

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

VIVIANE ARANTES KOCH

**SOLOS COM INFLUÊNCIA ORNITOGÊNICA NA ILHA GREENWICH,  
ANTÁRTICA**

UBERLÂNDIA

2024

VIVIANE ARANTES KOCH

**SOLOS COM INFLUÊNCIA ORNITOGÊNICA NA ILHA GREENWICH,  
ANTÁRTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de concentração: Dinâmicas territoriais e estudos ambientais.

Linha de pesquisa: Estudos ambientais e geotecnologias.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Resende Corrêa.

Coorientador: Dr. Hugo Galvão Candido.

UBERLÂNDIA

2024

VIVIANE ARANTES KOCH

**SOLOS COM INFLUÊNCIA ORNITOGÊNICA NA ILHA GREENWICH,  
ANTÁRTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Geografia da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
mestre em Geografia.

Uberlândia, 04 de julho de 2024

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Guilherme Resende Corrêa - IG/UFU (Orientador)

Prof. Dr. Eduardo Osório Senra - ICIAG/UFU

Prof. Dr. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer - DPS/UFV

Prof. Dr. Danilo de Lima Camêlo - CCAE/UFES

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

K76 2024	<p>Koch, Viviane Arantes, 1998- Solos com influência ornitogênica na Ilha Greenwich, Antártica [recurso eletrônico] / Viviane Arantes Koch. - 2024.</p> <p>Orientador: Guilherme Resende Corrêa. Coorientador: Hugo Galvão Cândido. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Geografia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.535">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.535</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Geografia. I. Corrêa, Guilherme Resende, 1981-, (Orient.). II. Cândido, Hugo Galvão, 1985-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Geografia. IV. Título.</p> <p>CDU: 910.1</p>
-------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br

**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico; Número 559, PPGEO				
Data:	04 de julho de 2024	Hora de início:	08h:00min	Hora de encerramento:	12h:00min
Matrícula do Discente:	12212GEO006				
Nome do Discente:	VIVIANE ARANTES KOCH				
Título do Trabalho:	SOLOS COM INFLUÊNCIA ORNITOGÊNICA, ILHA GREENWICH, ANTÁRTICA				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se na Sala 14 [On-line], no Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer -UFV-MG; Eduardo Osório Senra - ICIAG-UFU; Danilo de Lima Camêlo - UFES-ES e Guilherme Resende Corrêa - IG/UFU orientador(a) do(a) candidato(a). A Defesa aconteceu de forma remota.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Guilherme Resende Corrêa - IG/UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

**Aprovada**

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Osório Senra, Professor(a) do Magistério Superior**, em 04/07/2024, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Resende Correa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 04/07/2024, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Danilo de Lima Camêlo, Usuário Externo**, em 08/07/2024, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5482142** e o código CRC **38131185**.

À Elis.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Guilherme Resende Corrêa, pelas oportunidades a mim oferecidas, pelo auxílio e contribuição ao trabalho, e pela compreensão e constante incentivo.

Aos professores Dr. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer e Dr. Márcio Rocha Francelino pela oportunidade de participar e contribuir com os projetos Terrantar e Permaclima.

Ao professor Dr. Danilo de Lima Camêlo por viabilizar as análises feitas por DRX e ICP-OES.

À equipe da Estação equatoriana Pedro Vicente Maldonado pela agradável estadia e pela ajuda durante a expedição para coleta do material de pesquisa em Fort William Point.

Ao Programa Antártico Brasileiro e à Marinha do Brasil pela logística e suporte às pesquisas realizadas durante a XLI OPERANTAR.

À minha família pelo apoio, em especial à minha mãe. Ao meu companheiro pelo incentivo, paciência e incessante suporte. E aos meus sogros pela ajuda que foi fundamental para que esse trabalho pudesse ser concluído.

Aos colegas do Laboratório de Pedologia e Estudos da Paisagem pela companhia, pela colaboração nas análises e pelos momentos de descontração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa que financiou meu curso de mestrado.

## RESUMO

As áreas livres de gelo são limitadas a uma pequena porcentagem de toda a Antártica, onde durante o verão austral, milhares de aves nidificam. Os ecossistemas terrestres antárticos são geralmente pobres em nutrientes, no entanto a entrada de guano, promovida pela ornitogênese, é capaz de tornar esses ambientes progressivamente mais ricos em matéria orgânica e elementos como o fósforo. Nas áreas livres de gelo da Antártica marítima predominam colônias de pinguins, mas aves marinhas voadoras, como os petréis, possuem forte influência em áreas específicas. O impacto dessas aves nas propriedades do solo ainda é pouco conhecido em comparação a dos pinguins, que são mais amplamente documentados na literatura. Portanto, com o objetivo de investigar a influência da atividade de petréis na formação e evolução dos solos, amostras de oito perfis e amostras superficiais de solo foram coletadas na Ilha Greenwich. Análises físicas, químicas, mineralógicas e estatísticas foram realizadas. Os resultados mostraram que os solos são geralmente pouco desenvolvidos, com predominância de minerais primários nas frações  $< 2$  mm. Os solos influenciados atualmente pela ornitogênese apresentaram concentrações mais altas de fósforo, nitrogênio e carbono orgânico. Por outro lado, os solos sem influência atual mostraram teores superiores de cálcio e magnésio. Apesar dos níveis mais elevados de P, N e C-org, verificou-se que os petréis gigantes não contribuem com uma entrada de guano equivalente à promovida pelos pinguins. Ainda assim, a influência dos petréis gigantes é suficiente para modificar as propriedades dos solos e contribui para a formação de solos fracamente ornitogênicos.

**Palavras-chave:** Solos ornitogênicos. Petrel gigante. Antártica marítima.

## ABSTRACT

Ice-free areas are limited to a small percentage of the entire Antarctic region, where thousands of birds nest during the austral summer. Antarctic terrestrial ecosystems are generally nutrient-poor; however, the input of guano, promoted by ornithogenesis, can progressively enrich these environments with organic matter and elements such as phosphorus. In the ice-free areas of maritime Antarctica, penguin colonies predominate, but flying seabirds, such as petrels, have a strong influence in specific areas. The impact of these birds on soil properties is still poorly understood compared to that of penguins, which are more extensively documented in the literature. Therefore, to investigate the influence of petrel activity on soil formation and evolution, samples from eight soil profiles and topsoil samples were collected on Greenwich Island. Physical, chemical, mineralogical, and statistical analyses were conducted. The results showed that the soils are generally poorly developed, with a predominance of primary minerals in the <2 mm fractions. Soils currently influenced by ornithogenesis showed higher concentrations of phosphorus, nitrogen, and organic carbon. On the other hand, soils without current influence showed higher levels of calcium and magnesium. Despite the higher levels of P, N, and organic carbon, it was found that giant petrels do not contribute to guano input equivalent to that promoted by penguins. Nevertheless, the influence of giant petrels is sufficient to modify soil properties and contributes to the formation of weakly ornithogenic soils.

**Keywords:** Ornithogenic soils. Giant petrel. Maritime Antarctica.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1	Área de estudo	14
2.2	Coleta de solos e classificação	16
2.3	Análises físicas e químicas	17
2.4	Análises mineralógicas	18
2.5	Teores totais	18
2.6	Análises estatísticas e dados secundários	18
3	RESULTADOS	19
3.1	Atributos morfológicos, físicos e químicos do solo	19
3.2	Estatística das variáveis físicas e químicas dos solos superficiais	26
3.3	Mineralogia e Teores totais	30
4	DISCUSSÃO	36
	Contribuição dos ninhos de Petrel nas propriedades do solo	36
5	CONCLUSÕES	39
	REFERÊNCIAS	40
	MATERIAL SUPLEMENTAR	49
	APÊNDICES	57
	APÊNDICE A – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 1	57
	APÊNDICE B – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 2	58
	APÊNDICE C – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 3	59
	APÊNDICE D – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 4	60
	APÊNDICE E – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 5	61
	APÊNDICE F – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 6	62
	APÊNDICE G – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 7	63
	APÊNDICE H – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 8	64

## 1 INTRODUÇÃO

A Antártica, continente mais austral do planeta, pode ser compartimentada em duas grandes porções: a continental; e a marítima ou peninsular (Beyer & Bólter 2002). Com aproximadamente 14 milhões de km<sup>2</sup> de superfície, e apenas 0,35% (cerca de 45 mil km<sup>2</sup>) de áreas livres de gelo (Fox & Cooper 1994). A maior parte das áreas livres de gelo são encontradas nas Montanhas Transantárticas (49%) e na Antártica Marítima (20%), e são nessas áreas onde é possível a ocorrência de solos (Beyer et al. 1999, Bockheim 2015a).

O primeiro estudo sobre solos da Antártica foi conduzido por Jensen (1916) ao analisar amostras coletadas durante a expedição de Shackleton. Entretanto, somente a partir da década de 1960 que os estudos pedológicos se tornaram mais comuns (Bockheim 2015a), com vários trabalhos de destaque (McCraw 1960, 1967, Ugolini 1963, 1964, Campbell & Claridge 1966, 1969, 1975, 1977, Tedrow 1966, 1977). Desde então, o desenvolvimento de diversos estudos sobre os solos da Antártica despertou a necessidade de inclusão de uma ordem que abrangesse os solos das regiões polares nos sistemas de classificação de solos, como os Gelisol no caso do Soil Taxonomy (ST) (1999) e Cryosol na Base de Referência Mundial para Recursos do Solo (WRB) (IUSS 2022).

Pesquisas mais recentes vêm se dedicando aos solos da região antártica de forma consistente, envolvendo a pedogênese, mapeamento de solos, relação solo-paisagem, relação solo-vegetação, estoque de carbono no solo, entre outros (Leishman & Wild 2001, Lee et al. 2004, Schaefer et al. 2008, Simas et al. 2007a, Francelino et al. 2011, Michel et al. 2014, Souza et al. 2014, Rodrigues et al. 2019, Siqueira et al. 2023). Atualmente o Brasil assume o protagonismo nessa área de pesquisa, onde grande parte é desenvolvida pelos integrantes do projeto TERRANTAR/PERMACLIMA, sediado na Universidade Federal de Viçosa e composto por uma ampla rede de pesquisadores nacionais e estrangeiros de diversas instituições, que desde 2002 realiza pesquisas no continente gelado e conta com o maior banco de solos da Antártica.

Dentre as áreas livres de gelo, a Antártica Marítima (AM) é a região com maiores temperaturas (Steig et al. 2009) e maiores índices de precipitação, na forma de chuva, em relação à porção continental, chegando a uma média de precipitação anual de 600 mm (Bockheim 2015a). Esse contraste climático, com maior disponibilidade de água e temperatura mais elevada favorece a formação do solo (Campbell & Claridge 1987), sendo o clima o fator mais importante, regionalmente, nesse quesito na Antártica (Balks et al. 2013).

Em escala local, os organismos são um fator importante para a pedogênese (Bockheim 2015b). As aves marinhas se destacam por modificar de forma acentuada o ambiente no qual estabelecem para a construção dos seus ninhos, tanto do ponto de vista físico, como a partir dos processos de intemperismo químico (Tatur & Myrcha 1984, Tatur 1989). Nas áreas de nidificação, o solo apresenta teores significativos de elementos como fósforo e carbono orgânico provenientes dos excrementos das aves (Simas et al. 2007b, Otero et al. 2018).

Os solos influenciados pela atividade das aves recebem o nome de solos ornitogênicos. Esse termo foi utilizado pela primeira vez por Syroetchkovsky (1959) para se referir a solos orgânicos presentes nas áreas de colônias de aves no continente Antártico. Os solos ornitogênicos são os que apresentam os maiores estoques de carbono na Antártica (Simas et al. 2007a, Chebykina et al. 2021), e seu estudo é uma importante contribuição para o monitoramento ambiental e entendimento dos ecossistemas terrestres antárticos. A vulnerabilidade desses ecossistemas frente ao cenário atual de rápidas mudanças no regime climático evidencia a necessidade da abrangência de pesquisas nessa região (Thomazini et al. 2020). Apesar da considerável recente expansão nos trabalhos sobre a pedogênese e processos associados nas áreas livres de gelo na Antártica Marítima, ainda é significativa a lacuna no conhecimento pedológico dos ambientes antárticos (Gjorup 2013, Lopes 2020).

Os solos ornitogênicos associados às colônias de pinguins, muito comuns na Antártica, são bastante estudados (Heine & Speir 1989, Tatur & Keck 1990, Simas et al. 2007b, Emslie et al. 2014, Schaefer et al. 2017). Já os trabalhos que abordam solos desenvolvidos em áreas colonizadas por aves voadoras, como os petréis, são menos comuns (Cocks et al. 1999, Rodrigues et al. 2024).

Dentre as aves voadoras, os petréis gigantes do Sul (*Macronectes giganteus*) se destacam. Eles se reproduzem em vários locais da Antártica Marítima, Península Antártica e nas ilhas subantárticas. Fort William Point (também chamado de Spark Point), na Ilha Greenwich, representa um dos principais sítios de reprodução de petréis gigantes na AM (Koester & Piedrahita 2007, ACAP 2010). Apesar disso, não há na literatura pesquisas sobre os efeitos da atividade de petréis no solo dessa ilha, mas somente na sua vizinha, Barrientos Islands, cuja atividade dessas aves também é intensa (Daher et al. 2019).

O petrel gigante do Sul representa uma das espécies da ordem Procellariiformes (Carboneras 1992). Com hábitos alimentares generalistas (Hunter 1983) e marcado dimorfismo sexual (Copello et al. 2006) é uma espécie predadora de topo no Oceano Austral. Os machos se alimentam principalmente de carcaças de aves e mamíferos, e as fêmeas de presas pelágicas (González-Solís et al. 2000, Cherel et al. 2004, Petry & Kruger 2011). Na Antártica, o período

de reprodução dessas aves compreende os meses de setembro a abril (Conroy 1972) e as colônias são estabelecidas em áreas elevadas, como platôs. Nos locais de nidificação, o acúmulo de guano representa um importante fator para a formação de solos ornitogênicos.

Sendo assim, este estudo foca na avaliação da influência dos ninhos de petréis gigantes nas propriedades do solo em Fort William Point (FWP), Ilha Greenwich, AM. Nessa porção da ilha são observados muitos ninhos de petréis gigantes, que apesar de já terem sido estudados em outras partes das ilhas Shetland do Sul, o produto da interação dessas aves com o solo nessa ilha é investigado pela primeira vez no presente trabalho. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi detalhar as principais características físicas e químicas dos solos de FWP e analisar, utilizando indicadores geoquímicos e mineralógicos, a contribuição dos petréis gigantes para a formação de solos ornitogênicos.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

O estudo foi conduzido em FWP, uma península livre de gelo localizada na costa nordeste da Ilha Greenwich, situada entre as Ilhas Robert (a nordeste) e Livingston (a sudoeste), no arquipélago Shetland do Sul, Antártica (Fig. 1). FWP tem uma área de aproximadamente 1.6 km<sup>2</sup> e situa-se a noroeste da Baía Discovery, considerada uma Área Especialmente Protegida da Antártica - ASPA 144 (ATCM XXXV 2012). As ilhas do arquipélago são separadas da Península Antártica pelo Estreito de Bransfield e da América do Sul pela Passagem de Drake.

A Ilha Greenwich é caracterizada por uma plataforma basáltica subtabular (Araya & Hervé 1966). Duas unidades litológicas são identificadas em FWP, The Fort Williams Unit e The Puyango Unit, correlacionadas à Formação Coppermine. As coletas deste estudo se deram em afloramentos da Unidade The Fort Williams, constituídas por soleiras basálticas que apresentam morfologias erodidas cortadas por diques e domos (Dumont et al. 2006). A unidade superior, The Puyango Unit, apresenta-se como derrames colunares de basalto intercalados por sedimentos vulcano-sedimentares com cinzas, brechas e material conglomerado, incluindo fragmentos de madeira silicificada. As séries de basalto, compostas por basaltos andesíticos de textura afanítica e porfirítica, observadas em FWP variam de idade Coniciana a Maastrichtiana (aproximadamente há 89.8 a 66 milhões de anos), do Cretáceo Superior (Smellie et al. 1996).

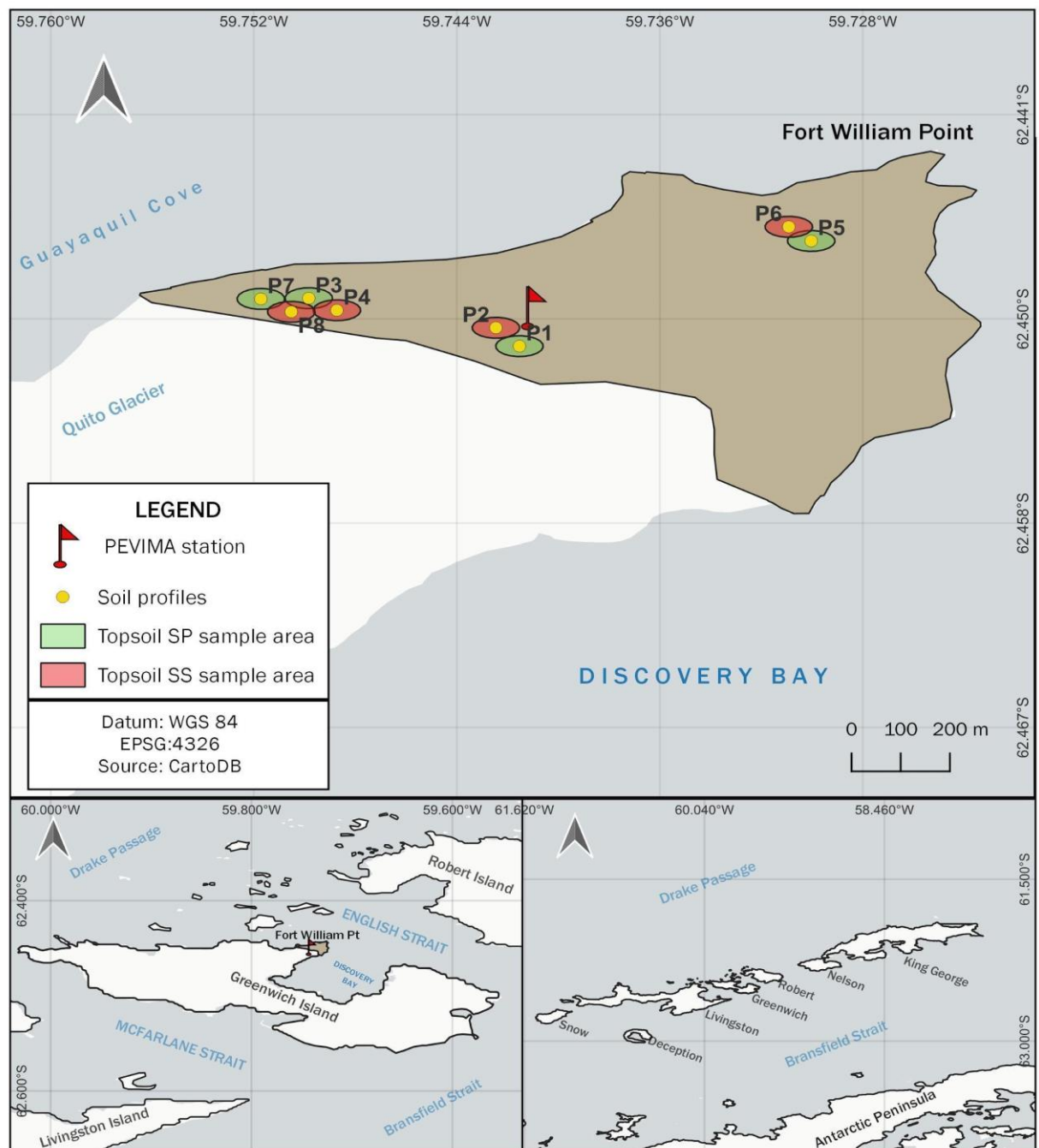


Fig. 1 – Mapa de localização de Fort William Point, Ilha Greenwich, Antártica Marítima, com os pontos de coleta dos perfis de solo e das amostras superficiais. SP refere-se a amostras superficiais com influência ornitogênica atual, enquanto SS refere-se a amostras superficiais sem influência ornitogênica atual.

FWP exibe uma marcante tendência estrutural regional de direção NE-SW, associada a falhas sinistras de mesma direção posteriores às unidades vulcânicas do Cretáceo, essa tendência estrutural está relacionada à abertura do Estreito de Bransfield (Dumont et al. 2006). Observa-se fraturas revestidas por calcita nessas falhas (Dumont et al. 2006).

FWP apresenta características de um ambiente periglacial e evidências do significativo recuo do Glaciar Quito (Fig. 1) ao longo dos últimos anos (Fatras et al. 2020). A área corresponde a uma plataforma marinha constituída por depósitos de praias atuais e paleopraias, na forma de cordões litorais elevados (Fretwell et al. 2010), marcas do soerguimento isostático pós-glacial da margem antártica. Apresenta também picos isolados de afloramentos rochosos de até 23 m de altura com direção NE (Santana & Dumont 2002), além de depósitos glácio-lacustres e flúvio-glaciais (Cornejo et al. 1993). Na margem SW se encontra a Estação Equatorial Pedro Vicente Maldonado (PEVIMA station) (Fig. 1), área que corresponde ao limite E do Glaciar Quito.

O clima é considerado marítimo polar (Koppen: ET). Apresenta uma das temperaturas mais amenas da Antártica e precipitações frequentes na forma de neve, chuva ou garoa (Fatras et al. 2020). A partir de dados da IAATO (2011) estima-se que a temperatura média no verão varia entre -2 e +2 °C, com uma precipitação média de 600 mm por ano.

A vegetação é composta por uma diversidade de musgos e líquens, com ocorrência de extensos “carpetes” de musgos nas áreas de afloramentos de rocha (Valverde & Arcos 1990). Foram encontradas 36 espécies de líquens distribuídos em 13 famílias e 4 espécies de musgos pertencentes a 4 famílias (Sócola 2001a). Além de algas, como *Prasiola crispa*, em áreas próximas aos ninhos de aves.

Em relação a avifauna, dez espécies foram registradas em FWP, das quais cinco se reproduzem nesse local, sendo o *Macronektes giganteus* (Petrel Gigante do Sul) a espécie dominante (Sócola 2001b). Essa espécie, apesar de ser altamente sensível à presença e às modificações antrópicas, apresenta-se bem distribuída no local, apresentando no último censo realizado em FWP um total de 327 indivíduos, sendo 109 filhotes (Koester & Piedrahita 2007).

## 2.2 Coleta de solos e classificação

O trabalho de campo foi realizado em janeiro de 2023, durante o verão austral, entre os dias 08/01 e 13/01, durante a XLI Operação Antártica do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Oito perfis de solo foram selecionados para esse estudo, sendo quatro deles (P1, P3, P5 e P7) descritos em áreas ocupadas com ninhos de Petrel-Gigante (em dois estágios de ocupação: ativos e recém-abandonados), nos quais também foram coletadas amostras superficiais de solo (topsoils SP). Os demais perfis de solo (P2, P4, P6 e P8) foram coletados em áreas que não apresentam indícios de ninhos ativos, onde também se coletou amostras da superfície do solo (topsoils SS) (Fig. 1).

Os perfis de solo foram coletados em pares, ou seja, P1 e P2 foram descritos na mesma porção da paisagem, enquanto um (P1) foi coletado a partir de uma área com indício atual de nidificação, P2 foi coletado em área sem indício atual de nidificação e, assim, sucedeu-se com os demais perfis de solo. Associado a cada perfil de solo, foram realizadas 5 coletas simples de solo superficial (0-10 cm), totalizando 40 amostras. Ao P1 associam-se as amostras de solo superficial SP1 a SP5; ao P2 as amostras SS1 a SS5; ao P3 as amostras SP6 a SP10; ao P4 as amostras SS6 a SS10; ao P5 as amostras SP11 a SP15; ao P6 as amostras SS11 a SS15; ao P7 as amostras SP16 a SP 20; e ao P8 as amostras SS16 a SS20.

P1 foi coletado em área sem vegetação; P2 em área com musgos e líquens; P3 em área com presença da alga *Prasiola crista*; P4 está localizado num denso “tapete” de musgos; P5 em área com líquen do gênero *Usnea*; P6 em área vegetada por musgos; P7 em área não vegetada; e P8 em área densamente coberta por musgos.

Os perfis de solo foram descritos e amostrados de acordo com Santos et al. (2015), e classificados segundo a Base de Referência Mundial para Recursos do Solo – WRB (IUSS 2022). No momento da coleta, a temperatura do solo foi registrada por termômetro digital tipo espeto, nas profundidades amostradas. Todas as coletas foram realizadas em elevações rochosas próximas à zona costeira.

### 2.3 Análises físicas e químicas

As análises físicas e químicas foram realizadas na terra fina (seca ao ar, destorroada e peneirada em malha de 2 mm). A granulometria do solo foi analisada por dispersão mecânica em solução de NaOH; areia grossa e areia fina foram obtidas por peneiramento, silte por sedimentação e argila por sifonamento conforme Teixeira et al. (2017). A fração grossa do solo (cascalhos e calhaus) (> 2 mm - 20 cm) foi obtida por pesagem. Os resultados foram plotados no diagrama triangular para obtenção da classe textural. A cor dos solos úmidos foi determinada utilizando a caderneta de Münsell (Munsell 1994).

O pH foi determinado em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, com relação solo:solução de 1:2,5. Cátions trocáveis foram extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; acidez potencial (H<sup>+</sup>Al) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0; P disponível, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e micronutrientes foram extraídos com Mehlich-1 (Teixeira et al. 2017). As concentrações dos elementos nos extratos foram quantificadas por absorção atômica (Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>), titulometria com NaOH (H<sup>+</sup> + Al, e Al<sup>3+</sup>), e espectrofotômetro de plasma induzido (P, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup>) (Teixeira et al. 2017). Foram calculados a soma de bases (SB = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>),

capacidade de troca catiônica efetiva ( $CECe = SB + Al^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica potencial ( $CECp = SB + H + Al$ ), porcentagem da soma de bases ( $PSB = SB/CECp \cdot 100$ ), saturação por alumínio ( $Al_{sat} = Al^{3+}/CECe \cdot 100$ ) e saturação por sódio ( $Na_{sat} = Na/CECe \cdot 100$ ). C-orgânico foi obtido pelo método Walkley Black. N-total foi determinado pelo método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney 1982).

## 2.4 Análises mineralógicas

As amostras de terra fina dos horizontes de solo foram tratadas com NaOH 0,2 mol L<sup>-1</sup> para dispersão das frações do solo (Jackson 1979). Após agitação lenta por 16 horas, a fração areia foi retida em peneira de 0,053 mm, e as frações argila e silte, recolhidas em provetas e separadas por sedimentação com base na lei de Stokes (Gee & Bauder 1986).

As amostras de argila sem tratamento, bem como as frações areia e silte, foram maceradas em almofariz de ágata e montadas em lâminas escavadas (amostras em pó) para análise por difração de raios-x (DRX). Os difratogramas foram obtidos em difratômetro Rigaku, modelo Miniflex 600C, com fonte de radiação Cu  $\alpha$ , operado a 15 mA e 40 kV, com velocidade angular de 1,2° 2 $\theta$ min<sup>-1</sup>, numa amplitude de leitura de 3 a 55° 2 $\theta$ . Para interpretação dos difratogramas foram utilizados os softwares X PowderX e Match!, além de padrões conhecidos da literatura (Brindley & Brown 1980). Os gráficos foram gerados a partir do software Origin Pro 8.

## 2.5 Teores totais

Elementos maiores e traços de amostras selecionadas foram quantificados por ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado), após digestão por fusão alcalina com LiBO<sub>2</sub> (Pansu & Gautheyrou 2006).

## 2.6 Análises estatísticas e dados secundários

Mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação de dados químicos e físicos foram calculados. A normalidade dos dados foi avaliada utilizando o teste de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk 1965). Como os dados não são distribuídos normalmente, o coeficiente de correlação de Spearman foi aplicado (Spearman 1904). O teste de Mann-Whitney (U), uma versão não paramétrica do teste t de Student, foi realizado para averiguar se as diferenças entre

os conjuntos de dados de solo são significativas (Mann & Whitney 1947). Para todas essas análises foi considerado o mesmo nível de significância de  $\alpha \leq 0.05$ .

Para avaliar a tendência dos dados em formar grupos foi aplicado a Estatística de Hopkins (Hopkins & Skellam 1954). Com o intuito de verificar como os solos se agrupam e quais variáveis da base de dados, previamente padronizadas, se relacionam com os tipos de solo foram realizadas análises da estatística multivariada, como o agrupamento hierárquico (Kaufman & Rousseeuw 1991) e a Análise de Componentes Principais (ACP) (Jolliffe & Cadima 2016). Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R Core Team 2020).

O mapa foi elaborado a partir do software QGIS (versão 3.28.14 ‘Firenze’) (QGIS Development Team 2023).

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 Atributos morfológicos, físicos e químicos do solo**

Os perfis foram classificados como Leptosol (P1 e P7), Cambisol (P3, P4 e P8) e Regosol (P2, P5 e P6) (IUSS 2022) (Fig. 2 e Tabela I). A influência atual de ninhos de petrel gigante foi observada nos perfis 1, 3, 5 e 7. Mesmo com a clara influência ornitogênica nesses solos, não foi possível utilizar o qualificador ‘ornithic’, pois o critério de espessura da camada ou quantidade de P não foi atendido (IUSS 2022). Em um deles havia ninhos ativos (P1) e em P3, P5 e P7 os ninhos haviam sido recentemente abandonados. Nos demais perfis de solo (P2, P4, P6 e P8) não foram encontradas evidências ornitogênicas, ou seja, ninhos (caracterizado pela presença de fragmentos de rocha selecionados e de tamanho semelhante) ou traços indicativos de solos influenciados por aves, como penas e fragmentos de ossos e ovos.

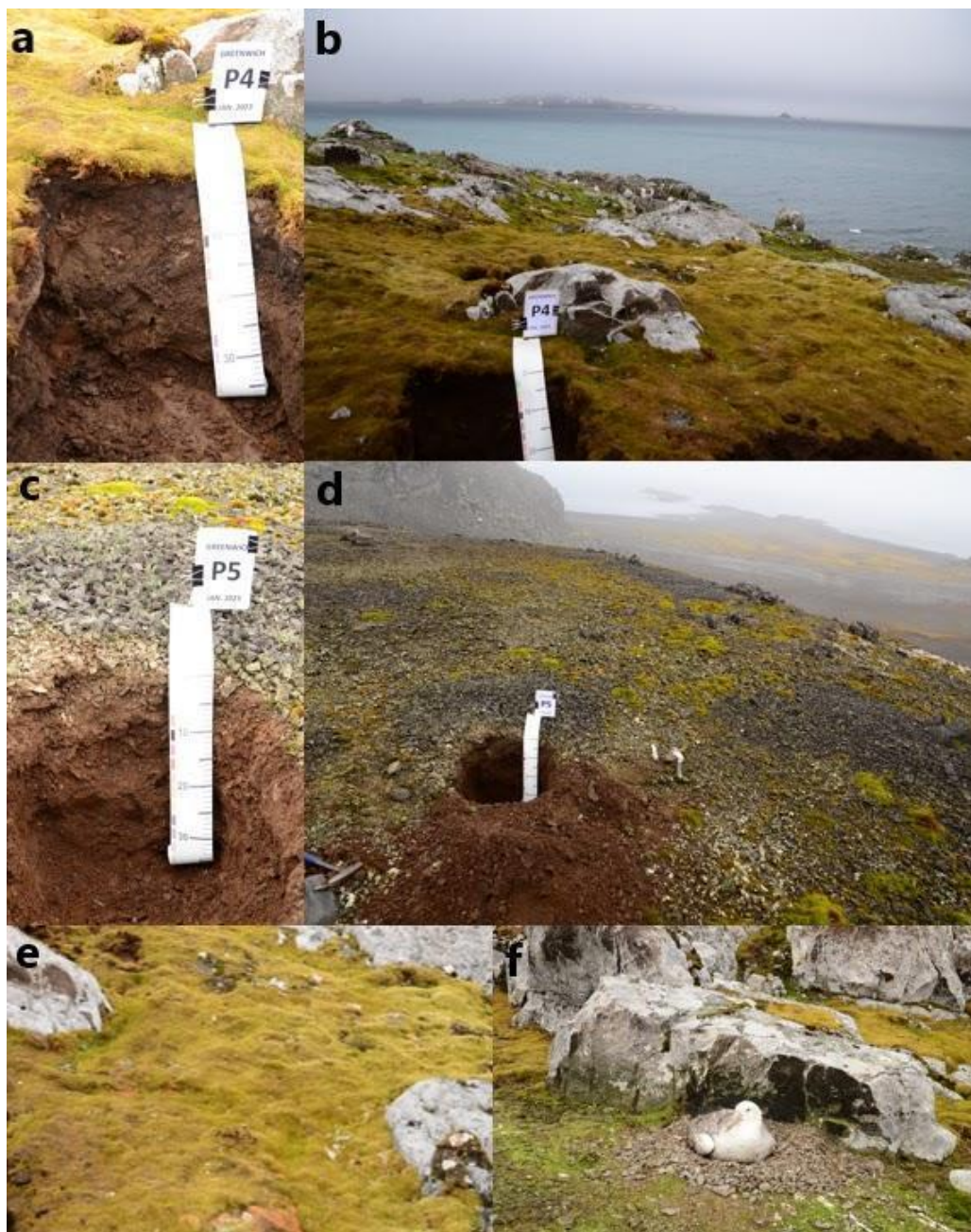


Fig. 2 - Perfis representativos dos tipos de solo coletados em FWP. a) perfil de solo sem influência atual de petrel gigante (P4); b) e d) afloramento rochoso; c) perfil de solo com influência atual de petrel gigante (P5); e) “tapete” de musgos; f) ninho de Petrel.

Os Leptosols foram classificados em virtude da presença de rocha contínua iniciando a uma profundidade de 25 cm da superfície do solo. Os perfis 3, 4 e 8, enquadrados como Cambisols, seguiram, dentre outros, o critério de croma da cor uma unidade mais alta no horizonte diagnóstico Bw (cambic horizon) em relação a camada sobrejacente de solo (P3 e P4), ou conteúdo de argila  $\geq 4\%$  (nesse caso  $9.6\%$ ) comparada a camada subjacente (P8). Regosols representam uma ordem de solos que não apresentam desenvolvimento significativo,

P2, P5 e P6 foram enquadrados como tal pois não atenderam nenhum dos critérios das demais ordens de solo da WRB (IUSS 2022).

Nenhum solo apresentou temperatura abaixo de 0 °C (Tabela II e Tabela SII - Material Suplementar). Os solos de FWP apresentam fragmentos grossos (> 2 mm) em abundância (Tabela II), como reportado para solos da AM por outros autores (Francelino et al. 2011, Daher et al. 2019, Rodrigues et al. 2019, Sacramento et al. 2023). Portanto, são qualificados, em sua maioria, como skeletal.

<b>Perfil</b>	<b>Classificação WRB</b>	<b>Influência ornitogênica</b>
<b>1</b>	Dystric Skeletic Leptosol (Humic)	Ninho de petrel ativo
<b>2</b>	Eutric Leptic Regosol (Ochric)	Não ornitogênico
<b>3</b>	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Humic)	Ninho de petrel recentemente abandonado
<b>4</b>	Dystric Leptic Cambisol (Humic)	Não ornitogênico
<b>5</b>	Dystric Skeletic Leptic Regosol (Humic)	Ninho de petrel recentemente abandonado
<b>6</b>	Dystric Skeletic Leptic Regosol (Humic)	Não ornitogênico
<b>7</b>	Dystric Coarsic Leptosol (Ochric)	Ninho de petrel recentemente abandonado
<b>8</b>	Eutric Leptic Cambisol (Ochric)	Não ornitogênico

Tabela I - Classes de solo e tipo de influência ornitogênica.

A maior parte dos solos com influência atual de petrel gigante apresenta estrutura moderada, pequena/média e granular, com transição de horizontes superficiais para subsuperficiais predominantemente clara (Tabela II e Tabela SII). Na maioria dos solos sem evidências de influência atual a estrutura é fraca, pequena/média e granular. Os ciclos de congelamento e descongelamento a que esses solos estão sujeitos provocam sucessivas e rápidas compressões e dessecações dos agregados do solo (Schaefer et al. 2004), evidenciado pela estrutura granular dos solos de FWP.

Os solos apresentam cores brunadas, predominantemente 10YR 2/2 - brownish black. A textura predominante é a franco-arenosa, atestando o conteúdo maior das frações areia e silte nesses solos. Os solos são rasos, com profundidade média de 34.5 e 42.5 cm (Tabela II).

Os teores de areia grossa (CS) apresentam os maiores valores (média de 491.9 e 481.7 g/kg), seguido pelo silte (média 186.8 e 196.3 g/kg) (Tabela II). A acumulação de material fino (silte) em profundidade é observada na maioria dos solos, como encontrado por Simas et al. (2007). O conteúdo de cascalhos nos perfis de solos com influência atual das aves é muito superior (média 58.4%) comparado aos demais solos (média 35.3%) (Tabela II). Essa característica relaciona-se com o próprio material, composto por pedriscos, utilizado pelos petréis na construção de seus ninhos.

Variável	Perfis de solo com influência ornitogênica atual (P1, P3, P5 e P7)					Perfis de solo sem influência ornitogênica atual (P2, P4, P6 e P8)				
	Min.	Max.	Média	SD	CV%	Min.	Max.	Média	SD	CV%
<b>Cor</b>	10YR 2/2					10YR 2/2				
<b>Estrutura</b>	Moderada pequena/média granular					Frac pequena/média granular				
<b>Textura</b>	Franco-arenosa					Franco-arenosa				
<b>Prof. (cm)</b>	25	45	34.5	10.47	30.35	40	50	42.5	5	11.76
<b>Temperatura (°C)</b>	3.7	6.5	4.35	0.77	17.59	1.5	4.9	3.56	1.03	28.98
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	3.2	4.5	4	0.4	10.6	3.9	6.6	5.1	1	19.6
<b>P (mg/kg)</b>	37.9	991.2	431.7	273	63.2	11.2	1628.8	287	482.3	168
<b>K (mg/kg)</b>	61.0	338.1	149	98	65.85	42.4	131	77	29	37.64
<b>Na (mg/kg)</b>	70.6	907.3	305	249	81.74	91.6	590	222	169	76.06
<b>Ca<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	0.3	4.7	1.4	1.4	101.8	0.2	9.5	2.7	3.1	111
<b>Mg<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	0.1	2.3	0.7	0.9	115.7	0	10.6	2.7	3.5	127.7
<b>Al<sup>3+</sup> (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	1.3	4.5	3	1	44.87	0.0	5	1	1	101.13
<b>H+Al (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	7.6	25.9	15	6	39.30	1.4	29	9	9	100.30
<b>SB (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	0.9	11.5	4	4	90.65	1.0	17	7	6	96.52
<b>CECe (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	2.8	12.8	6	3	53.74	2.4	17	8	6	70.66
<b>CECp (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>	9.2	27.3	18	6	33.79	6.1	31	15	8	49.19
<b>PSB (%)</b>	5	46	21	15	73.27	4	93	43	32	74.32
<b>Al<sub>sat</sub> (%)</b>	10	72	48	20	42.39	0	79	30	28	95.76
<b>Na<sub>sat</sub> (%)</b>	2	15	7	4	57.27	1	15	7	4	62.42
<b>C-org (g/kg)</b>	11.66	59.05	24.1	15.3	63.4	1.39	150.06	22.1	37.8	170.9
<b>P-rem (mg/L)</b>	6	48	25	15	61.35	5.2	34	18	8	45.80
<b>N-total (g/kg)</b>	1.7	17.05	4.8	4.3	91.3	0.17	10.4	2.5	3	119.1
<b>Cu (mg/kg)</b>	2	5	3	1	38.63	1	5	2	1	48.81
<b>Mn (mg/kg)</b>	0	13	4	4	97.88	1	22	7	7	93.30
<b>Fe (mg/kg)</b>	118	386	249	90	36.17	50	312	190	83	43.90
<b>Zn (mg/kg)</b>	0	4	1	1	102.20	0	1	0	0	54.69
<b>CS (g/kg)</b>	320	615	491.9	86.5	17.6	335	621	481.7	97.5	20.2
<b>FS (g/kg)</b>	102	240	155.6	48.7	31.3	59	332	179.5	97.1	54.1
<b>Silte (g/kg)</b>	89	370	186.8	82.3	44.1	104	348	196.3	70.6	36
<b>Argila (g/kg)</b>	107	251	165.5	45.4	27.5	35	270	142.6	56.4	39.5
<b>CF (%)</b>	11.67	92.09	58.4	25.5	43.7	6.71	76.63	35.3	21.9	62

Tabela II - Estatística descritiva das propriedades do solo de perfis de solo influenciados por atividade ornitogênica atual (n=11) e perfis sem influência ornitogênica atual (n=14). SB: soma de bases; CECe: capacidade de troca catiônica efetiva; CECp: capacidade de troca catiônica potencial; PSB: porcentagem da soma de bases; Al<sub>sat</sub>: saturação por alumínio; Na<sub>sat</sub>: saturação por sódio; C-org: carbono orgânico; P-rem: fósforo remanescente; N-total: nitrogênio total; CS: areia grossa; FS: areia fina; CF: fração grossa; Min.: mínimo; Max.: máximo; SD: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Prof.: profundidade.

Os principais atributos físicos e químicos dos perfis de solo e sua distribuição ao longo do perfil podem ser observados na Figura 3.

Em relação ao pH em água, os perfis de solos com influência atual apresentam valores baixos (média de 4), os demais perfis apresentam valores ligeiramente mais altos (média 5.1)

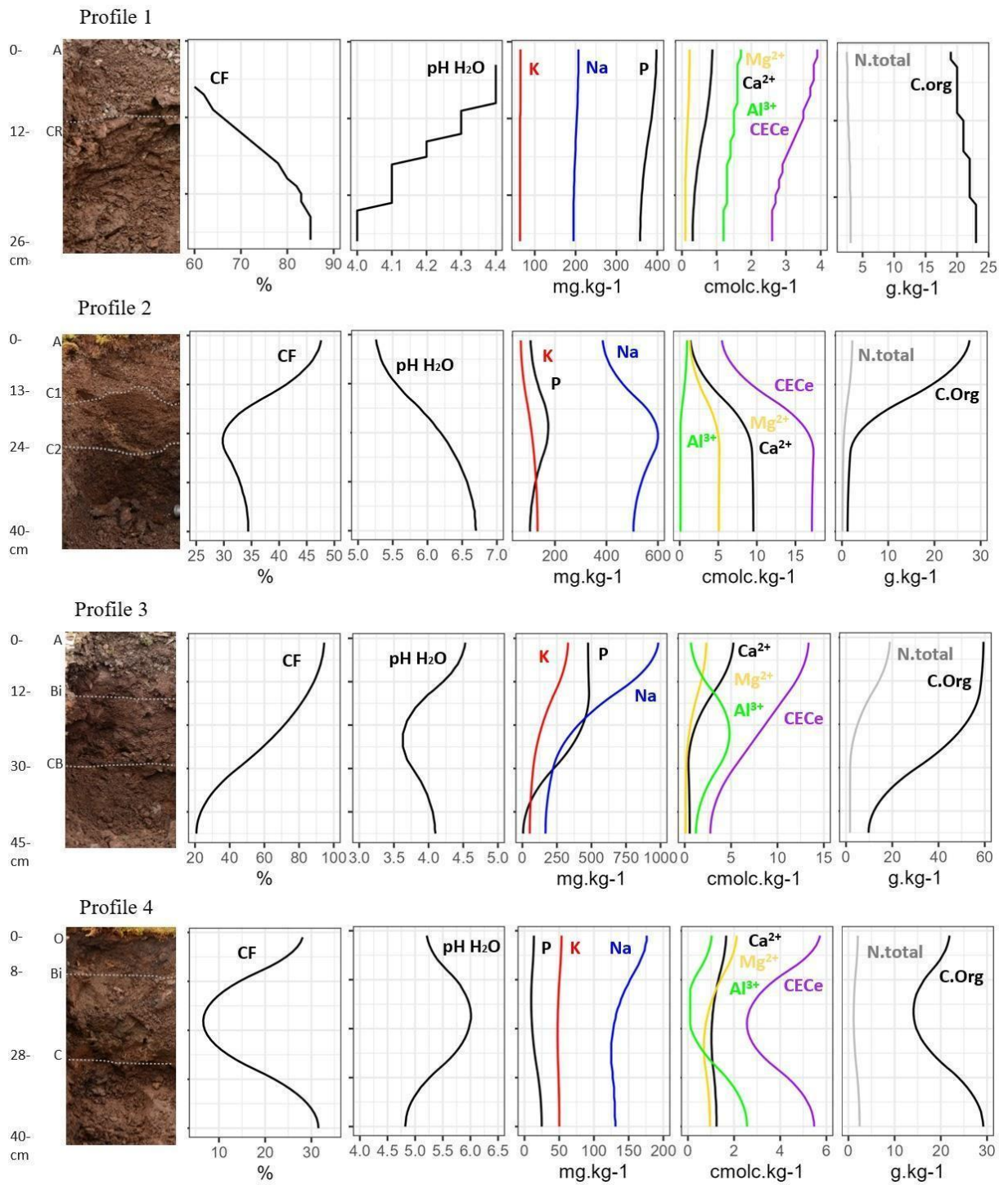
(Tabela II). No horizonte mais profundo do P2 ocorre o maior valor de pH entre as amostras (6.6), corroborando o teor de PSB desse horizonte, que é o mais alto (93%) (Tabela SIV - Material Suplementar).

A quantidade de partículas  $> 2$  mm tende a ser mais alta em superfície nos solos com influência atual de ninhos, e quando ocorre horizonte Bw há uma diminuição destes fragmentos de rocha. O pH é geralmente mais baixo em superfície devido a presença de guano e matéria orgânica. Teores mais elevados de P em subsuperfície (P2, P5 e P6) indicam a migração deste elemento para horizontes um pouco mais abaixo da superfície (Fig. 3).

Quanto aos cátions trocáveis, nos perfis sem influência atual de nidificação concentram-se as maiores médias de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabela II), que chega quase ao dobro em relação aos perfis de solo influenciados pela atividade atual das aves. A soma de bases (SB) apresenta médias ligeiramente maiores nesses solos. Os teores de  $\text{Na}^+$  são elevados em ambos os tipos de solos (Tabela II), chegando a médias de até 305 mg/kg, devido ao acúmulo de sal marinho (Michel et al. 2006), que muito influenciam os solos de zonas costeiras.  $\text{K}^+$  é maior nos perfis com influência ornitogênica atual, com valor médio de 149 mg/kg (Tabela II).

Os teores de P disponível variam de 11.2 mg/kg a 1628.8 mg/kg. De modo geral, a distribuição de P em profundidade no perfil é irregular (Fig. 3). O valor mais alto de P disponível foi encontrado no perfil 6 (Tabela SIII - Material Suplementar). Apesar disso, a média desse elemento é superior nos perfis influenciados atualmente por Petrel gigante (431.7 mg/kg) (Tabela II). Os elevados teores de P constitui um dos mais importantes sinais da presença de atividade biológica nesses solos (Simas et al. 2007, Haus et al. 2015).

Os perfis de solo com influência ornitogênica atual apresentaram maiores médias de elementos como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}+\text{Al}$ , e  $\text{Al}_{\text{sat}}$  (Tabela II). O teor de alumínio em solos ornitogênicos pode servir, segundo Schaefer et al. (2004), como um indicador do nível de desenvolvimento pedogenético. C-org e N-total são mais elevados nesses solos, indicando a contribuição da matéria orgânica proveniente das excretas das aves e da vegetação nas áreas onde são observadas a presença, principalmente, da alga *Prasiola crispa* (Fermani et al. 2007, Abakumov et al. 2015). Nos perfis sem influência atual das aves, a cobertura vegetal é densa, formando extensos “tapetes” de musgos, no entanto os teores de carbono orgânico são os mais baixos (média 22.1 g/kg).



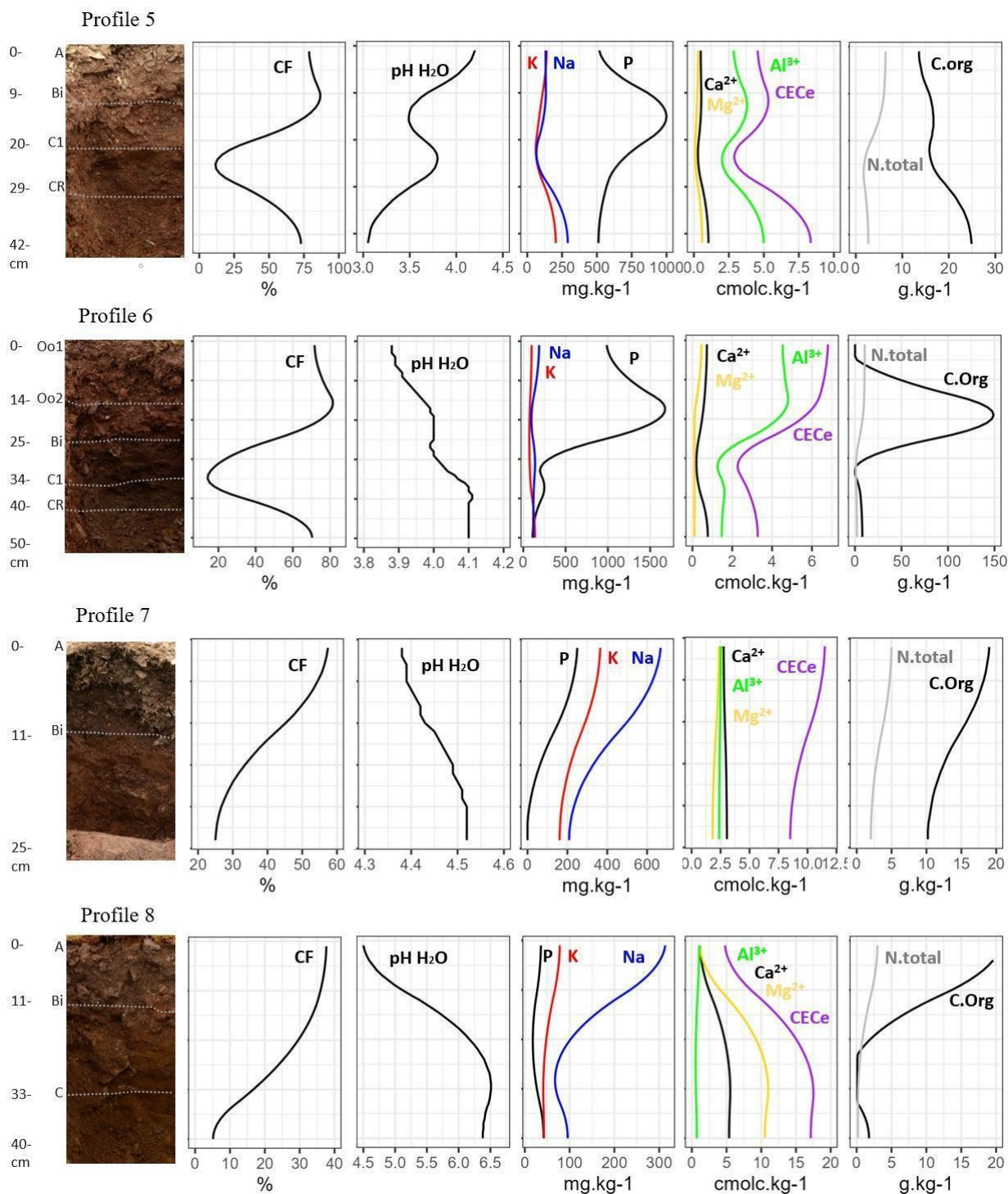


Fig. 3 - Distribuição de propriedades físicas e químicas do solo nos perfis de solo com influência ornitogênica atual (P1, P3, P5 e P7) e perfis de solo sem influência ornitogênica atual (P2, P4, P6 e P8). CF: fração grossa; CECe: capacidade de troca catiônica efetiva; N.total: nitrogênio total; C.org: carbono orgânico.

Os teores de PSB são os mais baixos nos perfis com influência atual de Petrel, caracterizando solos distróficos, como encontrado em solos ornitogênicos estudados por Schaefer et al. (2004). Por outro lado, perfis sem evidências de influência ornitogênica atual

apresentam, em parte, taxas de PSB acima de 50% (Tabela SIV), o que evidencia o caráter eutrófico desses solos.

Os maiores teores dos micronutrientes Cu, Fe e Zn (Tabela II) são encontrados nos perfis com influência ornitogênica atual. Cu e Zn em razão do aporte da atividade atual das aves (Abakumov et al. 2017). Valores maiores de ferro também foram encontrados por Michel et al. (2006) em solos ornitogênicos da Shetland do Sul. Mn apresenta teores mais altos nos solos sem influência atual de Petrel, com média de 7 mg/kg. A concentração de Mn em solos de regiões úmidas é favorecida pelo excesso de umidade que resulta no acúmulo adicional de Mn (Abakumov et al. 2017).

### 3.2 Estatística das variáveis físicas e químicas dos solos superficiais

Em relação à estatística multivariada, foi criado um dendograma de agrupamento hierárquico indicando a forma com a qual a camada superficial de 0 a 10 cm de solo se agrupa; e um gráfico de ACP indicando os atributos físicos e químicos mais significativos de cada grupo. A Estatística de Hopkins foi aplicada para analisar a tendência dos dados em formar grupos. Essa estatística varia entre 0 e 1, obtemos o valor de 0.72, indicando, portanto, que a base de dados tem tendência para formação de grupos (Banerjee & Davé 2004). O dendograma de agrupamento individualizou três grupos, um deles apenas com solos sem influência ornitogênica atual, um segundo grupo com a maior parte de solos influenciados atualmente pelas aves, e outro grupo com solos influenciados atualmente por atividade biológica e solos sem influência atual (Fig. 4).

No gráfico da PCA, os dois primeiros eixos foram selecionados por explicarem a maior parte da variância do conjunto de dados (Fig. 5). O eixo 1 explicou 45,8 % da variância total do conjunto de dados e é influenciado principalmente pelo pH H<sub>2</sub>O, H<sup>+</sup>Al, P e Al<sub>sat</sub>. O eixo 2 explicou 15,5 % da variância total do conjunto de dados e é influenciado principalmente pela argila, Al<sup>3+</sup>, C-org e K. O grupo 2 (solos sem influência ornitogênica atual) foi mais influenciado pelos teores de Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e pH H<sub>2</sub>O. De modo geral, esses solos apresentam valores de pH H<sub>2</sub>O superiores aos solos com influência atual de aves (Fig. 6). Valores semelhantes a esses foram encontrados em trabalhos sobre solos ornitogênicos em outras partes da AM (Michel et al. 2006, Sacramento et al. 2023, Rodrigues et al. 2024).

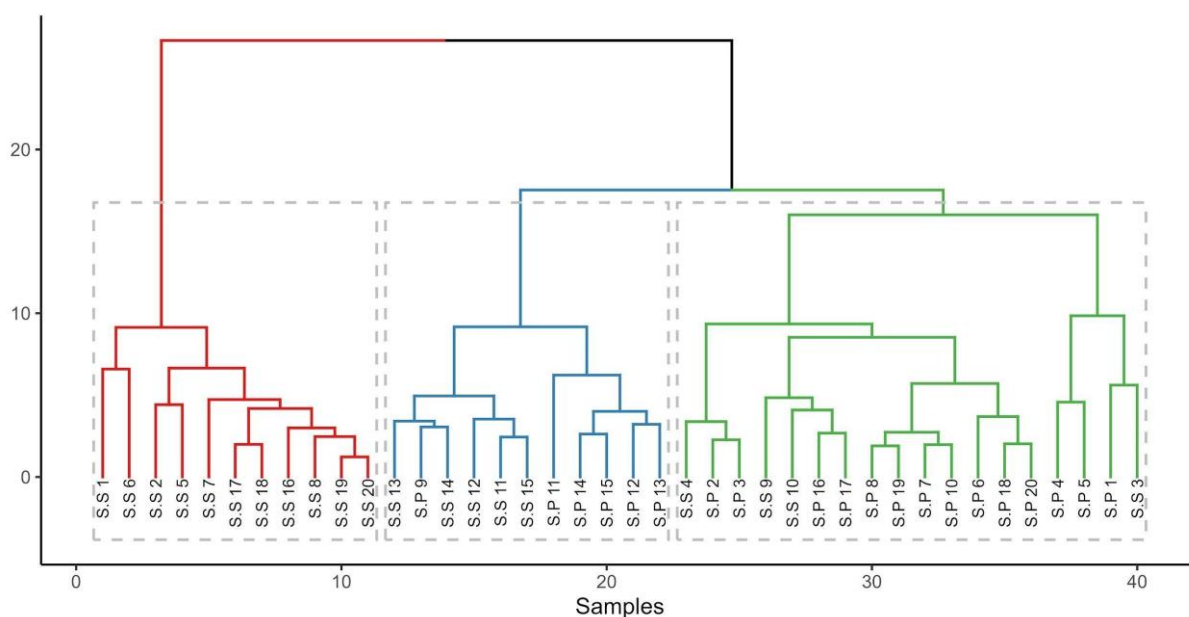


Fig. 4 - Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das amostras de solo superficial. Grupo em vermelho: solos sem influência ornitogênica atual; Grupo em verde: solos predominantemente com influência ornitogênica atual; Grupo em azul: solos com e sem influência ornitogênica atual.

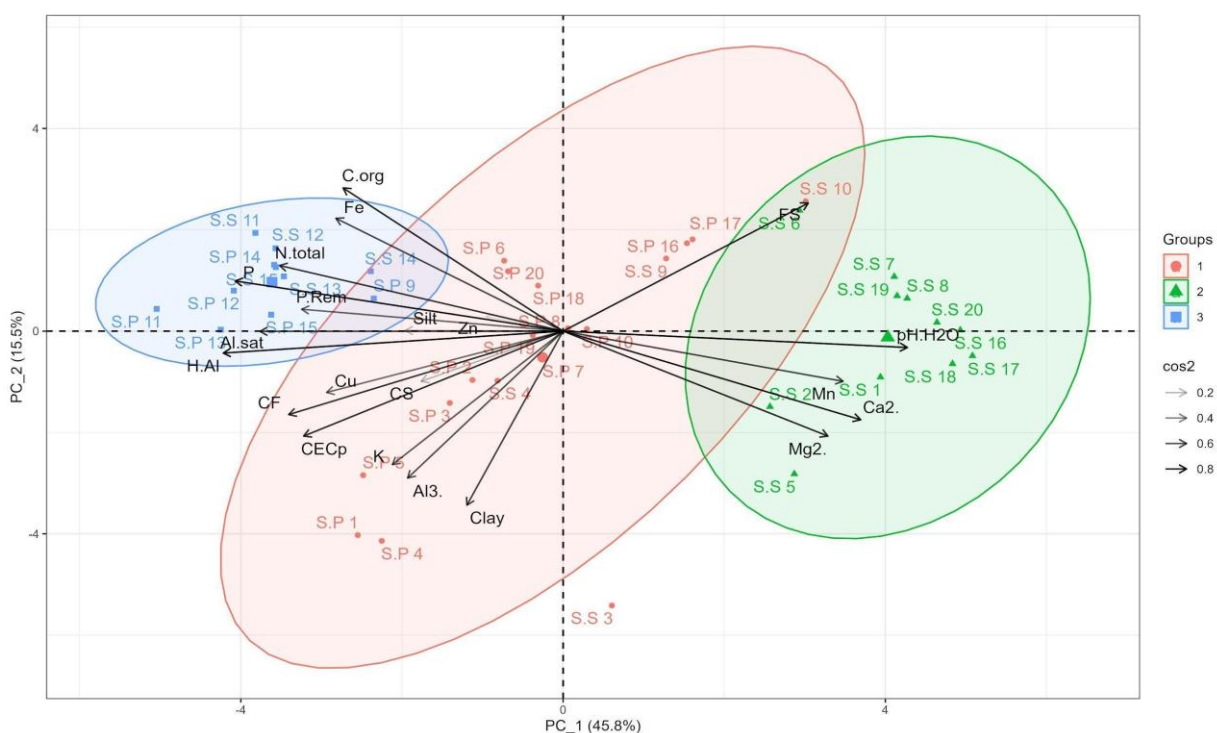


Fig. 5 - Gráfico da Análise de Componentes Principais das amostras superficiais de solo. Grupo vermelho: solos predominantemente com influência ornitogênica atual; Grupo verde: solos sem influência ornitogênica atual; Grupo azul: solos com e sem influência ornitogênica atual.

Por outro lado, os grupos 1 (solos com influência atual das aves) e 3 (solos com e sem influência ornitogênica atual) foram mais explicados por H+Al, N-total, C-org, P e fração grossa (CF). Os solos superficiais com influência ornitogênica atual apresentam conteúdo médio de fração grossa notavelmente superior aos solos sem evidências de influência atual de aves (Tabela SV - Material Suplementar e Fig. 6). As médias de P, N-total e C-org também são superiores nos solos com influência atual (476.8 mg/dm<sup>3</sup>, 4.7 g/kg e 33 g/kg, respectivamente) (Fig. 6 e Tabela SV).

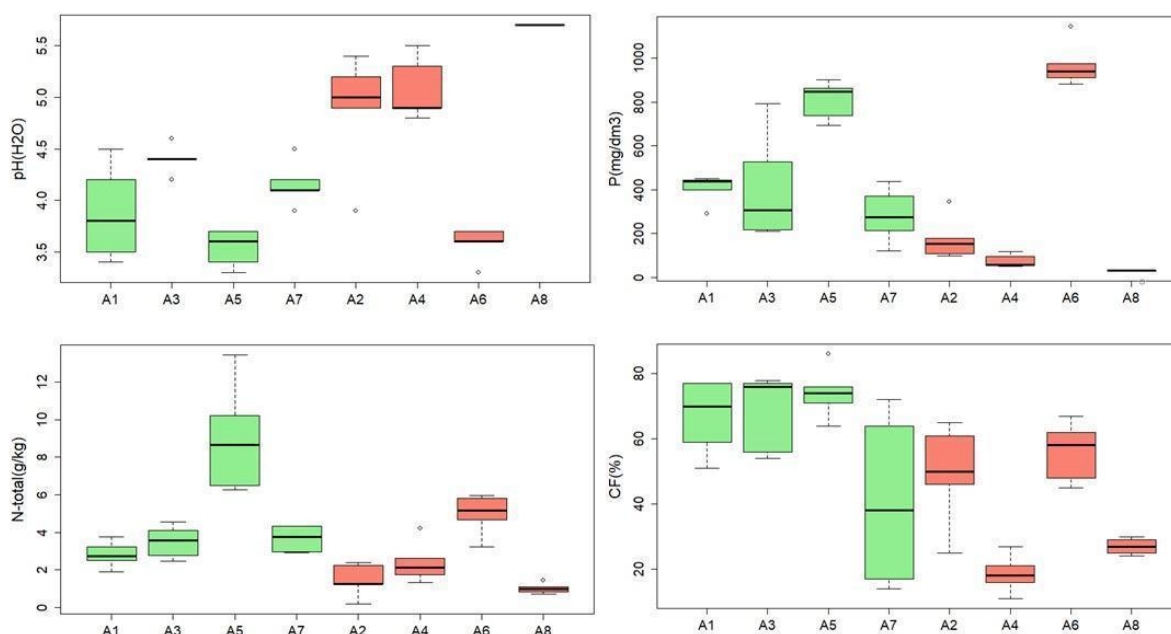


Fig. 6 - Diagramas de caixa (box-plots) dos conteúdos de pH, P, N-total e CF nos solos superficiais coletados em áreas com influência ornitogênica atual (verde) e sem influência ornitogênica atual (vermelho). pH: potencial hidrogeniônico em água; P: fósforo disponível; N-total: nitrogênio total; CF: fração grossa.

Dois grupos principais de solos foram identificados através da matriz de correlação de Spearman utilizando as variáveis químicas (Fig. 7). Um grupo está relacionado aos solos que apresentam evidências de ornitogênese atual, representado pelo conjunto de variáveis positivamente correlacionadas situado na parte inferior esquerda do mapa de calor, evidenciado principalmente pela correlação positiva entre C-org, N-total, Fe, P e H+Al. Correlações negativas entre C-org, Fe, N-total, P e H+Al em relação a Mg, Ca, Mn e pH evidenciam a relevância da influência ornitogênica nesses solos. O segundo grande conjunto de variáveis correlacionadas positivamente, situado na parte superior direita do mapa de calor, representado por correlações positivas fortes ( $> 0.5$ ) entre pH H<sub>2</sub>O, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mn e PSB corresponde aos solos sem influência ornitogênica atual.

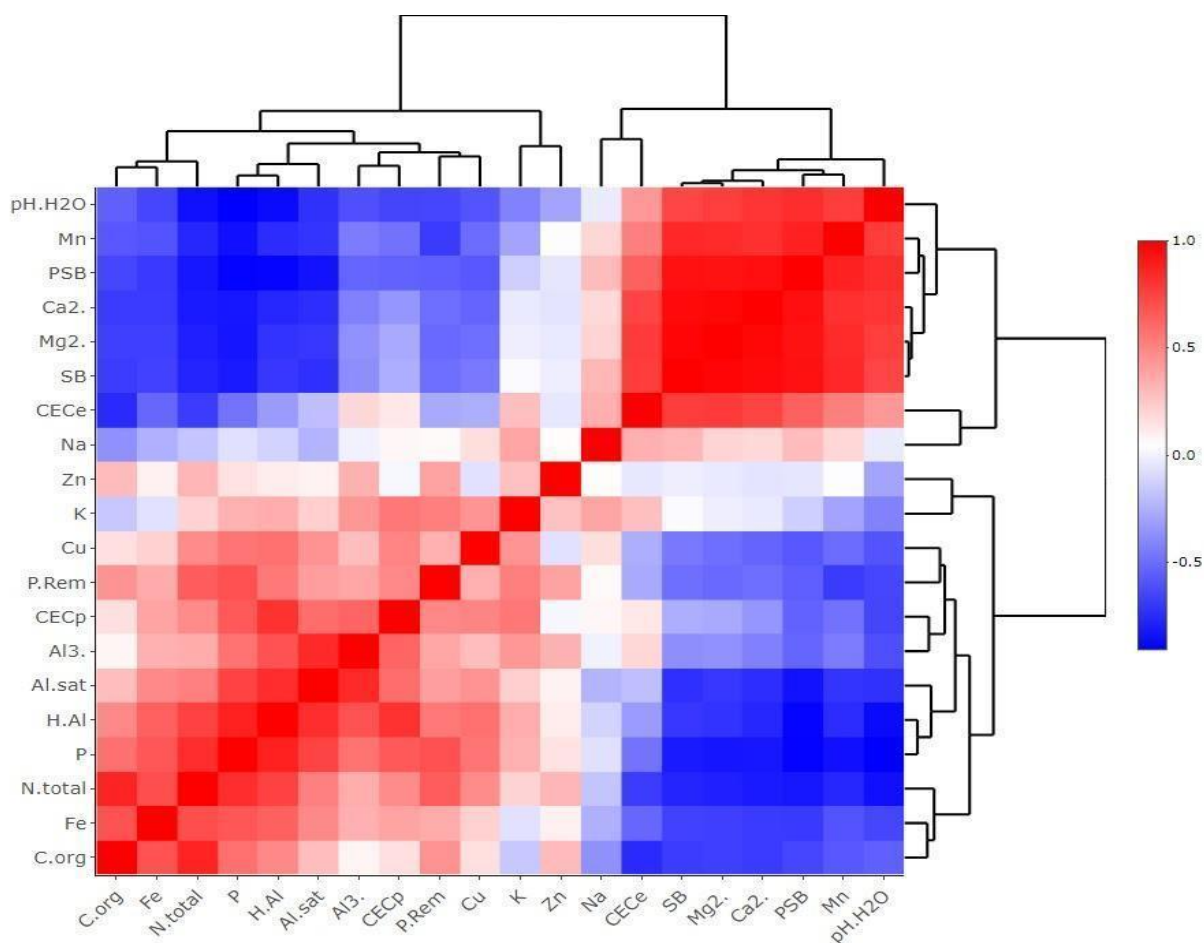


Fig. 7 - Mapa de calor do coeficiente de correlação de Spearman dos solos superficiais de Fort William Point. Células em vermelho: correlação positiva; Células em azul: correlação negativa.

Os resultados do teste U de Mann Whitney (Tabela III) realizado para examinar as diferenças nas concentrações dos elementos do solo entre os solos com influência ornitogênica e os solos não influenciados atualmente pelas aves mostram que, dentre as propriedades físicas do solo, apenas o conteúdo da fração grossa (CF) é estatisticamente significativo entre os grupos de solos, apresentado uma alta significância ( $p \leq 0.001$ ). Quanto às propriedades químicas, os teores de Na,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB, CECe, CECp, Nasat, Cu e Fe não são significativamente diferentes entre os dois grupos de solos ( $p > 0.05$ ). Entretanto, K, P-rem, N-total e Zn apresentam grandes diferenças significativas ( $p \leq 0.001$ ). Os teores de pH H<sub>2</sub>O, P,  $\text{Al}^{3+}$ , Mn ( $p \leq 0.01$ ) e H+Al, PSB, Alsat, OM e C-org ( $p \leq 0.05$ ), também apresentaram diferenças estatísticas, embora com menor significância.

Atributos	n	Significância estatística	Atributos	n	Significância estatística
CS (g/kg)	20	ns	SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20	ns
FS (g/kg)	20	ns	CECe (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20	ns
Silte (g/kg)	20	ns	CECp (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20	ns
Argila (g/kg)	20	ns	PSB (%)	20	*
CF (%)	20	***	Al <sub>sat</sub> (%)	20	*
pH H <sub>2</sub> O	20	**	Na <sub>sat</sub> (%)	20	ns
P (mg/dm <sup>3</sup> )	20	**	MO (g/kg)	20	*
K (mg/dm <sup>3</sup> )	20	***	C-org (g/kg)	20	*
Na (mg/dm <sup>3</sup> )	20	ns	P-rem (mg/L)	20	***
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20	ns	N-total (g/kg)	20	***
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20	ns	Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	20	ns
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20	**	Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	20	**
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20	*	Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	20	ns
			Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	20	***

Tabela III - Teste U de Mann-Whitney dos atributos físicos e químicos dos solos superficiais de Fort William Point. CS: areia grossa; FS: areia fina; CF: fração grossa; H+Al: Acidez potencial; SB: Soma de Bases; CECe: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CECp: Capacidade de Troca Catiônica Potencial; PSB: Percentagem da soma de bases; Al<sub>sat</sub>: Saturação por alumínio; Na<sub>sat</sub>: Saturação por sódio; MO: Matéria Orgânica; C-Org: Carbono Orgânico; P-rem: Fósforo remanescente; N-total: Nitrogênio total. ns: não significativo (p-valor > 0,05); \* p-valor ≤ 0,05; \*\* p-valor ≤ 0,01; \*\*\* p-valor ≤ 0,001.

### 3.3 Mineralogia e Teores totais

A composição mineralógica das frações areia e silte é dominada por plagioclásio (albita) e piroxênio (augita). Zeólitas (laumontita) também foram encontradas nessas frações. Foram identificados picos de aragonita na fração areia de alguns solos (Fig. 8). Vermiculita foi identificada na fração silte da maior parte dos solos (Fig. 9). Na fração areia do horizonte P8\_Bi encontra-se o maior conteúdo de CaO (10.63 dag/kg) entre as amostras (Tabela IV). Na fração silte desse mesmo horizonte, P8\_Bi, foi encontrado o valor mais alto de K<sub>2</sub>O (1.53 dag/kg) (Tabela IV).

Na fração argila também foram identificados plagioclásio e piroxênio, bem como filossilicatos como a vermiculita. A mineralogia da fração argila é composta também por clorita e interestratificados clorita-vermiculita (Fig. 10). Altos teores de  $P_2O_5$  foram encontrados nessa fração, sobretudo em P1\_A (10.92 dag/kg), P3\_Bi (9.37 dag/kg) e P6\_Bi (9.68 dag/kg) (Tabela IV). Com exceção do horizonte P6\_Bi, os demais solos sem influência ornitogênica (P2\_C1, P4\_Bi e P8\_Bi) apresentaram os teores mais baixos de  $P_2O_5$  (5.10 dag/kg, 2.03 dag/kg e 1.78 dag/kg, respectivamente).

Amostra	Fração	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	CuO	NiO
-----% (dag.kg <sup>-1</sup> )-----															
P1_A*	Areia	44.99	21.00	9.85	5.23	9.15	5.06	1.04	1.28	0.92	0.18	0.03	0.03	0.01	0.01
P2_C1	Areia	47.23	23.25	9.54	5.04	5.78	4.46	0.00	1.34	0.89	0.25	0.01	0.01	0.02	0.01
P3_Bi*	Areia	49.60	19.07	9.58	4.95	7.68	4.98	0.87	1.26	1.18	0.18	0.04	0.04	0.01	0.01
P4_Bi	Areia	50.23	20.32	8.75	5.14	7.77	5.08	0.00	1.22	1.07	0.21	0.04	0.04	0.01	0.02
P5_Bi*	Areia	48.37	23.50	9.71	4.85	5.24	4.24	0.00	1.24	0.94	0.23	0.01	0.01	0.02	0.01
P6_Bi	Areia	50.08	19.58	8.84	5.19	7.91	4.64	0.61	1.33	1.12	0.19	0.04	0.03	0.01	0.01
P7_Bi*	Areia	50.29	19.12	9.26	4.68	8.34	5.71	0.00	1.24	1.04	0.19	0.05	0.04	0.01	0.02
P8_Bi	Areia	49.91	19.61	7.68	4.23	10.63	5.61	0.00	1.26	0.74	0.16	0.04	0.04	0.01	0.01
P1_A*	Silte	43.63	23.08	10.17	3.85	7.37	3.78	2.13	1.25	1.05	0.18	0.03	0.02	0.02	0.00
P2_C1	Silte	44.77	21.34	14.39	3.12	7.06	4.19	1.29	1.21	1.16	0.29	0.02	0.02	0.02	0.01
P3_Bi*	Silte	46.07	19.36	9.97	4.31	6.18	4.38	2.42	1.32	1.11	0.13	0.02	0.02	0.01	0.01
P4_Bi	Silte	50.20	20.83	9.43	5.00	6.70	4.05	0.24	1.26	1.22	0.18	0.01	0.01	0.01	0.01
P5_Bi*	Silte	44.88	22.07	12.58	3.04	7.01	4.19	1.62	1.27	1.18	0.28	0.02	0.02	0.02	0.01
P6_Bi	Silte	50.75	19.92	9.18	5.42	6.89	3.78	0.94	1.37	1.24	0.18	0.01	0.01	0.01	0.00
P7_Bi*	Silte	47.86	19.30	9.32	4.58	8.61	5.28	0.36	1.40	1.08	0.18	0.02	0.02	0.01	0.01
P8_Bi	Silte	35.65	21.45	10.42	4.46	7.91	8.42	0.00	1.53	0.76	0.15	0.02	0.02	0.01	0.01
P1_A*	Argila	20.23	24.38	7.11	9.37	1.97	2.25	10.92	1.14	0.56	0.10	0.02	0.01	0.03	0.01
P2_C1	Argila	29.38	22.58	13.56	9.29	3.26	6.81	5.10	1.23	0.59	0.73	0.02	0.02	0.05	0.02
P3_Bi*	Argila	15.18	11.70	11.13	12.53	1.20	1.74	9.37	1.08	1.18	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01
P4_Bi	Argila	23.71	22.83	11.56	13.66	1.67	2.42	2.03	0.91	1.33	0.29	0.02	0.02	0.02	0.01
P5_Bi*	Argila	33.38	23.59	14.55	5.42	3.04	7.47	3.92	1.11	0.65	0.57	0.02	0.01	0.03	0.01
P6_Bi	Argila	18.04	17.68	10.29	13.90	1.40	1.95	9.68	1.36	1.05	0.17	0.01	0.01	0.03	0.00
P7_Bi*	Argila	23.64	15.41	10.39	10.52	2.36	4.07	2.82	1.22	0.99	0.15	0.01	0.01	0.02	0.01
P8_Bi	Argila	34.29	16.71	13.67	7.49	2.07	10.46	1.78	1.10	0.75	0.24	0.02	0.02	0.03	0.01

Tabela IV - Teor de óxidos nas frações areia, silte e argila de amostras de solo selecionadas.

\*amostras com influência ornitogênica.

Os solos sem influência ornitogênica geralmente apresentam maiores concentrações de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO, com valores máximos para a fração argila de 34.29 dag/kg (SiO<sub>2</sub>), 22.83 dag/kg (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 14.67 dag/kg (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e 10.46 dag/kg (MgO) (Tabela IV). Esses teores mais elevados apontam para a dominância de minerais silicatados na composição do solo (Sacramento et al. 2023). Por outro lado, os solos que apresentam influência ornitogênica

exibem, sobretudo, conteúdos maiores de  $P_2O_5$ , chegando a quase 11 dag/kg, destacando o considerável aporte de P promovido pela deposição de guano dos petréis gigantes do sul. Esse aumento no teor de  $P_2O_5$  é uma consequência direta da acumulação de excrementos.

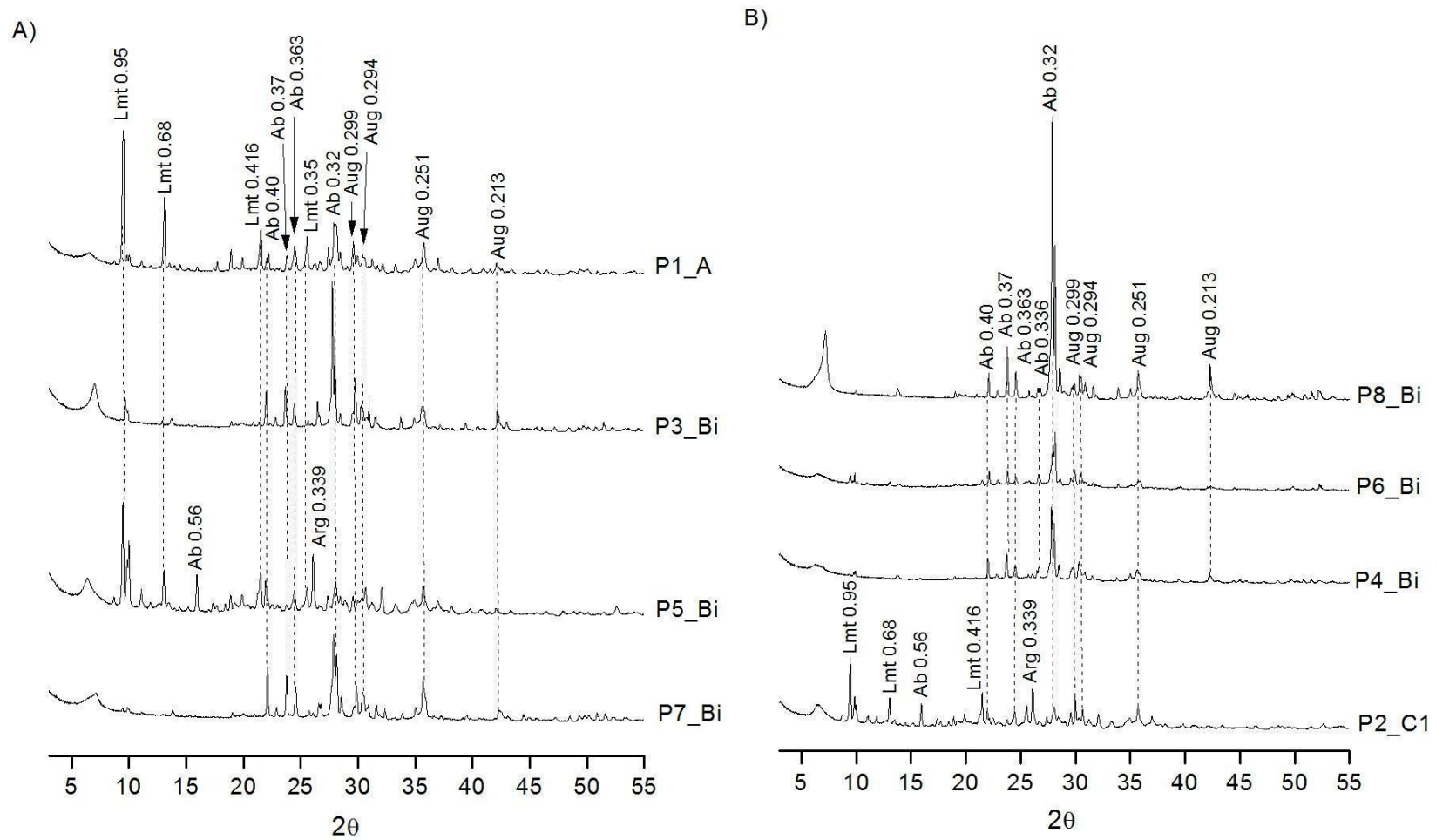
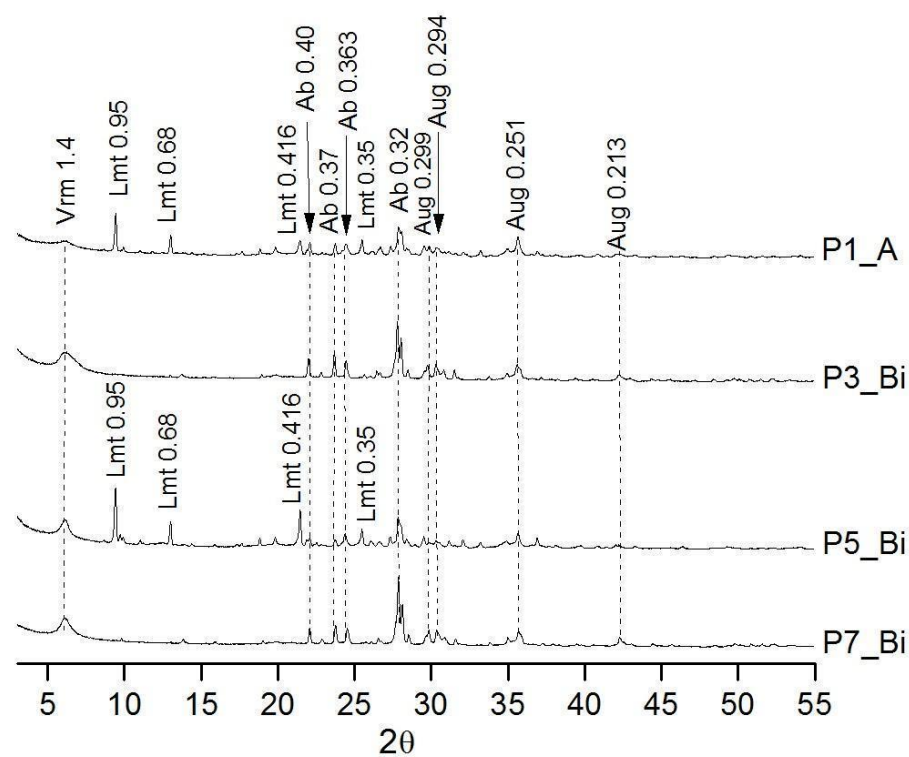


Fig. 8 - Padrão de difração de raios-x da fração areia. A) perfis de solo com influência ornitogênica atual; B) perfis de solo sem influência ornitogênica atual; Lmt: laumontita; Ab: albita; Aug: augita; Arg: aragonita; d em nm.

A)



B)

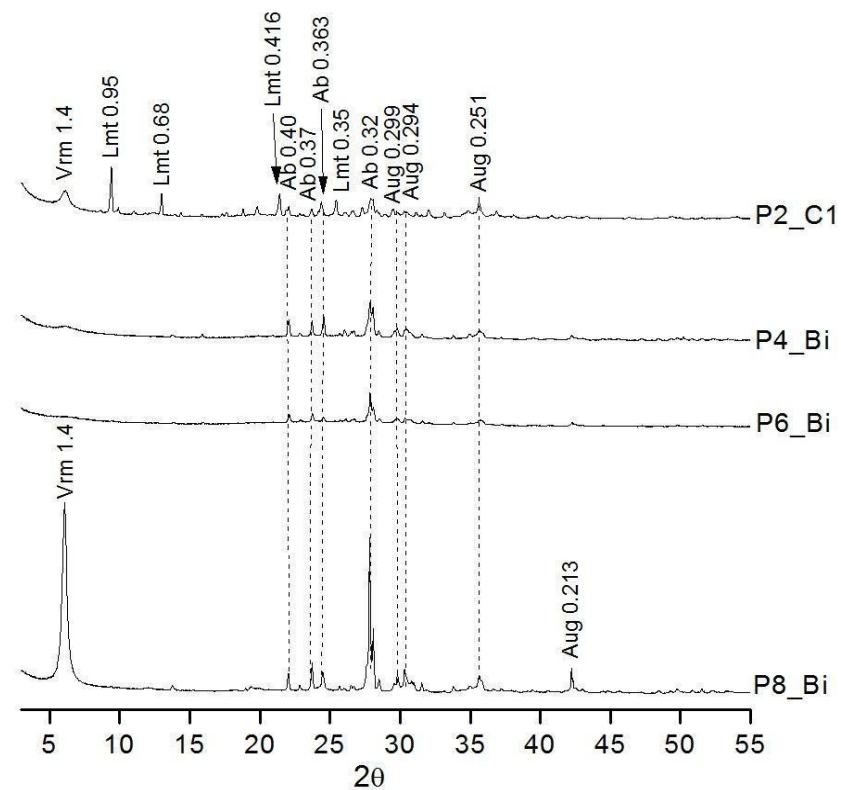


Fig. 9 - Padrão de difração de raios-x da fração silte. A) perfis de solo com influência ornitogênica atual; B) perfis de solo sem influência ornitogênica atual; Vrm: vermiculita; Lmt: laumontita; Ab: albita; Aug: augita; d em nm.

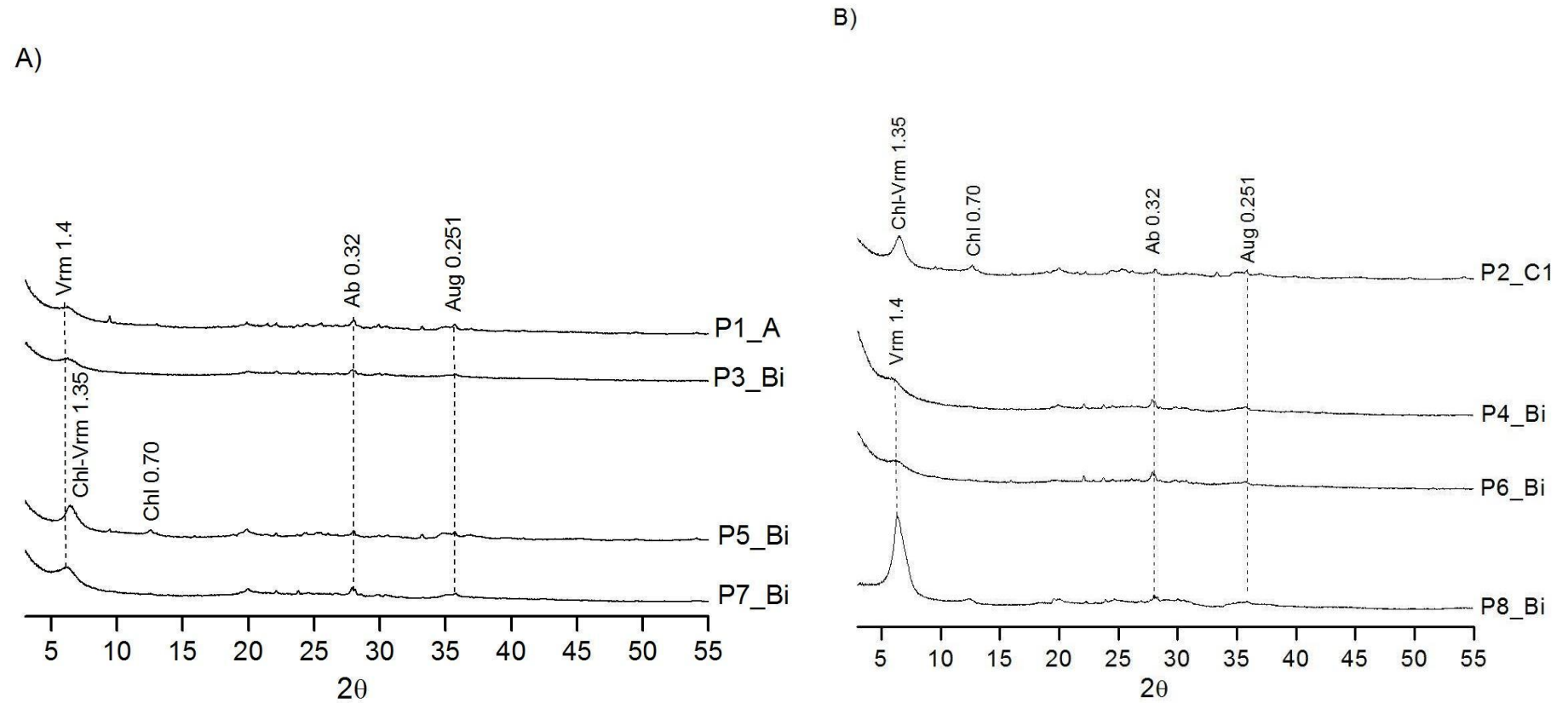


Fig. 10 - Padrão de difração de raios-x da fração argila. A) perfis de solo com influência ornitogênica atual; B) perfis de solo sem influência ornitogênica atual; Vrm: vermiculita; Chl: clorita; Lmt: laumontita; Ab: albita; Aug: augita; d em nm.

## 4 DISCUSSÃO

### Contribuição dos ninhos de Petrel nas propriedades do solo

Durante o verão no hemisfério sul, aves e outros animais marinhos utilizam as zonas costeiras das ilhas antárticas como sítios de reprodução. As condições climáticas menos severas no arquipélago Shetland do Sul proporcionam ambientes para a colonização de aves, sobretudo de pinguins e aves voadoras. Em FWP predominam colônias de Petrel Gigante, particularmente nos afloramentos rochosos próximos à costa litorânea. Se alimentam principalmente de carniças de pinguins, ovos, peixes e de pequenos crustáceos, como o krill (*Euphausia superba*) (Hunter 1983, 1985). Em virtude da dieta dessas aves, os excrementos são ricos em P, C e N (Hutchinson 1950, Tatur & Myrcha 1989), e atuam como verdadeiros “fertilizantes” para o solo dessas áreas.

A presença de sinais de nidificação como penas, fragmentos de ossos e cascas de ovos, além de altos teores de P, constituem evidências de ornitogênese (Simas et al. 2007; 2008, Dolgikh et al. 2015). Todas essas características são observadas nos solos sob influência atual da atividade de petréis gigantes em FWP. Os solos sem a presença atual de ninhos apresentam, no geral, conteúdos menores de P. A exceção é o perfil 6, que embora não apresente evidências de nidificação atual, os elevados teores de P indicam que esse solo já foi colonizado por aves.

A dinâmica das áreas costeiras das Shetlands do Sul imprime um regime de soerguimento devido à redução das massas de gelo destas ilhas. Tal processo faz com que terraços marinhos sejam formados e áreas emersas e livres de gelo sejam ampliadas. Essa dinâmica favorece o abandono e surgimento de novos ninhais à medida que os antigos ninhais vão se distanciando da costa (Tatur et al. 1997).

Os solos podem apresentar diferentes graus de influência ornitogênica, que é avaliado através de características químicas, físicas e mineralógicas (Simas et al. 2007). Todos os solos de FWP apresentam algum grau de ornitogênese, seja pela presença de ninho ou características como camada superficial pedregosa, restos de cascas de ovos, penas e ossos, e teor de P (Mehlich-1)  $> 500$  mg/kg, valores observados no perfil P5. Entretanto, os solos são caracterizados, de modo geral, por um baixo grau de influência ornitogênica segundo a WRB (IUSS 2022), evidenciado principalmente pelos teores de P  $< 750$  mg/kg e pela ausência de fosfatos (Simas et al. 2007).

Os oito solos estudados são, de maneira geral, pouco desenvolvidos, com profundidades rasas, mesmo os solos com influência ornitogênica, que normalmente são mais profundos (Michel et al. 2006, Rodrigues et al. 2021). Isso pode ser explicado pelo baixo grau de

ornitogênese comparado a solos influenciados por pinguins. A posição que esses perfis ocupam na paisagem – geralmente as áreas mais elevadas e com afloramentos rochosos – favorece a presença de solos mais rasos e, portanto, menor pedogênese.

A condição climática de FWP possibilita o desenvolvimento de horizonte Bw. Todos os solos apresentaram temperatura superior a 0 °C e elevada umidade. A presença de minerais de fácil intemperismo na fração argila devido a constante crioclastia favorece o desenvolvimento de estrutura fraca, mas com grau suficiente para a ocorrência de Cambisols.

Os minerais de piroxênio e plagioclásio encontrados nos solos indicam origem ligada ao material parental, composto por basaltos andesíticos (Santana & Dumont 2002). Maiores concentrações de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO encontradas, principalmente, nos solos sem influência ornitogênica, corroboram com a presença desses minerais e evidenciam a relação com a composição litológica de FWP.

A presença de minerais primários observada na fração argila, comum nos solos da Antártica, indica a predominância do intemperismo físico nesses solos (Simas et al. 2008, Mendonça et al. 2013) e, portanto, um grau limitado de alteração química.

Zeólita, encontrada em alguns solos, apresenta origem autigênica (Navas et al. 2008) e está relacionada à fragmentação ocorrida nas fendas dos basaltos, nas quais esse mineral é tipicamente formado (Goyes & Villacrés 1993).

A presença de clorita na argila de alguns solos é explicada principalmente pela alteração hidrotermal de minerais primários (Schaefer et al. 2008). Em P5 e P6 foi observado uma lama esverdeada em subsuperfície, apontando a existência desse mineral (Jeong & Yoon 2001).

A origem de vermiculita nos solos aponta para o intemperismo de feldspatos primários (Bockheim 1980, Campbell & Claridge 1987). Embora alguns autores considerem que na Antártica a ocorrência de vermiculita possa estar ligada à origem diagenética (Jeong & Yoon 2001, Lee et al. 2004).

A identificação de carbonatos, como a aragonita, nos padrões de difração de raios x da areia dos solos, pode ser atribuída aos remanescentes de conchas associados à ornitogênese de aves marinhas, portanto, apresenta origem biogênica (Tatur & Keck 1990). A presença de carbonatos na mineralogia da fração areia desses solos corrobora com o conteúdo de CaO encontrado, sobretudo, nessa fração.

Os níveis mais altos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos solos com influência ornitogênica são equivalentes aos encontrados em solos ornitogênicos por Sacramento et al. (2023) em Harmony Point, AM. Apesar disso, não foram identificados minerais fosfáticos nos padrões de difração de raios x.

Isso sugere que, embora o fósforo esteja presente em quantidades significativas, ele pode estar em formas amorfas, em vez de em estruturas minerais cristalinas típicas.

A assembleia mineral é semelhante entre os solos com influência ornitogênica atual e sem influência biológica atual, porém a intensidade e a quantidade de picos observados nos padrões de difração de raios X podem sugerir diferenças quantitativas. Embora os solos possam ter uma composição mineralógica fundamentalmente similar, a presença e a quantidade relativa de certos minerais podem variar entre os solos.

O guano das aves é em um primeiro momento alcalino, e a sua decomposição relacionada à degradação microbiana gera progressivamente ambientes ácidos (Tatur & Barczuk 1985), como os observados através dos baixos valores de pH presentes em todos os solos com influência ornitogênica. Esses pH revelam o alto grau de nitrificação; processo cujo amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) presente no guano é oxidado em nitrito e, na sequência, em nitrato. Esses compostos nitrogenados conferem ao solo uma forte acidificação (Myrcha et al. 1985). À medida que não se observa mais a entrada de guano, o ambiente tende a se tornar menos ácido, pois a alteração de silicatos em conjunto com altos teores de carbono orgânico são capazes de neutralizar parte dessa acidez (Michel et al. 2006).

Os valores de pH são mais elevados nos solos sem a influência atual de ninhos; teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  também são mais elevados nesses solos, mas os de  $\text{K}^+$  são menores. O enriquecimento de  $\text{K}^+$  nos solos com influência ornitogênica é associado à deposição de uratos, sais do ácido úrico excretados na urina das aves (Tatur & Myrcha 1993).

A acidificação característica dos solos sob influência ornitogênica faz com que prótons desloquem cátions do complexo de troca, saturando com  $\text{H}^+$ . A acidez também libera elementos, principalmente o alumínio dos silicatos presentes na fração silte e argila, conferindo altos teores de  $\text{Al}^{3+}$  nos solos com influência atual de petróis. Ao longo do tempo essa acidez vai sendo consumida no intemperismo e na formação de argilominerais, normalizando os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

O conteúdo alto de  $\text{Na}^+$  presente nos solos indica a influência da pulverização da água do mar, comum em ambientes costeiros (Pride et al. 1990, González-Guzmán et al. 2017). O caráter distrófico dos solos sob efeito da ornitogênese é relacionado à elevada acidez que é predominante no complexo de troca do solo.

Teores mais elevados de C-org e N nos solos ornitogênicos são frequentemente observados em solos com forte influência de pinguins, devido à significativa contribuição de guano nesses ambientes (Rodrigues et al. 2024). Entretanto, esses valores também são influenciados pela maior ou menor densidade de cobertura vegetal (Allen et al. 1967, Zwolicki

et al. 2015). Entre os solos estudados, os não-ornitogênicos apresentam um desenvolvimento excepcional da vegetação, na forma de densos carpetes de musgos. Apesar disso, os teores de C-org e N são os mais baixos. Os valores elevados encontrados nos solos influenciados pela ornitogênese em FWP indicam, portanto, a notável contribuição dos petréis gigantes para o aumento da matéria orgânica e nitrogênio nesses solos. A maior parte dos perfis de solo apresentam o qualificador humic (IUSS 2022) devido ao conteúdo considerável de C-org.

A influência dos petréis gigantes em FWP é fundamental para o enriquecimento de nutrientes no solo, como P e N, mesmo não sendo comparados aos solos de pinguineiras, com teores muito superiores de P e N (Ugolini 1972, Schaefer et al. 2017, Rodrigues et al. 2019, Rodrigues et al. 2021). A entrada de guano nos sítios de reprodução de pinguins é muito maior. Apesar do impacto de pinguins nos solos ser mais pronunciado, os petréis gigantes também exercem uma influência fundamental, embora em menor proporção, nas propriedades do solo. Os solos de FWP apresentam evidências claras dessa influência biológica.

## 5 CONCLUSÕES

1. A atividade de petréis contribuiu com o incremento de pedriscos (cascalho) nos horizontes superficiais dos solos.
2. A nidificação de petréis gigantes influencia mais nos teores de N e C-org do solo, especialmente em subsuperfície, do que a vegetação, haja vista que as áreas recobertas por densa camada de vegetação (carpete de musgo) possuem teores menores do que solos sem cobertura vegetal, mas com presença de ninhos.
3. Essas aves alteram as características químicas do solo, levando à acidificação e a facilitação da lixiviação de bases. O acúmulo de P no solo é muito favorecido nas áreas onde há atividade de petréis, apesar de ser em menor magnitude comparativamente àquelas de pinguins.
4. Embora haja um aumento significativo nos teores de P do solo, não foi reconhecido processo de fosfatização, evidenciado pela ausência de fosfatos na assembleia mineral desses solos. A ausência de minerais fosfáticos indica um grau de ornitogênese relativamente incipiente.
5. Devido à densidade das populações de petrel gigante, muito inferior às de pinguins, a sua influência nas áreas de nidificação foi capaz de promover solos com baixo grau de ornitogênese, não sendo, portanto, qualificados como ornithic segundo os critérios de classificação da WRB. Isso revela a importância da densidade de ocupação dessas aves e do tempo de ocupação para a formação de solos ornitogênicos.

## REFERÊNCIAS

- ABAKUMOV EV, PARNIKOZA IY, VLASOV DY & LUPACHEV AV. 2015. Biogenic–Abiogenic Interaction in Antarctic Ornithogenic Soils. *Lect Notes Earth Sci* 237-248. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24987-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24987-2_19)
- ABAKUMOV EV, LUPACHEV AV & ANDREEV M. 2017. Trace element content in soils of the King George and Elephant Islands, Maritime Antarctica. *Chem Ecol* 33(9): 856-868. <https://doi.org/10.1080/02757540.2017.1384821>
- ACAP - Agreement on the Conservation of Albatrosses and Petrels. 2010. ACAP Species assessment: Southern Giant Petrel *Macronectes giganteus*. Downloaded from <http://www.acap.aq>
- ALLEN SE, GRIMSHAW HM & HOLDGATE MW. 1967. Factors affecting the availability of plant nutrients on an Antarctic island. *J Ecol* 55:381-396. <https://doi.org/10.2307/2257883>
- ARAYA R & HERVÉ F. 1966. Estudio geomorfológico y geológico en las Islas Shetland del Sur, Antártica. *Public Inst Antártico Chileno* 8:76.
- ATCM XXXV. 2012. Final Report of the Thirty-fifth Antarctic Treaty Consultative Meeting. Downloaded from [https://documents.ats.aq/atcm35/fr/atcm35\\_fr001\\_e.pdf](https://documents.ats.aq/atcm35/fr/atcm35_fr001_e.pdf)
- BALKS MR, LÓPEZ-MARTÍNEZ J, GORYACHKIN SV, MERGELOV NS, SCHAEFER CEGR, SIMAS FNB, ALMOND PC, CLARIDGE GGC, MCLEOD M & SCARROW J. 2013. Windows on Antarctic soil landscape relationships: Comparison across selected regions of Antarctica. *Geol Soc Spec Publ* 381: 397-410. <https://doi.org/10.1144/SP381.9>
- BANERJEE A & DAVÉ RN. 2004. Validating clusters using the Hopkins statistic. In: *IEEE International Conference on Fuzzy Systems - Proceedings, Budapest*, 1:149-153. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2004.1375706>
- BEYER L, BOCKHEIM JG, CAMPBELL IB & CLARIDGE GCC. 1999. Genesis, properties, and sensitivity of Antarctic Gelisols. *Antarct Sci* 11(4): 387-398. <https://doi.org/10.1017/S0954102099000498>
- BEYER L & BÓLTER M. 2002. *Geocology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 420 p. [doi:10.1007/978-3-642-56318-8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56318-8)
- BOCKHEIM JG. 1980. Properties and classification of some desert soils in coarse-textured glacial drift in the Arctic and Antarctic. *Geoderma* 24: 45-69. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(80\)90034-8](https://doi.org/10.1016/0016-7061(80)90034-8)
- BOCKHEIM JG. 2015a. *The Soils of Antarctica*. World Soils Book Series. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1_17)
- BOCKHEIM JG. 2015b. *Cryopedology*. Progress in Soil Science. Springer. doi:[10.1007/978-3-319-08485-5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08485-5)

- BREMNER JM & MULVANEY CS. 1982. Nitrogen - Total. In: PAGE AL ET AL. (Eds), Methods of soil analysis: part 2: chemical and microbiological properties, 2nd ed., Madison: American Society of Agronomy, p. 595-624. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>
- BRINDLEY GW & BROWN G. 1980. Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification (Monograph 5). London: Min Soc, 495 p. <https://doi.org/10.1180/mono-5>
- CAMPBELL IB & CLARIDGE GGC. 1966. A sequence of soils from a penguin rookery, Inexpressible Island, Antarctica. New Zealand Journal of Science 9: 361-372.
- CAMPBELL IB & CLARIDGE GGC. 1969. A classification of frigid soils - the zonal soils of the Antarctic continent. Soil Sci 107: 75-85. <https://doi.org/10.1097/00010694-196902000-00001>
- CAMPBELL IB & CLARIDGE GGC. 1975. Morphology and age relationships of Antarctic soils. In: SUGGATE RP & CRESSWELL MM (Eds.). Quaternary Studies. Royal Soc. of N. Z. Bull 13: 83-88.
- CAMPBELL IB & CLARIDGE GGC. 1977. The salts in Antarctic soils, their distribution and relationship to soil processes. Soil Sci 123(6): 377-388. <https://doi.org/10.1097/00010694-197706000-00006>
- CAMPBELL IB & CLARIDGE GGC. 1987. Antarctica: Soils, weathering processes and environment, Amsterdam: Elsevier, 368 p. <https://doi.org/10.1002/esp.3290140811>
- CARBONERAS C. 1992. Order Procellariiformes. Handbook of the birds of the world 1: 198-278.
- CHEBYKINA E, ALEKSEEV I & ABAKUMOV E. 2021. Laboratory assessment of soil respiration rates under the impact of ornithogenic factor in Antarctic region. Eurasian Soil Sci 10(3): 179-190. <https://doi.org/10.18393/ejss.868088>
- CHEREL Y, DUHAMEL G & GASCO N. 2004. Cephalopod fauna of subantarctic islands: new information from predators. Mar Ecol Prog Ser 266: 143-156. <https://doi.org/10.3354/meps266143>
- COCKS MP, HARRIS JM, STEELE WK & BALFOUR DA. 1999. The influence of ornithogenic products on the nutrient status of soils surrounding nests on nunataks in Dronning Maud Land, Antarctica. Polar Res 18(1): 19-26. <https://doi.org/10.3402/polar.v18i1.6555>
- CONROY JWH. 1972. Ecological aspects of the biology of the giant petrel *Macronectes giganteus* (Gmelin) in the maritime Antarctica. British Antarctic Survey. Sci Rep 75: 1-74.
- COPELLO S, QUINTANA F & SOMOZA G. 2006. Sex determination and sexual size-dimorphism in Southern Giant-Petrels (*Macronectes giganteus*) from Patagonia, Argentina. Emu - Austral Ornithology 106(2): 141-146. <https://doi.org/10.1071/MU05033>

CORNEJO R, HORN FILHO N & TROIAN FL. 1993. Geomorfologia de Punta Fort William, Isla Greenwich, Islas Shetland del Sur, Antártida. *Acta Antártica Ecuatoriana* 3(1): 13-21.

DAHER M, SCHAEFER CEGR, THOMAZINI A, LIMA NETO E, SOUZA CD & LOPES DV. 2019. Ornithogenic soils on basalts from maritime Antarctica. *Catena* 173: 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.028>

DOLGIKH AV, MERGELOV NS, ABRAMOV AA, LUPACHEV AV & GORYACHKIN SV. 2015. Soils of Enderby Land. In: BOCKHEIM JG. (Ed), *The soils of Antarctica*, Springer, World Soils Book Series, p. 45-63. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1_4)

DUMONT JF, SANTANA E, HERVÉ F & ZAPATA C. 2006. Regional Structures and Geodynamic Evolution of North Greenwich (Fort Williams Point) and Dee Islands, South Shetland Islands. In: FÜTTERER DK, DAMASKE D, KLEINSCHMIDT G, MILLER H, TESSENSOHN F. (Eds), *Antarctica: Contributions to global earth sciences*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, p. 255–260. [https://doi.org/10.1007/3-540-32934-X\\_31](https://doi.org/10.1007/3-540-32934-X_31)

EMSLIE SD, POLITO MJ, BRASSO R, PATTERSON WP & SUN L. 2014. Ornithogenic soils and the paleoecology of pygoscelid penguins in Antarctica. *Quat Int* 352: 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.031>

FATRAS C, FERNANDEZ-PALMA BF & MARTILLO C. 2020. Estimating ice retreat on Greenwich Island - Antarctica between 1956 and 2019 using optical and SAR imagery. *Polar Sci* 24: 100526. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100526>

FERMANI P, MATALONI G & VAN DE VIJVER B. 2007. Soil microalgal communities on an antarctic active volcano (Deception Island, South Shetlands). *Polar Biol* 30:1381-1393. <https://doi.org/10.1007/s00300-007-0299-6>

FOX AJ & COOPER PR. 1994. Measured properties of the Antarctic Ice Sheet derived from the SCAR digital database. *Polar Rec* 30. [doi: 10.1017/S0032247400024268](https://doi.org/10.1017/S0032247400024268)

FRANCELINO MR, SCHAEFER CEGR, SIMAS FNB, FERNANDES FILHO EI, SOUZA JJLL & COSTA LM. 2011. Geomorphology and soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Catena* 194-204. [doi: 10.1016/j.catena.2010.12.007](https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.12.007)

FRETWELL PT, HODGSON DA, WATCHAM EP, BENTLEY MJ & ROBERTS SJ. 2010. Holocene isostatic uplift of the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula, modelled from raised beaches. *Quat Sci Rev* 29:1880-1893. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.04.006>

GEE GW & BAUDER JW. 1986. Particle-size analysis. In: KLUTE A. (Ed), *Methods of soil analysis*, 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, p. 383-412. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>

GJORUP DF. 2013. Soils and Geoenvironments of the northern part of Seymour (Marambio) island, Antarctica. 117 f. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- GONZÁLEZ-GUZMÁN A, OLIVA M, SOUZA-JÚNIOR VS, PÉREZ ALBERTI A, RUIZ-FERNÁNDEZ J & OTERO XL. 2017. Biota and geomorphic processes as key environmental factors controlling soil formation at Elephant Point, Maritime Antarctica. *Geoderma* 300: 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.001>
- GONZÁLEZ-SOLÍS J, CROXALL JP & WOOD AG. 2000. Foraging partitioning between giant petrels *Macronectes* spp. and its relationship with breeding population changes at Bird Island, South Georgia. *Mar Ecol Prog Ser* 204: 279-288. [doi:10.3354/meps204279](https://doi.org/10.3354/meps204279)
- GOYES P & VILLACRÉS J. 1993. Estudio sedimentológico y mineralógico en Bahía Chile, Isla Greenwich, Islas Shetland del Sur (Antártida). *Acta Antartica Ecuatoriana* 1(3): 1-21.
- HAUS N, SCHAEFER CEGR, BOCKHEIM J & PEREIRA TTC. 2015. Soils of Graham and Palmer Lands, Antarctica Peninsula. In: BOCKHEIM JG. (Ed), *The soils of Antarctica*, Springer, World Soils Book Series, p. 205-226. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1_17)
- HEINE JC & SPEIR TW. 1989. Ornithogenic Soils of the Cape Bird Adelie Penguin Rookeries, Antarctica. *Polar Biol* 10: 89-99. <https://doi.org/10.1007/BF00239153>
- HOPKINS B & SKELLAM JG. 1954. A new method for determining the type of distribution of plant individuals. *Ann Bot* 18(2): 213-227. [doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a083391](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083391).
- HUNTER S. 1983. The food and feeding ecology of the giant petrels *Macronectes halli* and *M. giganteus* at South Georgia. *J Zool* 200:521-538. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1983.tb02813.x>
- HUNTER S. 1985. The role of giant petrels in the Southern Ocean ecosystem. In: SIEGFRIED WR, CONDY PR & LAWS RM (Eds) *Antarctic nutrient cycles and food webs*, Springer, Berlin, Heidelberg, p. 534-542. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-82275-9\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-642-82275-9_72)
- HUTCHINSON GE. 1950. Survey of Contemporary Knowledge of Biogeochemistry 3 The Biogeochemistry of Vertebrate Excretion. *Bull Amer Mus Nat History* 96, 16 p.
- IAATO (International Association of Antarctica Tour Operators). 2011. Tourism statistics. Downloaded from <http://iaato.org/tourism-statistics>
- INTERNATIONAL UNION OF SOIL SCIENCES, IUSS. Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. IUSS, Vienna, Austria.
- JACKSON ML. 1979. Soil chemical analysis - advanced course. Madison: Prentice Hall, 895 p.
- JENSEN HI. 1916. Report on Antarctic soils. Repts. Sci. Invest. Brit. Antarct. Exped. 1907–1909. Part IV. *Geology* 2:89–92.
- JEONG GY & YOON HI. 2001. The origin of clay minerals in soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica, and its implications for the clay-mineral

compositions of marine sediments. *J Sediment Res* 71: 833-842.

<https://doi.org/10.1306/2DC4096C-0E47-11D7-8643000102C1865D>

JOLLIFFE IT & CADIMA J. 2016. Principal Component Analysis: a review and recent developments. *Philos Trans R Soc London Ser A* 374: 20150202.

<http://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

KAUFMAN L & ROUSSEEUW PJ. 1991. Finding Groups on Data: An introduction to cluster analysis. *International Biometric Society* 47(2). <https://doi.org/10.2307/2532178>

KOESTER F & PIEDRAHITA P. 2007. Censos del Petrel Gigante del Sur *Macronectes giganteus* y las Skúas *Catharacta* spp. en la Punta Fort Williams-Isla Greenwich y la Isla Barrientos, Shetland del Sur, Antártida. *Revista Tecnológica ESPOL* 20: 89-95.

LEE YL, LIM HS & YOON HI. 2004. Geochemistry of soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica: implications for pedogenesis in cold polar regions.

*Geochim Cosmochim Acta* 68(21): 4319-4333. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.01.020>

LEISHMAN MR & WILD C. 2001. Vegetation abundance and diversity in relation to soil nutrients and soil water content in Vestfold Hills, East Antarctica. *Antarct Sci* 13(2):126-134.

[doi:10.1017/S0954102001000207](https://doi.org/10.1017/S0954102001000207)

LOPES DV. 2020. Solos, Geomorfologia Para-Periglacial e Ornitogênese na Ilha Snow, Antártica Marítima. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 180 f.

MANN HB & WHITNEY DR. 1947. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *Ann Math Stat* 18(1): 50-60.

<https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>

MCCRAW JD. 1960. Soils of the Ross Dependency, Antarctica. A preliminary note. *The New Zealand Society of Soil Science Proc* 4: 30-35.

MCCRAW JD. 1967. Soils of Taylor Dry Valley, Victoria Land, Antarctica, with notes on soils from other localities in Victoria Land. *N Z J Geol Geophys* 10: 498-539.

<https://doi.org/10.1080/00288306.1967.10426754>

MENDONÇA T, MELO VF, SCHAEFER CEGR, SIMAS FNB & MICHEL RFM. 2013. Clay Mineralogy of Gelic Soils from the Fildes Peninsula, Maritime Antarctica. *Soil Sci Soc Am J* 77: 1842-1851. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0135>

MICHEL RFM, SCHAEFER CEGR, DIAS LE, SIMAS FNB, BENITES VM & MENDONÇA ES. 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Sci Soc Am J* 70: 1370-1376.

<https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0178>

MICHEL FNB, SCHAEFER CEGR, LÓPEZ-MARTÍNEZ J, SIMAS FNB, HAUS NW, SERRANO E & BOCKHEIM JG. 2014. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology* 76-86.

[doi:10.1016/j.geomorph.2014.03.041](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.03.041)

MUNSELL A. 1994. Soil, color charts, revised edition. New York: MacBeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation.

MYRCHA A, PIETR SJ & TATUR A. 1985. The role of Pygoscelid Penguin rookeries in nutrient cycles. In: SIEGFRIED WR, CONDY PR & LAWS RM (Eds), Antarctic nutrient cycles and food webs, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 156-162.

[https://doi.org/10.1007/978-3-642-82275-9\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-82275-9_21)

NAVAS A, LOPEZ-MARTINEZ J, CASAS J, MACHÍN J, DURÁN JJ, SERRANO E, CUSHI JA & MINK S. 2008. Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, Maritime Antarctic. *Geoderma* 144: 123-139.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.011>

OTERO XL, PEÑA-LASTRA S, PÉREZ-ALBERTI A, FERREIRA TO & HUERTA-DIAZ MA. 2018. Seabird colonies as important global drivers in the nitrogen and phosphorus cycles. *Nat Commun* 9. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02446-8>

PANSU M & GAUTHEYROU J. 2006. Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods, Berlin: Springer, 993 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-31211-6>

PETRY MV & KRUGER L. 2011. Foraging distribution of an Antarctic Southern Giant Petrel population. Annual Activity Report of National Institute of Science and Technology Antarctic Environmental Research: 88-91. <https://doi.org/10.4322/apa.2014.069>

PRIDE DE, COX CA, MOODY SV, CONELEA RR & ROSEN MA. 1990. Investigations of mineralization in the South Shetland Island, Gerlache Strait and Anvers Island, Northern Antarctica Peninsula. *Antarct Res Ser* 51: 69-94.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. 2023. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>

R CORE TEAM. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

RODRIGUES WF, OLIVEIRA FS, SCHAEFER CEGR, LEITE MGP, GAUZZI T, BOCKHEIM, JG & PUTZKE J. 2019. Soil-Landscape Interplays at Harmony Point, Nelson Island, Maritime Antarctica: Chemistry, Mineralogy And Classification. *Geomorphology* 336:77–94. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.030>

RODRIGUES WF, DE OLIVEIRA FS, SCHAEFER CEGR, LEITE MGP & PAVINATO PS. 2021. Phosphatization under birds' activity: Ornithogenesis at different scales on Antarctic Soils. *Geoderma* 391: 114950. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114950>

RODRIGUES WF, OLIVEIRA FS, SCHAEFER CEGR, LEITE MGP & TORRES IC. 2024. Contribution by Giant petrels and Brown skuas to soil phosphatization in Harmony Point - Maritime Antarctica. *An Acad Bras Cienc* 96: 1-17. [doi:10.1590/0001-3765202420230529](https://doi.org/10.1590/0001-3765202420230529)

SACRAMENTO IF, SCHAEFER CEGR, SIQUEIRA RG, CORRÊA GR, PUTZKE J, MICHEL RFM & FRANCELINO MR. 2023. Ornithogenesis and soil-landscape interplays at northern Harmony Point, Nelson Island, Maritime Antarctica. *An Acad Bras Cienc* 95: e20230722. [DOI 10.1590/0001-3765202320230722](https://doi.org/10.1590/0001-3765202320230722)

SANTANA E & DUMONT JF. 2002. Geología de los alrededores de la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado (Isla Greenwich) e Isla Dee, Península Antártica. *Acta Antartica Ecuatoriana* 1(5):7-32.

SANTOS RD, SANTOS HG, KER JC, ANJOS LHC & SHIMIZU SH. 2015. Manual de descrição e coleta de solo no campo, 7th ed., Viçosa: SBCS.

SCHAEFER CEGR, SIMAS FNB & ALBUQUERQUE FILHO MR. 2004. Fosfatização: Processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In: SCHAEFER CEGR, FRANCELINO MR & SIMAS FNB (Eds) *Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima*, 2nd ed. Viçosa: Neput – Departamento de Solos, p. 47-59.

SCHAEFER CEGR, SIMAS FNB, GILKES RJ, MATHISON C, COSTA LM & ALBUQUERQUE MA. 2008. Micromorphology and microchemistry of selected Cryosols from Maritime Antarctica. *Geoderma* 144: 104-115. [10.1016/j.geoderma.2007.10.018](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.018)

SCHAEFER CEGR, PEREIRA TTC, ALMEIDA ICC, MICHEL RFM, CORRÊA GR, FIGUEIREDO LPS & KER JC. 2017. Penguin activity modify the thermal regime of active layer in Antarctica: A case study from Hope Bay. *Catena* 149:582-591. [doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.021](https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.021)

SHAPIRO SS & WILK MB. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>

SIMAS FNB, SCHAEFER CEGR, MELO VF, GUERRA MBB, MARTIN S & GILKES RJ. 2006. Clay-sized minerals in permafrost-affected soils (Cryosols) from king George Island, Antarctica. *Clays Clay Miner* 54: 721-736. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2006.0540607>

SIMAS FNB, SCHAEFER CEGR, MELO VF, ALBUQUERQUE-FILHO MR, MICHEL RFM, PEREIRA VV, GOMES MRM & COSTA LM. 2007a. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. *Geoderma* 138(3-4): 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.11.011>

SIMAS FNB, SCHAEFER CEGR, MENDONÇA ES, SILVA IR, SANTANA RM & RIBEIRO ASS. 2007b. Organic Carbon Stocks in Permafrost-Affected Soils from Admiralty Bay, Antarctica. *Us Geological Survey*, v. 1047, p. 76-79. <https://doi.org/10.3133/ofr20071047SRP076>

SIMAS FNB, SCHAEFER CEGR & MELO VF. 2008. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, Maritime Antarctica. *Geoderma* 144: 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.019>

SIQUEIRA R, SANTOS CMM, FRANCELINO MR, SCHAEFER CEGR & FERNANDES FILHO EI. 2023. Machine learning applied for Antarctic soil mapping: Spatial prediction of

soil texture for Maritime Antarctica and Northern Antarctic Peninsula. *Geoderma* 432. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116405>

SMELLIE JL, PALLAS R, SABAT F & ZHENG X. 1996. Age and correlation of volcanism in central Livingston Island, South Shetland Islands: K-Ar and geochemical constraints. *J South Amer Earth Sci* 9(3/4): 265–272. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(96\)00012-0](https://doi.org/10.1016/0895-9811(96)00012-0)

SÓCOLA J. 2001a. Cobertura vegetal en las áreas circundantes a la Estación Pedro Vicente Maldonado. *Acta Antartica Ecuatoriana* 1(5): 70-79.

SÓCOLA J. 2001b. Avifauna presente en las áreas aledañas a la Estación Pedro Vicente Maldonado, Isla Greenwich. *Acta Antartica Ecuatoriana* 1(5): 63-69.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2nd ed. Agriculture Handbook, n. 436, USDA, Natural Resources Conservation Service, Superintendent of Documents, US Govt Print Office, Washington, DC.

SOUZA KKD, SCHAEFER CEGR, SIMAS FNB, SPINOLA DN & DE PAULA MD. 2014. Soil formation in Seymour Island, Weddell Sea, Antarctica. *Geomorphology* 225: 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.03.047>

SPEARMAN C. 1904. The proof and measurement of association between two things. *Amer J Psychol* 15(1): 72-101. [doi:10.2307/1412159](https://doi.org/10.2307/1412159)

STEIG EJ, SCHNEIDER DP, RUTHERFORD SD, MANN ME, COMISO JC & SHINDELL DT. 2009. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature* 457: 459-462. <https://doi.org/10.1038/nature07669>

SYROETCHKOVSKY EE. 1959. The role of animals in primary soil formation under the condition of pre-polar region of the globe (exemplified by Antarctic). *Zool Zh* 38: 1770-1775.

TATUR A. 1989. Ornithogenic soils of the maritime Antarctic. *Pol Polar Res* 10(4): 481-532.

TATUR A & BARCZUK A. 1985. Ornithogenic phosphates on King George Island, Maritime Antarctic. In: SIEGFRIED WR, CONDY PR & LAWS RM (Eds). *Antarctica nutrient cycles and food webs*. Springer-Verlag, Berlin, p. 163-169. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-82275-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-642-82275-9_22)

TATUR A & KECK A. 1990. Phosphates in Ornithogenic Soils of the Maritime Antarctic. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol* 3: 133-150.

TATUR A & MYRCHA A. 1984. Ornithogenic soils on King George Island, South Shetland Islands (Maritime Antarctic Zone). *Pol Polar Res* 5: 31-60.

TATUR A & MYRCHA A. 1989. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries (Maritime Antarctic) *NIPR, Symp Polar Biol* 2: 181-189.

TATUR A & MYRCHA A. 1993. Changes in chemical composition of water running off from the penguin rookeries at Admiralty Bay Region (King George Island, South Shetland, Antarctica). *Polish Polar Res* 4: 113-128.

TATUR A, MYRCHA A & NIEGODZISZ J. 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol* 17: 405-417.  
<https://doi.org/10.1007/s003000050135>

TEDROW JCF. 1966. Antarctic soils and soil forming processes. Antarctic Research Series n. 8, American Geophysical Union of the National Academy of Sciences, Washington. 177 p.  
<https://doi.org/10.1029/AR008>

TEDROW JCF. 1977. Soils of the Polar Landscapes. Rutgers University Press, New Brunswick. 638 p.

TEIXEIRA PC, DONAGEMMA GK, FONTANA A & TEIXEIRA WG. 2017. Manual de métodos de análise de solos, Brasília: Embrapa Solos, 573 p.

THOMAZINI A, FRANCELINO MR, PEREIRA AB, SCHÜNEMANN AL, MENDONÇA ES, MICHEL RFM & SCHAEFER CEGR. 2020. The current response of soil thermal regime and carbon exchange of a paraglacial coastal land system in maritime Antarctica. *Land Degrad Dev* 31: 655-666.

UGOLINI FC. 1963. Soil investigations in the lower Wright Valley, Antarctica. In: *Proceedings of the international permafrost conference, NAS-NRC, Publ. 1287*, p. 55-61.

UGOLINI FC. 1964. A study of pedogenic processes in Antarctica. In: *Final report to the national science foundation, Rutgers University, New Brunswick*, 82 p.

UGOLINI FC. 1972. Ornithogenic soils of Antarctica. In: LLANO GA (Ed) *Antarctica Terrestrial Biology*. Am Geophys Union Antarct Res, p. 181-193.

VALVERDE FM & ARCOS F. 1990. Estudios preliminares de la cobertura vegetal en Punta Fort William-Isla Greenwich. *Acta Antartica Ecuatoriana* 2(1): 47-55.

ZWOLICKI A, BARCIKOWSKI M, BARCIKOWSKI A, CYMERSKI M, STEMPNIEWICZ L & CONVEY P. 2015. Seabird colony effects on soil properties and vegetation zonation patterns on King George Island, Maritime Antarctic. *Polar Biol* 38(10): 1645-1655. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1730-z>

## MATERIAL SUPLEMENTAR

Amostra	CS	FS	Silte	Argila	CS/FS	SI/AR	CF	Textura
	-----g.kg <sup>-1</sup> -----						%	
SP 1	575	61	145	219	9.43	0.66	76.62	Franco-argilo-arenosa
SP 2	551	121	146	182	4.55	0.80	69.50	Franco-arenosa
SP 3	547	114	159	181	4.80	0.88	51.36	Franco-arenosa
SP 4	589	67	154	189	8.79	0.81	77.35	Franco-arenosa
SP 5	449	115	227	209	3.90	1.09	59.32	Franco-argilo-arenosa
SP 6	476	211	147	165	2.26	0.89	78.24	Franco-arenosa
SP 7	544	133	196	127	4.09	1.54	76.64	Franco-arenosa
SP 8	555	199	125	121	2.79	1.03	55.56	Franco-arenosa
SP 9	670	94	141	96	7.13	1.47	54.46	Franco-arenosa
SP 10	592	164	155	89	3.61	1.74	76.00	Franco-arenosa
SP 11	649	42	155	155	15.45	1.00	85.66	Franco-arenosa
SP 12	543	88	209	161	6.17	1.30	73.96	Franco-arenosa
SP 13	495	157	203	145	3.15	1.40	70.92	Franco-arenosa
SP 14	482	174	208	137	2.77	1.52	76.31	Franco-arenosa
SP 15	494	113	210	183	4.37	1.15	63.94	Franco-arenosa
SP 16	570	228	83	119	2.50	0.70	17.13	Franco-arenosa
SP 17	482	272	105	141	1.77	0.74	13.92	Franco-arenosa
SP 18	584	164	113	139	3.56	0.81	37.77	Franco-arenosa
SP 19	582	163	124	131	3.57	0.95	71.50	Franco-arenosa
SP 20	560	186	104	150	3.01	0.69	63.63	Franco-arenosa
SS 1	621	108	145	126	5.75	1.15	25.17	Franco-arenosa
SS 2	530	106	166	198	5.00	0.84	50.44	Franco-arenosa
SS 3	641	59	19	280	10.86	0.07	65.44	Franco-argilo-arenosa
SS 4	526	78	203	193	6.74	1.05	46.41	Franco-arenosa
SS 5	539	103	165	193	5.23	0.85	61.09	Franco-arenosa
SS 6	399	367	107	128	1.09	0.84	21.21	Franco-arenosa
SS 7	414	310	165	111	1.34	1.49	27.29	Franco-arenosa
SS 8	507	265	122	106	1.91	1.15	15.59	Franco-arenosa
SS 9	582	183	97	138	3.18	0.70	18.22	Franco-arenosa
SS 10	444	334	131	91	1.33	1.44	10.51	Franco-arenosa
SS 11	627	127	147	99	4.94	1.48	66.55	Franco-arenosa
SS 12	521	131	198	150	3.98	1.32	47.74	Franco-arenosa
SS 13	599	122	148	131	4.91	1.13	58.19	Franco-arenosa
SS 14	567	175	163	95	3.24	1.72	45.34	Franco-arenosa
SS 15	655	80	131	135	8.19	0.97	62.36	Franco-arenosa
SS 16	555	274	54	117	2.03	0.46	25.48	Areia Franca
SS 17	486	237	159	117	2.05	1.36	23.96	Franco-arenosa
SS 18	469	259	159	113	1.81	1.41	29.36	Franco-arenosa
SS 19	498	242	140	120	2.06	1.17	29.96	Franco-arenosa
SS 20	517	231	129	122	2.24	1.06	26.70	Franco-arenosa

Tabela SI - Atributos físicos das amostras superficiais de solo. SP: amostras com influência ornitogênica atual; SS: amostras sem influência ornitogênica atual. CS: areia grossa; FS: areia fina; SI: silte; AR: argila; CF: fração grossa.

Hor.	Prof. (cm)	Cor	Temp.	CS	FS	Silte	Argila	CS/FS	SI/AR	CF	Textura	Estrutura	Transição
		Úmido	°C	-----g.kg <sup>-1</sup> -----				%					
P1													
A	0-12	10YR 2/2	4	606	102	153	138	5.94	1.11	61.08	Franco-arenosa	Mod. e fraca; peq./med.; gran./sub. blo.	Plana; clara
CR	12-25	10YR 3/2	4.2	463	121	297	120	3.83	2.48	80.75	Franco-arenosa	-	-
P2													
A	0-13	10YR 2/2	4.1	621	108	145	126	5.75	1.15	44.55	Franco-arenosa	Fraca; sub. blo./gran.	Ondulada; clara
C1	13-24	10YR 2/2	3.8	541	82	265	112	6.60	2.37	31.01	Franco-arenosa	Maciça	Ondulada; clara
C2	24-40	10YR 2/2	3.5	609	79	202	110	7.71	1.84	33.26	Franco-arenosa	-	-
P3													
A	0-11	10YR 2/1	4.1	585	143	122	151	4.09	0.81	92.09	Franco-arenosa	-	Plana; clara
Bi	12-30	10YR 2/2	4.3	508	168	172	152	3.02	1.13	68.38	Franco-arenosa	Mod.; peq.; gran.	Plana; clara
CB	30-45	10YR 2/2	4.2	460	208	188	144	2.21	1.31	27.75	Franco-arenosa	Fraca; peq.; sub. blo.	-
P4													
O	0-8	10YR 2/1	4.3	422	298	146	134	1.42	1.09	25.81	Franco-arenosa	Fraca; peq./med.; sub. blo./gran.	Plana; clara
Bi	8-28	10YR 2/2	4.4	335	286	247	133	1.17	1.86	9.09	Franco-arenosa	Fraca; peq./med.; sub. blo./gran.	Plana; clara
C	28-40	10YR 2/2	4.2	363	332	182	123	1.09	1.48	27.64	Franco-arenosa	-	-
P5													
A	0-9	10YR 2/2	4.2	490	102	164	243	4.80	0.67	80.31	Franco-argilo-arenosa	Fraca; peq./ med.; gran.	Plana; clara
Bi	9-20	10YR 2/2	4.1	420	114	215	251	3.68	0.86	77.40	Franco-argilo-arenosa	Fraca; peq./ med.; gran.	Plana; clara
C1	20-29	10YR 3/2	3.7	320	202	370	107	1.58	3.46	11.67	Franco-arenosa	Maciça	Plana; clara
CR	29-42	10YR 2/2	3.8	615	119	89	177	5.17	0.50	59.94	Franco-arenosa	-	-
P6													
Oo1	0-14	10YR 2/2	3.9	502	75	154	270	6.69	0.57	73.92	Franco-argilo-arenosa	-	Plana; clara
Oo2	14-25	10YR 2/2	3.2	587	59	124	230	9.95	0.54	76.63	Franco-argilo-arenosa	-	Plana; clara
Bi	25-34	10YR 3/2	2.3	436	155	290	119	2.81	2.44	24.82	Franco-arenosa	Fraca; peq./med.; sub. blo.	Plana; clara
C1	34-40	10YR 3/1	1.7	379	146	348	127	2.60	2.74	15.74	Franco-arenosa	Maciça	-
CR	40-50+	10YR 3/2	1.5	588	125	104	183	4.70	0.57	61.83	Franco-arenosa	-	-
P7													
A	0-11	10YR 2/1	6.5	485	240	113	162	2.02	0.70	53.10	Franco-arenosa	Mod.; peq.; gran.	Plana; clara

<b>Bi</b>	11-25	10YR 2/1	4.8	459	193	172	175	2.38	0.98	30.37	Franco-arenosa	Fraca; peq.; gran.	-
<b>P8</b>													
<b>A</b>	0-11	10YR 2/2	4.9	388	270	178	164	1.44	1.09	37.10	Franco-arenosa	Mod.; peq.; gran.	Plana; clara
<b>Bi</b>	11-33	10YR 2/2	4.2	509	223	137	131	2.28	1.05	26.61	Franco-arenosa	Fraca; peq.; gran.	Plana; clara
<b>C</b>	33-40+	10YR 2/2	3.8	464	275	226	35	1.69	6.46	6.71	Areia Franca	Maciça	-

Tabela SII - Atributos físicos e morfológicos dos perfis de solo. Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; Temp.: temperatura; CS: areia grossa; FS: areia fina; SI: silte; AR: argila; CF: fração grossa; mod.: moderado; peq.: pequena; med.: média; gran.: granular; blo.: blocos; sub.: subangular.

Amostra	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P -----mg/dm <sup>3</sup> -----	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CECe	CECp	PSB	Al <sub>sat</sub>	Na <sub>sat</sub>	MO -----g/kg-----	C-org	P-Rem mg/L	N-total g/kg	Cu	Mn	Fe	Zn
SP 1	4.5	3.4	398.1	247.0	320.2	2.4	2.3	22.5	30.0	6.7	29.2	36.7	18	77	4	13.70	7.95	26.2	1.89	4	4	256	1
SP 2	4.2	3.5	449.6	197.0	361.0	1.3	0.5	6.5	16.2	3.9	10.3	20.1	19	63	8	13.80	8.00	26.9	2.75	4	1	222	1
SP 3	3.8	3.3	292.4	213.0	269.9	1.2	1.0	11.6	19.4	3.9	15.4	23.3	17	75	5	19.50	11.31	24.9	2.51	4	2	216	1
SP 4	3.5	3.1	444.7	497.0	879.9	3.1	4.2	12.1	23.1	12.3	24.4	35.4	35	50	11	14.20	8.24	24.2	3.76	5	19	270	2
SP 5	3.4	3.0	436.5	405.0	948.6	2.9	3.4	13.8	30.1	11.5	25.3	41.6	28	55	10	23.10	13.40	16.9	3.22	3	6	436	2
SP 6	4.4	3.4	527.2	113.0	347.2	1.5	0.9	4.1	17.3	4.2	8.3	21.5	20	50	7	89	51.62	25.2	4.56	2	2	335	1
SP 7	4.4	3.2	307.5	217.0	325.6	3.8	3.5	7.9	15.4	9.3	17.2	24.7	38	46	6	41.60	24.13	28.3	2.77	2	7	353	2
SP 8	4.4	3.1	218.2	212.0	341.4	2.6	2.8	9.2	16.2	7.4	16.7	23.6	32	55	6	56	32.48	26.6	3.58	2	4	234	2
SP 9	4.2	3.0	793.3	182.0	246.3	1.9	1.0	5.0	26.9	4.4	9.5	31.3	14	53	3	52.90	30.68	29.4	4.09	3	2	489	1
SP 10	4.6	3.2	211.2	213.0	328.4	3.0	3.2	6.4	13.4	8.2	14.6	21.6	38	44	7	37.80	21.93	29.8	2.47	2	6	287	2
SP 11	3.7	3.1	863.2	341.0	477.2	0.8	0.6	2.4	22.5	4.3	6.8	26.8	16	36	8	118.80	68.91	42.9	13.43	5	2	374	2
SP 12	3.7	3.0	692.2	222.0	262.6	0.8	0.5	3.2	26.8	3.0	6.2	29.8	10	52	4	119.10	69.08	37.7	10.23	4	1	309	1
SP 13	3.4	2.7	846.5	318.0	347.8	1.1	0.7	3.5	30.8	4.2	7.7	35.0	12	46	4	75.60	43.85	46.3	8.65	5	1	254	1
SP 14	3.6	2.9	738.3	157.0	229.5	0.7	0.3	5.0	28.5	2.4	7.4	30.9	8	67	3	80.60	46.75	31.4	6.48	4	1	492	1
SP 15	3.3	2.9	900.0	213.0	388.9	0.7	0.3	4.3	29.1	3.3	7.6	32.4	10	57	5	61.00	35.38	34.8	6.25	3	1	404	1
SP 16	4.2	3.5	214.2	113.0	206.1	2.1	1.1	2.8	10.9	4.4	7.2	15.3	29	39	6	48.30	28.02	25.2	2.93	2	10	254	3
SP 17	4.5	3.6	120.0	122.0	224.0	1.8	1.4	4.7	12.5	4.5	9.3	17.0	27	51	6	68.20	39.56	16.9	2.97	2	5	269	2
SP 18	4.1	3.1	370.8	127.0	157.3	2.4	2.1	5.8	17.9	5.5	11.3	23.4	23	52	3	62.80	36.43	28.3	3.78	2	4	359	2
SP 19	4.1	3.1	276.0	261.0	371.3	3.2	2.4	5.1	16.3	7.9	13.0	24.2	33	39	7	56.30	32.66	26.9	4.34	2	4	305	2
SP 20	3.9	3.3	436.4	127.0	208.8	1.7	1.3	4.9	17.5	4.3	9.2	21.8	20	53	4	85.50	49.59	22.1	4.33	2	5	343	2
SS 1	5.4	4.1	179.4	111	639.3	4.0	2.8	1.2	9.3	9.8	11.0	19.1	51	11	15	4.09	2.37	15.9	0.20	2	34	75	1
SS 2	5.0	4.2	99.7	125.0	303.1	4.1	4.1	1.5	10.3	9.8	11.3	20.1	49	13	7	15.80	9.16	12	2.39	3	15	153	0
SS 3	4.9	3.7	108.9	157.0	313.7	3.5	7.1	21.4	26.0	12.4	33.8	38.4	32	63	4	5.80	3.36	14.9	1.25	2	20	118	1
SS 4	3.9	3.7	345.4	214.0	380.8	1.0	0.6	5.6	16.7	3.8	9.4	20.5	19	59	8	9.90	5.74	12.6	2.23	4	2	323	0
SS 5	5.2	4.1	153.8	235.0	301.5	6.0	10.7	1.8	9.0	18.7	20.5	27.7	68	9	5	9.20	5.34	20	1.24	2	8	188	0
SS 6	4.8	3.8	95.8	86.0	695.8	1.4	1.2	3.7	10.9	5.8	9.5	16.7	35	39	18	60.20	34.92	13.6	2.62	2	21	321	1
SS 7	5.3	3.9	59.1	102.0	322.7	4.5	4.6	2.1	8.0	10.7	12.8	18.7	57	16	8	36.80	21.35	18.8	1.76	2	26	244	2
SS 8	5.5	4.1	53.4	139.0	342.5	4.3	6.1	1.0	6.2	12.3	13.3	18.5	66	8	8	26.30	15.26	22.6	1.34	2	18	227	1

<b>SS 9</b>	4.9	3.9	118.1	61.0	184.4	2.0	1.6	3.1	18.3	4.6	7.7	22.9	20	40	4	86.10	49.94	4.5	4.23	3	14	393	1
<b>SS 10</b>	4.9	3.9	52.8	92.0	258.3	1.7	1.5	3.2	9.5	4.5	7.7	14.0	32	41	8	33.30	19.32	13.4	2.12	2	11	346	1
<b>SS 11</b>	3.6	3.1	1143.1	137.0	261.1	0.8	0.4	6.5	28.8	2.8	9.2	31.6	9	70	4	94.40	54.76	21.7	5.81	3	2	662	1
<b>SS 12</b>	3.7	3.0	940.8	100.0	225.1	0.7	0.3	6.5	32.3	2.3	8.8	34.6	7	74	3	95.00	55.10	23.4	5.15	3	1	637	0
<b>SS 13</b>	3.3	2.9	910.1	105.0	472.2	0.8	0.6	5.9	28.7	3.7	9.6	32.4	11	62	6	62.20	36.08	42.9	4.66	3	1	467	1
<b>SS 14</b>	3.7	2.9	882.7	172.0	262.4	0.9	0.5	7.2	30.7	2.9	10.1	33.6	9	71	3	39.10	22.68	28.3	3.23	2	1	500	0
<b>SS 15</b>	3.6	3.0	975.0	89.0	172.6	0.6	0.4	5.6	28.9	1.9	7.5	30.8	6	74	2	102.30	59.34	23.2	5.97	3	1	449	1
<b>SS 16</b>	5.7	4.2	31.1	116.0	332.0	5.4	7.9	0.8	5.7	15.1	15.9	20.8	73	5	7	14.70	8.53	15	1.00	2	14	272	0
<b>SS 17</b>	5.7	4.2	29.8	125.0	334.8	5.6	9.2	0.7	5.7	16.6	17.4	22.3	75	4	7	10.90	6.32	13.7	0.72	2	20	206	0
<b>SS 18</b>	5.7	4.1	33.4	143.0	404.9	5.9	9.4	1.1	5.2	17.4	18.5	22.6	77	6	8	11.80	6.84	18.1	0.85	3	25	215	1
<b>SS 19</b>	5.7	4.3	33.6	100.0	309.4	4.2	5.6	0.6	6.1	11.4	12.0	17.5	65	5	8	29.30	17.00	13.2	1.46	2	9	265	0
<b>SS 20</b>	5.7	4.3	29.3	99.0	306.5	5.1	6.1	0.5	5.9	12.8	13.3	18.7	68	4	7	20.90	12.12	12.2	1.09	2	15	236	0

Tabela SIII - Atributos químicos das amostras de solo superficial. SP: amostras com influência ornitogênica atual; SS: amostras sem influência ornitogênica atual; H+Al: Acidez potencial; SB: Soma de Bases; CECe: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CECp: Capacidade de Troca Catiônica Potencial; PSB: Porcentagem da soma de bases; Al<sub>sat</sub>: Saturação por alumínio; Na<sub>sat</sub>: Saturação por sódio; MO: Matéria Orgânica; C-Org: Carbono Orgânico; P-rem: Fósforo remanescente; N-total: Nitrogênio total.

Hor.	Prof. (cm)	pH	pH	ΔpH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CECe	CECp	PSB	Alsat	Nasat	MO	C-org	P-Rem	N-total	Cu	Mn	Fe	Zn
		H <sub>2</sub> O	KCl			-----mg.Kg <sup>-1</sup> -----											-----%-----		-----g.kg <sup>-1</sup> -----		mg.L <sup>-1</sup>	g.kg <sup>-1</sup>		-----mg.kg <sup>-1</sup> -----	
P1																									
A	0-12	4.4	3.8	-0.6	393.0	64.6	205.5	0.8	0.2	1.6	9.4	2.1	3.7	11.5	18	44	8	34.30	19.90	16	2.62	3	4	118	0
CR	12-25	4.1	3.9	-0.2	364.8	64.2	196.7	0.4	0.1	1.3	9.8	1.5	2.8	11.3	13	45	8	38.40	22.27	5.8	3.03	5	3	118	0
P2																									
A	0-13	5.4	4.1	-1.3	118.9	73.5	423.6	2.6	1.9	0.8	6.2	6.5	7.3	12.7	51	11	15	40.90	23.72	15.9	1.96	1	22	50	0
C1	13-24	6.1	4.5	-1.6	172.1	105.8	589.8	8.3	4.7	0.1	3.3	15.8	15.9	19.1	83	1	13	9.20	5.34	18.7	0.61	2	14	84	1
C2	24-40	6.6	4.8	-1.8	119.1	128.1	528.3	9.5	5.1	0.0	1.4	17.2	17.2	18.6	93	0	12	2.40	1.39	32.1	0.17	2	16	68	0
P3																									
A	0-11	4.4	3.7	-0.7	477.2	306.4	907.3	4.7	2.1	1.3	14.3	11.5	12.8	25.8	45	10	15	101.80	59.05	40	17.05	2	4	288	4
Bi	12-30	3.7	3.2	-0.5	409.9	139.6	394.1	1.2	0.6	4.5	18.6	3.8	8.3	22.5	17	54	8	84.40	48.96	15.8	4.93	2	2	386	1
CB	30-45	4.0	3.9	-0.1	70.4	61.0	183.4	0.5	0.1	1.9	7.6	1.6	3.5	9.2	17	55	9	27.40	15.89	7	1.74	2	4	273	0
P4																									
O	0-8	5.3	4.1	-1.2	13.0	52.9	172.4	1.6	2.0	0.9	5.8	4.5	5.4	10.2	44	17	7	36.10	20.94	13.8	1.94	1	11	237	1
Bi	8-28	5.9	4.5	-1.3	11.2	48.3	133.2	1.1	0.9	0.2	3.4	2.7	2.9	6.1	45	6	10	26.50	15.37	8.2	1.26	2	10	283	1
C	28-40	5.0	4.0	-1.0	22.8	49.7	129.3	1.2	0.9	2.2	8.7	2.8	5.0	11.5	24	44	5	46.50	26.97	5.2	2.23	3	13	211	1
P5																									
A	0-9	4.1	3.2	-0.9	584.4	133.9	132.3	0.5	0.3	3.0	20.2	1.7	4.7	21.9	8	64	3	24.10	13.98	45.3	6.35	3	1	224	1
Bi	9-20	3.5	3.1	-0.4	991.2	89.1	120.9	0.5	0.2	3.7	25.9	1.4	5.1	27.3	5	72	2	28.70	16.65	48.1	5.25	4	0	343	1
C1	20-29	3.8	3.1	-0.7	674.0	67.5	70.6	0.3	0.1	2.0	15.8	0.9	2.9	16.7	5	70	2	27.90	16.18	33.5	1.87	2	1	310	0
CR	29-42	3.2	3.0	-0.1	529.7	179.5	249.7	0.9	0.5	4.4	16.9	2.9	7.3	19.8	15	61	5	40.10	23.26	19.8	2.46	3	2	286	0
P6																									
Oo1	0-14	3.9	3.4	-0.5	1130.8	95.0	171.2	0.7	0.4	4.6	27.4	2.1	6.7	29.5	7	69	3	31.50	18.27	23	10.35	4	2	271	1
Oo2	14-25	4.0	3.4	-0.5	1628.8	74.2	95.7	0.5	0.1	4.4	29.4	1.2	5.6	30.6	4	79	1	258.70	150.06	21	8.42	5	1	312	1
Bi	25-34	4.0	3.6	-0.4	311.9	73.6	138.8	0.2	0.0	1.4	8.3	1.0	2.4	9.3	11	57	6	24.70	14.33	18.6	1.56	2	1	237	0
C1	34-40	4.1	3.5	-0.6	260.7	88.1	125.1	0.3	0.1	1.6	7.8	1.1	2.7	8.9	12	59	6	7.60	4.41	26.1	1.31	3	1	243	0
CR	40-50+	4.1	3.9	-0.3	135.0	130.8	118.2	0.7	0.1	1.5	8.3	1.6	3.2	9.9	17	48	5	12.90	7.48	10.2	2.03	4	2	187	0
P7																									
A	0-11	4.4	3.7	-0.7	216.2	338.1	607.3	2.8	2.3	2.5	14.3	8.6	11.1	22.9	38	23	12	30.70	17.81	32.6	4.60	2	11	247	3
Bi	11-25	4.5	3.9	-0.6	37.9	194.5	284.5	3.0	1.9	2.4	7.6	6.6	9.0	14.2	46	27	9	20.10	11.66	11.7	2.52	2	13	144	2
P8																									
A	0-11	4.7	4.2	-0.5	33.3	74.5	287.7	1.6	2.1	1.0	6.1	5.1	6.0	11.2	45	16	11	31.60	18.33	13	2.74	1	6	201	1
Bi	11-33	6.2	4.2	-2.0	20.7	47.3	101.0	4.8	9.4	0.6	3.4	14.7	15.3	18.2	81	4	2	3.30	1.91	18.4	0.76	1	2	122	0
C	33-40+	6.4	3.9	-2.5	39.9	42.4	91.6	5.4	10.6	0.7	2.2	16.5	17.2	18.7	88	4	2	2.40	1.39	34.3	0.20	2	3	150	0

Tabela SIV - Atributos químicos dos perfis de solo. Hor.: Horizonte; Prof.: Profundidade; H+Al: Acidez potencial; SB: Soma de Bases; CECe: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CECp: Capacidade de Troca Catiônica Potencial; PSB: Percentagem da soma de bases; Al<sub>sat</sub>: Saturação por alumínio; Na<sub>sat</sub>: Saturação por sódio; MO: Matéria Orgânica; C-org: Carbono Orgânico; P-rem: Fósforo remanescente; N-total: Nitrogênio total.

Variável	Solos superficiais com influência ornitogênica atual (SP)					Solos superficiais sem influência ornitogênica atual (SS)				
	Min.	Max.	Média	SD	CV%	Min.	Max.	Média	SD	CV%
<b>Textura</b>	Franco-arenosa					Franco-arenosa				
<b>pH</b> (H <sub>2</sub> O)	3.3	4.6	4	0.4	10.6	3.3	5.7	4.8	0.8	17.6
<b>P</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	120	900	476.8	245.1	51.4	29.3	1143.1	313.7	398.4	127
<b>K</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	113	497	224.9	100.8	44.8	61	235	125.4	42.9	34.3
<b>Na</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	157.3	948.6	362.1	203.8	56.3	172.6	695.8	341.1	131.8	38.6
<b>Ca<sup>2+</sup></b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0.7	3.8	2	0.9	48.5	0.6	6	3.1	2	64.5
<b>Mg<sup>2+</sup></b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0.3	4.2	1.7	1.2	72.2	0.3	10.7	4	3.5	86.9
<b>Al<sup>3+</sup></b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2.4	22.5	7.0	4.8	68.4	0.5	21.4	4.0	4.7	117.6
<b>H+Al</b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	10.9	30.8	21.0	6.6	31.3	5.2	32.3	15.1	10.1	67.0
<b>SB</b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2.4	12.3	5.8	2.8	48.5	1.9	18.7	9.0	5.5	61.7
<b>CECe</b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	6.23	29.2	12.8	6.7	52.5	7.5	33.77	13.0	6.1	47.4
<b>CECp</b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	15.3	41.6	26.8	7.0	26.1	14.0	38.4	24.1	7.1	29.4
<b>PSB</b> (%)	8	38.0	22.2	9.5	42.7	6	77.0	41.4	26.2	63.2
<b>Al<sub>sat</sub></b> (%)	36	77.10	52.9	10.9	20.7	4	74.40	33.8	28.2	83.7
<b>Na<sub>sat</sub></b> (%)	3	10.80	5.8	2.1	36.9	2	18.12	6.9	3.9	56.2
<b>C-org</b> (g/kg)	7.9	69.1	33	18.5	56.2	2.4	59.3	22.3	19.2	86
<b>P-rem</b> (mg/L)	16.90	46.30	28.5	7.4	25.9	4.50	42.90	18.0	8.0	44.3
<b>N-total</b> (g/kg)	1.8	13.4	4.7	2.9	62.1	0.2	5.9	2.5	1.8	72
<b>Cu</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	2	5	3	1.1	35.9	1.7	3.9	2.5	0.6	22.8
<b>Mn</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	1	19	4	4.2	95.6	1	34	12.9	9.7	75.1
<b>Fe</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	216	492	323.0	83.3	25.8	75.0	661.7	314.8	160.7	51.0
<b>Zn</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	1	3	1.5	0.7	43.7	0.3	1.8	0.7	0.4	53.9
<b>CS</b> (g/kg)	449	670	549.5	57.1	10.4	399	655	534.9	72.6	13.6
<b>FS</b> (g/kg)	42	272	143.3	59.4	41.5	59	367	189.6	93.5	49.3
<b>Silte</b> (g/kg)	83	227	155.5	41.2	26.5	19	203	137.4	43.6	31.7
<b>Argila</b> (g/kg)	89	219	152	34.7	22.8	91	280	138.2	45.7	33.1
<b>CF</b> (%)	13.92	85.66	62.5	19.7	31.6	10.51	66.55	37.9	18.2	48.1

Tabela SV - Estatística descritiva das propriedades do solo de amostras de solo superficial com influência ornitogênica atual (n=20) e sem influência ornitogênica atual (n=20). SB: soma de bases; CECe: capacidade de troca catiônica efetiva; CECp: capacidade de troca catiônica potencial; PSB: porcentagem da soma de bases; Al<sub>sat</sub>: saturação por alumínio; Na<sub>sat</sub>: saturação por sódio; C-org: carbono orgânico; P-rem: fósforo remanescente; N-total: nitrogênio total; CS: areia grossa; FS: areia fina; CF: fração grossa; Min.: mínimo; Max.: máximo; SD: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 1

#### PERFIL 1

**Data:** 09/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Dystric Skeletic Leptosol (Humic).

**Coordenadas:** 62°27'01,6" S/ 59°44'30,1" W.

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta sobre ninho de Petrel construído recentemente.

**Altitude:** 40 m.

**Litologia:** Basalto porfirítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Extremamente pedregosa.

**Rochosidade:** Moderadamente rochosa.

**Relevo local:** Plano.

**Relevo regional:** Ondulado.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Bem drenado.

**Vegetação primária:** Ausente.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** 0-12 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; fraca e moderada; pequena e média; granular e blocos subangulares; transição plana e clara.

**CR** 12-25 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco-arenosa.

**Observações** – Abaixo do CR há uma camada de materiais basálticos fraturados, com matacões.

– Em A evidencia-se a presença de material mais fino e arredondado, com aporte em superfície de pedriscos (utilizados pelos petréis para construção dos ninhos).

– Em um raio de 10 metros há 6 ninhos, sendo 1 ativo.



## APÊNDICE B – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 2

### PERFIL 2

**Data:** 09/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Eutric Leptic Regosol (Ochric).

**Coordenadas:** 62°27'01,6" S/ 59°44'30,1" W. (6 m do P1).

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta sobre borda de antiga moraina, sem influência de Petrel.

**Altitude:** 40 m.

**Litologia:** Basalto porfirítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Ligeiramente pedregosa.

**Rochosidade:** Não rochosa.

**Relevo local:** Plano.

**Relevo regional:** Ondulado.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Bem drenado.

**Vegetação primária:** Líquens/Musgos.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** 0-13 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; fraca, blocos subangulares e granular; transição ondulada e clara.

**C1** 13-24 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; maciça; transição ondulada e clara.

**C2** 24-40 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa.

**Observações** – Perfil coberto densamente por musgos e líquens.

– Calhaus e matacões presentes em pouca quantidade.



## APÊNDICE C – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 3

### PERFIL 3

**Data:** 11/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Humic).

**Coordenadas:** 62°26'55,1" S/ 59°44'59,4" W.

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta sobre ninho de Petrel recentemente abandonado.

**Altitude:** 68 m.

**Litologia:** Basalto porfirítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Muito pedregosa.

**Rochosidade:** Muito rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Forte ondulado.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Moderadamente drenado.

**Vegetação primária:** Alga Prasiola crispa.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** 0-11(0-9/0-12) cm; preto (10YR 2/1); franco-arenosa; transição plana e clara.

**Bi** 12-30 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; moderada, pequena, granular; transição plana e clara.

**CB** 30-45 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares.

**Observações** – Muitos pedriscos em A, além de restos de ossos, penas e conchas. As conchas (raras) ocorrem em profundidade até 25 cm. Em A encontra-se material bastante rico em matéria orgânica. Em Bi e CB há bastante fibra vegetal incorporada ao solo. Em Bi há muitos matacões e calhaus.

– A estrutura em A apresenta aspecto fibroso, com formação de alguns quase grumos.

– Em um raio de 10 metros há 12 ninhos, sendo 11 ativos.



## APÊNDICE D – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 4

### PERFIL 4

**Data:** 11/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Dystric Leptic Cambisol (Humic).

**Coordenadas:** 62°26'55,4" S/ 59°44'59,1" W.

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta em local sem influência de Petrel.

**Altitude:** 43 m.

**Litologia:** Basalto porfirítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Muito pedregosa.

**Rochosidade:** Muito rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Forte ondulado.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Moderadamente drenado.

**Vegetação primária:** Musgos.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**O** 0-8 cm; preto (10YR 2/1); franco-arenosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares e granular; transição plana e clara.

**Bi** 8-28 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares e granular; transição plana e clara

**C** 28-40 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa.

**Observações** – Perfil situado em ambiente rochoso, em ponto mais elevado se comparado ao P3.

– Apresenta uma densa cobertura de musgos.

– A montante deste perfil há ninhos de Petrel. Além disso, observa-se a presença de Prasiola crispa em alguns pontos próximos ao perfil, o que pode indicar maior teor de fósforo, influenciado também pela lixiviação que ocorre dos ninhos a montante.

– Bastantes fragmentos rochosos são observados, principalmente a partir de 40 cm, onde há um estrato de fragmentos de blocos de basalto colunar fraturados, com fendilhamento.



## APÊNDICE E – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 5

### PERFIL 5

**Data:** 11/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Dystric Skeletic Leptic Regosol (Humic).

**Coordenadas:** 62°26'44,4" S/ 59°43'51,3" W.

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta em ninho de Petrel abandonado há um tempo.

**Altitude:** 71 m.

**Litologia:** Platô Basalto afanítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Muito pedregosa.

**Rochosidade:** Rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Montanhoso.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Moderadamente drenado.

**Vegetação primária:** Líquen do gênero Usnea.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** 0-9 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena e média, granular; transição plana e clara.

**Bi** 9-20 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena e média, granular; transição plana e clara.

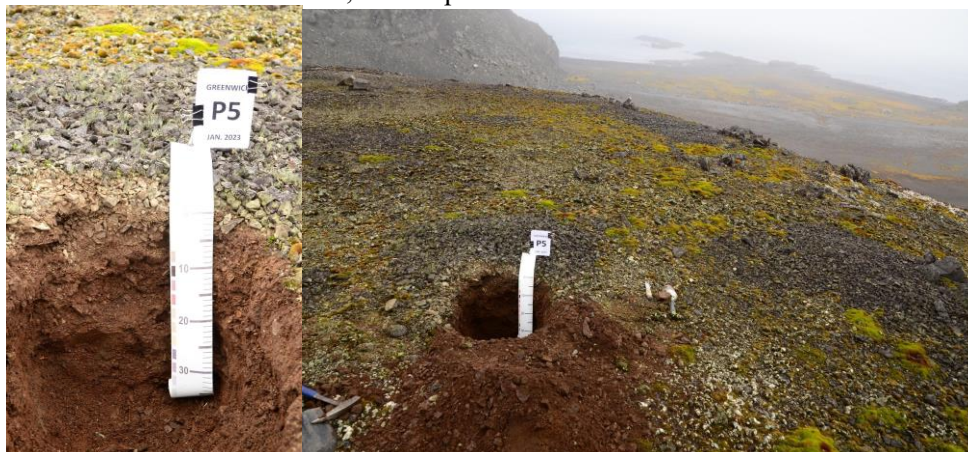
**C1** 20-29 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco-arenosa; maciça; transição plana e clara.

**CR** 29-42 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa.

**Observações** – Em A há bastantes restos de materiais do ninho. Esse horizonte é muito cascalhento e pedregoso, com calhaus e alguns matações. A coleta se deu a partir de 6 cm, em virtude da grande quantidade de pedriscos.

– Observou-se calhaus bem angulosos em CR. Nesse horizonte o material é muito arenoso com bastantes fragmentos de basalto andesítico, fragmentado por crioclastia.

– Em um raio de 10 m há 15 ninhos, sendo que somente 3 deles são ativos mais recentemente.



## APÊNDICE F – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 6

### PERFIL 6

**Data:** 11/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Dystric Skeletic Leptic Regosol (Humic).

**Coordenadas:** 62°26'44,4" S/ 59°43'51,3" W. (4 m do P5).

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta em local sem influência de Petrel.

**Altitude:** 71 m.

**Litologia:** Platô Basalto afanítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Muito pedregosa.

**Rochosidade:** Rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Montanhoso.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Moderadamente drenado.

**Vegetação primária:** Musgos.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Oo1** 0-14 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-argilo-arenosa; transição plana e clara.

**Oo2** 14-25 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-argilo-arenosa; transição plana e clara.

**Bi** 25-34 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco-arenosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares; transição plana e clara.

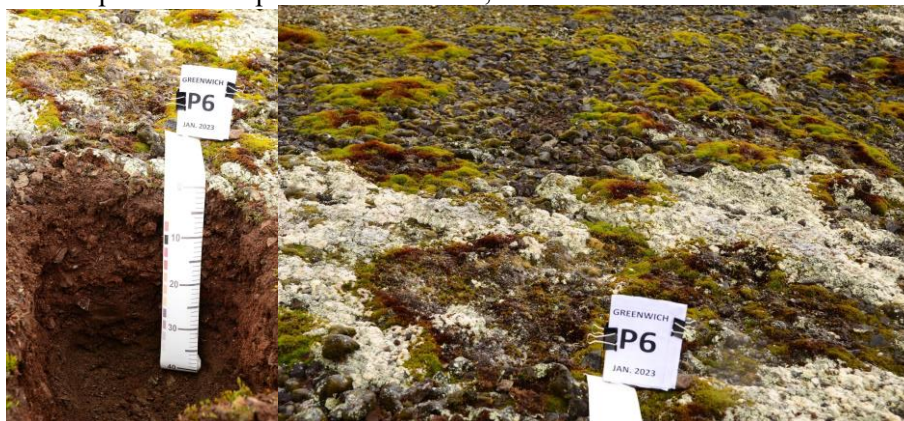
**C1** 34-40 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1); franco-arenosa; maciça; transição plana e clara.

**CR** 40-50+ cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco-arenosa.

**Observações** – Há uma cobertura densa de calhaus e musgos sobre esse perfil, com acúmulo de restos de musgos, parece que a colonização dos musgos é antiga.

– Em C1 observou-se lama esverdeada, semelhante a encontrada em P5, no fundo.

– Oo1 e Oo2 são pouco decompostos/humificados, ainda são fibrosos.



## APÊNDICE G – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 7

### PERFIL 7

**Data:** 12/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Dystric Coarsic Leptosol (Ochric).

**Coordenadas:** 62°26'55,2" S/ 59°45'06,2" W.

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta sobre ninho de Petrel recentemente abandonado.

**Altitude:** 98 m.

**Litologia:** Basalto porfirítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Pedregosa.

**Rochosidade:** Rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Montanhoso.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Moderadamente drenado.

**Vegetação primária:** Ausente.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** 0-11 cm; preto (10YR 2/1); franco-arenosa; moderada, pequena, granular; transição plana e clara.

**Bi** 11-25 cm; preto (10YR 2/1); franco-arenosa; fraca, pequena, granular.

**Observações** – Presença de Prasiola crispa ao redor do perfil.

– Os petréis parecem estar abandonando locais (ninhos) onde venta muito. Em locais abrigados, a densidade de ninhos é maior.

– Em A há muitos pedriscos, restos de penas, conchas e alguns ossos.

– Em um raio de 10 metros há 6 ninhos, sendo 5 ativos.



## APÊNDICE H – FICHA DE DESCRIÇÃO DO PERFIL 8

### PERFIL 8

**Data:** 12/01/23.

**Classificação WRB/FAO:** Eutric Leptic Cambisol (Ochric).

**Coordenadas:** 62°26'55,4" S/ 59°45'05,6" W.

**Situação e declividade:** Descrito e coletado em trincheira aberta em área sem influência de Petrel.

**Altitude:** 74 m.

**Litologia:** Basalto porfirítico.

**Formação geológica:** Formação Coppermine.

**Cronologia:** Cretáceo Superior.

**Material originário:** Rochas basálticas.

**Pedregosidade:** Muito pedregosa.

**Rochosidade:** Muito rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Montanhoso.

**Erosão:** Não aparente.

**Drenagem:** Moderadamente drenado.

**Vegetação primária:** Musgos.

**Uso atual:** Natural.

**Clima:** ET, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por:** Guilherme Resende Corrêa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** 0-11 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; moderada, pequena, granular; transição plana e clara.

**Bi** 11-33 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); franco-arenosa; fraca, pequena, granular; transição plana e clara.

**C** 33-40+ cm; bruno muito escuro (10YR 2/2); areia franca; maciça.

**Observações** – Perfil com muitos fragmentos angulosos de matacões.

– Apresenta uma densa cobertura de musgos.

