

**Alvaro Balmant Pessamilio**

**CARACTERIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS  
DETRÍTICOS PESADOS DAS PRAIAS DA ILHA DA TRINDADE -  
BRASIL**

**Trabalho Final de Curso**

**(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2018



UFRJ

**Alvaro Balmant Pessamilio**

**CARACTERIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS DETRÍTICOS PESADOS  
DAS PRAIAS DA ILHA DA TRINDADE - BRASIL**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Prof. João Wagner Alencar Castro, Dsc.

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2018

ALVARO, Balmant Pessamilio

**Caracterização e distribuição dos minerais detríticos pesados das praias da ilha da Trindade –Brasil / Alvaro Balmant Pessamilio** - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2018.

56 p.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2018.

Orientador: Prof. João Wagner Alencar Castro, Dsc.

1. Geologia. 2. Geologia Costeira – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Prof. João Wagner Alencar Castro, Dsc. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Caracterização e distribuição dos minerais detríticos pesados das praias da ilha da Trindade –Brasil.

Alvaro Balmant Pessamilio

CARACTERIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS DETRÍTICOS PESADOS DAS  
PRAIAS DA ILHA DA TRINDADE - BRASIL

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentado como requisito necessário para  
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Prof. João Wagner Alencar Castro, Dsc.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Por:

---

Orientador: Prof. João Wagner Alencar Castro, Dsc.  
(UFRJ)

---

Fabiano Richard Leite Faulstich, Dsc.  
(Museu Nacional/UFRJ)

---

Gustavo Luiz Campos Pires, Dsc. (UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2018



## **Agradecimentos**

Primeiramente aos meus pais, pois sem eles não seria nada do que sou hoje. Por todos os incentivos, por estarem sempre do meu lado me colocando para cima, acreditando em mim mais do que eu mesmo.

Aos meus colegas de graduação por todas as viagens de campo, pelo estudo em conjunto, por tudo durante estes 5 anos de graduação.

Ao meu orientador, Prof. João Wagner por ter aberto as portas da ciência e do LAGECOST com a iniciação científica, desde agosto de 2015, sempre colocando desafios e oportunidades em minhas mãos.

À Marinha do Brasil, especialmente à tripulação do Navio Patrulha Oceânica Amazonas, pelo transporte até a Ilha da Trindade.

Ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM e o Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentar e Ambiental – LAGECOST (Museu Nacional/ UFRJ) por disponibilizarem infraestrutura para as análises deste trabalho.

Aos meus companheiros de laboratório, Gustavo Barbosa, pela companhia durante toda a expedição à Ilha da Trindade, e Caíque Cabral, pela ajuda em algumas etapas deste trabalho.

Ao Prof. Fabiano Faulstich pela paciência e explicações sobre alguns equipamentos fundamentais para a elaboração deste trabalho.

À Vivian Moutinho pelo companheirismo e paciência imprescindíveis, além da ajuda em diversas etapas do trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica durante todo o período no qual fui aluno do LAGECOST.

*“Para fazer bem as coisas é necessário: primeiro, o amor, segundo, a técnica” - Antoni Gaudí*

## Resumo

PESSAMILIO, Alvaro Balmant. **Caracterização e distribuição dos minerais detríticos pesados das praias da Ilha da Trindade – Brasil**. 2018. 53p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A ilha da Trindade localizada a 1200 km do litoral de Vitória-ES, é composta por rochas vulcânicas a subvulcânicas subsaturadas em sílica que foram formadas em 5 eventos vulcânicos distintos. Os minerais pesados em sedimentos arenosos frequentemente são utilizados como indicadores para determinar a proveniência e processos de distribuição. O trabalho tem como objetivo estudar os minerais pesados detríticos das areias de praias da ilha da Trindade, baseado nas composições minerais, distribuição e processos hidrodinâmicos. Como procedimento metodológico, foi coletado material do pós-praia de cinco praias, denominadas de Túnel, Tartarugas, Andradas, Cabritos e Príncipe. Em laboratório realizou-se a análise granulométrica, concentração por bateia, separação por líquido denso e a separação magnética para separar o material em diferentes amperagens para identificação dos minerais por estereomicroscópio óptico e, quando necessário, por espectroscopia Raman. Foram descritos grãos de olivina, hematita, piroxênio, titanita, apatita, zircão, biotita, ilmenita e magnetita, além de fragmentos de rocha e grãos de carbonato com inclusões de minerais pesados. Cruzando dados estatísticos da análise granulométrica com aspectos texturais dos grãos, constatou-se que o transporte dos grãos até a área de deposição foi curto e rápido, pois alguns minerais instáveis às ações do intemperismo químico, encontram-se prismáticos. A variação de concentração de alguns minerais na praia dos Cabritos, deve-se a presença de diques e rochas piroclásticas que não apresentam olivina em sua composição, aumentando assim a concentração de piroxênio, titanita e magnetita. Enquanto na praia do Príncipe a concentração elevada de magnetita foi caracterizada pelos processos de distribuição hidrodinâmicos. Este trabalho serve como ponto de partida para identificar as rochas fontes dos minerais pesados das praias dessa ilha.

Palavras-chave: Minerais pesados, Ilha da Trindade, depósitos de *placers*.

## Abstract

PESSAMILIO, Alvaro Balmant. **Characterization and distribution of heavy detrital minerals from the beaches of Trindade Island - Brazil.** 2018. 53p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Trindade Island, located 1200 km from Vitoria-ES coast, is composed by volcanic to subvolcanic rocks formed in five volcanogenic successions. Heavy minerals in sand sediments are often used as indicators of provenance and distribution process. This work aims to study heavy detrital minerals from Trindade island beaches, based on mineral assemblage and distribution. As a methodological procedure, samples were collected in field from the beach environment of five beaches: Túnel, Tartarugas, Andradas, Cabritos and Príncipe. In the laboratory were performed granulometric analysis, concentration, dense liquid separation and magnetic separation. After this sample preparation, the minerals were characterized by optical stereomicroscope and by Raman spectroscopy when necessary. Grains of olivine, hematite, pyroxene, titanite, apatite, zircon, biotite, ilmenite and magnetite, as well as rock fragments and carbonates with heavy minerals inclusions, were described. The correlation of statistical grain size analysis with textural aspect of the grains, registered a short and fast transport from the source area to the deposit, since some unstable minerals present prismatic habit. Cabritos beach shows an increased concentration of magnetite, pyroxene and titanite compared to other beaches. This deviation is due to the presence of olivine-free dykes and pyroclastic rocks near this beach. High concentration of magnetite in Príncipe beach, however, comes from hydrodynamic distribution processes. This work is a starting point to identify the source rocks of heavy minerals from the Trindade island beaches.

Key-Words: Heavy minerals, Trindade island, placer deposits

## Lista de figuras

Figura 1 - A – Imagem de satélite de parte da América do Sul destacando-se a localização da ilha da Trindade; B – Imagem de satélite da Ilha da Trindade. ....	2
Figura 2 - Foto da Ilha da Trindade vista do quadrante NE. POIT - Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade.....	3
Figura 3 – Imagem de satélite com a localização das praias escolhidas para análise dos minerais detríticos pesados, onde: A- Praia dos Cabritos; B- Praia dos Andradas; C- Praia das Tartarugas; D- Praia do Túnel; E- Praia do Príncipe.....	4
Figura 4 - Localização da ilha da Trindade na Cadeia Vitória-Trindade e perfil esquemático dos montes submarinos que compõe a cadeia, com destaque para a ilha da Trindade e Martin Vaz. Modificado de Almeida (2006).....	5
Figura 5 - Mapa geológico da ilha da Trindade. Modificado de Pires, <i>et al.</i> (2016). ....	7
Figura 6 - Mapa Geomorfológico da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil. ....	10
Figura 7 - Zonas do sistema praias. Modificado de Komar (1976). ....	11
Figura 8 - Diagrama esquemático mostrando os processos controladores dos depósitos de minerais pesados a partir da área fonte. Modificado de Morton & Hallsworth (1999). ....	12
Figura 9 - Desenho esquemático ilustrando um mineral pesado pequeno (cinza) em comparação com um grão leve maior. Como a partícula cinza apresenta tamanho menor e um ângulo pivotante maior, esse sedimento apresenta uma resistência maior ao transporte quando comparado com o outro grão. $\Phi$ corresponde ao ângulo pivotante e $v$ à velocidade do fluxo de transporte. Extraído de Komar (2007).....	14
Figura 10 – Fotos das praias da ilha da Trindade onde foram coletadas amostras do ambiente de praia. A - Praia do Túnel; B - Praia das Tartarugas; C - Praia dos Andradas; D - Praia dos Cabritos; E - Praia do Príncipe. ....	16
Figura 11 - Fluxograma mostrando as diferentes etapas do processo de preparação das amostras para análise dos grãos em estereomicroscópio. ....	18
Figura 12 - Processo de concentração por bateia. A – Concentrado obtido no centro da bateia e o material não concentrado na bacia azul sob a bateia; B – Concentrado obtido por bateia armazenado e identificado.....	19
Figura 13 - Capela com montagem para separação por líquido denso. A – funil de separação; B – suporte do funil de separação; C – minerais leves; D – líquido denso; E – minerais pesados; F – torneira do funil de separação; G – funil de filtração; H – béquer de captação do líquido denso. ....	21
Figura 14 - A – separação magnética por imã de ferrite; B – material não atraído pelo imã; C – material ferromagnético (atraído pelo imã); D – imã de ferrite.....	22
Figura 15 - A – separador isodinâmico Frantz; B – material não atraído pelo imã de ferrite ou pela amperagem anterior sendo colocado no Frantz; C – material não atraído à amperagem selecionada; D – material atraído à amperagem selecionada.....	23
Figura 16 - A: Microsonda Raman; B: interface do <i>software</i> CrystalSleuth na análise de um grão de titanita, onde o espectro preto foi obtido através da espectroscopia Raman e o espectro azul é o espectro presente no banco de dados do programa correspondente à titanita, apresentando uma semelhança de 95% entre os espectros.....	24
Figura 17 - Variação granulométrica das praias da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil....	25
Figura 18 - A: fotomicrografia de grãos de apatita da praia das Tartarugas; B: análise entre o espectro de uma apatita, analisada por espectroscopia Raman, e o do banco de dados em azul. ....	26
Figura 19 – Fotomicrografias de grãos de carbonato. A – grãos de carbonato com ou sem inclusões de outros minerais da praia do Túnel; B – carbonato envolvendo um grão de olivina	

da praia do Túnel; C – bioclasto carbonático envolvendo um grão de piroxênio da praia do Túnel; D – carbonato envolvendo um grão de hematita da praia do Príncipe; E – carbonato castanho da praia das Tartarugas.....	27
Figura 20 - Fotomicrografia de grãos recobertos por uma capa hematítica na praia do Príncipe.....	28
Figura 21 - Fotomicrografia de grãos de ilmenita da praia do Príncipe.....	28
Figura 22 - Fotomicrografias de grãos de olivina. A – grãos prismáticos de olivina incolor com inclusões da praia do Príncipe; B – grãos de olivina verde subarredondados a arredondados da praia do Túnel; C – grãos castanhos de olivina prismáticos e subarredondados da praia do Túnel; D – grãos angulosos a subarredondados de olivina verde da praia do Príncipe.....	29
Figura 23 - A – fotomicrografia de grãos prismáticos pretos de piroxênio da praia do Príncipe; B – fotomicrografia de grãos prismáticos castanhos de piroxênio da praia dos Cabritos; C- espectro em preto obtido através da espectroscopia Raman em um grão de piroxênio amarelo. A linha azul corresponde ao espectro do piroxênio do banco de dados do software CrystalSleuth. ....	30
Figura 24 - A – fotomicrografia de grãos de titanita da praia dos Cabritos; B – o espectro em preto adquirido de um grão de titanita por espectroscopia Raman e em azul, o espectro da titanita do banco de dados do <i>software</i> CrystalSleuth.....	31
Figura 25 - Análise do espectro de um zircão rosa transparente, adquirido por espectroscopia Raman, representado pela linha preta. A linha azul corresponde ao espectro do zircão presente no banco de dados do software CrystalSleuth.....	31
Figura 26 - Fotomicrografia de fragmentos líticos. ....	32
Figura 27 - Gráfico da porcentagem dos minerais pesados e carbonatos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil. (g) – peso em gramas do concentrado. ....	33
Figura 28 - Gráfico da porcentagem total dos concentrados das praias na Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil. (g) – peso em gramas do concentrado. ....	34

## Lista de quadros

Quadro 1 – Ordem de estabilidade química dos minerais, Pettijohn et al. (1973). ....	13
Quadro 2 - Coordenadas dos pontos de coleta da face da praia nas praias de estudo. ....	17
Quadro 3 – Classificação dos resultados estatísticos nos parâmetros de Folk & Ward (1957), segundo Camargo (2006), utilizando a escala granulométrica de Wentworth (1922). ....	26
Quadro 4 – Porcentagem dos minerais pesados nas praias de estudo. Tr = traço (<1%). ..	33
Quadro 5 – Porcentagem total dos concentrados analisados. Tr = traço (<1%). ....	34

## Sumário

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
<i>Abstract</i> .....	viii
Lista de figuras .....	ix
Lista de quadros .....	xi
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Localização e acesso .....	1
1.2 Objetivos .....	3
2 CONDICIONANTES GEOLÓGICOS .....	5
2.1 Contexto Geotectônico .....	5
2.2 Geologia da ilha da Trindade .....	6
2.3 Geomorfologia .....	9
2.4 Sedimentação Costeira .....	10
2.5 Concentração de minerais pesados .....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3.1 Etapa de Campo .....	14
3.2 Etapa de Laboratório .....	15
3.2.1 Análise granulométrica .....	16
3.2.2 Preparação das amostras .....	16
3.2.2.1 Concentração por bateia .....	17
3.2.2.2 Separação por líquido denso .....	18
3.2.2.3 Separação magnética .....	20
3.2.3 Estereomicroscópio .....	21
3.2.4 Espectroscopia Raman .....	22
3.2.5 Análise semi-quantitativa dos minerais pesados .....	22
4 RESULTADOS .....	23
4.1 Análise granulométrica .....	23
4.2 Descrição dos minerais pesados .....	24
4.3 Análise semi-quantitativa dos minerais pesados .....	30
5 DISCUSSÃO .....	33
6 CONCLUSÃO .....	36
Referências bibliográficas .....	37
Glossário .....	40



## 1 INTRODUÇÃO

Os minerais pesados são aqueles que apresentam densidade maior que  $2,85 \text{ g/cm}^3$ , tendo densidade superior à do quartzo por exemplo ( $2,65 \text{ g/cm}^3$ ). Estes minerais estão presentes em alguns depósitos sedimentares geralmente em porcentagem baixa, embora possam apresentar concentrações maiores em depósitos de *placers*, sendo ocasionalmente, economicamente viáveis.

Além de sua importância econômica, esses minerais são muito importantes em estudos de proveniência e dinâmica sedimentar pois diversos minerais pesados encontrados nas areias de praia, apresentam paragéneses restritas (Mange & Maurer, 1992 e Morton & Hallsworth, 1994; 1999). Portanto, através da caracterização de diferentes minerais detríticos nas praias é possível precisar e determinar a procedência desses sedimentos (Morton & Hallsworth, 1994; 1999, Sousa *et al.*, 2017).

Devido à sua distância do litoral continental brasileiro, a proveniência das assembleias mineralógicas nas praias da ilha da Trindade, fica condicionada à geologia da área de estudo. Castro (2010) registrou depósitos de minerais pesados em determinadas praias da ilha, entretanto um estudo mais detalhado faz-se necessário para uma melhor caracterização desses depósitos.

### 1.1 Localização e acesso

A ilha oceânica da Trindade (Figura 1) está afastada 1.216 km do litoral continental brasileiro e está localizada na coordenada  $20^{\circ}30'39''\text{S} / 29^{\circ}19'32''\text{W}$ . Com área de aproximadamente  $13,5 \text{ km}^2$  a ilha tem orientação NW-SE e é comumente separada em dois

setores que apresentam relevo e dinâmica de ondas distintas, um voltado para NE e o outro para SW. A ilha tem clima tropical oceânico e temperatura média anual de 25,2 °C.

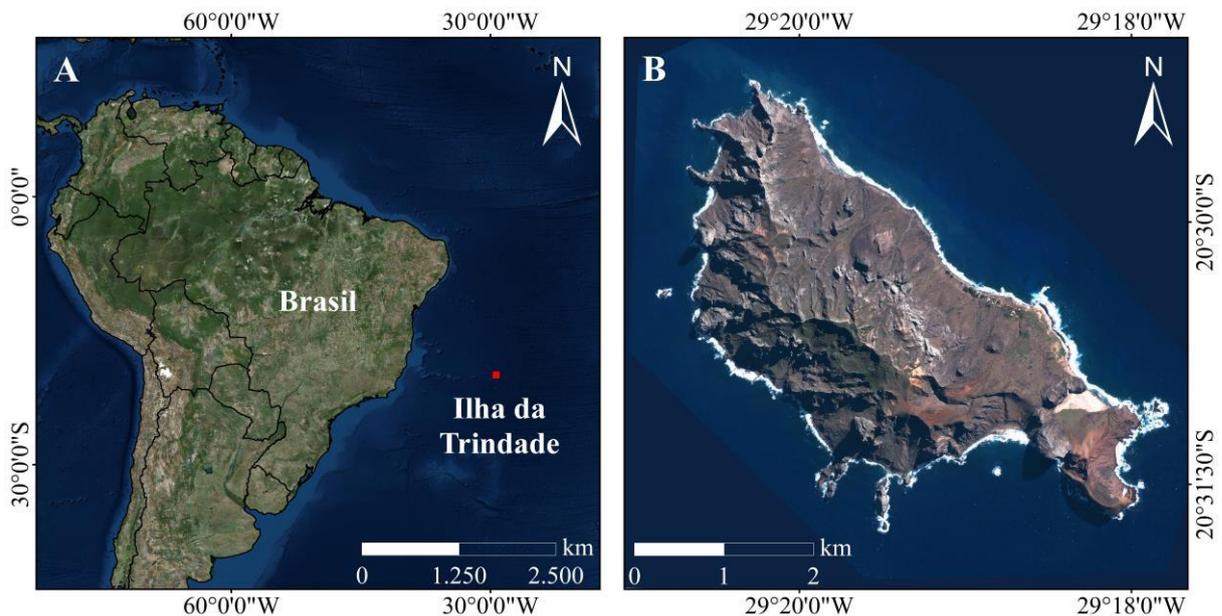


Figura 1 - A – Imagem de satélite de parte da América do Sul destacando-se a localização da ilha da Trindade; B – Imagem de satélite da Ilha da Trindade.

A ilha está sob encargo da Marinha do Brasil desde 1957, sendo esta, juntamente com a Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), responsável pela manutenção do Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT) e supervisão de atividades na ilha (Figura 2). O acesso à ilha para pesquisadores é feito através do Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade (PROTRINDADE). A viagem é feita por um navio da Marinha do Brasil e tem duração de aproximadamente 3 dias a partir do porto de Vitória-ES, dependendo das condições climáticas, do clima de ondas e de eventuais missões que o navio possa enfrentar.



Figura 2 - Foto da Ilha da Trindade vista do quadrante NE. POIT - Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como propósito, o estudo dos minerais detríticos pesados de cinco praias da Ilha da Trindade (Figura 3). As praias do Túnel, Tartarugas, Andradas e Cabritos, estão voltadas para NE, ao passo que a praia do Príncipe está voltada para SW. A partir da análise granulométrica e da preparação das amostras, objetiva-se identificar e caracterizar os minerais pesados e sua distribuição pelas praias selecionadas. Analisando aspectos diagnósticos e composicionais, pretende-se correlacionar os sedimentos coletados de cada uma das praias com a geologia da ilha, e assim, relacionar como os processos erosionais e a dinâmica de ondas influenciaram na distribuição e concentração desses minerais.

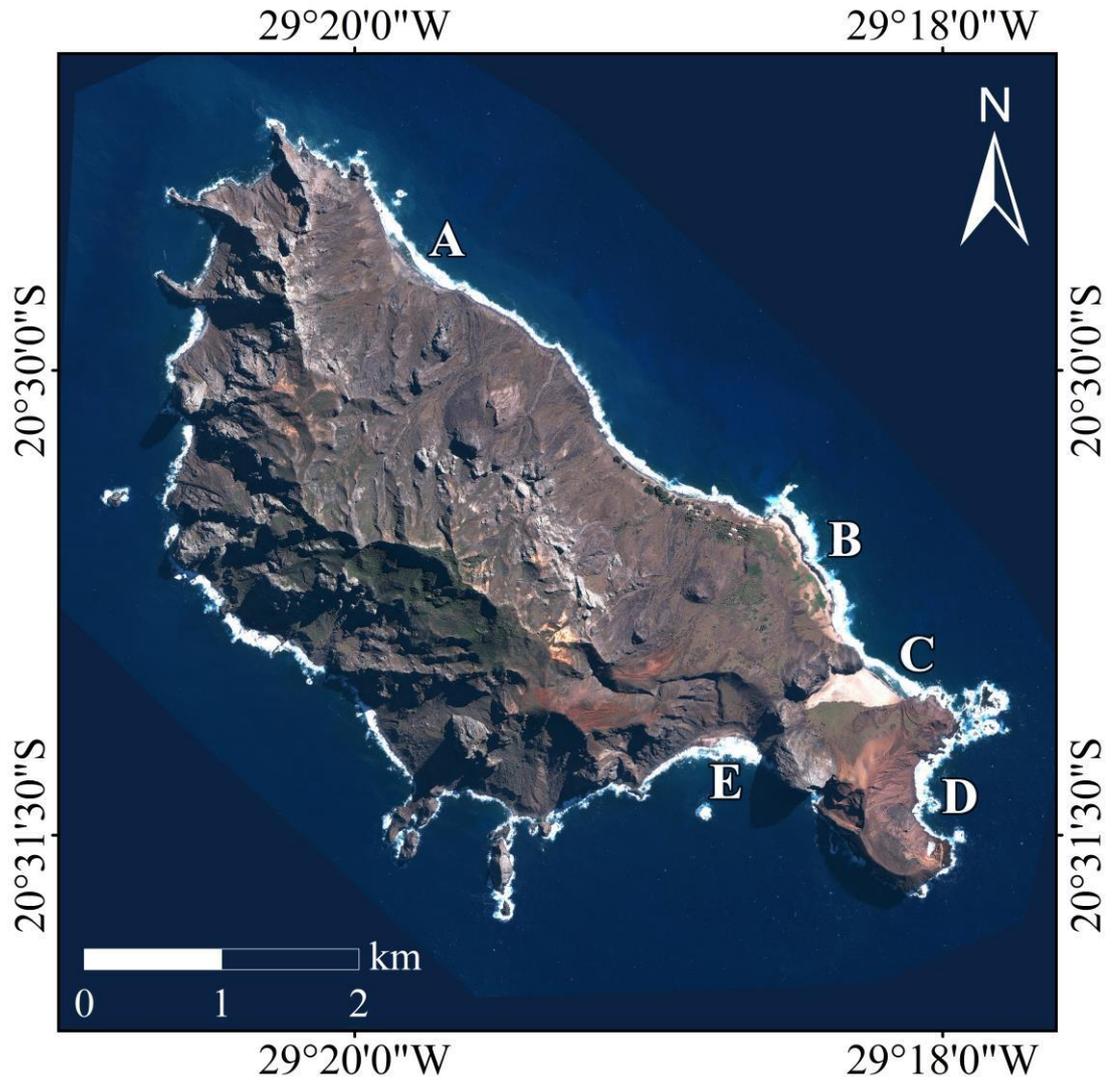


Figura 3 – Imagem de satélite com a localização das praias escolhidas para análise dos minerais detríticos pesados, onde: A- Praia dos Cabritos; B- Praia dos Andradas; C- Praia das Tartarugas; D- Praia do Túnel; E- Praia do Príncipe.

## 2 CONDICIONANTES GEOLÓGICOS

### 2.1 Contexto Geotectônico

A Ilha da Trindade faz parte da Cadeia Vitória-Trindade (CVT), composta por cerca de 30 montes submarinos alinhados (Motoki *et al.*, 2012). Dentre esses montes, apenas a Ilha da Trindade e o Arquipélago de Martin Vaz, localizado a 50 km a leste da ilha, estão acima do nível do mar, com altitudes de 600 e 175 metros respectivamente. Os demais montes submarinos da cadeia encontram-se submersos e são caracterizados como *guyots*, pois têm seu topo aplainado pela ação das ondas (Figura 4).

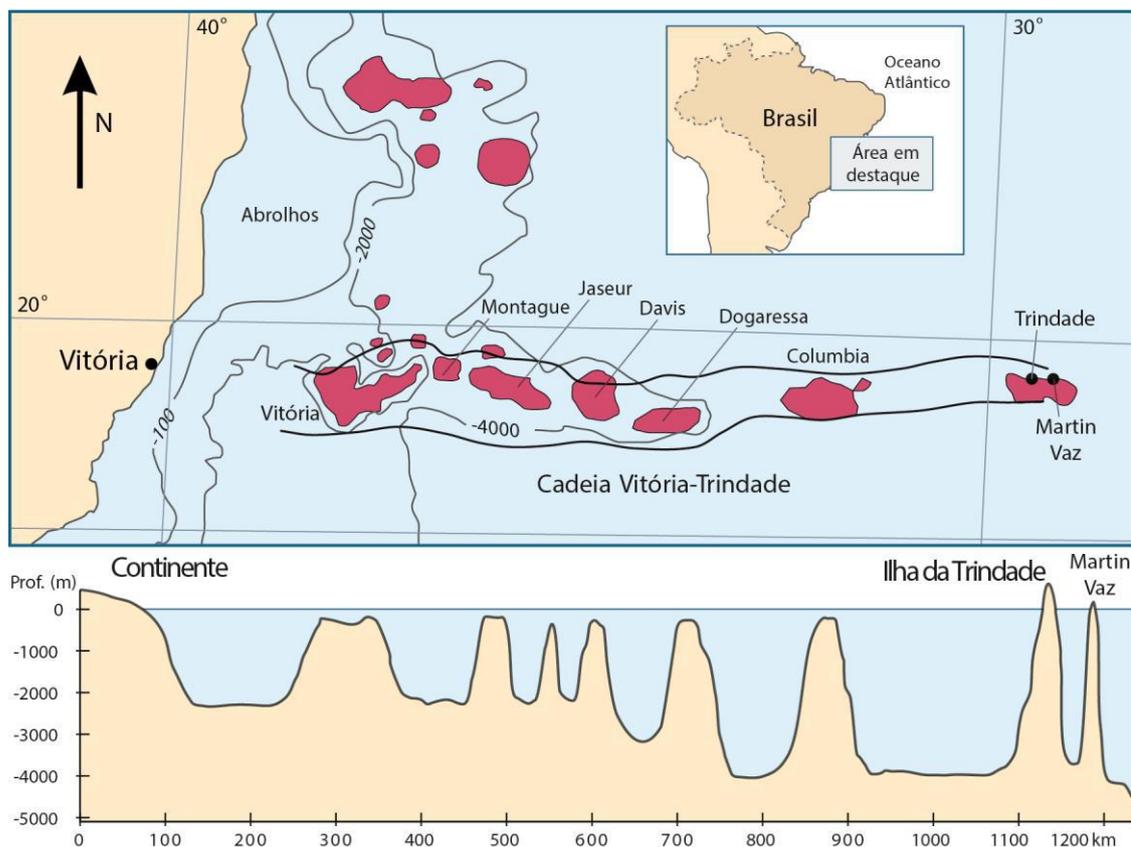


Figura 4 - Localização da ilha da Trindade na Cadeia Vitória-Trindade e perfil esquemático dos montes submarinos que compõe a cadeia, com destaque para a ilha da Trindade e Martin Vaz. Modificado de Almeida (2006).

O movimento de uma placa tectônica sobre um ponto com temperaturas anômalas e muito elevadas forma o alinhamento de corpos vulcânicos, como proposto por Wilson (1963) na teoria dos *hotspots*. A CVT tem sua origem associada à essa teoria, pois o alinhamento dos montes vulcânicos que a compõem estaria relacionado ao movimento da Placa Sulamericana sobre o *hotspot* Trindade durante o Cenozoico, como Almeida (2006), Gibson *et al.* (1997) e Herz (1977) sugerem.

Através de perfis sísmicos, Guazelli e Carvalho (1978) constataram que a CVT está inserida na Zona de Fratura Vitória-Trindade (ZFVT). Esta zona de fratura é uma descontinuidade da Cordilheira Mesoatlântica que promove um rejeito de aproximadamente 6 km entre seus segmentos. Comparando dados geológicos, geoquímicos e sísmicos, Alves *et al.* (2006) propõem que a ZFVT serviu como um conduto para o magmatismo que originou a CVT e conseqüentemente a ilha da Trindade entre 3,7 e < 0,17 Ma, segundo Cordani (1970).

## **2.2 Geologia da Ilha da Trindade**

A ilha da Trindade, formada por rochas vulcânicas e subvulcânicas subsaturadas em sílica, foi dividida por Almeida (1961) em 5 unidades diferentes separadas por disconformidades: Complexo Trindade, Sequência Desejado, Formação Morro Vermelho, Formação Valado e Vulcão do Paredão. Com base em observações de campo e geoprocessamento com auxílio de imagens de alta resolução, Pires, *et al.* (2016) atualizou o mapa geológico da ilha da Trindade elaborado por Almeida (1963), como mostra a Figura 5.

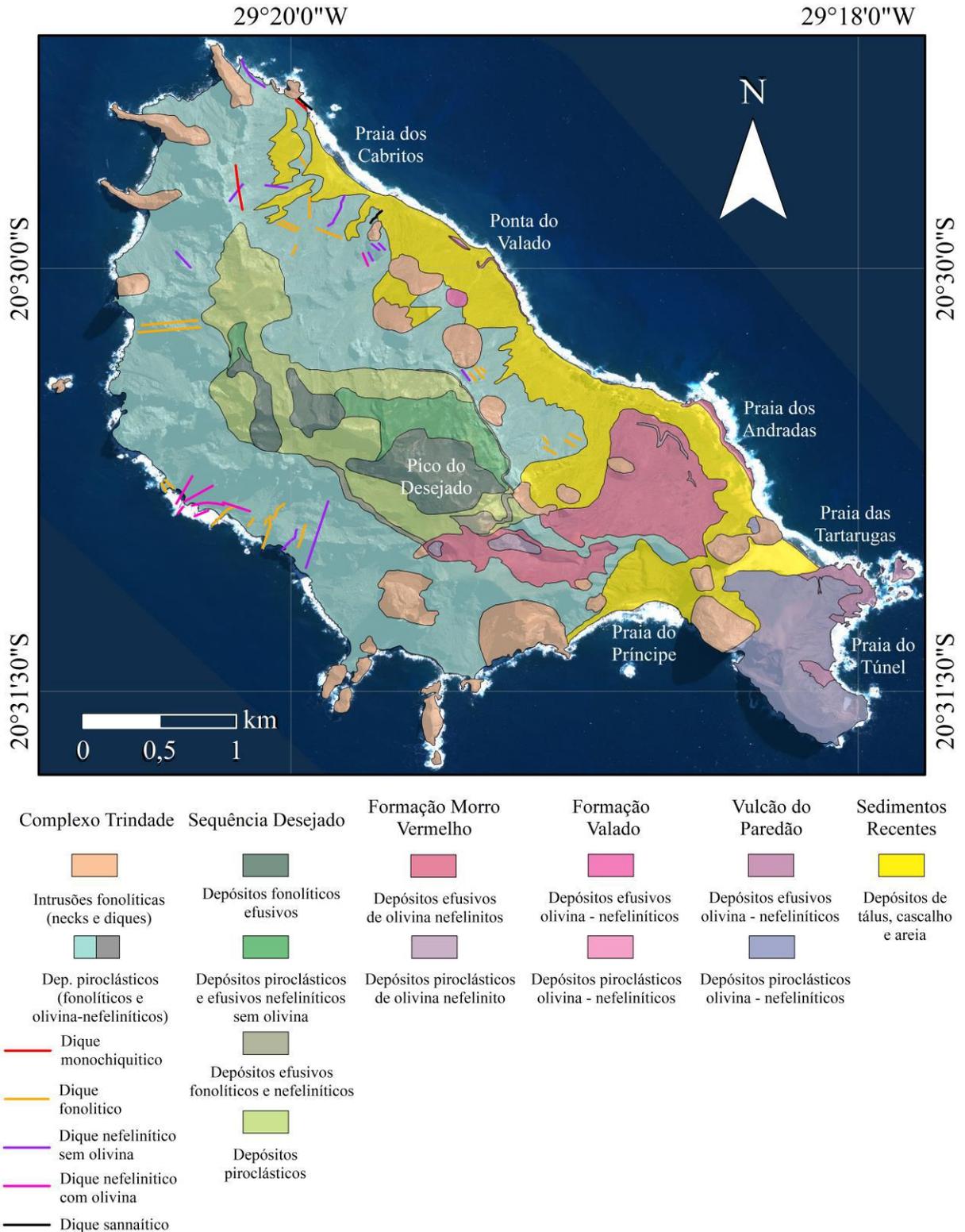


Figura 5 - Mapa geológico da ilha da Trindade. Modificado de Pires, *et al.* (2016).

O Complexo Trindade (CT) é a unidade mais antiga da ilha com idades entre 3,7 e 2,4 Ma, sendo considerada como embasamento para as unidades mais novas (Almeida, 1961;

Cordani, 1970). Esta unidade apresenta uma sucessão de 500 metros de depósitos piroclásticos de composição tannbuschítica, *necks* fonolíticos com até 400 metros de diâmetro e diques de diferentes litologias (lamprófiro, nefelinito, fonolito, etc.) chegando a 50 metros de espessura (Almeida, 1961).

A Sequência Desejado (SD), com idades entre 2,4 e 1,5 Ma, é caracterizada por uma intercalação de derrames graziníticos, nefeliníticos e fonolíticos com depósitos piroclásticos de mesma composição (Almeida, 1961 e Cordani, 1970). Os derrames apresentam baixa inclinação, representando um planalto estrutural no centro da ilha no qual encontram-se os picos mais elevados, como o pico do Desejado com 600 metros de altura (Almeida, 1961).

A Formação Morro Vermelho (FMV) é composta por depósitos piroclásticos e derrames de composição ankaratrítica que escoaram do Morro Vermelho rumo ao norte em direção ao mar chegando na praia dos Andradas (Almeida, 1961). Os derrames dessa formação teriam uma idade maior que 0,17 Ma segundo Cordani (1970).

A Formação Valado, com aproximadamente 60 metros de espessura, é marcada pela intercalação de depósitos piroclásticos e derrames de composição tannbuschítica. Segundo Almeida (1961), essa formação contemporânea à FMV, cobriu com seus derrames tannbuschíticos, alguns depósitos epiclásticos de escorregamentos (paleotálus).

A unidade do Vulcão do Paredão é marcada pelas ruínas de um cone vulcânico com aproximadamente 200 metros de altura cujas paredes internas, são formadas por intercalações de diferentes depósitos piroclásticos (Almeida, 1961). Esta unidade apresenta ainda, derrames ankaratríticos apresentando fenocristais centimétricos de olivina em determinados locais.

Os Depósitos Holocênicos recobrem algumas unidades estratigráficas da ilha da Trindade e são caracterizados por depósitos de encosta, eólicos, aluviões, recifes algálicos e depósitos de praia (Castro & Antonello, 2006). Este trabalho objetiva o estudo dos minerais detríticos pesados, depósitos de *placers*, encontrados em diversas praias da ilha.

## 2.3 Geomorfologia

Enquanto os derrames de lava apresentam resistência ao intemperismo químico e se fragmentam em blocos devido às juntas, os pacotes de rocha piroclástica sofrem uma ação maior do intemperismo químico e se desagregam em grãos (Almeida, 1961). Essa diferença de erosão e resistência às intempéries das rochas da ilha caracteriza os diferentes domínios geomorfológicos definidos por Almeida (1961) e Castro & Antonello (2006): Domínio Planalto Axial, Domínio Vertentes Costeiras e Domínio Litorâneo, (Figura 6)

O Domínio Planalto Axial é marcado por altitudes maiores que 350 metros de onde nascem os principais cursos d'água da ilha. Os derrames fonolíticos, graziníticos e nefeliníticos deste domínio, são sub-horizontais e responsáveis pelo relevo do planalto, que apresenta inclinações maiores quando estas rochas estão intercaladas com tufos (Almeida, 1961).

O Domínio Vertentes Costeiras, individualizado por encostas abruptas das quais se erguem os *necks* fonolíticos, apresenta diferentes riscos geológicos. Dentre eles, evidencia-se movimentos de massa nas encostas do vulcão do Paredão, depósitos de tálus próximos à ponta do Valado e voçorocas ao longo de todo o domínio, principalmente na face da ilha voltada para NE (Almeida, 1961; Castro & Antonello, 2006).

O Domínio Litorâneo é influenciado tanto pela ação das ondas e dos ventos quanto pela resistência das rochas nos locais onde está situado. Diversos corpos são destacados no traçado litorâneo da ilha, como o *neck* do Pão de Açúcar e os derrames ankaratríticos na praia dos Andradas (Castro & Antonello, 2006).

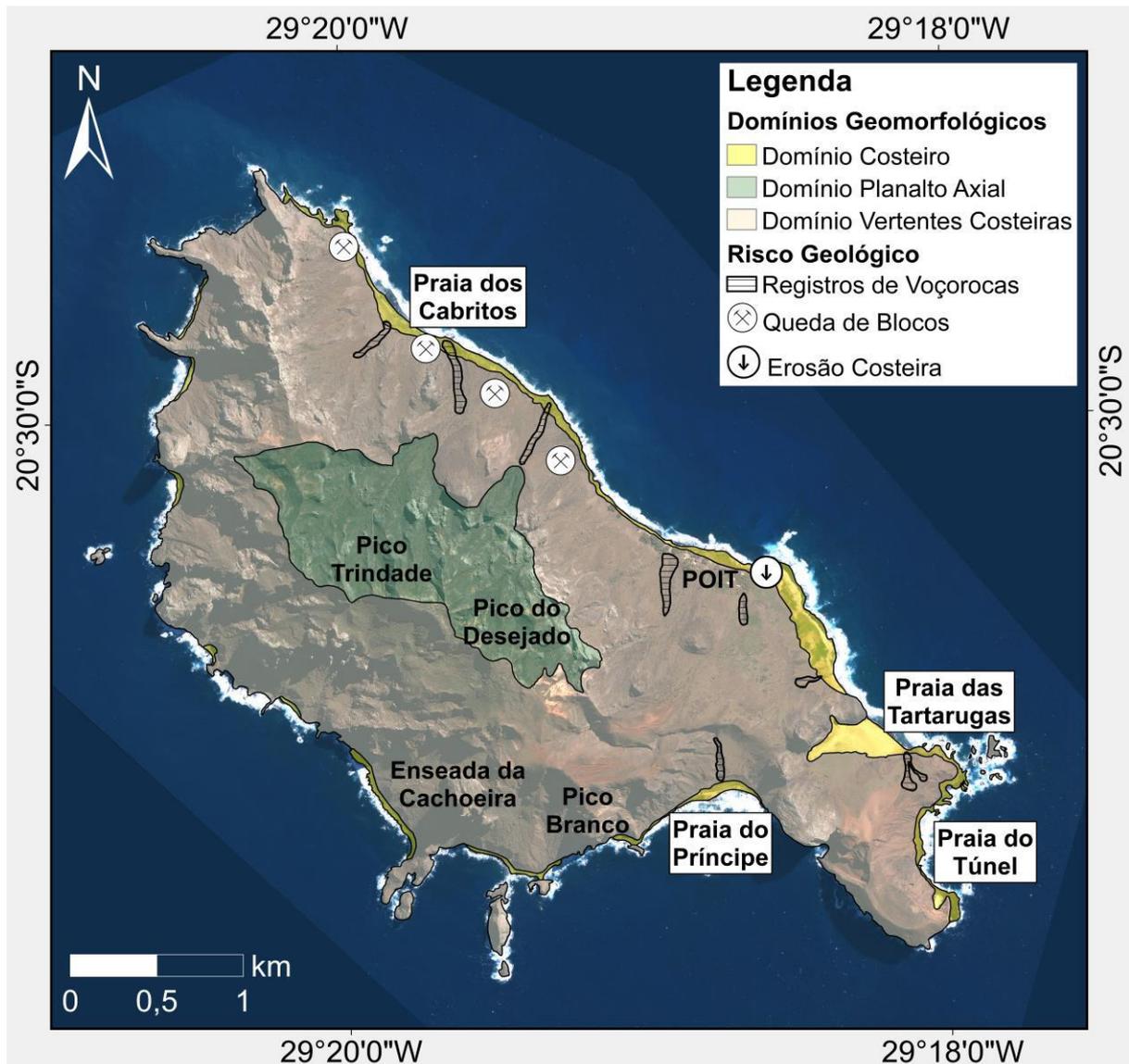


Figura 6 - Mapa Geomorfológico da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil.

#### 2.4 Sedimentação costeira

As praias são compostas por material inconsolidado, geralmente de tamanho areia (0,062 a 2mm), correspondendo a uma interface que entre o limite de ondas de tempestade e o limite da interação das ondas com o fundo marinho (Suguio, 1992). O sistema praias foi dividido por Komar (1976) em 4 zonas diferentes (Figura 7): pós-praia, face da praia, ante-praia e costa afora.

O pós-praia (*backshore*) não apresenta interação com as ondas e marés, pois está localizado acima do limite máximo da maré alta. Esta zona tem extensão até uma falésia, duna ou vegetação permanente, sendo atingida somente por ondas de tempestade ocasionais. A face da praia (*shoreface*) sofre ação direta de ondas e marés visto que está localizada entre o limite máximo da maré alta (maré de sizígia) e o limite mínimo da maré baixa (maré de quadratura). A ante-praia (*foreshore*) é a zona situada entre o limite da face da praia e a profundidade máxima de interação das ondas com o substrato marinho e é marcada pela zona de surfe e a zona de arrebentação. Enquanto a costa afora (*offshore*), se estende a partir do limite de ação das ondas no fundo marinho em direção ao mar.

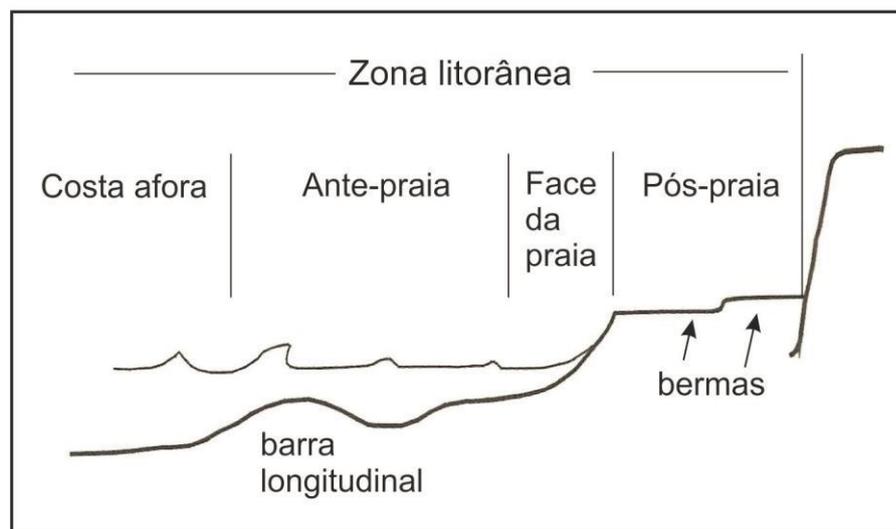


Figura 7 - Zonas do sistema praial. Modificado de Komar (1976).

As praias da ilha da Trindade caracterizam-se por enseadas semi-fechadas, limitadas por promontórios (*headlands*). Essa condição morfológica favorece o aporte de sedimentos exclusivamente nesse tipo de ambiente semi fechado sem ocorrência de *bypass* por ação de correntes de deriva litorânea (Castro, 2010). O transporte de sedimentos em ambientes de enseada da referida ilha, ocorre quase que exclusivamente através da ação dos córregos litorâneos e do transporte transversal por ação de ondas.

## 2.5 Concentração de minerais pesados

As rochas apresentam diferentes respostas às ações do intemperismo físico e químico, podendo se fragmentar de maneiras diferentes. Os sedimentos gerados por esses processos intempéricos são erodidos, transportados e depositados em locais de acomodação de sedimentos (Figura 8). Dependendo do tamanho das partículas e da energia do transporte, alguns sedimentos são transportados por rios e até chegarem no mar, passando a interagir com as ondas e correntes litorâneas permitindo uma distribuição e deposição dos mesmos, ao longo das praias ou na plataforma continental (Pereira *et al.*, 2005).

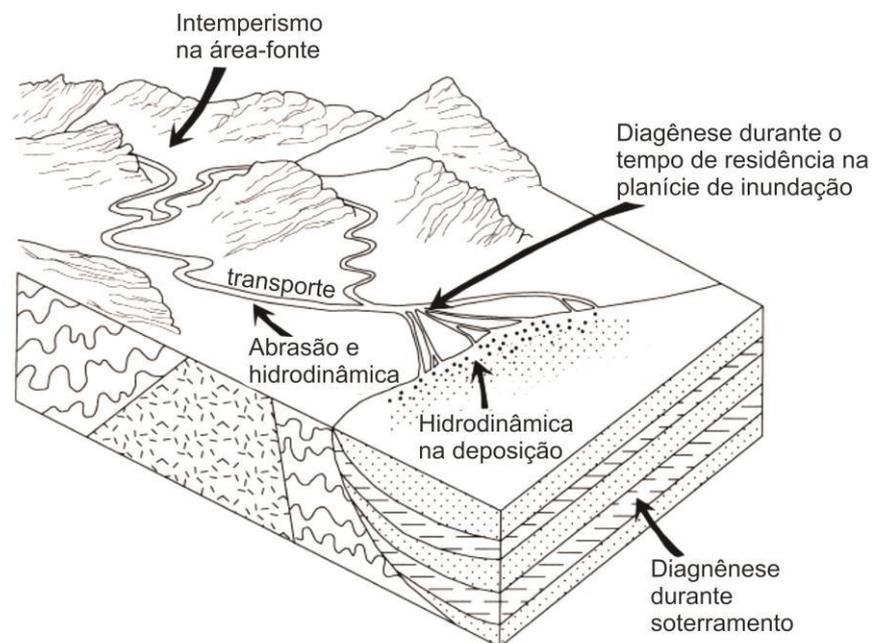


Figura 8 - Diagrama esquemático mostrando os processos controladores dos depósitos de minerais pesados a partir da área fonte. Modificado de Morton & Hallsworth (1999).

Durante o ciclo de sedimentação os minerais pesados são afetados por processos que alteram as características originais do grão, tais como abrasão mecânica e dissolução. O primeiro ocorre durante o transporte sedimentar podendo causar a diminuição, faturamento e arredondamento do grão. Enquanto a dissolução pode ocorrer em diferentes estágios do ciclo

sedimentar, como intemperismo químico na rocha fonte, durante o soterramento e inclusive no local de deposição, aumentando a concentração de minerais estáveis ao intemperismo químico. O quadro 1 exibe a ordem de estabilidade química dos minerais segundo Pettijohn *et al.* (1973).

**Quadro 1** – Ordem de estabilidade química dos minerais, Pettijohn *et al.* (1973).

Estabilidade química	Mineral
Muito Instável	Olivina
Instável	Hornblenda, actinolita, augita, diopsídeo, hiperstênio e andaluzita
Moderadamente estável	Epidoto, cianita, granada (alto teor de Fe), silimanita, titanita e zoisita
Estável	Apatita, granada (baixo teor de Fe), estauroлита e monazita
Ultraestável	Rutilo, zircão, turmalina e anatásio

Os minerais pesados são transportados com maior dificuldade pelos fluxos aquosos pois apresentam características hidrodinâmicas diferentes dos minerais leves, devido a propriedades físicas como densidade, tamanho e o formato das partículas, segundo Garzanti *et al.* (2008). Uma vez que os sedimentos em ambientes costeiros estão sob influência das ondas e das correntes, a concentração dos minerais pesados nas praias é acentuada com o transporte seletivo dos minerais leves pelo fluxo de água litorâneo (Komar, 2007).

Além desses fatores, quanto maior for o ângulo pivotante, correspondente ao ângulo entre a normal e a direção na qual um grão está em contato com um grão adjacente, maior será a resistência ao transporte. A Figura 9 mostra que a velocidade do fluxo de água aumenta

com a distância da camada sedimentar, portanto quanto maior o tamanho do grão e menor o ângulo pivotante de um mineral, esse grão será transportado com menos resistência do que um grão menor e com ângulo maior (Komar, 2007).

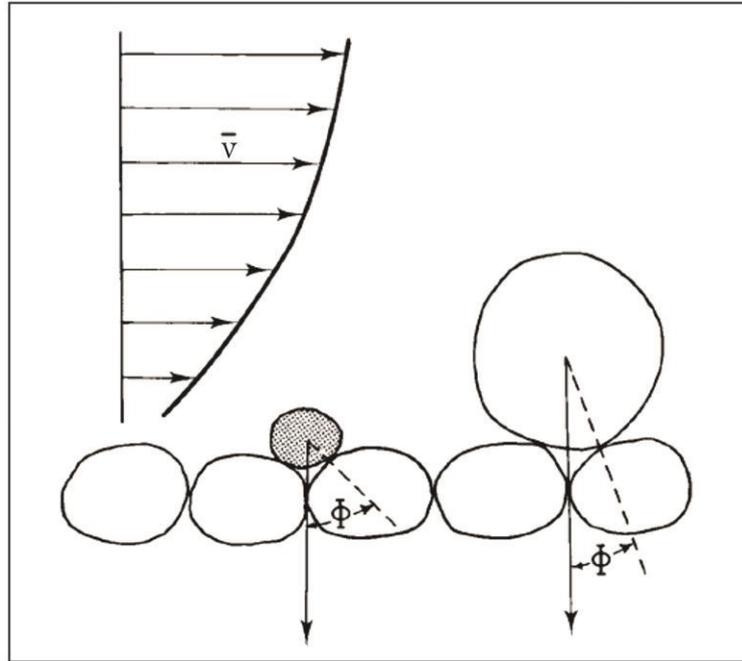


Figura 9 - Desenho esquemático ilustrando um mineral pesado pequeno (cinza) em comparação com um grão leve maior. Como a partícula cinza apresenta tamanho menor e um ângulo pivotante maior, esse sedimento apresenta uma resistência maior ao transporte quando comparado com o outro grão.  $\Phi$  corresponde ao ângulo pivotante e  $v$  à velocidade do fluxo de transporte. Extraído de Komar (2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Etapa de Campo

O trabalho de campo foi realizado durante expedição PROTRINDADE IV/2016, de cooperação entre o Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente - LAGECOST - Museu Nacional / UFRJ e a Marinha do Brasil. Foram percorridas 1904 milhas náuticas durante 11 dias de embarque a bordo do Navio Patrulha Oceânica - Amazonas.

Segundo Castro & Antonello (2006), a Ilha da Trindade é o topo de um cimo erodido que atinge profundidades de quase 5.500 metros sobre a planície abissal, dessa forma, a ilha não apresenta um ambiente geológico de ante-praia bem desenvolvido. Além disso, as ondas de *swell* características da ilha, dificultam ainda mais a coleta de material sedimentar nesse ambiente. Devido os condicionantes altimétricos muito íngremes, as praias da ilha não apresentam o ambiente de pós-praia bem desenvolvido, exceção da praia das Tartarugas constituída predominantemente por dunas bioclásticas e da praia dos Andradas com amplo espaço físico ocupado por vegetação permanente. Devido a singularidade do ambiente insular caracterizado predominantemente por praias relativamente estreitas, optou-se por coletar amostras no ambiente de face de praia, entre a maré mais alta e a mais baixa.

Durante o trabalho de campo entre os dias 15 e 17 de junho de 2016, coletou-se material sedimentar da face da praia em 5 praias da Ilha da Trindade (Figura 10). As praias do Túnel, Tartarugas, Andradas e Cabritos, posicionadas no quadrante NE, foram selecionadas para quantificar as variações longitudinais das assembleias mineralógicas. Enquanto a praia do Príncipe, localizada no quadrante SW, foi selecionada em decorrência da forte ação das ondas no processo de seleção dos grãos.



Figura 10 – Fotos das praias da ilha da Trindade onde foram coletadas amostras do ambiente de praia. A - Praia do Túnel; B - Praia das Tartarugas; C - Praia dos Andradas; D - Praia dos Cabritos; E - Praia do Príncipe.

Foram coletados aproximadamente 2,0 kg de material de cada praia, utilizando-se uma pá de jardinagem, atingindo aproximadamente 0,25 m de profundidade. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados com o código da amostra, nome

da praia e coordenadas do ponto de coleta obtidas através do GPS Garmin eTrex 20, com precisão de 3,0 m, utilizando o sistema de coordenadas WGS84 (Quadro 2).

**Quadro 2** - Coordenadas dos pontos de coleta da face da praia nas praias de estudo.

Amostra coletada	Coordenadas em WGS84 26k
Praia do Túnel	0260015/7729144
Praia das Tartarugas	0259900/7729550
Praia dos Andradas	0259453/7730162
Praia dos Cabritos	0256986/7732048
Praia do Príncipe	0258847/7729291

### 3.2 Etapa de Laboratório

A etapa de laboratório consistiu em análise granulométrica, preparação das amostras e identificação dos minerais. Durante essa etapa de trabalho utilizou-se o Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente - LAGECOST do Museu Nacional / UFRJ e o Laboratório do Setor de Caracterização Tecnológica do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM.

#### 3.2.1 Análise granulométrica

Através de um processador de peneiras, a análise granulométrica foi realizada no LAGECOST com aproximadamente 400 gramas de cada amostra. O processador foi equipado com seis peneiras verticais com intervalo de  $1,0 \phi$  ( $-1,0 \phi$  a  $4 \phi$ ). O material retido no fundo e em cada peneira foi pesado e seu valor foi somado para calcular a porcentagem de cada fração granulométrica da amostra na escala granulométrica Wentworth (1922).

Os dados obtidos foram inseridos no *software* SysGran 3.0, utilizando o método de Folk & Ward (1957), gerando valores da média, seleção, assimetria e curtose dos sedimentos. Os resultados obtidos foram classificados segundo Camargo (2006).

### 3.2.2 Preparação das amostras

O processo de preparação das amostras contou com diferentes etapas (Figura 11). Para cada amostra foi feito a concentração em bateia, separação por líquido denso e dois processos de separação magnética, através de um ímã de ferrite e do separador isodinâmico Frantz, visando a análise dos minerais pesados em estereomicroscópio.

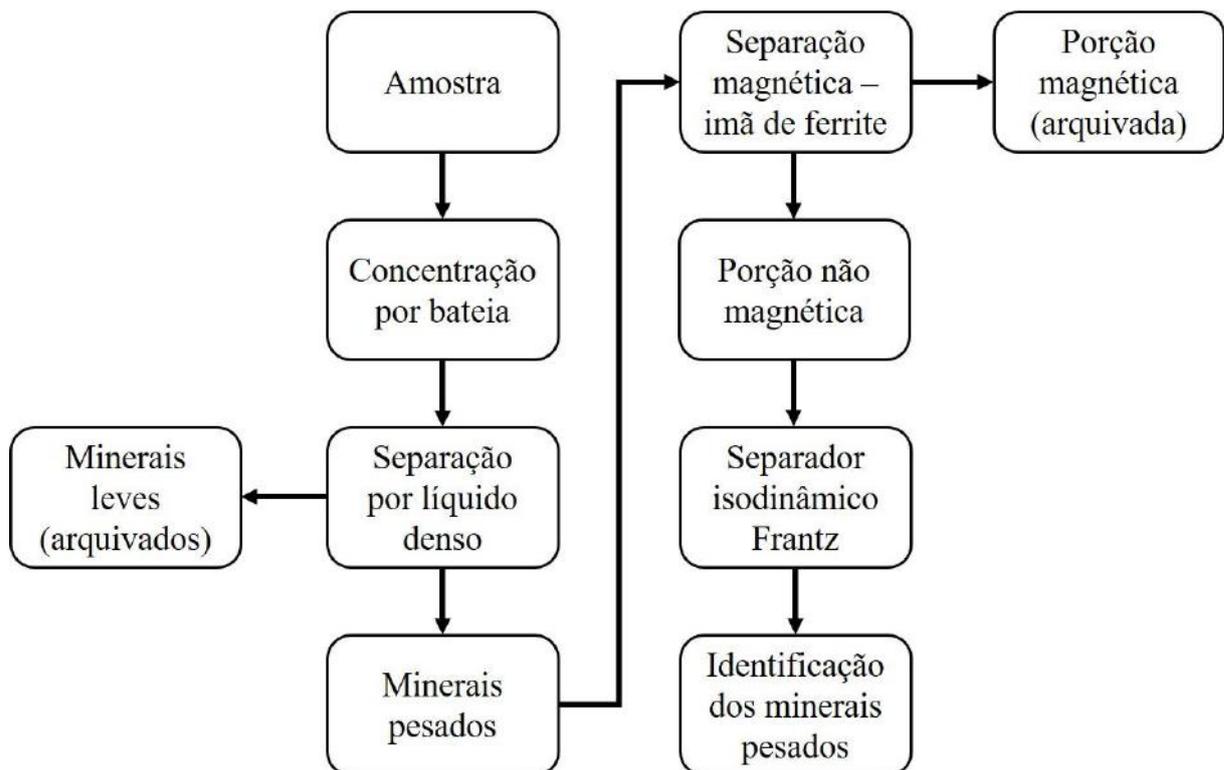


Figura 11 - Fluxograma mostrando as diferentes etapas do processo de preparação das amostras para análise dos grãos em estereomicroscópio.

### 3.2.2.1 Concentração por bateia

Aproximadamente 100 gramas de cada praia foram colocadas em uma bateia, na qual os minerais pesados foram concentrados no centro da bateia e o material obtido foi armazenado em sacos plásticos devidamente identificados (Figura 12B). Foi utilizada uma bacia embaixo da bateia para a recuperação do material não concentrado que foi arquivado. Posteriormente o concentrado obtido foi seco em estufa, para que o material pudesse ser separado por líquido denso.



Figura 12 - Processo de concentração por bateia. A – Concentrado obtido no centro da bateia e o material não concentrado na bacia azul sob a bateia; B – Concentrado obtido por bateia armazenado e identificado.

### 3.2.2.2 Separação por líquido denso

Nesta etapa, os minerais pesados foram separados dos minerais leves por densidade utilizando-se um líquido com densidade superior à do quartzo ( $d > 2,6 \text{ g/cm}^3$ ). A separação

foi efetuada no CETEM e o líquido denso utilizado foi o bromofórmio com densidade igual a  $2,81 \text{ g/cm}^3$ .

O processo é realizado em uma capela (Figura 13), na qual dentro de um funil de separação, insere-se o líquido denso e o concentrado seco obtido em bateia. A diferença de densidade entre o líquido e os minerais, faz com que os minerais pesados decantem para o fundo do funil e os minerais leves flutuem. Após a decantação dos pesados, abre-se a torneira do funil de separação, permitindo a passagem dos minerais pesados para um funil de filtração, equipado com um filtro e acoplado a um béquer, no qual o líquido denso é depositado. Depois dos minerais pesados terem passado pela torneira, a mesma é fechada para que os leves fiquem no funil de separação.

Posteriormente, com outro funil de filtração, a torneira é totalmente aberta para a recuperação do material leve. Caso não haja contaminação no processo de separação, o líquido denso que passou dos funis de filtração para o béquer, é recuperado e pode ser utilizado novamente. Os minerais retidos nos filtros são lavados com álcool permanecem na capela fechada para a secagem do material, que é pesado e a fração dos minerais leves é armazenada. Nas etapas seguintes de preparação, somente a fração pesada foi utilizada.

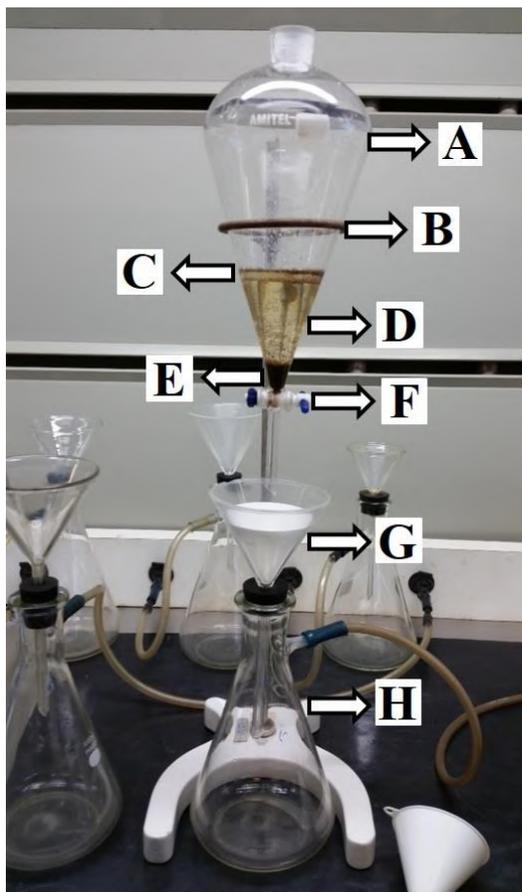


Figura 13 - Capela com montagem para separação por líquido denso. A – funil de separação; B – suporte do funil de separação; C – minerais leves; D – líquido denso; E – minerais pesados; F – torneira do funil de separação; G – funil de filtração; H – béquer de captação do líquido denso.

### 3.2.2.3 Separação magnética

Alguns minerais tem uma maior susceptibilidade magnética do que outros, sendo mais abundantes ou restritos a um determinado intervalo de amperagens, conforme a tabela de Parfenoff *et al.* (1970). Dessa forma, o processo de separação magnética é realizado para facilitar a identificação dos minerais pesados no estereomicroscópio. A primeira separação magnética, feita com um ímã de ferrite, remove os minerais ferromagnéticos, que foram pesados e arquivados (Figura 14).

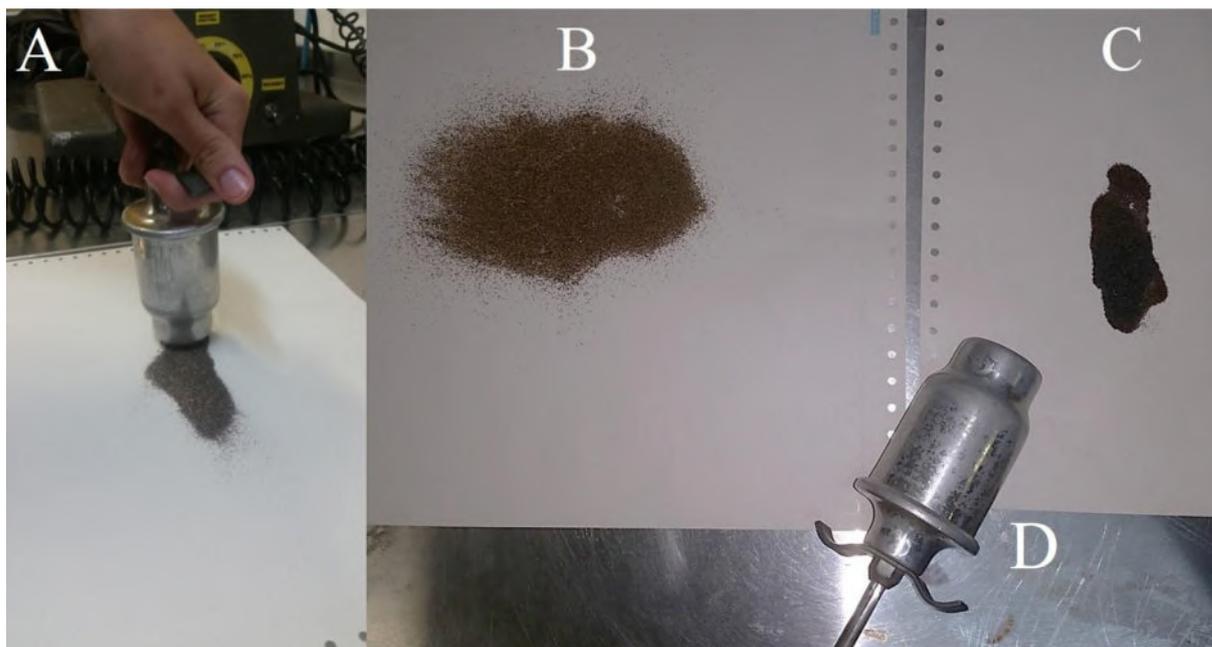


Figura 14 - A – separação magnética por imã de ferrite; B – material não atraído pelo imã; C – material ferromagnético (atraído pelo imã); D – imã de ferrite.

Os demais minerais são processados pelo separador isodinâmico Frantz, que gera uma densidade de fluxo de campo magnético variável, permitindo separar os minerais em diferentes produtos (Figura 15). Foram utilizadas seis amperagens diferentes no Frantz: 0,3A, 0,5A, 0,8A, 1,0A, 1,5A, 2,0A. O material não atraído à amperagem selecionada é inserido novamente no aparelho com uma amperagem mais alta. Os minerais não atraídos a nenhuma dessas amperagens são diamagnéticos, pois não foram atraídos pelo campo magnético gerado pelo Frantz. Esta etapa gerou sete frações diferentes, sendo seis frações separadas pelo Frantz e a fração não atraível (N.A.). O material foi pesado e armazenado para análise dos minerais em estereomicroscópio.



Figura 15 - A – separador isodinâmico Frantz; B – material não atraído pelo ímã de ferrite ou pela amperagem anterior sendo colocado no Frantz; C – material não atraído à amperagem selecionada; D – material atraído à amperagem selecionada.

### 3.2.3 Estereomicroscópio

As frações obtidas no processo anterior foram analisadas por estereomicroscópio óptico. Os minerais foram descritos e identificados segundo suas características físicas, como cor, brilho, clivagem e grau de arredondamento, de acordo com Pereira *et al.* (2005) e Shepard (1967). Quando não foi possível identificar o mineral, o mesmo foi levado para análise por espectroscopia Raman.

### 3.2.4 Espectroscopia Raman

A espectroscopia Raman permite a aquisição de um espectro correspondente ao material analisado, através do espalhamento da luz gerado pela interação do mineral com um feixe de luz monocromática emitido pelo aparelho (Gardiner & Graves, 1989). Através do

*software* CrystalSleuth, o ruído de *background* do espectro obtido pode ser removido, tornando possível comparar o espectro do mineral com o banco de dados do programa e assim, identificar o mineral (Figura 16).

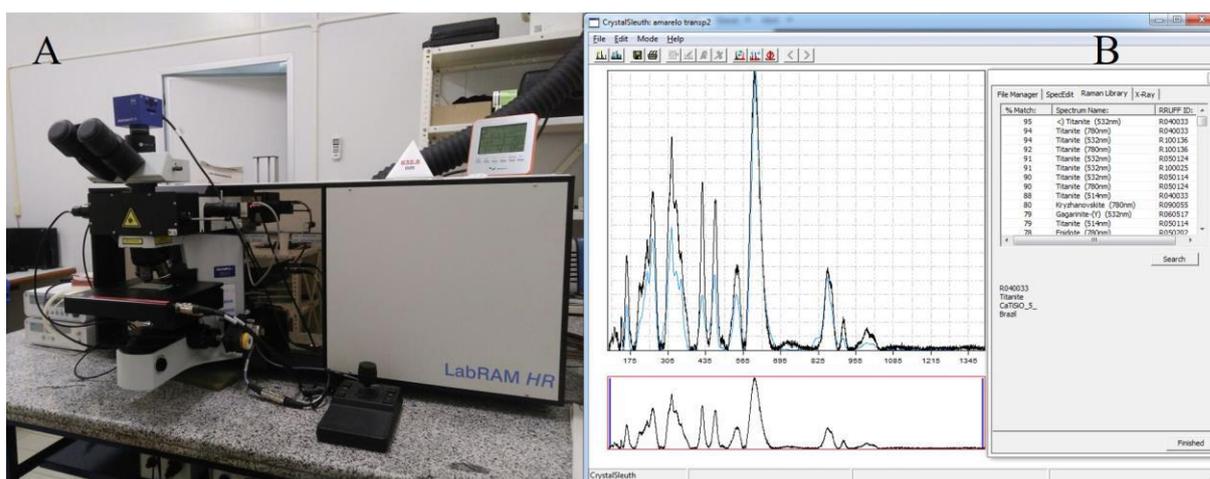


Figura 16 - A: Microsonda Raman; B: interface do *software* CrystalSleuth na análise de um grão de titanita, onde o espectro preto foi obtido através da espectroscopia Raman e o espectro azul é o espectro presente no banco de dados do programa correspondente à titanita, apresentando uma semelhança de 95% entre os espectros.

### 3.2.5 Análise semi-quantitativa dos minerais pesados

Após terem sido identificados sob estereoscópio óptico e por espectroscopia Raman, os minerais foram quantificados percentualmente através de uma estimativa visual. Foi levado em conta o peso de cada fração separada pelo Frantz e o peso total das amostras para calcular a porcentagem dos minerais.

## 4 RESULTADOS

Os resultados obtidos incluem: análise granulométrica, caracterização dos minerais e análise semi-quantitativa dos minerais pesados em 5 praias da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil.

### 4.1 Análise Granulométrica

Conforme a metodologia adotada, a variação granulométrica e a classificação dos resultados estatísticos dos sedimentos estão dispostas na Figura 17 e no quadro 3, respectivamente.

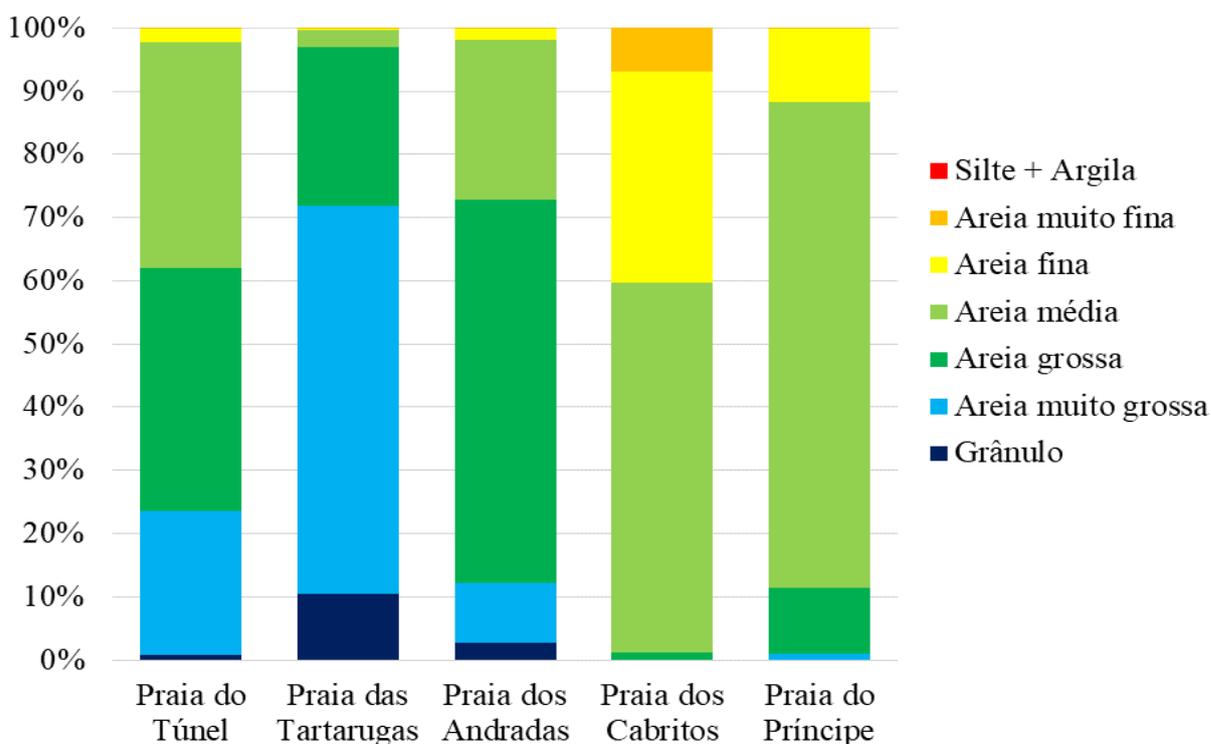


Figura 17 - Variação granulométrica das praias da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil

**Quadro 3** – Classificação dos resultados estatísticos nos parâmetros de Folk & Ward (1957), segundo Camargo (2006), utilizando a escala granulométrica de Wentworth (1922).

<b>Amostra</b>	<b>Média</b>	<b>Seleção</b>	<b>Assimetria</b>	<b>Curtose</b>
<b>Praia do Túnel</b>	Areia grossa	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Platicúrtica
<b>Praia das Tartarugas</b>	Areia muito grossa	Moderadamente selecionado	Muito positiva	Muito platicúrtica
<b>Praia dos Andradas</b>	Areia grossa	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica
<b>Praia dos Cabritos</b>	Areia média	Moderadamente selecionado	Positiva	Platicúrtica
<b>Praia do Príncipe</b>	Areia média	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica

#### 4.2 Descrição dos minerais pesados

Os minerais identificados nas amostras coletadas na ilha da Trindade foram: olivina, hematita, piroxênio, carbonato, titanita, apatita, zircão, biotita, ilmenita e magnetita, separada previamente por imã de ferrite.

A apatita é um mineral traço em todas as praias, com exceção da praia do Túnel. Os grãos são transparentes, tem brilho vítreo e encontram-se subarredondados a bem arredondados (Figura 18).

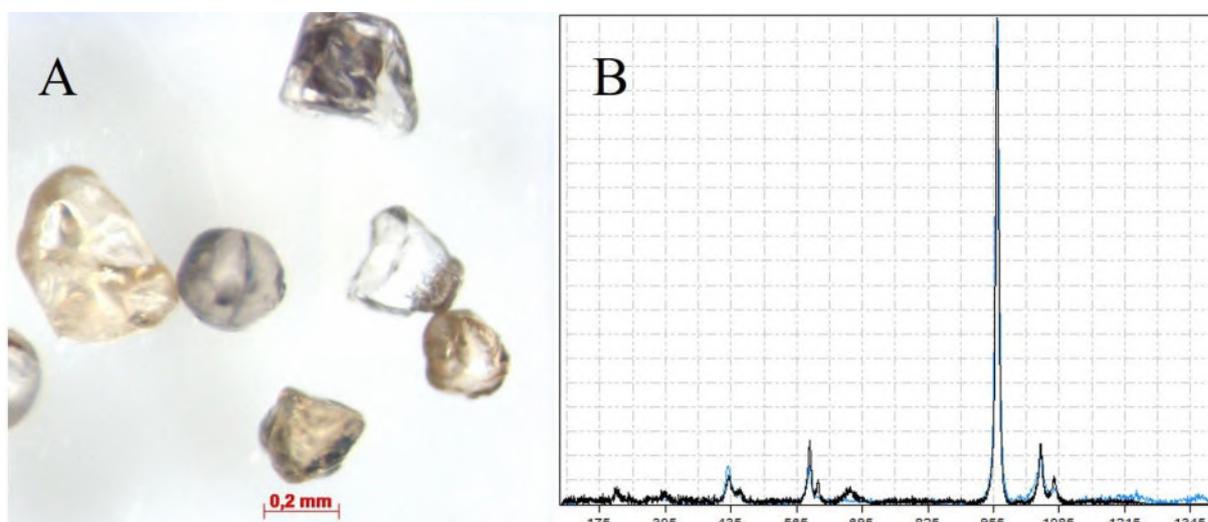


Figura 18 - A: fotomicrografia de grãos de apatita da praia das Tartarugas; B: análise entre o espectro de uma apatita, analisada por espectroscopia Raman, e o do banco de dados em azul.

A biotita apresenta-se em grãos prismáticos lamelares, clivagem basal perfeita e cor variando do preto ao marrom. A praia dos Cabritos foi o único local onde observou-se a biotita e em concentração de mineral traço (<1%).

Os grãos de carbonato são leitosos e apresentam-se na cor branca, sendo por vezes, amarelados ou castanhos. São subarredondados a arredondados e comumente estão englobando outro mineral, como a olivina, hematita e piroxênio (Figura 19). Por espectroscopia Raman foram identificados grãos de calcita, aragonita e ankerita. Embora tenham sido observados esses diferentes minerais, os grãos de carbonato não foram individualizados neste trabalho.

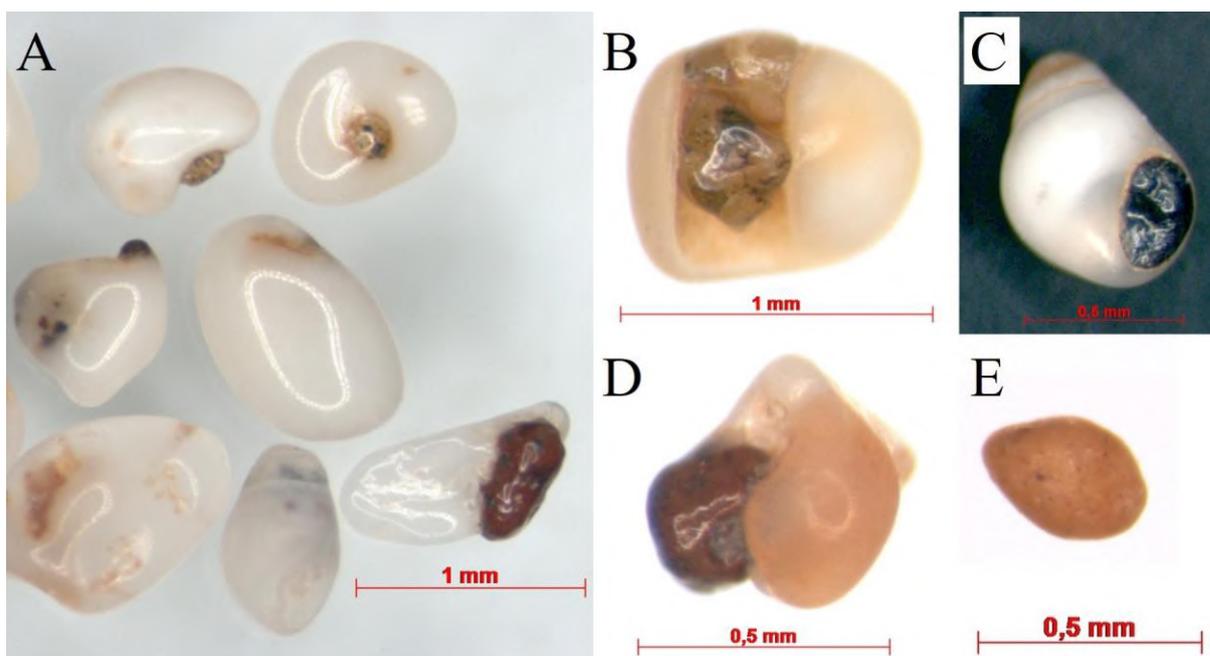


Figura 19 – Fotomicrografias de grãos de carbonato. A – grãos de carbonato com ou sem inclusões de outros minerais da praia do Túnel; B – carbonato envolvendo um grão de olivina da praia do Túnel; C – bioclasto carbonático envolvendo um grão de piroxênio da praia do Túnel; D – carbonato envolvendo um grão de hematita da praia do Príncipe; E – carbonato castanho da praia das Tartarugas.

A hematita tem cor avermelhada e encontra-se subarredondada a arredondada. Comumente ocorre como uma capa, recobrando outros minerais, sendo possível observar ainda algumas características do mineral recoberto, como seu hábito cristalino (Figura 20).



Figura 20 - Fotomicrografia de grãos recobertos por uma capa hematítica na praia do Príncipe.

Os grãos de ilmenita são cinzas, submetálicos e prismáticos, sendo por vezes subangulosos (Figura 21). Apresentam superfícies de oxidação e são minerais traço da praia dos Andradas e do Príncipe.



Figura 21 - Fotomicrografia de grãos de ilmenita da praia do Príncipe.

Os grãos de olivina das praias de estudo têm brilho vítreo e são incolores, castanhos e verdes (Figura 22). Os grãos de olivina incolores e castanhos são prismáticos com os vértices arredondados e apresentam inclusões opacas, os grãos castanhos aparentam ter um número maior de inclusões, por isso não aparentam ser transparentes. Quando não se encontram prismáticos, os grãos são subangulosos a subarredondados. Por outro lado, os grãos de olivina verdes não apresentam inclusões e os grãos encontram-se angulosos a arredondados.



Figura 22 - Fotomicrografias de grãos de olivina. A – grãos prismáticos de olivina incolor com inclusões da praia do Príncipe; B – grãos de olivina verde subarredondados a arredondados da praia do Túnel; C – grãos castanhos de olivina prismáticos e subarredondados da praia do Túnel; D – grãos angulosos a subarredondados de olivina verde da praia do Príncipe.

Os grãos de piroxênio são majoritariamente pretos, com brilho submetálico e encontram-se prismáticos com as bordas arredondadas (Figura 23). Quando não são prismáticos, os grãos apresentam-se subangulosos a subarredondados. Foram observados além dos grãos pretos, alguns grãos castanhos de piroxênio na praia dos Cabritos.

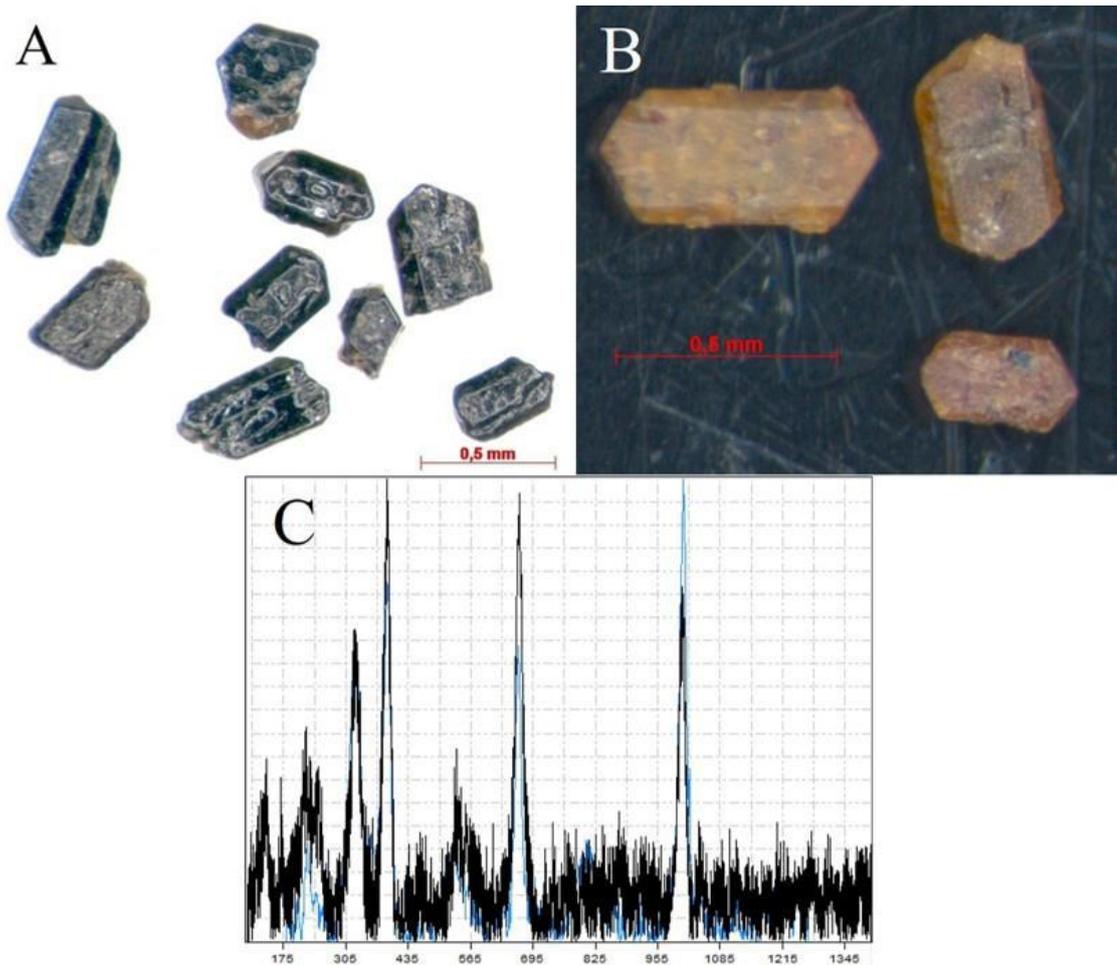


Figura 23 - A – fotomicrografia de grãos prismáticos pretos de piroxênio da praia do Príncipe; B – fotomicrografia de grãos prismáticos castanhos de piroxênio da praia dos Cabritos; C – espectro em preto obtido através da espectroscopia Raman em um grão de piroxênio amarelo. A linha azul corresponde ao espectro do piroxênio do banco de dados do software CrystalSleuth.

A titanita tem brilho vítreo, é transparente com cor amarelada e em alguns grãos apresenta inclusões opacas. A maioria dos grãos são prismáticos com os vértices arredondados, enquanto alguns grãos são subangulosos a subarredondados (Figura 24).

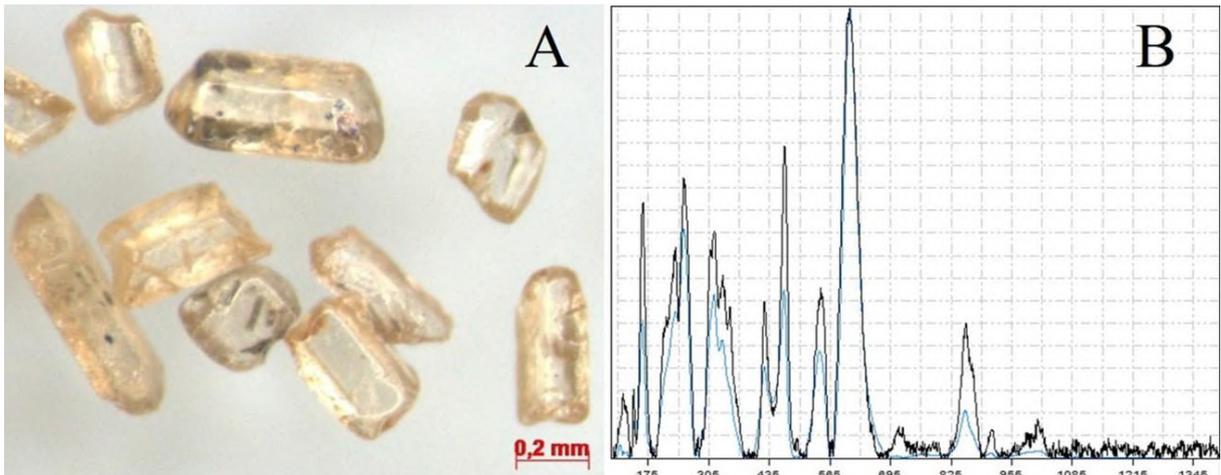


Figura 24 - A – fotomicrografia de grãos de titanita da praia dos Cabritos; B – o espectro em preto adquirido de um grão de titanita por espectroscopia Raman e em azul, o espectro da titanita do banco de dados do *software* CrystalSleuth.

Os grãos de zircão apresentam-se em bipirâmides alongadas com seus vértices arredondados. A maioria dos grãos tem cor cinza, embora tenha sido encontrado um grão rosa transparente que foi identificado por espectroscopia Raman (Figura 25).

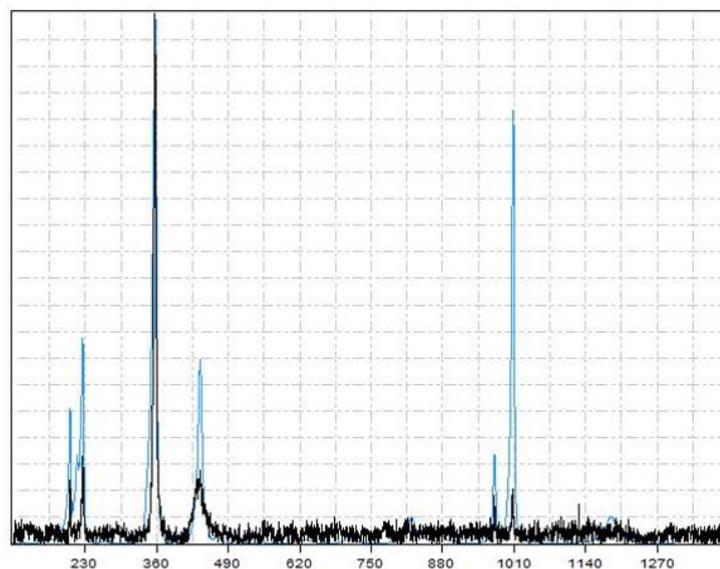


Figura 25 - Análise do espectro de um zircão rosa transparente, adquirido por espectroscopia Raman, representado pela linha preta. A linha azul corresponde ao espectro do zircão presente no banco de dados do *software* CrystalSleuth.

Além dos minerais pesados, foram observados fragmentos de rocha em todas as praias de estudo. Nesses fragmentos foi possível observar a presença de alguns minerais com brilho metálico, menores que 0,05mm, em uma massa de rocha que por vezes encontra-se alterada

(Figura 26). Os fragmentos líticos correspondem de 30% a 0,5% do material que foi processado pelo separador isodinâmico Frantz.



Figura 26 - Fotomicrografia de fragmentos líticos.

#### **4.3 Análise semi-quantitativa dos minerais pesados**

A Figura 27 e o quadro 4 mostram o percentual dos minerais pesados separados no Frantz e posteriormente, analisados por estereomicroscópio. Enquanto a Figura 28 e o quadro 5 apresentam a porcentagem total dos concentrados pesados, incluindo os fragmentos de rocha e os grãos de magnetita.

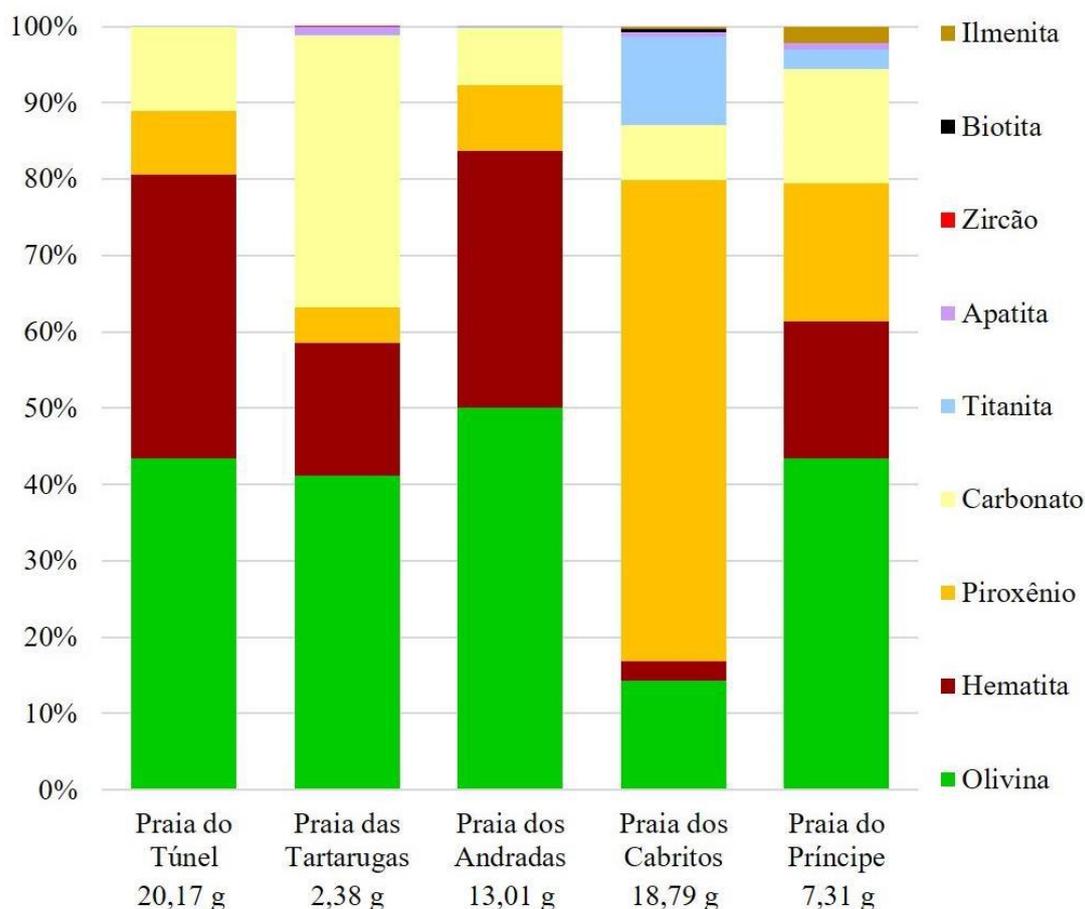


Figura 27 - Gráfico da porcentagem dos minerais pesados e carbonatos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil. (g) – peso em gramas do concentrado.

**Quadro 4** – Porcentagem dos minerais pesados e carbonatos na Ilha da Trindade.  
Tr = traço (<1%).

Minaerais	Praia do Túnel	Praia das Tartarugas	Praia dos Andradas	Praia dos Cabritos	Praia do Príncipe
Olivina	43,4	41,2	50,1	14,3	43,4
Hematita	37,2	17,3	33,7	2,6	18,0
Piroxênio	8,3	4,7	8,6	63,0	18,1
Carbonato	11,0	35,7	7,5	7,3	15,0
Titanita	Tr	Tr	Tr	11,6	2,6
Apatita	0	Tr	Tr	Tr	Tr
Zircão	0	Tr	0	Tr	0
Biotita	0	0	0	Tr	0
Ilmenita	0	0	0	Tr	Tr

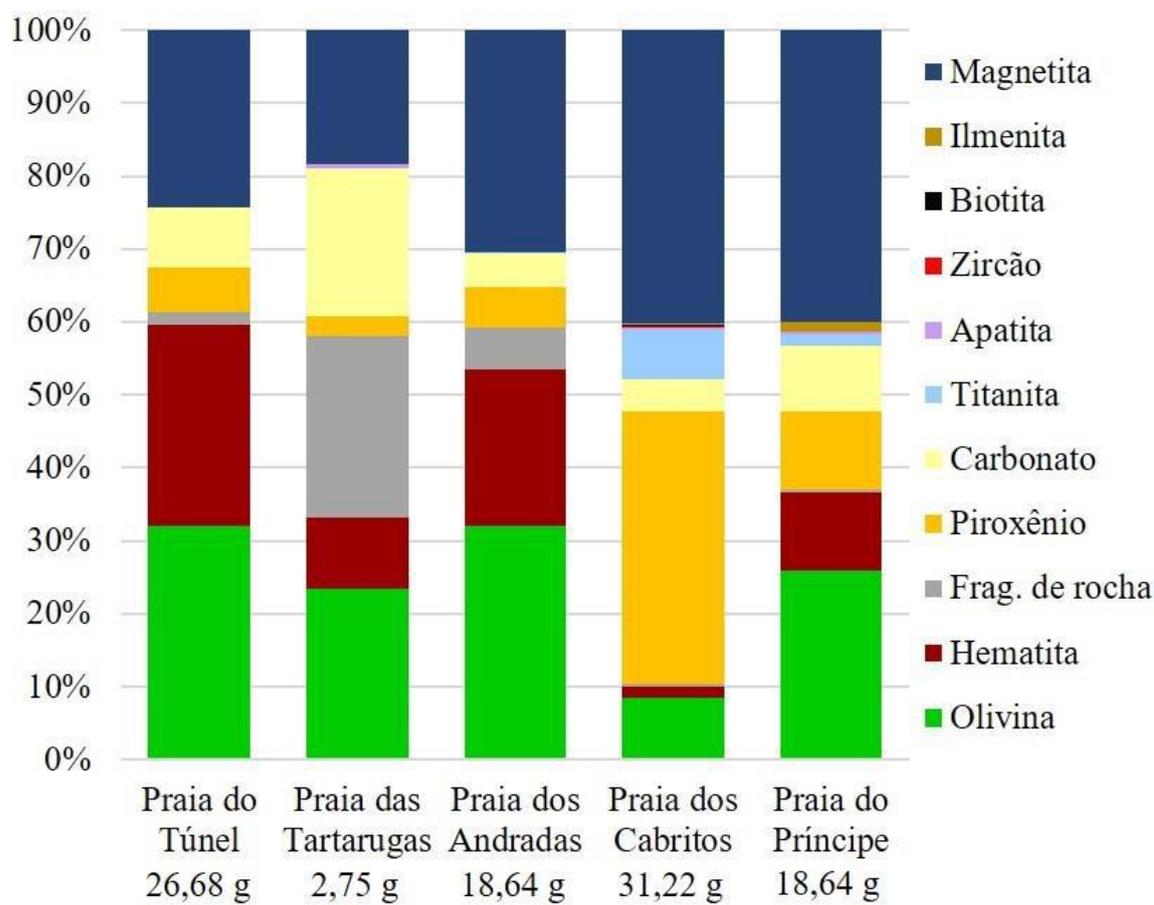


Figura 28 - Gráfico da porcentagem total dos concentrados das praias na Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil. (g) – peso em grammas do concentrado.

**Quadro 5** – Porcentagem total dos concentrados analisados. Tr = traço (<1%).

Grão	Praia do Túnel	Praia das Tartarugas	Praia dos Andradas	Praia dos Cabritos	Praia do Príncipe
Olivina	32,1	23,4	32,0	8,5	25,9
Hematita	27,5	9,9	21,5	1,5	10,8
Frag. de rocha	1,8	24,9	5,7	Tr	Tr
Piroxênio	6,2	2,6	5,5	37,4	10,8
Carbonato	8,2	20,3	4,8	4,3	8,9
Titanita	Tr	Tr	Tr	6,9	1,5
Apatita	0	Tr	Tr	Tr	Tr
Zircão	0	Tr	Tr	Tr	0
Biotita	0	0	0	Tr	0
Ilmenita	0	0	0	Tr	Tr
Magnetita	24,3	18,3	30,4	40,2	39,9

## 5 DISCUSSÃO

O tamanho médio das partículas das praias estudadas indica a proximidade com a área fonte e o grau de seleção com a dinâmica das ondas, que promovem um intenso retrabalhamento dos sedimentos (Folk, 1974, Martins, 2003 e Sousa *et al.*, 2017).

Por outro lado, a assimetria representa o grau de deformação da curva de frequência de acordo com a distribuição das frequências em relação a moda, média e mediana. As praias dos Cabritos e das Tartarugas tiveram assimetria positiva, indicando um deslocamento na curva de distribuição para a direita, caracterizando valores de  $\phi$  maiores que o da frequência média, correspondendo a grãos mais finos que a média dos grãos. As demais praias classificadas como aproximadamente simétricas, mostram uma distribuição de frequências praticamente igual para valores de  $\phi$  maiores e menores do que o da frequência média.

Os valores de curtose da praia dos Andradas e da praia do Príncipe condizem com Martins (1965), que afirma que os sedimentos de praia apresentam curvas leptocúrticas. Enquanto os valores das demais praias, indicam que houve pouco transporte do sedimento em relação à área fonte e que suas características originais estão preservadas (Folk & Ward, 1957).

Os dados estatísticos de curtose corroboram com o aspecto textural dos minerais pesados analisados por estereomicroscópio, pois alguns minerais como a olivina e o piroxênio, apresentavam-se prismáticos e eventualmente angulosos a subangulosos nas praias onde os valores de curtose indicavam pouco transporte, como na praia dos Cabritos. Ao passo que as praias que apresentaram curvas leptocúrticas, como a praia do Príncipe, esses mesmos minerais são subangulosos a arredondados e ocasionalmente prismáticos, indicando um transporte maior.

Como as praias da Ilha da Trindade são caracterizadas por enseadas semi-fechadas limitadas por promontórios, não observou-se o transporte de deriva litorânea longitudinal dos minerais pesados entre as praias estudadas. A concentração dos minerais pesados detríticos das 5 praias estudadas de certa forma reflete as condições geológicas locais. Tal fato também foi constatado por Castro (2010).

O gráfico dos minerais pesados permite observar uma variação percentual dos minerais na praia dos Cabritos, principalmente na proporção dos grãos de piroxênio e titanita frente aos grãos de olivina e hematita, quando comparados com as demais praias. O aumento percentual de piroxênio também é acompanhado por um aumento na concentração dos grãos de magnetita.

Os valores mais altos de piroxênio, titanita e magnetita nesta praia podem ser explicados pela presença de alguns diques de lamprófito, de nefelinitos sem olivina e também por lajedos descritos por Pires (2013) na praia dos Cabritos, ambos pertencentes ao Complexo Trindade. Esses lajedos são constituídos por brecha tufácea cuja matriz é formada por cristaloclastos de biotita, piroxênio e magnetita e piroclastos de rochas ultramáficas ricas em piroxênio e magnetita.

A praia do Príncipe, também apresentou valores elevados de magnetita e como essa praia apresentou curva leptocúrtica dos valores de curtose, essa concentração pode ser explicada principalmente pela remobilização de sedimentos através da ação de ondas e de correntes litorâneas. No quadrante SW as praias são pequenas, não apresentando grandes extensões, sendo a praia do Príncipe a maior praia deste quadrante, apresentando assim, um espaço maior para acomodação de minerais pesados. As ondas de sudoeste (marulho), mesmo incidindo diretamente sobre a Praia do Príncipe, não são capazes de remobilizar frações significativas de minerais pesados (Castro, 2010).

As porcentagens dos minerais pesados nas praias do Túnel e dos Andradas é muito semelhante, isso pode ser explicado pela composição das unidades geológicas adjacentes a essas praias. A praia do Túnel está circundada pela unidade Vulcão do Paredão com composição ankaratrítica, ao passo que a praia dos Andradas está localizada próxima a Formação Morro Vermelho, que também apresenta composição ankaratrítica.

Por outro lado, a praia dos Portugueses, localizada entre a praia do Túnel e a praia dos Andradas, apresenta porcentagens mineralógicas diferentes, com um aumento percentual dos fragmentos de rocha. Tal fato pode ser explicado pela morfologia da praia e pelo campo de dunas de composição bioclástica que impedem de certa forma o transporte de sedimentos constituído por minerais pesados.

De acordo com as assembleias mineralógicas analisadas foi possível constatar rápido transporte de sedimentos decorrentes de fluxos gravitacionais de massa em praticamente todas as praias da ilha. Tal fato foi constatado pela presença de grãos de olivina e piroxênio prismáticos em diversas praias, uma vez que, estes minerais são muito instáveis e instáveis, a ação do intemperismo químico.

Os grãos de carbonato foram formados nas próprias praias da ilha, muitas vezes englobando minerais pesados. Isso explica porque os grãos de carbonato afundaram no processo de separação por líquido denso. Entretanto, alguns grãos não apresentam inclusões e sua separação na fração dos minerais pesados pode ser explicada pela absorção do líquido denso, fazendo com que afundassem no bromofórmio. Por outro lado, as capas de hematita englobando alguns minerais é produto da oxidação do ferro que pode ter sido lixiviado de diversos minerais e rochas da ilha.

Como a Ilha da Trindade está localizada a aproximadamente 1.200 km do litoral continental brasileiro, a área fonte dos minerais analisados é a própria ilha. Entretanto todas as unidades litoestratigráficas da ilha apresentam os minerais caracterizados em diferentes

proporções, sendo assim, impossível discriminar qual rocha ou unidade exata serviu de fonte para cada mineral analisado.

O refinamento dessas análises pode ser atingido através do detalhamento composicional de algumas espécies minerais específicas, como a olivina ou o piroxênio (Morton & Hallsworth, 1999). A partir dessas análises químicas, seria possível estabelecer uma correlação com dados existentes da química de alguns minerais das rochas da ilha, apresentados por Marques *et al.* (1999). Essa correlação foi realizada por diversos trabalhos em outras áreas de estudo conseguindo determinar a área fonte dos minerais pesados, como Morton & Hallsworth (1994), Cascalho *et al.* (2006), Barros *et al.* (2010) e Sousa *et al.* (2017).

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos foi possível observar que as praias da Ilha da Trindade, apresentam granulometria entre areia média a areia muito grossa, sendo moderadamente selecionada. Identificou-se concentrações de minerais pesados constituídas por olivina, hematita, piroxênio, titanita, apatita, zircão, biotita, ilmenita e magnetita. Identificou também grãos de carbonato presentes em todas as praias estudadas, devido a inclusões de minerais pesados ou absorção do líquido denso. Realça-se a presença de fragmentos de rocha também em todas as praias.

A presença de minerais muito instáveis e instáveis, como por exemplo, olivina e piroxênio, corroboram para a correlação feita entre as curvas de curtose e as características texturais dos minerais. Essa constatação aponta pouco transporte entre a área fonte e a área de deposição. Tal fato, permitiu que os minerais mantivessem suas características originais, apresentando por muitas vezes hábitos prismáticos.

Na praia dos Cabritos, registrou-se aumento da concentração dos grãos de piroxênio, titanita e magnetita devido à presença de diques e rochas piroclásticas que não exibem cristais de olivina. Na praia do Príncipe, verificou-se aumento da concentração da magnetita devido à ausência de praias extensas voltadas para o quadrante sudoeste e de uma maior remobilização pela mecânica das ondas e correntes de deriva litorânea nesse segmento de praia.

Ressalta-se a necessidade de realizar análises composicionais de espécies minerais específicas visando correlacionar com dados químicos mineralógicos de outros trabalhos, para identificar as rochas fontes desses minerais. Com isso, os resultados alcançados visam subsidiar e fornecer informações no intuito de colaborar para o entendimento de concentrações de minerais pesados detríticos em ilhas oceânicas de origem vulcânica.

### Referências bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M. **Geologia e Petrologia da Ilha da Trindade**. 1961. 197p. Monografia XVIII, Div. Geol. Mineral, DNPM, Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ALMEIDA, F. F. M., 1963. Mapa geológico da Ilha de Trindade. Depto. Nac. Produção Mineral DNPM, Rio de Janeiro, 1 map.
- ALMEIDA, F. F. M. **Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica**. Terræ Didactica, 2006. v.2, n.1, p.3-18.
- ALVES, E. D. C., MAIA, M., SICHEL, S. E., & CAMPOS, C. M. P. D. Zona de fratura de Vitória-Trindade no Oceano Atlântico sudeste e suas implicações tectônicas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.24, n.1, p.117-127. 2006.
- BARROS, C. E. D., NARDI, L. V., DILLENBURG, S. R., AYUP, R., JARVIS, K., & BAITELLI, R. Detrital minerals of modern beach sediments in southern Brazil: a provenance study based on the chemistry of zircon. **Journal of Coastal Research**, p.80-93. 2010.
- CAMARGO, M. G. SysGran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v.36, n.2, p.371-378. 2006.
- CASCALHO, J., TABORDA, R., RODRIGUES, A., OLIVEIRA, A., POMBO, J., FRADIQUE, C. & BALSINHA, M. Os Minerais pesados como indicadores dos processos sedimentares – alguns exemplos da plataforma continental portuguesas. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE GEOLOGIA, 7, 2006, Évora. **Resumos expandidos... Sociedade Geológica de Portugal**, p.1-4.
- CASTRO, J. W. A. Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: uma visão da Geologia ambiental. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v.10, n.3, p.303-319. 2010.
- CASTRO, J. W. A.; ANTONELLO, L. L. Geologia das ilhas oceânicas brasileiras. **Ilhas oceânicas brasileiras da pesquisa ao manejo**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p.27-58. 2006.
- CORDANI, U. G. Idade do vulcanismo no oceano Atlântico Sul. **Boletim IGA**, v.1, p.09-75. 1970.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.27, n.1, p.3-26. 1957.
- FOLK, R.L. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin: Hemphills Publishing, 1974. 185p.
- GARDINER, D. J. & GRAVES, P. R. **Practical Raman spectroscopy**. Berlin: Springer-Verlag, v.1, 157p. 1989. ISBN 978-0-387-50254-0

GARZANTI, E., ANDÒ, S., VEZZOLI, G. Settling equivalence of detrital minerals and grain-size dependence of sediment composition. **Earth and Planetary Science Letters**, v.273, n.1-2, p.138-151. 2008.

GIBSON, S. A., THOMPSON, R. N., WESKA, R. K., DICKIN, A. P., & LEONARDOS, O. H. Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v.126, n.03, p.303-314. 1997.

GUAZELLI, W.; CARVALHO, J. C. **Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil**: a extensão da zona de fratura de Vitória-Trindade no oceano e seu possível prolongamento no continente. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1978. p.1-37.

HERZ, Norman. Timing of spreading in the South Atlantic: Information from Brazilian alkalic rocks. **Geological Society of America Bulletin**, v.88, n.1, p.101-112. 1977.

KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. New Jersey: Prentice-Hall, 1976. 429p.

KOMAR, P. D. The entrainment, transport and sorting of heavy minerals by waves and currents. In: MANGE, M. A. & WRIGHT, D. T. (ed.). **Heavy Minerals in Use**. Elsevier, p.3-48. 2007.

KRUMBEIN, W. C. Size frequency distributions of sediments. **Journal of sedimentary Research**, v.4, n.2, 1934.

LE MAITRE, R. W. **Igneous Rocks**: A Classification and Glossary of Terms. 02.ed. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press. 2002. 236p.

MANGE, M. A. & MAURER, H. F. W. **Heavy Minerals in Colour**. London: Chapman & Hall, 1992. 147p.

MARINHA DO BRASIL. **Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade**. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/secirm/portugues/trindade.html#programa>>. Acesso em: 10.11.2017.

MARQUES, L. S., ULBRICH, M. N., RUBERTI, E., & TASSINARI, C. G. Petrology, geochemistry and Sr-Nd isotopes of the Trindade and Martin Vaz volcanic rocks (southern Atlantic Ocean). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v.93, n.3, p.191-216. 1999.

MARTINS, L.R. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.35, n.1, p.768-770. 1965.

MARTINS, L.R. Recent Sediments and Grain size analysis. **Revista Gravel**, Porto Alegre, n.1, p.90-105. 2003.

MORTON, A. C. & HALLSWORTH, C. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, v.90, p.241-256. 1994

MORTON, A. C. & HALLSWORTH, C. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, v.124, p.3-29. 1999.

MOTOKI, A., MOTOKI, K. F., DE MELO, D. P. Caracterização da morfologia submarina da Cadeia Vitória-Trindade e áreas adjacentes, ES, com base na batimetria predita do TOPO versão 14.1. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p.151-170. 2012.

PARFENOFF, A., POMEROL, C., TOURENQ, J. **Les Minéraux en Grain**. Masson, 1970.

PENTTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E. & SIEVER, R. **Sand and Sandstone**. Nova York: Springer-Verlag, 1973. 618p.

PEREIRA, R. M., ÁVILA, C. A. & LIMA, P. R. A. S. **Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 128p.

PIRES, G. L. C. **Estratigrafia, Petrologia e Petrogênese de sequências vulcânicas alcalinas da Ilha da Trindade, ES, Brasil**. 2013. 145p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia / Departamento de Geologia, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIRES, G. L. C., BONGIOLO, E. M. The nephelinitic–phonolitic volcanism of the Trindade Island (South Atlantic Ocean): Review of the stratigraphy, and inferences on the volcanic styles and sources of nephelinites. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 72, p. 49-62, 2016.

SHEPARD, F.P. **Submarine geology**. Nova York: Harper & Row, 1967. 2<sup>a</sup> ed. 557p.

SOUSA, S. S. da C. G., CASTRO, J. W. A., GUEDES, E. Variações granulométricas e minerais pesados das praias do norte do estado do Rio de Janeiro, SE, Brasil: condições de distribuição e deposição dos sedimentos. **Geociências (São Paulo)**, v.36, n.2, p.365-380. 2017.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992. 171 p.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The journal of geology**, v.30, n.5, p.377-392. 1922.

WILSON, J. Tuzo. A possible origin of the Hawaiian Islands. **Canadian Journal of Physics**, v.41, n.6, p.863-870. 1963.

## Glossário

Nomenclatura de rochas específicas utilizadas neste trabalho segundo a convenção da *International Union of Geological Sciences*. IUGS (Le Maître, 2002):

**Ankaratríto** – Variedade melanocrática de olivina nefelínitos com biotita. (*Lacroix, 1916b, p.256; Ankaratra, Madagascar; Tröger 623; Johannsen v. 4, p.366; Tomkeiff p. 29;*

**Fonólito** – Rocha vulcânica constituída por alkali-feldspato e feldspatoides (nefelina principalmente), correspondente modal ao campo 11 do QAPF. (*Cordier, 1816, p.151; from the Greek phone = sound, lithos = stone; Tröger 465; Johannsen v.4, p.120; Tomkeiff p.435;*

**Grazínito** – Variedade de nefelínito fonolítico contendo analcima, sem olivina. (*Almeida, 1961, p.135; Mt Grazinas, Trindade Island, South Atlantic Ocean;*

**Nefelínito** – Rocha constituída essencialmente por nefelina e clinopiroxênio, pode ser classificada como variedade de foidito (campo 15c no QAPF) ou pelo diagrama TAS. (*Cordier, 1842, vol.8, p. 618; Tröger 615; Johannsen v.4, p.338; Tomkeiff p.385;*

**Sannaito** – Variedade de lamprófito constituído por uma combinação de fenocristais de olivina, Ti-augita, Ti-biotita e kaersutita com alkali-feldspato dominante em relação ao plagioclásio na matriz, podendo conter nefelina. (*Brögger., 1921, p. 180; Sannavand, Fen Complex, Telemark, Norway; Tröger 498; Johannsen v.4, p.159; Tomkeieff p.504;*

**Tannbuschito** – Variedade melanocrática de olivina nefelínitos constituído principalmente por piroxênio e poucas quantidades de nefelina e olivina. (*Johansen, 1938, p. 364; Mt Tannbusch (now Jedlová), near Úsit nad Labem, N. Bohemia, Czech Republic; Tröger(38) 623f; Tomkeiff p.563.*