

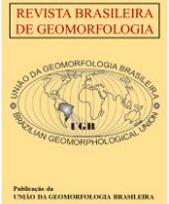


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 1 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v26i1.2648>



Artigo de Pesquisa

# Caracterização sedimentar de ambientes costeiros da Ilha Deception, Antártica Marítima

*Sedimentary characterization of coastal environments on Deception Island,  
Maritime Antarctica*

Diego Augusto Portella<sup>1</sup>, Rosemary Vieira<sup>2</sup>, Vanessa C. Costa<sup>3</sup> e João Paulo S. Felizardo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense, Geografia, Niterói, Brasil. [daugusto@id.uff.br](mailto:daugusto@id.uff.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5650-8004>

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense, Geografia, Niterói, Brasil. [rosemaryvieira@id.uff.br](mailto:rosemaryvieira@id.uff.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0312-289>

<sup>3</sup> Universidade Federal Fluminense, Geografia, Niterói, Brasil. [vanessacosta@id.uff.br](mailto:vanessacosta@id.uff.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4909-5365>

<sup>4</sup> Universidade Federal Fluminense, Física, Niterói, Brasil. [joaopaulosafelizardo@gmail.com](mailto:joaopaulosafelizardo@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6579-7071>

Recebido: 29/11/2024; Aceito: 21/03/2025; Publicado: 03/04/2025

**Resumo:** A ilha Deception localizada no arquipélago das Shetland do Sul, Antártica Marítima, apresenta características únicas por ser um estratovulcão jovem e ativo com uma idade de aproximadamente 0,75 Ma e por vivenciar retração nas geleiras com evidências cada vez mais frequentes de áreas de solo exposto. Sendo assim, as interações entre os processos de vulcanismo e de aquecimento climático regional, oriundo das mudanças ambientais globais, refletem na formação do ambiente sedimentação. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma caracterização sedimentar de perfis distribuídos em quatro ambientes costeiros da ilha Deception. Foram realizadas análises granulométricas, morfoscópicas, geoquímicas, isotópicas e estatísticas em amostras de sedimentos terrestres durante a OPERANTAR XXXVI (2017/2018). As análises granulométricas e morfoscópicas indicam uma menor distância para transporte e retrabalhamento das amostras desde sua área de origem, além da rápida sedimentação das partículas. As amostras apresentaram o Fe como o elemento em maior quantidade, o que pode estar associado a depósitos de tephra, além da ação do intemperismo químico, ainda que incipiente. As análises isotópicas sugeriram contribuições autóctones e alóctones, principalmente de líquens antárticos e excrementos de animais, transportados por fluxos de água de degelo. Diante disso, conclui-se que a dinâmica atual de sedimentação da ilha Deception seja controlada majoritariamente pelas últimas atividades vulcânicas no período 1967-1970, embora com participação dos processos glaciais e periglaciais a partir de fluxos de água de fusão, de precipitações líquidas e de sedimentos das geleiras e do permafrost, que contribuem para a formação de depósitos fluvio-glaciais na região.

**Palavras-chave:** Vulcanismo; Sedimentação; Mudanças ambientais, Antártica.

**Abstract:** Deception Island, situated in the South Shetland Archipelago, Maritime Antarctica, has unique characteristics such as a young and active stratovolcano, which dates back approximately 0.75 Ma. Recently, the island has witnessed glacier retreat, leading to more frequent occurrences of ice-free areas with exposed soil. This phenomenon highlights the intricate interactions between volcanic activity and regional climate warming, reflecting in the formation of the sedimentation environment. This study focuses on the sedimentary characteristics of four subaerial profiles distributed along coastal areas. Sediment samples were collected during the OPERANTAR XXXVI expedition, and underwent a range of analyses including granulometric, morphoscopic, geochemical, isotopic and statistical examination. The granulometric and morphoscopic analyses suggest that sediments are transported and reworked over relatively short distances from their original source, reflecting rapid sedimentation processes. Iron (Fe) was identified as the most abundant element, likely linked to both tephra deposits from volcanic activity and the early stages of chemical weathering. The isotopic analyses suggest contributions from both local

(autochthonous) and distant (allochthonous) sources, primarily involving Antarctic lichens and animal excrement, which are transported by meltwater flows. In conclusion, the sedimentation dynamics on Deception Island are primarily influenced by the volcanic eruptions that occurred between 1967 and 1970. However, glacial and periglacial processes are significant as well, with meltwater flows, liquid precipitation and sediments contributions from glaciers and permafrost, playing a critical role in developing fluvio-glacial deposits in the region. This study enhances the understanding of the complex environmental interactions at Deception Island in the context of ongoing climate change.

**Keywords:** Vulcanism; Sedimentation; Environmental changes; Antarctic.

---

## 1. Introdução

A região da Antártica Marítima, que engloba as costas oeste e norte da Península Antártica, além das ilhas offshore, se revela como uma região potencialmente suscetível às mudanças do clima. Dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2021) mostram que a região da Península Antártica, por exemplo, vem apresentando temperaturas cada vez mais elevadas, o que contribui para acender um alerta na comunidade científica.

A ilha Deception está localizada na Antártica Marítima, ao longo do Estreito de Bransfield, no sul do arquipélago das Shetland do Sul. A ilha é um estratovulcão jovem com idade aproximada de 0,75 Ma, fazendo parte de uma série de vulcões que se desenvolveram ao longo do eixo de rifte do Estreito de Bransfield (GRACIA et al., 1997; BARALDO; RINALDI, 2000).

Devido às características únicas da ilha, como a presença de geleiras, áreas livres de gelo com *permafrost* e atividade vulcânica, Deception acaba por se tornar uma área relevante a estudos de transformação e evolução do ambiente dentro do contexto de elevação da temperatura, de precipitações líquidas e de deglaciação. Estudos anteriores sobre a sedimentologia da ilha Deception, incluindo os estudos em áreas livres de gelo, se concentraram em características próprias dos processos vulcânicos, como a petrologia ígnea (KELLER e FISK, 2002; FERREIRA et al., 2015) e em processos glaciais e periglaciais, formação de solos e do *permafrost* (BALDWIN e SMITH, 2003; VIEIRA et al., 2008; GOYANES et al., 2014; MUNIZ et al., 2018).

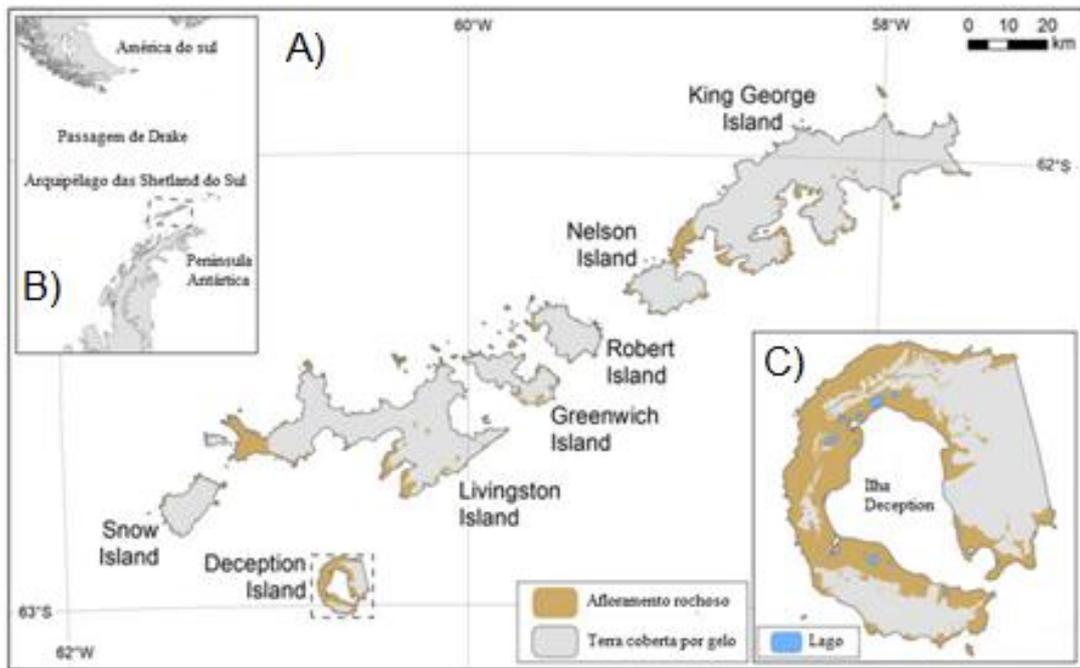
Entretanto, conforme ressaltado por Muniz et al. (2018), existe uma lacuna de informação com relação a evolução da paisagem na ilha Deception e suas consequências para os processos de sedimentação. Visto que a paisagem da ilha se modifica a partir da deglaciação por processos vulcânicos e devido ao aquecimento regional que vem ocorrendo na região das Shetland do Sul (TURNER et al., 2014; ABRAM et al., 2016), o potencial de transformação de cada um desses elementos no derretimento das geleiras, do *permafrost* e no ambiente de sedimentação ainda é pouco explorado e merece ser discutido com maior profundidade (MUNIZ et al., 2018).

Frente ao cenário de aquecimento da Península Antártica, torna-se relevante compreender os mecanismos que controlam a sedimentação da ilha Deception. Sendo assim, o presente estudo investiga se esse processo é mais influenciado pelas atividades vulcânicas ou pelos impactos do aumento da temperatura do ar.

O objetivo desse trabalho foi o de avaliar o ambiente de sedimentação a partir da caracterização de sedimentos terrígenos de áreas livres de gelo das regiões costeiras da ilha Deception: Whalers Sul, Whalers Bay, Pendulum Cove e Cross Hill, com base na análise sedimentar, de forma a contribuir para um melhor entendimento da dinâmica que envolve a paisagem vulcano-glacial da ilha.

## 2. Área de Estudo

A ilha Deception (Figura 1) é um vulcão ativo cuja cratera foi inundada pela água do mar. A ilha faz parte de uma cadeia de vulcões (como as ilhas Penguin e Brindgeman) que se desenvolveu ao longo do eixo de rifte do Estreito de Bransfield, abrigando fumarolas e fontes geotérmicas que podem atingir até 70°C (GRACIA et al., 1997; BARALDO; RINALDI, 2000).



**Figura 1.** Mapa de Localização da ilha Deception. A) Antártica Marítima, B) Shetland do sul, C) Ilha Deception. Fonte: CARVALHO-SILVA et al. (2021).

O colapso da caldeira central permitiu a entrada de água que originou a baía Porto Foster, deixando a ilha com seu formato característico de ferradura (BARTOLINI et al, 2014). A caldeira possui cerca de 25 km basais submersos e cerca de 15 km emersos, sendo essa a região mais ativa do local, onde houve as erupções mais recentes de 1967, 1969 e 1970, que destruíram as bases científicas que ali existiam (BARTOLINI et al., 2014).

Houve períodos de elevada agitação vulcânica (1818-1828, 1906-1912), seguidos de décadas de dormência (1912-1967), até que ocorreram as erupções explosivas mais recentes no final da década de 60 (GEYER et al., 2017). Posteriormente, houve períodos de agitação vulcânica nos anos de 1992, 1999 e 2014/2015, que denota o caráter ativo da ilha (GEYER et al., 2017; HOPFENBLATT et al., 2021). Mapeamentos realizados por métodos geofísicos para identificação de novos cones vulcânicos submarinos na baía de Porto Foster, conforme relatado por Leitão et al. (2016), reforçam a ideia da atividade vulcânica ativa e a possibilidade de novas explosões.

Com relação à geologia, as rochas e depósitos da ilha são divididos nas fases pré, sin e pós-caldeira. O grupo geológico “Porto Foster” compreende os depósitos pré e sin-caldeira e o grupo geológico “Monte Pound” compreende os depósitos pós-caldeira (BARALDO; RINALDI, 2000; SMELLIE, 2002).

As erupções vulcânicas na ilha Deception são caracterizadas como sendo de interação hidrovulcânica explosiva. Isso ocorre quando há uma interação explosiva entre o magma e a água, como aquela presente em lençóis freáticos subterrâneos, subsuperficiais rasos ou saturados em sedimentos, da água do mar da Baía Porto Foster ou da água das geleiras (PEDRAZZI et al., 2018). A partir disso, mesmo erupções de pequeno volume se tornam altamente perigosas quando localizadas em áreas costeiras alagadas ou próximas às massas de gelo (PEDRAZZI et al., 2018).

A morfologia da ilha Deception é determinada principalmente pela atividade vulcânica, assim como pelos processos glaciais, periglaciais e tectônicos (LÓPEZ-MARTÍNEZ; SERRANO, 2002; MAESTRO et al., 2007). A ilha apresenta feições paraglaciais, definidos como depósitos sedimentares que se desenvolvem em áreas anteriormente glaciais e que continuam sendo influenciados por processos geomorfológicos ligados ao ajuste pós-glacial, como o material piroclástico, oriundo das explosões vulcânicas que cobre grande parte da extensão da ilha (BALLANTYNE, 2002). Da mesma forma, muitas geleiras permanecem cobertas pelas cinzas e detritos vulcânicos e em alguns locais esse material depositado dá origem a uma fina camada que varia de 30 a 90 cm de espessura (SMELLIE, 2002; VIEIRA et al., 2008).

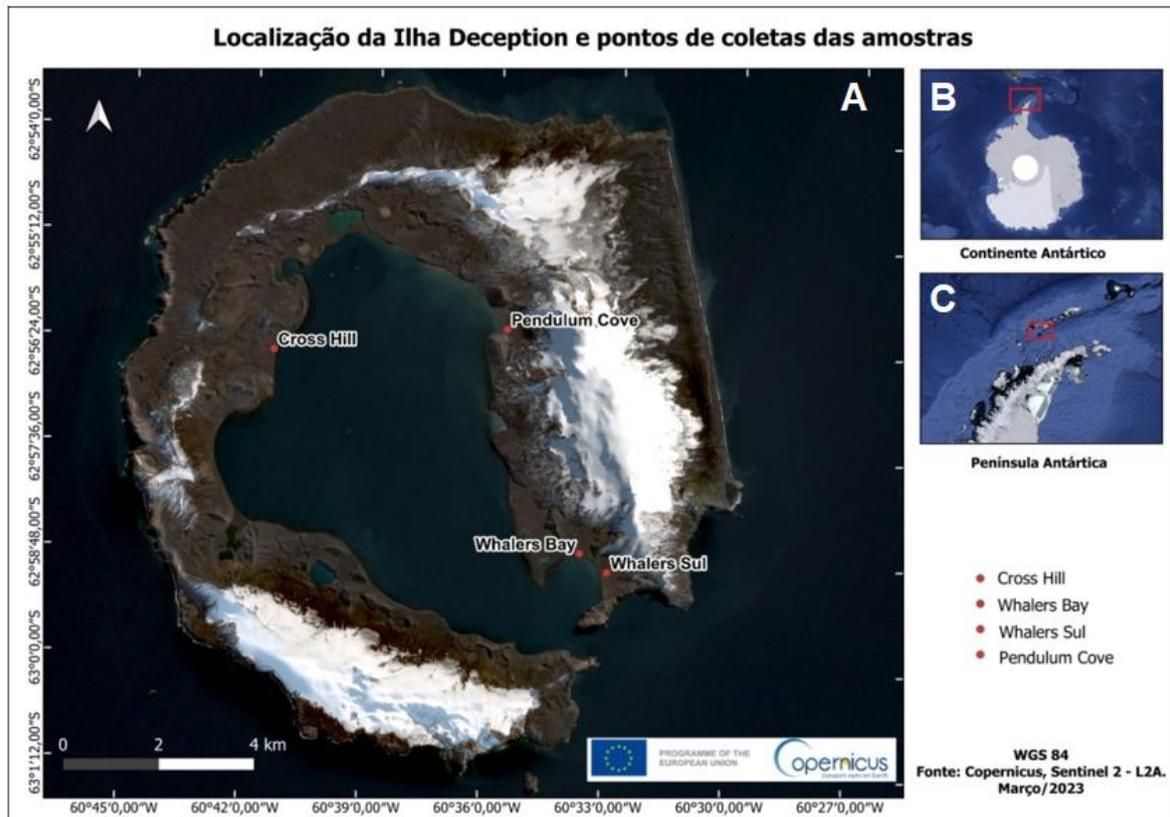
Em torno das margens da baía Porto Foster é frequente a ocorrência de sedimentos arenosos depositados em canais de degelo, mas em locais como Whalers Bay e próximo a Cross Hill (Figura 2) este tipo de sedimento é especialmente abundante. Processos glaciogênicos como a água derretida que flui por meio dos canais de degelo

são fatores adicionais que afetam a erosão e acúmulo de sedimentos, sendo estes ativamente transportados pelas atividades vulcânicas (SMELLIE, 2001; MUNIZ et al., 2018).

### 3. Materiais e Métodos

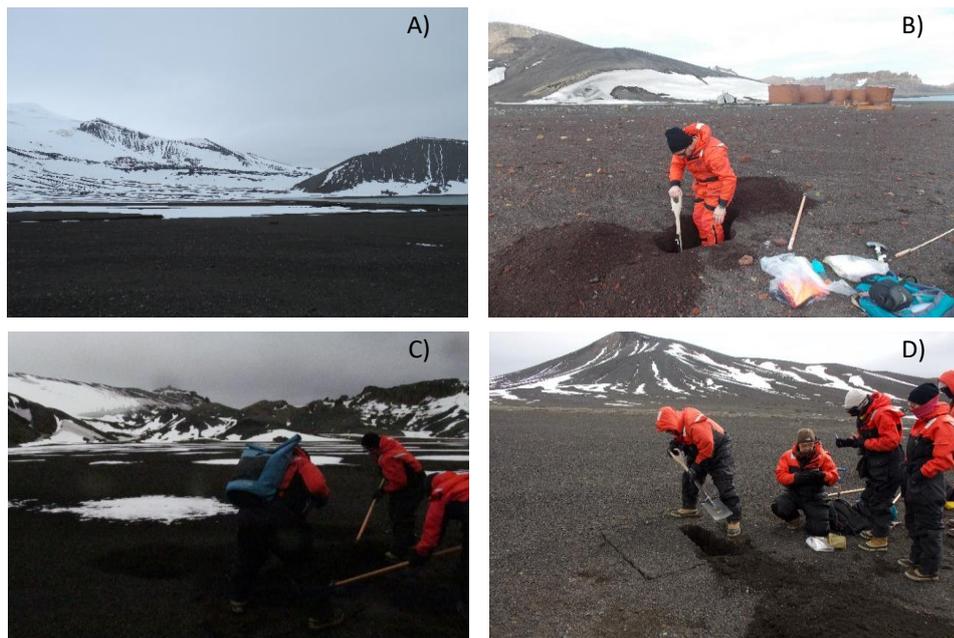
#### 3.1 Amostragem

As amostras dos testemunhos terrestres foram coletadas na Operantar XXXVI (2017/2018), com apoio do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT Criosfera). A Figura 2 apresenta o mapa de localização da ilha Deception e os pontos de coleta das amostras.



**Figura 2.** Localização geográfica da área de estudo mostrando: (A) Fotografia aérea da ilha Deception e pontos de coletas das amostras; (B) Localização das ilhas Shetland do Sul em relação ao continente Antártico; (C) Localização da ilha Deception Fotografia. Fonte: European Union, Copernicus Sentinel 2 (2023).

As amostras foram coletadas em sítios próximos à costa (Figura 3) em alturas máximas de 6 metros com relação ao nível do mar. Foram escolhidos os pontos onde não eram observados canais de fluxos de água de fusão de gelo e neve. Para o procedimento da coleta foi utilizada a metodologia de coleta de perfil por trincheiras, de 85 a 100 cm de profundidade e com amostragem a cada 10 cm. Esta profundidade foi selecionada com base em trabalhos anteriores (FAO, 2006), que indicam que essa faixa corresponde ao limite de desenvolvimento do permafrost, influenciando diretamente as características do solo na região.



**Figura 3.** Pontos de coletas das amostras. A) Cross Hill, B) Whalers Bay, C) Whalers Bay Sul, D) Pendulum Cove. Fotos: Autores.

As amostras de Pendulum Cove foram coletadas em um setor plano próximo da costa, mas a área é cercada por encostas. Fluxos de água de fusão foram observados nas adjacências, embora não no local de coleta. O sítio é caracterizado pela presença de “solos aquecidos” (*heatedground*) de coloração cinza-escuro e por pequenas manchas de vegetação junto à costa (musgos e líquens). Em campo foi registrada a temperatura de 4°C na camada superficial do perfil, enquanto na camada a 100 cm de profundidade a temperatura foi 20°C.

### 3.2 Análises granulométricas

Os diâmetros definidos para cada faixa da análise granulométrica seguiram o Sistema de Classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995), onde as amostras mais grossas (> 63  $\mu\text{m}$ ) seguiram para o analisador de partículas CAMSIZER, enquanto as amostras dos sedimentos finos (< 63  $\mu\text{m}$ ) foram reservadas para o granulômetro a laser, Malvern. Cabe destacar que nos centímetros 80 e 100 do ponto de coleta “Pendulum Cove” não houve fração fina, ou seja, toda a amostra ficou retida na malha de 63  $\mu\text{m}$  da peneira. O processamento das amostras das frações mais grossas (> 63  $\mu\text{m}$ ) foi realizado por via seca, no analisador de partículas a laser CAMSIZER P4 da Retsch, equipamento com potência de análise de sedimentos entre 20 e 30.000  $\mu\text{m}$ .

Os sedimentos de fração fina (lamosos) seguiram para a análise por via úmida no granulômetro a laser Mastersizer Hydro 2000 G (*Malvern Instrument*), com aberturas de peneiras variando entre 0,3 e 56  $\mu\text{m}$ , localizado no Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense (UFF). Os parâmetros estatísticos obtidos neste procedimento foram analisados com o auxílio do software Gradistat V8, desenvolvido por Blott e Pye (2001). Por meio dele, utilizou-se a base operacional do *Microsoft Excel*, bem como os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957).

### 3.3 Análises morfológicas

Os sedimentos da fração mais grossa (> 63  $\mu\text{m}$ ) foram submetidos a uma peneira de malha 2 mm, onde posteriormente os 50 maiores clastos, aproximadamente, foram selecionados e seguiram para a análise morfológica no microscópio binocular e no paquímetro. A finalidade do processo foi o de identificar características específicas nas amostras, como tamanho, forma e arredondamento. Para o arredondamento foi utilizado o microscópio binocular com o objetivo de realizar uma comparação visual com os critérios fornecidos por Benn; Ballantyne (1994), a partir da escala de Powers (1953, modificado por HUBBARD; GLASSER, 2005). Pelo

método é possível inferir a distinção histórica entre processos de erosão, transporte e deposição (LUKAS et al., 2013).

Em adição, os clastos utilizados no processo anterior foram analisados em um paquímetro digital, no Laboratório de Processos Sedimentares e Ambientais (LAPSA) do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense (UFF), no intuito de identificar visualmente o tamanho relativo dos três eixos ortogonais: a (mais longo), b (intermediário), c (mais curto). A partir disso, foi possível calcular a razão entre os eixos  $c/a \leq 0.4$  (EVANS; BENN, 2004), o que gera o índice denominado C40, que auxilia na distinção entre sedimentos transportados de forma ativa ou passiva e na distância de transporte. Percentuais de clastos muito angulosos (MA) e angulosos (A) foram adicionados para calcular o Índice RA. O Índice RWR (% de clastos arredondados e bem-arredondados) também foi conduzido de acordo com o proposto por Evans; Benn (2004) e por Lukas et al. (2013).

### 3.4 Análises químicas

A análise de fluorescência de raio-x foi realizada usando os sedimentos da fração silte e argila (tamanho  $< 0,03$  mm), que foram macerados no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense. As análises foram realizadas no Epsilon 1 Malvern Panalytical, localizado no Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR). O Epsilon é um analisador de FRX por energia dispersiva, integrado e composto por um programa de espectrômetro com ampola de raios X com ânodo de Ag e Be, além de um computador integrado com *software* analítico Omnia que se adapta ao tipo da amostra (GALVÃO, 2021).

Com os resultados em proporções dos elementos químicos maiores, assim como percentagem em peso de óxidos correspondentes, foram aplicados o Índice de Alteração Química (CIA) (NESBITT; YOUNG, 1982) e o Índice de Alteração dos Plagioclásios (IAP) (FEDO et al., 2012) com o objetivo de interpretá-los como indicadores paleoclimáticos e paleoambientais. O índice é interpretado como uma medida da extensão da conversão de feldspatos em minerais de argilas, e o índice IAP segue os valores derivados da fórmula CIA. Para o cálculo dos índices foram utilizadas as equações matemáticas proposta por Nesbitt; Young (1982):

$$IAQ = (Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)) \times 100.$$

$$IAP = [Al_2O_3 - K_2O] / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O) \times 100. \quad (2)$$

Onde os óxidos são expressos como proporções molares (FEDO et al., 2012):

$$\text{Moles } Al_2O_3 = \% Al_2O_3 / 101,96$$

$$\text{Moles } CaO = \% CaO / 56,08$$

$$\text{Moles } NaO = \% NaO / 61,98$$

$$\text{Moles } K_2O = \% K_2O / 94,20$$

A partir dos resultados das análises é possível identificar que resultados próximos a 100, para ambos os índices, indicam intenso intemperismo químico, enquanto valores abaixo de 55 indicam ausência ou incipiência de intemperismo químico.

### 3.5 Análises isotópicas

A análise isotópica de carbono e nitrogênio foi empregada com o objetivo de ampliar os conhecimentos a respeito da matéria orgânica do solo. Devido à escassez de vegetação na região, a caracterização do teor orgânico se torna relevante para a compreensão do funcionamento do solo e para o auxílio da identificação do material fonte das amostras.

Neste procedimento foram utilizados os sedimentos da fração silte e argila (tamanho  $< 0,06$  mm). Para a análise isotópica do carbono e nitrogênio foi aplicada o teste da descarboxilação pelo protocolo GIBBS (2010), entretanto, como as amostras são de origem continentais se mostraram livres de carbonatos. A análise de isótopos estáveis em massa por IRMS (*Isotope Ratio Mass Spectrometry* – Espectrometria de Massa de Razão Isotópica) foi realizada no Laboratório de Radioecologia e Alterações Ambientais (LARA) do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense (UFF), utilizando um analisador elementar FlashEA2000 com amostrador automático modelo

MAS200R com capacidade de 32 amostras, acoplado ao espectrômetro de massa. Os aparelhos são configurados para operar com um IRMS (modelo DELTA V Advantage), por meio de uma interface universal, denominada de ConFlo IV. Foram também obtidos valores de Carbono Orgânico Total (TOC – do inglês *Total Organic Carbon*).

### 3.6 Análises estatísticas

A correlação de Pearson foi aplicada entre a granulometria e dados geoquímicos (elementos, óxidos e CIA) para análise entre as camadas dos perfis, com determinação de correlação linear de Pearson “r” com nível de significância “p”, calculado pelo “t” Student, no qual indica a probabilidade de a 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). Ao utilizar a profundidade das camadas (em cm) na correlação com as variáveis (em %) foi efetuada previamente a transformação logarítmica.

Foi aplicada a Análise de Componentes Principais (*Principal Components Analysis - PCA*), técnica de transformação de variáveis para encontrar componentes lineares de variáveis correlacionadas que agregam o máximo da variância (LANDIN, 2011; HAMMER, 2012). Usou-se a matriz de variâncias-covariâncias como entrada de dados (*input*), uma vez que todas as variáveis obtidas estão nas mesmas unidades, no caso desse estudo, em percentuais. Portanto, a ACP foi empregada para explorar melhor a relação entre os oito principais elementos químicos e os locais e as camadas de amostragem. A análise multivariada foi efetuada com o *software* gratuito Paleontological Statistics (PAST) 4.01.

## 4. Resultados

Este item é dedicado à apresentação dos resultados referentes às diferentes análises realizadas nos perfis estudados. Primeiramente, são descritas as características morfológicas e as propriedades físicas dos perfis sedimentares. Em seguida, são apresentados os dados sobre os elementos químicos e os processos de intemperismo. Posteriormente, são expostos os resultados da análise isotópica. Por fim, são exibidos os dados obtidos da análise estatística.

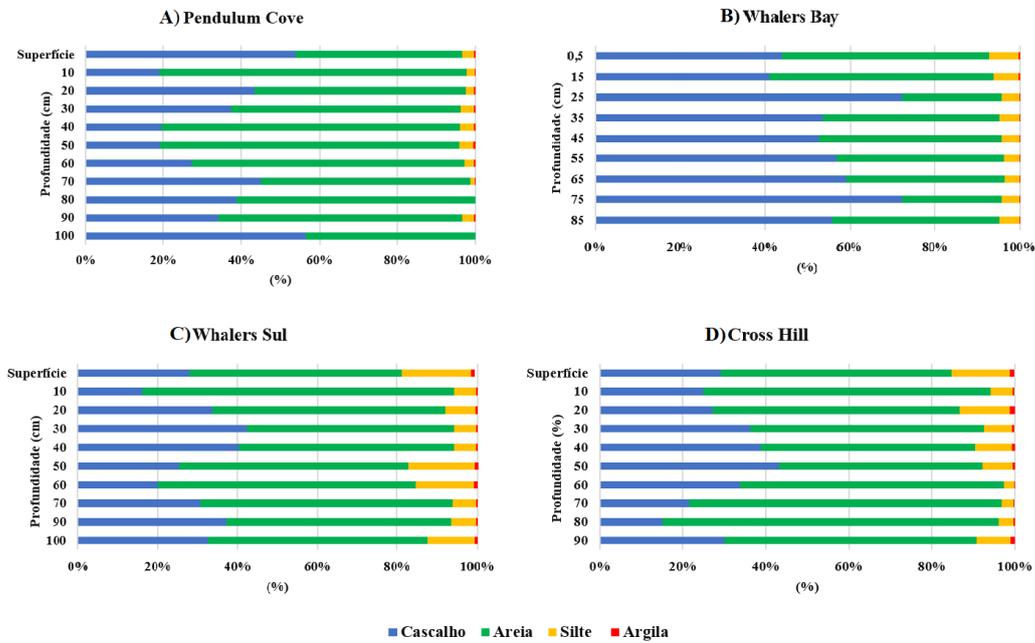
### 4.1. Morfologia e propriedades físicas dos perfis

Os resultados das análises dos tamanhos das partículas do solo de Pendulum Cove, Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill estão relacionados na Figura 4. Pendulum Cove apresentam maior porcentagem da fração areia ao longo do seu perfil (Figura 4A), seguido das frações cascalho, silte e argila. O menor valor percentual da fração areia ocorre na superfície (42,7%), enquanto o maior valor se encontra no centímetro 10 (78,77%), onde também ocorre o menor valor da fração cascalho (19,8%). O maior valor da fração cascalho ocorre no centímetro 100 (56,5%). Os valores percentuais da fração silte e argila apresentaram pouca variação, com o silte alternando entre 1,15% em sua concentração mais baixa no centímetro 70 e 3,6% em sua concentração mais alta no centímetro 50. A fração argila variou entre 0,1% (centímetro 70) e 0,44% (centímetro 50). Conforme abordado anteriormente, os centímetros 80 e 100 não apresentaram qualquer quantidade significativa das frações silte e argila.

O perfil de Whalers Bay (Figura 4B), por sua vez, se diferencia dos demais, uma vez que apresenta uma maior porcentagem da fração cascalho sobre as frações areia, silte e argila. O maior percentual da fração cascalho se encontra no centímetro 75 (72,31%), onde está presente a menor porcentagem de areia do perfil (23,34%). Por outro lado, o menor valor da fração cascalho se encontra no centímetro 15 (41,02%), onde há a maior porcentagem da fração areia (52,85%). Os valores de silte e argila apresentaram pouca variação, com o silte tendo concentração mínima no centímetro 65 (3,18%) e concentração máxima no centímetro 0,5 (6,8%). Da mesma forma, a argila possui concentração mínima de 0,10% no centímetro 65 e concentração máxima de 0,27% no centímetro 0,5.

O perfil granulométrico de Whalers Sul (Figura 4C) segue com a fração areia em maior porcentagem em detrimento das frações de cascalho, silte e argila. O maior valor da fração areia se encontra no centímetro 10 (78,34%), onde ocorre o menor valor da fração cascalho (15,9%). O menor valor da fração areia se encontra no centímetro 30 (51,84%), onde ocorre o maior valor da fração cascalho (42,42%), enquanto o maior valor de cascalho no centímetro 30. Os valores da concentração da fração silte variaram entre 5,40% no centímetro 40 até 17,35% na superfície do perfil. Os percentuais da fração argila apresentaram poucas variações significativas, com valores alternando entre 0,26% nos centímetros 10, 30 e 40 e 1,16% no centímetro 50.

O perfil granulométrico de Cross Hill (Figura 4D) é caracterizado por uma porcentagem maior da fração areia em relação às frações de cascalho, silte e argila. O percentual mais baixo da fração areia ocorre no centímetro 50 (49,01%), onde também ocorre o percentual mais elevado da fração cascalho (43,1%). Entretanto, o percentual mais elevado da fração areia (80,95%) ocorre no centímetro 80 do perfil, onde também ocorre a porcentagem mais baixa da fração cascalho (15,07%). Os valores de silte variaram entre 2,36% (60 centímetros) e 14,13% (superfície). Os percentuais de argila não apresentaram variações significativas, mudando de 0,11% no centímetro 60 até 1,12% no centímetro 20.



**Figura 4.** Análise granulométrica de Pendulum Cove (A), Whalers Bay (B), Whalers Sul (C) e Cross Hill (D).

A Figura 5 apresenta as características morfoscópias dos perfis de Pendulum Cove, Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill, onde (MA) significa grãos muito angulosos, (A) grãos angulosos, (SA) grãos subangulosos, (SR) grãos subarredondados, (AR) grãos arredondados e (BA) grãos bem arredondados.

No perfil de Pendulum Cove (100 cm de profundidade) a superfície e os centímetros 30, 40 e 50 apresentam uma concentração maior de grãos subarredondados, arredondados e bem arredondados; no restante do perfil (centímetros 10, 20, 60, 70, 80, 90 e 100) predominam as frações muito angulosa, angulosa e subangulosa. Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill apresentam ao longo de todo o seu perfil (85 cm, 100 cm e 90 cm, respectivamente) maior concentração de clastos nas frações muito angulosas, angulosas e subangulosas o que pode indicar distintos processos atuantes no transporte do material, como transporte com menor gasto de energia ou transporte por distâncias curtas. Os resultados estão de acordo com o esperado para ambientes glaciais onde a fricção de geleiras e o transporte por curtas distâncias impedem um arredondamento significativo dos sedimentos.



**Figura 5.** Perfis de Pendulum Cove (A), Whalers Bay (B), Whalers Sul (C) e Cross Hill (D) com seus respectivos dados de grau de arredondamento das amostras e Índice C40.

A análise do Índice C40 de Pendulum Cove apresenta valores entre 0 e 16%, que são considerados baixos e indicam sedimentos com maior grau de desgaste. Os valores mais baixos de C40 estão nos centímetros 10, 20, 50, 60, 70, 90 e 100, ressaltando que o centímetro 50 apresenta os grãos mais arredondados e desgastados. Somado a isso, os valores mais baixos de C40, quando comparados aos dos demais sítios (Figura 5), podem ser inferidos pela maior composição granulométrica da fração areia, como se observa na Figura 4. O índice C40 de Whalers Bay apresenta maior valor no centímetro 55 (42%), local onde há a maior concentração de sedimentos muito angulosos, angulosos e subangulosos, conferindo o caráter pouco desgastado dessa camada. As demais camadas apresentam valores variando entre 18% (centímetro 85) a 38% (centímetro 0,5), o que denota grãos mais desgastados em profundidade e no meio do perfil e grãos com desgaste menor conforme se aproxima da superfície. O índice C40 de Whalers Sul varia de valores baixos (10% no centímetro 60) até valores intermediários (54% no centímetro 90), revelando um perfil com mistura tanto de grãos mais desgastados (superfície e centímetros 40 e 60) quanto de grãos menos desgastados (centímetros 10, 20, 50, 70 e 90). O índice C40 de Cross Hill tende a assumir valores médios, variando entre 20% no centímetro 40, até 38% no centímetro 60. O valor mais elevado no centímetro 60 (38%), na superfície (36%) e no centímetro 20 (34%), 50 (34%) e 80 (34%) indica que essas são as camadas com menor grau de desgaste, contrastando com os centímetros 40 (20%), 30 (24%), 10 (26% e 90 (26%), que apresentam grau de desgaste maior.

A Figura 6 (A-B) apresenta a relação entre os índices C40-RA e C40-RWA dos perfis de Pendulum Cove, Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill. Pendulum Cove, assim como Whalers Bay apresenta médio índice RA e médio RWR. Os índices RA e RWR de Whalers Sul e Cross Hill apresentam valores médios e baixos, respectivamente.

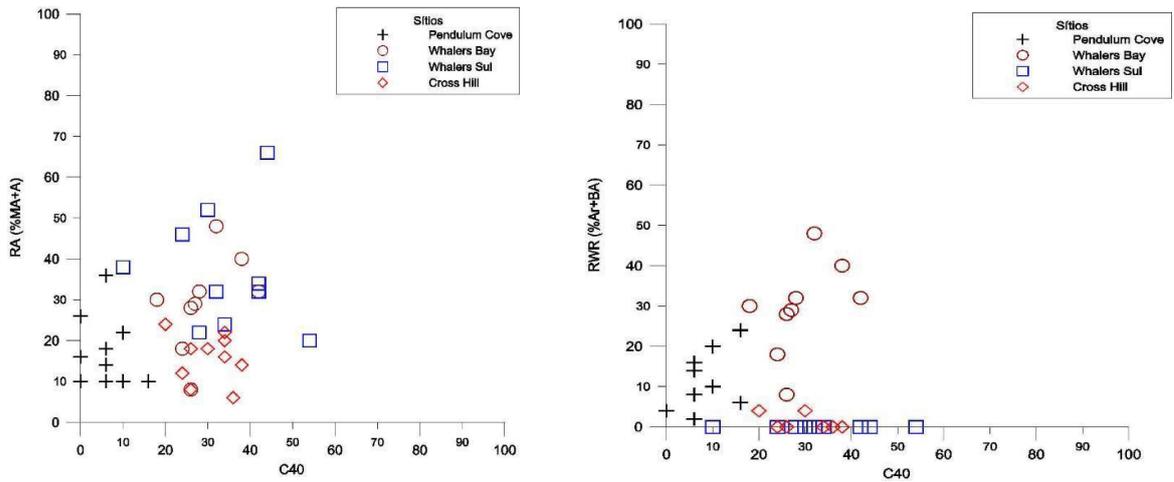
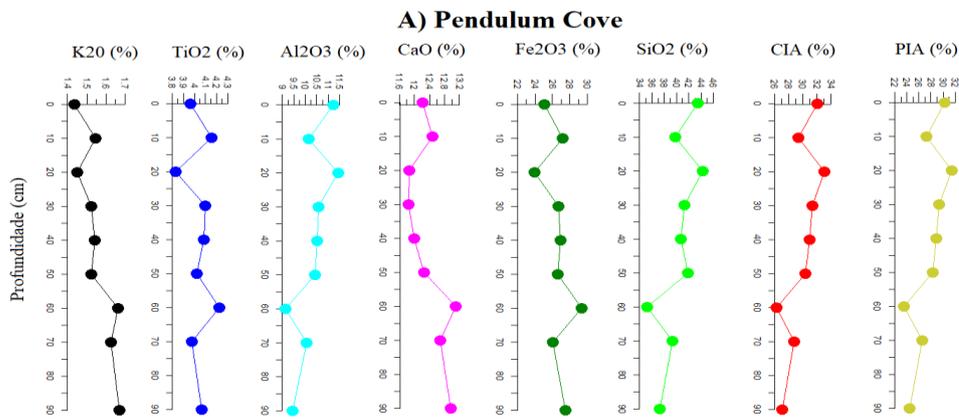


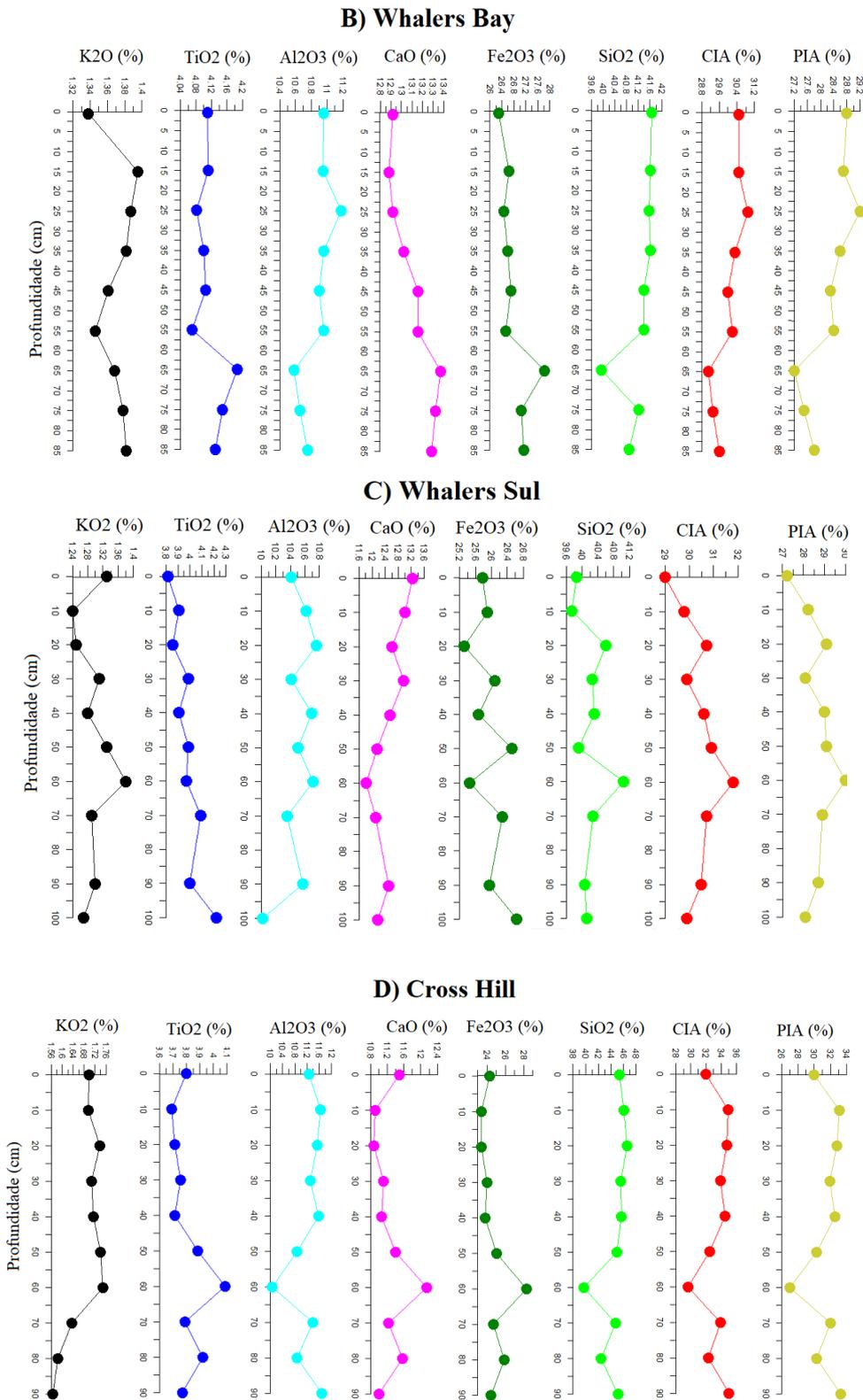
Figura 6. Diagramas de C40-RA (A) e C40-RWR (B).

Ao aplicar os índices C40-RA e C40-RWA (Figura 6A-B), os quais diferenciam os clastos transportados de forma passiva e ativa (BENN; BALLANTINE, 1994), os quatro perfis de coleta mostram baixo a médio C40, médio RA e médio RWR. Cabe ressaltar que o termo fluvial se aplica à ilha Deception como fluxos de água de fusão, ou seja, glaciofluvial.

4.2. Elementos químicos e intemperismo

A Figura 7 apresenta o percentual da concentração dos principais óxidos encontrados nas amostras de Pendulum Cove, Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill, além dos valores do Índice de Alteração Química (IAQ) e do Índice de Alteração do Plagioclásio (IAP).





**Figura 7.** Perfis de Pendulum Cove (7A), Whalers Bay (7B), Whalers Sul (7C) e Cross Hill (7D) com seus respectivos dados da concentração dos principais óxidos, Índice de Alteração Química e Índice de Alteração do Plagioclásio.

O SiO<sub>2</sub> foi o óxido mais abundante ao longo dos quatro perfis, seguido do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Em Pendulum Cove o SiO<sub>2</sub> variou entre 35,2% (valor mínimo no centímetro 60) a 43,4% (valor máximo na superfície). Em Whalers Bay o SiO<sub>2</sub> variou entre 39,9% (valor mínimo no centímetro 65) a 41,65% (valor

máximo no centímetro 0.5). Em Whalers Sul o  $\text{SiO}_2$  obteve uma variação de 39,7% (valor mínimo no centímetro 10) a 41% (valor máximo no centímetro 60). No perfil de Cross Hill o  $\text{SiO}_2$  variou entre 38,7% (valor mínimo no centímetro 60) a 44,6% (valor máximo no centímetro 20).

Com relação ao  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , no perfil de Pendulum Cove houve uma variação de 23,9% (concentração mínima no centímetro 20) a 29,6% (concentração máxima no centímetro 60). Em Whalers Bay o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  apresentou variação de 26,2% (valor mínimo no centímetro 0.5) a 27,8% (valor máximo no centímetro 65). Em Whalers Sul o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variou entre 25,3% (valor mínimo no centímetro 20) a 26,6% (valor máximo no centímetro 100). No perfil de Cross Hill o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variou entre 22,4% (valor mínimo no centímetro 20) a 27,5% (valor máximo no centímetro 60).

O  $\text{CaO}$  no perfil de Pendulum Cove apresenta uma variação de 11,84% (concentração mínima no centímetro 30) a 13% (concentração máxima no centímetro 60). Em Whalers Bay o  $\text{CaO}$  apresentou variação de 12,8% (valor mínimo no centímetro 15) a 13,67% (valor máximo no centímetro 65). Em Whalers Sul o  $\text{CaO}$  variou entre 11,8% (valor mínimo no centímetro 60) a 13,2 (valor máximo na superfície). No perfil de Cross Hill o  $\text{CaO}$  variou entre 10,4% (valor mínimo no centímetro 20) a 11,8% (valor máximo no centímetro 60).

No perfil de Pendulum Cove o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variou entre 9,1% (valor mínimo no centímetro 60) a 11,2% (valor máximo na superfície). Em Whalers Bay o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variou entre 10,5% (valor mínimo no centímetro 65) a 11,1% (valor máximo no centímetro 25). Em Whalers Sul o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obteve uma variação de 10% (valor mínimo no centímetro 100) a 10,76% (valor máximo no centímetro 20). No perfil de Cross Hill o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variou entre 9,8% (valor mínimo no centímetro 60) a 11,2% (valor máximo no centímetro 90).

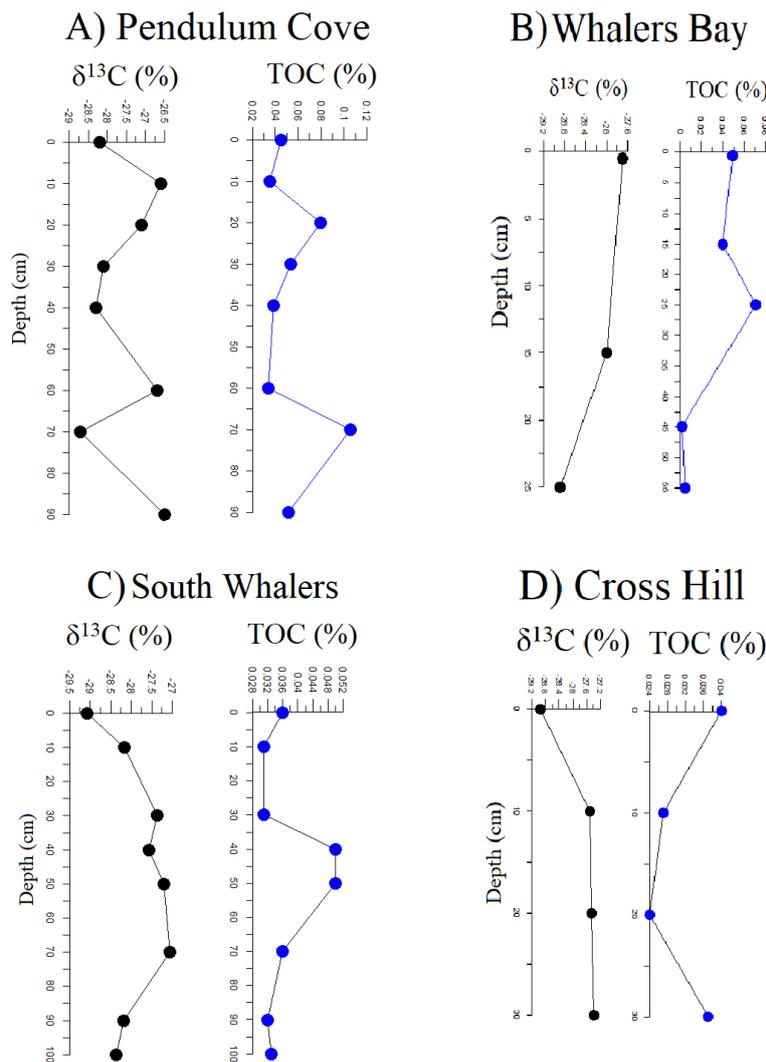
Com relação ao  $\text{TiO}_2$ , no perfil de Pendulum Cove houve uma variação de 3,8% (concentração mínima no centímetro 20) a 4,2% (concentração máxima no centímetro 60). Em Whalers Bay o  $\text{TiO}_2$  apresentou variação de 4,07% (valor mínimo no centímetro 55) a 4,18% (valor máximo no centímetro 65). Em Whalers Sul o  $\text{TiO}_2$  variou entre 3,82% (valor mínimo na superfície) a 4,2% (valor máximo no centímetro 100). No perfil de Cross Hill o  $\text{TiO}_2$  variou entre 3,55% (valor mínimo no centímetro 10) a 3,9% (valor máximo no centímetro 60).

O  $\text{K}_2\text{O}$  no perfil de Pendulum Cove apresenta uma variação de 1,43% (concentração mínima na superfície) a 1,669% (concentração máxima no centímetro 90). Em Whalers Bay o  $\text{K}_2\text{O}$  apresentou variação de 1,33% (valor mínimo no centímetro 0.5) a 1,39% (valor máximo no centímetro 15). Em Whalers Sul o  $\text{K}_2\text{O}$  variou entre 1,24% (valor mínimo no centímetro 10) a 13,2% (valor máximo na superfície). No perfil de Cross Hill o  $\text{K}_2\text{O}$  variou entre 10,4% (valor mínimo no centímetro 20) a 1,38% (valor máximo no centímetro 60).

Os valores do Índice de Alteração Química (IAQ) e do Índice de Alteração do Plagioclásio (IAP) variam entre 26% e 35% em todos os pontos de coleta. Os valores de IAQ e IAP tendem a diminuir com o aumento da profundidade nos perfis de Pendulum Cove e Whalers Bay. No perfil de Whalers Sul (Figura 7C), entretanto, ocorre um comportamento contrário, com aumento dos valores de CIA conforme o aumento da profundidade. Não se observa no perfil de Cross Hill (Figura 16D) um comportamento definido com relação ao Índice de Alteração Química, exceto uma diminuição acentuada na camada de 60 cm.

#### 4.3. Análise isotópica

Na Figura 8 são apresentados os resultados da análise isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e quantidade de carbono orgânico total para os perfis de Pendulum Cove, Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill. Não há dados no centímetro 50 do perfil de Pendulum Cove e nos centímetros 20 e 60 de Whalers Sul. Além disso, as análises cobrem até os 25 e 30 cm do perfil de Whalers Bay e Cross Hill, respectivamente. A ausência de dados ocorreu, uma vez que a queima de carbono nessas camadas não foi completa, devido ao pouco teor de matéria orgânica nas amostras. Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e TN (nitrogênio total) se mostraram extremamente baixos nas análises e foram desconsiderados neste trabalho.



**Figura 8.** Resultados da análise isotópica do carbono e valores de carbono total para os perfis de Pendulum Cove (A), Whalers Bay (B), Whalers Sul (C) e Cross Hill (D).

No perfil de Pendulum Cove (Figura 8A) a quantidade total de carbono (TOC) diminui da superfície (0,04%) em direção aos 10 centímetros (0,03%). No centímetro 20 ocorre um aumento do percentual (0,07%), que passa a diminuir nos centímetros 30 (0,05%), 40 (0,03%) e 60 (0,03%). O centímetro 70 apresenta o valor máximo do conteúdo de matéria orgânica do perfil (0,1%), que novamente decai no centímetro 90 (0,05%). Com relação aos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , ocorre uma variação de -28,7‰ no centímetro 70 (local com maior percentual de TOC) a -26,5‰ no centímetro 90. Da superfície para o centímetro 10 ocorre um enriquecimento do valor de  $\delta^{13}\text{C}$  (-28,2‰ a -26,6‰). A partir deste ponto, há uma tendência de empobrecimento nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  passando de -26,6‰ no centímetro 10, a -27,1‰ no centímetro 20, -28,1‰ no centímetro 30 e -28,3‰ no centímetro 40. No centímetro 60 novamente ocorre um enriquecimento nos valores  $\delta^{13}\text{C}$  (-26,7‰), que passa a empobrecer no centímetro 70 (-28,7‰ – valor mais baixo do perfil), até enriquecer novamente no centímetro 90 (-26,5‰).

Em Whalers Bay (Figura 8B) a quantidade total de carbono (TOC) tende a aumentar do centímetro 0,5 (0,04%) até o centímetro 25 (0,07%). A partir do centímetro 45 ocorre uma diminuição no valor de TOC (0,001%), que aumenta novamente no centímetro 55 (0,004%). Para os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  há uma tendência de empobrecimento nos 25 centímetros iniciais do perfil, passando de -27,7‰ no centímetro 0,5 a -28,0‰ no centímetro 15 e -28,9‰ no centímetro 25.

No perfil de Whalers Sul (Figura 8C) o valor de TOC diminui da superfície (0,036%) em relação aos 30 cm (0,032%). Nos centímetros 40 e 50 o valor volta a subir (0,050%, respectivamente), mas nos centímetros 70 e 100 diminui novamente (0,036 e 0,033%, de forma respectiva). Com relação aos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  há uma tendência de enriquecimento da superfície (-29‰) em direção aos 30 centímetros (-27,3‰). No centímetro 40 o valor apresenta

um leve empobrecimento (-27,4‰), que volta a enriquecer em direção ao centímetro 70 (-27%). No centímetro 100 o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  novamente enriquece e apresenta -28,3‰.

Em Cross Hill (Figura 8D) o valor de TOC apresenta diminuição nas três primeiras camadas (0,040% na superfície, 0,027 no centímetro 10 e 0,024% no centímetro 20) e novamente um aumento no centímetro 30 (0,037%). Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  apresentam enriquecimento com a profundidade no perfil, passando de -28,9 na superfície, a -27,5 no centímetro 10, -27,4 no centímetro 20 e -27,3 no centímetro 30.

#### 4.4. Análise estatística

No perfil de Pendulum Cove (Figura 9A), verifica-se correlação negativa relativamente significativa entre CIA e profundidade das camadas. Profundidade se correlaciona de forma positiva com Cl, K e  $\text{K}_2\text{O}$  e negativa com Al, Si,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ . No que se refere aos elementos e óxidos, observam-se correlações mais significativas entre CIA e Al, entre CIA e Si e entre CIA e os respectivos óxidos (correlação positiva). A correlação negativa mais significativa se dá com o K, Cl,  $\text{K}_2\text{O}$ , CaO,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

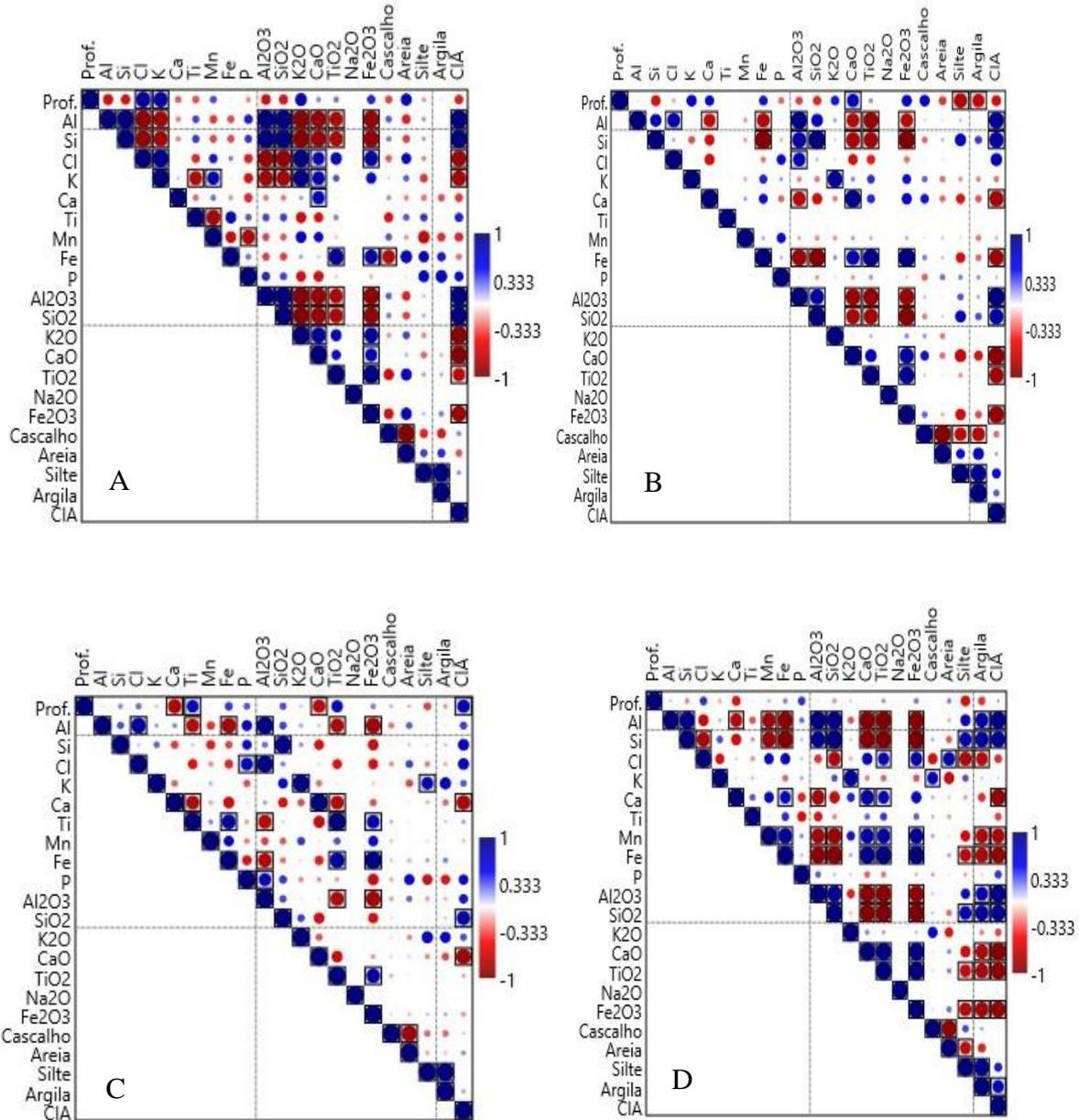
Assim como em Pendulum Cove, no perfil de Whalers Bay (Figura 9B) verifica-se correlação negativa relativamente significativa entre CIA e profundidade das camadas. Profundidade se relaciona significativamente apenas com CaO (positiva); com K, Ca, Fe,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Observam-se correlações significativas entre CIA e Al, CIA e Si, CIA e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e CIA e  $\text{SiO}_2$  (correlação positiva) e entre CIA e Ca, CIA e Fe, CIA e CaO, CIA e  $\text{TiO}_2$  e CIA e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (correlação negativa).

No perfil de Whalers Sul (Figura 9C) a correlação entre CIA e profundidade é significativamente positiva. Correlações entre profundidade e Ti e  $\text{TiO}_2$  são positivas, enquanto com Ca e CaO são negativas. CIA e Al, CIA e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  exibem correlação positiva e CIA e Ca e CIA e CaO correlação negativa.

No perfil de Cross Hill (Figura 9D) a profundidade das camadas apresenta correlação muito fraca com CIA e correlações fracas com os elementos e óxidos. Já as correlações entre CIA e Al, CIA e Si, CIA e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e CIA e  $\text{SiO}_2$  são significativamente positivas, enquanto entre CIA e Ca, CIA e Mn, CIA e Fe, CIA e CaO, CIA e  $\text{TiO}_2$  e CIA e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  as correlações são negativas.

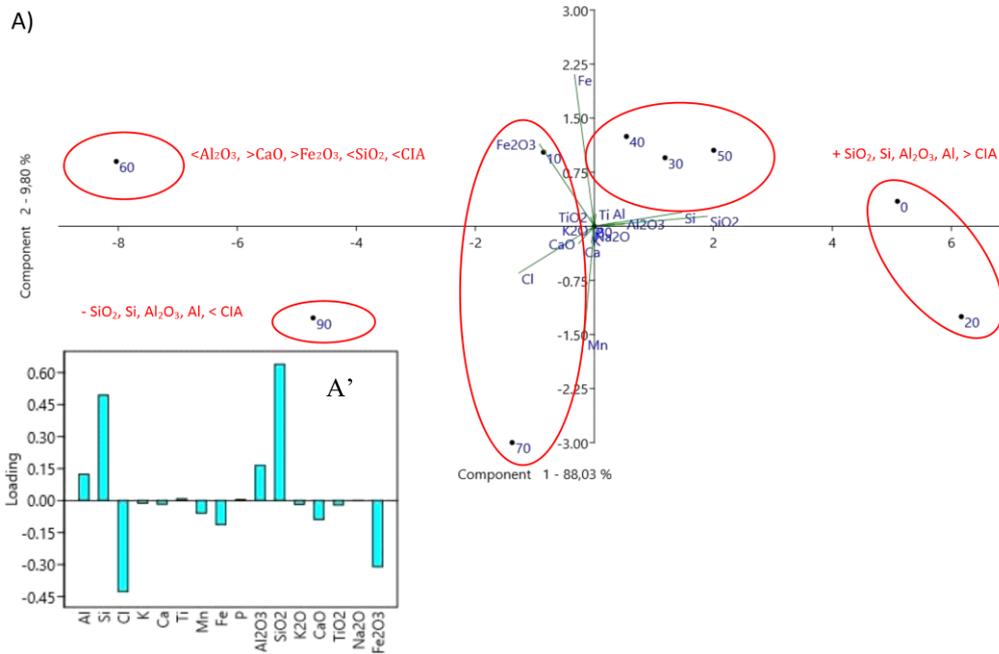
Com relação à granulometria, foram observadas tendo como referência a profundidade, correlação positiva relativamente significativa com a fração areia apenas em Pendulum Cove e correlação negativa relativamente significativa apenas em Whalers Bay; as frações silte e argila se correlacionaram significativamente negativa em Whalers Bay e negativa relativamente significativa em Cross Hill. Nos outros perfis as correlações apresentaram baixa significância entre profundidade e frações granulométricas.

Correlações entre CIA e frações granulométricas são apenas observadas as positivas e relativamente significativas com a fração silte em Whalers Bay e Cross Hill e significativamente positiva com a fração argila em Cross Hill.



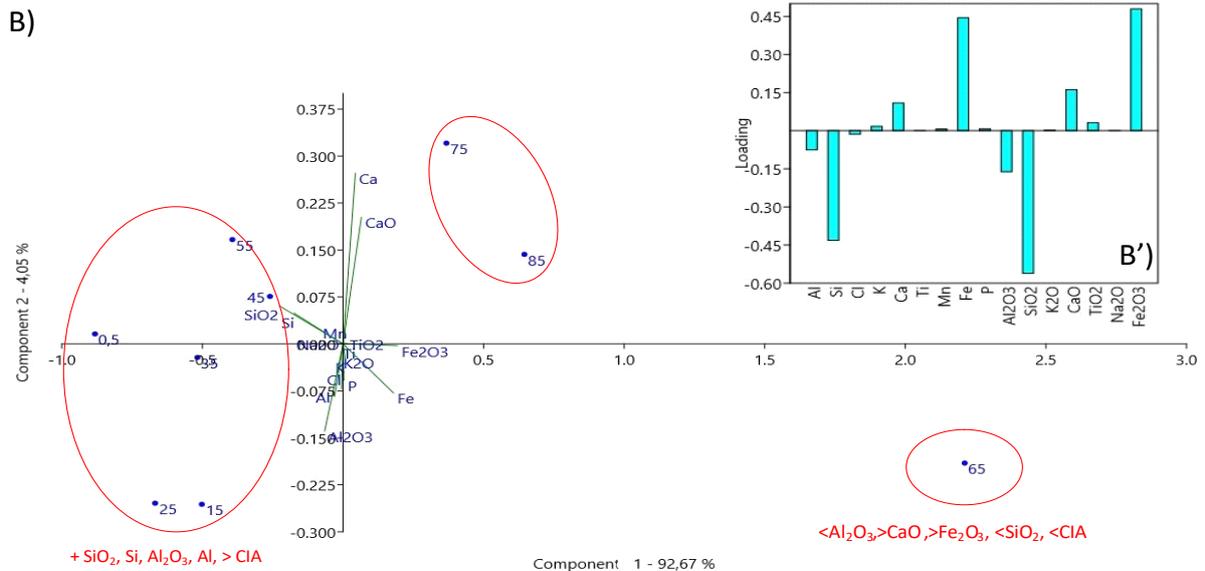
**Figura 9.** Correlação de Pearson entre diferentes variáveis analisadas dos pontos de Pendulum Cove (A), Whalers Bay (B), Whalers Sul (C) e Cross Hill (D). As correlações com maiores significâncias estão identificadas por quadrados preenchidos. Não são apresentadas as correlações com menor significância e possibilidade de correlação.

A partir da Análise dos Componentes Principais (ACP) para os elementos e óxidos de Pendulum Cove, Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill, foi possível verificar os processos na variabilidade dos dados (Figura 10A-D). Em Pendulum Cove (10A e A') o Componente 1 explica 88,03% da variância dos dados, enquanto o Componente 2 explica 9,80 %. Os escores mais elevados se equiparam aos pesos (*loading* – A') mais elevados do SiO<sub>2</sub> / Si e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Al (positivo) e Cl e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (negativo). Ou seja, nas camadas onde se encontram os maiores percentuais desses elementos e óxidos (SiO<sub>2</sub>/ Si e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Al), menores serão os percentuais dos outros elementos e óxidos. Os escores mais elevados estão associados com a camada de 20 cm e a camada superficial. Os escores mais baixos correspondem à camada de 60 cm de profundidade, tendo o P o elemento com menor peso. As camadas de 30, 40 e 50 cm se associam com escores aproximados. A camada 60 se individualiza Componente 2, com 9,80 % da variância, tem os escores mais elevados na profundidade de 40 cm e Fe e Mn têm elevado peso positivo e negativo, respectivamente. A camada de 70 cm apresenta o menor escore.



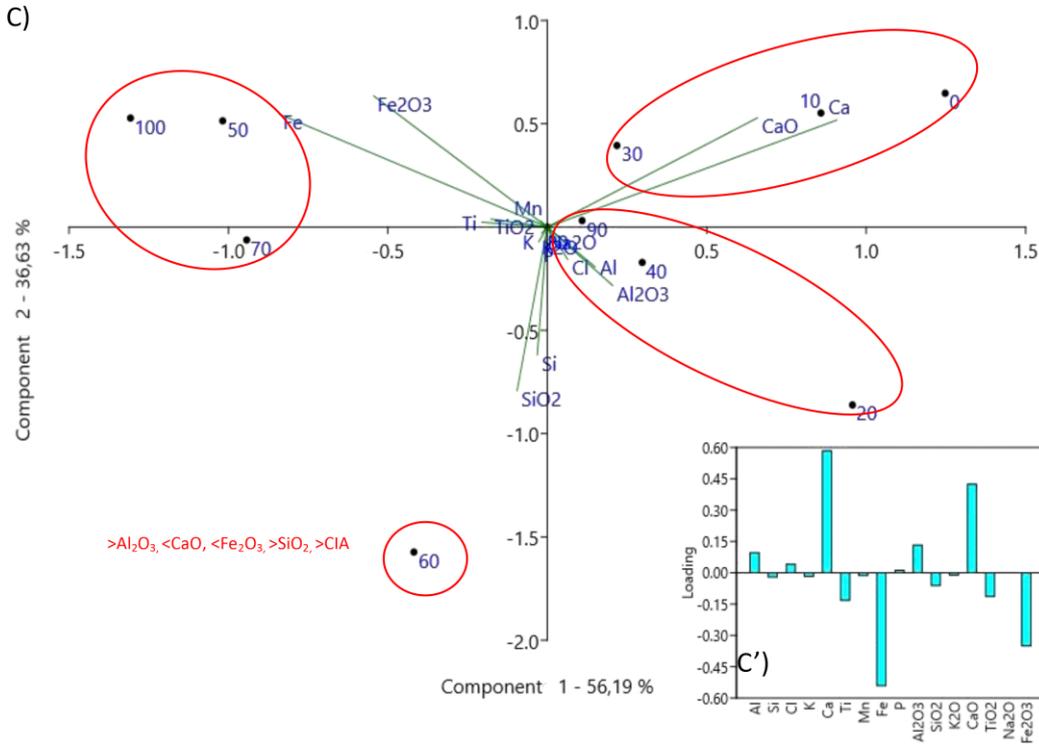
**Figura 10.** (A-A') Análise dos Componentes Principais do perfil de Pendulum Cove, onde se identifica a distribuição dos elementos / óxidos ao longo das camadas. Gráficos correspondem ao Componente Principal 1. As partes destacadas com elipse correspondem às profundidades das camadas.

Em Whalers Bay (11B-B') CP1 explica 92,67% da variância e CP2 explica 4,05%. Os escores mais elevados se equiparam aos pesos mais elevados de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Fe e CaO e CaO / Ca (positivo), e SiO<sub>2</sub> / Si e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Al (negativo). Os escores mais elevados estão associados com a camada de 65 cm de profundidade, tendo o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> os maiores pesos positivo e negativo, respectivamente. Os escores mais baixos correspondem a camada de 45 cm de profundidade, tendo o P o elemento com menor peso. As camadas de 0,5 cm a 55 cm se associam com escores aproximados. A camada de 60 cm se individualiza das outras camadas. CP2, com 4,05 % da variância, tem os escores mais elevados na profundidade de 75 cm e Ca e Fe têm elevado peso positivo. A camada de 0,5 cm apresenta o menor escore e Ti apresenta os menores pesos.



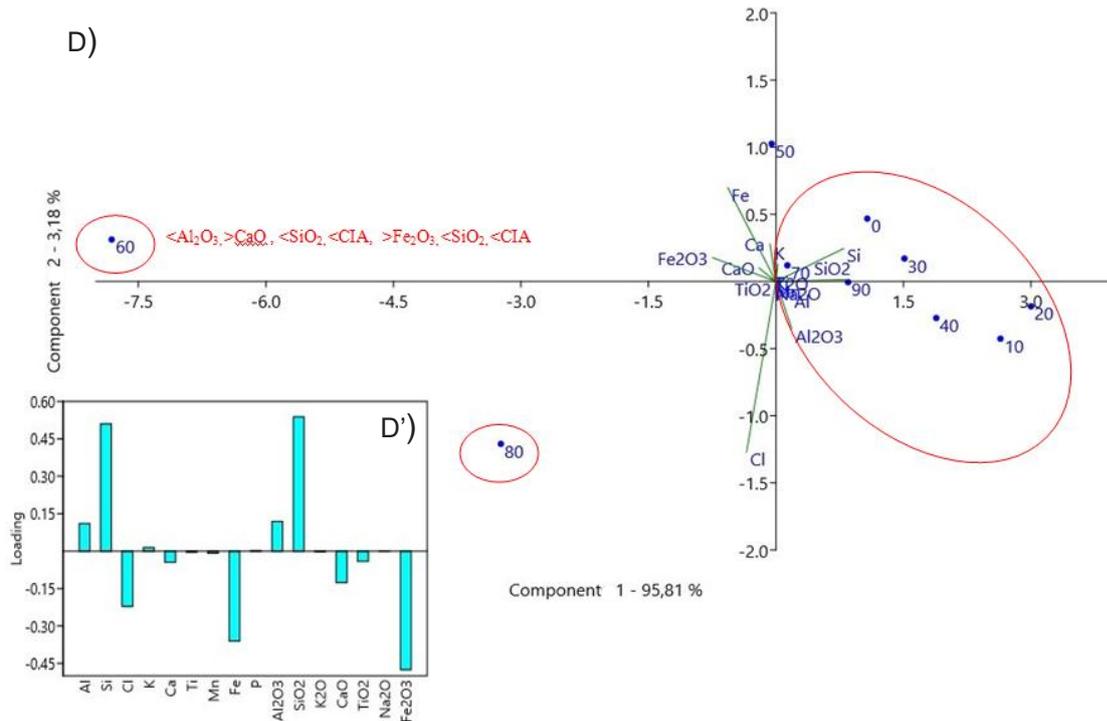
**Figura 11.** (B-B') Análise dos Componentes Principais do perfil de Whalers Bay, onde se identifica a distribuição dos elementos / óxidos ao longo das camadas. Gráficos correspondem ao Componente Principal 1. As partes destacadas com elipse correspondem às profundidades das camadas.

Em Whalers Sul (12C-C') CP1 explica 56,19% da variância e CP2 explica 36,63%. Os escores mais elevados se equiparam aos pesos (C') mais elevados dos elementos Ca / CaO e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Al (positivo), e Fe / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ti / TiO<sub>2</sub> (negativo). Os escores mais elevados estão associados com a camada superficial e a 100 cm de profundidade. Os escores mais baixos correspondem a camada de 90 cm de profundidade, tendo o K<sub>2</sub>O com menor peso. A camada 60 cm se individualiza das demais camadas. CP2, com 36,63% da variância, tem os escores mais elevados na profundidade de 20 cm (negativo) e na camada superficial (positivo) e SiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com os maiores pesos negativos e positivos, respectivamente. Os menores escores correspondem às profundidades de 40 e 90 cm, respectivamente e Ti é o elemento com menor peso.



**Figura 12.** (C-C') Análise dos Componentes Principais do perfil de Whalers Sul, onde se identifica a distribuição dos elementos / óxidos ao longo das camadas. Gráficos correspondem ao Componente Principal 1. As partes destacadas com elipse correspondem às profundidades das camadas.

Em Cross Hill (13D-D') o CP 1 explica 95,81% da variância e CP2 explica 3,18%. Os escores mais elevados se equiparam aos pesos (D') mais elevados de SiO<sub>2</sub> / Si e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Al (positivo), e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Fe e Cl (negativo). Os escores mais elevados estão associados com as camadas de 60 e 80 cm de profundidade. Os escores mais baixos correspondem a camada de 50 cm de profundidade, tendo o P o elemento com menor peso. CP2, com 3,18% da variância, tem os escores mais elevados nas profundidades de 50 e Cl e Fe têm elevada carga negativa e positiva, respectivamente. Os escores mais baixos estão a 90 cm, e P e Mn são os elementos com menores pesos.



**Figura 13.** (D-D') Análise dos Componentes Principais do perfil de Cross Hill, onde se identifica a distribuição dos elementos / óxidos ao longo das camadas. Gráficos correspondem ao Componente Principal 1. As partes destacadas com elipse correspondem às profundidades das camadas.

## 5. Discussão

### 5.1. Morfologia e propriedades físicas dos perfis

#### 5.1.1. Pendulum Cove

A alta concentração das frações areia e cascalho corroboram com a menor distância de transporte e retrabalhamento desde a sua área fonte, e o carreamento das frações finas para a baía Porto Foster. A análise do Índice C40 de Pendulum Cove, apresenta valores entre 0 e 16%, que são considerados baixos e indicam sedimentos com maior grau de desgaste. Os valores mais baixos de C40 estão nos centímetros 10, 20, 50, 60, 70, 90 e 100, ressaltando que o centímetro 50 apresenta os grãos mais arredondados e desgastados. Somado a isso, os valores mais baixos de C40, quando comparados aos dos demais sítios (Figura 5), podem ser inferidos pela maior composição granulométrica da fração areia, como se observa na Figura 4.

Ao aplicar os índices C40-RA e C40-RWA (Figura 6A-B), os quais diferenciam os clastos transportados de forma passiva e ativa (BENN; BALLANTINE, 1994), Pendulum Cove mostra baixo C40, médio RA e médio RWR, que segundo a classificação elaborada por Lukas et al. (2013), o transporte se daria sob condições subglaciais a fluviais. Cabe ressaltar que o termo fluvial se aplica à ilha Deception como fluxos de água de fusão, ou seja, glaciofluvial.

De acordo com Smellie (2001) e com o mapa geomorfológico de López-Martinez; Serrano (2002), os sedimentos coletados em Pendulum Cove são formados por depósitos de aluviões, oriundos das erupções vulcânicas no século XIX (1829, 1839 e 1842) e em 1969, constituindo a formação Pendulum Cove. De acordo com Tostes (2011), a Formação Pendulum Cove faz parte do grupo Monte Pond, que engloba a fase pós-caldeira.

### 5.1.2. Whalers Bay

Whalers Bay apresenta ao longo de todo o seu perfil (85 cm) maior concentração de clastos nas frações muito angulosas, angulosas e subangulosas. A alta concentração das frações areia e cascalho corroboram com a menor distância de transporte e retrabalhamento dos sedimentos desde a sua área fonte. O índice C40 apresenta maior valor no centímetro 55 (42%), local onde há a maior concentração de sedimentos muito angulosos, angulosos e subangulosos, conferindo o caráter pouco desgastado dessa camada. Os demais centímetros apresentam valores variando entre 18% (centímetro 85) a 38% (centímetro 0.5), o que denota grãos mais desgastados em profundidade e no meio do perfil e grãos com desgaste menor conforme se aproxima da superfície.

Os clastos apresentam médio C40, médio RA e médio RWR, também sugerindo condições de transporte de subglacial a fluvial (Figura 6A-B).

Inferese, portanto, que o material superficial coletado em Whalers Bay seja composto por depósitos pós-caldeira de aluviões, da formação Pendulum Cove localizada nas montanhas ao redor da praia (SMELLIE, 2001). Segundo o mapa geológico (LÓPEZ-MARTÍNEZ; SERRANO, 2002), o setor mais elevado é ocupado por depósitos morânicos.

### 5.1.3. Whalers Sul

A área de entorno ao ponto de coleta apresenta depósitos tanto pré como pós-caldeira (LÓPEZ-MARTÍNEZ; SERRANO, 2002), além da presença de geleiras. Assim como Whalers Bay, Whalers Sul apresenta ao longo de todo o seu perfil (100 cm de profundidade) maior concentração de clastos nas frações muito angulosas, angulosas e subangulosas. Inferese a partir disso que os sedimentos do perfil foram transportados com menor gasto de energia, ou também foram transportados por distâncias curtas. A alta concentração das frações areia e cascalho corroboram com a menor distância de transporte e retrabalhamento desde a sua área fonte. O índice C40 varia de valores baixos (10% no centímetro 60) até valores intermediários (54% no centímetro 90), revelando um perfil com mistura tanto de grãos mais desgastados (superfície e centímetros 40 e 60) quanto de grãos menos desgastados (centímetros 10, 20, 50, 70 e 90). De acordo com os diagramas da Figura 6A-B, os clastos estariam sob a influência de processos subglaciais a fluviais.

O material coletado em Whalers Sul é composto por depósitos de aluviões, que pode ser da formação Pendulum Cove ou Fumarole Bay, localizadas nas montanhas ao redor da praia (SMELLIE, 2001; MUNIZ et al., 2018). Cabe lembrar a presença de geleiras nos setores mais elevados e próximos à costa.

### 5.1.4. Cross Hill

As áreas de coleta estão próximas à costa, onde não está registrada a presença de *permafrost* (VIEIRA et al., 2008). A abertura das trincheiras de 1 metro de profundidade nos quatro sítios de coleta comprova essa característica. O ponto de amostragem está em um terreno plano, de coloração cinza escura, circundado por elevações e depósitos pós-caldeira. Nas erupções do período 1967-1970 fissuras se abriram entre Goddard Hill e Cross Hill, formando diversos tipos de crateras, devido ao contato da lava com o terreno saturado de água, com as geleiras e com a água do mar (GEYER et al., 2021).

O perfil de Cross Hill (90 cm de profundidade) também apresenta ao longo de todo o seu perfil o predomínio de clastos nas frações muito angulosa, angulosa e subangulosa. Assim como nos demais perfis isso é indicativo de sedimentos transportados por curtas distâncias. A alta concentração das frações areia e cascalho corroboram com a menor distância de transporte e retrabalhamento desde a sua área fonte. O índice C40 tende a assumir valores médios, variando entre 20% no centímetro 40, até 38% no centímetro 60. O valor mais elevado no centímetro 60 (38%), na superfície (36%) e no centímetro 20 (34%), 50 (34%) e 80 (34%) indica que essas são as camadas com menor grau de desgaste, contrastando com os centímetros 40 (20%), 30 (24%), 10 (26% e 90 (26%), que apresentam grau de desgaste maior. Os índices RA e RWR apresentam valores médios e baixos, respectivamente, indicando condições de transporte fluvial.

As encostas no entorno das áreas de coleta são cobertas por *permafrost* e material vulcânico, que atuam como isolante térmico (VIEIRA et al., 2008). A cobertura sedimentar nos setores mais elevados é menos espessa devido à inclinação do terreno, e nas partes mais baixas a espessura é maior devido ao acúmulo de material derivado das partes mais elevadas. Esse transporte tem se intensificado por fluxos de água de fusão e nas encostas e vales inferiores já são identificados processos de degradação do *permafrost*. Nas partes onde as encostas são menos

inclinadas a transferência de material se dá com menos intensidade, não aportando tanto com a carga sedimentar para as zonas costeiras mais planas, como o verificado por Vieira et al. (2008). Os sedimentos de granulometria mais grossa (cascalhos) acabam se acumulando nos setores mais baixos das encostas, mas inferimos que parte desse material é levada para a zona costeira por eventos mais intensos de fluxos de água de fusão das geleiras, neveiros e *permafrost*. Há que considerar ainda o aumento das precipitações líquidas nas últimas décadas, o que pode implicar modificações na dinâmica geomórfica e na transferência de sedimentos das encostas para as áreas costeiras (BOCKHEIM et al., 2013).

### 5.2. Elementos químicos, granulometria e intemperismo

O intemperismo químico aumenta proporcionalmente sob condições úmidas em minerais instáveis, como o feldspato, levando a perda de Na, K e Ca. Produtos residuais menos solúveis, como o Al e Si, podem organizar-se em novos minerais (minerais de argila, óxidos de Si e Al) que se concentrarão nas frações mais finas (FEDO et al., 1995; LEPSCH, 2011). Em contrapartida, é importante considerar fatores locais, como a litologia, posição da encosta, aspecto e espessura do regolito, além da intensidade de mais úmidos e mais secos (DIXON; THORN, 2005).

A fração granulométrica dominante nos perfis analisados, como observada na Figura 4, é areia, seguida por cascalho. No entanto, as frações silte e argila provêm informações sobre a ação do intemperismo químico (DARMODY et al., 1987). Areia em ambientes glaciais é tipicamente produzida em ambiente subglacial por processos de esmagamento (*crushing*), enquanto silte e argila por abrasão (HALDORSEN, 1981). Silte e argila (frações finas) são abundantes principalmente no till subglacial, mas podem ser removidos e transportados pelo vento ou por fluxos glaciofluviais. No entanto, o sinal vulcânico cobre e pode alterar a fonte não-vulcânica, dificultando a identificação da contribuição de outros sedimentos (LICHT; HEMMING, 2017).

A presença de solos aquecidos, fumarolas e fontes termais ilustram a atividade hidrotermal no setor de Whalers Bay, que foi atingido por um *jokulhlaup* na erupção de 1969, incorporando água de fusão de neve e gelo, formando um depósito de *lahar* (LÓPEZ-MARTÍNEZ; SERRANO, 2002). Uma fissura de 4 km de extensão aberta entre Whalers Bay e Pendulun Cove, sob as geleiras do Mount Pond, provocou grandes volumes de água de fusão subglacial (PEDRAZI et al., 2018).

Em Pendulum Cove (Figura 7A) e em Whalers Bay (Figura 7B) os valores menores de CIA e PIA com o aumento da profundidade correspondem a valores maiores de K e Cl e K<sub>2</sub>O e menores de Al, Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. Em adição, as frações finas vão diminuindo com a profundidade, especialmente em Whalers Bay, o que indica a ação maior do intemperismo químico nas camadas até 60 em Pendulum Cove e 65 cm em Whalers Bay, respectivamente. Já em Whalers Sul (Figura 7C) os valores de CIA vão aumentando até os 60 cm do perfil, coincidindo com valores mais elevados de SiO<sub>2</sub> e Si (resíduos menos solúveis). Em Cross Hill (Figura 7D), os valores de CIA se mantêm relativamente constantes até 40 cm e atingem o mínimo na camada de 60 cm. Os índices de alteração química sugerem graus ainda incipientes de intemperismo químico, mas indicam processos que ocorreram na ilha e sua temporalidade.

A diminuição do CIA e PIA com a profundidade, em Pendulum Cove e Cross Hill, atingindo seu mínimo na camada de 60 cm, na camada de 65 cm em Whalers Bay e na camada de 70 cm em Whalers Sul, infere condições imaturas do terreno nessas profundidades, ou seja, possíveis eventos de sedimentação de caráter rápido ou de maior intensidade. Os gráficos de Análises de Componentes Principais (Figuras 10-13) apoiam essa interpretação ao individualizarem essas camadas.

A presença do Fe nas frações finas não segue um padrão, pois em Pendulum Cove o aumento do Fe acompanha o aumento de silte e argila. Por outro lado, em Whalers Bay e em Cross Hill Fe e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminuem com o aumento das frações silte e argila. Essas variações podem estar associadas a interação água-rocha no sistema hidrotermal, que produz argilo-minerais. Não foi possível fazer análise mineralógica dos sedimentos que certamente ajudaria na identificação dos minerais.

### 5.3. Análise isotópica de carbono

O material orgânico encontrado nos perfis costeiros pode ter dois tipos de fontes principais, a autóctone e a alóctone. O material orgânico autóctone é aquele oriundo de fontes *in situ*, isto é, provenientes da matéria orgânica que cresce na própria superfície daquele sedimento. O material orgânico alóctone, por sua vez, é aquele que é transportado de outras regiões por meio de agentes erosivos como correntes de maré, ação eólica, gelo, a água proveniente dos canais de degelo e precipitações líquidas (ESTEVEZ et al., 2011).

Os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  nos perfis analisados (Figura 8) se sobrepõem aos valores encontrados para plantas antárticas C3, como os líquens (-28,1‰ a -18,8‰), além de excrementos de animais antárticos (-30‰ a -25‰). Vale lembrar que plantas arbóreas do tipo C4 e plantas terrestres C3 não são encontradas na Antártica Marítima. Dessa forma, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nos perfis de solo indicam que a matéria orgânica dos sedimentos é composta de forma predominante por restos de vegetação terrestre, mais especificamente líquens e/ou excrementos de animais antárticos (LIU et al., 2005; 2006; 2016; CIPRO et al., 2011; MUNIZ et al., 2018).

Nos pontos de coleta de Whalers Bay e Whalers Sul não são encontradas vegetações nativas (MUNIZ et al., 2018), o que sugere que a matéria orgânica seja proveniente de fontes alóctones, isto é, que tenha sido carregada pela ação da erosão. Em Pendulum Cove foi possível identificar pequenas manchas de líquens e musgos no ponto de coleta, o que indica que o perfil pode ter uma mistura de tanto fontes autóctones quanto de fontes alóctones.

Sendo assim, é possível inferir que além de musgos e líquens pode haver nos perfis mistura de excrementos de aves antárticas, como o guano de pinguins. Entretanto, conforme abordado por Liu et al. (2006) os valores isolados de  $\delta^{13}\text{C}$  não são suficientes para se obter uma evidência conclusiva da presença de guano nesses perfis, devendo ser utilizada uma relação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , que não foi possível neste trabalho.

A superfície de Pendulum Cove (Figura 8A) apresenta TOC com concentração igual à superfície do perfil de Cross Hill. Ademais, o perfil de Pendulum Cove e o perfil de Whalers Bay (Figura 8B) apresentam concentrações próximas de carbono orgânico total (TOC) nos primeiros 25 centímetros de seus perfis. Entretanto, nas camadas mais profundas de 40 a 55 centímetros os valores de TOC no perfil de Pendulum Cove se tornam mais elevados. Do centímetro 60 para o centímetro 70 de Pendulum Cove há um significativo aumento do teor de carbono orgânico total (TOC), que de acordo com Rumpel e Kogelknaber (2011), pode significar presença de material orgânico carbonizado, originado de atividades vulcânicas pretéritas. Posteriormente no centímetro 90 o valor de TOC volta a cair, indicando valores mais estáveis com o resto do perfil.

É importante notar que na camada de 60 cm de Pendulum Cove são observados o menor percentual de TOC e  $\delta^{13}\text{C}$  enriquecido, o que sugere baixa atividade biológica. O mesmo ocorre em Whalers Sul, na camada de 70 cm. Esses dados vão ao encontro com as outras variáveis destacadas nessas camadas nos gráficos de correlação (Figura 9) e de análise de componentes principais (Figuras 10-13).

Levando-se em conta que há cerca de 5 mil anos AP a região das Shetland do Sul e conseqüentemente a ilha Deception já estivesse em um processo de deglaciação (INGÓLFSSON et al., 2008; SIMMS et al., 2011; COFAIGH et al., 2014; OLIVA et al., 2023) e que os sedimentos nos primeiros 42 centímetros dos perfis analisados de Muniz et al. (2018) possuem datação com até 10 mil AP, pode ser possível inferir que a matéria orgânica dos sedimentos mais profundos dos pontos de coleta deste trabalho são de períodos ainda mais antigos que 10 mil AP, não podendo estimar ao certo a idade exata, devido à ausência de datação das amostras.

### 5.4. Atividade glacial e vulcânica

Como observado por Lopes-Martinez; Serrano (2002), a não recuperação da extensão das geleiras estaria relacionada não somente a eventos climáticos, com balanços de massa negativos (ORHEIN, 1972), como a própria atividade vulcânica nesse período, que produziu um severo *jokulhlaup* em Whalers Bay, em 1969.

Possíveis antigos depósitos morânicos formados no período pré-caldeira foram destruídos ou cobertos pelos fluxos vulcânicos e o seu material pode ter se misturado durante os fluxos. Portanto, infere-se um processo de sedimentação, controlado majoritariamente pelas últimas atividades vulcânicas no período 1967-1970, mas com participação dos processos glaciais e periglaciais via fluxos de água de fusão e de sedimentos das geleiras e do permafrost, que contribuíram assim para a formação de depósitos fluvio-glaciais na área, corroborando, dessa forma, com o trabalho de López-Martinez; Serrano (2002).

A intensidade das explosões provocou o transporte de sedimentos em direção à baía Porto Foster a partir de lahares e fluxo de detritos, os quais podem ter sido ativados pelo aquecimento intenso e repentino da neve e do

gelo glacial (SMELLIE, 2002). Material de granulação fina foi transportado e depositado no fundo da baía, o que é comprovado pelos depósitos de areia lamosa sobre o material vulcânico que cobrem grande parte do fundo da baía Porto Foster (FINGER; LIPPS, 1981; COSTA et al., 2023). Gray et al. (2003) analisaram sedimentos marinhos (baía Porto Foster) e subaéreos (PendulumCove, WhalersBay e Cross Hill) e indicaram mudanças na granulometria dos sedimentos da praia (areia cascalhosa), o que vai ao encontro com a granulometria apresentada neste estudo, e nos sedimentos marinhos (lama levemente arenosa).

Muniz et al. (2018), empregando datação de radiocarbono, análise da composição isotópica de C e N e distribuição granulométrica ao longo de perfis de 50 cm do solo em Whalers Bay e Cross Hill, identificaram intensa atividade de sedimentação e alteração das camadas nos primeiros  $27 \pm 2,5$  cm. A partir desta camada até 50 cm de profundidade reportam maior estabilidade na acumulação da matéria orgânica. A idade calculada para os  $27 \pm 2,5$  cm superficiais até o final do perfil (50 cm) é de 5 a 13 cal ka AP. Portanto, de 5 cal ka AP ao tempo atual, erupções pós-caldeira ocorreram, derretendo geleiras e *permafrost* produzindo, desde escoamentos superficiais com lama até *lahares* e, conseqüentemente, alteração das camadas de  $27 \pm 2,5$  cm até a superfície.

Os perfis analisados neste trabalho alcançaram 100 cm em Pendulum Cove e em Whalers Sul, 90 cm em Cross Hill e 85 cm em Whalers Bay. Se forem consideradas as idades apresentadas por Muniz et al. (2018), as camadas dos perfis deste trabalho podem conter informações de fases anteriores ao colapso da caldeira, cujo período entre 10.000 e 3.370 anos AP é sugerido por outros autores (ANTONIADES et al., 2018) e também do início do processo de deglaciização da área.

Reconstruções de mudanças no manto de gelo da Península Antártica, que se estendia sobre o Estreito de Bransfield e sobre as ilhas Shetland do Sul, no Último Máximo Glacial (COFAIGH et al., 2014) dão conta que a ilha Deception estava coberta pelo manto de gelo em 15 ka AP, mas já desconectada dele em 10 ka AP, embora boa parte das ilhas Shetland do Sul e parte do Estreito de Bransfield ainda estivessem cobertas por gelo. A partir de 5 ka AP, as ilhas Shetland do Sul e a ilha Deception já se encontravam em um processo de deglaciização.

## 5. Conclusão

A análise granulométrica apresentou ao longo dos quatro pontos de coletas predominância das frações areia e cascalho em detrimento das frações silte e argila. Além disso, a análise morfooscópica indicou predominância de sedimentos muito angulosos, angulosos e subangulosos em Whalers Bay, Whalers Sul e Cross Hill, além de uma mistura entre grãos angulosos e arredondados no perfil de PendulumCove. Tais características são indicativas de uma menor distância de transporte e retrabalhamento das amostras desde a sua área fonte, além de uma sedimentação rápida das partículas, possivelmente oriunda de erupções hidrovolcânicas, no caso de Pendulum Cove.

Em Pendulum Cove e Whalers Bay os valores mais baixos dos índices CIA e PIA com o aumento da profundidade nas camadas superiores correspondem a valores mais elevados de K, Cl e K<sub>2</sub>O e menores de Al, Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>, conforme observado também na análise estatística. O inverso é observado em Whalers Sul onde os valores mais elevados de CIA nas camadas até 60 cm, correspondem a valores mais elevados de Al, Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. Isso ocorre devido à intensificação dos processos de intemperismo químico que leva a perdas de Na, K e Ca e aumento da concentração de Al e Si nos sedimentos. O elemento predominante nos perfis foi o Fe, apresentando correlação negativa com o índice CIA em Whalers Bay e Cross Hill, o que pode estar associado à interação água-rocha no sistema hidrotermal, que produz argilominerais ferromagnesianos.

Com base no uso de isótopos estáveis de carbono foi possível reconhecer a fonte da matéria orgânica como possuindo características de plantas C3 como os líquens, possivelmente misturadas a excrementos de animais que vivem na região (precisando de análises complementares como o uso de isótopos estáveis de nitrogênio para confirmar esta presença). Pendulum Cove possivelmente apresenta uma mistura de fontes alóctones e autóctones, entretanto nos pontos de Whalers Bay e Whalers Sul não foi identificada a presença de vegetação nativa o que indica que a fonte de matéria orgânica seja alóctone, ou seja, o material foi depositado pela ação de transporte dos sedimentos.

Portanto, na dinâmica atual de sedimentação da ilha Deception infere-se um processo controlado majoritariamente pelas últimas atividades vulcânicas no período 1967-1970, embora com participação dos processos glaciais e periglaciais a partir de fluxos de água de fusão, de precipitações líquidas e de sedimentos das geleiras e do *permafrost*, que contribuíram, dessa forma, para a formação de depósitos glacio-fluviais na área. No

entanto, os resultados apontam também para eventos mais antigos que alteraram os processos de sedimentação, como os observados nas quatro áreas analisadas, entre as camadas de 60 e 70 cm, o que leva a necessidade de datação.

**Contribuições dos Autores:** Conceitualização, R.V., D.P.; metodologia, D.P., R.V., V.C. e J.F.; software, D.P. e R.V.; análise formal, D.P., V.C., J.F. e R.V.; investigação, D.P., V.C. e R.V.; preparação de dados, D.P. e J.F.; redação — rascunho original, D.P. e R.V.; revisão e edição, D.P., V.C., J.F. e R.V.; supervisão, R.V. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), processo nº 407598/2013-8 (equipamentos de expedição e laboratório), e pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, processo nº E-26/210.510/2019 (equipamentos de laboratório).

**Agradecimentos:** Agradecemos aos revisores deste artigo por suas contribuições, bem como ao Programa Antártico Brasileiro e ao INCT da Criosfera por fornecerem a infraestrutura para o desenvolvimento desta pesquisa.

**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. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6.502 – Rochas e solos: terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT. 18 p, 1995.
2. ABRAM, N.J., MULVANEY, R. WOLFF, E.W., TRIEST, J., KIPFSTUHL, S., TRUSEL, L.D. Acceleration of snow melt in an Antarctic Peninsula ice core during the twentieth century. **Nature Geoscience**, n.6, p. 1-8, 2013. DOI: 10.1038/ngeo1787.
3. ANTONIADES, D., GIRALT, S., GEYER, A., ÁLVAREZ-VALERO, A.M., PLA-RABES, S., GRANADOS, I., LIU, E.J., TORO, M., SMELLIE, J.L., OLIVA, M. The timing and widespread effects of the largest Holocene volcanic eruption in Antarctica. **Scientific Reports**, v. 8, n. 17279, 2018.
4. APARICIO, A., RISSO, C. VIRAMONTE, J.G., MENEGATTI, N., PETRINOVIC, L. El volcanismo de isla Deception (Península Antártica). **Boletín Geológico y Minero**, p. 235-258, 1997.
5. BALDWIN, R.J., SMITH JR., K.L. Temporal dynamics of particulate matter fluxes and sedimentation unity response in Port Foster, Deception Island, Antarctica. *Deep Sea Research Part II Top. Stud. Oceanography*, 50, p. 1707-1725. 2003.
6. BALLANTYNE, C.K. Paraglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews** 21, p. 1935-2017, 2002.
7. BARALDO, A., RINALDI, C.A. Stratigraphy and structure of Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, n. 8, p. 785-796, 2000.
8. BARTOLINI, S., GEYER, A., MARTÍ, J., PEDEAZZI, D., AGUIRRE-DÍAZ, G. Volcanic hazard on Deception Island, Southern Shetland Islands, Antarctica. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, n. 285, p. 150-168, 2014. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2014.08.009.
9. BENN, D.I., BALLANTYNE, C.K. Reconstructing the transport history of glacial sediments: a new approach based on the covariance of clast form indices. **Sedimentary Geology**, n. 91, p. 215-227, 1994.
10. BLOTT, S.J., PYE, K. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, n. 11, p. 1237-1248, 2001. DOI: 10.1002/esp.261.
11. BOCKHEIM, J.; VIEIRA, G.; RAMOS, M.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; SERRANO, E.; GUGLIELMIN, M.; WILHELM, K.; NIEUWENDAM, A. Climate warming and permafrost dynamics in the Antarctic Peninsula region. **Global And Planetary Change**, p. 215-223, 2013. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.10.018.

12. CARVALHO-SILVA, M., ROSA, L. H., PINTO, O. H.B., SILVA, T. H., HENRIQUES, D. K., CONVEY, P., CÂMARA, P. E.A. Exploring the plant environmental DNA diversity in soil from two sites on Deception Island (Antarctica, South Shetland Islands) using metabarcoding. **Antarctic Science**, p. 469-478, 2021. DOI: 10.1017/s0954102021000274.
13. CIPRO, C.V.Z., YOGUI, G.T., BUSTAMANTE, P., TANIGUCHI, S., SERICANO, J.L., MONTONE, R. C. Organic pollutants and their correlation with stable isotopes in vegetation from King George Island, Antarctica. **Chemosphere**, n. 85, p. 393-398, 2011.
14. COFAIGH, C.Ó., DAVIES, B.J., LIVINGSTONE, S.J. *et al.* Reconstruction of ice-sheet changes in the Antarctic Peninsula since Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Review**, n. 100, p. 87-110, 2014.
15. CLARKE, A., HARRIS, C.M. Polar marine ecosystems: major threats and future change. **Environmental Conservation**, v. 30, n. 1, 2003.
16. COSTA, V., PORTELLA, D.A., VIEIRA, R., AYRES NETO. A. Diferenciação de ambientes de sedimentação glaciais e vulcânicos na ilha Deception (Arquipélago Shetland do Sul, Antártica) **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 3, p. 1-17, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i3.2274
17. DALZIEL, I.W.D. Tectonic evolution of a forearc terrane, southern Scotia Ridge, Antarctica I.W.D. Dalziel (Ed.), Tectonic Evolution of a Forearc Terrane, Southern Scotia Ridge, Antarctica, 200, **Geological Society of America** 1984.
18. DARMODY, R.G., THORN, C.E., RISSING, J.M. Chemical weathering of fine debris from a series of Holocene moraines: Storbreen, Jotunheimen, southern Norway. **Geografiska Annaler**, n. 69, p. 405-413, 1987.
19. DIXON, J.C., THORN, C.E. Chemical weathering and landscape development in mid-latitude alpine environments. **Geomorphology**, n. 67, p. 127-145, 2005.
20. ESTEVES, F. D. A.; AMADO, A. M. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, Cap. 13, 2011. p. 239-258.
21. EUROPEAN SPACIAL AGENCY. **ESA Copernicus online**, 2023. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/lv/node/1260>. Acesso em: 18 abril 2023.
22. EVANS, D., BENN, D. **A Practical Guide to the Study of Glacial Sediments**. London: Edward Arnold, 266 p. 2004.
23. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Guidelines for soil description**. 4 ed. Rome: FAO, 2006. 97 p.
24. FEDO, C.M., NESBITT, H.W., YOUNG, G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleo weathering conditions and provenance. **Geology**, v. 23, n. 10. p. 921-924, 1995.
25. FERREIRA, P., GUIMARÃES, F. CALDEIRA, R., MÃO DE FERRO, A., CANÁRIO, J. Química mineral das rochaspiroclásticas da ilha Deception (PenínsulaAntártica): algumas considerações petrogenéticas. **Comunicações Geológicas**, 102, Especial I, p. 11- 22. 2015.
26. FINGER, K.L., LIPPS, J.H. Foraminiferal decimation and repopulation in an active volcanic caldera, Deception Island, Antarctica. **Micropaleontology**, v. 27, n. 2, p. 111-139, 1981.
27. FOLK, R.L., WARD, W. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, n. 27, p. 3-26, 1957.
28. GALVÃO, J.C.M. **Caracterização geoquímica e mineralógica de sedimentos marinhos e sua relação com os processos sedimentares e oceanográficos na Bacia central de Bransfield – Antártica**. Dissertação (Mestrado Dinâmica dos Oceanos e da Terra) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.143p.
29. GEYER, A., MARTI, A., GIRALT, S., FOLCH, A. Potential ash impact from Antarctic volcanoes: insights from Deception Island most recent eruption. **Scientific Reports**, n.7, p. 1-10, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-16630-9.
30. GEYER, A., PEDRAZZI, D., ALMENDROS, J., BERROCOSO, M., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., MAESTRO, A., CARMONA, E., ÁLVAREZ-VALERO, A.M., DE GIL, A. Volcanism in Antarctica: 200 Million Years of Subduction, Rifting and Continental Break-up. **Geological Society**, n. 55, p. 667-693, 2021.
31. GIBBS, M.M. **Protocols on the use of Compound-Specific Stable Isotope to identify and apportion soil source from land use**. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, 103 p., 2010.
32. 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.

33. GRACIA, 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**, v. 9, n. 2, p. 168-180, 1997.
34. GRAY, S.C., STURZ, A., BRUNS, M.D., MARZAN, R.L., DOUGHERTY, D., LAW, H.B., BRACKETT, J.E., MARCOU, M. Composition and distribution of sediments and benthic foraminifera in a submerged caldera after 30 years of volcanic quiescence. **Deep-Sea Research**, n. 50, p. 1727-1751, 2003.
35. HAMMER, O. **Paleontological Statistics version 2.16**. Manual de Referência, 2012. <http://folk.uio.no/ohammer/past/>.
36. HALDORSEN, S. Grain-size distribution of subglacial till and its relation to glacial crushing and abrasion. **Boreas**, n. 10, p. 91-105, 1981.
37. HOPFENBLATT, J., GEYER, A., AULINAS, M., ÁLVAREZ-VALERO, A.M., SÁNCHEZ, A.P., GIRALT, S., SMELLIE, J.L. DecTephra: A new database of Deception Island's tephra record (Antarctica). **Journal of Volcanology and Geothermal Research** v. 425, p. 107516, 2022.
38. HUBBARD, B., GLASSER, N. **Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology**. Oxford, John Wiley & Sons Ltd. 400 p. 2005.
39. INGÓLFSSON, Ó., HJORT, C., BJÖRCK, S., & SMITH, R. I. L. Late Pleistocene and Holocene glacial history of James Ross Island, Antarctic Peninsula. **Boreas**, P. 209–222, 2008. DOI:10.1111/j.1502-3885.1992.tb00029.x.
40. IPCC. Disponível em < <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> > Acesso em dezembro/2022.
41. KELLER, R.A., FISK, M.R., SMELLIE, J.L., STRELIN, J.A., LAWVER, L.A. 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. 2002.
42. LANDIN, P.M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados**. Oficina de Textos, São Paulo, 208 p, 2011.
43. 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**, v.34, n 2, p. 1-10, 2016.
44. LEPSCH, I.F. **Lições de Pedologia**. Oficina de Texto, São Paulo, 2011. 456p.
45. LICHT, K.J., HEMMING, S.R. Analysis of Antarctic provenance sediment provenance through geochemical and petrologic application. **Quaternary Science Reviews**, n. 164, p. 1-24, 2017.
46. LIU, X.D., SUN, L.G., XIE, Z.Q., YIN, X.B., WANG, Y.H. A 1300-year record of penguin populations on Ardley Island in Antarctica, as deduced from the geochemical data in the ornithogenic lake sediments. **Arctic, Antarctic and Alpine Research**, n. 37, p. 490-498, 2005.
47. LIU, X.D., LI, H.C., SUN, L.G., YIN, X.B., ZHAO, S.P., WANG, Y.H.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in the ornithogenic sediments from the Antarctic maritime as palaeoecological proxies during the past 2000 yr. **Earth and Planetary Science Letters**, n. 243, p. 424-438, 2006.
48. LIU, E.J., OLIVA, M., ANTONIADES, D., GIRALT, S., GRANADOS, I., PLA-RABES, S., TORO, M., GEYER, A. Expanding the tephro stratigraphical framework for the south Shetland Islands, Antarctica, by combining compositional and textural tephra characterisation. **Sedimentary Geology**, p. 49-61, 2016.
49. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., SERRANO, E. Geology and Geomorphology of Deception Island, 1:25 000. BAS GEOMAP Series Sheets 6-A and 6-B. British Antarctic Survey, Cambridge, UK, p. 31-39, 2002.
50. LUKAS, S., et al. Clast shape analysis and clast transport paths in glacial environments: a critical review of methods and the role of lithology. **Earth-Science Reviews**, n. 121, p. 96-116, 2013.
51. MAESTRO, A., SOMOZA, L., REY, J., MARTÍNEZ-FRÍAS, J., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. Active tectonics, fault patterns, and stress field of Deception Island: A response to oblique convergence between the Pacific and Antarctic plates. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 23, p. 256-268, 2007.
52. MUNIZ, M.C., ANJOS, R.M., CARDOSO, R.P., ROSA, L.H., VIEIRA, R., MAROTTA, H., MACARIO, K., AYRES NETO, A., FELIZARDO, J.P., BARBOZA, C.D.N. Post-caldera evolution of Deception Island (Bransfield Strait, Antarctica) over Holocene timescales. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, n.501, p. 58-69, 2018. DOI: 10.1016/j.palaeo.2018.04.010.

53. NESBITT, H.W., YOUNG, G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, n. 299, p. 715-717, 1982.
54. OLIVA, M.; PALACIOS, D.; FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, J. M.; FERNANDES, M.; SCHIMMELPFENNIG, I.; VIEIRA, G.; ANTONIADES, D.; PÉREZ-ALBERTI, A.; GARCÍA-OTÉYZA, J. Holocene deglaciation of the northern Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica. *Land Degradation & Development*, p. 3973-3990, 2023. Wiley. DOI: 0.1002/ldr.4730.
55. ORHEIM, O. **A 200-year record of glacier mass balance at Deception Island, Southern Atlantic Ocean and its bearing on models of global climatic change.** Institute of Polar Studies, Ohio, 1972. 118 p.
56. PEDRAZZI, D., NÉMETH, K., GEYER, A., ÁLVAREZ-VALERO, A.M., AGUIRRE-DÍAZ, G., BARTOLINI, S. Historic hydrovolcanism at Deception Island (Antarctica): implications for eruption hazards. *Bulletin of Volcanology*, n. 80, p. 1-28, 2018. DOI: 10.1007/s00445-017-1186-9.
57. PRESS, W.H., TEUKOLSKY, S.A., VETTERLINE, W.T., FLANNERY, B.P. **Numerical Recipes.** Cambridge University Press. 1992. DOI: 10.1017/SO269964800000565
58. RUMPEL, C., KOGEL-KNABNER, I. Deep soil organic matter - a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant Soil*, n. 338, p. 143-158, 2011.
59. SIMMS, A. R.; MILLIKEN, K. T.; ANDERSON, J. B.; WELLNER, J. S. The marine record of deglaciation of the South Shetland Islands, Antarctica since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, v. 30, p. 1583-1601, 2011. DOI: 10.1016/j.quascirev.2011.03.018.
60. SMELLIE, J.L. Lithostratigraphy and volcanic evolution of Deception Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, n. 13, p. 188-209, 2001.
61. SMELLIE, 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, 2002.
62. SMELLIE, J.L., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. 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.
63. SVENDSEN, H., BEZCCZYNSKA, A., LAFAUCCONNIER, B., TVERBERGV, V., GERLAND, S., HAGEN, J., ORBEAK, O., BISCHOF, J.B., PAPUCCI, C., ZAJACZKOWSKI, M., AZZOLINI, R., BRULAND, O., WIENCKE, C., WHINTHER, J.G., HODSON, A., MUMFORD, P. The physical environment of Kongsfjorden-Krossfjorden: – an Arctic fjord system in Svalbard. *Polar Research*, v. 21, 2002.
64. TOSTES, J.O. **Solos e Paisagens do Setor Oeste da Ilha Deception, Antártica Marítima.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí. 2011. 112p.
65. TURNER, J., BARRAND, N.E., BRACEGIRDLE, T.J. et al. Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record*, v.50, n. 3, p. 237-259, 2014. DOI: 10.1017/S0032247413000296.
66. 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. 1840-1844, 2008.



Esta 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.