

BRUNO DE CARVALHO RESCK

**QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS VULCÂNICOS DAS ILHAS
DECEPTION E PENGUIN, 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
2011**

BRUNO DE CARVALHO RESCK

**QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS VULCÂNICOS DAS ILHAS
DECEPTION E PENGUIN, 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: 30 de maio de 2011.

Prof. Caio Vinícius G. T. Rangel

Dr. Felipe Nogueira Belo Simas

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
Orientador

**À minha mãe Dalva de Carvalho
Resck e ao meu pai Antonio
Carlos Resck, dedico**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Antônio Carlos Resck (Kal) e Dalva de Carvalho Resck, e meus irmãos Flávio e Marcela, pelo apoio emocional e material, pela dedicação e pelos exemplos.

À minha filha Maria Eduarda pelo amor e pelo intenso aprendizado.

À Marla Carolina, minha namorada, pelo amor, atenção, carinho, cuidado e paciência. Serei eternamente grato a você.

Ao Jackson Rodrigues amigo desde a graduação e companheiro de morada. Sentirei falta dos papos no final da noite.

À Universidade Federal de Viçosa pelas oportunidades apresentadas ao longo do curso de graduação e pós-graduação.

Ao professor Carlos Ernesto Schaefer pelo aprendizado, pela incansável busca pelo conhecimento, e pela oportunidade de realizar este trabalho na Antártica, que é uma experiência acadêmica ímpar, mas, sem dúvidas, uma experiência de vida.

À Felipe Simas pela pronta disposição em ajudar e pelas correções e sugestões.

Ao prof. Caio Turbay pela agradável companhia no navio Almirante Maximiano e pela disposição em participar da banca e pelas correções e sugestões.

Aos colegas de acampamento na Ilha Deception nas duas Operações Antárticas (2010 e 2011), Adriano Spielmann, Roberto Michel, Chico Petrônio, Juliana Tostes, Juçara Bordin, Diego Genuário, Bruno Tinti e Davi Henrique, pelo apoio, amizade e companheirismo.

A todos colegas pesquisadores e militares que participaram das viagens a bordo do Navio Polar Almirante Maximiano, pelo calor humano e amizade.

Ao professor Elpídio F. Filho pelo aprendizado, pelas oportunidades oferecidas, pelo profissionalismo e pela humanidade que lhe é pertinente.

Ao casal de amigos Diogo Spinola e Raquel Portes, pela amizade, pela atenção e pelos cafés.

A todos professores que tive ao longo da graduação e pós graduação, pelos ensinamentos.

As secretárias Cláudia e Luciana pela pronta disposição em ajudar, pela competência e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Solos, pela atenção e pela disposição em ajudar em todos os momentos deste trabalho.

Aos colegas de curso de graduação e pós-graduação, pelo convívio e pela amizade.

Aos colegas do LabGeo, Giovani, Eliane, Samuel, Alice, e todos que por ventura tenha me esquecido de citar, pelo aprendizado e pela ótima convivência.

À Capes pela concessão de bolsa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Antártica no cenário de aquecimento global	4
2.2 Solos Vulcânicos	5
2.3 Solos com Permafrost.....	7
2.4 Solos Ornitogênicos.....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Caracterização da área de Estudo	14
3.2 Amostragem dos Solos.....	17
3.3 Análises químicas, físicas e mineralógicas.....	18
3.4 Extrações químicas e análise de Raios-X.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Perfis Coletados	21
4.2 Aspectos Físicos.....	24
4.4 Mineralogia dos solos	29
4.5 Propriedades Ândicas.....	33
5 CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das Ilhas Deception e Penguin no arquipélago Schetland do Sul.....	14
Figura 2. Esboço do mapa geológico da ilha Deception. Adaptado de Smelie (2001).	15
Figura 3. Esboço geológico da ilha Penguin. Adaptado de Birkenmajer (1980).	16
Figura 4. Trincheira e ambiente do perfil 1 em Deception.	21
Figura 5. Trincheira e ambiente do perfil 2 em Deception.	21
Figura 6. Trincheira e ambiente do perfil 3 em Deception.	22
Figura 7. Trincheira e ambiente do perfil 4 em Deception.	22
Figura 8. Trincheira e ambiente do perfil 5 em Deception.	22
Figura 9. Trincheira e ambiente do perfil 1 em Penguin.	23
Figura 10. Trincheira e ambiente do perfil 2 em Penguin.	23
Figura 11. Trincheira e ambiente do perfil 3 em Penguin.	23
Figura 12. Difratoformas dos horizontes representativos dos perfis estudados.	30
Figura 13. Difratoformas com tratamentos para o perfil D1.	31
Figura 14. Difratoformas com tratamentos para o perfil D2.	32
Figura 15. Relação entre pH NaF com $Al_2O_3/0,5Fe_2O_3$ entre os horizontes estudados. n=22.	35
Figura 16. Relação dos teores de Fe_p com matéria orgânica em profundidade no perfil P2.....	36
Figura 17. Relação entre os valores de P-REM e $Al_2O_3+0,5Fe_2O_3$ para os solos estudados.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características gerais dos diferentes perfis estudados.....	18
Tabela 2. Atributos físicos dos solos dos diferentes perfis.	26
Tabela 3. Atributos químicos dos perfis estudados.....	28
Tabela 4. Dados das extrações químicas das amostras estudadas.	34

RESUMO

RESCK, Bruno de Carvalho. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2011. **Química e mineralogia de solos vulcânicos das Ilhas Deception e Penguin, Antártica Marítima.** Orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Co-Orientador: Elpídio Inácio F. Filho.

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. Estudos que buscam compreender os processos pedogenéticos e as relações entre solo e ecossistemas são escassos, sobretudo nas ilhas vulcânicas do Arquipélago Schetlands do Sul. O presente estudo objetivou de forma geral estudar as características químicas e físicas dos solos vulcânicos de diferentes idades e verificar a influência da ornitogênese na formação de solos vulcânicos recentes das ilhas Deception e Penguin. Especificamente o trabalho caracterizou os aspectos químicos, físicos e mineralógicos a fim de estudar os processos pedológicos que operam em regiões de vulcanismo recente na Antártica e sua influência nos ecossistemas terrestres. Foram coletados cinco perfis de solo na Ilha Deception e três na Ilha Penguin durante o verão de 2008. Os solos estudados foram classificados como Cryosols e Leptosols (WRB) e Gelisols e Inceptisols (Soil Taxonomy). Invariavelmente os perfis estudados apresentaram altos valores de cascalho e baixos teores de argila. São solos com desenvolvimento incipiente com fraca distinção entre horizontes, guardando forte relação com o material de origem. Do ponto de vista químico são solos eutróficos com valores de pH elevados, exceto o perfil P3 da ilha Penguin que apresentou valores mais baixos dos demais perfis. Os valores de P extraído por Mehlich-1 são baixos para os perfis sem influência ornitogênica, ficando evidente a influência do material de origem na composição química dos solos. As análises de Raios-X mostraram uma assembleia mineralógica composta basicamente por plagioclásios, feldspatos potássicos, piroxênio além de esmectita na fração argila dos solos. A presença de minerais primários na fração argila indica forte intemperismo físico e incipiente alteração química. De

acordo com as extrações químicas e com os valores de Fe_o , Al_o e Si_o ficou evidente a presença de alofana nos perfis da ilha Penguin, enquanto na ilha Deception também existe a presença de minerais pouco cristalinos, mas em menores proporções. Diferentemente dos solos estudados em áreas de influencia de aves em outras partes da Antártica, os perfis analisados não apresentaram indícios de fosfatização, no entanto, é evidente a influencia da avifauna no desenvolvimento da cobertura vegetal, acúmulo de matéria orgânica e desenvolvimento da fauna do solo.

ABSTRACT

RESCK, Bruno de Carvalho. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, May of 2011. **Chemistry and mineralogy of volcanic soils of Deception and Penguin Islands, Maritime Antarctic.** Adviser: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Co-Adviser: Elpídio Inácio F. Filho.

Antarctic sea, the higher humidity, light and temperature favor the process of hydrolysis of minerals and leaching of bases, in addition to colonization by denser vegetation cover and various activities and a greater presence of birds, resulting in physical and chemical changes of soil known distinct from most of the continent. Studies seeking to understand the processes and the relationships between pedogenetic soil and ecosystems are scarce, especially in the volcanic islands of the Archipelago South Schetlands. This study aimed to broadly examine the chemical and physical characteristics of the volcanic soils of different ages and the influence of soil formation in ornithogenic recent volcanic island of Deception and Penguin. Specifically, the study characterized the chemical, physical and mineralogical to study soil processes that operate in regions of recent volcanism in the Antatctic and its influence on terrestrial. We collected five soil profiles on Deception Island and three on Penguin Island during the summer of 2008. The soils were classified as Cryossols and Leptosols (WRB) and Gelisols and Inceptisols (Soil Taxonomy). Invariably the soil samples had high amounts of gravel and low clay. Soils are developing with incipient distinction between horizons, keeping a strong relationship with the source material. From a chemical standpoint are eutrophic soils with high pH values, except the profile P3 of Penguin Island which showed lower values of the other profiles. The values of P extracted by Mehlich-1 are low for the profiles without influence of seabirds It became evident the influence of the source material in the chemical composition of soils. Analyses of X-rays showed a mineralogical assemblage composed mainly of plagioclase, potassium feldspar, and pyroxene in addition to smectite clay soil. The presence of primary minerals in the clay fraction shows strong physical weathering and incipient chemical change. According to chemical extractions and values Fe_o , Al_o and Si_o was evident in the presence of allophane profiles of Penguin Island, Deception Island while also exists in the presence of some

crystalline minerals, but in smaller proportions. Unlike the soils in areas of influence of birds in other parts of Antarctica, the profiles analyzed showed no evidence of phosphate, however, it is clear the influence of seabirds in the development of vegetation, accumulation of organic matter and development of soil fauna.

1. INTRODUÇÃO

A formação de solos na Antártica está restrita às áreas livres de neve e gelo permanente, correspondendo a cerca de 0,35 % do seu território (Campbel e Claridge, 1987, Bockhein, 1997, Ugolini e Bockheim, 2007).

Na última década pesquisadores brasileiros têm contribuído grandemente para o mapeamento, compreensão e monitoramento dos solos e ecossistemas terrestres na Antártica marítima (Michel *et al*, 2006, Simas *et al.*, 2007; Simas *et. al.* 2008; Ugolini e Bockheim, 2007; Schaefer *et. al.* 2004; Santana, 2006; Bremer, 2004; Rocha, 2011). No entanto a maioria dos estudos pedológicos da Antártica foi conduzida na Antártica Continental, em especial na região dos vales secos das montanhas Transantárticas. (Campbell e Claridge, 1987; Bockheim e Tarnocai, 1998).

Na Antártica Continental os processos pedológicos ocorrem de forma muito lenta, em razão do clima extremamente frio, da luminosidade e umidades muito baixas durante a maior parte do ano. Dessa forma mesmo os solos mais antigos do continente mantêm uma estreita relação com o material de origem, em termos de características químicas, principalmente os que estão localizados em região de deserto polar, onde o aporte de matéria orgânica e água líquida é muito baixo. Nesta região, a principal alteração química dos solos refere-se à precipitação de sais e concentração de elementos via atmosfera, necessitando um longo tempo para haver transformações significativas (Campbel e Claridge, 1987).

Na Antártica marítima ao contrário, 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 (Campbel e Claridge, 1987; Albuquerque Filho, 2005, Simas *et. al*, 2006, Michel *et. al*, 2006, Simas *et. al.* 2007a).

Na Antártica marítima, apesar de condições extremas de clima, coberturas microfíticas de líquens, algas, briófitas e raras plantas superiores são capazes de fixar o C atmosférico e incorporá-lo ao solo, sendo sua conservação auxiliada pelas baixas temperaturas que retardam a mineralização. A atividade biológica nos solos antárticos é em geral baixa, sendo fortemente determinada por condições microclimáticas, em que a temperatura e o regime hídrico do solo influenciam a produção primária e a fixação de C no sistema. Os teores de matéria orgânica normalmente são altamente variados em função das condições de acumulação (excesso de frio) e da remoção pela erosão, agravada pelas condições climáticas severas. Ocorrem solos turfosos, ricos em C, com horizontes superficiais hísticos, até solos brunados, com pavimento desértico e muito pobres em carbono (Simas *et al.* 2004, Simas *et al.* 2006).

Grande parte dos estudos de solos na Antártica Marítima trata principalmente de solos afetados pela atividade de aves. A atividade intensa no ambiente terrestre pela avifauna resulta no aporte de matéria orgânica e a mineralização destes materiais, assim como a interação dos produtos com o substrato mineral dando origem aos denominados solos ornitogênicos. Nestes locais o intemperismo químico é acelerado, apresentando solos relativamente mais desenvolvidos e a formação de minerais secundários fosfatados cristalinos ou pouco cristalinos. (Tatur e Myrcha, 1984; Tatur e Barczuk, 1983; Tatur e Myrcha, 1989; Schaefer *et. al.* 2004; Simas *et. al.* 2007). Solos ornitogênicos ocorrem em ambientes particulares em boa parte das ilhas da Antártica Marítima, embora os processos pedogenéticos sejam muito pouco conhecidos e estudados (Schaefer *et. al.* 2007).

As ilhas vulcânicas de Deception e Penguin têm despertado grande interesse na comunidade científica internacional, em particular nas áreas de geociências e biologia. As ilhas oferecem uma oportunidade única para estudos sobre a dinâmica de ecossistema naturais, e os efeitos das mudanças ambientais sobre os ecossistemas desenvolvidos em áreas de vulcanismo recente.

O presente trabalho está inserido dentro das ações propostas pelo Núcleo Terrantar. Este núcleo faz parte do Instituto Nacional de Ciência e

Tecnologia (INCT) da Criosfera. Além disto, o núcleo assumiu a responsabilidade junto ao Scientific Committee on Antarctic Research (WGGGI-SCAR) de mapear os solos e permafrost das áreas livres de gelo das Ilhas da Shetlands do Sul e a instalação de uma rede de monitoramento do regime térmico da camada ativa e dos processos periglaciais, numa tentativa de compreender as respostas deste ambiente frente às mudanças climáticas.

O presente estudo objetivou de forma geral estudar as características químicas e físicas dos solos vulcânicos de diferentes idades e verificar a influência da ornitogênese na formação de solos vulcânicos recentes das ilhas Deception e Penguin. Especificamente o trabalho caracterizou os aspectos químicos, físicos e mineralógicos a fim de estudar os processos pedológicos que operam em regiões de vulcanismo recente na Antártica e sua influência nos ecossistemas terrestres.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Antártica no cenário de aquecimento global

O manto de gelo que recobre a Antártica possui cerca de 14 milhões de km² e espessura que supera os 4.000 m em alguns locais, correspondendo a um volume de aproximadamente 30 milhões de km³, notabilizando-se por conter aproximadamente 75 % da água doce do mundo (Campbell e Claridge, 1987; Slaymaker e Kelly, 2007). A expressividade do gelo na Antártica faz deste continente o maior “sorvedouro” de calor da Terra, influenciando profundamente as condições climáticas, a circulação das águas oceânicas e a atmosfera terrestre.

O aumento nas áreas livres de gelo decorrentes da alteração do clima ocasiona uma série de transformações locais, como aumento do albedo das superfícies, assim como mudanças climáticas devido ao aumento da extensão e tempo de exposição das superfícies mais escuras. Não obstante o degelo do permafrost pode gerar alterações no regime hídrico dos solos, liberação de metano e gases de efeito estufa o que contribui para elevação das temperaturas do globo (Slaymaker e Kelly, 2007).

A Antártica peninsular representa uma área de grande sensibilidade às mudanças no sistema climático, devido à sua posição e condições climáticas, onde os efeitos referentes ao aquecimento regional já são percebidos, pelos recuos das geleiras e as conseqüências no ambiente causado por tais mudanças (Simões *et al.* 2004; Bremer *et al.* 2004; Braun & Goßmann, 2002).

Em estudo apresentado por Simões *et al.* (1990), houve significativa retração dos glaciares em toda ilha Rei George, no período de 1956 e 1988. Segundo Braun & Goßmann (2002), existe uma tendência de retração dos glaciares nas Shetlands do Sul, na ordem de 0,01 a 0,5 km² por década, refletindo tendência de aquecimento experimentada por essa região.

Alterações na dinâmica dos glaciares podem afetar os ecossistemas terrestres de várias maneiras. Com o recuo das geleiras, novas áreas são expostas e ficam sujeitas à ocupação pela vegetação e pela fauna. Com o

derretimento mais intenso do gelo e neve leva ao aumento da temperatura do ar, resultando no acréscimo de água livre no sistema, aumentando a dinâmica erosiva e pedogenética.

2.2 Solos Vulcânicos

O termo "solos vulcânicos" é comumente usado para designar solos formados a partir de cinzas ou materiais piroclásticos. Como a maioria destes solos tem propriedades únicas herdadas ou associadas com as propriedades dos piroclastos, o termo geral "solos vulcânicos" é frequentemente usado como sinônimo de Kurobokudo, Andosols e Andisols (Soil Survey Staff, 1999; FAO, 2006; Shoji, 1993),

O termo "*Ando solos*" foi introduzido pela primeira vez em 1947 durante as pesquisas de reconhecimento de solo no Japão, (Simonson, 1979). O termo "*Ando*" solos apareceu pela primeira vez na revista *Soil Science*, em 1949 e, em seguida, o grupo Ando foi identificado em regiões amplamente separadas do mundo (Simonson, 1979). Embora o termo "Ando" solos ainda seja amplamente utilizado, foi substituído por *Andepts* (Atualmente da ordem *Andisol*) como uma subordem dos Inceptisols em Solos (Soil Survey Staff, 1975, 1990, 1992). A parte do nome original "Ando solos" foi conservado em cunhar as novas designações dos Andosols e Andisols (Shoji, 1993).

Andossolos cobrem mais de 124 milhões de hectares, ou cerca de 0,8 % da superfície da Terra. De longe, o mais marcante no padrão de distribuição dos Andossolos é a disposição que acompanha o círculo de fogo no Pacífico, onde existe uma grande concentração de zonas tectônicas ativas e vulcões ao longo da costa ocidental do continente americano, tanto o Norte e o Sul, através da Ilhas Aleutas, até a península de Kamchatka de Rússia, pelo Japão, as Filipinas e Indonésia, entre Papua Nova Guiné, Ilhas Salomão e Vanuatu e outras ilhas do Pacífico, a Nova Zelândia. Outros padrões distintos estão associados com o Vale do Rift da África, na costa oeste da Itália, as ilhas havaianas, as Índias Ocidentais, Islândia, e Ilhas Canárias (Soil Survey Staff, 1999; Shoji, 1993; Kimble, 1998).

Solos de regiões vulcânicas são recursos naturais únicos. O material de origem é constituído geralmente de material ejetado por erupções vulcânicas.

Solos desenvolvidos sobre materiais vulcânicos são caracterizados pela presença de um ou mais dos seguintes componentes: complexos Al/Fe-matéria orgânica, alofana e/ou imogolita, ferridrita e vidro vulcânico. Essa assembléia de minerais dão ao solo propriedades distintas, denominadas propriedades andicas, diferenciando estes solos das outras classes. Estas propriedades são: baixa densidade, carga variável, alta retenção de água e adsorção de fósforo (Garcia-Rodeja *et al.* 2004, van Breemer & Buurman, 1998, Kleber *et al.* 2004, Arnalds & Stahr, 2004).

Dependendo da forma de Al dominante, os Andossolos podem ser distinguidos em dois tipos: alofânicos (Al predominante na imogolita e/ou alofana) e não-alofânico (Al predominante nos complexos organometálicos). Quando estes componentes são pouco abundantes, na presença de vidro vulcânico, solos sobre materiais vulcânicos são chamados de “*Vitric*” (FAO, 2006).

Alofana e Imogolita são formados preferencialmente em pH > 4,9, em condições mais ácidas, complexos Al-matéria orgânica são dominantes. Em valores de pH < 4,9 a complexação de Al pela matéria orgânica, exerce um papel anti-alofânico, sem deixar Al livre para reagir com o Si para formar alofana ou imogolita (Manzyo *et al.* 1993; Garcia-Rodeja *et al.* 2004).

Muitas das propriedades dos solos vulcânicos (retenção de fosfato, reatividade ao NaF, retenção de água, densidade, etc.) são comumente relacionadas a forma e atividade do Al. Embora formados principalmente por complexos Al-matéria orgânica e minerais aluminosilicatos de baixa cristalinidade (alofana e imogolita), podem ocorrer cátions trocáveis, minerais do tipo 2:1 com hidróxido de alumínio entre camadas e gibbissita pobremente cristalinizada (Garcia-Rodeja *et al.* 2004, Wada, 1989, Dahlgren, 1993).

Para efeitos de classificação, as características gerais dos andossolos, como a alta retenção de água, elevados teores de minerais intemperizáveis e matéria orgânica, densidade baixa, elevado teor de alumínio, ou como complexos orgânicos ou silicatos amorfos, foram combinados em diferentes horizontes diagnósticos. Estes valores refletem diferentes estágios de desenvolvimento (horizonte *vitric* para solos mais novos), o predomínio de

complexos orgânicos de alumínio ou silicatos de alumínio amorfos, e horizonte superficial muito escuro (Garcia-Rodeja *et al.* 2004, van Breemer & Buurman, 1998).

Diferentes métodos de dissolução seletiva, tais como extrações com oxalato ácido de amônio, pirofosfato de sódio ou ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), são comumente usados na quantificação das frações de Al, Fe e Si do solo para fins de classificação e caracterização de alguns componentes específicos do solo. Extração com DCB (Mehra e Jackson, 1960), útil para quantificar a associação de ferro livre no solo, não pode ser usado para Al, pois não consegue extrair os aluminossilicatos não cristalinos ou gibbsita.

Alumínio em complexos com a matéria orgânica do solo e em alofana ou imogolita é geralmente determinado por dissolução seletiva. Alumínio extraído com pirofosfato de sódio em pH 10 é usado como um padrão para determinar Al em complexos orgânicos, devido este extrator ter pouca ação sobre hidróxidos, alofana ou imogolite. Al extraído com oxalato ácido de amônio é considerado para representar a soma de complexos orgânicos de Al, em hidróxidos não cristalinos e alofana e imogolita (McKeague, 1965), mas não em óxidos cristalinos ou filossilicatos. Assim, a diferença entre a extração de oxalato e pirofosfato é considerado para representar o Al em alofana ou imogolite. Essa abordagem é usada em muitos sistemas modernos de classificação do solo (FAO, 2006; Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, 2004; Garcia-Rodeja *et al.* 2004; Wada, 1989).

2.3 Solos com Permafrost

Solos afetados por permafrost são encontrados nas regiões árticas e subárticas, em altas montanhas e nas áreas livres de gelo da Antártica. Segundo French (2007), mais de 20 % da superfície do planeta Terra está sobre permafrost. O permafrost é toda camada de solo, rochas, sedimentos ou material orgânico que permanece com temperaturas igual ou inferior a 0 °C durante pelo menos dois anos consecutivos (ISSS WORKING GROUP RB, 1988). Os russos foram os pioneiros na pesquisa de solos afetados por permafrost, tendo estudos datados de 1906. No entanto, nas áreas livre de gelo da Antártica ainda são necessários mais estudos e mapeamentos de solos, sobretudo na Antártica Marítima, que ainda representa uma das áreas menos

conhecidas em termos de solos e permafrost (Tatur, 1989; Bockhein & Ugolini, 1990; Schaefer et al., 2004; Michel et al., 2006; Simas et al., 2008).

É clara a influência do permafrost sobre os recursos hídricos, propriedades do solo e desenvolvimento da vegetação (Guglielmin *et al.*, 2008). Além destes, uma série de questões estão relacionadas às mudanças no balanço de carbono, especialmente devido à liberação de CH₄ e CO₂, em reflexo à degradação do permafrost pelo aumento de temperatura (Slaymaker e Kelly, 2007). Um modelo de estimativa climática (Mearns & Hirst, 1999) sugere um aumento equivalente a 4 % do total das emissões de CO₂ no século XXI em virtude do descongelamento do permafrost, sobretudo nas regiões temperadas do hemisfério norte.

A camada ativa do solo é a parte sobrejacente ao permafrost, no qual sofre congelamento e descongelamento sazonal. Na Antártica Marítima onde as temperaturas são mais elevadas e a disponibilidade de água é maior desta camada é mais profunda, favorecendo o estabelecimento de cobertura vegetal e o intemperismo mineral (Campbell & Claridge, 1987; Guglielmin *et al.*, 2008).

Os ciclos de congelamento e descongelamento da camada ativa favorecem a solifluxão e a formação de feições típicas, como os solos com padrões (Bockhein & Tarnocai, 1998; French, 2007). Horizontes quebrados ou irregulares, orientação vertical das rochas dentro do perfil, movimentação e incorporação de matéria orgânica em subsuperfície, são comumente observados, configurando-se os horizontes crioturbadados (Simas *et al.* 2008).

A crioturbação é todo movimento de solo causado pela ação do congelamento e descongelamento, que inclui grandes modificações na morfologia e micromorfologia do solo, tais como a formação de estrutura granular ovóide dos criossolos, atribuída ao congelamento e descongelamento diferencial e ultradissecção de partículas finas de solo durante processos de congelamento (Bryan, 2004; French, 2007; Tarnocai & Zoltai, 1978; Van Vliet-Lanöe *et al.*, 2004).

As taxas de pedogênese, produção primária, atividade biológica e dinâmica dos ecossistemas possuem estreita relação com o clima e os valores de temperaturas e precipitação na região da Antártica Marítima.

Os solos ornitogênicos (desenvolvidos pela atividade de aves), constituem os principais reservatórios de C orgânico desta região onde a maior parte do C estocado em criossolos encontra-se protegido no *permafrost*, o que sugere um potencial elevado de emissão de C-CO₂ diante do atual cenário de aquecimento regional. (Ugolini, 1972; Tatur *et al.*, 1997; Michel *et al.*, 2006; Simas 2006; Simas *et al.*, 2006).

2.4 Solos Ornitogênicos

Solos ornitogênicos distinguem-se claramente daqueles não ornitogênicos por várias características, como baixo pH (devido ao alto grau de nitrificação) e saturação por bases; teores muito elevados de P (Mehlich-1), Al trocável, COT e N total. O conteúdo de partículas finas (silte + argila) são usualmente mais baixo, possivelmente devido ao ataque de aluminossilicatos por acidólise, que ocorre nestes solos pela decomposição microbiana do guano fresco, gerando ácido nítrico e sulfúrico (Tatur *et al.* 1997). Apresentam clara diferenciação entre horizontes, sendo o horizonte A relativamente profundo e rico em matéria orgânica e horizonte B fosfático (discretamente acinzentado e amarelado) (Simas *et al.* 2007).

Em alguns destes solos, observa-se o desenvolvimento de oásis com extensa e contínua cobertura vegetal, nos quais se verificam maior atividade microbiológica em termos de solos antárticos (Tatur *et al.*, 1997; Michel *et al.*, 2006).

Nas pinguineiras ativas, a contínua deposição do guano fresco e pisoteio das aves inibe o estabelecimento da vegetação (Tatur, 1989; Tatur *et al.*, 1997). Nos solos localizados próximos a estas pinguineiras ativas, ou em pinguineiras abandonadas, a influência ornitogênica e o reflexo na cobertura vegetal são bastante pronunciados, com possível formação de um horizonte superficial humificado, distinguido por uma coloração escura e relações C/N e C/P mais altas do que em materiais ornitogênicos (Tatur *et al.*, 1997). Nestas áreas a colonização inicia-se com a formação de uma cobertura de *Prasiola sp.* (alga). Normalmente em posições mais altas da paisagem, antigas pinguineiras são hoje muito colonizadas por líquens, briófitas, e por duas espécies

superiores: *Deschampsia antártica* (gramineae) e *Colobanthus quitensis* (cariofilaceae).

Em função de sua distribuição geográfica limitada, sítios ornitogênicos são extremamente importantes e constituem o mais importante lócus de seqüestro de C nos ecossistemas terrestres antárticos (Michel et al., 2006; Simas et al., 2007), já que embora a produção de biomassa pela vegetação antártica seja relativamente baixa, ela freqüentemente excede a capacidade de decomposição da microbiota local (Ugolini, 1972).

Pouco são os conhecimentos a respeito da dinâmica do C nos solos antárticos e qual seu papel no ciclo global do C, comparativamente a solos de outros ecossistemas (Michel et al., 2006). Segundo os autores, um entendimento do ciclo do C nos solos ornitogênicos da Antártica é importante para a compreensão dos efeitos do aquecimento global nos ambientes costeiros deste continente. Ácidos húmicos extraídos de Criosolos Ornitogênicos da Antártica Marítima são ricos em N e são facilmente termodegradados, sugerindo que estes solos possam ser vulneráveis à perda de C para a atmosfera em resposta ao aquecimento global (Michel et al., 2006).

Além dos pingüins, outras espécies também contribuem para o processo de ornitogênese, no entanto de fraca intensidade, como as skuas, petréis e gaivotões (Simas et al., 2007). Observa-se desenvolvimento de vegetação em áreas mais distantes da costa próximo a ninhais destas aves, indicando a importância da fertilização dos solos por estes animais, e reflexo no estabelecimento de comunidades vegetais mais complexas e com maior capacidade de fixação de C (Michel et al., 2006).

A vegetação nas áreas de solos fracamente ornitogênicos é descontínua e composta por líquens (*Usnea sp.*) e plantas superiores (*Colobanthus quitensis* e *Deschampsia antarctica*). Um horizonte A espesso e bem desenvolvido é típico destes solos, sendo os estoques de C considerados altos, em algumas situações comparáveis aos teores encontrados para solos ornitogênicos de pingüineiras.

A formação e duração de ecossistemas terrestres fortemente enriquecidos pelo aporte de dejetos animais têm sido relatada nos eventos

geológicos. A disponibilidade restrita de áreas da costa livres de gelo e a queda na reprodução durante a última glaciação reduziram o número de vertebrados marinhos nos solos antárticos, sendo que alguns autores consideram menor a redução das populações de pingüins (especialmente *P. adeliae* e *P. papua*) neste período devido à maior adaptação fisiológica destas espécies (Tatur e Myrcha, 1989; Tatur, 2002). O processo de deglaciação, com mudança na extensão dos bancos de gelo, seguida pela elevação glacio-isostática das terras durante o Holoceno, determinou o acesso dos vertebrados marinhos às terras durante os verões (Baroni e Orombelli, 1994).

Nestes curtos períodos de verão, ocorrem nos ambientes terrestres, interações que influenciam diretamente as relações tróficas e rotas de transferência de matéria e energia entre o oceano e as áreas costeiras na Antártica (Rakusa-Suszczewski, 1993). Nestes locais, existe grande aporte de materiais orgânicos (guano, urina, penas, casca de ovos, pêlos, restos animais/vegetais e conchas) depositados por aves e mamíferos, com destaque para os pingüins, sendo a incorporação destes materiais orgânicos à matriz mineral do solo a principal influência na caracterização dos solos ornitogênicos (Tatur e Myrcha, 1989; Tatur e Myrcha, 1993), termo que tem sido amplamente utilizado na literatura (Tedrow e Ugolini, 1966; Allen e Heal, 1970; Ugolini, 1970; Ugolini, 1972; Tedrow, 1977; Campbell e Claridge, 1987; Bockheim e Ugolini, 1990; Blume et al. 1997; Schaefer et al., 2004). De acordo com Rakusa-Suszczewski (1980), cada população de pingüim (entre 30.000 e 50.000 pares) deposita em torno de 6,35 t de excreta no solo diariamente (comparativamente, todos os pássaros voadores depositam apenas 0,14 t), sendo que a intensidade de aporte nas pingüineiras chega a 10 kg m² de excreta durante uma estação. Segundo Ugolini (1972), isto representa a mais abundante fonte de matéria orgânica nos ecossistemas terrestres antárticos.

Considerando somente a população de pingüins da Antártica Marítima, o depósito anual atinge aproximadamente 1,10⁶ t de excreta no solo (Myrcha e Tatur, 1991). Porém, ao contrário das áreas secas do mundo, onde o guano depositado é acumulado, a maioria dos nutrientes carregados para as terras por pingüins rapidamente retornam ao mar como guano em suspensão parcialmente mineralizado. No entanto, desse montante, sob condições favoráveis, mais de 11 % do fósforo depositado pode permanecer no solo

(Myrcha et al., 1991), indicando que nesta transferência, a concentração e aumento do *turnover* podem ser importantes para a produtividade, estrutura e distribuição dos ecossistemas costeiros pobres em nutrientes.

Nas áreas extremamente frias e áridas da Antártica, a deposição do guano aparentemente tem pouca influência na alteração dos minerais (Ugolini, 1972). No entanto, sob as condições climáticas úmidas da Antártica Marítima, a intensa crioturbação e percolação de água incorporam detritos de aves em profundidade no perfil. Lixiviados ricos em P nestes sistemas reagem com o substrato mineral em um complexo processo de fosfatização do solo, primeiramente descrito por Tatur e Barczuk (1985) e recentemente estudado por Schaefer et al. (2004), Michel et al. (2006), Simas et al. (2006) e Simas et al. (2007). Assim, o fósforo, neste processo, ocorre em zonas de rochas fosfatizadas como Ca-fosfato e Fe-Al-fosfato, formados pela ação de soluções quimicamente reativas liberadas pelo intemperismo dos depósitos fosfáticos (incluindo o guano) sobre a rocha. Estas feições são muito observadas em superfícies rochosas mais susceptíveis à alteração, como basaltos e calcários, em detrimento de granitos e quartzitos (Tatur, 2002).

Nestes solos é observada a ocorrência de diversos minerais de argila fosfatados, incomuns em solos de outros ambientes naturais do planeta (Tatur e Myrcha, 1989; Tatur, 2002), apesar de terem sido encontrados também em ilhas oceânicas brasileiras a partir do aporte de materiais orgânicos depositados por aves (Oliveira, 2008). Schaefer et al. (2008), por meio de microscopia eletrônica de varredura (EDS e WDS), observou feições de iluviação particulares do processo de fosfatização em ambiente criogênico, com intensa mobilidade de P e neoformação de minerais secundários fosfatados como taranakita, minyulita e leucofosfita. Uma estrutura granular, sub-arredondada composta por partículas de silte rodeadas por fosfato iluvial são típicas nos horizontes ornitogênicos (Simas et al., 2007). Em trabalho com extrações seqüenciais de P em solos da Baía do Almirantado, estes autores observaram que fases moderadamente lábeis de Al-P e Fe-P são as principais frações dos sítios estudados. Estes fatos corroboram com Simas et al. (2006) que mostraram que a maior parte da fração argila em alguns solos ornitogênicos é composta por fosfatos de Fe e Al, com alta participação de fases amorfas e orgânicas.

Simas et al. (2006) observaram que fosfatos cristalinos ocorrem somente em solos diretamente afetados por pingüins (pinguineira ativa e abandonada). A dissolução incongruente de fosfatos cristalinos de Al-Fe com formação de fases amorfas ricas em P é considerada a mais comum transformação na medida em que aumenta a idade dos sítios abandonados (Tatur et al., 1997) e mantém elevados os níveis de formas P-lábil. Em contrapartida, nos sítios sob influencia indireta dos pingüins, a entrada de P é baixa e nenhum fosfato cristalino esta presente. Assim, as características químicas destes sítios são controladas por P minerais altamente reativos e não cristalinos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de Estudo

Os solos selecionados para este estudo foram coletados em dois complexos de vulcões localizados no Arquipélago Shetland do Sul, Antártica Marítima (Figura 1): Ilha Deception e Ilha Penguin. Ambas fazem parte da faixa de rochas vulcânicas levemente alcalinas, representado por vulcões ativos, dormentes e extintos, quais sejam: Ilha Deception (Caldeira, ativo), Ilha Penguin (Dormente), Melville Peak (Extinto), Ilha Brigeman (Dormente) e inúmeros montes submarinos ao longo do Estreito de Bransfield.

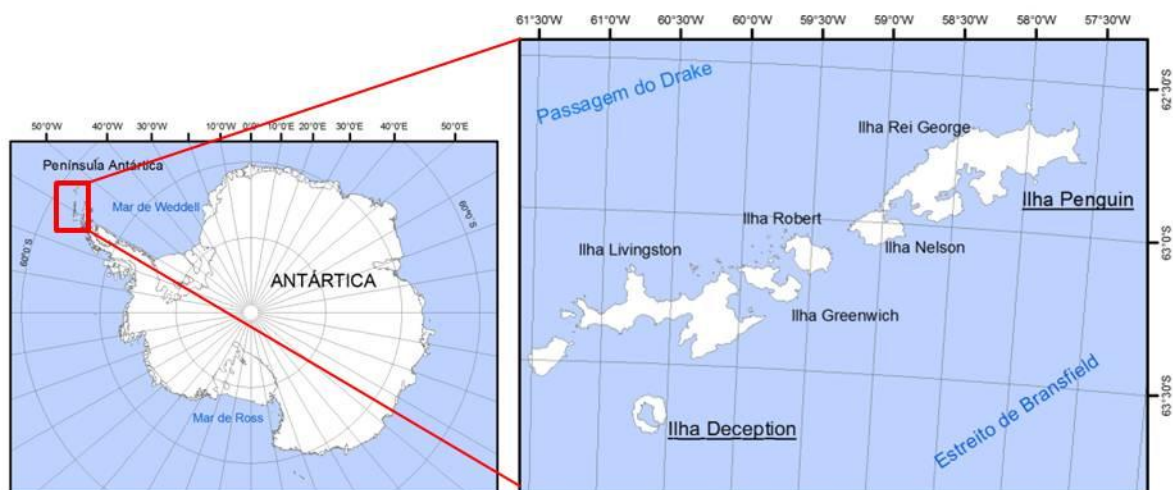


Figura 1. Localização das Ilhas Deception e Penguin no arquipélago Schetland do Sul.

A ilha Deception ($62^{\circ}53'30''S$ - $63^{\circ}01'20''S$ e $60^{\circ}29'20''W$ - $60^{\circ}45'10''W$) é um vulcão ativo de idade Quaternária que possui uma caldeira em estado de dormência com cerca de 10 km de diâmetro, colapsada e submergida pelo mar, formando uma baía com forma de ferradura denominada de Port Foster (Birkenmajer, 1995; Smellie, 2001).

O estudo litoestratigráfico mais recente foi elaborado por Smellie (2001) (Figura 2) que engloba todas as rochas vulcânicas, consolidadas ou não, no Complexo Vulcânico Ilha Deception. Este complexo é dividido em dois grupos principais designados de Grupo *Port Foster* e Grupo *Mount Pound*. O Grupo *Port Foster* é constituído por depósitos de fluxo piroclástico, escórias estrombolianas, lavas e depósitos de escórias e brechas. O grupo *Mount*

Pound é constituído por cinzas vulcânicas, depósitos freato-magmático, cinzas hidrovulcanicas endurecidas, escórias estrombolianas e lavas.

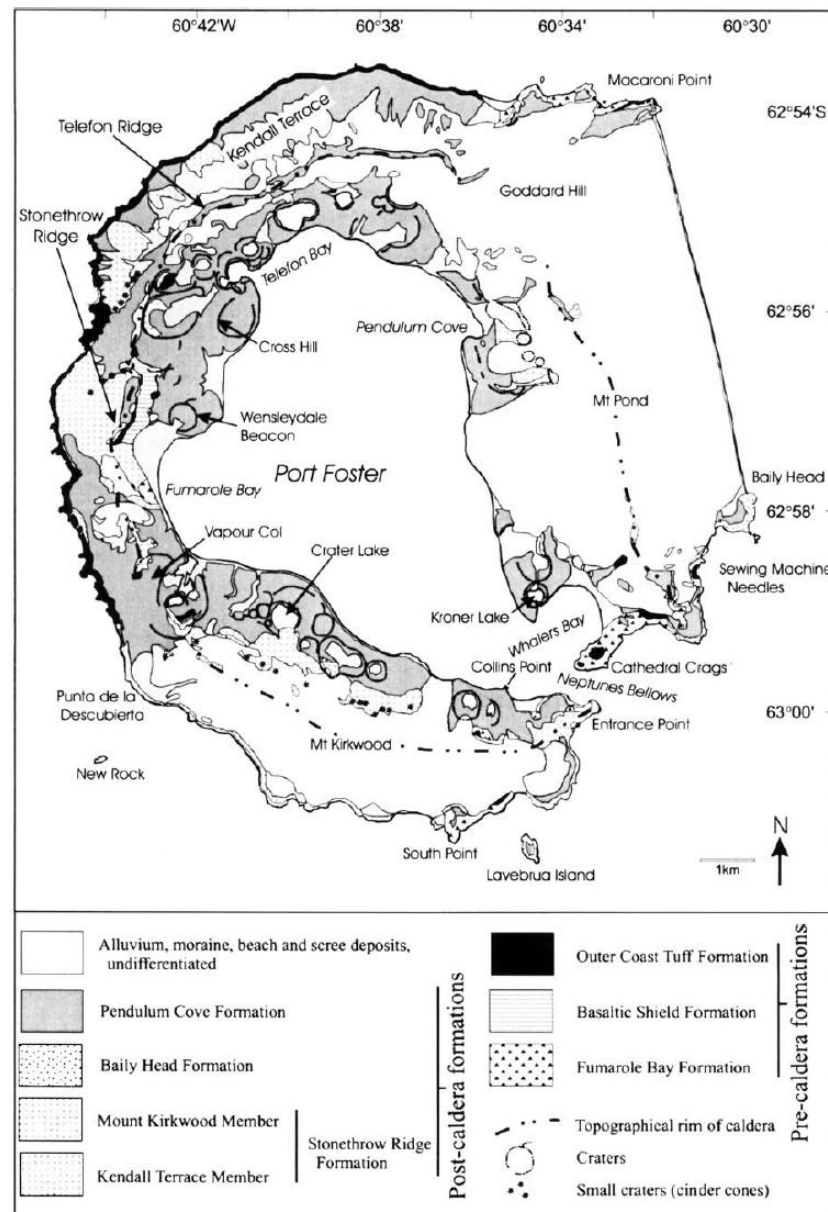


Figura 2. Esboço do mapa geológico da ilha Deception. Adaptado de Smelie (2001).

O estudo litoestratigráfico mais recente foi elaborado por Smelie (2001) que engloba todas as rochas vulcânicas, consolidadas ou não, no Complexo Vulcânico Ilha Deception. Este complexo é dividido em dois grupos principais designados de Grupo *Port Foster* e Grupo *Mount Pound*. O Grupo *Port Foster* é constituído por depósitos de fluxo piroclástico, escórias estrombolianas, lavas e depósitos de escórias e brechas. O grupo *Mount Pound* é constituído por

cinzas vulcânicas, depósitos freato-magmático, cinzas hidrovulcanicas endurecidas, escórias estrombolianas e lavas.

As rochas eruptivas da ilha possuem uma ampla faixa de composição, variando de basalto para dacito, mas basaltos e basaltos andesíticos são volumetricamente dominantes. A composição dos depósitos piroclásticos mais recentes são predominantemente andesíticos (Baraldo e Rinaldi, 2000; Smelie, 2001).

Segundo Birkenmajer (1979), as formas vulcânicas da ilha Penguin sugerem um vulcanismo muito recente, não ultrapassando 150 anos. Os produtos das erupções vulcânicas são representados por material piroclástico de composição basáltica, basalto-andesito e olivina-augita basaltos (Figura 3).

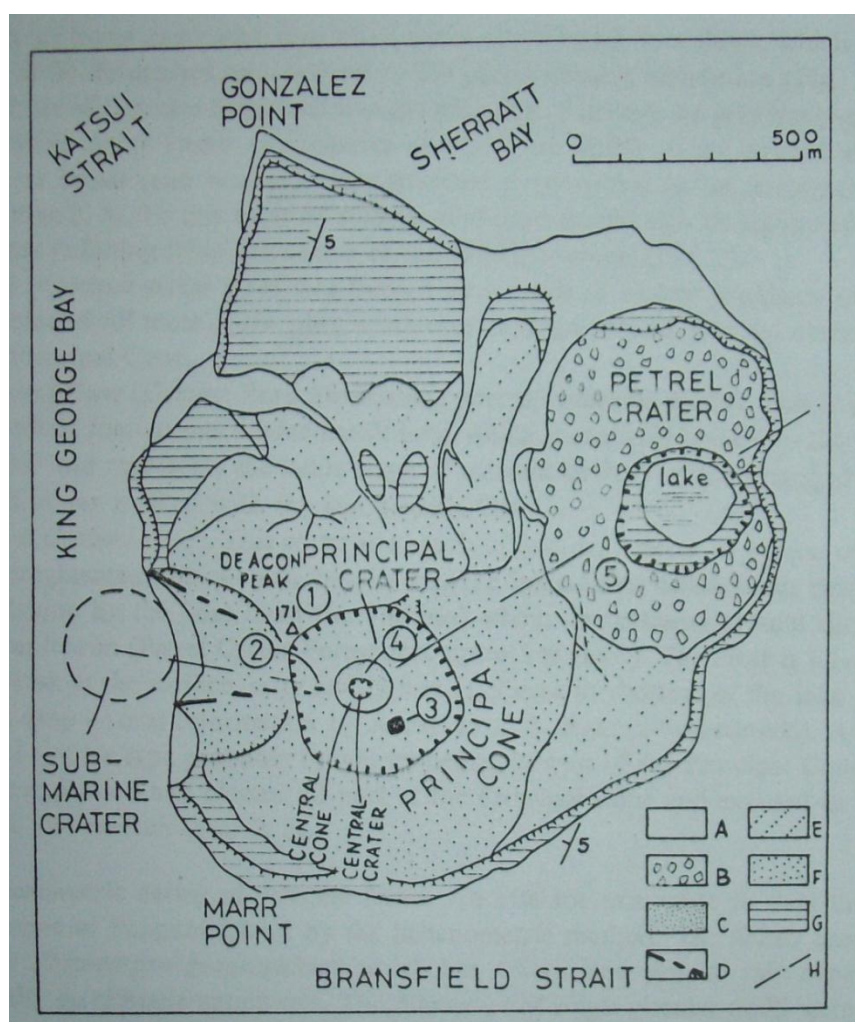


Figura 3. Esboço geológico da ilha Penguin. Adaptado de Birkenmajer (1980). A-alluvium, beach etc; B – Petrel Crater Formation; C – Central Cone; D – radial dykes and plug; E – thin ash cover; F – principal cone (stratocone); C-F – Deacon Peak Formation; G – Marr Point Formation (plateau basalt and beach deposits); H – line of geological cross-section.

De acordo com a Figura 3, as principais formações geológicas da ilha são: *Principal Cones*: o principal cone (estrato-cone) consiste de piroclastos vermelhos alternados com uma fino fluxo de lava escorácea de coloração escura de composição augita-olivina basalto; *Central Cone*: é um pequeno cone formado por escóreas de composição olivino-basalto; *Petrel Crater*: esta cratera é o resultado de uma violenta explosão de gases com fragmentos de basalto.

O arquipélago das ilhas Shetland do Sul possui clima oceânico frio, característico da Antártica Marítima, onde a umidade e nebulosidade desempenham um papel bastante relevante. Neste arquipélago, as médias anuais de temperatura do ar, ao nível do mar, rondam os -2 °C a -3 °C e a amplitude térmica anual é moderada, na ordem dos 8 a 10 °C com precipitação meia anual de 366,7 mm (Serrano e López-Martínez, 2000).

3.2 Amostragem dos Solos

Durante a XVII Operação Antártica, verão de 2007/2008, foi realizado um levantamento de solos nas áreas livres de gelo da porção sul da Ilha Deception e Ilha Penguin, totalizando oito perfis de solo descritos e amostrados.

Foram selecionados locais representativos sobre material vulcânico, cobrindo um gradiente topográfico, geomorfológico, vegetacional e de influência ornitogênica (Tabela 1).

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneiras de 2,0 mm de abertura de malha, seguindo para as análises químicas, físicas e mineralógicas. Os solos foram classificados de acordo com o sistema da Base Internacional de Referência para os Recursos do Solo (WRB) (ISSS Working Group RB, 1998) e pelo Sistema de Classificação de Solos Americano (Soil Survey Staff, 2003).

Na tabela 1 são apresentados os perfis com suas principais características, assim como as figuras ilustrando o ambiente onde foram realizadas as coletas.

Tabela 1. Características gerais dos diferentes perfis estudados.

Perfil	Localização	Classificação	Altitude	Descrição
Ilha Deception				
D1	63°0'33"S 60°33'53"W	Vitrandic Haplocryepts* Vitric Skeletic Leptosol**	50 m	Topo de moraina com relevo suave ondulado. Depósito indiferenciado. Cobertura de briófitas.
D2	63°0'21"S 60°34'19"W	Typic Haplocryepts* Skeletic Leptosol**	72 m	Patamar elevado, relevo ondulado sobre depósito de moraina. Solo recoberto com pavimento pedregoso constituído de tufo vulcânicos recentes. Perfil bem drenado sem cobertura vegetal.
D3	63°0'31"S 60°33'58"W	Typic Haploturbels* Turbic Cryosol (Ornithic)**	75 m	Localizado em terço médio de encosta com aproximadamente 15% de declividade. Perfil bem drenado com cobertura de briófitas. Permafrost a 35 cm.
D4	63°0'30"S 60°33'47"W	Typic Haplorthels* Vitric Cryosol (Ornithic)**	46 m	Perfil descrito em área de colonização de <i>Pygoscelis Antarctica</i> sobre depósitos de tufo e cinzas vulcânicas. Pavimento pedregoso. Bem drenado sob cobertura de Prasiola. Permafrost a 75 cm.
D5	63°0'33"S 60°35'11"W	Typic Haplocryepts* Haplic Leptosol (Ornithic)**	105 m	Patamar elevado de moraina com pavimento pedregoso constituído de material piroclástico. Perfil bem drenado e vegetação ausente.
Ilha Penguin				
P1	57°50'6,5"S 57°56'1,5"W	Typic Haplocryepts* Haplic Skeletic Leptosol**	55 m	Perfil descrito em terço superior de encosta e relevo suave ondulado. Superfície pedregosa composta por rochas vulcânicas máficas. Perfil bem drenado com vegetação ausente.
P2	52°50,8'8,3"S 57°56'9"W	Typic Haplocryepts* Haplic Skeletic Leptosol**	45 m	Localizado em terço médio de rampa suave. Terreno suave ondulado, superfície pedregosa. Perfil bem drenado. Raras briófitas
P3	62°50'9"S 57°36'23"	Lithic Fibristels* Histic Cryosol (Ornithic)**	25 m	Localizado em terço inferior de rampa. Terreno suave ondulado, superfície pouco pedregosa. Perfil bem drenado com cobertura mista de briófitas e deschampsia. Permafrost a 80 cm.

*Soil Taxonomy (2006), **WRB (2006).

3.3 Análises químicas, físicas e mineralógicas

Nutrientes trocáveis, pH e textura foram determinados para amostras de solo (<2 mm) secas ao ar de acordo com Embrapa (1997). Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol/L e P, Na e K extraíveis pelo extrator Mehlich-1 (Solução diluída 0,05 mol/L de HCl em 0,0125 mol/L de H₂SO₄ (Embrapa, 1997). Os níveis dos nutrientes nos extratos foram determinados por

espectrometria de absorção atômica (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}), emissão de chama (K e Na) e fotocolorimetria (P). Carbono orgânico total foi determinado em amostras de solos (< 0,5 mm) por combustão úmida (Yeomans e Bremner, 1998). O fósforo remanescente (P-REM) foi obtido após a mistura de uma solução de CaCl_2 10 mmol/L-1 contendo 60 mg/L-1 de P com 5 g de solo por 1 h. O P-REM na solução dá uma idéia da capacidade de retenção de P da amostra.

A textura do solo foi obtida através da dispersão mecânica de amostras secas ao ar <2 mm em água destilada, peneiramento da fração grosseira e areia fina, sedimentação de silte+argila seguida pelo sifonamento da fração <2 um (Gee e Bauder, 1986).

3.4 Extrações químicas e análise de Raios-X

Amostras <2 mm de horizontes representativos foram submetidas aos seguintes tratamentos:

- (a) Pirofosfato-Na (p) pH 10,0 – extração de Al e Fe ligada a matéria orgânica (Dahlgren, 1994);
- (b) Oxalato de amônio pH 3,0 0,2 mol/L – extração de componentes de Al, Fe e Si pobremente cristalinos (Schwertmann, 1973);
- (c) Ditionito-Citrato-Bicarbonato – Extração de óxidos de ferro livres (Mehra e Jackson, 1960).

Aproximadamente 0,5 g de argila e silte (sem tratamentos) finamente moídas e secas foram orientadas em lamina de vidro para identificação por difratometria de raios-X. Para a identificação dos minerais 2:1 secundários, foram realizados os seguintes tratamentos auxiliares (Whitting, 1965): Saturação com Mg e secagem ao ar para diferenciar minerais 2:1 expansíveis (vermiculita e esmectita) dos não expansíveis (micas); Saturação com Mg e solvatação com etilenoglicol para diferenciar vermiculita de esmectita; Saturação com K e secagem ao ar para diferenciar clorita de vermiculita ou

esmectita com hidróxi-Al entrecamadas; Saturação com K e aquecimento a 550 oC para diferenciar clorita de VHE ou EHE.

Os minerais foram analisados por difratometria de raios-X com o uso de um equipamento PANalytical X'Pert pro, utilizando-se radiação $\text{CoK}\alpha$, com ângulo de varredura de 4° a 50° 2θ , velocidade de varredura de $0,2^\circ$ $2\theta/\text{seg}$. Os minerais foram identificados segundo Chen (1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perfis Coletados

A sequencia de figuras a seguir (4 a 11) mostra os perfis descritos e coletados para a realização deste trabalho.

D1 - Vitric Skeletic Leptosol



Figura 4. Trincheira e ambiente do perfil 1 em Deception.

D2 - Skeletic Leptosol



Figura 5. Trincheira e ambiente do perfil 2 em Deception.

D3 - Turbic Ornithic Cryosol



Figura 6. Trincheira e ambiente do perfil 3 em Deception.

D4 - Vitric Ornithic Cryosol



Figura 7. Trincheira e ambiente do perfil 4 em Deception.

D5 - Haplic Ornithic Leptosol

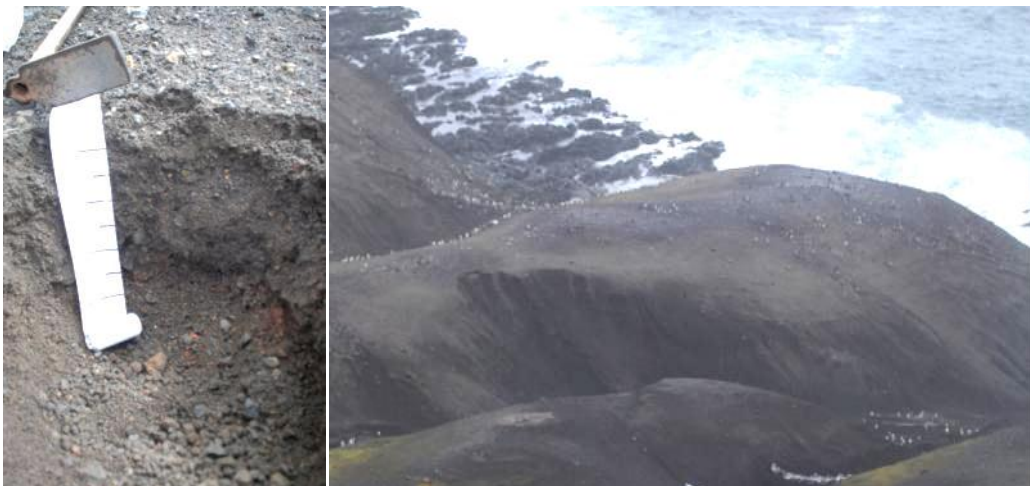


Figura 8. Trincheira e ambiente do perfil 5 em Deception.

P1 - Haplic Skeletic Leptosol

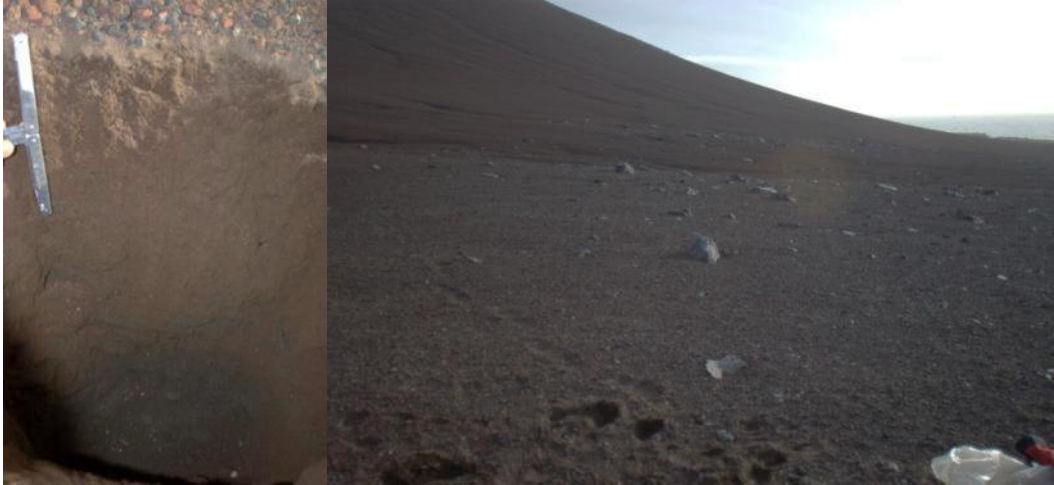


Figura 9. Trincheira e ambiente do perfil 1 em Penguin.

P2 - Haplic Skeletic Leptosol



Figura 10. Trincheira e ambiente do perfil 2 em Penguin.

P3 - Histic Ornithic Cryosol



Figura 11. Trincheira e ambiente do perfil 3 em Penguin.

4.2 Aspectos Físicos

De forma geral os solos estudados são rasos e muitas vezes apresentam contato lítico, lítico fragmentado ou permafrost nos primeiros 100 cm. Invariavelmente possuem valores elevados de cascalho, com valores de 30 a 89 dag/kg (Tabela 2), evidenciando o predomínio de textura arenosa-esquelética. São solos com desenvolvimento incipiente, com fraca distinção entre horizontes e evidência de intemperismo físico causado pelos ciclos de congelamento e descongelamento. Nestas condições, os solos possuem influência marcante do material de origem, corroborando com os trabalhos de Simas et. al. (2008) e Navas et. al. (2008) na Antártica marítima.

Na porção terra fina (< 2 mm) predomina a textura areia-franca e franco-arenosa, com baixos teores de argila e alta relação silte/argila. Os perfis D1, D2 e P1 os valores de Silte/Argila variam de 1,4 a 8,5. Apenas o perfil P2 apresentou teores relativamente maiores de argila (11 dag/kg) e relação Silte/Argila com valores próximos da unidade.

O perfil D1 coletado em terço médio de encosta de moraina com aproximadamente 40 m de altitude apresentando contato lítico fragmentado em 35 cm. O perfil é bem drenado e apresenta cobertura vegetal composta por almofadas esparsas de musgos sem influência ornitogênica, classificado como *Vitric Skeletic Leptosol* (WRB). Os conteúdos de silte + argila apresentam-se de forma heterogênea ao longo do perfil indicando que o processo de crioturbação é pouco expressivo. Em solos onde ocorre crioturbação existe uma seleção de material ao longo do perfil, havendo translocação de partículas finas em profundidade (Campbell e Claridge, 1987; Navas et. al., 2008; Simas et. al. 2008; Albuquerque Filho et. al. 2004).

O perfil D2 classificado como *Skeletic Leptosol* (WRB) encontra-se desprovido de cobertura vegetal, com raros líquens sobre fragmentos de rocha. É um solo pouco desenvolvido, sem distinção de horizontes sobre material vulcânico, em sua maioria tufos e cinzas recentes. O perfil P1 classificado como *Haplic Skeletic Leptosol* (WRB) também é desprovido de vegetação, pouco desenvolvido apresentando textura Areia/Areia-Franca. Os teores de argila são baixos (5 dag/kg) enquanto os teores de silte em P1 são menores (6-18 dag/kg) em comparação ao D2 (32 dag/kg).

Os teores de silte em profundidade são relativamente maiores na Ilha Deception do que na Ilha Penguin. Esta diferença pode ser atribuída ao material de origem e idade do vulcanismo, mesmo que as duas ilhas sejam formadas por vulcanismo recente. Em Deception há a predominância de depósito de tufos, escórias e cinzas vulcânicas de composição basáltica a basáltica/andesítica (Smelie, 2006; Birkenmajer, 1979), enquanto que a ilha Penguin é dominada por derramamento de fluxo de lavas basálticas mais antigas (Birkenmajer, 1982) enquanto os tufos e escórias que deveria ter existido no pretérito foram mais erodidos.

Os solos sob influência de aves (D3, D4, D5 e P3) apresentam textura arenosa/esquelética. Os perfis D3, D4 e D5 apresentam baixos teores de argila (Tabela 2) em comparação aos perfis P2 e P3 e apresentam valores variáveis em profundidade, indicando pouca influência de crioturbação. Os teores de silte são mais elevados que em Penguin apresentando valores de 17 dag/kg em D4 até 59 dag/kg em D5.

O perfil P2 classificado como *Haplic Skeletic Leptosol* localizado em área adjacente a um grande ninhal, apresenta textura predominante de areia-franca. Os teores de argila são relativamente mais elevados do que os perfis de Deception variando de 3 dag/kg a 8 dag/kg (Tabela 2). A relação silte/argila apresenta valores baixos, próximos da unidade aumentando em profundidade.

O perfil P3 localizado numa posição mais baixa da paisagem (25 m de altitude) foi classificado como *Histic Ornithic Criosol*. O perfil ornitogênico apresenta feições claramente distintas dos perfis não ornitogênicos como a presença de cobertura exuberante composta por musgos e *D. Antarctica*, apresentando teores de argila mais elevados (Tabela 2). O perfil é desenvolvido em uma área de alimentação e reprodução de pássaros (petrel e gaivotão). A cor do solo passa de 2,5YR 6/4 em superfície para 5Y 5/2 em profundidade. Devido à cobertura vegetal exuberante forma-se em superfície um horizonte hístico com o acúmulo material vegetal em estado fíbrico.

No conjunto de solos estudados uma característica marcante para a diferenciação do nível de desenvolvimento pedológico é a cor. Nos solos de Deception houve o predomínio de matiz 5Y e cromas baixos (1 a 2), enquanto que na ilha Penguin houve uma variação entre 2,5 YR a 5Y com valores de croma mais altos (2 a 4). Neste sentido, os valores de matiz e croma da ilha

Penguin indicam que são solos mais desenvolvidos o que pode ser melhor avaliado quando analisados conjuntamente com as análises químicas.

Tabela 2. Atributos físicos dos solos dos diferentes perfis.

Horizonte	AG	AF	Silte	Argila	Cascalho	Silte/Argila	Classificacao	Cor
cm	dag/kg							
D1 - Vitric Skeletic Leptosol**								
0-5	45	33	17	5	30	3,4	Areia-Franca	5Y 3/2
5-15	45	29	21	5	47	4,2	Franco-Arenosa	5Y 4/2
15-30	47	24	24	5	66	4,8	Franco-Arenosa	5Y 4/2
D2 - Skeletic Leptosol**								
0-30	44	19	32	5	81	6,4	Franco-Arenosa	5Y 4/1
D3 - Turbic Ornithic Cryosol**								
0-5	34	33	29	4	55	7,3	Franco-Arenosa	5Y 3/1
5-20	43	31	21	5	54	4,2	Franco-Arenosa	5Y 5/1
20-35	44	24	28	4	55	7,0	Franco-Arenosa	5Y 6/1
D4 - Vitric Ornithic Cryosol**								
0-5	47	32	17	4	36	4,3	Areia-Franca	5Y 3/1
5-35	41	40	17	2	46	8,5	Areia-Franca	5Y 3/1
35-75	42	28	28	2	40	14,0	Franco-Arenosa	5Y 3/2
D5 - Haplic Ornithic Leptosol**								
5-35	29	9	59	3	53	19,7	Franco-Siltosa	5Y 4/2
P1 - Haplic Skeletic Leptosol**								
0-5	61	27	7	5	26,5	1,4	Areia	2,5 YR 4/3
5-18	61	28	6	5	39	8,5	Areia	2,5 YR 4/2
18-37	59	28	8	5	75	4,0	Areia-Franca	2,5 YR 4/2
37-70	55	22	18	5	64	7,0	Areia-Franca	5Y 4/1
P2 - Haplic Skeletic Leptosol**								
0-8	62	23	7	8	62,5	0,9	Areia-Franca	2,5YR 6/3
8-22	65	16	11	8	39	1,4	Areia-Franca	2,5YR 6/4
22-45	67	12	13	8	75	1,6	Areia-Franca	5Y 5/2
45-65	80	8	9	3	33	3,0	Areia	5Y 3/1
P3 - Histic Ornithic Cryosol**								
0-15	67	15	7	11	-	-	Areia-Franca	2,5YR 6/4
15-30	61	19	11	9	45	1,2	Areia-Franca	2,5YR 6/4
30-50	56	19	18	7	89	2,6	Franco-Arenosa	2,5YR 6/2
50-80	78	6	11	5	58	2,2	Areia-Franca	5Y 5/2

**WRB (2006).

4.3 Aspectos Químicos

Os perfis D1 e D2 são eutróficos e possuem valores de pH H₂O variando de 6,07 a 7,58 (Tabela 3) associado com os baixos valores de matéria orgânica assim como encontrado por Simas et. al. (2007) em perfil pouco desenvolvido sobre basalto. Os níveis de Ca (2,45 a 4,85 mg/dm³) e Mg (2,07 a 2,86 mg/dm³) são elevados, mas são baixos se comparado com áreas sem influencia de ornitogênese de outros locais da Antártica Marítima (Michel et. al. 2006; Simas et. al. 2007; Albuquerque Filho et. al. 2004). Os altos valores de pH H₂O são influenciados pela ausência de vegetação e pela falta de aporte de material orgânico depositados por aves. Os valores de P extraídos por Mehlich-1 variam de 57,4 a 133,4 mg/dm³. Altos valores de Na (467 a 954,3 mg/dm³) podem ser atribuídos ao aporte por spray salino e pela pouca lixiviação.

O perfil P1 descrito em terço superior de encosta em relevo suave ondulado e com ausência de vegetação, apresenta valores de pH H₂O semelhantes aos perfis D1 e D2. Os teores de P são os mais baixos entre os solos estudados (17,8 a 55,2 mg/dm³). Os teores de Ca e Mg aumentam em profundidade (Tabela 3) indicando influencia do material de origem e pouca lixiviação.

O perfil D3 desenvolvido em área adjacente a uma colônia de pingüins, apresenta valores de P extraído por Mehlich-1 chegando a 205,3 mg/dm³ em superfície. Os valores de pH H₂O são altos (6,88 a 7,92). Ca e Mg são elevados em superfície apresentando declínio em subsuperfície. O perfil D4 foi coletado na borda de uma área sob intensa colonização de *P. Antartctica*, em ambiente semelhante ao D3, e apresenta cobertura de alga verde (*P. crista*). No entanto, os valores de P são baixos (39,1 a 43,1 mg/dm³) e pH são elevados (Tabela 3) assim como Ca e Mg. O perfil P2 com cobertura mista localizado em terço médio de encosta, apresenta baixos valores de P (33,1 a 63,9 mg/dm³) e ligeiro declínio de pH H₂O em superfície. Os valores de Ca e Mg aumentam em profundidade, sendo o valor mais baixo no horizonte C2 é em função do baixo teor de argila.

O perfil P3 coletado em área sob forte influencia de aves apresenta o maior valor de P extraído por Mehlich-1 de todos os perfis estudados (500,9 mg/dm³). No entanto os valores em subsuperfície decrescem rapidamente,

indicando pouca iluviação de P pelo pouco tempo de pedogênese. Os valores de pH são os mais baixos (5,31 a 5,67) assim como os níveis de Ca e Mg em superfície (0,63 e 0,54 cmol_d/dm³ respectivamente) em relação aos demais solos estudados. Por outro lado, há um acréscimo na atividade do Al e matéria orgânica indicando que a nidificação nesta área promoveu a acidificação, lixiviação de bases e maior atividade de Al³⁺.

Tabela 3. Atributos químicos dos perfis estudados.

Horizonte	pH	P ¹	K ¹	Na ¹	Ca ²	Mg ²	Al ²	H+Al	SB ³	t ⁴	T ⁵	V ⁶	MO ⁷	PREM ⁸
cm	H ₂ O	mg/dm ³				cmol _d /dm ³						%	dag/kg	mg/L
D1 - Vitric Skeletic Leptosol**														
0-5	6,07	57,4	190	954,3	2,46	2,07	0,21	1,7	9,17	9,38	10,87	84,4	0,64	40,8
5-15	7,46	62,7	189	482,2	2,9	2,04	0	1	7,52	7,52	8,52	88,3	0,64	41,2
15-30	7,56	84,5	202	487,3	3,45	2,4	0	0,7	8,49	8,49	9,19	92,4	0,64	45,8
D2 - Skeletic Leptosol**														
0-30	7,58	133,4	183	467	4,85	2,86	0	0,3	10,21	10,21	10,51	97,1	0,64	45,8
D3 - Turbic Ornithic Cryosol**														
0-5	7,92	205,3	268	720,8	7,45	4,89	0	0,2	16,16	16,16	16,36	98,8	0,64	49,9
5-20	7,27	58	124	340,1	1,44	1,25	0	1	4,49	4,49	5,49	81,8	0,64	46,7
20-35	6,88	65,6	160	522,8	3,03	1,88	0	0,7	7,59	7,59	8,29	91,6	0,64	43,5
D4 - Vitric Ornithic Cryosol**														
0-5	6,4	43,1	328	517,8	3,02	1,78	0	1,4	7,89	7,89	9,29	84,9	0,64	45,7
5-35	7,23	39,1	258	416,2	2,2	1,78	0	0,5	6,45	6,45	6,95	92,8	0,32	49,2
35-75	7,52	63,9	253	665	3,32	2,08	0	0,2	8,94	8,94	9,14	97,8	0,64	50,3
D5 - Haplic Ornithic Leptosol**														
5-35	6,84	139,5	288	786,8	4,23	2,92	0	0,2	11,31	11,31	11,51	98,3	0,32	47,7
P1 - Haplic Skeletic Leptosol**														
0-5	6,75	26	136	203	0,74	0,39	0	1,2	2,36	2,36	3,56	66,3	0,26	23
5-18	7,13	19,6	136	238,6	1,17	0,77	0	1,4	3,33	3,33	4,73	70,4	0,26	22,6
18-37	7,18	17,8	218	190,9	1,75	1,21	0	1,4	4,35	4,35	5,75	75,7	0,38	24,7
37-70	7,46	55,2	104	284,3	5,03	5,4	0	1	11,94	11,94	12,94	92,3	0,26	35,9
P2 - Haplic Skeletic Leptosol**														
0-8	6,75	39,1	128	136	1,24	2,03	0	3,6	4,19	4,19	7,79	53,8	1,02	22,1
8-22	6,96	33,1	127	176,6	2,47	3,08	0	3	6,64	6,64	9,64	68,9	0,9	18
22-45	7,34	63,9	228	340,1	4,84	6,39	0	2,2	13,29	13,29	15,49	85,8	0,77	25,9
45-65	7,55	49,5	141	173,6	1,24	1,32	0	0,5	3,67	3,67	4,17	88	0,64	52,5
P3 - Histic Ornithic Cryosol**														
0-15	5,08	263,5	228	177,7	0,86	1,04	0,51	3,25	8,8	3,76	12,05	27,0	8,32	34,7
15-30	5,47	500,9	93	138,1	0,63	0,54	0,92	11,5	2,01	2,93	13,51	14,9	2,69	16,8
30-50	5,31	84,5	82	133	1,05	1,24	0,51	6,1	3,08	3,59	9,18	33,6	0,64	18
50-80	5,67	42,1	123	202	2,34	2,53	0,82	5,1	6,06	6,88	11,16	54,3	0,26	23,3

¹Estraidos com Melich-1; ²extraído com KCl 1 mol/L; ³Soma de bases; ⁴Capacidade de Troca de cátions efetiva; ⁵Capacidade de Troca de cátions potencial; ⁶Porcentagem de soma de bases; ⁷Matéria orgânica; ⁸Fósforo remanescente. **WRB (2006).

O aporte superficial de guano favorece o estabelecimento de uma cobertura vegetal mais densa, em comparação com os outros perfis estudados. O perfil P3 apresenta o maior valor de matéria orgânica comparando com os demais solos estudados (2,69 dag/kg, tabela 3) formando um delgado horizonte hístico composto por talos de briófitas e líquens, com caráter fíbrico, com transição abrupta para um horizonte mineral com estrutura fraca média granular e textura areia-franca.

Do ponto de vista químico, solos desenvolvidos em áreas de nidificação de aves em outras partes da Antártica apresentam características distintas dos demais solos, tais como: valores de pH mais baixos, alta disponibilidade de P (freqüentemente valores superiores a 1.000 mg/dm³), alta atividade de Al e níveis variáveis de Ca, Mg e K (Simas et. al., 2004; Schaefer et. al., 2004; Simas et. al. 2007). No entanto, nas áreas afetadas por aves nas ilhas de vulcanismo recente apresentam valores bem menos expressivos com relação à outras áreas. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de serem ilhas formadas por vulcanismo muito recente, onde o tempo de exposição do material não foi suficiente para que as reações físico-químicas da interação guano-substrato ocorressem de forma expressiva como ocorre em outras partes da Antártica Marítima, onde não há vulcanismo atual.

De acordo com o que foi apresentado, o perfil P3 da ilha Penguin pode ser considerado o mais desenvolvido dentre os solos estudados e com maior influência ornitogênica, no entanto, esta influencia pode ser considerada fraca. Por outro lado, o perfil D2 classificado como Skeletic Leptosol coletado em área sem influência de aves, apresentou valor de P extraído por Melich-1 de 133,4 mg/dm³, sugerindo que grande parte dos valores de P são provenientes material de origem de composição basáltica.

4.4 Mineralogia dos solos

As ilhas Deception (vulcanismo recente) e Penguin (vulcanismo mais antigo) são caracterizadas por serem vulcões de idade Quaternária formadas pela deposição de lavas e material piroclástico de composição basáltica a basáltica-andesítica. Devido às condições climáticas e por serem depósitos relativamente recentes, os solos desenvolvidos sobre estes materiais guardam

forte relação com o seu material de origem, tanto do ponto de vista químico quanto mineralógico.

A composição mineralógica dos solos estudados é mostrada nos difratogramas da Figura 12. De forma geral os solos apresentam uma assembléia mineral bastante semelhante, predominando plagioclásios e feldspato potássicos, além de piroxênio. Em perfil descrito na península Byers, Navas (2008) encontrou grande quantidade de feldspatos em solo desenvolvido sobre material vulcânico onde os feldspatos potássicos são mais abundantes do que os plagioclásios. Simas (2006) encontrou a presença de quartzo, piroxênio e magnetita na fração areia e argila de solos desenvolvidos sobre material basáltico, onde verificou pouca alteração química em solos não ornitogênicos.

Nos perfis D1 e D2 da ilha Deception observa-se a ocorrência de esmectita com hidróxi-Al entre camadas devido a presença de picos em 1,5 nm para amostras saturadas com Mg e quando solvatadas com glicerol, 1,43 nm. Após saturação com K em temperatura ambiente, os picos apresentaram valores de 1,26 nm, e quando aquecidos a 550 °C houve mudança para 1,0 nm (Figuras 13 e 14).

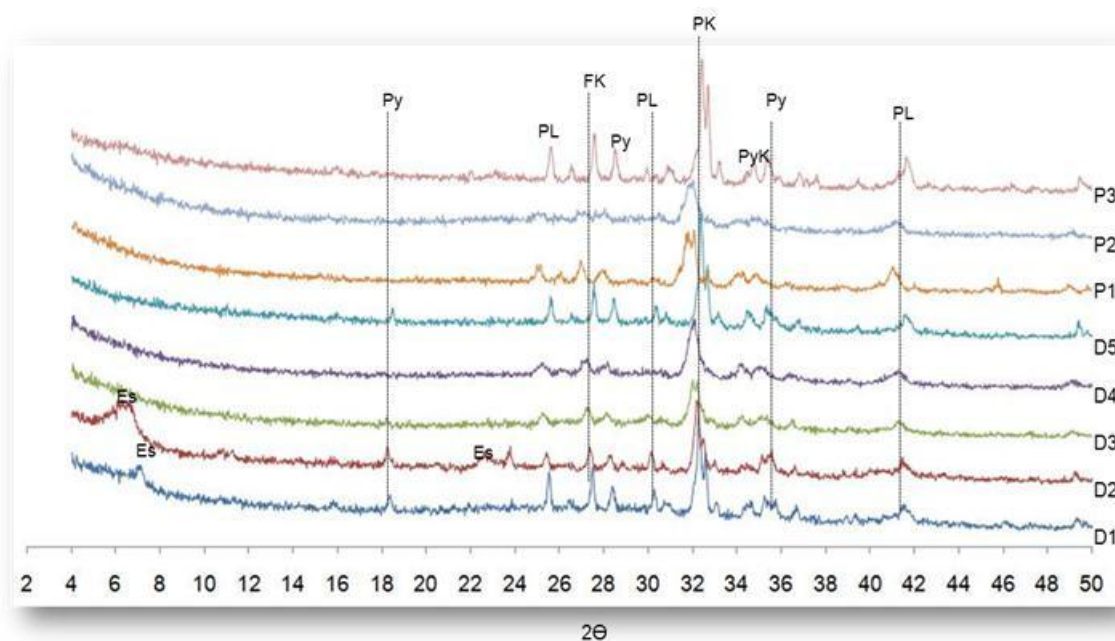


Figura 12. Difratogramas dos horizontes representativos dos perfis estudados.

A presença de minerais primários como feldspato e piroxênios na fração argila, é comum em solos da Antártica Marítima (Simas et. al. 2008), e deve-se ao intenso intemperismo físico e ao incipiente intemperismo químico. Argilas são formadas pelo intenso intemperismo crioclástico (Blume et. al. 2002) que fragmenta os materiais fornecendo material para o desenvolvimento do solo e atuação do intemperismo químico.

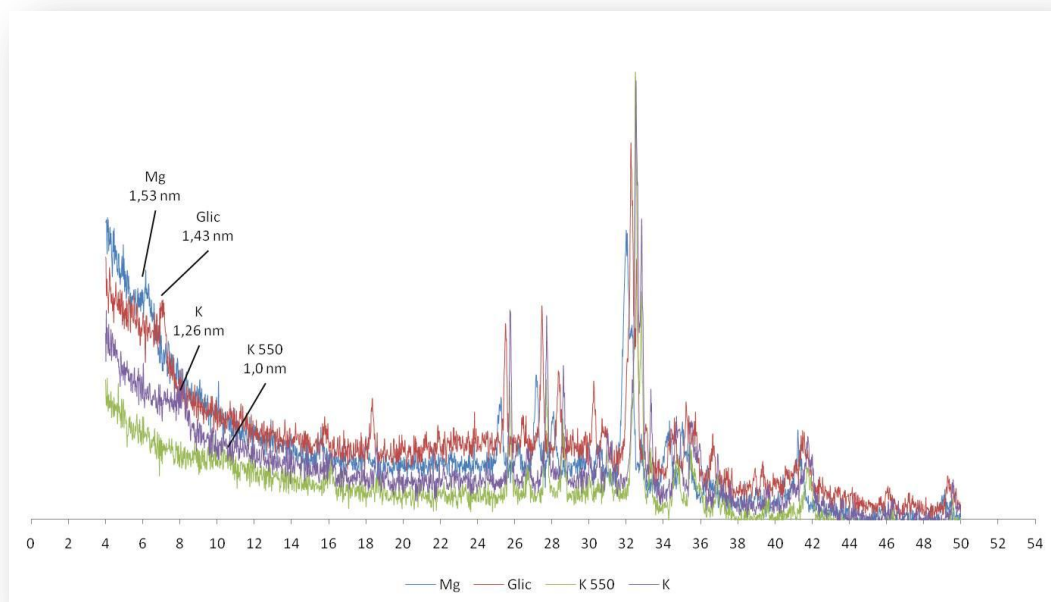


Figura 13. Difratomogramas com tratamentos para o perfil D1.

Segundo Jeong ad Yoon (2001) *apud* Simas et. al. (2006) a presença de esmectitas em solos na ilha de Rei George pode ser herança de alteração hidrotermal do material basáltico. Dahlgren *et. al.* (1993) e Breemem e Buurman (1998) discutem a origem e a formação de minerais do tipo 2:1 e filossilicatos em solos derivados de materiais vulcânicos, e mostram diversas interpretações na literatura. Algumas hipóteses foram desenvolvidas para explicar a ocorrência destes minerais: (a) alteração de minerais máficos como piroxênios, anfibólios e micas do material de origem, (b) formação de materiais amorfos como produtos de estágios avançados de intemperismo, (c) alteração hidrotermal de produtos antes da erupção e depositados junto com os materiais ejetados, (d) transformação de vidro vulcânico para um tipo mineral de ilita 2:1 através da retenção de K, e (e) herança de depósitos eólicos como as *loess*. As esmectitas encontradas nos perfis da ilha Deception pode ser atribuídas a

processos hidrotermais que alteraram o material vulcânico, já que segundo Smelie (2006).

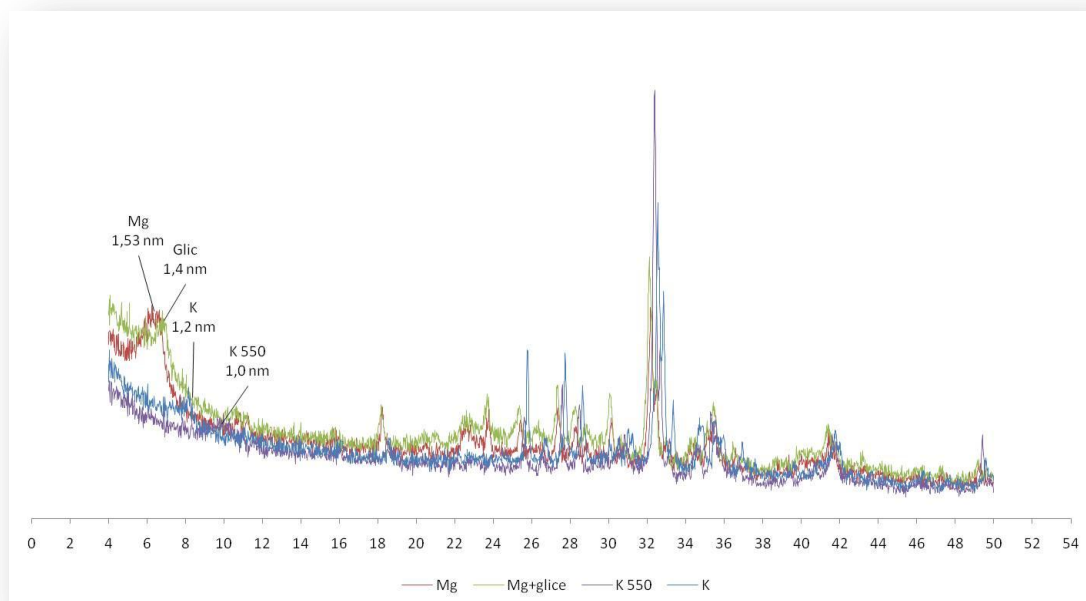


Figura 14. Difratomogramas com tratamentos para o perfil D2.

De acordo com os padrões de raios-X apresentados na Figura 10, os solos com caráter ornitogênico (D3, D4, D5) apresentam uma assembléia mineralógica semelhante aos não ornitogênicos, com o predomínio de feldspatos. Embora apresentem valores maiores de P extraídos por Melich-1 se comparados a outros sítios, a formação e precipitação fosfatos secundários é bastante incipiente. Não foram encontrados picos de minerais de fosfatos nos horizontes superficiais dos solos com maiores teores de P, o que evidencia que o processo de fosfatização destes solos é bastante incipiente. De acordo com Tatur e Barczuk (1985) o processo de fosfatização compreende a alteração química dos minerais e a formação de fases minerais de baixa cristalinidade que reagem com P, K e N formando minerais fosfatados de diversos graus de cristalinidade. Solos ornitogênicos são formados a partir da deposição de uma camada de guano e onde ocorrem apatita, struvita, uratos e fluorita. Em áreas onde a atividade de colonização atual ou em áreas mais áridas da Antártica, os minerais formados mais comuns são: leucofosfita e fosfatos de alumínio pouco cristalinos. Em áreas de nidificação abandonadas onde houve um maior desenvolvimento dos solos, os fosfatos normalmente encontrados são:

Vivianita, taranakita, minuyilita, vivianita e fases cristalinas (Tatur e Keck, 1990; Simas et. al. 2006; Myrcha e Tatur, 1991).

Embora não tenham formado horizontes fosfatizados, como descrito por Simas et. al (2009), existe uma clara diferença entre os solos sob influencia de ornitogênese e dos sem influência, sobretudo no que se refere ao impacto da atividade da fauna na formação de ecossistemas terrestres. Dos solos estudados, apenas o P3 apresentou forte influencia por aves marinhas apresentando valores relativamente maiores de matéria orgânica, maiores teores de P, cobertura vegetal e o desenvolvimento de um ecossistema terrestre ornitogênico. Devido ao aporte de biomassa por aves (principalmente pingüins) há intensa atividade microbiana na decomposição dos excrementos, apoiada pela desintegração da matéria orgânica pela atividade de invertebrados da fauna do solo dominado por nematóides, colêmbolas e ácaros (Tatur et. al. 2002; Myrcha et. al. 1991).

4.5 Propriedades Ândicas

Solos vulcânicos, ou Andossolos, são solos desenvolvidos sobre cinza vulcânica ou material piroclástico que apresentam propriedades andicas ou vítricas (Shoji et. al. 1993; WRB, 2006; Soil Taxonomy, 1999). Uma das características marcantes destes solos é a ocorrência de uma assembléia mineral dominada por componentes não cristalinos que incluem alofana, imogolita, opala e ferridrita (Dahlgren et. al. 1993). Solos desenvolvidos sobre depósitos vulcânicos apresentam uma ampla gama de características químicas que refletem a influencia do material de origem e o seu grau de alteração. Destas propriedades químicas, matéria orgânica, atividade de Al e Fe e cargas variáveis são os atributos mais proeminentes que regulam as reações químicas nestes solos (Nanzyo et. al. 1993).

Tabela 4. Dados das extrações químicas das amostras estudadas.

Horizonte	pH	Al _o ¹	Fe _o ¹	Si _o ¹	Al _p ²	Fe _p ²	Si _p ²	Al _d ³	Fe _d ³	Si _d ³	Fe _o /Fe _d	Al _o +0,5Fe _o	(Al _o -Al _p)/Si _o	Al _o /Al _d	Si _o /Si _d
	NaF	g/kg										%			
D1 - Vitric Skeletic Leptosol**															
0-5	9,8	2,7	7,6	4,4	0,9	1,1	1,6	1,6	5,9	6,6	1,3	0,65	0,4	1,69	0,68
5-15	9,9	3,0	8,6	8,6	0,6	0,8	1,7	2,4	9,9	8,4	0,9	0,73	0,3	1,21	1,03
15-30	9,5	2,7	8,1	4,6	0,4	0,6	1,6	1,6	7,2	7,4	1,1	0,68	0,5	1,77	0,62
D2 - Skeletic Leptosol**															
0-30	9,3	2,1	6,4	5,2	0,0	0,0	0,3	1,0	8,5	7,5	0,8	0,53	0,4	2,21	0,69
D3 - Turbic Ornithic Cryosol**															
0-5	9,3	1,5	5,4	3,6	0,5	0,9	1,5	1,1	5,3	5,4	1,0	0,42	0,3	1,33	0,66
5-20	9,6	2,2	6,3	4,8	0,7	1,0	1,6	1,3	5,7	5,8	1,1	0,53	0,3	1,62	0,82
20-35	9,7	2,4	5,5	4,2	0,4	0,4	1,6	1,2	5,0	6,7	1,1	0,52	0,5	1,93	0,63
D4 - Vitric Ornithic Cryosol**															
0-5	9,1	1,8	5,3	3,5	0,5	0,9	1,7	1,4	6,0	6,3	0,9	0,44	0,4	1,29	0,55
5-35	8,9	2,3	7,3	5,0	0,3	0,5	1,5	1,1	5,4	6,0	1,4	0,66	0,4	2,13	0,83
35-75	9,0	2,3	8,3	4,7	0,2	0,2	1,5	0,7	5,2	6,0	1,6	0,65	0,5	3,22	0,79
D5 - Haplic Ornithic Leptosol**															
5-35	9,2	2,8	9,3	4,2	0,1	0,3	1,4	0,6	5,0	5,7	1,8	0,74	0,6	4,57	0,74
P1 - Haplic Skeletic Leptosol**															
0-5	10,8	8,7	11,3	11,3	1,9	0,7	1,4	4,0	9,7	5,6	1,2	1,44	0,6	2,18	2,02
5-18	10,9	12,3	14,5	10,1	2,0	0,7	1,5	5,7	11,8	7,7	1,2	1,96	1,0	2,17	1,31
18-37	10,6	11,9	14,0	10,2	1,6	0,6	1,4	7,6	16,1	9,8	0,9	1,89	1,0	1,56	1,04
37-70	10,0	7,7	19,4	8,9	0,6	0,4	3,7	4,5	18,0	10,6	1,1	1,74	0,8	1,71	0,84
P2 - Haplic Skeletic Leptosol**															
0-8	11,5	20,3	19,3	10,8	5,4	2,7	1,8	14,0	21,8	9,9	0,9	2,99	1,4	1,45	1,09
8-22	11,5	20,0	17,9	11,8	4,0	2,2	1,5	13,9	21,5	11,2	0,8	2,90	1,4	1,44	1,06
22-45	10,9	18,3	24,4	14,3	2,9	1,5	1,7	10,4	24,6	14,1	1,0	3,05	1,1	1,75	1,01
45-65	9,6	5,1	16,9	6,4	0,4	0,2	1,4	3,2	13,7	10,4	1,2	1,36	0,7	1,62	0,61
P3 - Histic Ornithic Cryosol**															
15-30	11,5	22,0	23,0	6,4	16,1	13,8	3,1	31,4	33,1	20,5	0,7	3,36	0,9	0,70	0,31
30-50	11,2	14,6	20,7	11,7	4,5	5,3	1,8	11,3	18,9	13,1	1,1	2,50	0,9	1,29	0,89
50-80	10,7	14,0	24,2	11,7				8,5	21,0	12,9	1,2	2,61	1,2	1,64	0,91

¹Schwertman, 1973; ²Dahlgren, 1994; ³Mehra e Jackson, 1960. **WRB (2006).

Segundo o sistema de classificação WRB (2006) os dados de pH NaF são importantes indicadores da presença de minerais pouco cristalinos, como as alofonas, determinando que valores acima de 9,5 pode ocorrer tais minerais. Dentre os solos estudados, houve uma clara diferença entre os sítios da ilha Deception e os da ilha Penguin. Devido aos fatores como relevo e idade do material de origem é possível observar que na ilha Deception a alteração química dos materiais é bastante incipiente. Os valores de pH NaF variam entre 8,9 a 9,9 (tabela 4) enquanto os valores médios de Fe_o/Fe_d, que indicam o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro (Schwertmann, 1985), variam entre

0,8 a 1,1, exceto o perfil D5 que apresentou valor um pouco maior, 1,8, mostrando que existe um predomínio de formas pouco cristalina sobre as formas bem cristalinizadas de Fe na ilha Deception. Os valores de Fe_p são muito baixos que podem ser explicados pelos baixos teores de matéria orgânica apresentados. Os valores de $Al_o + 0,5Fe_o$ são usados também para o enquadramento dos solos com propriedades andicas e devem apresentar valores superiores a 2,0 % (WRB, 2006; Shoji et. al 1993). Na Figura 13 é evidenciada a relação entre os dados de pH NaF e $Al_o + 0,5Fe_o$ mostrando que existe uma relação positiva destes valores nos solos vulcânicos estudados. No caso das amostras de Deception os valores são baixos variando entre 0,42 e 0,74 (Tabela 4) não sendo possível enquadrá-los como andosolos.

A ilha Penguin é considerada um vulcão atualmente em estado de dormência e segundo Birkenmajer (1979) não apresenta atividade eruptiva há mais de cem anos. Neste sentido possui uma superfície relativamente mais estável do que em Deception, ocorrendo a possibilidade de atuação dos agentes intempéricos promovendo alterações e desenvolvimento dos solos.

As amostras analisadas da ilha Penguin apresentaram valores de pH NaF superiores a 10 (Tabela 4) com média de 10,8 indicando a ocorrência de alofana. Os valores de Fe_o/Fe_d variam entre 0,8 a 1,2 indicando o predomínio de formas pouco cristalinas de Fe. Os dados de Al_o/Al_d apresentam valores mais elevados chegando a 2,18 no P1 e possuem valores médios de 1,90 (P1), 1,56 (P2) e 1,21 (P3). Os dados de Si_o/Si_d apresentam valores médios de 1,30 (P1), 0,94 (P2) e 0,70 (P3).

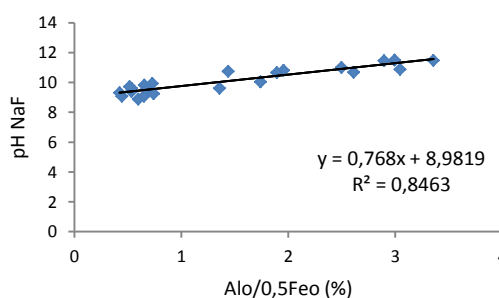


Figura 15. Relação entre pH NaF com $Al_o/0,5Fe_o$ entre os horizontes estudados. $n=22$.

Dos sítios localizados na ilha Penguin, os perfis P2 e P3 apresentaram os menores valores de Fe_o/Fe_d , sobretudo nas camadas superficiais. Não obstante, estes perfis apresentaram os maiores valores de matéria orgânica

herdadas da influencia de aves marinhas e pelo acúmulo de restos de musgos e líquens. O perfil P3 apresentou alto valor de Fe_p , 13,8 g/kg (Tabela 4), indicando que as condições do ambiente favorecem a complexação de formas de Fe com matéria orgânica. Observando mais atentamente os dados de P2 e P3 (Tabela 4) fica claro o declínio dos valores de Fe_p em profundidade, assim como os valores de matéria orgânica (figura 5), mostrando que o acúmulo de material orgânico e a sua decomposição promovem a acidificação do ambiente e favorece a formação de complexos organometálicos. De acordo com Dahlgren et. al (1993) e Wada (1989) o acúmulo de matéria orgânica pode exercer um papel inibidor de formação de alofana devido formação de complexos ligados a Fe e Al.

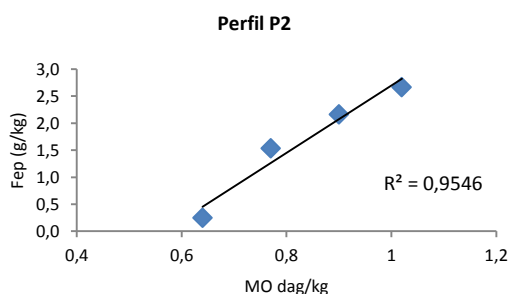


Figura 16. Relação dos teores de Fe_p com matéria orgânica em profundidade no perfil P2.

Analisando os valores de capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions potencial (T) e saturação por bases apresentados na Tabela 3, pode-se traçar um paralelo entre os solos das Ilhas Deception e Penguin. Os solos de Deception são hipereutróficos apresentando valores de saturação de bases acima de 80%, chegando a 98,8 % em D3. Os valores de t também são elevados chegando a 16,16 $cmol_c/dm^3$ em D3. Ainda de acordo com a Tabela 3, é possível observar que os valores de T que é medido em pH 7,0 são próximos dos valores de t , indicando o predomínio de minerais com cargas permanentes.

Por outro lado, os valores de t e T para os solos da Ilha Penguin apresentam comportamento distinto, apresentando valores mais baixos, 2,36 $cmol_c/dm^3$ (P1) e 2,93 $cmol_c/dm^3$. Os perfis P1 e P2 são mesoeutrófico a hipereutrófico com valores de saturação por bases variando entre 53,8 % (P2) a 92,3 % (P1). Os menores valores de saturação por bases foram encontrados

nos horizontes superficiais de P3, 14,9 % e 33,6 % sendo classificados como mesodistróficos. Quando comparados os valores de CTCe e CTCp fica evidente que estes últimos apresentam valores mais elevados, sobretudo em P2 e P3 (15,49 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ e 13,51 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ respectivamente), indicando a presença de fases minerais com cargas variáveis. O perfil P3 foi o que apresentou maior presença de atividade de Al^{3+} com valores entre 0,51 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ a 0,92 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ em função de ser o solo mais ácido.

Diante dos dados apresentados, fica evidente a presença de constituintes com cargas variáveis na fração coloidal (alofana, suposta alofana, ferridrita e complexos organometálicos), sobretudo nos perfis da Ilha Penguin. De acordo com Madeira et. al (2007) as cargas superficiais das alofanas, imogolita e ferridrita são positivas quando os valores de pH são baixos e negativas quando pH é alto. Segundo Parfit (1980) *apud* Madeira et. al. (2007) o ponto de carga zero da alofana é em pH 6,5, acima deste valor este mineral apresenta cargas negativas. Geralmente a precipitação de alofana ocorre em ambiente com pH acima de 4,7 quando derivadas de vidro vulcânico e pH maior que 5,0 quando derivada de feldspato ou mica (Parfitt e Kimble, 1989).

Outra observação que pode contribuir para a indicação de que minerais pouco cristalinos ocorrem em maiores teores na Ilha Penguin está relacionada com os valores de fósforo remanescente (P-REM) apresentados na Tabela 3. Os valores de P-REM dão uma idéia da capacidade de retenção de P pelos constituintes do solo. No âmbito deste trabalho pode ser associada à presença de fases pouco cristalina como alofana, devido à maior superfície específica, embora apresentem uma baixa relação positiva com os valores de $\text{Al}_0+0,5\text{Fe}_0$ (Figura 15). O perfil P3 apresentou o menor valor 16,8 mg/L^{-1} enquanto os valores encontrados para Deception são mais elevados, variando entre 40,8 mg/L^{-1} e 50,3 mg/L^{-1} . Comparando os valores de P-REM do perfil D1 (40,8 mg/L^{-1} a 45,8 mg/L^{-1}) e P1 (22,6 mg/L^{-1} a 35,9 mg/L^{-1}) ambos com iguais teores de argila (5 dag/kg) fica evidente esta diferença.

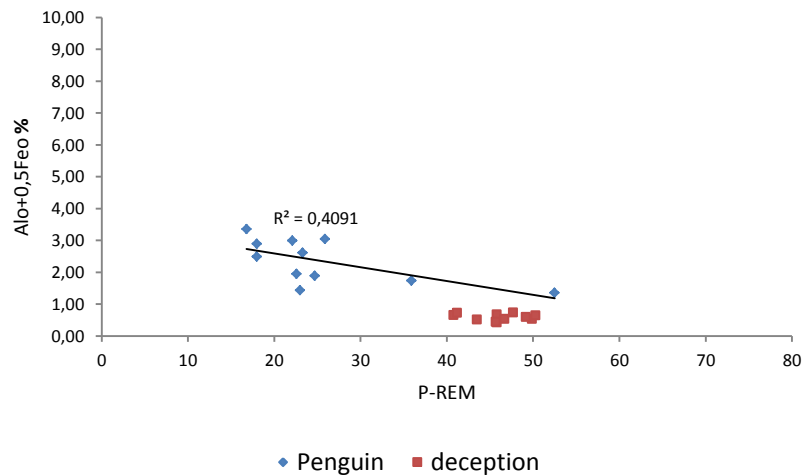


Figura 17. Relação entre os valores de P-REM e AlO+0,5Fe para os solos estudados.

Malucell et. al (1999) estudaram a mineralogia, micromorfologia e aspectos químicos de solos desenvolvidos sobre material piroclástico do Vulcão de Água de Pau, localizado na ilha de São Miguel, Azores. Estes autores propõem pelo menos quatro graus para o desenvolvimento destes solos que podem ser resumidos em (1) grande quantidade de minerais primários e poucos de minerais pouco cristalinos. Relação $Fe_o/Fe_d=0,86$; (2) formação de alofana e ferridrita no horizonte superficial. Relação $Fe_o/Fe_d=0,62$; (3) formação de alofana e ferridrita em superfície, iluviação de argila e alteração de púmice. Relação $Fe_o/Fe_d=0,51$; e (4) consideráveis teores de halosita hidratada e óxidos/oxihidróxidos de Fe e Al. Relação $Fe_o/Fe_d=0,25$. Com os valores encontrados na ilha Deception e ilha Penguin, pode-se indicar pelo menos dois graus de desenvolvimento para os solos estudados. Em Deception existe o predomínio de minerais primários, e de acordo com os valores encontrados pela dissolução seletiva, baixo teor de alofana. Por outro lado, nos perfis P2 e P3 da ilha Penguin, foram observados teores maiores de alofana verificado pelo valor de pH NaF e $Al_o+0,5Fe_o$, maiores teores de matéria orgânica, ambiente mais ácido e atividade de Al^{3+} . Estes dados indicam que devido a um período relativamente maior de estabilidade favorecendo o estabelecimento da fauna e flora, a ilha Penguin apresenta evidências de maior alteração química do que em Deception.

5 CONCLUSÕES

- A assembleia mineralógica, a cor e os dados químicos dos perfis estudados nas ilhas de vulcanismo recente (Penguin e Deception) indicam que são os solos pouco desenvolvidos;
- As cores dos solos estudados mostram claramente os diferentes níveis de evolução pedogenética nas ilhas estudadas apresentando cores mais cromadas para os perfis da ilha Penguin, indicando maior desenvolvimento se comparado com os de Deception;
- O processo de ornitogênese é muito recente e incipiente, e não origina solos fosfatizados desenvolvidos como em outras partes da Antártica marítima. Contudo, a sucessão ecológica é favorecida em superfície, mesmo não sendo solos extremamente fosfatizados;
- Apesar do caráter vítrico em alguns perfis, a mineralogia da fração argila indica que a formação de alofanas é praticamente ausente em Deception, mas ocorre em Penguin, em razão do maior tempo de exposição do substrato. Os maiores teores de argila na ilha Penguin, comparando com Deception, acompanhado de valores menores de Ca e P-REM indicam um maior grau de desenvolvimento dos solos na ilha Penguin;
- O pouco tempo relativo de exposição do substrato vulcânico vítreo, e a intensa erosão periglacial que remove os produtos alterados, são fatores que retardam ou impedem o desenvolvimento de Andosolos nos sistemas vulcânicos Antárticos. Com um pouco mais de um século, minerais alofânicos já se encontram em formação na Ilha Penguin, enquanto em Deception apresenta-se de forma negligenciável.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Geoquímica de solos da península Keller, ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental.** Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG - 2008.

ARNALDS, Olafur; STAHR, Karl; Volcanic soil resources: occurrence, development, and properties, **CATENA**, Volume 56, Issues 1-3, Volcanic Soil Resources: Occurrence, Development and Properties, 21 April 2004, Pages 1-2, ISSN 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2003.10.001.

ARNALDS, Olafur. Volcanic soils of Iceland, **CATENA**, Volume 56, Issues 1-3, Volcanic Soil Resources: Occurrence, Development and Properties, 21 April 2004, Pages 3-20, ISSN 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2003.10.002.

BEYER, L., PINGPANK, K., WRIEDT, G., BÖLTER, M. Soil formation in coastal continental Antarctica (Wilkes Land). *Geoderma* 95, 283–304. 2000.

BIRKENMAJER, K. Cenozoic history of the South Shetland Islands an Northern Antarctic Peninsula. **Geologia de La Antártida Occidental.** III Congresso Geológico de España. Ed. Salamanca: 1992. P.p 251-260.

BIRKENMAJER, K. Volcano-strutural evolution of the Deception Island volcano, West Antarctica. **Terra Antarctica.** 1995, 2(1), p.p. 33-40.

BOCKHEIM, J.G.; TARNOCAI, C. Recognition of cryoturbation for classifying permafrost-affected soils. **Geoderma**, v. 81, p. 281-293, 1998.

BOCKHEIM, J.G.; UGOLINI, F.C. A review of pedogenic zonation in well-drained soils of the southern circumpolar region. **Quaternary Research**, v. 34, p. 47-66, 1990.

BRAUN, M.; GOßMANN, H. Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King Geoge Island, maritime Antarctica. In: Beyer, L.; Bölter, M. (Ed). **Geocology of Antarctic ice-free coastal landscapes.** Berlin: Springer-Verlag. pp: 75-89. 2002.

BREMER, U. F.; ARIGONY NETO, J.; SIMÕES, J. C. Teledetecção de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000. **Pesq. Antárt. Bras.**, 4: 37-48. 2004.

BREMER, U. F. **Solos e geomorfologia da borda leste da península Warsawa, ilha Rei George, Antártica Marítima**. 2008. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2008.

BRYAN, K. Cryopedology: the study of frozen ground and intensive frost action with suggestion on nomenclature. **Am. J. Soil Sci.**, v. 244, p. 622-642, 1946.

CAMPBELL, I.B.; CLARIDGE, G.G.C. **Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment**. Elsevier-Amsterdam, 1987.

CAMPBELL, I. B. & CLARIDGE G. G. C. Antarctic Permafrost Soils. In.: MARGESIN, R. (Ed) **Permafrost soils: soil biology**. Springer-Verlag: Berlin Heidekberg, 2009.

CRIADO, C.; ARCHE, A. VILAS, F. Mapa geomorfológico preliminar de La isla Deception, Islas Shetland Del Suer. **Geologia de La Antártida Occidental**. III Congresso Geológico de España. Ed. Salamanca: 1992. P.p 293-304.

DAHLGREN, R.; SHOJI, S.; NANZYU, M. Chapter 5 Mineralogical Characteristics of Volcanic Ash Soils, In: SHOJI, S.; NANZYU, M.; DAHLGREN, R. Editor(s), **Developments in Soil Science**, Elsevier, 1993, Volume 21, Volcanic Ash Soils - Genesis, Properties and Utilization, Pages 101-143, ISSN 0166-2481, ISBN 9780444897992, DOI: 10.1016/S0166-2481(08)70266-6.

FAO. **World Reference Base for Soil Resources**. World Soil Resources Report, FAO, Rome. 2006.

FILHO, A. F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; COSTA, L.M.; DIAS, J. R.; PEREIRA, V. V.; COELHO, L. M. Características físicas e químicas de solos sobre rochas vulcânicas na península Keller, Antártica Marítima. In.: SCHAEFER, C.E.; FRANCELINO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de. (Ed). **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT. p.p. 27-34.

FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; SIMAS, F. N.B.; MOREIRA, G.F. 2004. Geoformas da Península Keller, Antártica marítima: subsídios ao monitoramento ambiental. In: SCHAEFER, C.E.; FRANCELINO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de. (Ed). **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT. Pp: 15-25.

FRANCELINO, M. R. **Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: Solos, geomorfologia e cobertura vegetal da península Keller**. 2004. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2004.

FRANCELINO, M. R. *et. al.* Geomorphology an soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free of Admiralty Bay, King George Island, Antártctica. **Catena**, v. 85, p. 194-204, 2011.

FRENCH, H. M. **The periglacial environment**. John Wiley & Sons, Ltd: 3^a ed. 2007.

GARCIA-RODEJA, Eduardo; C. NOVOA, Juan; PONTEVEDRA, Xabier; MARTINEZ-CORTIZAS, Antonio; BUURMAN, Peter; Aluminium fractionation of European volcanic soils by selective dissolution techniques. **CATENA**, Volume 56, Issues 1-3, Volcanic Soil Resources: Occurrence, Development and Properties, 21 April 2004, Pages 155-183, ISSN 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2003.10.009.

HINKEL, K.M.; PAETZOLD, F.; NELSON, F.E.; BOCKHEIM, J.G. Patterns of soil temperature and moisture in the active layer and upper permafrost at Barrow, Alaska: 1993-1999. **Global Planetary Change**, v. 29, p. 293-309, 2001.

IBÁÑEZ, J. M. *et al.* The recent seismo-volcanic activity at Deception Island volcano. **Deep-Sea Research**. 2003. Part II, 50, p.p. 1611-1629.

KLEBER, Markus; MIKUTTA, Christian; JAHN, Reinhold. Andosols in Germany-pedogenesis and properties, **CATENA**, Volume 56, Issues 1-3, Volcanic Soil Resources: Occurrence, Development and Properties, 21 April 2004, Pages 67-83, ISSN 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2003.10.015.

KIMBLE, J. M.; PING, C. L. SUMMER, M. E.; WILDING, L. P. Andisols. In. SUMMER, M. E. (ed), **Handbook of Soil Science**. C.R.C Press, Boca Raton, Flórida. P.p. E209-E224. 1998.

LÓPEZ-MARTINEZ, J.; SERRANO, E.; REY, J. SMELLIE, J.L. **Geomorphological map of Deception island**. BAS Geomap Series, Sheet 6-B. 1:25.000. 1st Ed. Cambridge: British Antarctic Survey. 2000.

MARTÍ, J. & BARALDO, A. Pre-caldera pyroclastic deposits of Deception Island (South Shetland Islands). **Antarctic Science**. 1990. 2 (4). p.p. 345-352.

McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**. 46, 13– 22. 1966.

MELO, R. A. **Dinâmica geomorfológica actual na ilha Deception (Antártida Marítima): Análise espacial do sector Cerro Caliente – Crater Lake**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território). 2009. Universidade de Lisboa. Faculdade de Letras. Departamento de Geografia. 151 p. 2009.

MEHRA, O. P., JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite – citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals** 7, 317– 327. 1960.

MICHEL, R. F. M; **Solos Criogênicos e Ornitógenicos da Área de entorno da Ponta Llano, Antártica Marítima**, (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

MICHEL, R.F.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; DIAS, L.; SIMAS, F.N.B.; BENITES, V.; MENDONÇA, E.S. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 70, p. 1370-1376, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **O Brasil e o meio ambiente Antártico**. Brasília: MMA, 2007.

MONTEIRO, F. KLEBER, M., FONSECA M. MADEIRA, M., JAHN R. Crystalline Clay constituents of soils from European volcanic systems. In.: Arnalds, O. et. al. *Soils of Volcanic Regions in Europe*. Springer, 2007. p-p 181-198.

NAVAS, A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; CASAS, J.; MACHÍN, J. J.; DURÁN, J.; SERRANO, E.; CUCHI, J. A.; MINK, S. Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, maritime Antarctica. **Geoderma**. 2008. 144, p.p. 123-139.

NANZYU, M.; DAHLGREN, R.; SHOJI, S. Chapter 6 Chemical Characteristics of Volcanic Ash Soils, In: SHOJI, S.; NANZYU, M.; DAHLGREN, R. Editor(s), **Developments in Soil Science**, Elsevier, 1993, Volume 21, Volcanic Ash Soils - Genesis, Properties and Utilization, Pages 145-187, ISSN 0166-2481, ISBN 9780444897992, DOI: 10.1016/S0166-2481(08)70267-8.

REY, J. SOMOZA, L. HERNÁNDEZ MILINA, F. J. Formas de los sedimentos submarinos superficiales em Puerto Forster, Isla Decepción, Isla Shetland Del Sur. **Geologia de La Antártida Occidental**. III Congresso Geológico de España. Ed. Salamanca: 1992. P.p 163-172.

RAMOS, M.; VIEIRA, G.; BLANCO, J.J.; GRUBER, S.; HAUCK, C.; HIDALGO, M.A.; TOMÉ, D. Active layer temperature monitoring in two boreholes in Livingston Island, maritime Antarctic: first results for 2000-2006. In: **9th International Conference on Permafrost**, Fairbanks, Alaska, p. 1463-1467, 2008.

RAMOS, M.; VIEIRA, G.; GRUBER, S.; BLANCO, J. J.; HAUCK, C.; HIDALGO, M. A.; TOMÉ, D.; NEVES, M.; TRINDADE, A. Permafrost and active layer monitoring in the maritime Antarctic: Preliminary results from CALM sites on Livingston and Deception Islands. **U.S. Geological Survey and The National Academies**; USGS OF-2007-1047, Short Research Paper 070, doi:10.3133/of2007-1047.srp070

RISSO, C.; BARALDO, A.; VIRAMONTE, J. G. Nuevos aportes al conocimiento de La geomorfología de La Isla Deception, Islas Shetland Del Sur. **Geologia de La Antártida Occidental**. III Congresso Geológico de España. Ed. Salamanca: 1992. P.p 305-314.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SCAR. **Deception Island Management Package**. The Management Group. 2005.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª Ed. Viçosa: Soc. Bras. Ci. do Solo, 2005. 100 p.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R.; MICHEL, R.F.M.; VIANA, J.H.M.; TATUR, A. **Fosfatização**: Processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In: SCHAEFER, C.E.G.R.; FRANCELENO, 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, p. 47-59, 2004.

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 (2008).

SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Can. J. Soil Sci.**, v. 53, p. 244-246, 1973.

SANTANA, R, M. **Mapeamento de geounidades do meio físico e biótico em área da Antártica Marítima** 2006 (Doutorado em Engenharia Civil)
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SHOJI, S.; DAHLGREN, R.; NANZYU, M. Chapter 1 Terminology, Concepts and Geographic Distribution of Volcanic Ash Soils. In: SHOJI, S.; NANZYU, M.; DAHLGREN, R. Editor(s), **Developments in Soil Science**, Elsevier, Volume 21, Volcanic **Ash Soils - Genesis, Properties and Utilization**, Pages 1-5, ISSN 0166-2481, ISBN 9780444897992, DOI: 10.1016/S0166-2481(08)70267-8. 1993.

SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; FRANCELINO, M.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; COSTA, L.M.; Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, Maritime Antarctica. **Geoderma**, v. 144, p. 116–122, 2008.

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. Ornithogenic Cryosols from Maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process. **Geoderma**, v. 138, p. 191-203, 2007.

SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MELO, V.F.; GUERRA, M.B.B.; SAUNDERS, M.; GILKES, R.J. Clay-sized minerals in permafrost-affected soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. **Clays and Clay Minerals**, v. 54, p. 721-736, 2006.

SIMAS, F.N.B., SCHAEFER, C.E.G.R., MENDONÇA, E.S., SILVA, I.R., SANTANA, R.M., Organic C stocks in permafrost-affected soils from Admiralty Bay, Antarctica. **U.S. Geological Survey and The National Academies**. 2007.

SIMONSON, R. W., Origin of the name 'Ando soils', **Geoderma**, Volume 22, Issue 4, November 1979, Pages 333-335, ISSN 0016-7061, DOI: 10.1016/0016-7061(79)90029-6. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V67-48BCGDJ-50/2/8e3ebb5c14b08a2cad22df7d4ea7e976>)

SLAYMAKER, O.; KELLY, R. **The Cryosphere and Global Environmental Change**. Blackwell Publishing. 2007

SMELLIE, J. L. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., **Geological map of Deception Island**. BAS Geomap Series, Sheet 6-A, 1:25.000. Ed. Cambridge: British Antarctic Survey (2000).

SMELLIE, J. L. Lithostratigraphy and volcanic evolution of Deception Island, South Shetland Island. **Antarctic Science**. 2001, 13(2), p.p. 186-209.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Agriculture Handbook 436, 2nd edition. US Government Printing Office, Washington, DC. 1999.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey laboratory methods manual soil survey**. Investigations report no. 42 Version 4.0. 2004.

TARNOCAI, C.; ZOLTAU, S. C. Earth hummocks of the Canadian arctic and subarctic. **Arct. Alp. Res.**, v. 10, p. 343-352, 1978.

TATUR, A.; MYRCHA, A. Ornithogenic soils. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay**. Polish Academy of Sciences, Warsaw, p. 161-165, 1993.

TATUR, A.; MYRCHA A. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries. **Proc. NIPR Symp. Polar Biol.** v. 2, p. 181-189, 1989.

TATUR, A. Ornithogenic soils of the maritime Antarctic. **Polish Polar Research**, v. 4, p. 481-532, 1989. UGOLINI F.C. 1972. Ornithogenic soils of Antarctica. In: G.A. Llano (Editor), **Antarctic Terrestrial Biology. Am. Geophys. Union Antarct. Res. Ser.**, pp. 181-193.

UGOLINI, F.C. & BOCKHEIM, J.G. Antarctic soils and soil formation in a changing environment: A review. **Geoderma**. 2008. 144. p.p. 1-8.

van BREEMER, N.; BUURMAN, P. Formation of Andisol. In.: van BREEMER, N.; BUURMAN. **Soil Formation**. Ed. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 1998.

van VLIET-LANÖE, B.; FOX, C.A.; GUBIN, S.V. Micromorphology of Cryosols. In: KIMBLE, J.M. (Ed.). **Cryosols: Permafrost-Affected Soils**. Berlin: Springer-Verlag, p. 365–391, 2004.

YOEMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Conn. Soil Sci. Plant Annual**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

WADA, K. Allophane and imogolite. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Eds.), **Minerals in Soil Environments**. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, pp. 603– 638. 1989.

WORKING GROUP WRB. 2007. **World Reference Base for Soil Resources 2006**, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.