

MAYARA DAHER DE PAULA

**GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS NA PENÍNSULA
COPPERMINE (ILHA ROBERT) E ILHA BARRIENTOS, ANTÁRTICA MARÍTIMA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Paula, Mayara Daher de, 1989-
P324g Gênese e classificação de solos na península Coppermine
2015 (ilha Robert) e ilha Barrientos, Antártica marítima / Mayara
Daher de Paula. – Viçosa, MG, 2015.
ix, 73f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Ciência do solo. 2. Solos - Classificação. 3. Solos -
Análise. 4. Antártica. 5. Ilha Robert. 6. Ilha Barrientos.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
II. Título.

CDD 22. ed. 631.40989

MAYARA DAHER DE PAULA

**GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS NA PENÍNSULA
COPPERMINE (ILHA ROBERT) E ILHA BARRIENTOS, ANTÁRTICA MARÍTIMA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de fevereiro de 2015.

Bruno Araújo Furtado de Mendonça

José João Lelis Leal de Souza

Felipe Nogueira Bello Simas
(Coorientador)

Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Presidente da Banca)

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria Tereza Daher de Paula, que sempre me incentivou e me ensinou o que realmente importa na vida.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Ernesto Schaefer pelos valiosos ensinamentos e pela oportunidade de realizar este trabalho na Antártica, uma experiência acadêmica única.

Ao Vander, pela amizade, amor e carinho, por me fazer acreditar na capacidade de realizar meus sonhos.

Às minhas grandes amigas Nayhara, Ohanna, Luana e Rebecca pela amizade de sempre e por compreenderem minhas constantes ausências.

À República Jibóia Banguela pelo acolhimento e amizade.

Aos colegas de acampamento durante a Operação Antártica (2014), Prof. Carlos Schaefer (mais uma vez), Elias Neto, Andre Thomazini e Chico Petrônio pela dedicação, amizade e companheirismo.

À Karoline Delpupo pelas valorosas sugestões e correções.

Aos Professores que participaram da banca: Prof. Elpídio Filho, Prof. Bruno Mendonça, Prof. Felipe Simas e J.J. Souza, pelas valiosas contribuições, que enriqueceram o trabalho.

À Claudinha pela pronta disposição em ajudar, pela competência e amizade.

Aos amigos da Geoquímica pelo aprendizado e pela ótima convivência.

Aos funcionários do Departamento de Solos por toda ajuda no decorrer do trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, por me propiciar a estrutura para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) pelo apoio no estudo mineralógico.

À Capes pela concessão da bolsa.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	01

CAPÍTULO 1

Gênese e classificação de solos da península Coppermine (ilha Robert), Antártica marítima

RESUMO	05
1. INTRODUÇÃO	07
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1. Caracterização da área de estudo	10
2.2. Trabalho de campo, coleta e preparo das amostras	11
2.3. Determinações laboratoriais: análises físicas, químicas e mineralógicas	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1. Caracterização geral do solos	15
3.2. Solos dos terraços marinhos (Perfis 5 e 7)	29
3.3. Solos das encostas basálticas (terço médio) (Perfil 11)	32
3.4. Solos de topo de crista basáltica (Perfis 1, 3 e 10)	32
3.5. Solos de fundo de vale entre crista basáltica (Perfis 2 e 12)	34
3.6. Solos nos <i>felsenmeer</i> (Perfis 4, 6 e 8 e 9)	35
3.7. Material coletado de 0-5 cm	37
4. CONCLUSÕES	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

CAPÍTULO 2

Solos ornitogênicos da ilha Barrientos, Antártica marítima

RESUMO	44
1. INTRODUÇÃO	46
2. MATERIAL E MÉTODOS	48

2.1. Caracterização da área de estudo	48
2.2. Trabalho de campo, coleta e preparo das amostras	49
2.3. Determinações laboratoriais: análises físicas, químicas, mineralógicas e microanálise em seções finas	50
3. RESULTADOS	53
3.1. Caracterização geral dos solos na topossequência	53
4. DISCUSSÃO.....	63
5. CONCLUSÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
CONCLUSÕES GERAIS	74

RESUMO

DAHER, Mayara de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Gênese e classificação de solos na península Coppermine (ilha Robert) e ilha Barrientos, Antártica marítima.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Felipe Nogueira Bello Simas.

A península Coppermine e a ilha Barrientos se localizam ao longo do arquipélago das Shetland do Sul, na Antártica marítima. As rochas encontradas nestes dois locais são formadas por lavas de olivina-basalto, do Cretáceo Superior. A olivina cristaliza-se primeiro, deixando um magma mais pobre em sílica e mais rico em ferro e magnésio, enquanto as demais rochas ígneas de origem vulcânica entre as ilhas Rei George e Low são em sua maioria, constituídas de andesitos, mais ricos em sílica e pobres em ferro. Considerando essa particularidade litológica foi proposta uma unidade litoestratigráfica separada: a “Formação Coppermine”. Nesse contexto, este é o primeiro trabalho pedológico realizado na “Formação Coppermine”, ou seja, em áreas onde predominam basaltos ricos em olivina. Os objetivos deste trabalho são estudar as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos desenvolvidos sob lava olivina-basalto na península Coppermine (ilha Robert); e verificar a influência da ornitogênese na formação de solos vulcânicos mais antigos da ilha Barrientos. Para tanto, foram realizados estudos de gênese dos solos desenvolvidos de olivina-basalto e processos pedológicos no contexto de vulcanismo antigo na Antártica marítima, e sua influência nos ecossistemas terrestres. Além disso, classificou-se tais solos pelos sistemas de classificação *Soil Taxonomy* e WRB/FAO. As amostras foram coletadas em perfis, submetidas a análises físicas e químicas de rotina. Amostras selecionadas foram submetidas a extrações químicas com oxalato de amônio, pirofosfato de sódio e ditionito-citrato-bicarbonato, difração de raios-X e microanálises em seções finas. A maioria dos solos não apresentaram *permafrost* dentro dos 100 cm, sendo, portanto classificados como Entisols e Inceptisols (*Soil Taxonomy*)

e Leptosols e Cambisols (WRB/FAO). A textura dos solos é grosseira, tendo a TFSA composta principalmente por areia, seguida por silte, sendo a classe textural franco-arenosa predominante. Os elevados teores de Na e K são atribuídos aos *sprays* salinos associados às feições geomórficas e aos ventos predominantes. A saturação por bases é elevada na maior parte dos solos (>50%), refletindo a litologia basáltica, com teores de Mg mais elevados que os de Ca. Na península Coppermine, os teores de fósforo extraível por Mehlich-1 são mais elevados nas áreas sob influência ornitogênica mais atual. A mineralogia da fração argila é composta basicamente por minerais 2:1 e plagioclásios. As propriedades dos solos como classe textural, cor, pH, carbono orgânico total, soma de bases e mineralogia são bem homogêneas entre si, reflexo do material de origem mais uniforme ao longo de toda a península. Entretanto, a variação de algumas propriedades pode ser atribuída principalmente à diferenciação do relevo. A influência da nidificação, apesar de representar importante fonte de nutrientes para os solos, assumem importância secundária como fonte de fosfatização. Na ilha Barrientos, porém, todos os solos possuem algum grau de ornitogênese, com valores de P (Mehlich-1) diferenciados sob influência da atividade de petréis ou pinguins. Os teores de P (Mehlich-1) são menores na ilha Barrientos quando comparado a outras áreas da Antártica marítima, reflexo da menor população de aves atual. A presença de strengita na fração argila dos solos da ilha Barrientos está fortemente relacionada ao material de origem, bem mais rico em Fe que os andesitos das demais Ilhas Shetland do Sul.

ABSTRACT

DAHER, Mayara de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2015. **Genesis and soil classification in Coppermine Peninsula (Robert Island) and Barrientos Island, maritime Antarctic.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Co-adviser: Felipe Nogueira Bello Simas.

The Coppermine Peninsula and the Barrientos Island are located along the South Shetland Archipelago in the Maritime Antarctic. The outcrops that cover these regions are formed by olivine basalt lava, from the Upper Cretaceous. The olivine crystallizes first, resulting in a magma poorer in silica and richer in iron and magnesium, while the other igneous rocks of volcanic origin between King George and Low islands are mostly composed of andesites, richer in silica and poorer in iron. Considering this lithological peculiarity, a separated lithostratigraphic unit was proposed: the "Coppermine Formation". In this context, this is the first pedological study in "Coppermine Formation", that is to say, in areas dominated by basalts rich in olivine. The objectives of this work were to study the physical, chemical and mineralogical characteristics of the soils developed under the olivine basalt lava on Coppermine Peninsula (Robert Island); and to verify the ornithogenic influence in the formation of the oldest volcanic soils on Barrientos Island. Therefore, were conducted genesis studies of the basalt-olivine developed soils and pedological processes in the context of ancient volcanism in maritime Antarctica, and its influence on terrestrial ecosystems. Also, these soils were classified according to the Soil Taxonomy and WRB/FAO classification systems. The samples were subjected to routine physical and chemical analysis. Selected samples were subjected to chemical extractions with ammonium oxalate, sodium pyrophosphate and dithionite-citrate-bicarbonate, X-ray diffraction and microanalysis on thin sections. Most soils did not show permafrost within 100 cm, thereby classified as Entisols and Inceptisols (Soil Taxonomy) and Leptosols and Cambisols (WRB/FAO). The soils have a

coarse texture (sandy loam), and the high levels of Na and K are attributed to the influence of the saline sprays associated with geomorphic features and the strong winds. The base saturation is mostly high, reflecting the basaltic lithology, with Mg contents more elevated than the Ca ones. In Coppermine Peninsula, extractable P (Melich-1) are higher on areas under the most current ornithogenic influence. The clay fraction is composed mainly by 2:1 minerals and plagioclase. The soil properties such as texture class, color, pH, total organic carbon, the sum of bases and mineralogy are homogeneous with each other, reflection of the more uniform distribution of the parent material alongside the Peninsula. However, the variation of some soil characteristics can be attributed mainly to the relief differentiation. The nesting influence, despite representing an important source of nutrients for the soil, assumes secondary importance as a source of phosphatization. On Barrientos Island, however, all soils have some ornithogenic influence, with levels of P (Melich-1) differentiated under the influence of petrels or penguins activity. The levels of P (Melich-1) are lower on Barrientos Island compared to other areas of Maritime Antarctica, reflecting the lower current bird population. The presence of strengita in the clay fraction of Barrientos Island soil is strongly related to the parent material, much richer in Fe than the andesites of the other South Shetland Islands.

INTRODUÇÃO GERAL

A formação de solos na Antártica está restrita a aproximadamente 0,35 % do continente (45.000 km²) (Campbell e Claridge, 1987; Turner et al., 2008). O continente antártico representa um ambiente peculiar para formação de solos e reúne características únicas para o estudo de muitos processos pedogenéticos, alguns dos quais possuem características atípicas (Campbell e Claridge, 1987).

Devido ao grande isolamento geográfico e as condições climáticas extremas, o continente antártico é o mais intocado e menos estudado do planeta (Simas, 2006). Nesse contexto, os solos antárticos, são de grande interesse científico, pois representam o resultado da interação de fatores de formação do solo em condições únicas no planeta, importante não só para o entendimento do ecossistema Antártico, mas também para a melhor compreensão da formação de solos em outras regiões do planeta (Simas, 2006).

Além disso, a pesquisa de solos de regiões geladas é considerada uma das mais estratégicas para se entender o efeito das mudanças climáticas. A forma como os solos da região respondem ao aumento de temperatura pode ser uma das chaves para traçar um cenário de como o planeta vai se comportar no futuro próximo.

O que ocorre nas regiões polares tem repercussão direta no equilíbrio climático do planeta. Os polos, devido às suas baixas temperaturas, são responsáveis por manter o clima global ameno. Por isso, mesmo alterações aparentemente pequenas nos ambientes polares podem ter consequências generalizadas, rompendo com o equilíbrio climático. Portanto, os solos são extremamente importantes do ponto de vista ambiental, e mostram grande fragilidade frente às mudanças de temperatura.

Na última década, pesquisadores brasileiros (Simas *et al.*, 2006; Michel *et al.*, 2006; Schaefer *et al.*, 2007; Francelino *et al.*, 2011; Moura *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2014) têm contribuído intensamente para o mapeamento, compreensão e monitoramento dos solos e ecossistemas terrestres na Antártica marítima através do Projeto Terrantar, vinculado ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT), que é parte da Rede de Pesquisas do PROANTAR (CNPq/MMA/Marinha do Brasil). Os trabalhos do Terrantar se iniciaram na Baía do Almirantado - ilha Rei George, onde estava localizada a Estação Antártica Comandante Ferraz, destruída em um incêndio em fevereiro de 2012. Da Baía do

Almirantado, as pesquisas de solos foram se expandindo ao longo das Ilhas Shetland do Sul e península Antártica.

O arquipélago das Shetland do Sul são parte da Antártica marítima, localizado a noroeste da península Antártica, composto por 29 ilhas, divididas em duas partes distintas geográfica e geologicamente. Nas ilhas Elephant e Clarence predominam rochas metamórficas de baixo grau, e entre as ilhas Rei George e Low predominam rochas ígneas de origem vulcânica, estando separadas do primeiro grupo por um intervalo de 120 km (Smellie *et al.*, 1984).

Smellie *et al.* (1984) propuseram uma unidade litoestratigráfica separada para os afloramentos que englobam o nordeste da ilha Livingston e o norte da ilha Greenwich e ilha Robert, ambos do Cretáceo Superior e formados por rochas de olivina-basalto, a “Formação Coppermine”. Neste contexto, este é o primeiro trabalho pedológico realizado na “Formação Coppermine”, ou seja, em áreas onde predominam basaltos ricos em olivina.

O presente estudo é composto por dois capítulos, no primeiro capítulo objetivou-se de forma geral estudar as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos desenvolvidos sob olivina-basalto na península Coppermine (ilha Robert). E no segundo capítulo, o objetivo foi verificar a influência da ornitogênese na formação de solos da ilha Barrientos. Para tanto, foram realizados estudos de gênese de solos sob olivina-basalto; além disso, classificou-se tais solos pelos sistemas de classificação *Soil Taxonomy* e WRB/FAO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bockheim, J.G., Tarnocai, C., 1998. Recognition of Cryoturbation for Classifying Permafrost-affected Soils. *Geoderma* 81, 281-293.
- Campbell, I.B. e Claridge, G.G.C., 1987. *Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment*. Elsevier, Amsterdam (368 pp.).
- Francelino, M.R., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Fernandes Filho, E.I., Souza, J.J.L.L., Costa, L.M., 2011. Geomorphology and soils distribution under periglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Catena* 85, 45–52.

- French, H.M., 2007. *The Periglacial Environment*. 3 ed. Longman, Harlow, England (458 pp.).
- IUSS Working Group WRB, 2006. *World Reference Base for Soil Resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. Rome: FAO.
- Michel, R.F.M., Schaefer, C.E.G.R., Dias, L.E., Simas, F.N.B., Benites, V., Mendonça, E.S., 2006. Ornithogenic gelifols (cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1370-1376.
- Moura, P.A., Francelino, M.R., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Mendonça, B.A.F., 2012. Distribution and characterization of soils and landform relationships in Byers Peninsula, Livingston Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology* 155–156, 45-54.
- Pereira, T.T.C., Schaefer, C.E.G.R., Ker, J.C., Almeida, C.C., Almeida, I.C.C., Pereira, A.B., 2013. Genesis, mineralogy and ecological significance of ornithogenic soils from a semi-desert polar landscape at Hope Bay, Antarctic Peninsula. *Geoderma*, 209-210, 98-109.
- Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Gilkes, R.J., Mathison, C., Costa, L.M., 2007. Micromorphology and microchemistry of Cryosols from Maritime Antarctica. *Geoderma* 144, 104-115.
- Simas, F.N.B., 2006. *Solos da Baía do Almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Melo, V.F., Guerra, M.B.B., Saunders, M., Gilkes, R.J., 2006. Clay-sized minerals in permafrost-affected soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. *Clays Clay Miner.* 54, 721-736.
- Smellie, J.L., Pankhurst, R.J., Thomson, M.R.A., Davies, R.E.S., 1984. The geology of the South Shetland Islands: VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution. *Brit. Antarct. Surv. Sci. Repts.*, 87, 1-85.
- Soil Survey Staff, 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11 ed. Washington, DC, USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Souza, K.K.D., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Spinola, D.N., Paula, M.D., 2014. Soil formation in Seymour Island, Weddell Sea, Antarctica. *Geomorphology* 255, 87-99.
- Tarnocai, C., 2004. Cryosols of Arctic Canada. In: Kimble, J.M. Ed. *Cryosols: Permafrost-Affected Soils*. Berlin: Springer-Verlag, 95-119.

- Tatur, A., 2002. Ornithogenic Ecosystems in the Maritime Antarctic – Formation, Development and Disintegration. In: Beyer, L.; Bölter, M. (Eds.). *Geocology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscape*. Ecological Studies. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 154, 161-184.
- Tatur, A.; Myrcha, A., 1989. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 2, 181-189.
- Turner, J; Convey, P.; di Prisco, G.; Mayewski, P.; Hodgson, D., Fahrbach, E.; Bindschadler, R.; Summerhayes, C., 2008. *Antarctic Climate Change and the Environment*, Scientific Committee Antarctic Resource (SCAR).

CAPÍTULO 1
GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DA PENÍNSULA
COPPERMINE (ILHA ROBERT), ANTÁRTICA MARÍTIMA

RESUMO

Daher, Mayara de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Gênese e classificação de solos da península Coppermine (ilha Robert), Antártica marítima.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Felipe Nogueira Bello Simas. Cap. 1 (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

Embora existam diversos estudos recentes em solos da Antártica marítima, esses se concentram em áreas onde predominam rochas andesíticas, mais ricas em sílica, e pobres em ferro. Este é o primeiro trabalho pedológico realizado em áreas de basaltos ricos em olivina, mais pobre em sílica, e mais rico em ferro e magnésio. Os objetivos do presente estudo são identificar e analisar fatores e processos pedogenéticos envolvidos na formação dos solos sob olivina-basalto na península Coppermine (ilha Robert), Antártica marítima. Para tanto, realizou-se a caracterização física, química e mineralógica de 12 perfis de solos, que foram classificados de acordo com os sistemas de classificação *Soil Taxonomy* e WRB/FAO. Dos 12 perfis coletados, apenas dois deles possuem permafrost dentro dos 100 cm, sendo, portanto, os perfis 2 e 12 enquadrados como *Gelisols* pela Soil Taxonomy (SSS, 2010) e *Cryosols* pela World Reference Base for Soil Resources (IUSS, 2006), enquanto os demais perfis não possuem permafrost dentro da seção de controle, sendo, por outro lado, classificados como *Entisols* e *Inceptisols* (Soil Taxonomy) e *Leptosols* e *Cambisols* (WRB/FAO) (Tabela 1). A fração areia corresponde a cerca de 70 % do conteúdo de partículas <2 mm, sendo predominante a classe textural franco-arenosa. A saturação por bases é elevada na maior parte dos solos (>50 %), refletindo a litologia basáltica, com teores de Mg mais elevados que os de Ca. Os teores de carbono orgânico total são baixos na maior parte dos solos e não ultrapassam 1,00 dag/kg, exceto para os perfis em que os valores de P foram mais altos, indicando influência ornitogênica recente. Os valores de pH em NaF indicam presença de minerais de baixa cristalinidade na maior parte dos perfis. A relação Fe_o/Fe_{dcb} é alta, indicando que o Fe está presente

principalmente nas formas menos cristalinas. A mineralogia da fração argila é composta basicamente por minerais 2:1 e plagioclásios. A variação de algumas propriedades dos solos é atribuída principalmente à diferenciação do relevo. A influência da nidação, apesar de representar importante fonte de nutrientes para os solos, assume importância secundária como fonte de fosfatização.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes periglaciais podem ser definidos como aqueles onde predominam processos intempéricos relacionados a ação do gelo e presença de *permafrost*, o que engloba regiões de elevada altitude e/ou latitude (French, 2007). Dois critérios são considerados diagnósticos de ambientes periglaciais. O primeiro é o congelamento e descongelamento do solo, e o segundo é a presença de solo permanentemente congelado, ou *permafrost* (French, 2007).

Estima-se que atualmente 25 % da superfície terrestre está sob condições periglaciais (French, 2007). Existe todo tipo de graduação, desde ambientes onde processos relacionados ao congelamento dominam até aqueles onde sua ação é secundária. Mas há complicadores, como por exemplo, a maior susceptibilidade de algumas litologias à ação do gelo, e, portanto, maior predisposição à modificação da paisagem periglacial (French, 2007). Os ecossistemas terrestres da Antártica constituem paisagens essencialmente periglaciais.

Na Antártica, em consequência de longos períodos de inverno intercalados por verões amenos, ocorre a formação de uma camada permanentemente congelada denominada *permafrost*. O *permafrost* é definido como uma condição em que o material (solo, rocha, sedimento ou material orgânico) permanece com temperatura igual ou inferior a 0 °C durante pelo menos dois anos consecutivos (Muller, 1943; van Everdingen, 1998; Bockheim, 2014).

A presença de gelo pode ou não estar presente, uma vez que são encontrados *permafrost* “secos” nas regiões mais frias e secas da Antártica (Bockheim, 2014). Além disso, nem todo *permafrost* está necessariamente congelado, pois o ponto de congelamento da água pode ser reduzido a vários graus abaixo de 0 °C devido à presença de sais minerais e de pressão (French, 2007).

O *permafrost* é muito sensível às variações climáticas, e por ser um fenômeno térmico, é difícil avaliá-lo na superfície do solo, pois fica abaixo de uma camada que sofre congelamentos e descongelamentos sazonais, com temperaturas acima de 0 °C, denominada camada ativa (French, 2007).

A camada ativa (*active layer*) refere-se à camada do solo sobrejacente ao *permafrost* que está sujeita ao degelo durante o verão (French, 2007). Pode ocorrer

congelamento da camada ativa anualmente, como por exemplo, nas regiões periglaciais e polares, ou diariamente, como em muitas regiões temperadas.

A espessura da camada ativa está ligada com a latitude e altitude, quanto maiores, menor será a espessura desta camada (French, 2007). A espessura também está relacionada a outros fatores como a presença de vegetação, a intensidade do frio e o tipo de solo, e pode ser estimada através das medições diárias da temperatura do solo (Campbell e Claridge, 1987; van Everdingen, 1998; French, 2007).

Os solos afetados por *permafrost* dentro dos 100 cm; ou os solos com presença de *permafrost* dentro dos 200 cm e materiais gélidos dentro dos 100 cm, são denominados *Gelisols* (*Soil Taxonomy*) e *Cryosols* (WRB/FAO). Os materiais gélidos são materiais de solos minerais ou orgânicos que apresentem evidência de crioturbação e/ou segregação de gelo na camada ativa e/ou na parte superior do *permafrost*.

A crioturbação é todo movimento de solo causado pela ação do congelamento e descongelamento e um importante processo de formação dos solos da Antártica marítima. Esta é evidenciada pela presença de horizontes irregulares ou quebrados, orientação vertical das rochas dentro do perfil e movimentação e acúmulo de matéria orgânica sobre a superfície do *permafrost* (SSS, 2010).

Na Antártica marítima a maior umidade, luminosidade e temperatura favorecem os processos de hidrólise dos minerais e lixiviação de bases. Além da colonização por coberturas vegetais mais densas e diversas e maior presença de atividades de aves, resultando em alterações físico-químicas dos solos reconhecidamente distintas da maior parte do continente antártico (Campbell e Claridge, 1987; Albuquerque-Filho, 2005; Simas *et al.*, 2006).

Embora existam diversos estudos recentes em solos da Antártica marítima, esses estudos se concentram em áreas onde predominam basaltos andesíticos, ou seja, substratos mais félsicos. Como os solos encontrados na península Keller (Souza, 2012) e Baía do Almirantado (Simas *et al.*, 2008), ambos na ilha Rei George, Antártica marítima. Simas *et al.* (2007) sugerem uma atuação mais forte do intemperismo químico que o previsto nessas regiões, especialmente nos solos tiomórficos e ornitogênicos.

A formação de solos ácidos derivados de sedimentos contendo sulfetos ocorre através do processo de sulfurização, quando materiais que contenham sulfetos são expostos a condições oxidantes (Fanning e Fanning, 1989). A presença de sulfetos garante a aceleração do intemperismo químico e como consequência, rochas e outros minerais não sulfetados são dissolvidos pelo regime ácido instalado, precipitando em formas secundárias (Dent, 1986).

Enquanto que a deposição de material orgânico originário da presença e atividade de aves também impulsiona o intemperismo químico e acentua a formação do solo (Simas *et al.*, 2007). A ocorrência de avifauna favorece a biodiversidade e a disponibilidade de nutrientes em alguns locais, proporcionando a formação de solos ornitogênicos (Tatur e Myrcha, 1989; Tatur e Myrcha, 1993). Além dos pinguins, outras aves como as skuas, petréis e gaivotões também contribuem para o processo de ornitogênese. Nestes solos observa-se a ocorrência de diversos minerais de argila fosfatados incomuns em solos de outros ambientes naturais do planeta (Tatur e Myrcha, 1993; Sun *et al.*, 2002).

Neste contexto, este é o primeiro trabalho pedológico realizado em áreas onde predominam substratos mais máficos (basaltos ricos em olivina), mais pobre em sílica, e mais rico em ferro e magnésio.

Assim, os objetivos do presente trabalho foram identificar e analisar fatores os processos pedogenéticos envolvidos na formação dos solos sob olivina-basalto na península Coppermine (ilha Robert), Antártica marítima através da caracterização física, química e mineralógica dos solos; e classificar tais solos de acordo com os sistemas de classificação *Soil Taxonomy* e WRB/FAO.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A península Coppermine (62°22'05" - 62°23'27" S e 59°40'47" - 59°43'35" W) está situada a noroeste da ilha Robert, entre a ilha Nelson, a leste, e a ilha Greenwich, a oeste, ao longo do arquipélago das Shetland do Sul (Figura 1). Apresenta dimensões aproximadas de 1,7 km no sentido SE-NO e 0,6 km de largura máxima no sentido NE-SO.

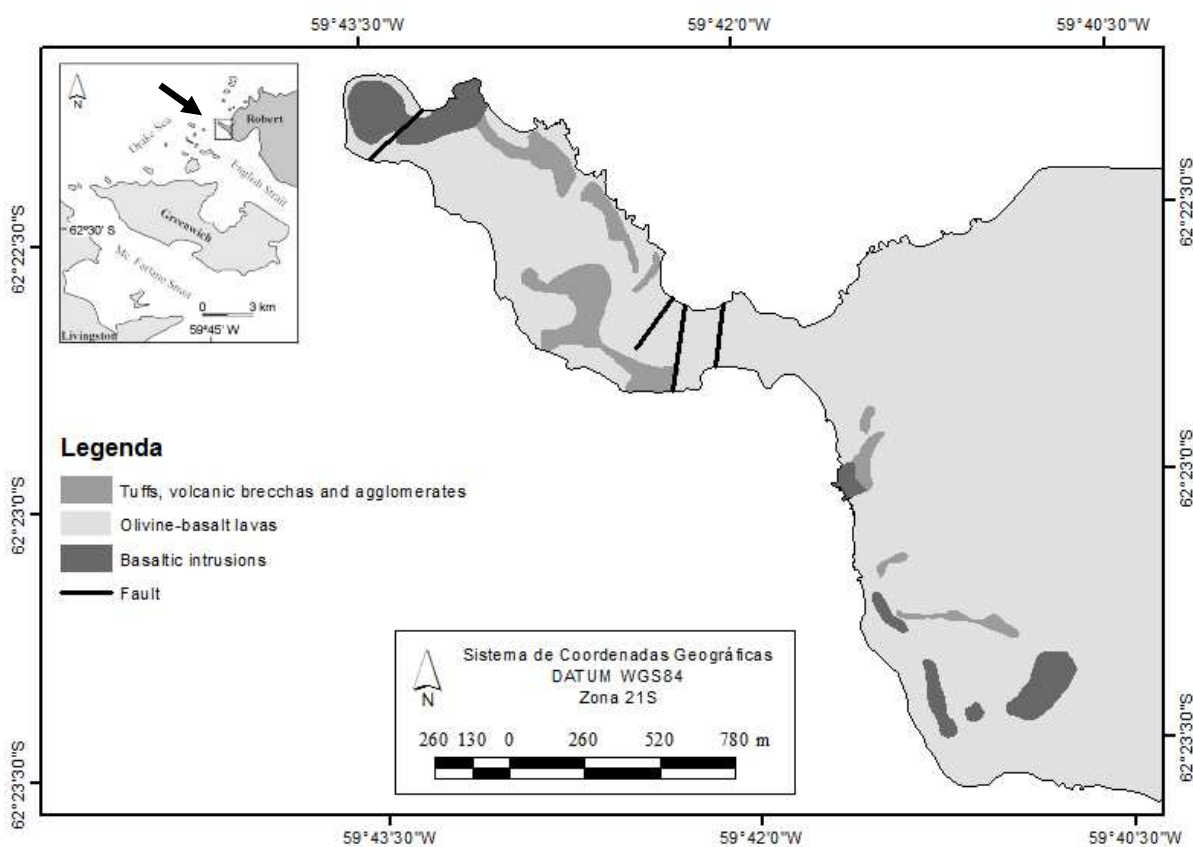


Figura 1. Localização e geologia da península Coppermine, ilha Robert, Antártica marítima.

Fonte: Adaptado de Smellie *et al.* (1984).

A área é formada por terraços marinhos e rochas ígneas vulcânicas, compostas principalmente por basalto bem escuro, rico em olivina, datações realizadas com K-Ar sugerem idade do Cretáceo Superior ($83-78 \pm 2$ Ma) (Smellie *et al.*, 1984) (Figura 1).

A península Coppermine possui uma ampla gama de comunidades vegetais, associadas com a fauna de invertebrados e vertebrados. Por isso, em 2002, foi

reconhecida como Área Antártica Especialmente Protegida (AAEP), o mais alto nível de proteção disponível sob os termos do Tratado Antártico.

A área possui um extenso tapete de musgos, o mais extenso de todas as Ilhas Shetland do Sul, segundo Bustamante *et al.* (1987). No local das colônias de aves, o petrel gigante, com aproximadamente 30 pequenas colônias, são os principais responsáveis pelo processo de nidificação. Há também colônias de gaivotões, skuas e elefantes marinhos (Pefaur e Murúa, 1972).

Não há dados climáticos do local, mas o clima é assumido como sendo semelhante à ilha Greenwich, onde localiza-se a Estação Equatorial Pedro Vicente Maldonado. A temperatura média durante o verão varia entre -2 e +2 °C, com precipitação média anual de aproximadamente 600 mm (IAATO, 2011).

2.2. Trabalho de campo, coleta e preparo das amostras

As amostras de solo foram coletadas nas áreas livres de gelo da península Coppermine durante a Operação Antártica XXXII no mês de fevereiro de 2014, com o apoio logístico da Marinha do Brasil.

Em campo, foram descritos e amostrados 12 perfis de solo, seguindo recomendações de Bockheim *et al.* (2006). Os perfis foram abertos de maneira a representar os diferentes pedoambientes e níveis topográficos. Além desses perfis, duas amostras de materiais de 0-5 cm em ninhais de petrel e pinguim foram coletadas. Os perfis e os dois materiais de 0-5 cm tiveram sua localização geográfica determinada por meio de GPS Garmim III permitindo a plotagem dos pontos sobre a imagem de satélite da área (Figura 2).

Os solos foram classificados de acordo com a Base Internacional de Referência para os Recursos do Solo (*IUSS Working Group WRB*, 2006) e pelo *Soil Taxonomy* (*Soil Survey Staff*, 2010).

As amostras foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para a confecção da terra fina seca ao ar (TFSA) para as determinações laboratoriais.

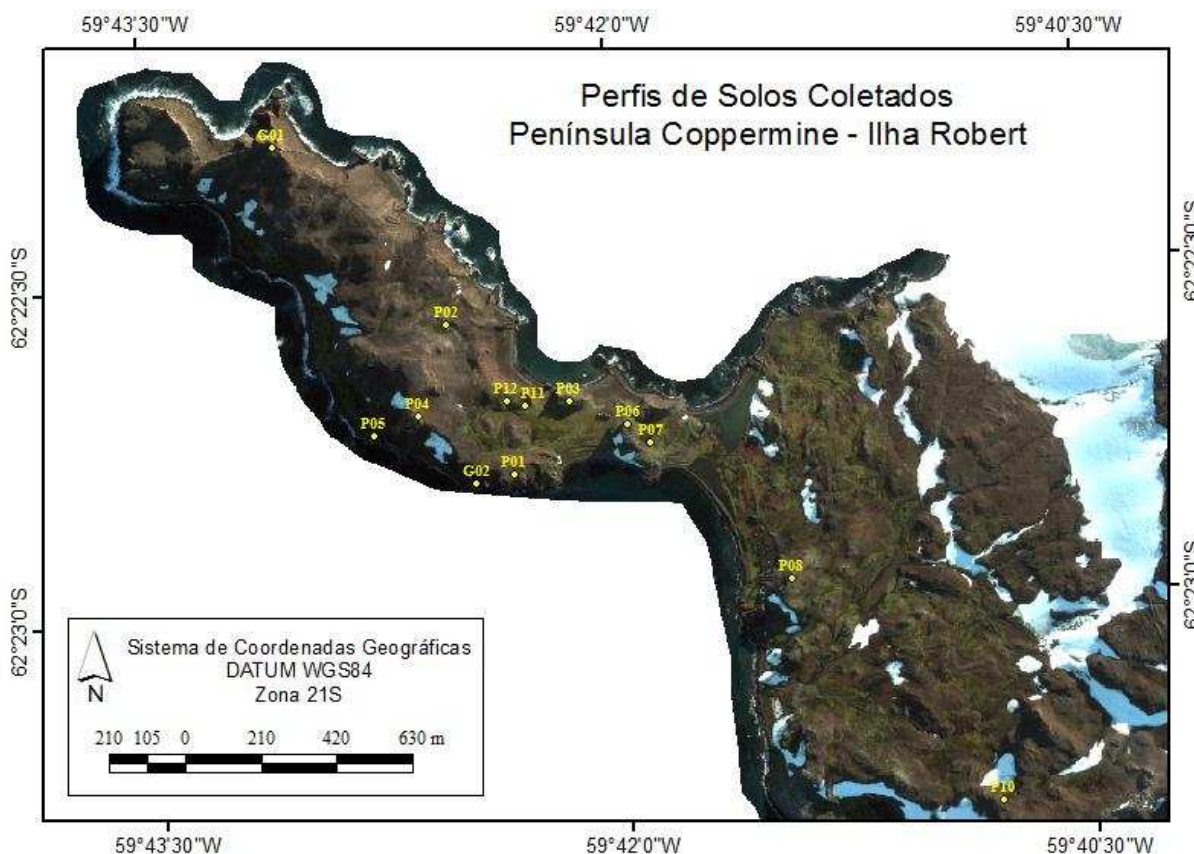


Figura 2. Localização geográfica dos 12 perfis de solos (P01 – P12) e duas amostras de material de 0-5 cm (G01 e G02) coletados na península Coppermine.

2.3. Determinações laboratoriais: análises físicas, químicas e mineralógicas

Através da amostra integral coletada, foi determinada a porcentagem de cascalho para cada horizonte. Para tanto, o material foi pesado, tamisado em peneira de 2,0 mm de malha e a porção retida na peneira foi novamente pesada para determinação da porcentagem de cascalho.

A textura do solo foi determinada utilizando dispersão mecânica lenta em água destilada (pH 10), através do peneiramento e pesagem para as frações areia grossa e areia fina, e a sedimentação, para as frações silte e argila (Ruiz, 2005).

A cor do solo úmido foi determinada em laboratório em função das dificuldades encontradas em campo, posteriormente foi determinada a cor do solo seco, ambas utilizando a caderneta de Münsell (1990).

O pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹ foram determinados na suspensão solo:solução 1:2,5. O pH em NaF 1 mol L⁻¹ foi determinado na proporção 1:50 (SSSA, 1996). Para determinação de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foi usado o KCl 1 mol L⁻¹

como extrator e o espectrofotômetro de absorção atômica para quantificação do Ca^{2+} e Mg^{2+} e tituometria para quantificação do Al^{3+} . Os elementos P, Na^+ e K^+ , Cu, Mn, Fe, Zn e Ni foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ (dupla diluição) e H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹ (Mehlich-1). O P disponível foi quantificado por espectrofotômetro, e o K^+ , Na^+ , Cu, Mn, Fe, Zn e Ni por fotômetro de chama.

A acidez potencial (H + Al) foi determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ após extração com $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO}_2)$ 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 (EMBRAPA, 1997). O P remanescente (P- rem) foi obtido em amostra de TFSA com CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação solo:extrator de 1:10, segundo Alvarez e Fonseca (1990) e, determinado nos extratos segundo Murphy e Riley (1962).

O método de destilação por Kjeldahl (EMBRAPA, 1997) foi usado para determinação de N total. O Carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação via úmida de acordo com o método proposto por Yeomans e Bremner (1988).

A partir dos resultados obtidos, foi possível o cálculo dos seguintes índices: soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), capacidade de troca catiônica efetiva no pH do solo (t), índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Para a caracterização mineralógica das frações argila, silte e areia foram selecionados horizontes representativos de cada perfil e amostras de TFSA foram agitadas por 16 horas com água deionizada. A fração areia foi separada por peneiramento, as frações silte e argila foram separadas por centrifugação usando solução de Na_2CO_3 ajustada a pH 9,5 como dispersante químico (Jackson, 2005).

A identificação dos minerais presentes foi realizada na linha de Difração de Raios-X em Policristais (XPD), no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas. A difração com luz Síncrotron foi realizada no intervalo entre 2 a 80 °2θ, a temperatura ambiente, cujo o comprimento de onda utilizado foi de $\lambda = 1,771200 \text{ \AA}$. A interpretação dos difratogramas de raios-X foram baseadas nas tabelas propostas por Chen (1977) e por Downs e Hall-Wallace (2003) através do site *American Mineralogist Crystal Structure Database*, da base disponibilizada pela *Mineralogical Society of America*.

Os óxidos de Fe e Al pedogênicos (Fe_{dcb} e Al_{dcb}) foram extraídos da TFSA com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra e Jackson, 1960), em extrações

sequenciais até a descoloração das amostras. Para a análise das formas de Fe e Al menos cristalinas (Fe_o e Al_o), utilizou-se oxalato de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 3,0, na ausência de luz (McKeague e Day, 1966). O Fe e Al (Fe_p e Al_p) ligados à matéria orgânica do solo foram extraídos por pirofosfato de sódio segundo metodologia proposta de McKeague (1967). A determinação do Fe e Al nos extratos foi feita por espectrometria de absorção atômica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização geral dos solos

A presença de *permafrost* foi visível apenas em alguns bolsões descontínuos nos locais mais protegidos, como nos fundos de vale entre cristas basálticas, ao norte da península e em áreas abaixo de camadas de neve. Dos 12 perfis coletados, apenas dois deles possuem *permafrost* dentro dos 100 cm, sendo, portanto, os perfis 2 e 12 enquadrados como *Gelisols* pela Soil Taxonomy (SSS, 2010) e *Cryosols* pela World Reference Base for Soil Resources (IUSS, 2006), enquanto os demais perfis não possuem *permafrost* dentro da seção de controle, sendo, por outro lado, classificados como *Entisols e Inceptisols* (Soil Taxonomy) e *Leptosols e Cambisols* (WRB/FAO) (Tabela 1).

Os solos apresentam feições de crioturbação na maioria dos perfis, evidenciado pela presença de horizontes irregulares ou quebrados e fragmentos de rochas orientados. Além disso, como em outras áreas da Antártica marítima há incremento de partículas finas (silte + argila) em profundidade, segundo Campbell e Claridge (1987); Navas *et al.* (2008); Simas *et al.* (2008), em solos onde ocorre crioturbação existe uma seleção de material ao longo do perfil, havendo translocação de partículas finas em profundidade, embora a ablação eólica também possa favorecer a acumulação residual de fragmentos grosseiros em superfície.

Embora a ocorrência de crioturbação seja comum em toda a península, não há formação de solos com padrões (*patterned ground*), comportamento atípico se comparado a outras áreas da Antártica descritas por Bockheim e Tarnocai (1998), Tarnocai *et al.* (2004), Michel *et al.* (2006), Simas *et al.* (2008), Francelino *et al.* (2011) e Michel *et al.* (2014), sugerindo alguma influência do material de origem para esse comportamento. O material de origem, predominantemente basalto rico em olivina, é muito escuro, e influencia também no albedo e na irradiação solar, com consequente alteração na taxa de aquecimento e descongelamento da neve. Comportamento semelhante foi observado por Campbell e Claridge (1987), em solos de Taylor Valley, na região dos Vales Secos da Antártica.

Tabela 1. Localização e classificação dos perfis de solo amostrados.

Perfil	Altitude ¹ m	Posição Geográfica ²	Classificação		Descrição Geral
			Soil Taxonomy	WRB/FAO	
Terraços Marinheiros					
5	0	62,378800 S 59,712983 W	Aquic Cryorthents	Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletal)	Perfil descrito em terraço marinho atual, anteriormente um lago raso proglacial. Perfil mal drenado, com feições de hidromorfismo e cobertura vegetal sem alteração por erosão nival. Cobertura contínua de musgos (<i>Calliergidium austrostramineum</i>) macios e esponjosos. Há apenas presença ocasional de skuas e pinguins
7	17	62,379261 S 59,698181 W	"Ornithogenic" Aquic Cryorthents	Haplic Leptosol (Gelic, Ornithic, Skeletal)	Perfil descrito em terraço marinho mais antigo. Perfil moderadamente drenado e cobertura vegetal alterada por erosão nival e eólica. Cobertura mista de musgos (<i>Sanionia</i> , <i>Calliergidium</i> e <i>Polytrichum</i>). Há populações de elefantes marinhos.
Encostas basálticas (terço médio)					
11	29	62,378200 S 59,704817 W	"Ornithogenic" Typic Cryorthents	Haplic Leptosol (Ornithic, Gelic, Eutric)	Perfil descrito em terço médio de encosta de crista basáltica. Perfil bem drenado e cobertura vegetal de musgos e líquens, ligeiramente alterada por erosão nival. Há influência ornitogênica atual de petrel.
Topo de crista basáltica					
1	36	62,379917 S 59,705583 W	"Ornithogenic" Typic Haplocrypts	Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic, Eutric)	Perfil descrito em topo de crista com relevo suave ondulado. Perfil bem drenado e vegetação alterada pela erosão (solifluxão), mas há cobertura de líquens e musgos com composição mista de <i>Usnea</i> e <i>Ochrolechia</i> .
3	31	62,378117 S 59,702467 W	"Ornithogenic" Lithic Cryorthents	Umbric Leptosol (Ornithic, Gelic, Dystric)	Perfil descrito em topo de crista basáltica. Perfil bem drenado e cobertura vegetal de musgos e líquens, ligeiramente alterada por erosão nival. Há forte influência ornitogênica atual de petrel.
10	72	62,388500 S 59,68005 W	Lithic Cryorthents	Lithic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic)	Perfil descrito em crista basáltica abaixo do topo do monte Triplet. Perfil bem drenado e cobertura vegetal mista, composta por líquens (<i>Usnea</i> e <i>Ochrolechia</i>) e musgos, antigos e ligeiramente alterados por erosão nival.

Tabela 1. Localização e classificação dos perfis de solo amostrados - Continuação.

Perfil	Altitude ¹ m	Posição Geográfica ²	Classificação		Descrição Geral
			Soil Taxonomy	WRB/FAO	
Fundo de vale entre cristas basálticas					
2	49	62,376117 S 59,708867 W	"Ornithogenic" Aquic Haploturbel	Turbic Cryosol (Eutric, Ornithic)	Perfil descrito em fundo de vale chato entre cristas basálticas. Perfil com drenagem moderada e cobertura vegetal ligeiramente alterada por erosão nival. Cobertura de musgos, com líquens ocasionais nos fragmentos de rochas (<i>Sanionia</i> , <i>Calliergidium</i> e <i>Leptogium</i>). Permafrost a 35-40 cm.
12	41	62,378067 S 59,705783 W	"Ornithogenic" Typic Haploturbels	Turbic Cambic Cryosol (Eutric, Ornithic)	Perfil descrito em fundo de vale entre crista basáltica. Perfil bem drenado e cobertura vegetal de musgos (<i>Sanionia</i> e <i>Polytrichum</i>) ligeiramente alterada por erosão nival. Permafrost a 50 cm.
Felsenmeer					
4	76	62,378350 S 59,710583 W	Lithic Cryorthents	Haplic Leptosol (Gelic, Eutric)	Perfil descrito no topo do <i>Felsenmeer</i> , superfície coberta com cascalhos de basalto. Perfil bem drenado e cobertura vegetal composta principalmente por líquens <i>Usnea</i> e <i>Ochrolechia</i> , com almofadas ocasionais de musgos <i>Andreae</i> , sendo ligeiramente alterada por erosão nival.
6	28	62,378767 S 59,699350 W	"Ornithogenic" Lithic Cryorthents	Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Ornithic)	Perfil descrito na borda do platô basáltico, em <i>Felsenmeer</i> erodido. Perfil bem drenado, com cobertura vegetal de líquens <i>Usnea</i> e <i>Ochrolechia</i> , com almofadas ocasionais de musgos de <i>Andreae</i> e <i>Sanionia</i> , ligeiramente alterada por erosão nival.
8	38	62,382767 S 59,690914 W	"Ornithogenic" Typic Haplocryepts	Leptic Cambisol (Gelic, Skeletic, Ornithic)	Perfil descrito em antigo ninhal de Skuas no topo do <i>Felsenmeer</i> , com presença de pedras de basalto por toda a superfície. Perfil bem drenado e cobertura vegetal mista, antiga, ligeiramente alterada por erosão nival.
9	123	62,390783 S 59,679600 W	"Ornithogenic" Lithic Cryorthents	Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic)	Perfil descrito no topo do Triplet, o ponto mais alto da península. Perfil bem drenado e os fragmentos de rochas estão cobertos por líquens (<i>Usnea</i> e <i>Ochrolechia</i>) e almofadas ocasionais de musgos <i>Polytrichum</i> e <i>Andreae</i> , alterada pelo vento e erosão nival, com solos descobertos em vários locais.
Material coletado de 0-5 cm					
Ninho de Petrel	93	62,371517 S 59,71785 W	-	-	Guano de ninho de Petrel coletado à beira da Catedral de Neptuno.
Ninho de Pinguim	-6	62,380103 S 59,707589 W	-	-	Guano de ninho de Pinguim Antártico coletado próximo do terraço marinho, antigo lago raso proglacial.

¹Em relação ao nível médio do mar; ²Coordenadas Geográficas, datum WGS 84, Zona 21S.

Os teores de fósforo extraível por Mehlich-1 (P) (Tabela 3) nos locais com influência atual de ninhais de aves como skuas, petréis, além de elefantes marinhos não ultrapassam 700 mg/kg. Os valores são considerados baixos se comparado com outras áreas sob influência da atividade de pinguins da Antártica marítima (Tatur e Keck, 1990; Michel *et al.*, 2006; Simas *et al.*, 2007). Isto demonstra que a influência da nidificação, proveniente principalmente de aves como skuas e petréis apesar de fornecer um importante incremento de nutrientes para os solos, não provocam alterações tão significantes na maioria dos solos da península devido ao baixo aporte de guano.

Apesar da extensão e diversidade de musgos e líquens encontrados ao longo de toda a península, das duas únicas espécies de plantas superiores da Antártica (*Deschampsia antarctica* e *Colobanthus Quitensis*), típicas de solos ornitogênicos, como já reportado por Tatur (1989); Schaefer *et al.* (2004); Michel *et al.* (2006); Simas *et al.* (2007), só foi encontrada *Deschampsia antarctica* em uma pequena área, do lado leste da península, em ambiente de *felsenmeer* (perfil 8), em antigo ninhal de skuas. A alga *Prasiola crispa*, também típica de áreas com influência de colônias de aves (Tatur, 1989) não foi encontrada.

O conteúdo da fração fina é pouco variável dentre os perfis. A fração areia corresponde em média 70 % do conteúdo de partículas <2 mm, sendo a classe textural franco-arenosa predominante (Tabela 2), assim como em outras regiões da Antártica marítima (Simas *et al.*, 2008; Michel *et al.*, 2006; Michel *et al.*, 2014). Todos os perfis apresentaram alta porcentagem em peso de cascalho, superior a 40 % na maior parte deles, apresentando caráter esquelético (IUSS, 2006) (Tabela 2).

A saturação por bases é elevada na maior parte dos solos (>50 %), refletindo ainda a litologia basáltica, com teores de Mg mais elevados que os de Ca. O K ocorre em menores concentrações, mas ainda assim atinge teores de até 300 mg/kg. Os teores de Na chegam a 1700 mg/kg nas áreas mais próximas ao mar, e 1596 mg/kg à 76 metros de altitude acima do nível do mar, no topo do *felsenmeer*. Os elevados teores de Na e K são atribuídos aos *sprays* salinos associados às feições geomórficas e aos ventos predominantes (Tabela 3).

Tabela 2. Temperatura e atributos físicos e morfológicos dos perfis de solos estudados na península Coppermine.

Horizonte	Profundidade	T	Cor		Cascalho	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	cm	°C	úmido		%				
Terraços marinhos									
Perfil 5 - Aquic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 0 m.a.n.m.									
A	0-5	1,1	2,5Y 3/1	cinzento muito escuro	59	52	34	14	Franco
AC	5-25	1,1	2,5Y 3/2	bruno-acinzentado muito escuro	25	48	38	14	Franco
C	25-45+	1,0	2,5Y 3/2	bruno-acinzentado muito escuro	37	65	25	10	Franco-Arenosa
Perfil 7 - "Ornithogenic" Aquic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Ornithic, Skeletic); 17 m.a.n.m.									
A1	0-7/10	2,5	10YR 2/2	bruno muito escuro	42	79	9	12	Franco-Arenosa
A2	7/10-15/20	2,5	10YR 2/2	bruno muito escuro	69	82	9	9	Areia-Franca
AC	15/20- 25	2,4	10YR 2/2	bruno muito escuro	53	79	9	12	Franco-Arenosa
CR	25-45+	2,2	-	-	-	-	-	-	-
Encostas basálticas (terço médio)									
Perfil 11 - "Ornithogenic" Typic Cryorthents/Haplic Leptosol (Ornithic, Gelic, Eutric); 29 m.a.n.m.									
O	0-5	2,5	10YR 2/1	Preto	11	80	9	11	Franco-Arenosa
A	5-8/12	-	10YR 2/1	Preto	41	73	12	15	Franco-Arenosa
AC	8/12-12/15	2,8	10YR 2/2	bruno muito escuro	13	80	8	12	Franco-Arenosa
2O	12/15-18/20	-	10YR 2/1	Preto	11	77	10	13	Franco-Arenosa
2AC	18/20-22/25	-	10YR 2/2	bruno muito escuro	47	72	14	14	Franco-Arenosa
CR	22/25-40+	2,5	10YR 2/2	bruno muito escuro	73	73	12	15	Franco-Arenosa
Topo de crista basáltica									
Perfil 1 - "Ornithogenic" Typic Haplocryepts/Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic, Eutric); 36 m.a.n.m.									
A	0-8	-0,2	7,5YR 2,5/3	bruno muito escuro	7	81	11	8	Areia-Franca
Bw	8-15	0,1	2,5Y 3/3	bruno muito escuro	44	64	29	7	Franco-Arenosa
BC	15-40	0,4	10YR 3/3	bruno-escuro	81	69	24	7	Franco-Arenosa
C	40-70	0,7	7,5YR 2,5/3	bruno muito escuro	62	90	5	5	Areia
Cr	70-80+	1,0	7,5YR 2,5/3	bruno muito escuro	0,0	78	15	7	Areia-Franca
Perfil 3 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Umbric Leptosol (Ornithic, Gelic, Dystric); 31 m.a.n.m.									
O	0-5	3,0	7,5YR 3/3	bruno-escuro	0,0	68	20	12	Franco-Arenosa
A1	5-8	3,7	7,5YR 3/3	bruno-escuro	4	80	12	8	Areia-Franca
A2	8-14	3,0	7,5YR 3/3	bruno-escuro	22	76	16	8	Franco-Arenosa
AC	14-20	2,9	10YR 3/3	bruno-escuro	73	75	15	10	Franco-Arenosa
Cr	20-30	3,0	2,5Y 4/3	bruno-oliváceo	67	66	24	10	Franco-Arenosa
Perfil 10 - Lithic Cryorthents/Lithic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 72 m.a.n.m.									
A	0-5	11,3	10YR 3/3	bruno-escuro	72	67	21	12	Franco-Arenosa
C/R	5-15/30	5,4	10YR 3/3	bruno-escuro	83	62	25	13	Franco-Arenosa
R	15/30-40	3,3	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 2. Temperatura e atributos físicos e morfológicos dos perfis de solos estudados na península Coppermine – Continuação.

Horizonte	Profundidade	T	Cor		Cascalho	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	cm	°C	úmido		%				
Fundo de vale entre crista basáltica									
Perfil 2 - "Ornithogenic" Aquic Haploturbel/Turbic Cryosol (Eutric, Ornithic); 49 m.a.n.m.									
A	0-7	0,4	5Y 3/1	cinzento muito escuro	32	72	18	10	Franco-Arenosa
AB	7-17	0,3	2,5Y 2,5/1	Preto	7	74	16	10	Franco-Arenosa
B	17-35	0,2	10YR 3/2	bruno-acinzentado muito escuro	2	57	35	8	Franco-Arenosa
C/Rf	35-70	-0,1	10YR 3/2	bruno-acinzentado muito escuro	35	55	34	11	Franco-Arenosa
Perfil 12 - "Ornithogenic" Typic Haploturbel/Turbic Cambic Cryosol (Eutric, Ornithic); 41 m.a.n.m.									
O	0-3	4,4	10YR 3/3	bruno-escuro	5	64	17	19	Franco-Arenosa
A1	3-8	4,4	10YR 3/3	bruno-escuro	5	67	15	18	Franco-Arenosa
A2	8-15	3,3	10YR 3/3	bruno-escuro	0	75	11	14	Franco-Arenosa
Bw1	15-25	2,7	10YR 2/2	bruno muito escuro	17	74	14	12	Franco-Arenosa
Bw2	25-40	2,4	10YR 3/3	bruno-escuro	11	73	14	13	Franco-Arenosa
Cf	40-60+	-	10YR 2/2	bruno muito escuro	1	69	17	14	Franco-Arenosa
Felsenmeer									
Perfil 4 - Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric); 76 m.a.n.m.									
A1	0-5	0,1	7,5YR 3/3	bruno-escuro	52	73	15	12	Franco-Arenosa
A2	5-20	0,4	7,5YR 3/3	bruno-escuro	41	65	22	13	Franco-Arenosa
C/R	15/20-35/40	0,5	7,5YR 3/3	bruno-escuro	56	66	33	1	Franco-Arenosa
Perfil 6 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Ornithic); 28 m.a.n.m.									
A1	0-5	2,5	2,5Y 3/1	cinzento muito escuro	30	77	13	10	Franco-Arenosa
A2	5-20	1,4	2,5Y 3/1	cinzento muito escuro	18	75	17	8	Franco-Arenosa
CR	15/20-35/40	1,4	2,5Y 3/1	cinzento muito escuro	22	70	19	11	Franco-Arenosa
Perfil 8 - "Ornithogenic" Typic Haplocryepts/Leptic Cambisol (Gelic, Skeletic, Ornithic); 38 m.a.n.m.									
A	0-5	2,8	10YR 2/2	bruno muito escuro	40	61	24	15	Franco-Arenosa
AB	5-15	2,8	7,5YR 2,5/3	bruno muito escuro	56	65	19	16	Franco-Arenosa
Bw	15-25	2,9	10YR 3/3	bruno-escuro	60	46	39	15	Franco
BC	25-50	2,8	10YR 3/3	bruno-escuro	53	43	41	16	Franco
Cr	50-65 +	2,9	2,5Y 3/1	cinzento muito escuro	47	48	30	22	Franco
Perfil 9 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 123 m.a.n.m.									
A	0-10/15	2,8	10YR 3/2	bruno-acinzentado muito escuro	37	71	21	8	Franco-Arenosa
AC	10/15-20/30	1,8	10YR 3/2	bruno-acinzentado muito escuro	16	63	26	11	Franco-Arenosa
Material coletado de 0-5 cm									
Ninho de Petrel	-	-	2,5Y 2,5/1	Preto	15	76	17	7	Franco-Arenosa
Ninho de Pinguim	-	-	2,5Y 2,5/1	Preto	45	61	20	19	Franco-Arenosa

T: temperatura

Há um incremento dos teores de P em profundidade em todos os perfis de maior influência ornitogênica. Como já reportado por Tatur e Myrcha (1989); Myrcha e Tatur (1991) e Michel *et al.* (2006), os valores de P são difusamente distribuídos no perfil através da dissolução do P a partir do guano que é translocado para horizontes mais profundos e recalitrado em P mineral, persistindo no solo por muito tempo.

Os teores de carbono orgânico total (COT) são baixos na maior parte dos solos, não ultrapassam 1,00 dag/kg, exceto para os perfis em que os valores de P foram mais altos, indicando influência ornitogênica recente no aporte de COT e revelando que, mesmo sendo uma área amplamente vegetada, o aporte do guano advindo da avifauna, mesmo disperso, favoreceu a formação de horizontes mais ricos em matéria orgânica do solo (MOS) (Tabela 3). Situação semelhante ocorre em outras áreas da Antártica com forte influência ornitogênica, como na Baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica marítima, onde os teores de COT chegaram a 13,4 dag/kg (Simas *et al.*, 2008) e em Hope Bay, península Antártica, onde os teores chegaram a 21,7 dag/kg (Pereira *et al.*, 2013).

Segundo Myrcha *et al.* (1983), durante o processo de mineralização da MOS, as formas menos persistentes são decompostas rapidamente, assim, materiais orgânicos mais resistentes como quitina, ácido úrico e minerais de fosfato, se concentram. Isto acontece em todos os solos que recebem aporte de resíduos de aves no ecossistema antártico, explicando o maior acúmulo de COT nos solos de influência ornitogênica. Entretanto, os valores de N foram baixos em todos os perfis, variando entre 0,05 e 0,21 dag/kg, e influenciando na relação C/N alta, principalmente nos perfis que apresentaram maiores teores de COT (Tabela 3).

Os altos valores de CTC observados nestes solos se devem principalmente à mineralogia rica em minerais silicatados 2:1 ocorrente em pedossistemas pouco transformados. Cargas dependentes de pH, relacionadas a MOS também são esperadas, principalmente nos perfis em que os valores de MOS são mais elevados. Desta forma, a diferença entre a CTC efetiva e a CTC em pH 7,0 é maior nestes solos (Tabela 3).

Tabela 3. Análises químicas dos perfis de solos estudados na península Coppermine.

Hor.	Prof. cm	pH			P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	COT	P-rem	N	C/N
		H ₂ O	KCl	NaF																	
Terraços marinhos																					
Perfil 5 - Aquic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 0 m.a.n.m.																					
A	0-5	7,0	4,5	8,6	60,0	318,0	1415,7	17,6	24,0	0,1	4,0	48,5	48,6	52,5	92,4	0,2	11,7	0,8	34,6	0,10	7,4
AC	5-25	7,2	4,6	8,6	85,6	158,0	1516,3	18,5	22,4	0,0	3,5	47,9	47,9	51,4	93,2	0,0	12,8	0,5	31,5	0,15	3,5
C	25-45+	7,7	4,9	8,5	84,3	318,0	1073,8	16	19,0	0,0	1,8	40,6	40,7	42,5	95,8	0,0	11,0	0,2	37,4	0,17	1,3
Perfil 7 - "Ornithogenic" Aquic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Ornithic, Skeletic); 17 m.a.n.m.																					
A1	0-7/10	5,9	4,2	9,7	158,6	112,0	269,2	6,5	5,4	1,1	9,9	13,3	14,4	23,2	57,3	7,7	5,1	2,4	18,4	0,05	48,0
A2	7/10-15/20	6,0	4,3	10,5	563,8	188,0	168,6	6,1	4,5	1,1	13,7	11,8	12,9	25,5	46,3	8,5	2,9	3,1	12,7	0,18	17,4
AC	15/20- 25	5,8	4,2	10,7	635,5	166,0	188,7	6,5	5,0	1,4	15,5	12,8	14,2	28,3	45,2	9,9	2,9	3,3	11,7	0,18	18,4
CR	25-45+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Encostas basálticas (terço médio)																					
Perfil 11 - "Ornithogenic" Typic Cryorthents/Haplic Leptosol (Ornithic, Gelic, Eutric); 29 m.a.n.m.																					
O	0-5	5,2	3,8	8,3	73,4	338,0	550,8	10,7	13,7	4,9	25,4	27,6	32,5	53,0	52,1	15,1	4,5	2,9	14,5	0,14	20,5
A	5-8/12	5,5	3,9	8,7	160,0	298,0	530,7	11,8	12,0	2,6	18,0	26,8	29,4	44,8	59,9	8,8	5,2	0,8	21,3	0,09	9,0
AC	8/12-12/15	5,9	4,0	8,8	158,6	318,0	570,9	11,3	10,2	2,9	13,2	24,8	27,7	38,0	65,3	10,5	6,5	1,0	21,2	0,21	4,6
2O	12/15-18/20	5,8	4,0	8,8	142,8	298,0	570,9	12,5	10,7	2,9	14,4	26,4	29,3	40,8	64,7	9,9	6,1	1,3	21,6	0,11	11,4
2AC	18/20-22/25	5,9	4,0	8,6	223,8	258,0	631,2	11,9	10,4	4,4	14,2	25,7	30,1	39,9	64,4	14,6	6,9	1,0	23,0	0,14	7,4
CR	22/25-40+	5,8	3,8	9,5	222,3	258,0	631,2	10,6	9,4	3,4	16,0	23,3	26,7	39,3	59,3	12,7	7,0	0,9	23,0	0,05	17,6
Topo de crista basáltica																					
Perfil 1 - "Ornithogenic" Typic Haplocrypts/Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic, Eutric); 36 m.a.n.m.																					
A	0-8	6,0	4,0	9,4	123,3	192,0	872,6	10,4	15,6	2,9	9,7	30,3	33,2	40,0	75,7	8,7	9,5	0,9	20,7	0,12	7,7
Bw	8-15	6,1	5,0	10,5	428,1	154,0	389,8	10,0	13,1	3,5	9,6	25,3	28,8	34,9	72,5	12,2	4,9	0,4	12,0	0,14	3,1
BC	15-40	6,1	3,8	10,4	460,7	156,0	510,5	11,8	11,2	5,0	15,2	25,6	30,6	40,8	62,8	16,3	5,4	0,2	16,8	0,11	2,0
C	40-70	7,0	4,6	9,1	148,5	186,0	792,1	22,9	21,2	0,0	5,8	48,0	48,0	53,8	89,2	0,0	6,4	0,2	41,1	0,11	2,0
Cr	70-80+	7,1	4,6	8,5	132,9	318,0	631,2	25,9	23,8	0,0	2,8	53,3	53,3	56,1	95,0	0,0	4,9	0,2	44,8	0,10	2,2

Tabela 3. Análises químicas dos perfis de solos estudados na península Coppermine – Continuação.

Hor.	Prof. cm	pH			P mg/kg	K mg/kg	Na mg/kg	Ca ²⁺ cmol _c /kg	Mg ²⁺ cmol _c /kg	Al ³⁺ cmol _c /kg	H+Al cmol _c /kg	SB cmol _c /kg	(t)	T	V	m %	ISNa	COT dag/kg	P-rem mg/L	N dag/kg	C/N dag/kg
		H ₂ O	KCl	NaF																	
Perfil 3 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Umbric Leptosol (Ornithic, Gelic, Dystric); 31 m.a.n.m.																					
O	0-5	5,1	3,7	9,5	497,9	174,0	530,7	5,7	6,2	4,7	22,6	14,6	19,3	37,2	39,3	24,3	6,2	7,0	11,0	0,18	38,9
A1	5-8	5,1	3,8	9,7	513,1	158,0	470,3	5,2	4,8	3,4	20,5	12,4	15,8	32,9	37,7	21,5	6,2	7,0	10,7	0,21	33,3
A2	8-14	5,1	3,9	9,9	629,2	116,0	430,1	5,1	4,2	3,7	22,9	11,5	15,2	34,4	33,4	24,4	5,4	8,8	8,5	0,05	176,8
AC	14-20	5,0	3,9	10,3	526,5	122,0	309,4	4,0	2,8	4,5	26,4	8,5	13,0	34,9	24,3	34,7	3,9	8,8	5,8	0,21	42,1
Cr	20-30	5,2	3,7	9,6	707,0	158,0	349,6	2,6	0,5	2,8	11,4	5,0	7,8	16,4	30,6	35,8	9,3	1,7	26,4	0,21	8,0
Perfil 10 - Lithic Cryorthents/Lithic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 72 m.a.n.m.																					
A	0-5	6,5	4,3	7,6	141,4	298,0	309,4	8,7	12,9	1,2	4,0	23,7	24,9	27,7	85,6	4,8	4,9	0,4	32,8	0,12	3,7
C/R	5-15/30	7,0	4,4	7,6	82,9	298,0	228,9	11,9	17,2	0,5	4,0	30,9	31,4	34,9	88,5	1,6	2,9	0,2	37,0	0,05	4,4
R	15/30-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fundo de vale entre crista basáltica																					
Perfil 2 - "Ornithogenic" Aquic Haploturbel/Turbic Cryosol (Eutric, Ornithic); 49 m.a.n.m.																					
A	0-7	6,7	4,5	9,2	106,2	170,0	470,3	12,6	19,5	0,4	4,6	34,5	34,9	39,1	88,2	1,1	5,2	0,5	27,8	0,21	2,5
AB	7-17	7,0	4,9	9,3	99,3	180,0	550,8	13,7	20,9	0,0	3,8	37,5	37,5	41,3	90,8	0,0	5,8	0,7	28,3	0,14	4,7
B	17-35	7,1	4,9	9,7	251,5	192,0	530,7	16,1	21,4	0,0	4,6	40,3	40,3	44,9	89,8	0,0	5,1	0,7	22,8	0,05	14,8
C/Rf	35-70	7,3	4,9	8,8	135,7	190,0	631,2	17,4	22,4	0,0	1,8	43,0	43,0	44,8	96,0	0,0	6,1	0,2	42,0	0,07	2,1
Perfil 12 - "Ornithogenic" Typic Haploturbel/Turbic Cambic Cryosol (Eutric, Ornithic); 41 m.a.n.m.																					
O	0-3	5,6	4,0	8,2	66,7	198,0	933,0	14,2	15,4	3,1	14,4	34,2	37,3	48,6	70,4	8,3	8,4	1,4	17,5	0,18	7,8
A1	3-8	5,5	4,0	9,0	100,7	138,0	731,8	15,3	16,4	3,0	16,8	35,2	38,2	52,0	67,7	7,9	6,1	1,7	13,0	0,18	9,4
A2	8-15	5,9	4,1	9,5	134,3	138,0	631,2	14,9	14,7	1,4	11,7	32,8	34,2	44,5	73,7	4,1	6,2	0,4	20,2	0,11	4,0
Bw1	15-25	5,8	3,9	10,0	326,8	188,0	470,3	10,0	9,4	5,3	18,0	22,0	27,3	40,0	55,0	19,4	5,1	1,2	15,2	0,17	6,9
Bw2	25-40	5,8	3,8	9,9	413,8	258,0	470,3	9,6	7,1	5,9	19,6	19,5	25,4	39,1	49,8	23,3	5,2	1,6	13,2	0,14	11,1
Cf	40-60+	5,5	3,9	8,9	96,6	190,0	751,9	13,9	14,3	6,0	16,5	31,9	37,9	48,4	65,9	15,8	6,8	1,4	12,4	0,05	28,0

Tabela 3. Análises químicas dos perfis de solos estudados na península Coppermine – Continuação.

Hor.	Prof. cm	pH			P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	COT	P-rem	N	C/N
		H ₂ O	KCl	NaF																	
Felsenmeer																					
Perfil 4 - Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric); 76 m.a.n.m.																					
A1	0-5	7,0	4,9	8,6	57,3	172,0	1536,4	13,6	18,5	0,0	2,3	39,2	39,2	41,5	94,5	0,0	16,1	0,3	37,9	0,21	1,4
A2	5-20	7,5	5,1	8,6	28,3	132,0	1194,4	16,3	21,5	0,0	1,5	43,3	43,3	44,8	96,6	0,0	11,6	0,6	44,7	0,11	5,0
C/R	15/20-35/40	7,8	5,3	8,4	30,9	148,0	1596,7	19,9	24,1	0,0	1,5	51,3	51,3	52,8	97,2	0,0	13,1	0,6	44,4	0,07	7,9
Perfil 6 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Ornithic); 28 m.a.n.m.																					
A1	0-5	5,1	3,5	8,8	492,2	158,0	570,9	9,0	13,9	8,9	15,5	25,7	34,6	41,2	62,4	25,7	6,0	1,0	16,1	0,18	5,7
A2	5-20	5,1	3,5	8,9	680,5	152,0	490,4	10,2	15,4	12,4	19,0	28,2	40,6	47,2	59,7	30,6	4,5	0,7	19,4	0,17	4,4
CR	15/20-35/40	5,9	3,7	9,0	391,1	158,0	852,5	15,3	23,6	5,7	8,7	43,0	48,7	51,7	83,2	11,7	7,2	0,2	26,6	0,21	1,0
Perfil 8 - "Ornithogenic" Typic Haplocrypts/Leptic Cambisol (Gelic, Skeletic, Ornithic); 38 m.a.n.m.																					
A	0-5	5,8	4,0	8,9	116,0	186,0	349,6	10,8	16,3	1,4	13,7	29,1	30,5	42,8	68,0	4,6	3,6	2,4	13,8	0,11	21,5
AB	5-15	6,3	4,4	10,0	157,2	158,0	329,5	12,2	17,9	0,9	10,2	31,9	32,8	42,1	75,8	2,7	3,4	1,5	13,7	0,18	8,2
Bw	15-25	6,8	4,7	10,1	331,7	218,0	349,6	21,6	29,0	0,1	9,7	52,7	52,8	62,4	84,4	0,2	2,4	0,7	11,7	0,12	6,2
BC	25-50	7,1	4,8	9,4	210,2	172,0	430,1	22,1	28,5	0,2	6,3	52,9	53,1	59,2	89,4	0,4	3,2	0,3	23,2	0,15	2,0
Cr	50-65 +	7,3	5,0	7,8	84,3	188,0	430,1	23,3	33,0	0,2	3,5	58,7	58,9	62,2	94,4	0,3	3,0	0,2	41,0	0,21	1,0
Perfil 9 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 123 m.a.n.m.																					
A	0-10/15	6,9	4,7	7,7	64,0	172,0	349,6	15,4	13,7	0,1	3,3	31,0	31,1	34,3	90,4	0,3	4,4	0,4	33,6	0,05	8,8
AC	10/15-20/30	7,2	4,8	7,7	81,5	190,0	329,5	19,8	15,8	0,1	3,1	37,5	37,6	40,6	92,4	0,3	3,5	0,7	34,9	0,21	3,1
Material coletado de 0-5 cm																					
Ninho de Petrel	-	7,8	5,5	7,6	58,6	278,0	731,8	14,9	10,4	0,0	1,5	29,2	29,2	30,7	95,1	0,0	10,4	0,2	47,4	0,11	1,4
Ninho de Pinguim	-	5,8	4,3	7,7	170,2	1020,0	1717,4	9,5	14,6	0,3	7,3	34,2	34,5	41,5	82,4	0,9	18,0	0,6	43,4	0,21	2,8

P, Na e K (extrator Mehlich 1); Ca, Mg, Al (extrator KCl 1 mol L⁻¹); H+Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0); SB: soma de bases; CTC t: capacidade de troca catiônica efetiva; CTC T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação por bases; m: índice de saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação por sódio; COT: carbono orgânico total; P-rem: fósforo remanescente; N: nitrogênio total.

Os atributos químicos destes solos evidenciam a ocorrência de solos ácidos (pH 5,0-5,9) num contexto geral alcalino (pH 7,0-7,8) (Tabela 3). Somente os solos que possuem maior influência ornitogênica e estão localizados em posições mais elevadas da paisagem são generalizadamente ácidos (perfis 3 e 6), já que estes ambientes são naturalmente mais lixiviados. Além disso, o material orgânico aportado pelas aves está sendo decomposto e conseqüentemente liberando acidez para o ambiente. Os horizontes de reação ácida apresentam características de maior desenvolvimento pedogenético, como menor soma de bases e saturação por bases, e maior saturação por alumínio e acidez potencial (Tabela 3).

Os teores de Al^{3+} variaram muito, desde nulo até alto, com o maior valor observado no perfil 6. Em geral, os teores mais elevados foram encontrados nos horizontes superficiais. Como é sabido, os níveis de Al^{3+} estão associados ao pH do solo, com atividade nula nos valores de pH acima de 5,6 (Tabela 3).

Os valores de pH em NaF indicam presença de mineral de baixa cristalinidade na maior parte dos perfis (Tabela 3). De maneira geral, valores de pH em NaF acima de 9,5 são importantes indicadores da presença de minerais pouco cristalinos no solo (WRB, 2006).

Os valores de Fe_o/Fe_{dcb} , que indicam o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro (Schwertmann, 1973), variam em torno de 1,0, indicando que o Fe está presente principalmente na forma menos cristalina (Tabela 4). Os altos teores de Al extraídos com oxalato (Al_o) sugerem principalmente a presença de formas de óxidos e hidróxidos de alumínio de baixa cristalinidade, com valores de Al_o/Al_{dcb} acima de 1,1 (Tabela 4).

Os valores de Fe_p e Al_p são mais altos nos perfis que apresentaram maiores teores de MOS, já que maiores teores de MOS facilitam a formação de complexos organometálicos. De maneira geral, os valores médios de Al_p são maiores que os de Fe_p , demonstrando maior afinidade dos óxidos de alumínio com a MOS, quando comparado aos óxidos de ferro (Arias et., 1996) (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de Al e Fe extraídos por Ditionito, Oxalato e Pirofosfato em horizontes selecionados dos perfis estudados na península Coppermine.

Hor.	Prof. cm	Al _o	Fe _o	Al _p	Fe _p	Al _{dcb}	Fe _{dcb}	Fe _o /Fe _{dcb}	Al _o /Al _{dcb}
		g/kg							
Terraços marinhos									
Perfil 5 - Aquic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 0 m.a.n.m.									
A	0-5	5,6	4,6	0,6	0,7	1,2	4,6	1,0	4,5
C	25-45+	3,0	4,7	0,3	0,3	0,6	3,5	1,3	5,3
Perfil 7 - "Ornithogenic" Aquic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Ornithic, Skeletic); 17 m.a.n.m.									
A1	0-7/10	5,4	5,3	2,8	1,9	3,6	4,3	1,2	1,5
AC	15/20- 25	10,9	6,2	6,7	3,5	8,5	5,6	1,1	1,3
Encostas basálticas (terço médio)									
Perfil 11 - "Ornithogenic" Typic Cryorthents/Haplic Leptosol (Ornithic, Gelic, Eutric); 29 m.a.n.m.									
A	5-8/12	7,7	3,1	3,1	1,5	4,5	4,2	0,7	1,7
AC	8/12-12/15	7,3	3,5	2,6	1,6	4,2	4,6	0,8	1,7
2AC	18/20-22/25	8,5	3,9	2,9	1,9	4,2	3,9	1,0	2,0
Topo de crista basáltica									
Perfil 1 - "Ornithogenic" Typic Haplocryepts/Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic, Eutric); 36 m.a.n.m.									
A	0-8	7,6	3,3	2,5	1,4	3,6	5,7	0,6	2,1
Bw	8-15	12,7	6,0	6,7	3,9	9,4	8,2	0,7	1,4
Cr	70-80+	3,2	1,5	0,5	0,3	0,8	4,2	0,4	3,9
Perfil 3 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Umbric Leptosol (Ornithic, Gelic, Dystric); 31 m.a.n.m.									
A2	8-14	11,0	11,6	8,2	7,8	9,7	11,5	1,0	1,1
Cr	20-30	12,8	13,0	4,6	4,2	7,8	19,0	0,7	1,6
Fundo de vale entre crista basáltica									
Perfil 2 - "Ornithogenic" Aquic Haploturbel/Turbic Cryosol (Eutric, Ornithic); 49 m.a.n.m.									
A	0-7	5,0	4,1	1,2	0,9	2,7	4,8	0,9	1,9
B	17-35	6,8	4,2	2,2	1,6	3,6	6,8	0,6	1,9
Perfil 12 - "Ornithogenic" Typic Haploturbel/Turbic Cambic Cryosol (Eutric, Ornithic); 41 m.a.n.m.									
A1	3-8	8,3	2,5	2,9	1,2	4,0	5,1	0,5	2,1
Bw1	15-25	11,8	4,9	4,9	2,2	7,0	4,9	1,0	1,7
Felsenmeer									
Perfil 4 - Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric); 76 m.a.n.m.									
A1	0-5	10,3	1,9	0,5	0,1	2,8	5,0	0,4	3,7
C/R	15/20-35/40	8,5	2,0	0,2	0,1	2,5	5,1	0,4	3,4
Perfil 6 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Ornithic); 28 m.a.n.m.									
A1	0-5	5,4	6,0	3,3	1,4	3,7	3,4	1,7	1,4
CR	15/20-35/40	3,6	3,7	2,0	0,7	2,3	2,4	1,6	1,6
Perfil 8 - "Ornithogenic" Typic Haplocryepts/Leptic Cambisol (Gelic, Skeletic, Ornithic); 38 m.a.n.m.									
Bw	15-25	11,4	5,5	3,9	1,3	6,7	4,1	1,3	1,7
Cr	50-65 +	3,9	3,1	0,5	0,2	0,8	1,9	1,6	4,8
Perfil 9 - "Ornithogenic" Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic); 123 m.a.n.m.									
A	0-10/15	4,7	4,9	0,3	0,3	0,8	3,2	1,5	6,1
AC	10/15-20/30	5,1	4,6	0,3	0,3	0,7	3,3	1,4	6,9

Al_o e Fe_o: extraídos com oxalato de amônio (McKeague e Day, 1966); Al_p e Fe_p: extraídos com pirofosfato de sódio (McKeague, 1967); Al_{dcb} e Fe_{dcb}: extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra e Jackson, 1960).

As propriedades dos solos como classe textural, cor, pH em água, COT, soma de bases e mineralogia são bem homogêneas entre si, reflexo do material de origem mais uniforme ao longo de toda a península. Entretanto, a variação de algumas características dos solos pode ser atribuída principalmente como um produto do relevo e da forma como este condiciona a relação pedogênese versus morfogênese. Além de condicionar, também, a influência ornitogênica.

A península apresenta geoformas relativamente pouco movimentadas, com baixa amplitude altimétrica, desde o nível do mar até picos em cotas próximas a 125 m, com feições que são dominadas por encostas, tálus suspensos, *felsenmeer*, fundos de vale suspensos e terraços marinhos. Excetuando-se a área de terraço marinho (atual e antigo), toda a área é vulcânica (Smellie *et al.*, 1984).

De forma geral, a forma de transição entre os horizontes dos solos varia de plana a ondulada, a transição plana está diretamente relacionada às condições do relevo, pouco movimentado e a ondulada indica influência do processo de crioturbação.

Os perfis de solo foram coletados de forma a representar, além de outros aspectos, as feições geomorfológicas da ilha. Foram realizadas coletas desde o terraço marinho, ao nível do mar, até a cota de 123 metros de altitude acima do nível do mar, na parte mais elevada da península, no topo de um *felsenmeer*. Baseado nas coletas de campo, os ambientes estudados na península são: solos de terraços marinhos, de encosta basáltica (terço médio,) de topo de crista basáltica, de fundos de vale entre crista basáltica e *felsenmeer*.



Figura 3. Perfil 5: Aquic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric, Skeletic) representativo dos terraços marinhos (à esquerda) e aspecto da paisagem (à direita).



Figura 4. Perfil 11: "Ornithogenic" Typic Cryorthents/Haplic Leptosol (Ornithic, Gelic, Eutric) representativo das encostas basálticas (à esquerda) e aspecto da paisagem (à direita).

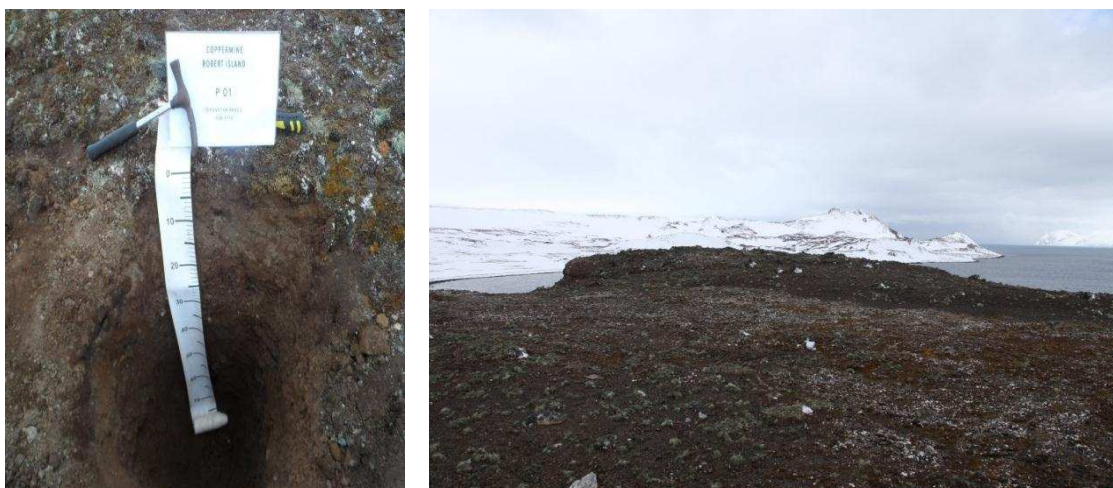


Figura 5. Perfil 1: "Ornithogenic" Typic Haplocryepts/Haplic Cambisol (Ornithic, Gelic, Eutric) representativo dos topos de cristas basálticas (à esquerda) e aspecto da paisagem (à direita).



Figura 6. Perfil 12: “Ornithogenic” Typic Haploturbel/Turbic Cambic Cryosol (Eutric, Ornithic) representativo dos fundos de vale entre cristas basálticas (à esquerda) e aspecto da paisagem (à direita).



Figura 7. Perfil 4: Lithic Cryorthents/Haplic Leptosol (Gelic, Eutric) representativo dos *felsenmeer* (à esquerda) e aspecto da paisagem (à direita).

3.2. Solos dos terraços marinhos (Perfis 5 e 7)

Os terraços marinhos podem ser distinguidos pela presença de seixos, submetidos à ação erosiva da água, com algum grau de arredondamento. Esta característica serve, inclusive, para delimitar as áreas dos terraços marinhos soerguidos, que estão presentes em quase toda a faixa costeira da península e se encontram até cerca de 17 metros de altitude acima do nível do mar.

No terraço marinho atual, onde o escoamento da água é menos intenso, privilegiando sua acumulação superficial, encontram-se solos mal drenados e feições de hidromorfismo são observadas, apresentando cores gleisadas. Nestas condições se formam solos mais rasos, que recebem muita carga de sedimentos finos (alto teor de silte), mas também fragmentos angulares de feições localizadas a montante (principalmente dos tálus).

Estes solos possuem ainda, elevado teor de soma de bases, com grande influência de Na e K, que pode ser atribuído à influência de *sprays* salinos devido à proximidade com o mar. Não há influência ornitogênica, constatado pelos baixos valores de P e observações em campo, apenas presença ocasional de skuas e pinguins.

Por outro lado, no terraço marinho mais antigo, os solos são moderadamente drenados. Há influência de populações de elefantes marinhos que utilizam o local para repouso e reprodução, influenciando nas características químicas dos solos, como teores de P mais elevados, acima de 500 mg/kg (Tabela 3). Os teores de P nos horizontes subsuperficiais são maiores que aqueles em superfície, indicando que há mobilidade de P, provavelmente por fluxo de água, em que a disponibilidade de água do terreno translocou o P para a base do perfil, e por crioturbação.

O teor de COT é mais alto neste ambiente proveniente das excretas de elefantes marinhos (Tabela 3). O pH do solo possui acidez média, indicando que a estabilização microbiológica do guano começou a gerar acidez. Os baixos valores de Na e K, ao compararmos com o terraço marinho mais atual, indicam menor influência de *sprays* salinos, já que o terraço marinho antigo está mais afastado do mar e mais protegido dos ventos.

Mineralogicamente, os solos são pouco desenvolvidos, com presença de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração argila, como resultado das baixas taxas de lixiviação. A difração de raios-X atesta a formação de plagioclásios com picos em (3,21; 3,18 e 4,04 Å) e minerais 2:1 (14,78; 4,50; 3,00; 2,52 e 1,53 Å).

No ambiente de terraço marinho mais elevado (perfil 7), a elevação da linha de base do difratograma indica minerais de baixa cristalinidade, principalmente na zona fosfatizada (AC 15/20-25 cm). Mas não foram encontrados picos de apatita, provavelmente devido ao baixo aporte de material orgânico, ou picos de minerais de

fosfatos secundários, o que evidencia que o processo de fosfatização é incipiente (Figura 8).

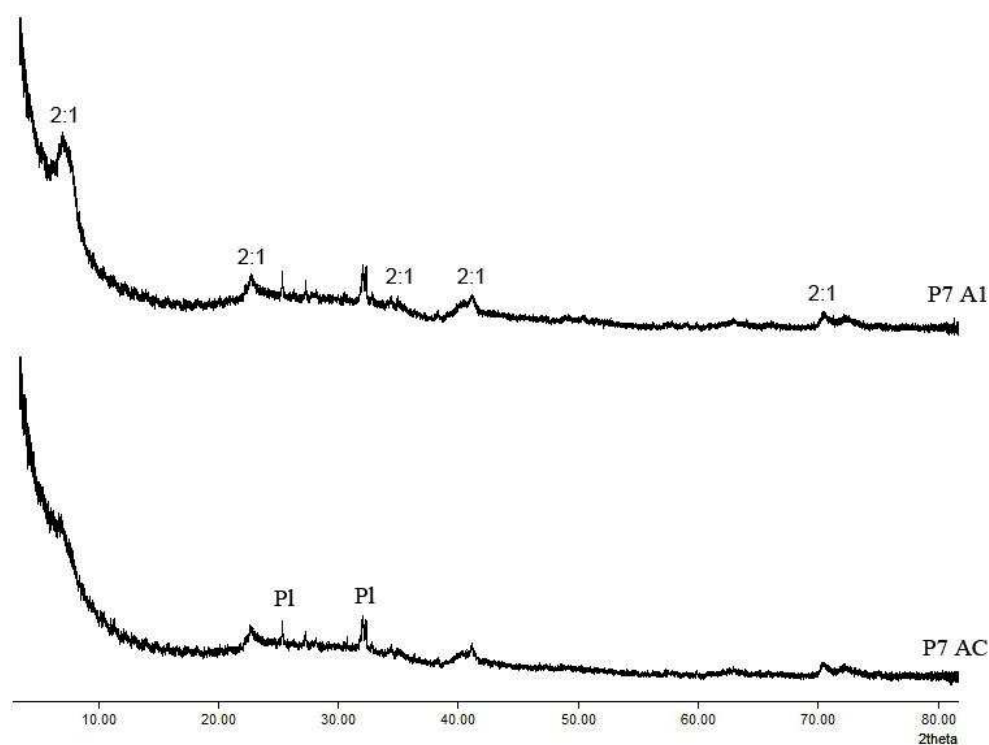


Figura 8. DRX da fração argila do terraço marinho antigo (P7) – horizontes A1 e AC. (2:1: Minerais 2:1; Pl: plagioclásio).

A maior quantidade de material de baixa cristalinidade neste mesmo ambiente também é observado, indicado pelo valor de pH NaF, que chega a 10,7 em profundidade, e está associado principalmente à MOS e ao baixo valor de P-rem. Consistentemente, os teores de Fe_p e Al_p , também são maiores nesse ambiente (Tabela 4).

Os solos localizados nas partes mais baixas do terreno da área estudada (terraço marinho atual e antigo), devido ao soerguimento mais recente, são os mais jovens da paisagem. Constituem de forma geral, solos menos cromados que os outros grupos da península, com atributos químicos de solos pouco evoluídos e pouca alteração mineralógica, já que o tempo de desenvolvimento não foi suficiente para a completa formação de minerais secundários.

3.3. Solos das encostas basálticas (terço médio) (Perfil 11)

Os solos das encostas basálticas estão localizados entre os topos de cristas basálticas e o terraço marinho. São solos mais desenvolvidos em relação aos localizados em terraço marinho, pois a encosta é mais antiga e o grau de declividade é suficiente para condicionar um melhor escoamento da água.

O solo do terço médio da encosta apresenta influência atual de nidação advinda da lixiviação de nutrientes e MOS dos solos localizados no topo da crista basáltica, área representativa do perfil 3. Os teores de P mais altos e a menor atividade biológica em relação à produção de biomassa devido às baixas temperaturas resultaram em acúmulo de MOS.

3.4. Solos de topo de crista basáltica (Perfis 1, 3 e 10)

De forma geral, os solos deste ambiente possuem maior influência de aves, como skuas e petréis, em comparação aos outros ambientes. A localização dos ninhos parece estar associada às geoformas, pois as aves buscam locais de maior estabilidade, como os topos aplainados das cristas e dos *felsenmeer*, o que explica os teores mais elevados de P nestes solos.

Neste ambiente, não há solos com evidência de *permafrost* e há ausência de sinais de crioturbação, sendo, portanto, os perfis 3 e 10 enquadrados como *Leptosol* (WRB/FAO) ou *Entisol* (*Soil Taxonomy*). São solos com profundidade limitada por contato lítico, dentro dos 25 cm iniciais. Enquanto o perfil 1 foi classificado como *Cambisol* (WRB/FAO) e *Inceptisol* (*Soil Taxonomy*), por possuir maior grau de desenvolvimento em comparação aos outros perfis (Tabela 1).

Os teores de Ca e Mg são altos neste ambiente, principalmente Mg, aumentando em profundidade, demonstrando influência maior do material de origem. O valor de pH varia de ácido a neutro, influenciando nos teores de Al^{3+} que chegam a 5,00 cmol_c/kg nos locais com maior influência ornitogênica, indicando que a estabilização microbiológica do guano está gerando acidez (Tabela 3).

O perfil 3 é o mais ácido dentre todos os solos estudados na península, devido a maior deposição de guano e gradual decomposição pela atividade microbiana (Myrcha e Tatur, 1988; Tatur, 1989).

Os maiores teores de COT dentre todos os ambientes da península, chegando a ser três vezes maior que o encontrado nos demais solos, demonstra que os minerais de baixa cristalinidade, nesse caso, estão associados principalmente à MOS. O que está de acordo com os trabalhos de Simas *et al.* (2007); Pereira *et al.* (2013). Os teores de Fe_p e Al_p , que são o Fe e Al ligados à MOS também foram maiores nesse perfil (Tabela 4).

Na mineralogia da fração argila dos solos deste ambiente observam-se picos de minerais 2:1 em 13,45 Å, estes são os picos mais intensos, indicando maior quantidade destes minerais em detrimento dos demais. No horizonte Bw os picos dos minerais 2:1 aparecem em 13,45; 4,60; 3,00; 2,51 e 1,53 Å (Figura 9).

O plagioclásio (picos de 3,65; 4,04; 3,18 e 3,21 Å), mineral primário facilmente intemperizável, também foi identificado (Figura 9). A presença deste mineral na fração argila aponta para um intemperismo químico pouco atuante nestes solos, com predominância do intemperismo físico.

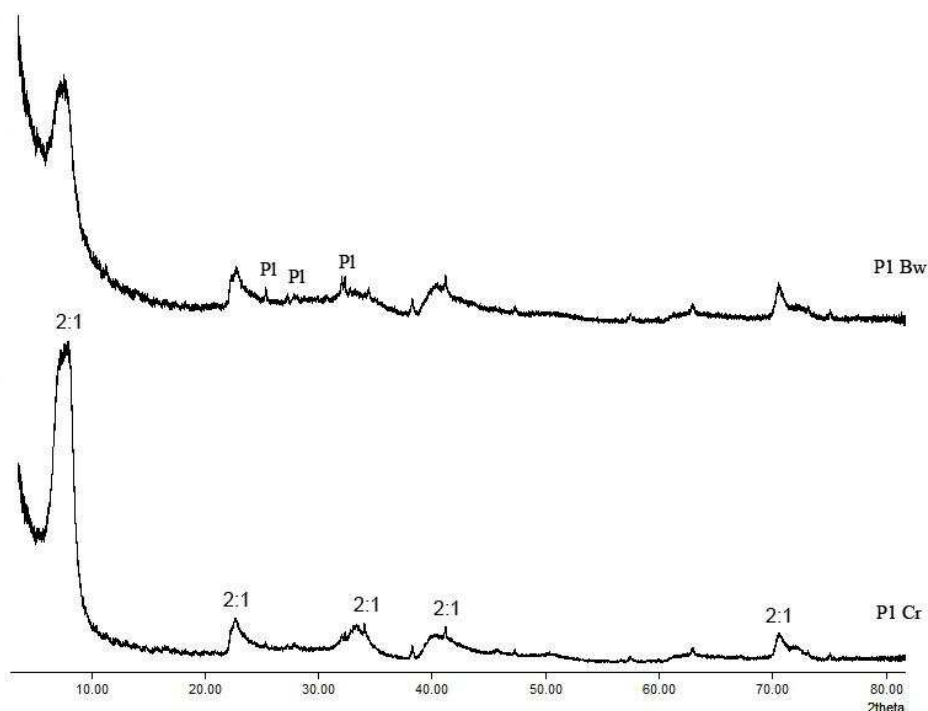


Figura 9. DRX da fração argila dos horizontes Bw e Cr (P1). (2:1: Minerais 2:1 e Pl: plagioclásio).

3.5. Solos de fundo de vale entre cristas basálticas (Perfis 2 e 12)

O ambiente de fundo de vale entre cristas basálticas se localiza nas partes mais baixas da paisagem, coincidindo sempre com cotas abaixo de 50 m. Os solos são bem desenvolvidos, constatado pela presença e espessura do horizonte B. O perfil 12 representa o solo mais profundo descrito em toda a península, com forte desenvolvimento de horizontes.

Além das condições de pedogênese *in situ*, o aporte de solução proveniente do derretimento de neve das encostas dá origem a solos com altos teores de saturação por bases, chegando a 96 % no perfil 2 e teores relativamente altos de P para um ambiente com apenas ocupação ocasional de skuas (Tabela 3). Estes locais são amplamente vegetados por tapetes de musgos, levemente alterados por erosão nival (Figura 10).



Figura 10. Tapete de musgos ao longo de fundo de vale entre crista basáltica.

Este é um ambiente protegido pelas cristas basálticas do entorno, com menor intensidade de ventos e acúmulo de neve em determinados pontos, sendo o único ambiente com presença de *permafrost* dentro dos 100 cm, que inclui enriquecimento de MOS e principalmente P no topo do *permafrost* (Tabela 3).

3.6. Solos nos *felsenmeer* (Perfis 4, 6 e 8 e 9)

Felsenmeer são bancos ou superfícies de rochas aplainadas em terrenos elevados derivados em grande parte do intemperismo físico *in situ*, que tem sido retrabalhado pelos processos glaciais e periglaciais (André, 2003). A desintegração física é garantida pelo congelamento ao longo das fraturas e juntas, de modo a originar fragmentos de diferentes tamanhos (Figura 11).

Os solos deste ambiente encontram-se no topo dos *felsenmeer*, nas partes mais elevadas da paisagem. Assim como os solos localizados em topo de crista basáltica, estes, com exceção do perfil 4, também possuem influência de aves, como skuas e petréis que parece estar associada à geoforma.

Esses são os locais de melhor drenagem da península, onde a ação dos ventos é mais severa. A geoforma, associada às superfícies de rochas aplainadas, tem relativa estabilidade, conferindo alta disponibilidade de nutrientes nesses locais.



Figura 11. Desintegração física da rocha pelo processo de congelamento e descongelamento.

O perfil 6 possui o teor de P mais alto, chegando a 680 mg/kg na zona de fosfatização (horizonte A2) (Tabela 3), que é profunda por conta da maior lixiviação, já que o ambiente deste perfil apresenta melhor drenagem.

No entanto, essas aves não representam fonte significativa de P a ponto da gênese dos solos relacionar-se ao processo de fosfatização. Apesar de em outras

áreas da Antártica a fosfatização de solos também ser limitada, como em solos desenvolvidos em semideserto polar da ilha Seymour, onde a relação envolve mais condicionantes climáticas (Souza *et al.*, 2014).

A forma de transição entre os horizontes dos solos deste ambiente varia de plana a ondulada e o grau de transição entre horizontes varia de clara a gradual. A transição plana confirma que de fato o relevo é pouco movimentado e a transição ondulada indica influência do processo de crioturbação.

O perfil 4 apresentou os teores de Na mais elevados dentre os perfis estudados neste ambiente, que pode ser atribuído aos *sprays* salinos através de ventos, devido à maior exposição e proximidade do mar (Tabela 3).

A mineralogia da fração argila do perfil 4 mostra grande semelhança com o ambiente de topo de crista basáltica, composta por minerais 2:1, detectada pelos picos de 14,80; 4,60; 3,00; 2,51 e 1,53 Å e plagioclásios (picos de 3,65; 4,04; 3,18 e 3,21 Å), porém os picos apresentam-se mais definidos e intensos, indicando maior cristalinidade (Figura 11). A relação Fe_o/Fe_{dcb} do perfil 4 é a mais baixa dentre todos os perfis da península (0,4), indicando ser este o solo mais intemperizado dentre os coletados (Tabela 4).

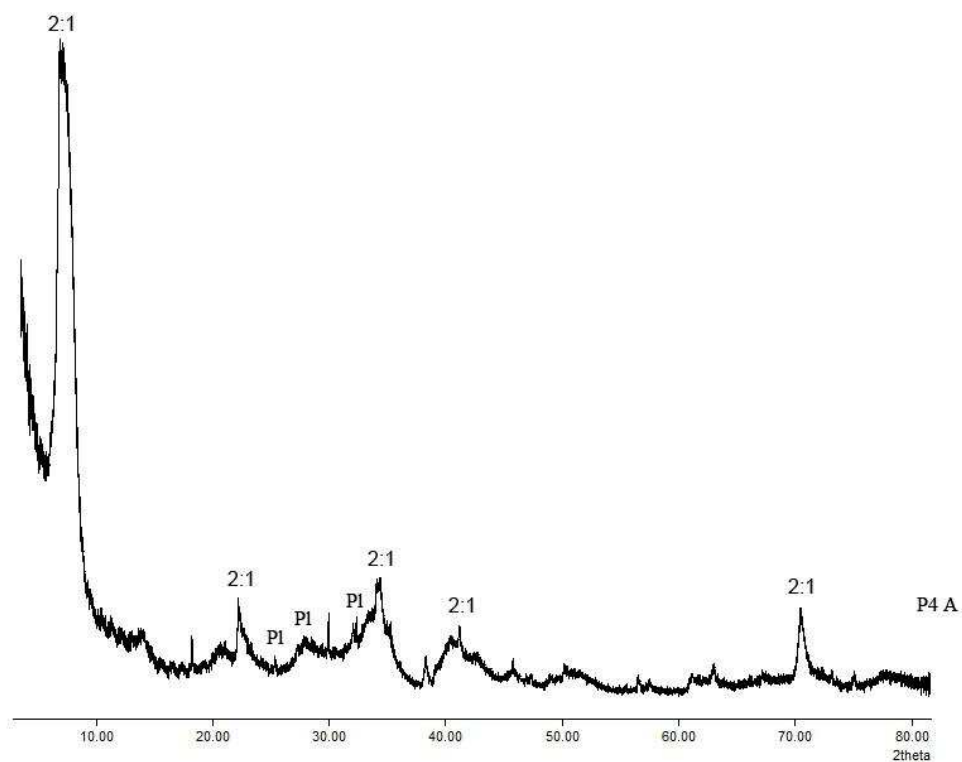


Figura 11: DRX da fração argila do horizonte A (P4). (2:1: Minerais 2:1 e Pl: plagioclásio)

Nos perfis coletados nos *felsenmeer*, estão os locais mais antigos da ilha, com uma evolução pedogenética do solo muito mais antiga. Constituem de forma geral, solos mais cromados que os outros grupos da península (Tabela 2) e atributos químicos de solos mais evoluídos (Tabela 3). Apesar dos solos deste ambiente apresentarem características de solos mais desenvolvidos, a presença de silicatos facilmente intemperizáveis, como plagioclásios, na fração argila, sugere que o intemperismo químico é pouco atuante para a formação destes solos.

3.7. Material coletado de 0-5 cm

Os dois materiais coletados de 0-5 cm em ninhais de petrel e pinguim não diferem dos demais solos quanto à classe textural, que é franco-arenosa, porém o material coletado em ninho de petrel possui conteúdo de silte e argila mais baixo (Tabela 1).

O material de 0-5 cm coletado em ninho de petrel estava a cerca de 93 metros de altitude acima do nível do mar (Tabela 1). Os teores de P e COT são baixos e o pH é alcalino (Tabela 2).

O material de 0-5 cm coletado em ninho de pinguim (*Pygoscelis antarctica*), estava próximo ao terraço marinho atual, a cerca de 13 metros de altitude acima do nível do mar (Tabela 1). Os teores de P e COT são praticamente quatro vezes maiores se comparado ao material coletado em ninho petrel, e o pH é ácido. Os teores de Na e K são mais altos devido à influência de *sprays* salinos, já que está mais próximo ao mar.

A partir dessas diferenças, é possível, mais umas vez, afirmar a menor alteração que os guanos de petréis geram aos solos. O pH alcalino indica que o material orgânico não libera tanta acidez para o ambiente. Conseqüentemente, menores conteúdos de partículas finas (silte e argila) são esperados, já que os processos de intemperismo químico são menos ativos.

Além disso, os valores mais baixos de P no material coletado em ninho de petrel demonstra que essas aves embora possam fornecer um importante incremento de nutrientes para a vegetação em torno dos ninhos, não provocam alterações tão significantes na maior parte dos solos para estas condições.

4. CONCLUSÕES

- O fósforo (Mehlich-1) e a matéria orgânica do solo tornam-se mais elevados nas áreas sob influência ornitogênica mais atual;
- O material de origem (olivina-basalto) é rico em Ca e Mg, influenciando nos altos teores destes elementos nos solos, principalmente em profundidade;
- Os atributos dos solos são determinados principalmente pela geomorfologia da península, e a influência da nidificação, proveniente de aves como skuas e petréis apesar de representar importante fonte de nutrientes para estes solos, assumem importância secundária como fonte de fosfatização;
- Embora substratos mais máficos (basalto rico em olivina) sejam mais suscetíveis ao intemperismo do que substratos mais félsicos (basalto andesítico) como os encontrados na ilha Rei George, por exemplo, os solos da península Coppermine possuem menor alteração do material de origem e menor intemperismo químico se comparado a essas áreas. O que demonstra maior importância de processos como sulfurização e fosfatização para a evolução pedogenética dos solos da Antártica marítima.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque-Filho, M.R., 2005. Geoquímica de Solos da península Keller, ilha Rei George, Antártica, como Subsídio ao Monitoramento Ambiental. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.
- Alvarez V.V.H. e Fonseca, D.M., 1990. Definição de Doses de Fósforo para Determinação da Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfatos e para Ensaio em Casa de Vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14, 49-55.
- André, M.F., 2003. Do periglacial landscape evolve under periglacial condition? *Geomorphology*, 52, 149-164.
- Arias, M.; Barral, M. T.; Diaz-Fierros, F., 1996. Effects of associations between humic acids and iron or aluminium on the flocculation and aggregation of kaolin and quartz. *European Journal of Soil Science*, Amsterdam, 47, 335-343.
- Blume, H.P.; Beyer, L.; Kalk, E.; Kuhn, D., 2002. Weathering and Soil Formation. In: Beyer, L.; Bölter, M. (Eds.). *Geoecology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscape. Ecological Studies*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 154, 91-184.
- Bockheim, J., 2014. *Cryopedology*. Springer, NY (173 pp.).
- Bockheim, J.G.; Balks, M.R. e McLeod, M., 2006. "ANTPAS Guide for Describing, Sampling, Analyzing, and Classifying Soils of the Antarctic Region, ANTPAS", 1-12.
- Bockheim, J.G., Tarnocai, C., 1998. Recognition of Cryoturbation for Classifying Permafrost-affected Soils. *Geoderma* 81, 281-293.
- Bower, C.A. e Hatcher, J.J., 1967. Adsorption of fluoride by soils and minerals. *Soil Science*, 103, 151-154.
- Bustamante, R.; Guzmán, G.; Serey, I., 1987. Importancia de Península Coppermine (isla Robert) para el Desarrollo de un Programa de Investigación em Ecología Terrestre. *Bol. Antárt. Chileno*, 7, 5-8.
- Campbell, I.B. e Claridge, G.G.C., 1987. *Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment*. Elsevier, Amsterdam (368 pp.).
- Chen, P.Y., 1997. Table of Key Lines in X-ray Powder Diffraction Patterns of Minerals in Clays and Associated Rocks. Indiana: Department of Natural Resources Geological Survey. (Paper 21).
- Dahlgren, R., 1994. Quantification of Allophane and Imogolite. In: Amonette, J.E.; Zelazny, L.W. (Eds.). *Quantitative Methods in soil Mineralogy*. Soil Science Society of America. Madison, WI, 430-448.

- Dent, D., 1986. Acid Sulphate Soils: A Baseline for Research and Development. ILRI-publication 39. Wageningen, The Netherlands, (268 pp.).
- Downs, R.T. and Hall-Wallace, M., 2003. The American Mineralogist Crystal Structure Database. Disponível em: <<http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de Solos), 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- Fanning, D. S.; Fanning, M. C. B., 1989. Soil Morphology, Genesis, and Classification. New York: John Wiley, (395 pp.).
- French, H.M., 2007. The Periglacial Environment. 3 ed. Longman, Harlow, England (458 pp.).
- IAATO (International Association of Antarctica Tour Operators), 2011. Tourism statistics. Disponível em: <<http://iaato.org/tourism-statistics> on 19 November 2012>. Acesso em: 29 mai. 2014.
- IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103. Rome: FAO.
- Jackson, M.L., 2005. Soil Chemical Analysis: Advanced Course. Madison: University of Wisconsin - Madison Libraries, (930pp.).
- Machado, A.; Chemale, F.; Conceição, R.V.; Kawaskita, K.; Morata, D.; Oteíza, O.; Van Schmus, W.R., 2005. Modeling of Subduction Components in the Genesis of the Meso-Cenozoic Igneous Rocks from the South Shetland Arc, Antarctica. *Lithos*, 82, 435-453.
- McKeague, J.A., 1967. An evaluation of 0.1 pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. *Can. J. Soil Sci.*, 47, 95-99.
- McKeague, J.A. e Day, J.H., 1966. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46, 13-22.
- Mehra, J.P.; Jackson, M.L., 1960. Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite-Citrate-Bicarbonate System Buffered with Bicarbonate Sodium. *Clays Clay Miner*, 7, 317-327.
- Michel, R.F.M.; Schafer, C.E.G.R.; Dias, L.; Simas, F.N.B.; Benites, V.; Mendonça, E.S., 2006. Ornithogenic gelsols (cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1370-1376.
- Michel, R.F.M.; Schaefer, C.E.G.R. ; López-Matínez, J.; Simas, F.N.B. ; Haus, N.W.; Serrano, E.; Bockheim, J.G., 2014. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology (Amsterdam)*, 225, 76-86.

- Muller, S.W., 1943. Permafrost or permanently frozen ground and related engineering problems. US. Engineer. Office, Strat. Engineer. Study Spec. Rep. 62, J.W. Edwards, Ann Arbor, MI.
- Münsell Soil Color Charts, 1990. Baltimore: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation.
- Murphy, J.; Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31-36.
- Myrcha, A.; Pietr, S.J.; Tatur, A., 1983. The role of Pygoscelis Penguin Rookeries in nutrient cycles at Admiralty Bay, King George Island. In: Siegfried, W.R., Condy, P.R., Laws, R.M. (Eds.). *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin, 156-162.
- Myrcha, A.; Tatur, A., 1991. Ecological role of current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. *Polish Polar Research*, 12, 3-24.
- Navas, A.; López-Martínez, J.; Casas, J.; Machín, J.; Durán, J.J.; Serrano, E.; Cuchi, J.A.; Mink, 2008. S. Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, Maritime Antarctica. *Geoderma*, 144, 123-139.
- Pefaur, J.E. e Murúa, R., 1972. Estudios Ecológicos em Isla Robert (Shetland del Sur). 7. Aves de la Península de Isla Robert. *Ser. Cient. INACH* 2, 11-23.
- Pereira, T.T.C., Schaefer, C.E.G.R., Ker, J.C., Almeida, C.C., Almeida, I.C.C., Pereira, A.B., 2013. Genesis, mineralogy and ecological significance of ornithogenic soils from a semi-desert polar landscape at Hope Bay, Antarctic Peninsula. *Geoderma*, 209-210, 98-109.
- Ruiz, H. A., 2005. Incremento da Exatidão da Análise Granulométrica do Solo por meio da Coleta da Suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 297-300.
- Schaefer, C.E.G.R.; Simas, F.N.B.; Albuquerque-Filho, M.R.; Michel, R.F.M.; Viana, J.H.M.; Tatur, A., 2004. Fosfatização: Processo de Formação de Solos na Baía do Almirantado e Implicações Ambientais. In: Schaefer, C.E.G.R.; Francelino, M.R.; Simas, F.N.B.; Albuquerque-Filho, M.R. (Eds.). *Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica marítima, Baía do Almirantado, ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT – Dep. de Solos, 47-59.
- Schwertmann, U. e Taylor, R.M., 1989. Iron oxides. In: Dixon, J.B. e Weed, S.B. (Eds.). *Minerals in soil environments*. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 380-427.
- Schwertmann, U., 1973. Use of oxalate for Fe extraction from soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 53, 244-246.

- Serrano, E. e López-Martínez, J., 1997. Geomorfología de la Península Coppermine. Ser. Cient. INACH 47, 19-29.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Melo, V.F., Guerra, M.B.B., Saunders, M., Gilkes, R.J., 2006. Clay-sized minerals in permafrost-affected soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. *Clays Clay Miner.* 54, 721-736.
- Simas, F.N.B.; Schaefer, C.E.G.R.; Melo, V.F.; Albuquerque-Filho, M.R.; Michel, R.F.M.; Pereira, V.V.; Gomes, M.R.M.; Costa, L.M., 2007. Ornithogenic Cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a Soil Forming Process. *Geoderma*, 138, 191-203.
- Simas, F.N.B.; Schaefer, C.E.G.R.; Albuquerque-Filho, M.R.; Francelino, M.R.; Fernandes Filho, E.I., Costa, L.M., 2008. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, maritime Antarctica. *Geoderma*, 144, 116-122.
- Smellie, J.L., Pankhurst, R.J., Thomson, M.R.A., Davies, R.E.S., 1984. The geology of the South Shetland Islands: VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution. *Brit. Antarct. Surv. Sci. Repts.*, 87, 1-85.
- Shoji, S. e Ono, T., 1978. Physical and chemical properties and clay mineralogy of Andosols from Kitakami. *Japanese Soil Science*, 126, 297-312.
- Soil Survey Staff, 1996. SSSIR nº 42, Soil Survey Laboratory Methods Manual. U.S. Dept. Agric., (716 pp.).
- Soil Survey Staff, 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11 ed. Washington, DC, USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Souza, K.K.D., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Spinola, D.N., Paula, M.D., 2014. Soil formation in Seymour Island, Weddell Sea, Antarctica. *Geomorphology* 255, 87-99.
- Souza, J.J.L.L., Schaefer, C.E.G.R., Abrahão, W.A.; Mello, J.W.V.; Simas, F.N.B.; Silva, J.; Francelino, M.R., 2012. Hydrogeochemistry of sulfate-affected landscapes in Keller Peninsula, Maritime Antarctica. *Geomorphology*, 155-156, 55-61.
- Ocorrência e distribuição de produtos da oxidação de sulfetos, hidrogeoquímica e mineralogia de sedimentos na península Keller, Antártica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.
- Sun, L.G.; Zhu, R.B.; Xie, Z.Q.; Xing, G.X., 2002. Emissions of Nitrous Oxide and Methane from Antarctic Tundra: Role of Penguin Dropping Deposition. *Atmospheric Environment*, 36, 4977-4982.
- Tarnocai, C.; Broll, G.; Blume, H.P., 2004. Classification of permafrost-affected soils in the WRB. In: Kimble, J.M. (Ed.). *Cryosols: Permafrost-Affected Soils*. Springer-Verlag, Berlin, 637-657.

- Tatur, A., 1989. Ornithogenic Soils of the Maritime Antarctic. Polish Polar Research, 4, 481-532.
- Tatur, A.; Myrcha, A., 1989. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries. Proc. NIPR Symp. Polar Biol., 2, 181-189.
- Tatur, A.; Myrcha, A., 1993. Ornithogenic soils. In: Rakusa-Suszczewski, S. Ed. The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. Polish Academy of Sciences, Warsaw, 161-165.
- Turner, J; Convey, P.; di Prisco, G.; Mayewski, P.; Hodgson, D., Fahrbach, E.; Bindschadler, R.; Summerhayes, C., 2008. Antarctic Climate Change and the Environment, Scientific Committee Antarctic Resource (SCAR).
- Ugolini, F.C., 1972. Ornithogenic Soils of Antarctica. In: Llano, G.A. Ed. Antarctic Terrestrial Biology Am. Geographies. Union Antarct. Res. Washington, 181-193.
- van Everdingen, R., 1998. Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms (revised May 2005). National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO.
- Yeomans, J.M., Bremer, J.C., 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19, 1467-1476.

CAPÍTULO 2

SOLOS ORNITOGÊNICOS DA ILHA BARRIENTOS, ANTÁRTICA MARÍTIMA

RESUMO

DAHER, MAYARA DE PAULA, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Solos Ornitógenicos da ilha Barrientos, Antártica marítima**. Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Felipe Nogueira Bello Simas. Cap. 2 (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

Uma grande quantidade de material orgânico originário da presença e atividade de aves, principalmente pinguins, é depositado nas áreas livres de gelo da Antártica marítima durante o curto período de verão. A incorporação de guano, cascas de ovos, penas e restos de animais à matriz mineral do solo é a principal influência na caracterização dos solos ornitógenicos. Embora exista um considerável acervo de estudos recentes em solos ornitógenicos da Antártica, a diferenciação desses solos pelas diferentes espécies de aves e materiais de origem, permanece pouco explorado. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar uma topossequência de solos ornitógenicos da ilha Barrientos, desenvolvidos de substratos vulcânicos de olivina-basalto, comparando os efeitos da altitude, proximidade do mar e espécies de aves nidificantes. Para tanto, realizou-se a caracterização física, química, mineralógica e microanálise em seções finas. Os solos foram classificados de acordo com os sistemas de classificação *Soil Taxonomy* e WRB/FAO. Dos cinco perfis coletados, nenhum possui *permafrost* dentro dos 100 cm, sendo P1 e P2 enquadrados como *Entisol* pela *Soil Taxonomy* (SSS, 2010) ou *Leptosol* pela *World Reference Base for Soil Resources* (IUSS, 2006), enquanto P3, P4 e P5, foram classificados como *Inceptisol* (*Soil Taxonomy*) ou *Cambisol* (WRB/FAO). Os solos da ilha Barrientos são profundos, a textura dos solos é grosseira, tendo a TFSA composta principalmente por areia, seguida por silte. Os valores altos de Na em todos os perfis são atribuídos à influência dos *sprays* salinos devido à proximidade do mar e ventos intensos. Os solos sob influência da atividade de petréis possuem valores de P (Mehlich-1) bem mais baixos que os solos sob influência de pinguins. Os teores de Ca e Mg são bastante elevados, influência principalmente do material de origem. A mineralogia da fração argila é composta

basicamente por esmectitas, vermiculita, plagioclásios, apatitas e strengitas. Os teores de P (Mehich-1) são menores na ilha Barrientos quando comparado a outras áreas da Antártica marítima, reflexo da menor população de aves atual.

1. INTRODUÇÃO

Os solos da Antártica marítima diferem dos de outras zonas climáticas da Antártica (Campbell e Claridge, 1987; Bockheim e Ugolini, 1990; Simas *et al.*, 2006). As temperaturas mais elevadas e a presença de água líquida no solo durante o verão favorecem o intemperismo químico, o início de uma série de processos pedogenéticos e o aparecimento de cobertura vegetal (Campbell e Claridge, 1987). Além da água, a matéria orgânica acumulada e a entrada de nitrogênio e fósforo oriundos de dejetos de aves marinhas, favorecem o desenvolvimento desses solos.

Uma grande quantidade de material orgânico originário da presença e atividade de aves, principalmente pinguins, é depositado nas áreas livres de gelo da Antártica marítima durante o curto período de verão, como guano, cascas de ovos, penas e restos de animais (Ugolini, 1972; Tatur e Myrcha, 1984; Tatur, 1989; Emslie *et al.*, 1998). A incorporação destes materiais orgânicos à matriz mineral do solo é a principal influência na caracterização dos solos ornitogênicos, termo que tem sido amplamente utilizado na literatura (Syroechkovsky, 1959; Tedrow e Ugolini, 1966; Tatur e Myrcha, 1984; Campbell e Claridge, 1987; Bockheim e Ugolini, 1990; Simas *et al.*, 2007).

O reflexo da deposição de material orgânico pelas aves nas características físicas, químicas e mineralógicas nos substratos minerais é marcante, originando de modo geral, solos ricos em minerais de argila fosfatados, valores de pH baixos, disponibilidade de P (Mehlich-1) alta, altos teores de carbono orgânico total (COT) e sais solúveis (Speir e Cowling, 1983; Ugolini, 1972; Schaefer *et al.*, 2004; Simas *et al.*, 2007).

Durante o Holoceno, com o degelo, seguido pela elevação glacio-isostática das terras, um grande número de pinguineiras foram abandonadas e novas se desenvolveram nos terraços recentemente expostos mais próximos da costa e em afloramentos rochosos (Tatur *et al.*, 1997). Nas pinguineiras ativas a contínua deposição do guano fresco e o pisoteio das aves inibe o estabelecimento de vegetação (Simas *et al.*, 2007).

Nas pinguineiras abandonadas, normalmente em posições mais altas na paisagem, a vegetação é densa, extensamente colonizadas por líquens, briófitas e espécies superiores de *Deschampsia antártica* (*gramineae*) e *Colobanthus*

(*Cariofilaceae*). Observa-se também o desenvolvimento de vegetação nas áreas marginais às pinguineiras ativas, indicando a importância da fertilização dos solos por estes animais no estabelecimento de comunidades vegetais mais complexas (Tatur e Myrcha, 1993).

Apesar de sua limitada distribuição geográfica nas áreas livres de gelo da Antártica, os solos ornitogênicos são os mais desenvolvidos e diversificados. Além disso, as pinguineiras são indicadores sensíveis do clima da Antártica e dos parâmetros ambientais que limitam sua presença e distribuição (Baroni e Orombelli, 1994). Assim, o estudo destes ambientes torna-se de grande relevância para a preservação ambiental e melhor entendimento da pedogênese em ambientes periglaciais (Michel *et al.*, 2006; Simas *et al.*, 2007).

Solos ornitogênicos representam *hot-spots* de diversidade biológica e riqueza química. Embora exista um considerável acervo de estudos recentes em solos ornitogênicos da Antártica, a diferenciação de solos ornitogênicos pelas diferentes espécies de aves e materiais de origem, permanece pouco explorado. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar uma topossequência de solos ornitogênicos da ilha Barrientos, desenvolvidos de substratos vulcânicos de olivina-basalto, entre as rochas mais antigas das Shetland do Sul, comparando os efeitos da altitude, proximidade do mar e espécies de aves nidificantes. Para tanto, realizou-se a caracterização física, química, mineralógica e microanálise em seções finas; e os solos foram classificados de acordo com os sistemas de classificação *Soil Taxonomy* e WRB/FAO.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A ilha Barrientos (62°24'S, 59°47'W) faz parte do grupo de ilhas Aitcho. Esse grupo é composto por pequenas ilhas (Barrientos, Bilyana, Cecilia, Emeline, Jorge, Kilifarevo, Pasarel e Riksa), situadas ao norte da entrada do canal Inglês (Figura 1), entre as ilhas Robert e Greenwich, no arquipélago das Shetland do Sul.

As ilhas foram mapeadas em 1935, durante investigações oceanográficas conduzidas pelo Comitê da Descoberta, posteriormente renomeado para escritório de oceanografia do Reino Unido ('*Aitcho*' é a pronúncia da abreviação "H.O.", que no inglês significa "*Hydrographic Office*", escritório de oceanografia).

A ilha Barrientos é relativamente pequena, com dimensões aproximadas de 1,5 por 0,5 km. A costa norte da ilha é dominada por penhascos íngremes, atingindo uma altura de aproximadamente 70 m, com um declive suave até a costa sul.

Não há dados climáticos do local, mas o clima é assumido como sendo semelhante à ilha Greenwich, onde localiza-se a Estação Equatorial Pedro Vicente Maldonado. A temperatura média durante o verão varia entre -2 e +2 °C, com precipitação média anual de aproximadamente 600 mm (IAATO, 2011).

Com rochas vulcânicas basálticas da "Formação Coppermine", a ilha Barrientos é composta principalmente por intrusões basálticas e basaltos ricos em olivina, ou seja, mais pobre em sílica, e mais rico em ferro e magnésio (Figura 1).

A ilha é quase totalmente vegetada por cobertura de musgos e líquens, entretanto não foram observadas as duas únicas espécies de plantas superiores da Antártica (*Deschampsia antarctica* ou *Colobanthus Quitensis*), comuns em outras áreas de solos ornitogênicos da Antártica marítima (Tatur, 1989; Schaefer *et al.*, 2004; Michel *et al.*, 2006; Simas *et al.*, 2007). Por outro lado, encontrou-se a alga *Prasiola crispa*, típica de áreas com influência de colônias de aves (Tatur, 1989).

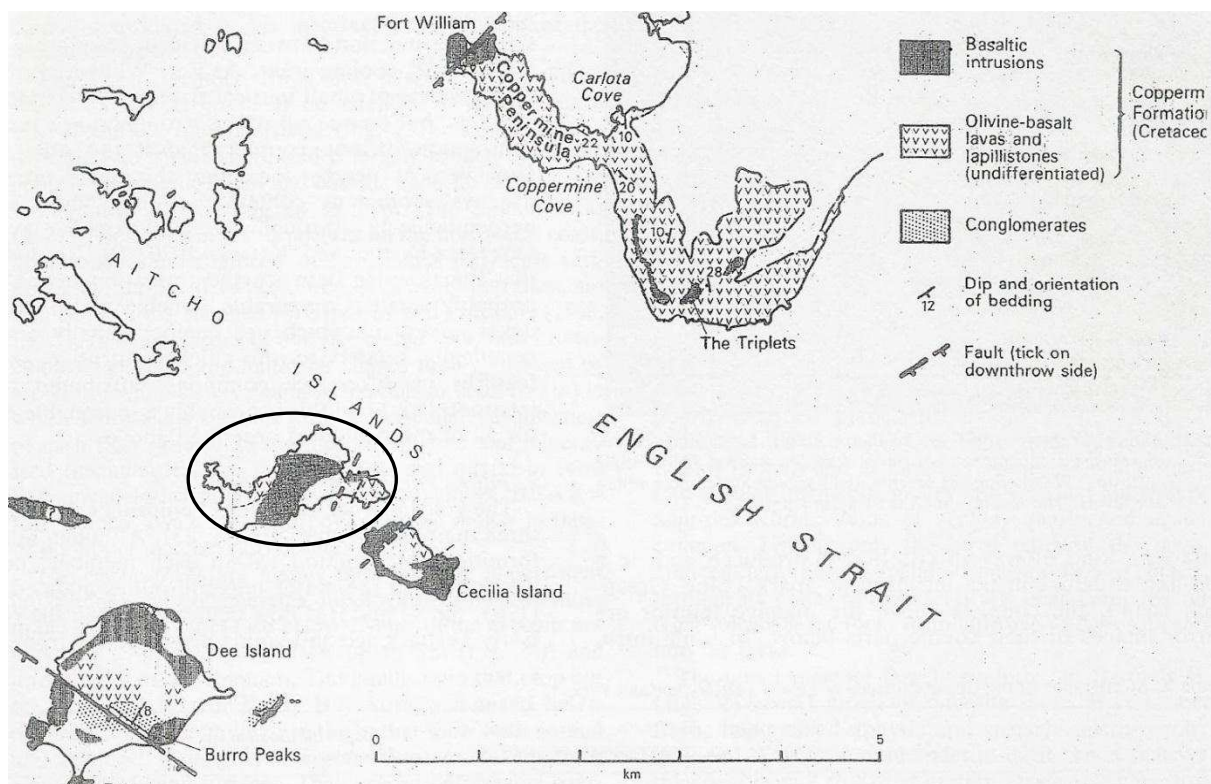


Figura 1. Localização e Geologia da ilha Barrientos.
 Fonte: Adaptado de Smellie *et al.*, 1984.

2.2. Trabalho de campo, coleta e preparo das amostras

As amostras de solo foram coletadas nas áreas livres de gelo da ilha Barrientos durante a Operação Antártica XXXII no mês de fevereiro de 2014, com o apoio logístico da Marinha do Brasil.

Em campo, foram descritos e amostrados 5 perfis de solo, seguindo recomendações de Bockheim *et al.* (2006). Os perfis foram abertos ao longo de uma topossequência sob influência da atividade de pinguins ou outras aves (P1 – P5), desde o terraço marinho inferior, a 2 metros de altitude acima do nível do mar, até a cota de 57 metros, na parte mais elevada da ilha, representando diferentes intensidades de ocupação dos animais. Além desses perfis, duas amostras de materiais de 0-5 cm em ninhais de petrel e pinguim foram coletadas (G1 e G2) (Figura 2).

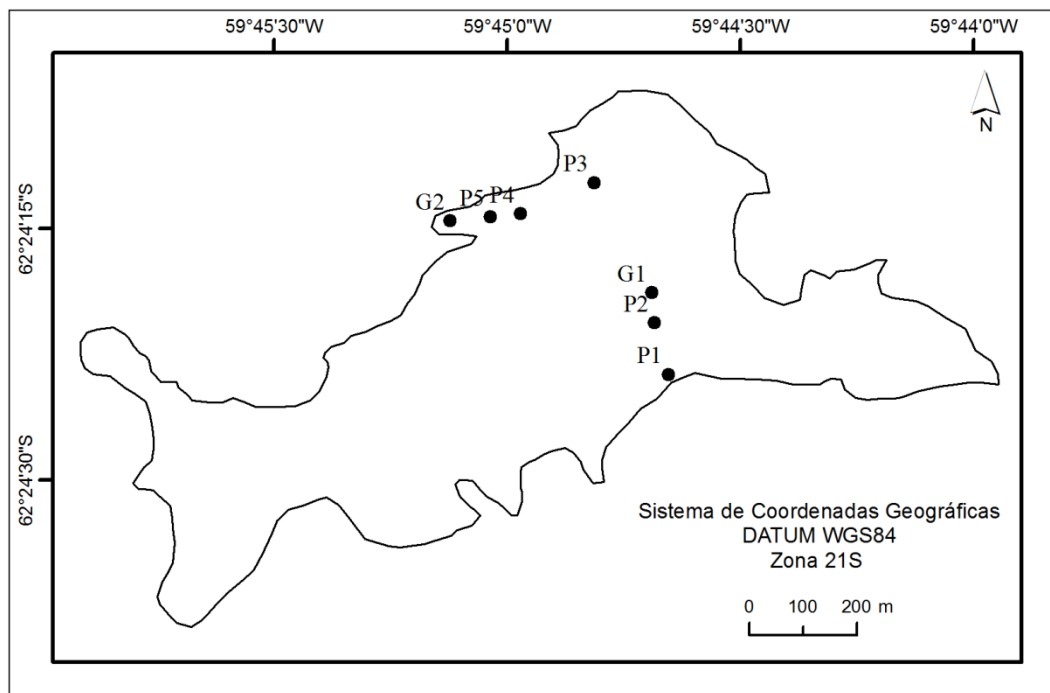


Figura 2. Localização dos perfis de solos e amostras de materiais de 0-5 cm coletados na ilha Barrientos.

Os solos foram classificados de acordo com a *Soil Taxonomy* (SSS, 2010) e *World Reference Base for Soil Resources* (IUSS, 2006). As amostras foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para a confecção da terra fina seca ao ar (TFSA) para as determinações laboratoriais.

2.3. Determinações laboratoriais: análises físicas, químicas, mineralógicas e microanálise em seções finas

Através da amostra integral coletada, foi determinada a porcentagem de cascalho para cada horizonte. Para tanto, o material foi pesado, tamisado em peneira de 2,0 mm de malha e a porção retida na peneira foi novamente pesada pra determinação da porcentagem de cascalho.

A textura do solo foi determinada utilizando dispersão mecânica lenta em água destilada (pH 10), através do peneiramento e pesagem para as frações areia grossa e areia fina, e a sedimentação, para as frações silte e argila (Ruiz, 2005).

A cor do solo úmido foi determinada em laboratório em função das dificuldades encontradas em campo, posteriormente foi determinada a cor do solo seco, ambos utilizando a caderneta de Münsell (1990).

O pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹ foram determinados na suspensão solo:solução 1:2,5. O pH em NaF 1 mol L⁻¹ foi determinado na proporção 1:50 (SSSA, 1996). Para determinação de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foi usado o KCl 1 mol L⁻¹ como extrator e o espectrofotômetro de absorção atômica para quantificação do Ca²⁺ e Mg²⁺, e titulometria para quantificação do Al³⁺. Os elementos P, Na⁺ e K⁺, Cu, Mn, Fe, Zn e Ni foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ (dupla diluição) e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ (Mehlich-1). O P disponível foi quantificado por espectrofotômetro, e o K⁺, Na⁺, Cu, Mn, Fe, Zn e Ni por fotometria de emissão de chama.

A acidez potencial (H + Al) foi determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ após extração com Ca(CH₃COO₂) 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 (EMBRAPA, 1997). O P remanescente (P- rem) foi obtido em amostra de TFSA com CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação solo:extrator de 1:10, segundo Alvarez e Fonseca (1990) e, determinado nos extratos segundo Murphy e Riley (1962).

O método de destilação por Kjeldahl (EMBRAPA, 1997) foi usado para determinação de N total. O COT foi determinado por oxidação via úmida de acordo com o método proposto por Yeomans e Bremner (1988).

A partir dos resultados obtidos, foi possível o cálculo dos seguintes índices: soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), capacidade de troca catiônica efetiva no pH do solo (t), índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Para a caracterização mineralógica das frações argila, silte e areia foram selecionados horizontes representativos de cada perfil e amostras de TFSA foram agitadas por 16 horas com água deionizada. A fração areia foi separada por peneiramento, as frações silte e argila foram separadas por centrifugação usando solução de Na₂CO₃ ajustada a pH 9,5 como dispersante químico (Jackson, 2005).

A identificação dos minerais presentes foi realizada na linha de Difração de Raios-X em Policristais (XPD), no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas. A difração com luz Síncrotron foi realizada no intervalo entre 2 a

80° 2θ, a temperatura ambiente e até 550 °C, cujo o comprimento de onda utilizado foi de $\lambda = 1,771200 \text{ \AA}$. A interpretação dos difratogramas de raios-X foram baseadas nas tabelas propostas por Chen (1977) e por Downs e Hall-Wallace (2003) através do site *American Mineralogist Crystal Structure Database*, da base disponibilizada pela *Mineralogical Society of America*.

Os óxidos de Fe e Al pedogênicos (Fe_{dcb} e Al_{dcb}) foram extraídos da TFSA com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra e Jackson, 1960), em extrações sequenciais até a descoloração das amostras. Para a análise das formas de Fe e Al menos cristalinas (Fe_o e Al_o), utilizou-se oxalato de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 3,0, na ausência de luz (McKeague e Day, 1966). O Fe e Al (Fe_p e Al_p) ligados à matéria orgânica do solo foram extraídos por pirofosfato de sódio segundo metodologia proposta de McKeague (1967). A determinação de Fe e Al nos extratos foi feita por espectrometria de absorção atômica.

Seções finas, previamente estudadas em microscópio petrográfico com polimento manual, foram preparadas para microanálise em microscopia eletrônica de varredura (MEV). Após lavagem ultra-sônica final para remoção de resíduos do polimento, as seções finas foram recobertas com filme condutor de carbono e montadas em suporte metálico. As lâminas foram analisadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura, modelo JEOL JSM 6400, com detector de retroespalhamento eletrônico, acoplado a espectrômetro de dispersão de raios-X (PCXA - EDS).

3. RESULTADOS

3.1. Descrição geral dos solos na topossequência

Dos cinco perfis coletados (Figura 3), nenhum possui *permafrost* dentro dos 100 cm, sendo P1 e P2 enquadrados como *Entisol* pela *Soil Taxonomy* (SSS, 2010) ou *Leptosol* pela *World Reference Base for Soil Resources* (IUSS, 2006), enquanto P3, P4 e P5, foram classificados como *Inceptisol* (*Soil Taxonomy*) ou *Cambisol* (WRB/FAO) (Tabela 1).



Figura 3. Perfis de solos coletados na ilha Barrientos, Antártica marítima. **P1:** “Ornithogenic” Typic Haploturbel (ST) e Turbic Cryosol (Ornithic, Eutric, Skeletic) (WRB). **P2:** “Ornithogenic” Lithic Haploturbel (ST) e Turbic Cryosol (Ornithic) (WRB). **P3:** “Ornithogenic” Typic Haploturbel (ST) e Turbic Cambic Cryosol (Ornithic, Dystric) (WRB). **P4:** “Ornithogenic” Typic Haploturbel (ST) e Turbic Cambic Cryosol (Ornithic, Eutric) (WRB). **P5:** “Ornithogenic” Typic Haploturbel (ST) e Turbic Cambic Cryosol (Ornithic) (WRB).

Tabela 1. Localização, descrição geral e classificação dos perfis de solo amostrados.

Perfil	Altitude ¹ m	Posição Geográfica ²	Descrição Geral	Classificação	
				Soil Taxonomy	WRB/FAO
1	2	62,40711 S 59,74466 W	Terraço marinho inferior, na borda de um afloramento basáltico, em área de colonização de <i>Pygoscelis Papua</i> . Perfil bem drenado e cobertura vegetal alterada por excreta e pisoteio de pinguins. Não há permafrost.	“Ornithogenic” Typic Cryorthents	Haplic Leptosol (Ornithic, Gelic, Skeletal)
2	23	62,40631 S 59,74530 W	Terraço marinho superior, com camada muito fina de fosfatização. Perfil moderadamente drenado e cobertura vegetal ainda alterada por excreta e pisoteio de pinguins. Não há permafrost.	“Ornithogenic” Lithic Cryorthents	Haplic Leptosol (Ornithic, Gelic)
3	32	62,40397 S 59,74731 W	Acima do terraço marinho superior, na encosta da crista de um afloramento basáltico. Perfil bem drenado e superfície coberta por musgos e líquens. Não há evidência de permafrost.	“Ornithogenic” Typic Dystrocryepts	Haplic Cambisols (Ornithic, Gelic, Skeletal)
4	57	62,40437 S 59,75009 W	Encosta íngreme, em paleoninhal de Petrel Gigante. Perfil bem drenado e cobertura vegetal de almofadas de musgos próximos aos ninhos e líquens nas rochas. Não há evidência de permafrost.	Typic Eutrocryepts	Haplic Cambisols (Gelic, Eutric)
5	23	62,40432 S 59,75104 W	Perfil descrito em paleopinguineira de <i>Pygoscelis antarctica</i> . Perfil bem drenado e cobertura vegetal de raras almofadas de <i>Polytrichum</i> e ocasionais coberturas de alga <i>Prasiola crispa</i> .	“Ornithogenic” Typic Haplocryepts	Haplic Cambisols (Ornithic, Gelic)
Material coletado de 0-5 cm					
Ninho de Petrel	30	62,40637 S 59,74551 W	Guano de ninho de petrel coletado acima do 1º nível de terraço marinho.	-	-
Ninho de Pinguim	13	62,40447 S 59,75203 W	Guano de ninho de Pinguim antártico coletado em terraço marinho de frente para o canal Inglês.	-	-

¹Em relação ao nível médio do mar; ²Coordenadas Geográficas, datum WGS 84, Zona 21S.

A textura dos solos é grosseira, sendo a terra fina seca ao ar (TFSA) composta principalmente por areia, seguida por silte (classe textural franco-arenosa) (Tabela 2) e não apresentam formação de feições típicas, como os solos com padrões, apesar da presença de crioturbação nos perfis.

Os solos possuem valores de pH em H₂O abaixo, de 6,2, pH em NaF entre 7 e 10, são eutróficos e possuem teores de P (Tabela 3). Os valores de Fe_o/Fe_{dcb} variaram de 0,6 a 1,6 (Tabela 4). A fração argila natural é composta principalmente por esmectita e fosfatos de ferro (strengita).

O P1 foi descrito na borda de um afloramento basáltico, sob pinguineira atual, no terraço marinho mais baixo da ilha, a 2 metros de altitude acima do nível do mar, onde há uma pequena colônia de *Pygoscelis Papua*. Há pouca cobertura vegetal, composta principalmente por alga *Prasiola Crispa* e almofadas ocasionais de musgos bem alterados pelo pisoteio de pinguins e pela deposição contínua de guano fresco (Tabela 1). Na TFSA predomina a classe textural areia-franca, com baixos teores de argila e a alta porcentagem em peso de cascalho (Tabela 2). A camada de guano fresco (0-5 cm) tem alto teor de P. Dentre todos os perfis, possui o maior teor de saturação por bases e soma de bases (Tabela 3).

Os valores de Fe_o/Fe_{dcb}, que indicam o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro (Schwertmann, 1973), é o mais alto em relação aos outros perfis, chegando a 1,48 no horizonte superficial (Tabela 4).

A mineralogia da fração argila do horizonte superficial é composta principalmente por argilominerais do grupo das esmectitas, detectada pelo pico de 11,36 Å e por apatita (3,43; 2,77 e 5,25 Å) (Figura 4). No horizonte Cr3 (60-100 cm) da fração argila foi identificado esmectita (12,46 e 1,53 Å), vermiculita (14,36; 7,12 e 4,60 Å), illita e mica (9,5 Å), plagioclásio (3,65; 4,04 e 3,19 Å) e strengita (3,11 e 2,94 Å) (Figura 5).

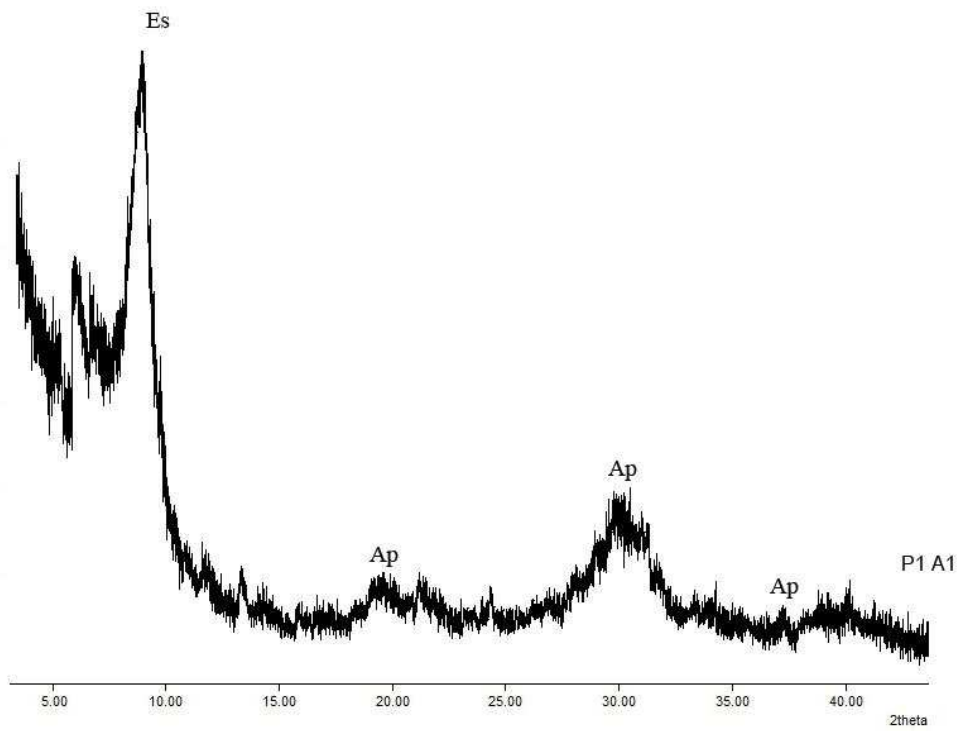


Figura 4. DRX da fração argila do horizonte A1 (P1). (Es: esmectita; Ap: apatita).

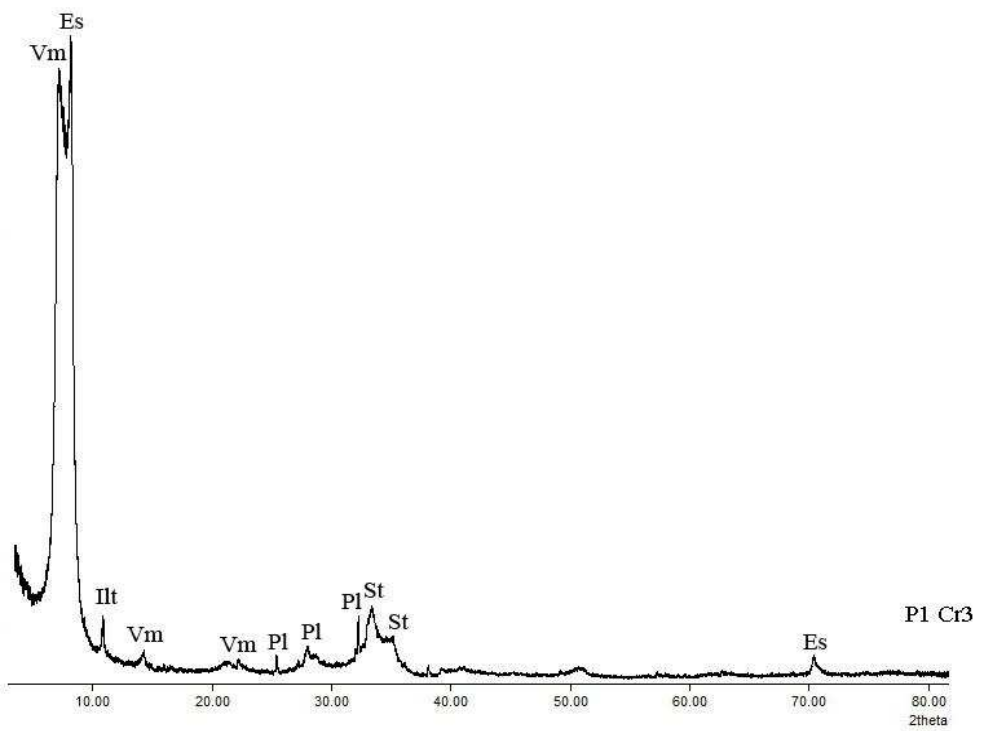


Figura 5. DRX da fração argila do horizonte Cr3 (P1). (Ve: vemiculita; Es: esmectita; Ilt: illita e mica; Pl: plagioclásio; St: Strengita).

Tabela 2. Temperatura e atributos físicos e morfológicos dos perfis de solos estudados na ilha Barrientos.

Horizonte	Profundidade cm	T		Cor	Cascalho	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
		°C	úmido						
Perfil 1 - 2 m.a.n.m.; terraço marinho inferior; colonização de <i>Pygoscelis Papua</i>.									
A1	0-5	3,4	2,5Y 3/1	very dark gray	35,2	84	12	4	Areia-Franca
A2	5-20	3,0	2,5Y 3/1	very dark gray	39,5	83	14	3	Areia-Franca
Cr1	20-45	3,1	10YR 2/1	black	73,8	79	15	6	Areia-Franca
Cr2	45-60	2,2	10YR 2/1	black	69,6	78	16	6	Areia-Franca
Cr3	60-100	2,2	10YR 2/1	black	33,3	53	40	7	Franco-Arenosa
Perfil 2 – 23 m.a.n.m.; terraço marinho superior; paleopinguineira de <i>Pygoscelis Papua</i>.									
O	0-10	1,8	10YR 2/2	very dark brown	0,0	93	2	5	Areia
AO	10-17	1,7	10YR 3/4	dark yellowish brown	11,4	83	10	7	Areia-Franca
C	17-20	1,6	10YR 3/4	dark yellowish brown	9,1	74	18	8	Franco-Arenosa
Cr	20-50	1,8	-	-	-	-	-	-	-
Perfil 3 – 32 m.a.n.m.; acima do terraço marinho superior; pinguineira abandonada.									
O	0-3	2,3	7,5YR 3/3	dark brown	4,4	85	6	9	Areia-Franca
A	3-10	2,9	10YR 3/2	very dark grayish brown	51,7	78	11	11	Franco-Arenosa
Bw	10-20	2,1	7,5YR 3/4	dark brown	15,4	69	16	15	Franco-Arenosa
BC	20-35/38	2,4	7,5YR 3/4	dark brown	37,3	66	23	11	Franco-Arenosa
Cr	35/38-70+	2,2	7,5YR 3/3	dark brown	87,6	62	27	11	Franco-Arenosa
Perfil 4 – 57 m.a.n.m.; topo da paisagem; paleoninhal de petrel gigante.									
A	0-3/10	4,1	2,5Y 3/1	very dark gray	8,1	78	13	9	Franco-Arenosa
Bw	3/10-50/70	4,3	7,5YR 3/4	dark brown	1,9	74	22	4	Franco-Arenosa
R	70-100+	2,6	-	-	-	-	-	-	-
Perfil 5 – 23 m.a.n.m.; encosta declivosa; paleopinguineira de <i>Pygoscelis antarctica</i>.									
AB	0-3	1,1	2,5Y 5/6	light olive brown	5,1	70	24	6	Franco-Arenosa
Bw1	3-10	1,6	2,5Y 5/6	light olive brown	0,8	70	24	6	Franco-Arenosa
Bw2	10-30+	-	2,5Y 5/6	light olive brown	3,8	75	20	5	Franco-Arenosa
C1	30-70	-	2,5Y 5/6	light olive brown	0,0	72	21	7	Franco-Arenosa
C2	70-90+	-	-	-	-	-	-	-	-
Material coletado de 0-5 cm									
Ninho de Petrel	-	-	2,5Y 3/3	dark olive brown	0,0	72	24	4	Franco-Arenosa
Ninho de Pinguim	-	-	2,5Y 4/4	dark olive brown	6,7	60	34	6	Franco-Arenosa

T: temperatura

Na sequência, no P2, ainda no terraço marinho, mais elevado, há uma paleopinguineira de *Pygoscelis Papua*, a 23 metros de altitude acima do nível do mar (Tabela 1). A cobertura vegetal é bem desenvolvida, composta de musgos e líquens alterados pelo pisoteio e excreta de pinguins. A cor do solo (úmido) é muito cromada, com matiz 10YR, valor entre 2 e 3, e croma que chega a 4 (Tabela 2). É o perfil com maior porcentagem de areia em superfície na TFSA (classe textural areia) (Tabela 2). O teor de P é baixo na camada superficial (0-10), aumentando em subsuperfície (10-17 cm). O teor de carbono orgânico total (COT) é elevado em subsuperfície, sendo o mais alto dentre todos os horizontes coletados na ilha, bem como o valor de Al_p . O valor de pH em NaF nesse perfil foi maior que 9,5 (Tabela 3).

O perfil seguinte (P3), está localizado acima do terraço marinho superior, a 32 metros de altitude acima do nível do mar, sob uma pinguineira abandonada, muito antiga, já bem intemperizada, mas onde ainda há nidificação de pinguins dispersos. Toda a superfície é coberta por vegetação (musgos e líquens) (Tabela 1). Apenas esse perfil apresentou teores relativamente maiores de argila. A cor do solo (úmido) também é cromada, predominantemente 7,5YR, valor 3, e croma 4 (Tabela 2).

Dentre todos os perfis, é o mais ácido, com os valores mais altos de P desde o horizonte O (0-3 cm) até o horizonte Cr (35/38-70+ cm). Os valores de Ca e Mg são baixos, quando comparado aos demais solos analisados, sendo o único solo distrófico. Possui os maiores valores de H+Al. O horizonte A (0-3 cm) é rico em COT, decrescendo em profundidade (Tabela 3). O valor de pH em NaF é alto em todo o perfil, aumentando em profundidade. Os teores de Al_p e Fe_p são os mais altos dentre todos os perfis (Tabela 4).

No local mais alto da paisagem, no topo da crista, desenvolve um solo ornitogênico (P4) na fratura de basalto decomposto. É uma área de paleoninhal de petrel gigante, a 57 metros de altitude acima do nível do mar (Tabela 1). Observou-se no local a maior diversidade de vegetação, composta principalmente por líquens *Usnea sp.* e *Ochrolechia frigida*, almofadas de musgos *Polytrichum sp.* e algas *Prasiola crispa*. Há uma clara separação entre o horizonte fosfático (Bw) e o contato lítico subjacente (R). Entretanto, o perfil apresenta baixos teores de COT e P, sendo ambos os mais baixos dentre todos os perfis (Tabela 3). Os valores de pH em NaF são baixos (Tabela 3) e a relação Fe_o/Fe_d é alta, variando de 1,4 a 1,6 (Tabela 4).

Tabela 3. Análises químicas dos perfis de solos estudados na ilha Barrientos.

Hor.	Prof. cm	pH			P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	T	V	m	ISNa	COT	P-rem	Cu	Mn	Fe	Zn	Ni	N
		H ₂ O	KCl	NaF																					
Perfil 1 – 2 metros acima do nível do mar, terraço marinho inferior, colonização de <i>Pygoscelis Papua</i>.																									
A1	0-5	6,0	4,7	8,9	736,3	158,0	470,3	9,3	5,9	0,0	6,8	17,6	17,6	24,4	72,2	0,0	8,4	0,9	51,7	10,8	15,5	495,1	7,4	3,1	0,2
A2	5-20	4,9	3,5	9,1	302,2	418,0	611,1	7,0	5,7	4,4	10,2	16,4	20,8	26,6	61,7	21,1	10,0	0,3	32,6	13,3	48,1	369,4	2,8	3,7	0,1
Cr1	20-45	5,2	5,6	8,8	193,7	298,0	1274,9	13,8	9,1	7,3	12,0	29,2	36,5	41,2	70,9	20,0	13,5	0,1	28,2	14,8	60,0	156,9	2,7	2,5	0,2
Cr2	45-60	6,0	3,8	8,4	100,7	178,0	892,7	17,2	15,2	1,5	5,3	36,7	38,2	42,0	87,4	3,9	9,2	0,1	40,5	8,7	46,9	134,1	1,1	2,2	0,1
Cr3	60-100	5,1	4,1	8,3	283,0	218,0	1093,9	17,2	17,6	1,4	4,0	40,2	41,6	44,2	90,9	3,4	10,8	0,1	43,5	16,5	43,8	164,5	1,2	3,5	0,1
Perfil 2 – 23 metros acima do nível do mar, terraço marinho superior, paleopinguineira de <i>Pygoscelis Papua</i>.																									
O	0-10	6,3	4,4	9,7	171,7	172,0	912,8	7,6	6,4	0,9	7,4	18,5	19,4	25,9	71,4	4,6	15,3	4,2	27,1	4,7	16,6	138,5	2,8	2,1	0,1
AO	10-17	5,9	4,0	10,4	878,6	116,0	490,4	7,9	5,4	1,9	13,9	15,8	17,7	29,7	53,2	10,7	7,2	7,4	13,1	9,4	12,7	163,1	4,4	4,3	0,1
C	17-20	5,5	3,7	10,6	711,4	112,0	470,3	6,5	4,1	6,4	16,0	13,0	19,4	29,0	44,8	33,1	7,1	1,0	13,1	8,0	19,5	326,9	4,1	2,0	0,2
Cr	20-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfil 3 – 32 metros acima do nível do mar; acima do terraço marinho superior; pingueira abandonada.																									
O	0-3	4,8	3,8	9,6	1089,3	178,0	832,4	9,0	4,0	1,1	17,0	17,1	18,2	34,1	50,1	6,0	10,6	6,4	36,0	5,5	5,8	192,6	9,1	2,0	0,2
A	3-10	4,7	3,7	9,9	1532,8	198,0	570,9	4,3	1,3	2,3	19,1	8,6	10,9	27,7	31,0	21,1	9,0	2,2	28,3	19,9	5,2	436,6	16,0	1,3	0,1
Bw	10-20	4,4	3,5	10,3	1462,0	138,0	269,2	2,8	0,5	2,8	35,3	4,8	7,6	40,1	12,0	36,7	2,9	2,9	33,6	16,7	1,3	403,0	2,3	0,8	0,1
BC	20-35/38	4,3	3,4	10,1	1580,8	192,0	329,5	3,2	0,6	2,7	35,8	5,6	8,3	41,4	13,6	32,4	3,5	2,4	34,8	13,9	1,7	438,1	2,8	0,7	0,1
Cr	35/38-70+	3,9	3,2	10,2	1576,4	178,0	188,7	2,7	0,5	3,5	36,8	4,4	7,9	41,2	10,8	44,1	2,0	1,6	43,9	7,4	1,2	388,1	1,0	0,4	0,1
Perfil 4 – 57 metros acima do nível do mar; topo da paisagem; paleoninhal de petrel gigante.																									
A	0-3/10	5,8	3,9	7,7	107,6	184,0	510,5	8,6	7,2	2,1	7,8	18,5	20,6	26,3	70,3	10,2	8,5	0,9	35,0	18,7	28,9	455,6	1,8	3,6	0,1
Bw	3/10-50/70	6,2	3,9	7,6	25,7	158,0	269,2	14,6	6,9	3,0	5,8	23,1	26,1	28,9	79,9	11,5	4,1	0,2	33,2	23,5	27,4	409,6	1,7	4,8	0,2
R	70-100+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfil 5 – 23 metros acima do nível do mar; encosta declivosa; paleopinguineira de <i>Pygoscelis antarctica</i>.																									
AB	0-3	4,9	3,3	8,2	534,3	298,0	349,6	6,4	7,4	13,7	21,5	16,0	29,7	37,5	42,7	46,1	4,1	0,4	22,4	6,1	6,0	304,7	2,6	4,9	0,2
Bw1	3-10	5,2	3,2	7,8	278,2	378,0	228,9	7,6	13,0	8,90	14,4	22,5	31,4	36,9	61,0	28,3	2,7	0,3	29,1	5,9	9,4	257,4	1,6	8,9	0,1
Bw2	10-30	5,2	3,2	7,8	116,0	152,0	188,7	6,3	14,2	10,6	14,4	21,7	32,3	36,1	60,1	32,9	2,3	0,1	16,7	8,2	14,5	405,4	1,5	9,8	0,1
C1	30-70	5,3	3,1	7,5	70,7	138,0	188,7	6,4	9,1	17,3	24,6	16,6	33,9	41,2	40,3	51,0	2,0	0,1	9,5	8,5	14,2	362,3	1,2	6,8	0,1
C2	70-90+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Material coletado de 0-5 cm																									
Ninho de Petrel	-	5,7	3,3	7,5	61,3	170,0	530,7	4,2	16,5	8,9	14,7	23,5	32,4	38,2	61,5	27,5	6,1	0,2	16,6	15,2	21,9	409,2	2,1	13,0	0,1
Ninho de Pinguim	-	5,2	3,7	8,7	801,8	719,0	450,2	9,3	6,5	10,9	13,0	19,5	30,4	32,5	60,0	35,8	6,0	0,5	46,2	13,1	14,8	464,0	4,1	5,6	0,1

P, Na e K (extrator Mehlich 1); Ca, Mg, Al (extrator KCl 1 mol L⁻¹); H+Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0); SB: soma de bases; CTC t: capacidade de troca catiônica efetiva; CTC T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação por bases; m: índice de saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação por sódio; COT: carbono orgânico total; P-rem: fósforo remanescente; N: nitrogênio total.

Nas encostas declivosas, ocorre o ambiente de pinguineiras ativas e inativas. O P5 está localizado a 23 metros de altitude acima do nível do mar, em local de pinguineira abandonada de *Pygoscelis antarctica*. A cobertura vegetal é escassa e há forte evidência de solifluxão e erosão eólica severa, com almofadas ocasionais de musgos *Polytrichum sp.* e algas *Prasiola crispera* e raros líquens sobre as rochas. A cor do solo (úmido) chama atenção, com matiz 2,5Y e croma muito alto (6) (Tabela 2). É o perfil com os menores teores de COT e com maiores teores de Al^{3+} . O P é mais alto em superfície e diminui drasticamente em profundidade (Tabela 3).

Os valores de pH em NaF são os mais baixos dentre todos os perfis (Tabela 3), bem como a relação Fe_o/Fe_{dcb} (Tabela 4). A mineralogia da fração argila do perfil 5 é composta principalmente por minerais 2:1 (12,80; 4,60 e 1,53 Å) e strengita (3,12 Å) (Figura 6).

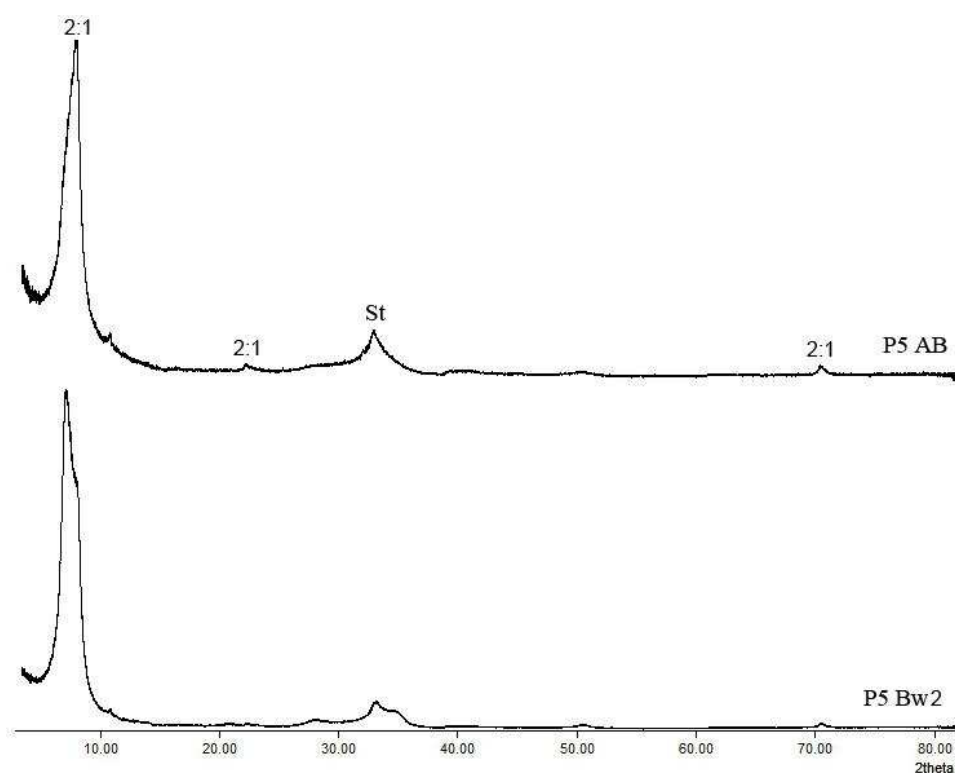


Figura 6. DRX da fração argila do horizonte AB e Bw2 (P5). (2:1: Minerais 2:1; St: Strengita).

Tabela 4. Teores de Al e Fe extraídos por Ditionito, Oxalato e Pirofosfato em horizontes selecionados dos perfis estudados na península Coppermine.

Hor.	Prof. cm	Al _o	Fe _o	Al _p	Fe _p	Al _{dcb}	Fe _{dcb}	Fe _o /Fe _{dcb}
		g/kg						
Perfil 1 – 2 metros acima do nível do mar, terraço marinho inferior, colonização de <i>Pygoscelis</i> Papua.								
A1	0-5	10,35	11,41	1,64	1,89	8,00	7,69	1,48
Cr3	60-100	5,20	6,35	0,40	0,18	13,94	5,45	1,16
Perfil 2 – 23 metros acima do nível do mar, terraço marinho superior, paleopinguineira de <i>Pygoscelis</i> Papua.								
AO	10-17	8,88	3,66	3,29	1,74	4,32	6,01	0,61
C	17-20	10,75	5,83	4,59	2,42	1,29	6,94	0,84
Perfil 3 – 32 m.a.n.m.; acima do terraço marinho superior; pingueira abandonada.								
A	3-10	12,72	13,79	6,08	6,34	8,30	18,44	0,75
Bw	10-20	26,85	24,63	13,54	14,51	10,94	34,74	0,71
Perfil 4 – 57 m.a.n.m.; topo da paisagem; paleoninhal de petrel gigante.								
A	0-3/10	3,66	5,08	0,71	0,78	18,27	3,52	1,44
Bw	3/10-50/70	4,18	6,17	0,61	0,31	40,44	3,66	1,69
Perfil 5 – 23 m.a.n.m.; encosta declivosa; paleopinguineira de <i>Pygoscelis antarctica</i>.								
AB	0-3	7,02	5,49	2,43	2,46	1,72	9,00	0,61
Bw2	10-30	3,73	5,78	0,91	0,69	1,58	6,90	0,84
Material coletado de 0-5 cm								
Ninho de Pinguim	-	6,48	8,56	1,91	2,91	5,82	8,01	1,07

Al_o, e Fe_o: extraídos com oxalato de amônio (McKeague e Day, 1966); Al_p e Fe_p: extraídos com pirofosfato de sódio (McKeague, 1967); Al_{dcb} e Fe_{dcb}: extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra e Jackson, 1960).

Material coletado de 0-5 cm em ninhal de Petrel. O material foi coletado em ninho ativo de Petrel, a cerca de 30 metros de altitude acima do nível do mar (Tabela 1). A classe textural não difere dos demais perfis (franco-arenosa). (Tabela 2). Os teores de P, Ca e COT são muito baixos, enquanto o teor de Mg é alto.

Material coletado de 0-5 cm em ninhal de Pinguim. O material foi coletado em ninho de *Pygoscelis antarctica*, logo abaixo do P5, a cerca de 13 metros de altitude acima do nível do mar (Tabela 1). A classe textural é franco-arenosa, porém o teor de silte + argila é mais elevado.

Os teores de P e Ca são altos e o de Mg é baixo. As análises químicas realizados no MEV do material coletado apresentaram altos teores de SiO₂ (38,07 %), associados a teores mais baixos, porém significativos de Al₂O₃ (14,04 %), FeO (12,66 %), MgO (10,86 %), CaO (7,41 %), P₂O₅ (6,75 %) e SO₂ (3,92 %). Teores de TiO₂, Cr₂O₃, MnO₂, NiO, CuO, ZnO mostram valores abaixo de

0,4%. Foram realizadas análises pontuais na amostra de guano. Os pontos 2 e 3, por exemplo, localizados em fragmento de osso de pinguim, apresentaram teores altos de CaO (20,67 %), P₂O₅ (11,40 %) e MgO (14,77 %) (Tabela 5) (Figura 7).

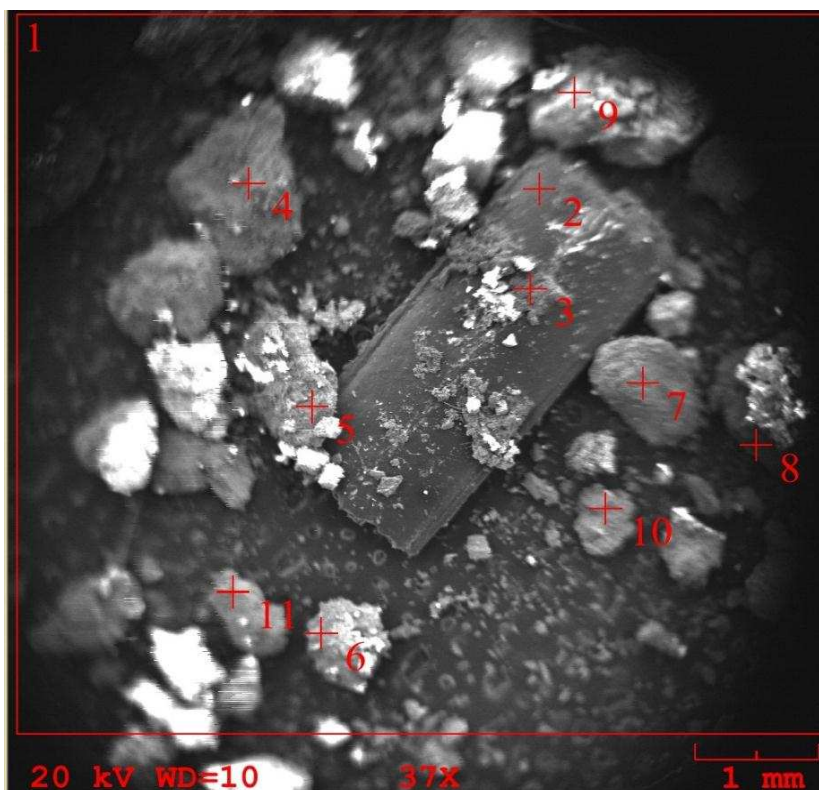


Figura 7. Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos da análise química por meio de EDS de amostra de 0-5 cm coletado em ninho de pinguim coletado em profundidade de 10 cm.

Tabela 5: Teores químicos pontuais da Figura 8.

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO ₂	FeO	NiO	CuO	ZnO	ZrO
	%															
Material de 0-5 cm coletado em ninho de Pinguim																
1	3,18	10,86	14,04	38,07	6,75	3,92	1,37	7,41	0,28	0,20	0,31	12,66	0,48	0,29	0,18	0,00
2	4,88	4,28	3,28	1,28	22,14	25,37	0,16	36,52	0,07	0,23	0,15	0,68	0,24	0,45	0,25	0,01
3	5,48	3,47	15,71	34,83	11,40	2,96	0,66	20,67	0,04	0,19	0,07	4,12	0,13	0,17	0,11	0,00
4	1,20	14,77	8,39	46,43	3,19	0,39	0,52	13,41	0,32	0,22	0,24	10,22	0,14	0,20	0,06	0,32
5	5,81	3,55	18,20	57,08	2,48	0,26	2,54	6,26	0,15	0,08	0,06	3,05	0,18	0,14	0,16	0,00
6	1,82	13,38	12,16	36,56	6,12	0,27	0,83	4,99	0,26	0,10	0,12	22,64	0,11	0,39	0,25	0,00
7	2,24	7,19	16,46	35,54	3,76	0,33	1,34	12,43	0,18	0,11	0,31	19,47	0,09	0,25	0,30	0,00
8	1,52	11,51	12,04	34,80	8,35	0,38	1,14	3,83	0,20	0,19	0,46	24,78	0,29	0,30	0,21	0,00
9	5,16	6,14	17,10	50,40	5,82	0,29	2,96	5,89	0,19	0,11	0,18	5,46	0,07	0,12	0,12	0,00
10	1,39	14,15	11,90	38,74	4,36	0,16	2,78	4,05	0,25	0,25	0,32	20,65	0,21	0,53	0,25	0,00
11	1,94	12,09	13,02	42,93	6,31	0,24	0,75	9,10	0,19	0,16	0,24	12,71	0,06	0,18	0,09	0,00

4. DISCUSSÃO

Todos os perfis estudados na ilha Barrientos possuem algum grau de ornitogênese, em muitos casos evidente pela existência de ninhais atuais, e em outros casos com características químicas dos solos que indicam antigas áreas de nidificação. Entretanto, em sítios claramente influenciados por aves, Simas *et al.* (2007) propuseram, além de outros critérios, a inclusão do caráter ornitogênico para solos com valores maiores que 500 mg/kg de P extraível com Mehlich-1, valor esse atingido por todos os perfis, à exceção do perfil 4, um paleoninhal de petrel gigante, onde há baixa intensidade de aportes biogênicos, representando uma influência ornitogênica mais fraca sobre o substrato mineral. Os baixos teores de P nos solos da ilha Barrientos em comparação à outros solos ornitogênicos da Antártica marítima (Tatur e Keck, 1990; Michel *et al.*, 2006; Simas *et al.*, 2007) é atribuído à baixa densidade de ocupação de aves.

Apesar de não haver formação de solos com padrões, como em outras áreas observadas por Michel *et al.* (2006) e Simas *et al.* (2008) da Antártica marítima, há evidências de crioturbação, inclusive com incremento de partículas finas (silte + argila) em profundidade, segundo Campbell e Claridge (1987); Navas *et al.* (2008); Simas *et al.* (2007), em solos onde ocorre crioturbação existe uma seleção de material ao longo do perfil, havendo translocação de partículas finas em profundidade, embora a ablação eólica também possa favorecer a acumulação residual de fragmentos grosseiros.

Os perfis ornitogênicos localizados na porção mais baixa da paisagem, P1 e P2, possuem valores mais baixos de P. Como reportado por Simas *et al.* (2004), os terraços marinhos sofrem menor grau de fosfatização, tanto pela maior lixiviação do P para o mar, quanto pelo soerguimento mais recente, comparativamente às partes mais altas. No P1 os teores de P encontrados nos horizontes superficiais são maiores que aqueles em profundidade, sugerindo limitada mobilidade de P. No P2, os teores de P são maiores nos horizontes subsuperficiais, indicando maior transformação do guano. Trata-se, provavelmente, da iluviação ou crioturbação de fósforo depois de finalizadas a interferência das aves.

Nos depósitos mais recentes de guano, o pH em superfície é próximo à alcalinidade, indicando que a estabilização microbiológica do guano ainda não gerou

alguma acidez. Estes dois perfis apresentaram desenvolvimento menor, sem horizonte B.

Enquanto em P1 e P2 não se verificou a existência de horizonte B, no P3 já há formação desse horizonte, demonstrando maior desenvolvimento pedogenético deste solo em relação aos outros dois. O P3 apresentou o valor mais alto de P (1089-1580 mg/kg) dentre todos os perfis, constituindo uma área mais elevada, de ocupação antiga e provavelmente com maior população de pinguins no passado, hoje pinguineira abandonada, mas com alguma influência de nidificação atual. Os elevados teores de P difusamente distribuídos no perfil (do topo até a base) indicam iluviação ou crioturbação de P depois do abandono do local pelos pinguins. É o perfil mais ácido, principalmente abaixo da zona de fosfatização, o que confirma que o aporte de material orgânico é menor atualmente, com guano já parcialmente decomposto (Myrcha e Tatur, 1988; Tatur, 1989).

O P4, apesar dos baixos valores de P, há acumulação de material esbranquiçado, fosfático, nas fraturas e fendas do basalto decomposto. O baixo teor de P em superfície, atribuído à menor intensidade de deposição do guano, indica condições pouco favoráveis à lixiviação de P em profundidade. O perfil também apresentou formação de horizonte B e valores altos de Ca e Mg influenciados principalmente pelo material de origem, rico nestes elementos.

O P5 representa a primeira área colonizada por pinguins de toda a ilha, sendo comum nas porções mais altas da paisagem, em áreas de antigas pinguineiras, uma vegetação mais abundante. Neste local, contudo, a cobertura vegetal é escassa provavelmente por influência dos fortes ventos e solifluxão ativa. É o perfil que apresentou maior desenvolvimento e profundidade comparado aos demais perfis. Isso pode ser constatado pela espessura do horizonte B (Bw1 e Bw2) e pelo croma mais alto.

Os altos valores de Al^{3+} são típicos de pinguineiras abandonadas, onde o processo de fosfatização é mais avançado, com acidificação do guano e formação de fosfatos secundários cristalinos (Tatur e Keck, 1990). Os valores de P já são reduzidos, principalmente em profundidade, pois houve lixiviação parcial do P adicionado e/ou perda por erosão.

Conforme observado, os valores de P indicam uma interação entre os solos e a acumulação de excrementos depositados pelas aves. Entretanto, essa interação

tende a se manifestar diferentemente conforme a altitude, o grau de intemperismo do substrato e às diferentes espécies de aves nidificantes.

Os altos valores de Na de todos os perfis são atribuídos à influência dos *sprays* salinos devido à proximidade com o mar e ventos intensos. Consistentemente, P1 apresentou os maiores valores de Na devido a sua maior proximidade com o mar, esses valores foram altos em todos os horizontes provavelmente devido ao fato do perfil ter sido coletado em uma encosta, ficando mais exposto à deposição de *sprays*.

O COT é mais alto nos horizontes superficiais, sendo destacados em P2 e P3 com maiores acumulações devido ao maior aporte de guano e mais densa cobertura vegetal nesses dois perfis. De maneira geral, os teores de MOS nos solos da Antártica são muito variados, em função das condições de acumulação (excesso de frio que inibe a mineralização) e da remoção pela erosão (Michel *et al.*, 2006).

O teor de N apresentou-se médio em todos os perfis, contrariando resultados de Tatur e Myrcha (1984); Simas *et al.* (2007), que encontraram para solos de pinguineiras atuais e subatuais das Ilhas Shetland do Sul teores muito altos, acima de 2,00 dag/kg de N. Assim como o teor de P, esse resultado parece estar relacionado à baixa intensidade atual de aportes biogênicos, devido à população menor de pinguins, e menor retenção do N nos minerais fosfatados.

Os pinguins alimentam-se exclusivamente de krill, animais, por sua vez, ricos em elementos traços, principalmente F, Sr, Zn e Cu (Mauchline e Fisher 1969; Tatur, 1989). Tanto no perfil de pinguineira recente (P1), como no material coletado em guano de pinguim (G2), pode-se observar maiores concentrações de Zn (Tabela 3).

O material coletado de 0-5 cm em ninhal de petrel apresenta valores mais baixos de P comparativamente ao material coletado em guano de pinguim, demonstrando que aves como skuas, gaivotões e petréis embora possam fornecer um importante *input* de nutrientes para a vegetação em torno dos ninhos, não provocam alterações ou fosfatizações tão significantes na maioria dos solos da ilha, como pode também ser verificado pelo P4, coletado em um paleoninhal de petrel.

Os valores de pH em NaF indicam maiores quantidades de minerais de baixa cristalinidade nos perfis 2 e 3, uma vez que os valores foram superiores aos demais perfis (Tabela 3). Esses perfis também apresentaram os maiores teores de

COT como já descrito acima, demonstrando que os minerais de baixa cristalinidade, nesse caso, estão associados principalmente à MOS. Consistentemente, os teores de Fe_p e Al_p , que são o Fe e Al ligados à MOS também foram maiores nesses dois perfis (Tabela 4).

A mineralogia da fração argila do horizonte superficial do P1 é composta basicamente por esmectita, apatita e minerais de baixa cristalinidade, indicada pela elevação da linha de base do difratograma e pelo ruído (Figura 4). A presença de apatita confirma que o aporte de material orgânico pelas aves nessas áreas é ativo, uma vez que o guano fresco é rico nesse mineral (Tatur e Keck, 1990), enquanto a atividade ornitogênica contribui na formação de minerais de baixa cristalinidade.

Em profundidade (60-100 cm), com a mistura de rocha e fosfatos precipitados mais antigos (base do perfil), a apatita primária desaparece, dando lugar a fases secundárias mais cristalinas, indicado pelo próprio difratograma, que aparece menos ruidoso, com picos mais definidos e presença de strengita, fosfato secundário de ferro mais resistente, além de esmectita e vermiculita. Há traços de plagioclásio, este último devido à proximidade com a rocha, indicando grau incipiente de alteração química, como observado em outros solos da Antártica marítima (Figura 5).

Sem nenhum tipo de tratamento, os espaçamentos basais das esmectitas podem variar entre 10,0 e 20,0 Å, tornando difícil a sua identificação (Borchardt, 1989). O pico que aparece no P1 do horizonte A1 em 11,36 Å à temperatura ambiente, pôde então ser confirmado como esmectita após a amostra ser submetida a diferentes temperaturas. À temperatura de 60 °C houve deslocamento do pico para aproximadamente 10,00 Å, e à 550 °C deslocou-se ligeiramente para 9,85 Å; nessa temperatura os ruídos desaparecem e os picos ficam mais definidos, indicando maior cristalinidade (Figura 8).

Segundo Borchardt (1989), apesar das esmectitas trioctaedrais (montmorilonita, beidelita e nontronita) serem as mais comuns em solos, a reflexão no plano 060 próximo a 1,54 Å (Figura 8) sugere a natureza dioctaedral (hectorita e saponita) deste mineral de argila 2:1, fato que indica herança do material de origem.

As relações Fe_o/Fe_{dcb} mais altas (P1), indicam ser este um solo com predomínio de minerais de Fe pouco cristalinos, sendo maior essa relação no

horizonte superficial, consistente com o resultado do difratograma que aparece mais ruidoso (Tabela 4, Figura 4).

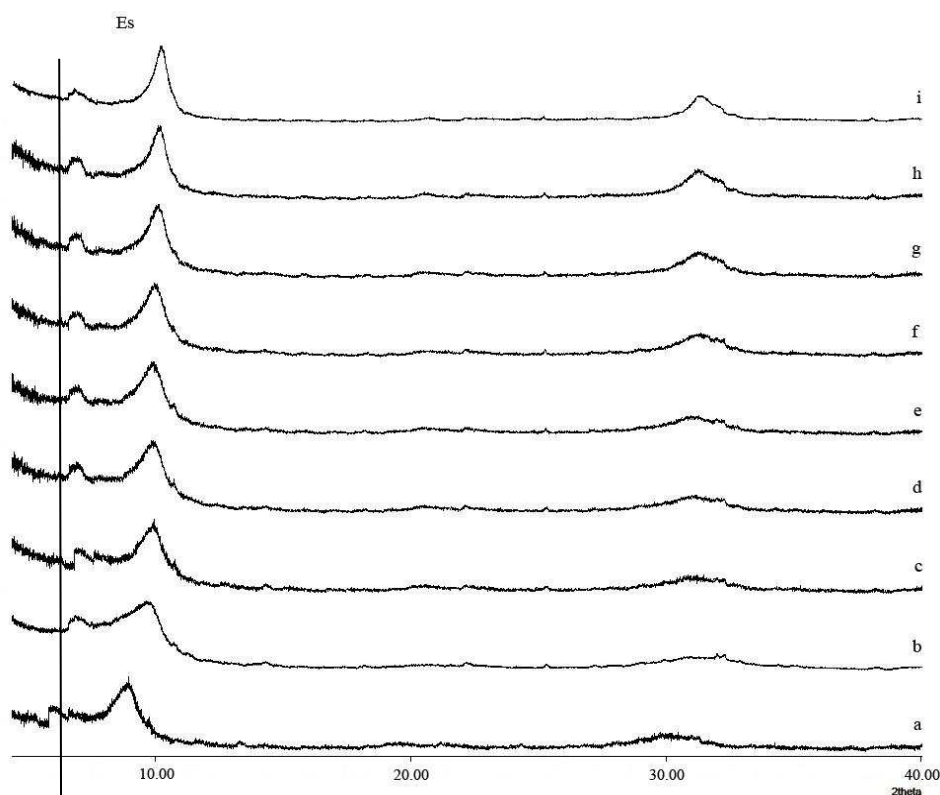


Figura 8. DRX da fração argila do horizonte A1 (P1) sob tratamento térmico (**a:** temperatura ambiente; **b:** aquecimento à 60 °C; **c:** aquecimento à 110 °C; **d:** aquecimento à 180 °C; **e:** aquecimento à 220 °C; **f:** aquecimento à 300 °C; **g:** aquecimento à 380 °C; **h:** aquecimento à 470 °C e **i:** aquecimento à 550 °C. Es: Esmeclita).

No P1, na base do perfil os picos são mais definidos, o que indica maior cristalinidade (Figura 5), tornando-se nitidamente menos definidos em superfície (Figura 4). No horizonte superficial do P5, o comportamento é inverso, com picos bem definidos, indicando formas mais cristalinas, já que não recebe aporte de material orgânico atual (Figura 6). No entanto, no horizonte Bw2 (10-30 cm), na zona fosfatizada, a intensidade dos picos são menores, inclusive com o desaparecimento de alguns, demonstrando predominância de formas menos cristalinas e presença de vermiculita (Figura 6). Neste perfil, a relação Fe_o/Fe_{dcb} é baixa, confirmando o grau maior de alteração química, como já discutido anteriormente e a relação é menor em superfície, já que possui formas mais cristalinas (Tabela 4). Estes fatos demonstram a notável complexidade do processo de fosfatização.

5. CONCLUSÕES

- Todos os solos estudados na ilha Barrientos possuem algum grau de ornitogênese, com valores de P (Mehlich-1) mais baixos nos solos sob influência da atividade de petréis e bem mais elevados nos solos de pinguineiras;
- Os teores de P (Mehlich-1) são menores na ilha Barrientos quando comparado a outras áreas da Antártica marítima, reflexo da menor população de aves atual e da pedogênese bem mais avançada destes solos;
- Mesmo os teores de P (Mehlich-1) relativamente mais baixos, os teores de Ca e Mg são bastante elevados, influência principalmente do material de origem (olivina-basalto), rico nestes elementos;
- Os teores de pH em H₂O não são tão ácidos para solos ornitogênicos onde reações físico-químicas da interação guano-substrato ocorrem, promovendo intensa acidificação; este efeito tampão foi atribuído também ao material de origem mais rico em Ca e Mg;
- A presença de strengita está fortemente relacionada ao material de origem, bem mais rico em Fe que os andesitos das demais Ilhas Shetland do Sul;
- A profundidade do solo P5, com cores mais cromadas, pH mais ácido, presença de strengita, e situação bem elevada na paisagem indicam este solo ornitogênico dentre os mais desenvolvidos da região.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez V.V.H. e Fonseca, D.M., 1990. Definição de Doses de Fósforo para Determinação da Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfatos e para Ensaio em Casa de Vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14, 49-55.
- Bockheim, J.G.; Balks, M.R. e McLeod, M., 2006. "ANTPAS Guide for Describing, Sampling, Analyzing, and Classifying Soils of the Antarctic Region, ANTPAS", 1-12.
- Bockheim, J.G.; Ugolini, F.C., 1990. A Review of Pedogenic Zonation in Well-drained soils of the Southern Circumpolar Region. *Quaternary Research* 34, 47-66.
- Borchardt, G., 1989. Smectites. In: Dixon, J.B. e Weed, S.B. (Eds.). *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 675-718.
- Bower, C.A. e Hatcher, J.J., 1967. Adsorption of fluoride by soils and minerals. *Soil Science*, 103, 151-154.
- Campbell, I.B. e Claridge, G.G.C., 1987. *Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment*. Elsevier, Amsterdam (368 pp.).
- Chen, P.Y., 1997. Table of Key Lines in X-ray Powder Diffraction Patterns of Minerals in Clays and Associated Rocks. Indiana: Department of Natural Resources Geological Survey. (Paper 21).
- Downs, R.T. and Hall-Wallace, M., 2003. The American Mineralogist Crystal Structure Database. Disponível em: <<http://ruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de Solos), 1997. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- Emslie, S.D., Fraser, W., Smith, R.C., Walker, W., 1998. Abandoned penguin colonies and environmental change in the Palmer Station area, Anvers Island, Antarctic Peninsula. *Antarctic Science* 10, 257-268.
- IAATO (International Association of Antarctica Tour Operators), 2011. Tourism statistics. Disponível em: <<http://iaato.org/tourism-statistics> on 19 November 2012>. Acesso em: 29 mai. 2014.
- IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103. Rome: FAO, (132p.).
- Jackson, M.L., 2005. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course*. Madison: University of Wisconsin - Madison Libraries, (930pp.).

- Mauchline, J.J.; Fisher, P.I., 1969. The biology of euphausiides. *Adv. Mar. Biol.*, 7, 201-225.
- McKeague, J.A. e Day, J.H., 1966. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46, 13-22.
- Mehra, J.P.; Jackson, M.L., 1960. Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite-Citrate-Bicarbonate System Buffered with Bicarbonate Sodium. *Clays Clay Miner.*, 7, 317-327.
- Michel, R.F.M.; Schaefer, C.E.G.R.; Dias, L.; Simas, F.N.B.; Benites, V.; Mendonça, E.S., 2006. Ornithogenic gelsols (cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1370-1376.
- Munsell Soil Color Charts, 1990. Baltimore: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation.
- Murphy, J.; Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31-36.
- Myrcha, A.; Pietr, S.J.; Tatur, A., 1983. The role of Pygoscelis Penguin Rookeries in nutrient cycles at Admiralty Bay, King George Island. In: Siegfried, W.R., Condy, P.R., Laws, R.M. (Eds.). *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin, 156-162.
- Myrcha, A.; Tatur, A., 1988. Abandoned breeding places of penguins and their role in functioning of land ecosystem in maritime Antarctic. *Polar Biology*, 29.
- Myrcha, A.; Tatur, A., 1991. Ecological role of current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. *Polish Polar Research*, 12, 3-24.
- Ruiz, H. A., 2005. Incremento da Exatidão da Análise Granulométrica do Solo por meio da Coleta da Suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 297-300.
- Schaefer, C.E.G.R.; Simas, F.N.B.; Albuquerque-Filho, M.R.; Michel, R.F.M.; Viana, J.H.M.; Tatur, A., 2004. Fosfatização: Processo de Formação de Solos na Baía do Almirantado e Implicações Ambientais. In: Schaefer, C.E.G.R.; Francelino, M.R.; Simas, F.N.B.; Albuquerque-Filho, M.R. (Eds.). *Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica marítima, Baía do Almirantado, ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT – Dep. de Solos, 47-59.
- Schwertmann, U., 1973. Use of oxalate for Fe extraction from soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 53, 244-246.
- Simas, F.N.B.; Schaefer, C.E.G.R.; Albuquerque-Filho, M.R.; Michel, R.F.M.; Dias, L.E.; Borges, M.; Prates, L., 2004. Atributos Químicos de Criosolos Ornitogênicos da Baía do Almirantado, Antártica. *Ecosistemas Costeiros e Monitoramento*

Ambiental da Antártica marítima, Baía do Almirantado, ilha Rei George. Viçosa: NEPUT – Dep. de Solos, 41-46.

Simas, F.N.B.; Schaefer, C.E.G.R.; Melo, V.F.; Albuquerque-Filho, M.R.; Michel, R.F.M.; Pereira, V.V.; Gomes, M.R.M.; Costa, L.M., 2007. Ornithogenic Cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a Soil Forming Process. *Geoderma*, 138, 191-203.

Simas, F.N.B.; Schaefer, C.E.G.R.; Melo, V.F.; de Guerra, M.B.B.; Saunders, M.; Gilkes, R.J.; 2006. Clay-sized Minerals in Permafrost-affected Soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. *Clays Clay Miner.* 54, 721-736.

Soil Survey Staff, 1996. SSSIR nº 42, Soil Survey Laboratory Methods Manual. U.S. Dept. Agric., (716 pp.).

Soil Survey Staff, 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11 ed. Washington, DC, USDA-Natural Resources Conservation Service.

Speir, T.W. and Cowling, J.C. 1984. Ornithogenic soils of the Cape Bird Adeli penguin rookeries, Antarctica. 1. Chemical properties. *Polar Biol.*, 2, 199-205.

Syroechkovsky, E.E., 1959. The role of animals in primary soil formation under the conditions of pre-polar region of the globe (exemplified by the Antarctic) (in Russian). *Zool. Zh.* 38, 1770-1775.

Tatur, A., 1989. Ornithogenic Soils of the Maritime Antarctic. *Polish Polar Research*, 4, 481-532.

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 (Maritime Antarctic Zone). *Pol. Polar Res.*, 5, 31-60.

Tatur, A.; Myrcha, A., 1989. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 2, 181-189.

Tatur, A.; Myrcha, A., 1993. Ornithogenic soils. In: Rakusa-Suszczewski, S. Ed. *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warsaw, 161-165.

Tatur, A.; Myrcha, A.; Niegodysz, J., 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol.*, 17, 405-417.

Tedrow, J.C.F.; Ugolini. C., 1966. Antarctic Soils. In: Tedrow, J.C.F. Ed. *Antarctic Soils and Soil Forming Process*. Am. Geophys. Union Antarct. Res., 161-177.

Ugolini, F.C., 1972. Ornithogenic Soils of Antarctica. In: Llano, G.A. Ed. *Antarctic Terrestrial Biology* Am. Geographies. Uion Antarct. Res. Washington, 181-193.

Viana, J.H.M.; Tatur, A., 2004. Fosfatização: Processo de Formação de Solos na Baía do Almirantado e Implicações Ambientais. In: Schaefer, C.E.G.R.; Francelino, M.R.; Simas, F.N.B.; Albuquerque-Filho, M.R. (Eds.). Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica marítima, Baía do Almirantado, ilha Rei George. Viçosa: NEPUT – Dep. de Solos, 47-59.

Yeomans, J.M., Bremer, J.C., 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19, 1467-1476.

CONCLUSÕES GERAIS

- A assembléia mineralógica, a cor e os dados químicos dos perfis estudados na ilha Barrientos indicam que os solos são mais desenvolvidos que os solos da península Coppermine;
- Na península Coppermine os atributos dos solos são determinados principalmente pela geomorfologia da península, e a influência da nidificação assume importância secundária como fonte de fosfatização;
- Apesar dos menores teores de P (Mehlich-1) na ilha Barrientos quando comparado a outras áreas da Antártica marítima, a fosfatização é o principal processo de formação dos solos. Os menores teores de P (Mehlich-1) são reflexo da menor população de aves atual e da pedogênese bem mais avançada destes solos;
- Tanto na península Coppermine, quanto na ilha Barrientos, os guanos de petréis e skuas geram menor teor de P (Mehlich-1), menor conteúdo de argila e pouca acidez no solo. O que demonstra que essas aves embora possam fornecer um importante incremento de nutrientes para a vegetação em torno dos ninhos, não provocam alterações tão significantes na maior parte dos solos.