

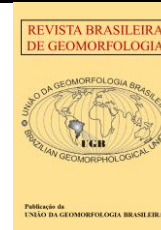


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, nº 3 (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2274>



Artigo de Pesquisa

Diferenciação de ambientes de sedimentação glaciais e vulcânicos na ilha Deception (Arquipélago Shetland do Sul, Antártica)

Differentiation of glacial and volcanic sedimentation environments on Deception Island (South Shetland Islands, Antarctica)

Vanessa Costa ¹, Diego Augusto Pereira da Costa Portella ², Rosemary Vieira ³ e Arthur Ayres ⁴

¹ Instituto de Geociências. Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense.

E-mail: vanessacosta@id.uff.br

ORCID: 0000-0003-4909-5365

² Instituto de Geociências. Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense. E-mail: daugusto@id.uff.br

ORCID: 0000-0001-5650-8004

³ Instituto de Geociências. Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense.

E-mail: rosemaryvieira@id.uff.br

ORCID: 0000-0003-0312-2890

⁴ Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense.

E-mail: aayres@id.uff.br

ORCID: 0000-0002-2982-245X

Recebido: 24/07/2023; Aceito: 20/03/2023; Publicado: 28/09/2023

Resumo: As ilhas do arquipélago Shetland do Sul apresentam rápidas mudanças ambientais decorrentes das condições climáticas, promovidas pelo aquecimento regional registrado nas últimas décadas. A ilha Deception, localizada no arquipélago, é a mais meridional das ilhas Shetland do Sul e contém o maior vulcão ativo da Antártica Marítima. As últimas erupções subglaciais que ocorreram entre 1969 e 1970 afetaram o balanço de massa das geleiras locais. Este estudo buscou evidências de processos ambientais na ilha Deception por meio da análise sedimentológica e medições de propriedades físicas em testemunhos sedimentares marinhos. Os resultados dos sedimentos referentes ao cone vulcânico submerso Ferraz Peak indicam a granulometria predominante em silte arenoso que se diferenciou das outras áreas que predominam em silte argiloso. O parâmetro da susceptibilidade magnética sugere valores de distinção entre a sedimentação de origem vulcânica ($>150 \text{ SI} \times 10^{-5}$), marinha e glacial ($< 120 \text{ SI} \times 10^{-5}$). Dados geoquímicos apresentaram teores maiores de Fe-Mn que sugerem mineralização hidrotermal submarina nos sedimentos do cone vulcânico Ferraz Peak. Portanto, as características sedimentares da ilha apresentam a dinâmica sedimentológica e as variabilidades ambientais da região.

Palavras-chave: Sedimentologia, Antártica Marítima, Ambientes Glaciais.

Abstract: The islands of the South Shetland archipelago present rapid environmental changes resulting from climatic conditions, promoted by regional warming registered in recent decades. Deception Island, located in the archipelago, is the southernmost of the South Shetland Islands and contains the largest active volcano in Maritime Antarctica. The last subglacial eruptions that occurred between 1969 and 1970 affected the mass balance of local glaciers. This study sought evidence of environmental processes on Deception Island through sedimentological analysis and measurements of physical properties in marine sedimentary cores. The results of the sediments referring to the submerged volcanic cone Ferraz Peak indicate the predominant granulometry in sandy silt that differed from the other areas that predominate in clayey silt. The magnetic

susceptibility parameter suggests values of distinction between sedimentation of volcanic origin ($>150 \text{ SI} \times 10^{-5}$), marine and glacial ($< 120 \text{ SI} \times 10^{-5}$). Geochemical data showed higher Fe-Mn contents that suggest underwater hydrothermal mineralization in the sediments of the Ferraz Peak volcanic cone. Therefore, the sedimentary characteristics of the island present the sedimentological dynamics and the environmental variability of the region.

Keywords: Sedimentology, Maritime Antarctica, Glacial Environments.

1. Introdução

As áreas livres de gelo no arquipélago Shetland do Sul apresentam paisagens típicas da Antártica Marítima, subpolares com ambientes paraglaciais, periglaciais e proglaciais. As geleiras subpolares se destacam nas pesquisas atuais por apresentarem alta sensibilidade à tendência de aquecimento regional. A paisagem periglacial é caracterizada pela atuação de ciclos de congelamento e degelo sazonal (RESENDE et al., 2019). Processos e formas periglaciais associados ao permafrost se destacam e bacias de drenagem com canais de fusão formados por geleiras em recuo (glaciofluviais) apresentam respostas às variações climáticas ambientais na escala temporal que variam entre anos e séculos (SIMÕES et al., 2015).

Atualmente, as regiões da Antártica Marítima apresentam balanços de massa negativos de neve e gelo e perda de permafrost (GOYANES et al., 2014; BOCKHEIM et al., 2013). O permafrost representa um dos principais indicativos na ilha, através do aumento da sua camada ativa. A camada possui sazonalidade de descongelamento, enquanto a camada passiva, geralmente mais profunda, possui congelamento permanente. Na Antártica, a perda de massa ocorre particularmente tanto nas áreas onde há contato do gelo diretamente com o mar quanto nas áreas terrestres (LOPEZ-MARTÍNEZ et al., 2002). Estudos realizados por Bockheim et al. (2013) evidenciam o balanço de massa negativo principalmente nas áreas próximas ao mar e diminuição da contribuição de neve nas áreas de acumulação, onde a acreção de neve e gelo é maior que a perda.

De acordo com Grácia et al. (1997) e Baraldo e Rinaldi (2000), a ilha Deception é um vulcão ativo jovem de idade aproximada de 0,75 MA, resultado do episódio de rifteamento do Estreito de Bransfield. A forma de ferradura da ilha deve-se aos processos de vulcanismo. Eventos de elevada energia deram origem à caldeira central, ou seja, a ilha é um cone vulcânico que colapsou e que, posteriormente, foi invadida pelo mar, formando a baía conhecida como Porto Foster. A ilha é composta predominantemente por material vulcânico como piroclastos, bombas e cinzas, e sedimentos retrabalhados por geleiras e degelo (glaciofluviais). Devido à presença de geleiras podem ocorrer erupções subglaciais (SMELLIE, 2002).

A ilha possui diversas formas de relevo, que se relacionam com suas características vulcânicas, glaciais e periglaciais. Dessa maneira, a dinâmica geomorfológica atual na ilha é determinada pela ação da água de fusão da neve e gelo, com o permafrost localmente controlado por atividades geotermiais, fluxos de detritos, quedas de blocos e leques aluviais (LÓPEZ-MARTINEZ e SERRANO, 2002; GOYANES et al., 2014). Ainda que o último evento de erupção tenha acontecido em 1970, sinais de vulcanismo ativo estão presentes e há indicadores de atividade geotérmica anômala, como fumarolas ou temperatura de solo elevada (LÓPEZ-MARTINEZ e SERRANO, 2002). O conjunto de indícios mais notável de atividade térmica ocorre em vertentes interiores, próximo às margens da baía de Porto Foster. Todavia, também se observam fumarolas ao norte de Whalers Bay e Mount Pond, a noroeste da base científica da Argentina e na vertente oeste de Fumarole Bay e Stonethrow Ridge, onde Lopez-Martinez et al. (2002) realizaram registros de temperaturas de, aproximadamente, 99° C neste último local.

Devido à multiplicidade dos processos geomorfológicos na ilha Deception, dominados por processos vulcânicos e glaciogênicos, o conhecimento do ambiente de sedimentação nas áreas costeiras e no interior da baía Porto Foster são ainda pouco explorados de forma integrada (MUNIZ et al., 2018). Os trabalhos sedimentológicos iniciados na região são, em sua maioria, relacionados às características específicas dos processos vulcânicos, através da petrologia ígnea (FISK, 1990; KELLER e FISK, 2002; FERREIRA et al., 2015), ou relacionados aos processos glaciais e periglaciais, na constituição dos solos e do permafrost (TOSTES, 2011; GOYANES et al., 2014).

Contudo, é necessária a correlação de métodos geofísicos e sedimentológicos associados à geomorfologia da ilha, para o reconhecimento das áreas fontes e dos processos erosivos que dominam a produção sedimentar da região. Estas análises podem colaborar para o entendimento da influência das atividades vulcânicas subglaciais

locais e do aquecimento regional no recuo das geleiras e degradação do permafrost na ilha Deception monitorados nas últimas décadas (SMITH Jr, 2003; VIEIRA et al., 2008; RAMOS et al., 2017).

A partir das sequências superficiais sedimentares é possível delimitar e diferenciar a intensidade das forças climáticas e vulcânicas na ilha Deception e em outras áreas do arquipélago. Os parâmetros analisados a partir da perfilagem dos testemunhos com multisensores são constantemente utilizados para a caracterização de camadas sedimentares amostradas por testemunhos. Na região da Antártica Marítima este método está sendo utilizado principalmente para calibrar dados geofísicos e identificar processos sedimentares marinhos e lagunares. Os parâmetros físicos dos sedimentos obtidos com multisensores ainda foram pouco utilizados para caracterização sedimentar na ilha Deception (LEITÃO et al., 2016). A investigação dos registros sedimentares pode revelar os padrões de distribuição dos sedimentos, sua procedência e ações de intemperismo, contribuindo para a reconstrução das condições paleoambientais e paleoclimáticas ocorridas na ilha Deception.

Neste trabalho, testemunhos de sedimentos marinhos foram coletados na baía Porto Foster com objetivo de detectar evidências de processos ambientais, oriundos de processos de transporte, deposição e retrabalhamento dos sedimentos, por meio da análise sedimentológica e medições de propriedades físicas em testemunhos sedimentares marinhos.

2. Área de Estudo

A ilha Deception está localizada no arquipélago Shetland do Sul, na região da Antártica Marítima, a cerca de 100 km ao norte da Península Antártica, entre as latitudes $62^{\circ}53'30''S$ e $63^{\circ}01'20''S$ e as longitudes $60^{\circ}29'20''W$ e $60^{\circ}45'10''W$ (Figura 1). A ilha é uma estrutura vulcânica ativa com últimas atividades eruptivas registradas em 1967, 1969 e 1970 (SMELLIE, 2002). Sua morfologia em ferradura com extensão de 15 km de diâmetro atinge altitude máxima de 539m em Mount Pound; 47% da ilha possui altimetria abaixo de 100 m (TOSTES, 2011).

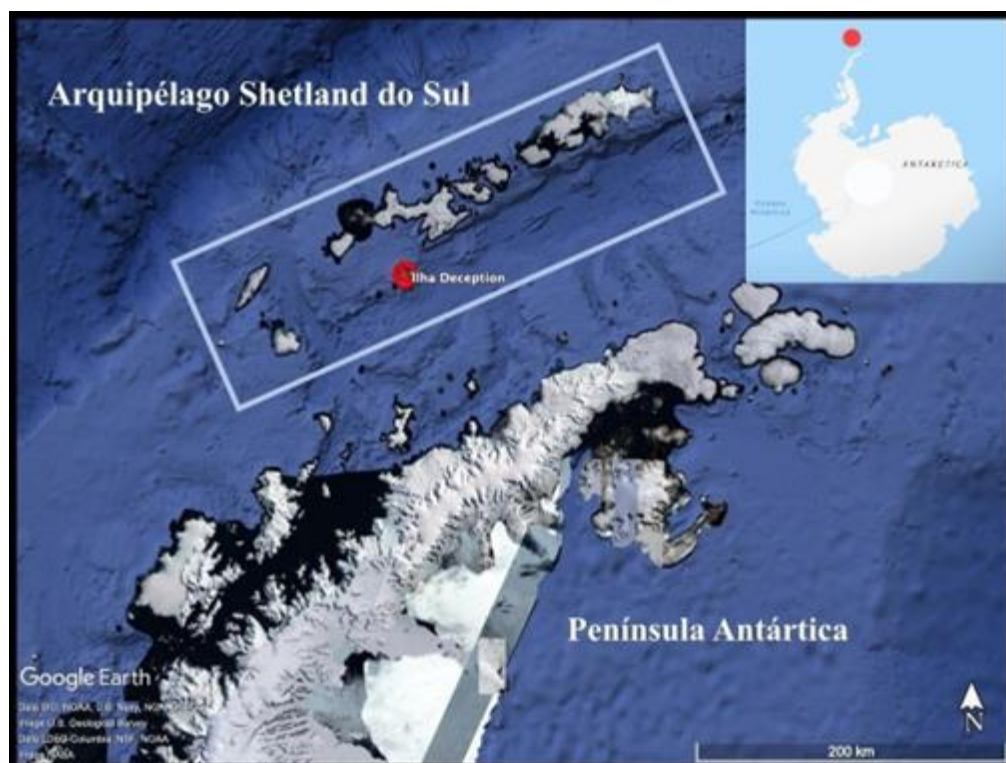


Figura 1. Localização da ilha Deception no arquipélago Shetland do Sul. Fonte: Google Earth.

As praias, que cercam a baía Porto Foster, são estreitas e constituídas de areia e cascalho, exceto ao longo da geleira Mount Pond, onde predominam basaltos e escórias andesíticas (SMELLIE e LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2002). A batimetria de fundo da baía Porto Foster revela que, a partir da praia, uma superfície relativamente plana (11-22% de declividade) se mantém, em média, por 500 m de largura e 60 metros de profundidade até um talude íngreme em direção ao centro da baía. Enquanto o centro da baía possui profundidades máximas de até 170 m,

exceto pela presença de pequenos cones e domos submarinos de origem vulcânica, com declives marginais íngremes (REY et al., 2002).

A reenrância do mar para a área central da ilha Deception se deve ao colapso da caldeira, formando a baía Porto Foster com 8 a 10 km de diâmetro que mantém uma conexão estreita de 500 m de largura com as águas exteriores do Estreito de Bransfield, denominada Fole de Netuno (SMELLIE e LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2002).

As condições meteorológicas da ilha Deception são semelhantes às de outras regiões das Ilhas Shetland do Sul. No monitoramento com estação meteorológica autônoma terrestre próxima a região de Cross Hill, desenvolvida em Smith Jr, (2003), entre 1999 e 2000, a média diária de ventos é de 0.2 m/s⁻¹ em outubro e 47.4 m/s⁻¹ em junho. Enquanto a temperatura média diária teve mínimas abaixo de -12,6°C em agosto de 2000 e 2,7°C em março de 1999. A ilha possui 57% de cobertura de geleiras que chegam a 100 metros de espessura nas áreas mais altas e com variações sazonais da camada ativa de permafrost e de neve. Registros aéreos estimam uma diminuição de 40m² da superfície das geleiras desde 1956. Alguns setores da ilha apresentam solo com temperaturas elevadas, fumarolas, crateras preservadas e erodidas (SMELLIE e LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2002).

O vulcanismo da ilha Deception tem origem das manifestações magmáticas associadas ao processo de subducção da placa tectônica de Drake sob a placa Shetland. A placa de Drake está incluída no sistema de microplacas formadas no Cenozóico que constitui o arco de Scotia, que liga a América do Sul à Península Antártica e onde contém o rift correspondente ao estreito de Bransfield (TROUW et al., 2000; AUGUSTO et al., 2004).

A geologia da Ilha Deception apresenta sua maior parte de afloramentos de depósitos piroclásticos. A superfície da ilha é composta de materiais vulcânicos como piroclastos, escórias e bombas formando tufos vulcânicos, além de depósitos aluviais e morânicos (SMELLIE e LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2002). A litoestratigrafia da ilha se divide entre as fases pré e pós-caldeira, denominadas como grupos Port Foster (HAWKES, 1961) e Mount Pond (SMELLIE, 2002).

As rochas vulcânicas da ilha variam entre basaltos a dacitos, mas predominam basaltos e basaltos andesíticos, relacionados aos tufos vulcânicos das erupções mais recentes. As últimas erupções vulcânicas (pós-caldeira) são consideradas de baixa intensidade e foram de origem freatomagmáticas (interação de água e magma), formando clastos juvenis e depósitos de cinzas (AUGUSTO et al., 2007).

No verão de 1967 foi registrada uma erupção subaquática em Telefon Bay, a noroeste da ilha, que causou um tsunami com oscilações do nível do mar local de até 2 metros, afetando principalmente a área de Pendulum Cove, nordeste da ilha, destruindo uma estação de pesquisa chilena e remodelando a área costeira da região (SMELLIE, 2002). Em geral, nas áreas costeiras da baía são observadas atividades geotermiais com fumarolas, proporcionando espécies de vegetação associadas como musgos e líquens (SMITH Jr., 2003).

3. Materiais e Métodos

Áreas de interesse geológico e geomorfológico foram selecionadas na Baía Porto Foster e nas áreas costeiras de Whalers Bay, Cross Hill e Pendulum Cove (Figura 2), área central da ilha Deception, com base na literatura e na caracterização morfológica do fundo da baía a partir de Leitão *et al.* (2016). Seis amostragens foram feitas com o amostrador do tipo *Box Corer* e armazenadas em seis canos de PVC de 30cm de comprimento (Tabela 1 e figura 3).

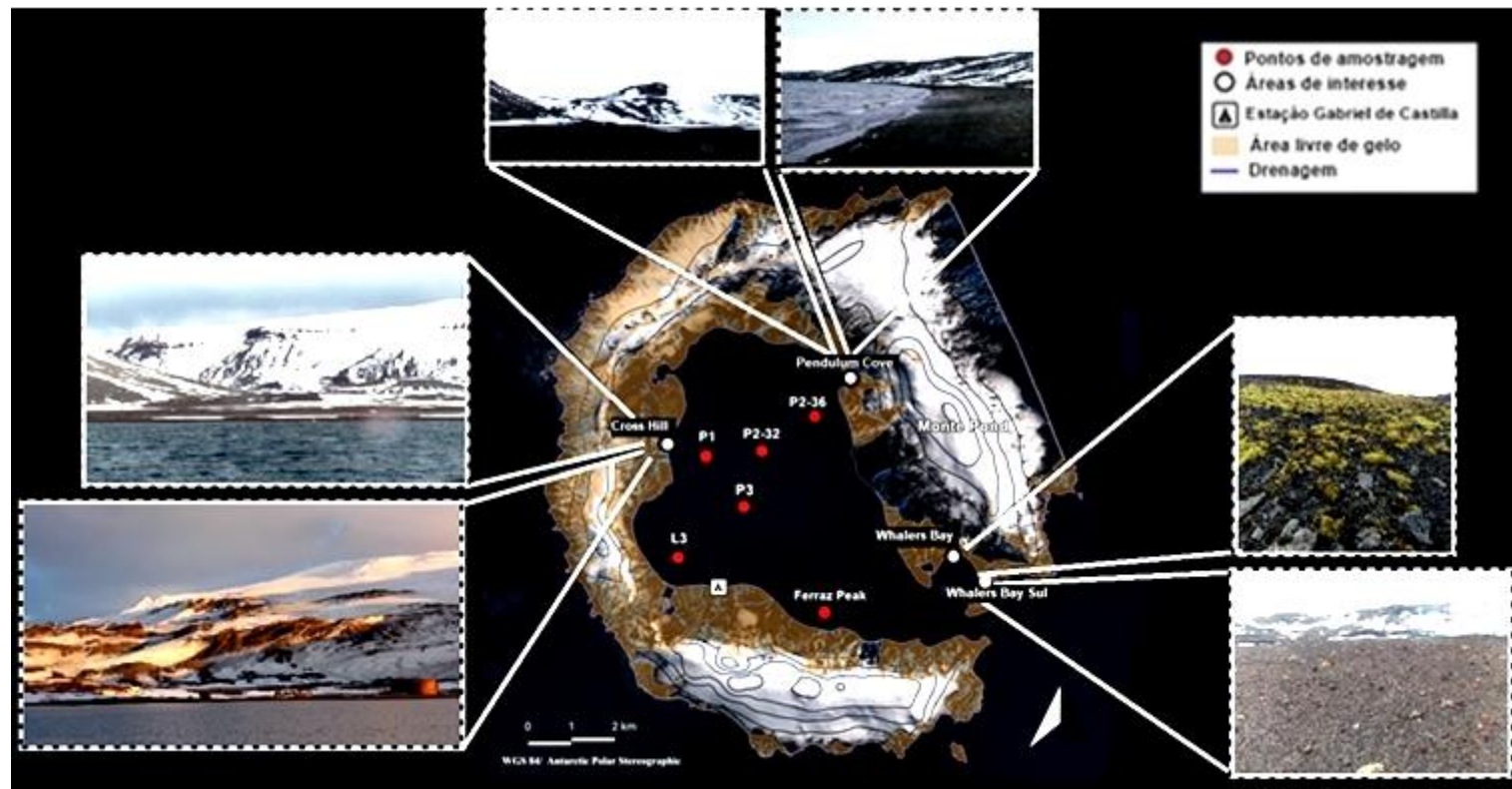


Figura 2. Locais de coletas de amostras durante as Operantares XXXII e XXXVI. Imagens Landsat Image Mosaic of Antarctica 1999-2002 (LIMA). Fonte: Antarctic Digital Database 2009 (ADD). Fotos: Rosemary Vieira. Operantar XXX

Tabela 1. Dados de localização das amostragens.

Data	Testemunho	Coordenadas	Profundidade(m)
06/12/13	P1	62°56'230" S / 60°39'42"W	151 m
06/12/13	P2-32	62°56'395" S / 60°37'9.1"W	159 m
06/12/13	Ferraz Peak	62°59'045" S / 60°33'72" W	95 m
18/01/18	P2-36	62°56'378" S / 60°37'908"W	152 m
18/01/18	P3	62°57'416" S / 60°39'159"W	168 m
18/01/18	L3	62°57' 536"S / 60°41'818"W	87 m

**Figura 3.** Amostragem de sedimentos com *Box Corer* em canos de PVC durante a Operantar XXVI (janeiro, 2018. Arquivo pessoal).

Os sedimentos foram congelados para sua preservação durante o transporte do navio ao laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da UFF; os testemunhos marinhos foram descongelados para perfilagem geofísica com as amostras em tubos de PVC ainda fechados. A perfilagem geofísica foi feita em intervalos de 1 cm com o equipamento *Multi-Sensor Core Logger* (MSCL) da GEOTEK que contém os sensores de densidade gama e susceptibilidade magnética. O perfilador *MultiSensor Core Logger* (MSCL) da Geotek, é composto de sensores que analisam as propriedades físicas de sedimentos inconsolidados em testemunhos ainda fechados, de forma indireta e não destrutível.

A densidade gama define a densidade do material através de fótons que não sofrem atenuação, detectados a partir da colimação de feixes de radiação gama emitidos a partir de uma fonte de Césio-137. A densidade de um material, sendo a razão entre a massa do material e o volume total ocupado, permite identificar variações na composição mineral e condições de saturação dos sedimentos a partir da combinação dos efeitos na densidade real dos grãos e em seu processo de compactação (SCHÖN, 1996).

Por outro lado, a suscetibilidade magnética é a medida do grau que uma determinada substância pode ser magnetizada quando aplicado um campo magnético, sendo a razão entre a magnetização e a força magnetizante. Esta propriedade permite identificar a presença de ferro e magnésio na composição mineralógica e diferenciar a origem terrígena ou biogênica do material, assim como processos pós-deposicionais (SCHÖN, 1996).

Os testemunhos em PVC foram abertos horizontalmente preservando o conteúdo central para descrição em perfil de profundidade de cor segundo a tabela Munsell (MUNSELL, 1992), convertidas em RGB para produção do esquema de descrição digital, com descrição de textura, distúrbios, conchas e seixos isolados, registrada de acordo com a convenção gráfica Nbr 13441 da ABNT. Subamostras foram coletadas a cada 1cm no centro do testemunho, pesadas e identificadas para cada tipo de análise, sedimentológica e geoquímica, assim como quarteadas para análises posteriores.

As amostras ainda congeladas foram liofilizadas por 72 horas e peneiradas para análises de tamanho das partículas. Os sedimentos <1mm foram defloculados com Hexametáfosfato de Sódio por 24 horas no agitador e analisados a partir do equipamento granulômetro a laser Malvern Mastersizer 2000 que processa o gradiente granulométrico 0,04 a 2.000µm (silte, argila e areia). Os dados com intervalos de 1cm dos testemunhos foram processados utilizando o Gradistat (BLOTT & PYE, 2001) e foram calculados a média e desvio padrão para análise. Os dados foram plotados em gráficos box plot no programa Past 4, do Museu Natural de Oslo (HAMMER et al., 2001).

Para determinar a composição química das amostras, foi utilizada a fração de tamanho <0,062mm no espectrômetro de raio X por dispersão de energia (EDXRF), SHIMADZU EDX-720 do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense. A porcentagem do peso dos elementos químicos das amostras foi utilizada como parâmetro de referência para a análise do cone vulcânico Ferraz Peak (amostra Ferraz Peak), devido a sua importância geológica e ausência de análises químicas justificadas por ser uma feição vulcânica descoberta recentemente.

Foram medidos os principais elementos: Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Br, Rb, Sr, Zn, elementos traços e associados aos óxidos. Para isso, razões químicas foram aplicadas e analisadas segundo os estudos recentes na região para a identificação de sedimentos vulcânicos, mudanças na sedimentação e origem dos sedimentos (KRAUS et al., 2013; MÃO DE FERRO et al., 2013; LIMA, 2017; MUNIZ et al., 2018).

A correlação de Pearson foi aplicada entre a granulometria, dados geoquímicos e físicos para análise dos perfis entre camadas, com determinação de correlação linear de Pearson "r" com nível de significância "p", calculado pelo "t" Student no qual indica a probabilidade da correlação ser inexistente, o valor crítico adotado de forma padrão aceito pelo software Paleontological Statistics (PAST) 4.01 foi $p < 0,05$, de acordo com os algoritmos de Press et al. (1992). A correlação de Spearman foi aplicada entre elementos traços e relação Si/Al. Os elementos traços apresentaram anormalidade entre os dados após teste estatístico (Shapiro-Wilk W), portanto utilizou-se a correlação de Spearman (Rs) para dados não lineares (ZAR, 1999).

A transformação logarítmica foi efetuada antes da aplicação da estatística multivariada. Foi também utilizado o coeficiente de correlação como matriz inicial de similaridades, a fim de eliminar o efeito de escala (ZAR, 1999). As análises de correlação linear e multivariadas foram processadas pelo software *Paleontological Statistics* (PAST) 4.01.

4. Resultados

A distribuição das amostras na baía Porto Foster se dá com: P1, P2-32 e P3 localizadas no centro da baía; L3 (sudoeste baía) e P2-36 (nordeste da baía) no talude e Ferraz Peak sobre o cone vulcânico (Figura 2).

4.1 Sedimentologia e propriedades físicas

A análise sedimentar do testemunho P2-36, mais próximo da costa, apresentou sedimentos mal selecionados, predomínio de silte médio (entre 68% e 83% de silte) e com o máximo de 38% de areia que predominam principalmente na base do testemunho (Figura 4). Também na base do testemunho foram identificadas as cores mais escuras, esverdeado médio ciano (2.5G 3/2 na tabela Munsell), sendo mais clara, amarela esverdeada (5GY 7/4 na tabela Munsell) nas profundidades abaixo de 4 cm e 6 cm, junto com aumento expressivo de areia (38%). A susceptibilidade magnética apresenta valores >50 e <100 SI $\times 10^{-5}$ e densidade gama variável entre 1,3 g/cm³ e 1,6 g/cm³. Todos os valores da susceptibilidade magnética e densidade gama estão relacionados na Figura 5.

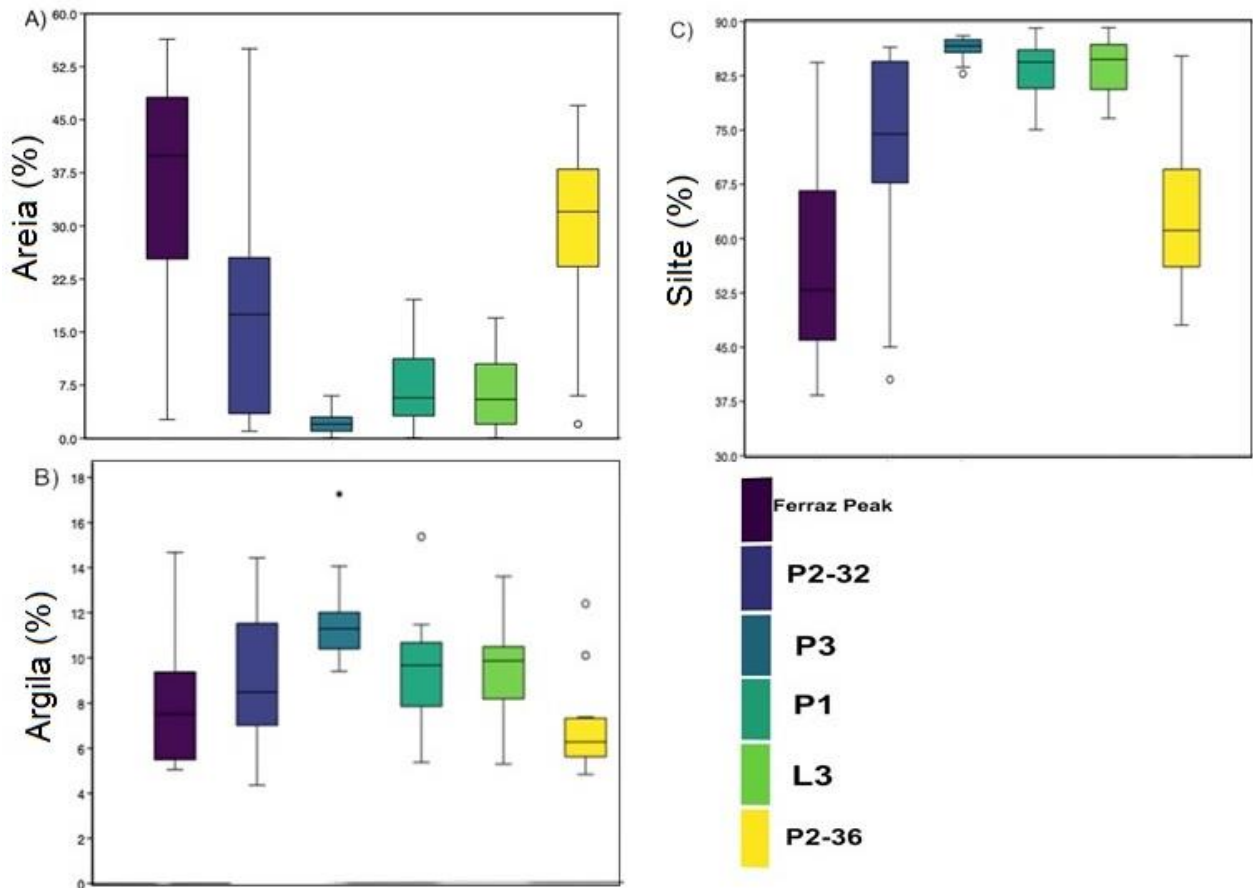


Figura 4. Distribuição granulométrica dos testemunhos analisados. A) Areia, B) Argila, C) Silte.

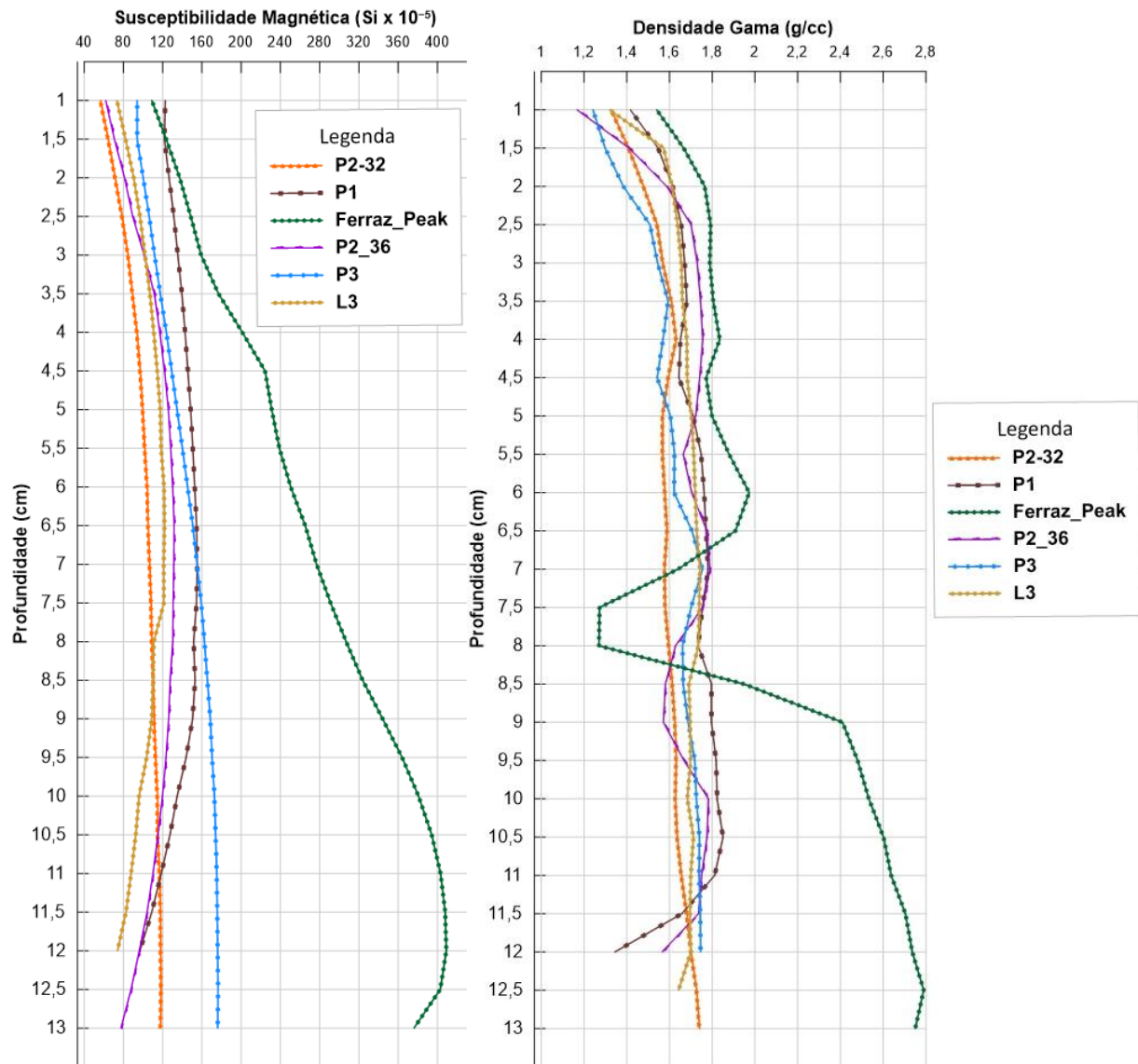


Figura 5. Perfis dos parâmetros Susceptibilidade Magnética ($\text{Si} \cdot 10^{-5}$) e Densidade Gama (g/cm^3) dos sedimentos marinhos.

O testemunho P2-32, mais ao centro da baía (152 m de profundidade), apresentou sedimentos com baixa porcentagem de areia (até 23%), textura lamosa e sem clastos maiores que areia, matriz de coloração acinzentada (7.5GY 4/2 Munsell) e mosqueados de cor cinza escuro (10YR 4/1), valores de susceptibilidade magnética entre $50 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e $120 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e densidade gama (entre $1,3\text{g}/\text{cm}^3$ e $1,7\text{g}/\text{cm}^3$).

O testemunho P3, coletado em maior profundidade (168 m), indicou a menor quantidade de areia (6%) e maior de silte (86%) em todas as subamostras, com tonalidades homogêneas, variando entre amarronzada e acinzentada, 5GY 2/1 e 10YR 4/1 Munsell. Valores de susceptibilidade magnética entre $50 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e $120 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e densidade gama (entre $1,3\text{g}/\text{cm}^3$ e $1,7\text{g}/\text{cm}^3$).

Na descrição do testemunho P1 destacam-se seixos angulares basálticos ($>5 \text{ mm}$ e $<10 \text{ mm}$) no topo do testemunho e grânulos ($>2\text{mm}$ e $<4\text{mm}$) até a base do testemunho (entre 9cm e 16cm de profundidade), sempre envolvidos em um pacote sedimentar lamoso com tonalidades diferenciadas (cinza escuro- 10YR 4/1 na tabela Munsell) em partes do testemunho (entre profundidades de 4 cm e 10 cm). A análise sedimentar dos sedimentos finos indicou até 90% da predominância de silte, e a média de 5% de argila. As camadas com colorações escuras apresentaram o maior teor de areia com até 19% (profundidade de 8 cm). A susceptibilidade magnética apresenta o valor médio de $136 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e densidade gama média de $1,7\text{g}/\text{cm}^3$.

A distribuição granulométrica do testemunho L3 indica o predomínio unimodal de sedimentos finos, com predomínio de silte fino (entre 75% e 85% do testemunho) com baixa concentração de areia (em média de 8%) e

entre 5% e 10% de argila. Destaca-se a presença de fragmentos de conchas entre 8 e 10cm de profundidade do testemunho. A base e o topo possuem a mesma cor castanha escura (5y 2/1). A susceptibilidade magnética apresenta o valor médio de $98 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e densidade gama média de $1,6 \text{ g/cm}^3$.

4.2 Sedimentologia, propriedades químicas e físicas do cone vulcânico Ferraz Peak

O testemunho coletado na superfície do fundo marinho do cone vulcânico Ferraz Peak é composto por silte arenoso, com um valor médio de 56,2%. A densidade gama apresentou correlação positiva com a porcentagem de silte ($r=0,14$ $p=0,45$) e valor médio de densidade gama $1,9 \text{ g/cm}^3$. Clastos de até 2 cm são identificados na base do testemunho até a profundidade de 6 cm e fragmentos de conchas predominam na base do testemunho até 2 cm de profundidade no sedimento de matriz cinzenta (7.5yr N2).

Também foi identificada a concentração diferenciada de sedimentos de coloração acinzentada escura (10YR N1) no centro do testemunho entre 6 cm e 11 cm de profundidade. A variação da susceptibilidade magnética é de $>93 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e $< 409 \text{ SI} \times 10^{-5}$ correlaciona com aumento da densidade gama ($r=0,60$ $p=0,05$) e se correlaciona negativamente com granulometria areia ($r=0,49$ $p=0,10$). A profundidade entre 6 cm e 11 cm se destaca nos valores de densidade ($1,27 \text{ g/cm}^3$) e a maiores proporções de silte (80%).

Os elementos em maior concentração nos sedimentos são respectivamente: silício, alumínio, ferro, sódio, cálcio, magnésio e titânio (Tabela 2), sendo uma composição usual de rochas ígneas (MOTOKI, 2004). O fósforo é o elemento que mais varia, decaindo de acordo com a profundidade. Os elementos traços se destacam pelas variações de chumbo (desvio padrão 10,2) e cádmio (desvio padrão 7,5) e correlação positiva entre os dois elementos ($r= 0,53$ e $p=0,84$) no perfil (Figura 6), elementos inferidos como fontes hidrotermais nos trabalhos de Guerra et al. (2011), Terrance (2019) e Mão de Ferro et al. (2013). Não foram detectadas concentrações de arsênio e bário.

Tabela 2. Elementos principais dos sedimentos de Ferraz Peak identificados pelo espectrômetro de raio X por dispersão de energia (EDXRF).

Ferraz Peak	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	Mg (%)	P (%)	K (%)	Si (%)	Na (%)	Ti (%)
Mínimo	6,23	3,94	5,93	1,57	0,15	0,44	24,92	4,73	1,46
Máximo	7,04	4,44	6,53	1,70	0,35	0,51	27,65	5,36	1,72
Média	6,68	4,28	6,17	1,63	0,24	0,49	26,80	4,98	1,60
Coefficiente de variação	5,25	3,52	2,92	2,52	31,08	3,83	2,73	4,10	6,68

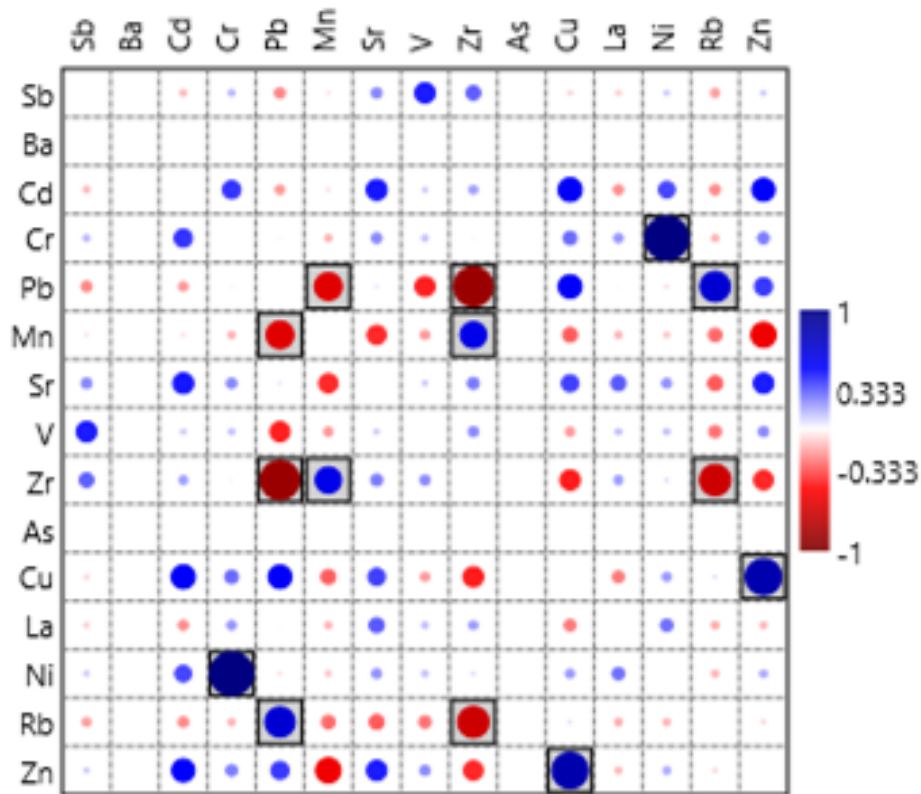


Figura 6. Correlação entre os elementos traços detectados no testemunho do cone vulcânico Ferraz Peak. Onde vermelho significa correlação negativa e azul correlação positiva. Os elementos que não há probabilidades de correlações estão bordeadas por um quadrado ($p < 0,05$).

Com os metais pesados, a razão Si/Al apresentou correlação negativa forte apenas com o elemento vanádio e correlação positiva mais forte com Zn ($r=0,65$, $p=0,15$) (Figura 7), mais concentrados na superfície e topo do testemunho, sugerindo ser de fontes hidrotermais nos cones vulcânicos da ilha como infere Guerra et al. (2011) em análises de metais pesados. As frações de argila com minerais primários são comuns nos solos da Antártica devido ao intemperismo físico decorrente da crioclastia e processos de erosão glacial (JEONG et al., 2004; MICHEL et al., 2006, 2015; SIMAS, 2006; SIMAS et al., 2008). Contudo, alta relação Si/Al e menores teores de carbono já medidos na ilha por Mão de Ferro et al., 2013 e Muniz et al, 2016, contribuem para uma baixa capacidade de adsorção de metais pesados nos sedimentos grosseiros e, como consequência, os metais pesados ficam presentes principalmente nas frações de argila, onde predominam aluminossilicatos (Al_2SiO)(MÃO de FERRO et al., 2013).

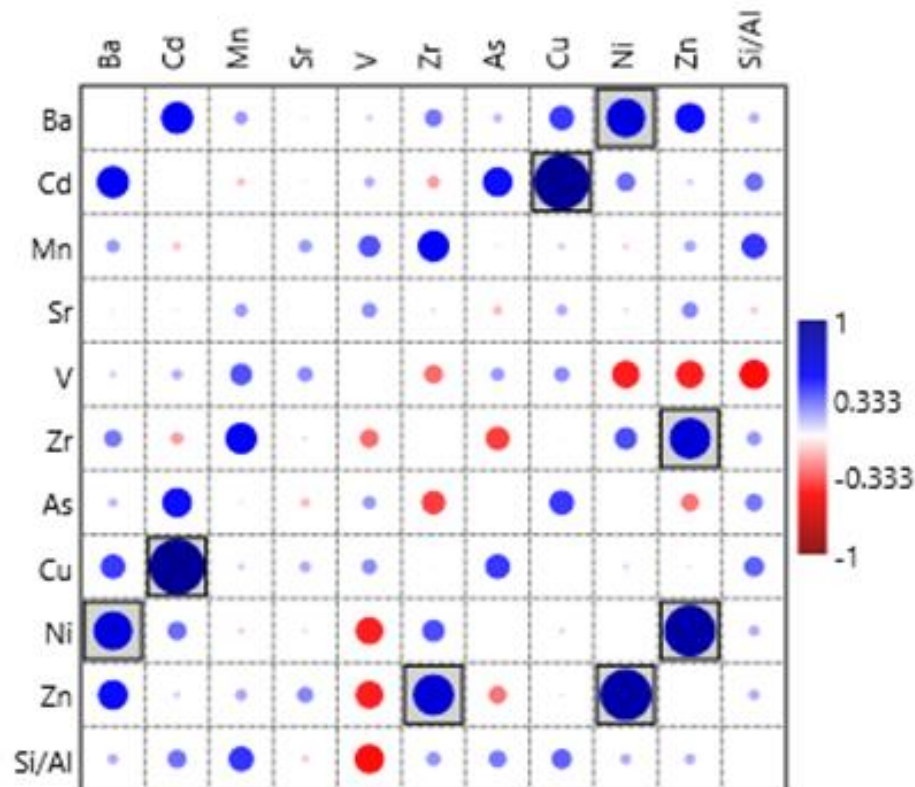


Figura 7. Correlação entre metais pesados (ppm) com a razão Silício/Alumínio (%) no cone vulcânico Ferraz Peak apresentaram a concentração de metais pesados nos sedimentos mais finos, associados aos aluminossilicatos, que sugerem a fonte hidrotermal dos metais pesados, opostos às fontes antropogênicas ou terrestres, como infere Guerra et al. (2011) e Mão de Ferro et al. (2012). As correlações com menor significância e possibilidade de correlação Si/Al ($p < 0,15$) foram retiradas para melhor representação (Rb, La, Cr, Pb, Sb).

5. Discussões

Os dados processados da granulometria e dos parâmetros físicos apresentaram valores distintos entre os pontos de coleta. Também são diferenciados entre as características do perfil sedimentar, associando-se aos resultados durante a descrição dos testemunhos; clastos erráticos e diferenciação de camadas puderam ser observados visualmente através dos testemunhos abertos.

Os testemunhos P2-32 e P2-36 foram coletados em frente às margens de Pendulum Cove e no meio da baía, respectivamente, próximo à região de Crimson Hill e das geleiras do monte Pond, a leste da baía Porto Foster. Monte Pond é o ponto de maior altitude da ilha composto de chaminés vulcânicas do complexo pós-caldeira, principalmente da última erupção de 1970 (SMELLIE, 2002). Os testemunhos coletados estão localizados na área caracterizada por Cavaggioni (2016) pelo ecocaráter tipo 1B de Damuth (1976) que cobre 65% da superfície marinha da baía.

O ecocaráter do tipo 1B, também descrito por Magrani (2014), nas áreas de maior profundidade da margem continental do estreito de Bransfield, é identificado por refletores definidamente estratificados com constância da deposição do pacote sedimentar, com maiores composições de lama e menos intercalações de areia nas camadas sedimentares, sugerindo menor velocidade de transporte do material depositado.

A baixa porcentagem de areia do testemunho 32-P2 pode ser justificada pela maior distância de transporte e retrabalhamento desde sua origem em comparação com as concentrações de areia do testemunho 36-P2. Enquanto a similaridade dos valores de susceptibilidade magnética (>50 e <120 SI $\times 10^{-5}$) e densidade gama (entre 1,3g/cm³ e 1,7g/cm³) possam sugerir a mesma fonte dos sedimentos glaciais de monte Pond (Figura 5).

Os sedimentos glaciais da ilha Deception apresentam características geoquímicas similares nos sedimentos vulcânicos e são característicos pelo efeito isolante térmico do gelo estão, sobretudo, relacionados às áreas termocásticas e ao permafrost (KLAY, 1970). Neste trabalho, sugerimos que a diferenciação entre sedimentos glaciais e vulcânicos pode ser dada segundo a granulometria, compactação do sedimento e retrabalhamento que

podem refletir também na intemperização, que se modifica ao longo da interface gelo-rocha, como morainas e nas drenagens que seguem em direção à baía Porto Foster, como inferido por Portella (2021).

O testemunho P3, em maior profundidade (168m) e com menor concentração de areia (6%) também apresentou valores de densidade gama que sugerem a diferenciação de texturas superficiais entre as profundidades, onde as primeiras camadas são mais arenosas e diminuem com a profundidade. Enquanto a susceptibilidade magnética sugere uma composição química similar a amostra P1, localizada à frente da região de Cross Hill (ponto marcado no mapa da Figura 2) com diferenciações entre a base do testemunho e o topo. A região de Cross Hill é caracterizada por lahars, avalanches típicas de atividades vulcânicas e se mantiveram riachos com material arenoso que se deposita até a baía (MUNIZ et al., 2018). As características apresentadas são compatíveis com os estudos que identificaram as rochas piroclásticas dessa área que serviram de assinatura do magmatismo tipo arco vulcânico (FERREIRA et al. 2014).

O ponto de amostragem do testemunho L3, localizado próximo à estação científica argentina Decepción, está em frente da região do Cerro Caliente que possui uma ampla superfície poligênica de erosão, originada do aumento da camada ativa do permafrost (MELLO, 2009). De acordo com sondagens na área da Base Espanhola realizada por López-Martínez et al. (1996), a camada ativa tem em média uma espessura vertical que compreende entre 60 a 90 cm em vertentes com declives entre 5° e 10°.

López-Martínez et al. (2012) referem ainda que em locais próximos à costa o permafrost ocorre diminuindo sua profundidade até as altitudes próximas ao nível médio do mar, desaparecendo junto à linha de costa. A camada ativa, parte do permafrost que se descongela sazonalmente, é um elemento de extrema importância nas áreas livres de gelo da ilha, pois tem origem nos processos térmicos e geodinâmicos que condicionam as formas de relevo e os processos periglaciais.

O aumento da profundidade da camada ativa indica mudanças nos processos de descongelamento na região e pode indicar aumento da temperatura regional. Além disso, o aumento da camada ativa no permafrost aumenta o fluxo de água de fusão e, com isso, o maior transporte de sedimentos. Esta concentração de sedimentos finos e a alta seleção dos sedimentos podem indicar a menor velocidade de transporte e deposição entre as outras áreas dos testemunhos e estar relacionada aos processos de descongelamento sazonal do permafrost já que este se encontra até a linha de costa e o predomínio unimodal de sedimentos finos indica pacotes sedimentares bem delimitados pela sazonalidade.

A amostra P1 está localizada próxima a área costeira de Cross Hill, uma área dotada de feições vulcânicas, como a cratera *maar* de 800m de diâmetro preenchida de água de degelo, surgida a partir da última erupção freatomagmáticas em 1970 (SMELLIE e LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2002). Apesar de ser uma área com feições vulcânicas, Muniz et al. (2018) também apresentam a partir da análise isotópica de carbono e nitrogênio que os solos das áreas costeiras de Cross Hill têm como fonte sedimentar os canais de drenagem e o recuo de geleiras. O padrão de sedimentos mal selecionados e seixos erráticos apresentados no testemunho P1, sugere como fonte a erosão causada pelo recuo da geleira e o transporte por canais de água de degelo.

O testemunho coletado na superfície do fundo marinho do cone vulcânico Ferraz Peak apresentou a maior diferenciação entre os testemunhos das outras áreas da ilha. O testemunho é composto por silte arenoso ($> 8\mu\text{m}$ e $< 77\mu\text{m}$). A concentração arenosa homogênea pode estar relacionada à concentração de material piroclástico, como fragmentos vulcânicos de escórias e bombas de origem das explosões vulcânicas. Através de dados multifeixes, Leitão (2015) e Leitão et al. (2016) sugerem que a superfície do cone vulcânico é coberta com sedimentos de granulometria homogênea.

Leitão et al. (2016) obtiveram dados de densidade gama de amostras marinhas que identificaram a predominância de siltes finos (6.9φ). Esses dados apoiam a interpretação de dados de batimetria multifeixe, por geoacústica submarina, para caracterização do fundo marinho da Baía Foster, área central da ilha Deception.

Neste trabalho, a densidade gama no cone vulcânico (amostra Ferraz Peak) apresentou correlação com a granulometria de areia fina à fração argila com diferenciação sobre o valor médio de densidade 1,9 g/cm³. A variação da suscetibilidade magnética ($>93 \text{ SI} \times 10^{-5}$ e $< 409 \text{ SI} \times 10^{-5}$) também pode justificar o aumento da densidade com a granulometria, como o aumento de material tamanho areia. Esta proposição é validada pelos maiores teores de ferro, magnésio e zinco na amostra (6,5 %WT contra 5,8 %WT da amostra P3), comprovados em trabalhos anteriores com sedimentos marinhos e terrestres da ilha Deception (ANGULO-PRECKLER et al., 2021). Incluem também a concentração de metais pesados de origem dos gases de fumarolas, em águas salinas, onde Cu e Pb tiveram importantes fontes pontuais e os maiores valores estão na superfície (GUERRA et al., 2011;

MÃO DE FERRO et al., 2013). Além disso, segundo Mão de Ferro et al. 2013 a alta relação Si/Al e baixo carbono analisado nos sedimentos da ilha contribui para uma baixa capacidade de adsorção de metais pesados e, como consequência, os metais pesados devem estar presentes principalmente em fração dissolvida, o que justifica o teor de metais pesados nos sedimentos mais finos.

A profundidade entre 6 cm e 11 cm se destaca pela diminuição das razões, nos valores de densidade ($1,27 \text{ g/cm}^3$) e a maiores proporções de silte (80%), coloração acinzentada escura (10YR N1 na tabela Munsell) e concentração média de 6,17% de Fe, sugerindo deposição de cinza vulcânica e material piroclástico (*tephra layers*). O perfil do cone vulcânico está na maior distância dos locais das últimas erupções, em comparação aos outros testemunhos. Contudo, sugere-se que esta deposição ocorreu a partir de atividades e ejeção local, também é conhecida no cone vulcânico de Stanley Patch, que também faz parte da série de cones submersos na baía Porto Foster (HOPFENBLATT et al., 2021).

As características geoquímicas dos cones vulcânicos submarinos são significativas para entender o complexo magmático formador das ilhas vulcânicas e sua evolução geológica. As razões elementares indicaram o decaimento dos valores nas razões Si/Al de acordo com a profundidade entre o topo e a base do testemunho. Si/Al está relacionado com Pb e Zn (concentrados na superfície e topo do testemunho), que representam fontes hidrotermais nos cones vulcânicos da ilha.

Os estudos geoquímicos dos cones vulcânicos submersos são importantes para entender o complexo magmático formador da ilha e sua evolução geológica. Rey et al. (1995) identificam três unidades sismodeposicionais ao caracterizar eventos vulcânicos submarinos, das quais se propôs o modelo onde concentrações de Fe-Mn caracterizam os cones vulcânicos submarinos da ilha. Uma das unidades está relacionada à falha normal NW-SE que serve de abertura para fumarolas entre a baía Fumarola e Pendulum Cove. A outra unidade está relacionada à formação da costa de Macarroni Point. Enquanto os cones vulcânicos estão associados ao pós colapso da ilha e tem como fonte a falha estrutural de baixo ângulo. As concentrações de Fe-Mn dos cones vulcânicos sugerem mineralização hidrotermal, ainda sendo investigada, portanto se tornando uma importante área de estudos sobre o tema (REY et al., 2015).

6. Conclusões

Ainda que os últimos trabalhos relacionados a composição sedimentar da baía Porto Foster indiquem a homogeneidade dos sedimentos do fundo da baía com o predomínio de material piroclástico siltoso, podemos analisar que há variações locais e entre as profundidades das camadas dos pacotes sedimentares da ilha. Observa-se a correspondência de material com a profundidade da baía, a amostra mais profunda (168m) possui baixas taxas de susceptibilidade magnética ($<80 \text{ SI} \cdot 10^{-5}$), o que sugere atividade não relacionada às atividades vulcânicas, mas por material biogênico marinho de sílica e carbonatos, que se confirma pela análise geoquímica com teores mais altos de cálcio sobretudo no topo dos testemunhos e em áreas próximas à costa da ilha. Observa-se que os arcabouços sedimentares são controlados por suas áreas fontes definidas pela geomorfologia da ilha, tal como a forma de transporte e retrabalhamento por atividades vulcânicas e degelo. Este trabalho buscou contribuir para futuras análises químicas da ilha Deception com o objetivo entender o predomínio dos processos glaciais e vulcânicos sobre as dinâmicas sedimentares e geomorfológicas da ilha. Os processos diferenciados de sedimentação na baía podem estar relacionados às mudanças ambientais observadas na área, tal como na região da Antártica Marítima, que ainda não foram totalmente desvendados.

Contribuições dos Autores: Todos os autores participaram da coleta de sedimentos, analisaram os dados e revisaram o texto. O texto foi escrito como parte do trabalho doutoral da primeira autora.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Chamada Nº 64/2013, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).

Agradecimentos: Pela contribuição de conhecimentos dos métodos utilizados neste trabalho, agradecemos aos professores Alan Sandes de Oliveira (Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra -UFF), Rodrigo Abuchacra (Instituto de Geografia-UERJ) e João Paulo Felizardo do Laboratório de Radioecologia e Alterações Ambientais (LARA-Instituto de Física -UFF).

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

Referências

1. ANGULO-PRECKLER, C.P., PERNET, C., GARCÍA-HERNÁNDEZ, G., KERESZTURI, A.M., ÁLVAREZ-VALERO, J., HOPFENBLATT, J., GÓMEZ-BALLESTEROS, M., OTERO, X.L., X.L., CAZA, J., RUIZ-FERÁNDZ, J., GEYER, A., AVILA, C. Volcanism and rapid sedimentation affect the benthic communities of Deception Island, *Antarctica Continental Shelf Research*, 104404 (2021), DOI: 10.1016/j.csr.2021.104404
2. AUGUSTO, M.R., CASELLI, A.T., SANTOS, A.M. Manifestaciones de piritas framboidales en fumarolas de isla Decepción, Antártida, implicancias genéticas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (1), p. 152-157. 2004. ISSN 0004-4822
3. BARALDO, A., RINALDI, C.A. Stratigraphy and structure of Deception Island, South Shetland Island, Antarctica, *Journal of South American Earth Sciences* 13, p. 785-796. 2000. DOI: 10.1016/S0895-9811(00)00060-2
4. BOCKHEIM, J., VIEIRA, G., RAMOS, M., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., SERRANO, E., GUGLIELMIN, M., NIEUWENDAM, A. Climate warming and permafrost dynamics in the Antarctic Peninsula region. *Global and Planetary Change* 100, p. 215-223. 2013. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.10.018
5. CAVAGGIONI, D. Caracterização de Sedimentos Vulcano glaciomarinheiros pelo método de eco caracteres na Baía de Port Foster, Deception Island, Antártica. Dissertação (Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra) – UFF-Niterói. 2016.
6. DAMUTH, J.E., GORINI, M.A. The Equatorial Mid-Ocean Canyon: a relict deep-sea channel on the Brazilian continental margin. *Geological Society of America Bulletin* 87 (3), p. 340-346, 1976.
7. De LIMA, R.G. Química mineral, petrografia, e geoquímica das rochas vulcânicas da Ilha Deception, Antártida. Dissertação (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias), Universidade Federal de Sergipe, 2017.
8. FISK, M.R. Volcanism in the Bransfield Strait, Antarctica. *Journal of South American Earth Sciences* 2-3, p.91-101. 1990. DOI: 10.1016/0895-9811(90)90022-S.
9. FOLK R.L, WARD W.C. Petrol Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentology*. 3 (27): 3-26. 1957.
10. GOYANES, G., VIEIRA, G., CASELLI, A., CARDOSO, M., MARMY, A., SANTOS, F., BERNARDO, I., HAUCK, C. Local influences of geothermal anomalies on permafrost distribution in an active volcanic island, Deception Island, Antarctica. *Geomorphology* 225, p. 57-68. 2014. Local influences of geothermal anomalies on permafrost distribution in an active volcanic island, Deception Island, Antarctica. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.04.010
11. GRÀCIA, E., CANALS, M., FARREEN, M., PRIETO, M.J., SORBIDAS, J., PALIA, R. Central and Eastern Bransfield Basins, Antarctica, from a high resolution swath bathymetric data. *Antarctic Science* 9 (2), p. 168-180. 1997. DOI: 10.1017/S0954102097000229
12. GUERRA, R., FETTER, E., CESCHIM, L.M.M., MARTINS, C.C. Trace metals in sediment cores from Deception and Penguin Islands (South Shetland Islands, Antarctica). *Marine Pollution Bulletin* 62 (11), p. 2571-2575. 2011. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.08.012
13. HAWKES, D.D. The geology of the South Shetland Islands: II. The geology and petrology of Deception Island. 1961.
14. KEJNA, M., ARAZNY, A., SOBOTA, I. Climatic change on King George Island in the years 1948-2011. *Polish Polar Research* 34 (2), p. 213-235. 2013. DOI: 10.2478/popore-2013-0011
15. HOPFENBLATT, J., GEYER, A., AULINAS, M., ÁLVAREZ-VALERO, A. M., GISBERT, G., KERESZTURI, G., ANGULO-PRECKLER, C. Formation of Stanley Patch volcanic cone: New insights into the evolution of Deception Island caldera (Antarctica). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 415, 107249. 2021. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2021.10724
16. KELLER, R.A., FISK, M.R., SMELLIE, J.L., STRELIN, J.A., LAWVER, L.A. (2002). Geochemistry of back arc basin volcanism in Bransfield Strait, Antarctica: Subducted contributions and along-axis variations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B8), ECV-4. DOI: 10.1029/2001JB000444

17. KRAUS, S., KURBATOV, A., YATES, M. Geoquímica de tefras de volcanes cuaternarios de la Península Antártica. **Andean Geology**, 40 (1), p. 1-40, 2013. DOI: 10.5027/andgeoV40n1-a01
18. LEITÃO, F.J. Caracterização Morfológica e Sedimentar a Partir de Dados de Multifeixe na Baía Foster, Ilha Deception, Antártica. Projeto Final de conclusão do curso de graduação em Geofísica, Departamento de Geofísica, Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, 62 p. 2015.
19. LEITÃO, F.J., AYRES NETO, A., VIEIRA, R. Morphological and sedimentar characterization through analysis of multibeam data at Deception Island, Antarctica. **Revista Brasileira de Geofísica** 34 (2), p. 1-10. 2016. DOI: 10.22564/rbgf.v34i2.792
20. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., SERRANO, E., SCHMID, T., MINK, S., LINÉS, C. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). **Geomorphology** 155-156, p.62-79. 2012. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.12.018
21. MÃO DE FERRO, A., MOTA, A.M., CANÁRIO, J. Sources and transport of As, Cu, Cd and Pb in the environmental compartments of Deception Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), p. 341-348. 2013. DOI: 10.1016/j.marpol.2013.08.037.
22. MAGRANI, F.J.G. Ecocaráteres sísmicos e correlação sedimentar na margem continental do arquipélago das Shetland do Sul, Antártica. Projeto de Graduação em Geofísica, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 60 p. 2011.
23. MARTINS, M.S. Índices petrofísicos de sedimentos marinhos e suas respostas frente à flutuações climáticas do Holoceno tardio, Bacia de Bransfield, Antártica. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal Fluminense. Niterói: 2020.
24. MUNIZ, M.C., DOS ANJOS, R.M., CARDOSO, R.P., ROSA, L.H., VIEIRA, R., MAROTTA, H Costal changes due to subglacial volcanic eruptions on Deception Island (West-Antarctica). 3rd Biotechnology Summit 2016, Ciudad Obregón, Sonora, Mexico, 24-28 October 2016, p. 88-93, 2016.
25. MUNSELL, A.H. Munsell book of color: Matte finish collection. Baltimore: Munsell/Macbeth/Kollmorgen Corp. 1992.
26. PORTELLA, D.A. Uso de indicadores proxies para análises paleoambientais na ilha Deception, Antártica Marítima. (Monografia). Instituto de Geografia. UFF. 2021.
27. PRESS, W.H., TEUKOLSKY, S.A., VETTERLING, W.T., FLANNERY, B.P. *Numerical Recipes in C*. Cambridge University Press, 1992. DOI: 10.1017/S0269964800000565. Download de <https://www.cambridge.org/core>. em 27 Jul 2018.
28. SIMOES, C.L., ROSA, K.K., CZAPELA, F.F., VIEIRA, R., SIMÕES, J.C. Collins glacier retreat processs and regional climatic variation, King George Island. **Geographic Review** 105 (4), p. 462- 471. 2015. DOI: 10.1111/j.1931-0846.2015.12091.x
29. RESENDE MACHADO, M., de OLIVEIRA, F.S., SCHAEFER C.EG., FRANCELINO, M.R., MICHEL, R.F.M. Paisagens polares não-glaciais (proglacial, paraglacial e periglacial): revisão de conceitos e contribuições da pesquisa pedogeomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 20(3), p. 603-622. 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i3.1639
30. REY, J., MAESTRO, A., SOMOZA, L., SMELLIE, J. Submarine morphology and seismic stratigraphy of Port Foster, in *Geology and Geomorphology of Deception Island*, edited by J. L. Smellie, and J. López-Martínez, p. 40-46, Br. Antarct. Surv, Cambridge, U. K, 2002.
31. REY, J., SOMOZA, L., MARTÍNEZ-FRÍAS, J., BENITO, R., MARTÍN ALFAGEME, S. Deception Island (Antarctica) a new target for exploration of Fe Mn mineralization? In Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., Dasgupta, S. (eds.), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Special Publication, 119. Geological Society London, London, p. 239-251. 1997.
32. SERRANO, E., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. Rock glaciers in the South Shetland Islands, Western Antarctica. *Geomorphology* 35 (1-2), p. 145-162. 2000. DOI: 10.1016/S0169-555X(00)00034-9
33. SCHÖN, J.H. *Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics*, volume 65. Elsevier, 2015. ISBN: 9780081004234.
34. SMELIE, J.L. The 1969 subglacial eruption on Deception Island (Antarctica): events and processes during an eruption beneath a thin glacier and implications for volcanic hazards. Geological Society, London, *Special Publications* 202, p. 59-79. 2002. DOI: 10.1144/GSL.SP.2002.202.01.04

35. SMELIE, J.L., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., 2002. Geological and geomorphological evolution: summary. In: López-Martínez, J., Smellie, J.L., Thomson, J.W., Thomson, M.R.A. (eds.). *Geology and geomorphology of Deception Island*, Cambridge, British Antarctic Survey, p. 54-57. 2002. (ebook - <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/17439>)
36. SMITH JR, K.L. Weather, ice, and snow conditions at Deception Island, Antarctica: Long time-series photographic monitoring. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 50 (10-11), p. 1649–1664. 2003. DOI: 10.1016/S0967-0645(03)00084-5
37. TOSTES, J. O. Solos e paisagens do setor oeste da ilha Deception, Antártica Marítima. (Dissertação de mestrado-UFRRJ), 2011.
38. TROUW, R., PASSCHIER, C., VALERIANO, C., SIMÕES, L.S., PACIULLO, F., RIBEIRO, A. Deformational evolution of a Cretaceous subduction complex: Elephant Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Tectonophysics*, 319, p. 93-110. 2000. DOI: 10.1016/S0040-1951(00)00021-4
39. VIEIRA, G., LOPEZ-MARTINEZ, J., SERRANO, E., RAMOS, M., GRUBER, S., HAUCK, C., BLANCO, J.J. Geomorphological observations of permafrost and ground-ice degradation on Deception and Livingston islands, Maritime Antarctica. In: *9th International Conference on Permafrost*, Fairbanks, Alaska. p. 1939-1844. 2008.
40. ZAR J. *Biostatistical Analysis*. Upper Saddle River – NJ: Prentice-Hall, 4ª edition; 1999.



obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.