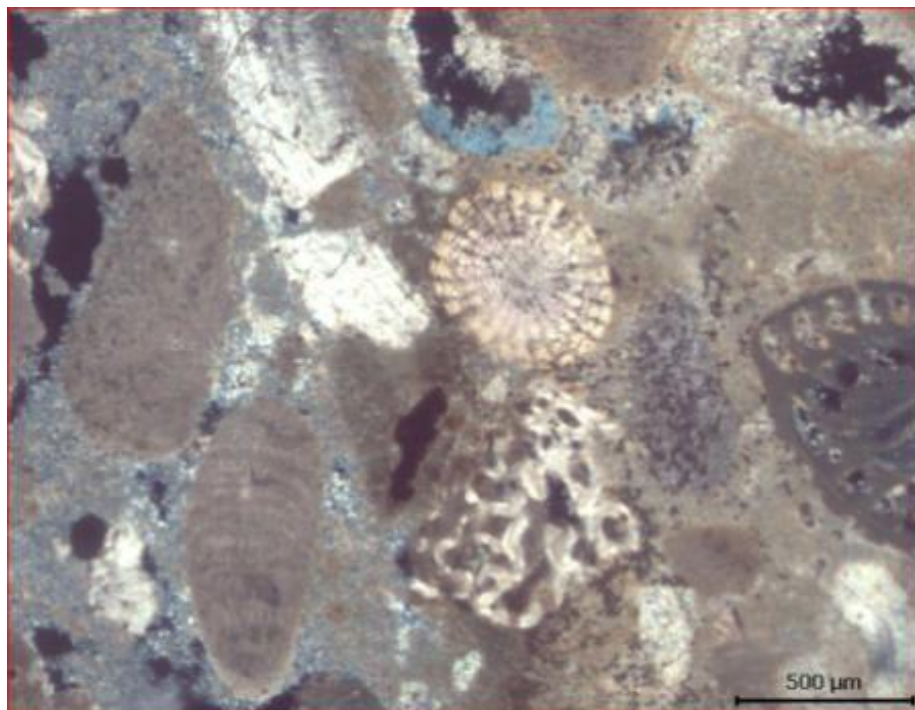


**Figura 22:** Intraclasto carbonático com inclusões de olivina, bioclastos e fragmentos líticos oxidados. Está envolto por cimento microespático granular. Fotomicrografia tirada em MOP.

Grãos máficos (5-20%): Ocorrem predominantemente na forma de óxidos resultantes de alteração de fragmentos líticos, de cor marrom escuro, quase opaco, variando entre cor avermelhada até laranja clara. Neste grupo ocorrem também olivinas anédricas a subédricas, que ocorre como traço na maioria das lâminas. Por último, os cristais opacos são os que ocorrem como traço nas lâminas. Também aparentam ser alteração de fragmentos líticos, com rara ocorrência de cristais quase euédricos, que poderiam ser os minerais opacos citados no item 2(Fundamentação teórica).

#### 4.2.3. CIMENTO/MATRIZ

Os espaços intergranulares são revestidos por cimento microespático, granular (Figura 22). Há variações de granulação (Figura 23) e é bastante frequente a observação de recristalização do cimento para material micrítico e também recristalização tanto de cimento espático quanto de micrita dentro de bioclastos. Esta micrita acumula-se ainda em bordas de grãos e em cavidades de bioclastos. Localmente ocorre cimento fibroso dentro de poro de grão.



**Figura 23:** Destaque para transição brusca de cimento microespático, mais cristalino (à esquerda), para material mais micrítico, turvo (à direita). Fotomicrografia tirada em MOP.

#### **4.2.4 POROSIDADE**

Ocorre porosidade primária intergranular, em porcentagem aproximada de 3-5%. Observou-se localmente nível de mudança brusca de porosidade, situado em meio à borda e à cavidade do grão.

#### **4.3 ANÁLISES COM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV) E EDS**

Foram realizadas, no total, quatro sessões de MEV. Duas concreções selecionadas foram analisadas detalhadamente, a amostra Tt01 nas duas primeiras sessões e a amostra Tt02 nas duas últimas sessões. As duas pertencem ao grupo dos menores tamanhos de concreções. As sessões em MEV auxiliaram com caracterização mais detalhada do cimento e matriz, fornecendo nas imagens maiores detalhes de textura dos mesmos.

Os principais tipos de revestimento e preenchimento dos espaços intergranulares foram material micrítico e cimento microgranular. A associação entre esses dois tipos de materiais foi frequentemente observada. A textura predominante é granular, de cimento e matriz, porém observou-se localmente, associado a orifício na parede externa da concreção, cimento de textura fibrosa (Figura 24). Em algumas porções dos fragmentos observou-se porosidade alta, porém predomina um volume denso de matriz e cimentos carbonáticos.

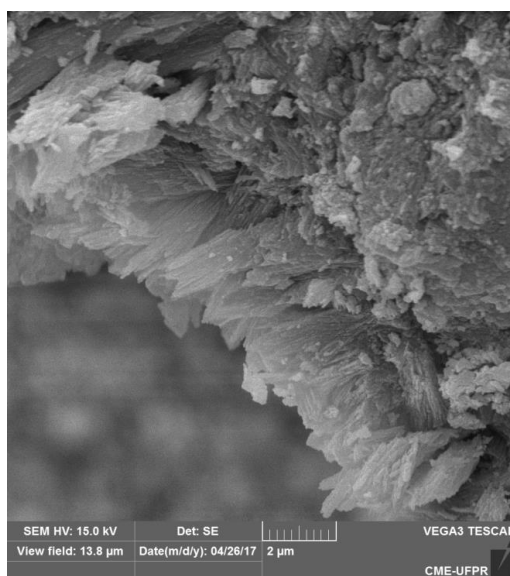
O arcabouço é constituído por grãos de areia fina a média, localmente grossa. Foram encontrados alguns possíveis bioclastos, e do restante tratam-se de grãos bem arredondados e sub esféricos.

Análises com EDS auxiliaram na identificação da composição mineral de partículas, matriz e cimentos.

De diferente, na amostra Tt01 observaram-se cristais de halita associados ao cimento e à matriz da concreção. Ocorrência de muitas partículas cúbicas de halita, de aproximadamente 0,06 mm, corroídas, que por vezes parecia estar preenchida

em suas cavidades por material micrítico. Em outros casos esses cristais de halita se apresentavam amorfos e de maior tamanho (aproximadamente 0,2 mm). Foi feita análise de EDS em cristais de halita, com foco nestes e focos na matriz que ocorria em volta, a título de comparação de composições. Com a análise de EDS foi confirmado que se tratava de cristais de halita em meio a material carbonático.

Feições descritas com potencial de se tratarem de organismos, como pequenos filamentos, alguns parecendo se projetar de grãos do arcabouço (Figura 25), enquanto outros parecem estar “flutuando”.



**Figura 24:** Ocorrência local de cimento de textura fibrosa, associado a orifício em parede externa da concreção,



**Figura 25:** Possível filamento biológico projetado de grão do arcabouço.

## 5. DISCUSSÃO

As concreções tubulares analisadas e descritas petrograficamente apresentam as seguintes características predominantes: A maioria mede entre 3 a 5 mm de comprimento, de forma tubular ou tubular irregular com protuberâncias e ramificações milimétricas; a maior parte das amostras é oca, sem preenchimentos, contudo quando preenchidas, o material aparenta ser posterior à formação das concreções, mas sim argiloso diferente do material formador das concreções; as paredes dos tubos costumam ser mais espessas, de 3 mm em média.

A caracterização composicional das concreções é dada por constituição de arcabouço bioclástico com contribuição de grãos terrígenos, em grande parte oxidados, e intraclastos carbonáticos. Os grãos são revestidos de cimento microgranular e matriz carbonática argilosa.

### 5.1. HIPÓTESE DE GÊNESE ASSOCIADA A FULGURITOS

Pye (1982), quando descreve as condições essenciais para formação de fulguritos, afirma que estes não podem se formar em areias predominantemente calcárias, e que condição favorável para sua formação é de corpos de areias ricas em quartzo e relativamente bem drenadas. O primeiro contra ponto se encontra nessa informação, visto que as concreções tubulares são majoritariamente carbonáticas. Inclusive, é de se estranhar que, entre tantas ilhas já estudadas em vários países, teria sido reportado pela primeira vez, e como ocorrência única no Brasil, fulguritos de material carbonático, visto que, segundo Pye (1982), fulguritos arenosos consistem na grande maioria em vidro silicoso natural.

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

As concreções carbonáticas estudadas são de origem marinha, visto que apresentam em sua composição bioclastos que vivem apenas nesse tipo de ambiente. São predominantemente carbonáticas, de arcabouço rico em bioclastos carbonáticos de diversas espécies e revestido de material que varia entre cimento carbonático microgranular e matriz carbonática.

A hipótese de fulguritos é inviável pelo fato que, primeiramente, uma das principais características dos fulguritos é o de material “derretido”, e as concreções estudadas apresentam material carbonático de duas formas físicas, a de cimentação e a de arcabouço de bioclastos entre outros grãos carbonáticos. Se esperaria um material inteiramente fundido se houvesse atuado condições de temperaturas extremas as quais se associam aos raios e suas descargas elétricas.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. de 1961. Geologia e petrologia da Ilha da Trindade. *Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*.
- Almeida, F. F. M. de. 1995. Registro de vulcanismo cenozoico no Atlântico Sul. *SIGEP 92*.
- Almeida, F. F. M. 2006. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terrae Didactica*, **2**(1), 3-18
- Angulo, R. J., Souza, M. C., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Fernandes, L. A., Guedes, C. C. F., Oliveira, L. H. S. de, Manzolli, R. P., Disaró, S. T., Ferreira, A. G., Martin, C. M. 2015. Quaternary sea-level changes and coastal evolution of the Island of Trindade, Brazil. No Prelo.
- Castro, J. W. A., & Antonello, L. L. 2006. Geologia das ilhas oceânicas brasileiras. *Ilhas oceânicas brasileiras da pesquisa ao manejo*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 27-58.
- Castro, J. W. A. 2010. Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: uma visão da geologia ambiental. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **10**(3), 303-319.
- Clemente, E. D. P., Schaefer, C. E. G., Soares Oliveira, F., Albuquerque Filho, M. R., Válka Alves, R., Médice Firme Sá, M., ... & Resende Corrêa, G. 2009. Topossequência de solos na ilha da Trindade, Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **33**(5).
- Gibson, S. A., Thompson, R. N., Weska, R. K., Dickin, A. P., & Leonardos, O. H. 1997. Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **126**(3), 303-314.
- Pires, G. L. C., Mansur, K. L., & Bongioiolo, E. M. 2013. Geoconservação da Ilha da Trindade: Principais Aspectos e Potencial de Uso. *Anuário do Instituto de Geociências*, **36**(2), 96-104.

Pye, K., 1982. SEM observations on some sand fulgurites from northern Australia. *Journal of Sedimentary Research*, **52**(3).

Ulbrich, M. N. C., Marques, L. S., Lopes, R. P. 2004. As ilhas vulcânicas brasileiras: Fernando de Noronha e Trindade. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B.de B. Neves, coords. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca. p. 555-573.

Zucolotto M.E., Alves R.J.V., Antonello L.L. 1997. Calcareous Sand "Fulgurites" from Trindad Island. *Acta Microscopica*, **6**(A): 356-35

