

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Solos e Paisagens do Setor Oeste da Ilha Deception,  
Antártica Marítima**

**Juliana de Oliveira Tostes**

**2011**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**SOLOS E PAISAGENS DO SETOR OESTE DA ILHA DECEPTION,  
ANTÁRTICA MARÍTIMA**

**JULIANA DE OLIVEIRA TOSTES**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Márcio Rocha Francelino**

*e Co-orientação da Professora*  
**Lúcia Helena Cunha dos Anjos**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de **Mestre em Ciências**, no  
Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área de Concentração  
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2011

631.409167

T716s

T

Tostes, Juliana de Oliveira, 1985-.

Solos e paisagens do setor oeste da ilha Deception,  
Antártica Marítima / Juliana de Oliveira Tostes - 2011.  
102 f.: il.

Orientador: Márcio Rocha Francelino.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia.

Bibliografia: f. 77-82.

1. Solos - Antártida – Teses. 2. Solos - Classificação –  
Teses. 3. Solos - Formação - Teses. 4. Intemperismo –  
Teses. I. Francelino, Márcio Rocha, 1966-. II.  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de  
Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**JULIANA DE OLIVEIRA TOSTES**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo, área de Concentração Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/ 02 / 2011

---

Márcio Rocha Francelino. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Ph.D.UFV

---

Paulo Roberto Antunes Aranha. Dr.UFMG

*Ao meu irmão Guilherme Tostes  
Pelo incessante apoio,  
Dedico.*

*A minha mãe Geny Tostes (in memoriam )  
E ao meu pai José Tostes  
Com carinho, ofereço.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de concluir um curso de Pós-Graduação.

A CAPES e à FAPERJ pelas bolsas de estudos concedidas.

Ao Programa Antártico Brasileiro e à Marinha do Brasil pelo financiamento do trabalho de campo e pelo apoio logístico.

Aos meus familiares e ao meu namorado Charles pelo apoio constante.

A todos os meus amigos, em especial à Eva, Osmir, Luciene, Samara e Daniela, pela amizade e pelo apoio psicológico, logístico, estatístico...

A todos os companheiros antárticos, de navio ou acampamento, pela amizade e pelo calor humano sem o qual eu não conseguiria sobreviver no Continente Gelado, em especial à Juçara, Adriano, Suzana, Michelle, Thiago, Chico e Baixo, e ao Bruno e Bob que além do calor humano foram meus braços direito e esquerdo (não necessariamente nesta ordem) no trabalho de campo.

A todos da equipe do laboratório Geoflora que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Carlos Magno e à Poliana.

À turma de Mestrado/ Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo 2009, pela amizade construída nestes dois anos de convivência. Aos funcionários Marcos e Roberto pela amizade e por tratarem com agilidade todas as questões burocráticas.

Ao professor Marcos Gervasio pelos importantes ensinamentos na área de pedologia e ao professor Jandyr Travassos (Observatório Nacional) por todos os esclarecimentos em relação à interpretação dos dados de GPR.

Aos professores Paulo Aranha (Universidade Federal de Minas Gerais) e Carlos Schaefer (Universidade Federal de Viçosa), membros da minha banca, pelas críticas pertinentes e pelas importantes contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador Márcio Francelino e à co-orientadora Lúcia dos Anjos, por enxugarem as minhas constantes lágrimas e pela confiança, apoio, compreensão e valiosos ensinamentos.

Finalmente, agradeço a Deus por ter colocado em meu caminho todas estas pessoas maravilhosas que contribuíram para a realização deste trabalho e que me fizeram crescer tanto sob o aspecto acadêmico quanto pessoal.

## RESUMO

TOSTES, Juliana de Oliveira. **Solos e paisagens do setor oeste da ilha Deception, Antártica Marítima**. 2011. 102f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

Os objetivos deste trabalho foram: propor Modelo Preditivo dos Estágios de Intemperismo dos solos - MPEIS do setor oeste da ilha Deception; propor novo padrão para descrição dos níveis de intemperismo dos solos, específico para a Antártica Marítima; utilizar o Radar de Penetração no Solo (GPR) para caracterizar a camada ativa e identificar a profundidade do permafrost em três sítios na área de estudo. Foi realizada nova classificação do grau de desenvolvimento dos solos da Antártica Marítima, ressaltando as suas especificidades, considerando os seguintes indicadores do nível de intemperismo: profundidade em solos com presença ou ausência de permafrost, crioturbação, proporção e forma das frações > 2 mm, teor de matéria orgânica e distinção de horizontes. Para gerar o MPEIS foram selecionadas as variáveis ambientais: clima, altitude, face de exposição e curvatura das vertentes, declividade, albedo, litologia, fauna e vegetação. Os temas foram gerados nos programas ENVI 4,5 e ArcGis 9,3 e foram reclassificados com pesos entre 0 e 1, sendo indicadores de limitações ou favorecimento ao intemperismo. Para identificar quais as variáveis ambientais que mais influenciam no nível de intemperismo dos solos, foi aplicado a Análise de Componentes Principais – ACP, com o programa PC-ORD 4.01. Os resultados dessa análise foram utilizados para ponderar a sobreposição dos temas. A comparação entre os estágios de intemperismo indicados pelo MPEIS, pela descrição de campo e pela ACP, revelou resultados idênticos em 75% e 87,5% dos perfis analisados, respectivamente. As diferenças ocorreram nos perfis em que foram consideradas características não avaliadas pelo MPEIS, o que sugere que a metodologia proposta é válida. Foi observada uma tendência ao aumento do desenvolvimento dos solos em ambientes de menor albedo e menor declividade, que promovem maior estabilidade e disponibilidade de umidade. Somam-se a estas variáveis a proximidade de colônias de animais e a presença de vegetação, que promovem a deposição de matéria orgânica nos solos e permitem o desenvolvimento da estrutura do solo. A proposição de novos níveis de intemperismo foi fundamental para a melhor caracterização dos solos do setor oeste da ilha Deception, refletindo a variabilidade dos pedoambientes onde tais solos se desenvolvem. Para a inspeção com o GPR foram utilizadas antenas de 200 e 900 MHz e com cada antena foram feitas três varreduras com linhas de 120 m para o sítio 1, e 30 m para os sítios 2 e 3. A antena de 200 MHz permitiu a identificação de refletores e a visualização do comportamento das camadas mais profundas do solo, porém não detectou a interface entre o solo congelado e descongelado, nem a base do permafrost. A antena de 900 MHz foi mais adequada para auxiliar no monitoramento do permafrost e da camada ativa, registrando a profundidade do topo do permafrost, a sua subsidência e o seu comportamento irregular ou contínuo. Os resultados mostraram que o GPR constitui-se em instrumento eficaz para a determinação da interface entre o solo descongelado e o permafrost, permitindo monitorar alterações em face das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Permafrost. Radar de Penetração no Solo. Níveis de intemperismo.

## ABSTRACT

TOSTES, Juliana de Oliveira. **Soils and landscapes in the west sector of Deception Island, Maritime Antarctica**. 2011. 102p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

The aims of this study were: to propose a Predictive Model of Stages of Soil Weathering (PMSSW) in the west sector of Deception island; to propose a new standard for description of levels of soil weathering, specific to Maritime Antarctica; and to use Ground Penetrating Radar (GPR) to characterize the active layer and to identify permafrost depth in three sites in the study area. A new classification of the degree of soil development in the Maritime Antarctica was performed, highlighting their specificities. The following indicators were considered for weathering intensity: depth in soils with presence or absence of permafrost, cryoturbation, proportion and shape of the fractions > 2 mm, organic matter content, and distinctness of horizons. To generate the PMSSW there were selected the environmental variables: climate, altitude, aspect and curvature and degree of slopes, albedo, lithology, fauna and vegetation. The themes were generated in the ENVI 4.5 and ArcGIS 9.3 software, and they were reclassified with weights between 0 and 1, as indicators of limitations or favoring conditions to weathering. In order to identify which environmental variables most influenced soil weathering degree, it was performed a Principal Component Analysis – PCA, using PC-ORD 4.01 software. The results of this analysis were used to examine the themes overlies. The comparison between the stages of weathering indicated by PMSSW, the field soil description, and the ACP revealed identical results in 75% and 87.5% of analyzed profiles, respectively. The differences occurred in the profiles where features not assessed by the predictive model were taken in account, which suggests that the proposed methodology is valid. There was an increasing trend in the soil development in low albedo and low slope environments, which provide greater stability and available moisture. Added to these variables was the vicinity of animal colonies and presence of vegetation, which promotes deposition of organic matter in the soil and allow development of soil structure. The proposition of new weathering levels was essential for better soil characterization in the western sector of Deception Island, reflecting the variability of the pedoenvironment where such soils developed. For the GPR antennas of 200 and 900 MHz were used, and for each antenna three scans at each site were performed, with lines of 120 m length at site 1, and of 30 m at sites 2, 3 and 4. The 200 MHz antenna allowed the identification of reflectors and the visualization of deeper soil layers pattern. However, it did not detect the interface between frozen ground and thawed soil, neither the permafrost base. The 900 MHz antenna was best suited to assist in monitoring the permafrost and the active layer, since it recorded the permafrost top depth, its subsidence and pattern, if erratic or continuous. The results showed that GPR is an effective tool for determining the interface between thawed soil and the permafrost, allowing monitoring alterations as a result of climate changes.

**Key words:** Permafrost. Ground Penetrating Radar. Levels of weathering.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1 Aspectos Ambientais da Antártica.....	2
2.2 Ambientes Periglaciais e Processos Morfogenéticos Criogênicos.....	2
2.3 O Permafrost e a Camada Ativa.....	3
2.4 Os Solos da Antártica.....	4
2.4.1 A classificação dos solos antárticos .....	5
2.4.2 Os solos ornitogênicos.....	6
2.5 Radar de Penetração no Solo.....	6
2.5.1 O uso do GPR no estudo do solo.....	8
2.5.2 O uso do GPR no estudo do permafrost.....	9
2.6 Caracterização Ambiental da Ilha Deception.....	9
2.6.1 Geologia.....	9
2.6.2 Clima e vegetação .....	12
<b>CAPÍTULO I. A FORMAÇÃO DOS SOLOS E OS PEDOAMBIENTES DO SETOR OESTE DA ILHA DECEPTION, ANTÁRTICA.....</b>	<b>14</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
2.1 Área de Estudo.....	18
2.2 Coleta de Dados, Descrição e Classificação dos Solos.....	18
2.3 Proposição de Novos Níveis de Intemperismo.....	19
2.3.1 Modelo de predição dos estágios de intemperismo dos solos.....	24
2.3.2 Identificação das variáveis ambientais mais importantes.....	29
2.3.3 Sobreposição dos temas.....	29
2.3.4 Validação.....	30
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
3.1 Geoprocessamento e Análise Pedoambiental.....	31
3.1.1 Áreas propícias à formação de solo.....	31
3.1.2 Altitude.....	31
3.1.3 Declividade.....	32
3.1.4 Curvatura das vertentes.....	33
3.1.5 Face de orientação das vertentes.....	36
3.1.6 Albedo.....	36
3.1.7 Modelo preditivo dos estágios de intemperismo dos solos.....	39
3.2 Análise do Desenvolvimento dos Solos Estudados.....	42
3.2.1 Criosolos.....	42
3.2.2 Fluvisolos.....	49
3.2.3 Regossolos.....	50
3.3 Validação do Modelo Proposto.....	51
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>

<b>CAPÍTULO II. USO DO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO PERMAFROST EM DECEPTION, ANTÁRTICA.....</b>	<b>55</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>56</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>57</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>59</b>
2.1 Área de Estudo.....	59
2.2 Caracterização dos Sítios.....	60
2.3 Radar de Penetração no Solo .....	60
2.4 Registro com GPS das Linhas de Varredura com GPR.....	60
2.5 Processamento dos Radargramas.....	60
<b>3.RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
3.1 Sítio 1: Terraço Marinho.....	62
3.2 Sítio 2: Terço Médio.....	68
3.3 Sítio 3: Terço Superior.....	71
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>75</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A Antártica é a região compreendida ao sul do paralelo 60° S, incluindo o continente Antártico, as ilhas Sub-Antárticas e grande parte do Oceano Glacial Antártico. Esta região influencia as circulações atmosféricas e oceânicas globais, sendo considerada o principal componente do sistema climático da Terra, cujas alterações podem gerar impactos de diferentes magnitudes em todo o planeta (MMA, 2009).

Dada a singularidade ambiental da região e a divergências geopolíticas internacionais, em 1961 entrou em vigor o Tratado da Antártica, estabelecendo que a Antártica deve ser utilizada para fins pacíficos, proibindo atividade militares e garantindo a liberdade para a pesquisa científica. Em 1991, foi adotado o Protocolo de Proteção Ambiental para o Tratado da Antártica, ou Protocolo de Madri que, dentre outras coisas, designa a Antártica como reserva natural consagrada à paz e a ciência e define princípios ambientais para o gerenciamento de todas as atividades (SERCIM, 2009). Dentre as pesquisas científicas desenvolvidas nesta região, destacam-se aquelas que se pautam no levantamento de informações acerca das peculiaridades deste ambiente, através de discussões sobre a adaptação da fauna e flora, evolução da paisagem e monitoramento climático, seja no âmbito das ciências atmosféricas ou daquelas que estudam os ecossistemas aquáticos e terrestres.

O grupo de trabalho Permafrost e Solos Antárticos (“Antarctic Permafrost and Soils”- ANTPAS), que pertence ao Comitê Científico sobre Pesquisa Antártica (“Scientific Committee on Antarctic Research”- SCAR), desenvolve pesquisas nos ecossistemas terrestres desta região. Estas pesquisas visam o mapeamento temático dos solos das áreas livres de gelo da Antártica 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 projeto brasileiro, Criossolos Austrais, ao qual o presente trabalho está vinculado, faz parte do ANTPAS e realiza pesquisas que, atualmente, se concentram na Antártica Marítima, região que vem sofrendo um dos maiores aumentos de temperatura do mundo, aproximadamente 2,5 ° C no último século (VAUGHAN et al., 2001).

Este incremento de temperatura pode refletir diretamente nos processos de formação de solos e paisagens desta região, pois com o derretimento do gelo, além da maior disponibilidade de água líquida, haverá mais áreas livres para ação dos agentes intempéricos.

A ilha Deception, situada na Antártica Marítima, constitui-se em ambiente de grande sensibilidade ambiental, devido a sua localização e presença de atividade vulcânica, o que faz desta ilha um ambiente único para estudos sobre a formação dos solos e monitoramento do permafrost e da camada ativa.

Neste sentido, o presente trabalho fornece uma análise dos pedoambientes e dos diferentes estágios de desenvolvimento dos solos do setor oeste desta ilha, além de discutir o comportamento do permafrost e da camada ativa, complementando os trabalhos sobre o monitoramento ambiental dos ecossistemas terrestres desenvolvidos pelo grupo Criossolos na Antártica Marítima.

No capítulo I é proposto modelo preditivo dos estágios de intemperismo dos solos do setor oeste de Deception, com o intuito de compreender quais os fatores ambientais que mais influenciam no processo de formação dos solos. Além disso, propõe-se um novo padrão para descrição dos níveis de intemperismo dos solos, específico para a Antártica Marítima.

No capítulo II, são apresentadas análises preliminares sobre o comportamento da camada ativa e do permafrost, através da interpretação de radargramas obtidos com Radar de Penetração no Solo. A análise foi realizada em três sítios com variação altitudinal no setor oeste da Ilha Deception, Antártica Marítima, sendo utilizadas antenas de 200 e 900 MHz.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Aspectos Ambientais da Antártica**

O continente antártico é bastante heterogêneo podendo ser subdividido em diversas regiões. Sob o aspecto climático, Campbell & Claridge (1987) dividiram este continente em: Platô Antártico Interno, Montanhas Transantárticas, Antártica Costeira e Antártica Marítima.

O Platô Antártico Interno engloba a parte oriental do continente, constituída por uma plataforma pré-cambriana estável, coberta por um massivo manto de gelo que impede a formação de solos. As taxas de precipitação variam de 0 a 45 mm e a temperatura varia de 10 °C no verão a -80 °C no inverno.

As Montanhas Transantárticas constituem-se em uma cadeia de 3.500 km que separa a Antártica Oriental da Ocidental. Ao longo desta cadeia montanhosa os solos apresentam diferentes regimes hídricos, sendo subdividida em subzonas Interna, Central e Costeira. A zona Interna situa-se na porção interior das Montanhas Transantárticas onde os solos apresentam o regime ultraxérico. Isto ocorre porque a queda de neve e a temperatura são muito baixas, conseqüentemente, a manifestação de processos pedogenéticos é incipiente. A zona Central engloba a maior parte das áreas livres de gelo, cujo regime hídrico do solo é considerado xérico. Os solos apresentam permafrost seco com profundidade de 45 a 90 cm e sais solúveis distribuídos ao longo do perfil.

Na zona Costeira, que engloba as bordas externas das Montanhas Transantárticas, as precipitações são mais elevadas e o regime hídrico é subxérico, caracterizado pela permanência de um teor de umidade maior durante o verão. Os solos desta região apresentam permafrost cimentado próximo à superfície (geralmente inferior a 45 cm).

Na Antártica Costeira as temperaturas e precipitações são mais elevadas que no interior. Nesta região ocorrem ventos fortes provocados por sistemas de tempestade ciclônica que se movem sobre o oceano. Os solos permanecem descongelados durante o verão, apresentando regime subxérico oceânico.

A Antártica Marítima engloba as ilhas Sandwich, o Arquipélago Shetland do Sul e a costa oeste da Península Antártica até 70° S de latitude. O clima na região é influenciado por tempestades ciclônicas circumpolares, que se movem em torno do continente. Esta área apresenta as mais elevadas temperaturas médias do continente (mínima de -12° no inverno e máxima de 12°C no verão). As taxas de precipitação variam de 200 a 1000 mm/ano. O regime hídrico do solo é úmido, favorecendo a manifestação dos processos pedogenéticos.

### **2.2 Ambientes Periglaciais e Processos Morfogenéticos Criogênicos**

Os ambientes periglaciais são aqueles que apresentam condições climáticas muito frias e os processos e feições geomorfológicas estão relacionadas às baixas temperaturas, sendo que não precisam necessariamente estar próximos de glaciares. A evolução das paisagens dos ambientes periglaciais é controlada por diversos processos associados aos ciclos de congelamento e descongelamento (VAN EVERDINGEN, 2005). Estes processos são definidos a seguir.

#### **a) Segregação de gelo**

A segregação de gelo constitui-se na formação de lenticulas de gelo produzido pela migração da água intersticial em direção à frente de congelamento que ocorre no processo de congelamento do solo ou de material orgânico. A segregação de gelo é especialmente

importante do ponto de vista geomorfológico, pois à expansão volumétrica de 9% que a água sofre ao congelar, acrescenta-se ainda o volume de água segregado de níveis inferiores do solo, o que dá origem a forças importantes que levam à expansão do solo (ou rocha). Este processo forma pingos, pias e gelo maciço no solo (VAN EVERDINGEN, 2005).

#### **b) Crioexpulsão**

A crioexpulsão é um processo originado pela ocorrência de ciclos gelo-degelo no solo, através do qual os elementos grosseiros são deslocados em direção oposta aos elementos mais finos (BALLANTYNE, 2002). Esse processo é particularmente importante na formação de solos com padrões (poligonais, circulares, estriados etc.).

#### **c) Rastejamento do permafrost**

Este processo é caracterizado pela deformação lenta do solo gelado que resulta da aplicação de tensões tangenciais muito pequenas para que se produzam cisalhamentos. O movimento por rastejamento está essencialmente ligado a deformações do gelo intersticial e à migração da água presente nos poros (BALLANTYNE, 2002).

#### **d) Gelifracção**

O termo gelifracção refere-se ao processo de fratura das rochas ocasionado pelo congelamento da água nos poros e diaclases, levando a aumento volumétrico de 9% a 0°C e de 13,5% a -22°C. Dentre as feições associadas a este processo podemos destacar: campos de blocos (“Felsenmeer”); vertentes de blocos (“Blockslopes”); vertentes cobertas por detritos (“Debris-mantled slopes”/“Debris-mantled surfaces”); terraços de crioplanação; tors periglaciais e cones de detritos (BALLANTYNE, 2002)

#### **e) Crioturbação**

A crioturbação é um processo de deslocamento, rotação e ordenação de partículas relacionadas aos ciclos de congelamento e descongelamento. Este processo manifesta-se pela presença de transições irregulares entre horizontes, acúmulo de materiais fibrosos ou parcialmente decompostos no topo e interior do permafrost, presença de rochas orientadas e sedimentos adjacentes a cunhas de gelo. Estas feições características de crioturbação, quando presentes em solos desprovidos de permafrost podem ser indicativos da existência pretérita de permafrost (BOCKHEIM & TARNOCAI, 1998).

#### **f) Solifluxão**

A solifluxão é definida como o deslizamento da massa de solo, ocasionada pelo degelo. Este processo é o resultado da ação conjugada da crioturbação e da gelifluxão. A gelifluxão é o escoamento lento do solo que perdeu sua coesão devido ao excesso de água intersticial proveniente da fusão do gelo na camada ativa. A água é retida na superfície do permafrost, acumulando água do degelo na camada superficial. A profundidade e a espessura das lentes de gelo formadas, a frequência dos ciclos de congelamento e descongelamento, a capacidade de drenagem e a topografia controlam os processos de solifluxão (MATSUOKA, 2001).

### **2.3 O Permafrost e a Camada Ativa**

O permafrost é uma camada que permanece com temperatura abaixo de 0°C por pelo menos dois anos consecutivos. Ele pode ocorrer na rocha, regolito ou no solo. A umidade na forma de água ou gelo pode ou não estar presente. Assim, o permafrost não é necessariamente

congelado, porque o ponto de congelamento da água pode ser reduzido a vários graus abaixo de 0°C dependendo do material constituinte (VAN EVERDINGEN, 2005; FRENCH, 1996).

Sobre o permafrost pode existir uma camada de solo que é descongelada anualmente, denominada camada ativa. Quanto maior a latitude e altitude mais fina é a espessura desta camada, cuja profundidade do congelamento também está relacionada às propriedades físicas do substrato, a presença de vegetação e à intensidade do frio (VAN EVERDINGEN, 2005).

Sazonalmente, a camada ativa apresenta regimes térmicos distintos. No verão, onde ocorrem grandes variações diárias na temperatura do ar, os reflexos destas alterações de temperatura são muito rápidos e o conteúdo de água aumenta da superfície para baixo. Este período representa o regime Camada Ativa (“Active Layer”). No outono, ocorre o regime Cortina Zero (“Zero Curtain”), caracterizado pelo início do recongelamento. A princípio, o congelamento é inibido pela liberação do calor latente pela água, o que provoca um retardamento da queda da temperatura. Porém, ele se intensifica com a redução da umidade. No inverno, ocorre o regime de Congelamento (“Freezing”). Neste período ocorre um rápido abaixamento da temperatura e o congelamento do outono se intensifica. Na primavera, ocorre o regime Neve Derretida (“Snowmelt”), caracterizado por um rápido aquecimento do solo provocado pela infiltração de água oriunda do derretimento da neve (FRENCH, 1996).

As temperaturas do ar influenciam diretamente as propriedades da camada ativa. No litoral a camada ativa pode sofrer uma diminuição da espessura de cerca de 80 a 100 centímetros no verão, enquanto nas áreas continentais esta diminuição pode ser de 2 cm ou menos. Estas diferenças estão relacionadas a temperatura e a disponibilidade de umidade. Nas áreas interioranas, onde o clima é mais frio e árido, a presença de água em estado líquido é rara, assim, as temperaturas ficam abaixo do ponto de congelamento a maior parte do ano, reduzindo o número de dias de degelo e os ciclos de congelamento e descongelamento. Nos ambientes costeiros, onde ocorre maior umidade e as temperaturas permanecem acima do ponto de congelamento por um período maior, ocorre maior degelo (CAMPBELL & CLARIDGE, 2009).

Outro fator relevante para o comportamento do permafrost e da camada ativa é a cor do substrato que promoverá uma maior ou menor perda da radiação solar. Os solos de superfícies escuras apresentam baixos valores de albedo, cerca de 5%. Já os solos de superfícies claras apresentam valores de albedo de 26%. Estas características provocam diferenças significativas no regime térmico do solo e no comportamento do permafrost (CAMPBELL & CLARIDGE, 2009).

A profundidade do permafrost é variável, tendendo a ser mais fino e irregular mais próximo da costa. Quanto ao comportamento térmico, o permafrost pode ser classificado como contínuo, quando a temperatura mantém-se abaixo de -5° C; descontínuo, quando permanece entre -5°C e -1.5°C e esporádico, quando apresenta temperatura entre -1.5°C e 0°C (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987).

Quanto à presença de água, o permafrost é classificado como “ice-bonded” e “ice-free”. “Ice-bonded” é o permafrost cimentado que existe logo abaixo da camada ativa. Ele é encontrado nas regiões costeiras, onde o regime de precipitação ou de drenagem mantém os solos mais úmidos. Nestas áreas o intemperismo é restrito a camada ativa. O permafrost seco, ou “ice-free”, é aquele que apresenta baixo teor de umidade, apresentando-se solto e não coeso. Este tipo ocorre em regiões altas ou interioranas que são mais áridas. Nestes locais, o intemperismo atinge diretamente o permafrost (CAMPBELL & CLARIDGE, 2009).

## **2.4 Os Solos da Antártica**

O continente Antártico apresenta o clima mais frio do planeta, devido à baixa radiação solar recebida em altas latitudes e à reflexão causada pela extensa superfície de gelo

(CAMPBELL & CLARIDGE, 2009). Apesar disso, de acordo Beyer et al. (1999), ocorre formação de solo principalmente nas áreas livres de gelo, ainda que o processo seja muito lento. Devido às condições únicas no que diz respeito às temperaturas, regime hídrico e restrição a adaptação das plantas, estes solos oferecerem diferentes perspectivas para o estudo de ecossistemas e processos pedogênicos.

Em geral, estes solos apresentam textura grosseira, as partículas maiores que 2 mm representam 50% da fração sólida. O desenvolvimento dos horizontes é fraco e diminui de intensidade com o aumento da profundidade, sendo o intemperismo físico predominante. Porém, de acordo com Bockheim et al.(2006) não se deve subestimar a atuação do intemperismo químico e biológico em algumas regiões da Antártica, podendo ocorrer em determinadas áreas processos como brunificação, alcalinização/salinização, podzolização, calcificação/descalcificação, paludização, gleização e melanização.

Assim, o grau de intemperismo dos solos da Antártica é variável de acordo com o clima, relevo e tempo de exposição. Os solos existentes nas regiões continentais são formados em condições de baixa temperatura e aridez. Nestas regiões, os processos pedológicos ocorrem de forma muito lenta, fazendo com que os solos sejam muito semelhantes ao material de origem (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). Estes solos são afetados por processos de oxidação e salinização, sendo o conteúdo de água presente na camada ativa inferior a 4%, resultando em teores de matéria orgânica inexpressivos (BEYER et al., 1999).

Já nas áreas mais próximas da costa, onde as temperaturas são mais elevadas e as taxas de precipitação são maiores, o conteúdo de água na camada ativa é maior, contribuindo para a colonização do solo por espécies vegetais e microrganismos. Estes fatores, associados à ação de aves, favorecem os processos de hidrólise dos minerais e lixiviação de bases (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). Em tais áreas, ocorrem outros processos pedogenéticos como crioturbação, acidificação e podzolização (BEYER et al., 1999).

Nas áreas interiores ocorre acumulação de sais sob a forma de eflorescências na superfície do solo e das rochas, bem como em subsuperfície. Estes sais encontram-se dispersos ou concentrados ao longo dos perfis, às vezes formando horizontes salinos espessos. Nos ambientes úmidos costeiros, tais horizontes são raros, mas pode existir pequenas quantidades de sais distribuídas pelo perfil. O tipo de sal também é variável, na costa existe principalmente cloreto, enquanto no interior predominam sulfato e nitrato (BOCKHEIM, 1997; BEYER et al., 1999; CAMPBELL & CLARIDGE, 1987).

#### **2.4.1 A classificação dos solos antárticos**

O sistema de classificação Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2010) reconhece os solos afetados por permafrost como Gelissolos, no nível de ordem. Eles se distinguem de outros solos pela presença de material gélido, material mineral ou orgânico que apresenta evidências de crioturbação e/ou gelo e pela segregação na camada ativa e/ou parte superior do permafrost (BOCKHEIM et al., 2006). Já segundo o sistema da Base Mundial de Solos de Referência (WRB) (FAO, 2006), utilizado neste estudo, os solos minerais afetados por permafrost são identificados como Criossolos, formados sob condições ambientais únicas de alternância de congelamento e descongelamento.

Os Criossolos são definidos no WRB como solos que possuem um horizonte criogênico nos primeiros 100 cm de profundidade, que deve apresentar temperatura abaixo de 0°C por dois anos ou mais. Além disso, mostram evidências de crioturbação. Os solos minerais que apresentam permafrost e/ou evidências de crioturbação a mais de 100 cm de profundidade, entram no sub-nível categórico gélido, mas são classificados em outros grupos de solos no nível mais alto, pois outros processos pedogenéticos adquirem precedência taxonômica.

Os solos orgânicos que apresentam permafrost se enquadram em um nível mais alto no WRB como Histossolos. Estes são solos orgânicos que possuem um horizonte hístico ou fólico com espessura superior a 10 cm com contato lítico, ou com espessura superior a 40 cm começando a 30 cm da superfície com ausência de horizonte ândico ou vítrico com início a 30 cm de profundidade. Os Histossolos que possuem permafrost são enquadrados dentro dos sub-níveis criogênico, gélico ou glácico (FAO, 2006).

#### **2.4.2 Solos ornitogênicos**

A atividade de pinguins sobre as áreas livres de gelo da Antártica é responsável pela gênese dos solos ornitogênicos. Estes são ricos em nitrogênio e fósforo oriundos das fezes, penas e ossos destas aves marinhas. Tais solos apresentam alto conteúdo de nutrientes disponíveis, o que favorece colonização de microorganismos e plantas (BEYER et al., 1999). Assim, a acumulação de guano em pinguineiras representa a maior fonte de matéria orgânica para os ecossistemas terrestres da Antártica (SIMAS et al., 2007).

A vegetação não costuma se estabelecer em pinguineiras ativas, devido ao intenso pisoteio por pinguins e a composição química agressiva do guano que é depositado (TATUR & MYRCHA, 1989). Em sítios recentemente abandonados, o processo de sucessão vegetal é iniciado com a colonização de algas verdes. Em seguida, nas áreas mal drenadas ocorre colonização de musgos, enquanto nos sítios bem drenados é mais freqüente a colonização por plantas superiores (MICHEL et al., 2006).

A deposição de guano pouco contribui para a alteração dos minerais na Antártica Continental. Porém, na Antártica Marítima, a assimilação e decomposição do material orgânico são mais rápidas devido à maior lixiviação e atividade biológica relacionada com as temperaturas mais elevadas e maior disponibilidade de água líquida, que também favorece a crioturbação provocando a mistura dos dejetos dos pássaros dentro do perfil do solo. Ao mesmo tempo, a solução de guano enriquecida com fósforo reage com o substrato mineral, causando intemperismo químico (TATUR & MYRCHA, 1989).

A influência ornitogênica altera as características dos solos, promovendo a sua acidificação, lixiviação de bases, transformação de minerais primários em secundários e liberação de ferro e alumínio. Estes solos apresentam estrutura granular composta por partículas de silte cuja superfície é coberta por fosfatos iluviados. Esta iluviação caracteriza o processo de fosfatização, com a mobilização de fósforo e a neoformação de fosfatos secundários (SIMAS et al., 2007).

Segundo Simas et al. (2007) para classificar um solo Antártico como ornitogênico, este deve apresentar claras evidências morfológicas de atividade de aves (excrementos frescos, ninhos, ossos ou restos de ovos), presença de horizontes claros e cinzentos, e / ou revestimentos esbranquiçados sobre as superfícies rochosas; fósforo extraível Melich >500 mg/kg para frações <2 mm, presença de fosfato cristalino ou amorfo na fração argila.

Os solos ornitogênicos não estão restritos as áreas de pinguineiras, os locais adjacentes que recebem a água percolada são indiretamente afetados pela atividade dos pinguins (TATUR & MYRCHA, 1989). Além disso, outras aves marinhas depositam guano, como as skuas (*Catharacta spp*), porém como essas aves não vivem em colônias, a deposição é muito inferior com fraca influência ornitogênica sobre o substrato mineral (SIMAS et al., 2007).

#### **2.5 Radar de Penetração no Solo**

O radar de penetração no solo (Ground Penetrating Radar - GPR), ou simplesmente georadar, é um método geofísico que utiliza ondas eletromagnéticas de rádio para detectar feições naturais ou culturais no subsolo (DANIELS, 1996).

O princípio fundamental do georadar pode ser descrito em termos de transmissão, espalhamento (reflexão, refração, difração e ressonância) e detecção de ondas eletromagnéticas propagando-se através do subsolo por meio de antenas localizadas na superfície do solo. O funcionamento do método GPR se baseia na seguinte sistemática: um pulso (onda) de energia eletromagnética é irradiado para o interior do solo por uma antena transmissora, sendo a energia refratada para profundidades maiores e parte dela refletida para a superfície. A energia refletida é captada pela antena receptora, sendo o sinal, então, amplificado, formatado, armazenado e apresentado na tela de um notebook (DANIELS, 1996).

Os sistemas de GPR utilizam antenas com frequências que variam de 12,5 MHz a 3,5 GHz. A frequência da onda e o tipo de material onde ela se propaga afetam a resolução vertical e a profundidade de penetração. Antenas com frequências elevadas fornecem uma imagem de alta resolução da subsuperfície e alcançam uma menor profundidade. Já as antenas que utilizam frequências mais baixas atingem profundidades maiores, porém fornecem uma imagem com pior resolução (DAVIS & ANNAN, 1989).

De acordo com Dolittle & Collins (1995), a profundidade de investigação também é determinada pela condutividade elétrica. Solos com alta condutividade rapidamente dissipam a energia do radar e restringem a investigação em profundidades maiores. Enquanto solos de baixa condutividade favorecem a penetração da energia do radar, permitindo uma investigação mais profunda.

As reflexões da onda eletromagnética em subsuperfície ocorrem nas interfaces de materiais com diferentes propriedades dielétricas, que apresentam distintos valores de velocidade para as reflexões de energia. Esta velocidade é responsável pela amplitude do sinal refletido que será tanto maior quanto maior for o contraste existente entre as constantes dielétrica dos materiais.

A propagação de uma onda eletromagnética de alta frequência no terreno pode ser descrita pela sua velocidade ( $v$ ) e a atenuação sofrida durante o percurso magnético. A velocidade é dada pela seguinte expressão:

$$V = \frac{c}{\sqrt{K}}$$

Onde  $c$  é velocidade da onda eletromagnética no espaço livre e  $K$  é a constante dielétrica do meio de propagação (DAVIS & ANNAN, 1989). A constante dielétrica varia de acordo com o teor de umidade, a composição mineralógica e orgânica do solo (MOORMAN et al., 2003). Segundo Hinkel et al. (2001), a eficácia do GPR é dependente da natureza da aplicação, da profundidade de interesse e do tipo de solo. Se forem considerados estes fatores, esta técnica apresenta uma enorme potencialidade para estudos ambientais.

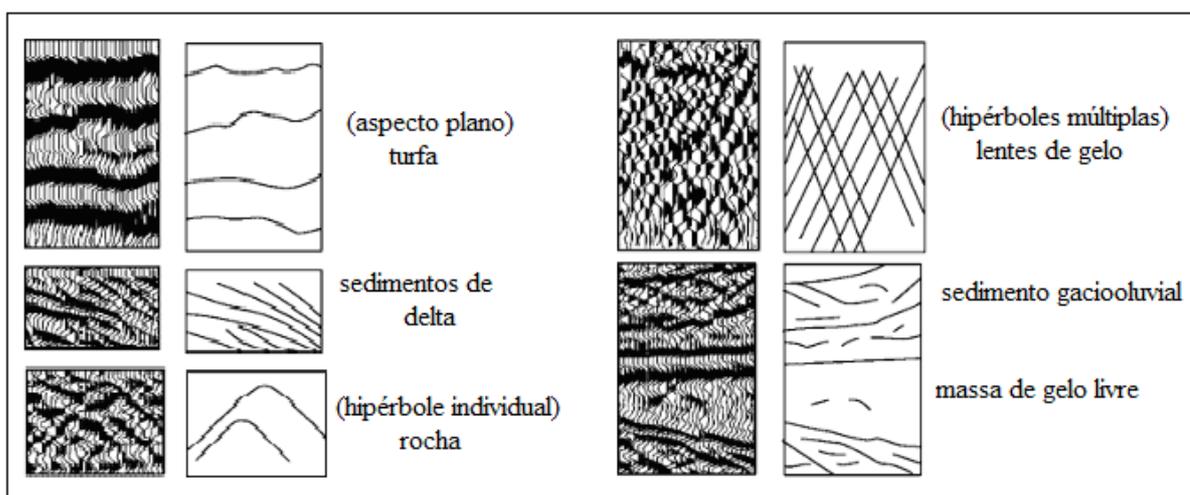
Este equipamento pode fornecer informações do perfil de solo e de estratos com alta resolução, tais como as variações do conteúdo de água no solo ou a espessura de camadas e estratos. Através da seleção da antena adequada, a escala de investigação pode variar de alguns centímetros a dezenas de metros, assim com rapidez e sem a destruição dos sítios, torna-se possível gerar dados contínuos da subsuperfície com uma alta resolução (DAVIS & ANNAN, 1989; DOOLITTLE & COLLINS, 1995).

Apesar das potencialidades do georadar, seu uso também apresenta limitações. O sucesso de uma investigação GPR será sempre dependente de três fatores: o objeto de interesse precisa possuir características eletromagnéticas distintas do material circundante para a sua identificação; o material a ser estudado deve estar situado em profundidade compatível com o alcance das antenas (que varia de material para material) e finalmente, o ruído produzido pelo radar em condições específicas, não pode mascarar as feições de interesse (MOORMAN et al., 2003).

### 2.5.1 O uso do GPR no estudo do solo

O radar de penetração no solo tem sido usado para estimar as profundidades de horizontes do solo (DOOLITTLE, 1987), inferir o teor de carbono orgânico (COLLINS & DOOLITTLE, 1987); determinar a espessura de materiais orgânicos (DOOLITTLE et al., 1990) e verificar o nível de intemperismo (ARANHA et al., 2002).

Cada solo produz distintas assinaturas nos radargramas. Essa singularidade juntamente com a profundidade de penetração de radar produz um padrão estratigráfico que caracteriza as diferentes feições, permitindo a distinção de unidades de subsuperfície (MOORMAN et al., 2003). Padrões estratigráficos de estruturas sedimentares e corpos de gelo do subsolo são mostrados na Figura 1.



**Figura 1.** Padrões estratigráficos estruturas sedimentares e corpos de gelo do subsolo, de acordo com MOORMAN et al. (2003).

Apesar disso, o georadar pode apresentar diferentes respostas em relação aos diversos tipos de materiais, assim tais padrões podem ser alterados de acordo com o posicionamento das antenas, condições de umidade, configurações do aparelho etc. (DAVIS & ANNAN, 1989).

A profundidade de penetração dos sinais de radar está diretamente relacionada à condutividade elétrica do solo, a qual é principalmente influenciada pelo grau de saturação por água, o teor e o tipo de sais em solução e a quantidade e o tipo de argila (DAVIS & ANNAN, 1989; DOOLITTLE & COLLINS, 1995).

A concentração de sais dissolvidos na solução do solo está diretamente relacionado a condutividade elétrica. A concentração de íons na solução do solo depende dos minerais de argila presentes, do pH da solução do solo, da saturação de água, da natureza dos íons em solução e da proporção relativa de íons em sítios de troca. Em regiões semi-áridas e áridas, onde ocorre pouca lixiviação, a elevada concentração de sais solúveis produz alta atenuação dos sinais de radar. Quanto maior o teor de argila, maior a atenuação da onda, logo menor a profundidade de investigação. Os íons adsorvidos nas partículas de argila sofrem reações de troca com íons na solução do solo e contribuem para o aumento da condutividade elétrica do solo. O tipo de argila também influencia no uso do GPR. Os argilominerais do tipo 2:1 como

a esmectita e a vermiculita têm maior capacidade de troca catiônica que os 1:1<sup>1</sup> como a caulinita, assim aqueles argilominerais, em condições semelhantes de umidade do solo, são mais condutoras, causando atenuação do sinal de radar. Em solos de textura arenosa, as taxas de atenuação do sinal são reduzidas, a profundidade de penetração aumenta e as condições de levantamento de GPR são geralmente mais favoráveis (HINKEL et al., 2001)

### 2.5.2 O uso do GPR no estudo do permafrost

As vantagens da utilização de GPR para detectar a espessura e outras características do permafrost foram comprovadas através de vários estudos de caso. Hinkel et al. (2001), obtiveram sucesso ao usar o GPR para identificar a presença de lentes de gelo; a fronteira estratigráfica entre o solo mineral e orgânico e para determinar a profundidade da camada ativa. Moorman et al. (2003) usaram o equipamento para identificar a variabilidade espacial no conteúdo de água no interior da camada ativa; WU et al. (2005) utilizaram o georadar para determinar a interface entre o solo congelado e o descongelado e BRANDT et al. (2007), verificaram qual a frequência da antena adequada para a identificação do permafrost e do gelo enterrado.

O grande contraste entre as constantes dielétricas do gelo ( $k = 3-4$ ), água ( $k = 80$ ) e o solo ( $k = 5-40$ ) faz do GPR instrumento eficaz para determinar a interface entre o solo congelado e os horizontes e ou camadas descongeladas, permitindo mapear o permafrost e suas condições térmicas (WU et al., 2005) e espaciais. No entanto, quando ocorre forte aumento da quantidade de gelo no solo, o contraste nas propriedades eletromagnéticas entre camadas de solo congelado diminui e a detecção de algumas características estratigráficas é dificultada. Horizontes crioturbados também são difíceis de distinguir nos registros de radar, pelo conteúdo elevado de gelo, geometria complexa e o espaçamento próximo. Por isso, descrições de solo devem ser feitas em conjunto com levantamentos GPR, para fornecer informações sobre os horizontes e o seu conteúdo de gelo, tornando as análises dos radargramas mais precisas (MUNROE et al., 2007).

## 2.6 Caracterização Ambiental da Ilha Deception

A ilha Deception é um vulcão ativo originado durante o episódio de rifteamento do Estreito Bransfield que separa o Arquipélago Shetland do Sul da Península Antártica (GRACIA et al., 1997; BARALDO & RINALDI, 2000). O processo de vulcanismo é recente, originado no período Quaternário. A fase inicial foi caracterizada por lavas almofadadas do tipo “surtseyana”, tornando-se mais violentas e explosivas momento em que o vulcão emergiu. Posteriormente, um evento de alta energia, caracterizado por fluxos piroclásticos, levou ao colapso da caldeira central. O buraco formado foi invadido pelo mar, criando a baía interna conhecida como Porto Foster (SMELLIE, 2001; PAREDES et al., 2007).

### 2.6.1 Geologia

A formação e o colapso da caldeira vulcânica de Deception são usados para classificar as formações litológicas da ilha, pois estes episódios diferenciam as rochas quanto à granulometria, composição química, estrutura cristalina e arranjo dos minerais. De acordo com Smellie & López Martínez (2000) as rochas de Deception são agrupadas em depósitos

---

<sup>1</sup> Em função da relação entre lâminas tetraédricas de sílica e octaédricas de hidróxido de alumínio constituintes da sua estrutura cristalina, os argilominerais podem ser divididos em:  
Argila 1:1 – constituída por uma lâmina tetraédrica e uma octaédrica,  
Argila 2:1 – constituída por duas lâminas tetraédricas e uma octaédrica. A lâmina octaédrica ocupa a posição central e está ligada aos vértices dos tetraedros adjacentes.

pré e pós-caldeira, constituindo dois grandes grupos, Porto Foster e Monte Pond, respectivamente (Figura 2).

#### **a) Depósitos pré-caldeira**

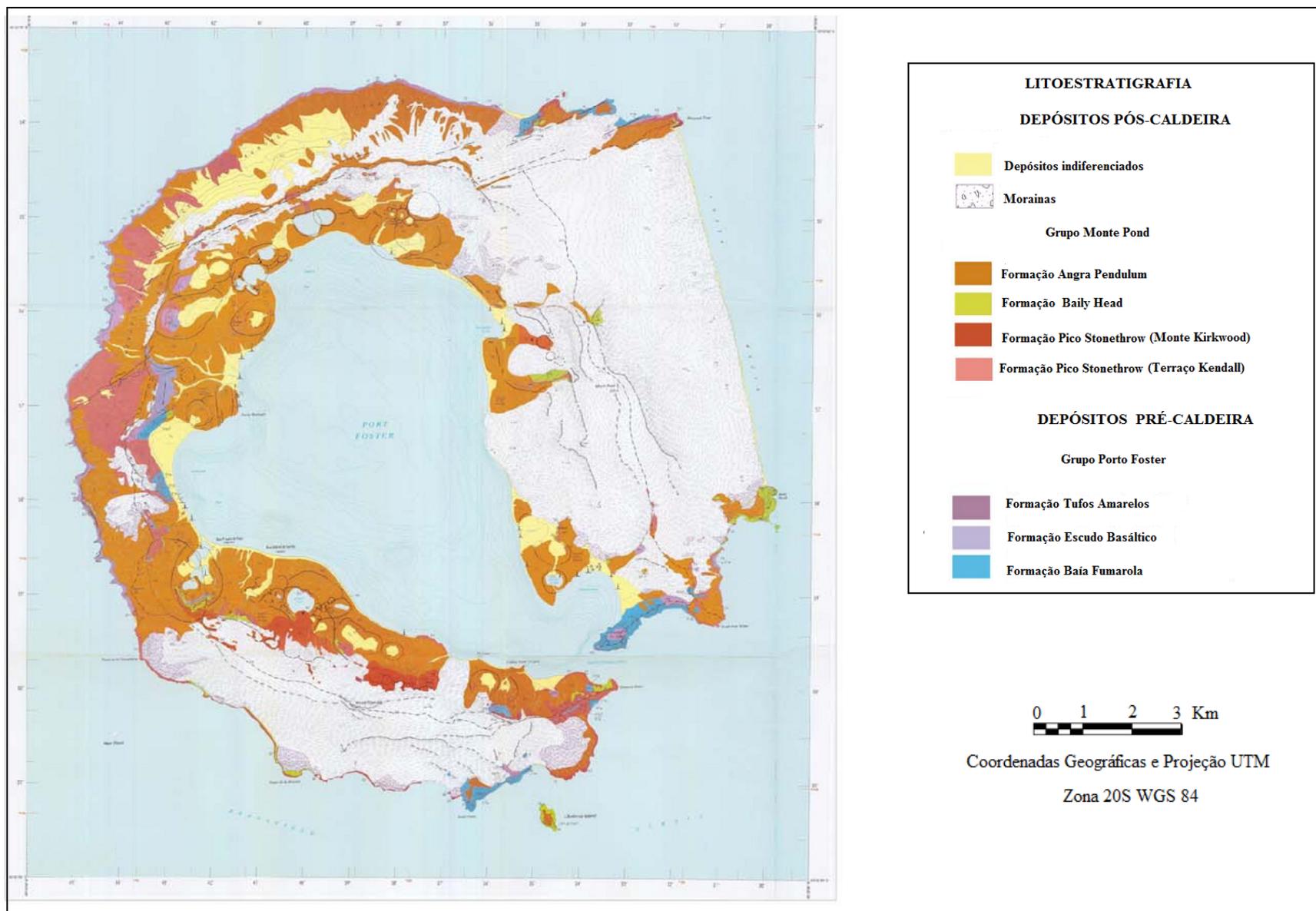
O grupo Porto Foster subdivide-se em três formações: Tufos Amarelos (TA), Escudo Basáltico (EB), e Baía Fumarola (BF). A formação TA é constituída por tufos de lapili amarelo endurecidos e piroclastos de diferentes espessuras. O Escudo Basáltico é formado por escórias estrombolianas e lavas basálticas, compostas de cristais de plagioclásio, clinopiroxênio (augita), olivina e magnetita (BAROLDO & RINALDI, 2000). A formação BF é composta por cinzas hidrovulcânicas amarelas endurecidas, brechas e escórias palagonitizadas.

#### **b) Depósitos pós-caldeira**

O grupo Monte Pond compreende as formações: Angra Pendulum (AP), Baily Head (BH) e Pico Stonethrow (PS) - Monte Kirkwood e Terraço Kendall. A formação AP e BH são oriundas de depósitos freatomagmáticos, no entanto apresentam características distintas. A AP é composta por cones de tufos e maars de cinzas vulcânicas, constituindo um substrato de coloração cinza solto e friável, ainda não consolidado devido às perturbações ocasionadas pela erupção de 1970. Já a BH é formada por cinzas hidrovulcânicas endurecidas, de coloração caqui e cinza. A Formação PS gerada por erupções magmáticas é constituída por escórias estrombolianas e lavas. Dentro deste grupo, o depósito do Terraço Kendall é mais antigo que o Monte Kirkwood.

A atividade vulcânica permanece ativa em Deception, com as erupções mais recentes em 1967, 1969 e 1970. Esta última dispersou materiais piroclásticos pela ilha e pelo Arquipélago Shetland do Sul, devido a violenta explosão freática, cuja coluna atingiu entre 8 a 10 km. No período de 1991-1992 e 1998-1999 também foram registradas diversas crises sísmicas que originaram alterações na atividade das fumarolas e deformações tectônicas (SERRANO, 2008).

Além destes depósitos de origem vulcânica, depósitos indiferenciados foram gerados pela ação da neve, canais de degelo, vento, chuva, gravidade e marés e outros de glaciares. Os primeiros formam os depósitos aluviais de praia e encostas e os últimos as morainas, constituídas por material grosseiro em geral cinzento, mas no local vermelho quando composto por escórias.



**Figura 2.** Mapa geológico da ilha Deception. Adaptado de SMELLIE & LÓPEZ-MARTÍNEZ (2000).

## 2.6.2 Clima e vegetação

A ilha Deception está localizada no Arquipélago Shetland do Sul, cujo clima é classificado como oceânico frio, com frequentes chuvas de verão nas áreas baixas e moderadas temperaturas anuais, refletindo a forte influência do sistema de baixa pressão Circumpolar da Antártica. A temperatura média anual no nível mar é  $-2,9^{\circ}\text{C}$  e as temperaturas extremas variam de  $11^{\circ}\text{C}$  a  $-28^{\circ}\text{C}$ , sendo as taxas de precipitação elevadas para os padrões antárticos, cerca de 500 mm. Apesar disso, as baixas temperaturas e a instabilidade dos substratos rochosos restringem a colonização de plantas. Ao mesmo tempo, os processos associados ao vulcanismo afetam a vegetação, seja diretamente pelo soterramento por cinzas vulcânicas ou através das alterações na topografia. Assim, a vegetação está dispersa e restrita a pequenas áreas de solo estável com fornecimento permanente de umidade (SMITH, 1988).

A flora de Deception é composta basicamente por líquens e briófitas. A distribuição das espécies ao longo da ilha é apresentada no estudo de Aptroot & Van Der Knaap (1993) e Smith (1988), descrito a seguir.

Na Baía das Fumarolas, encontra-se a flora mais diversificada da ilha. As encostas úmidas instáveis abaixo dos penhascos de lava precipitada a leste do Pico Stonethrow favorecem a presença de briófitas como: *Brachythecium austroglareosum*, *Bryum amblyodon*, *B. pallescens*, *Didymodon brachyphillus*, *Grimmia plagiopodia*, *Hymenoloma antarcticum*, *Platyneurum jungermannioides*, *S. amblyophyllum*, *Syntrichia andersonii* e *S. leptoneurum* sp. nov. Encontram-se também líquens como: *Caloplaca johnstonii*, *Cladonia galindezii*, *Ochrolechia parella*, *Pertusaria excludens*, *Placopsis parellina* e *Psoroma saccharatu*.

Ao extremo sul da Baía das Fumarolas existe uma estreita linha de pequenas fumarolas onde sobrevivem briófitas como: *Bryum amblyodon*, *B. dichotomum*, *Dicranella hookeri*, *D. ditrichoideum*, *D. heteromallum*, *R. subsecundum*, *S. amblyophyllum*, *S. deceptionensis* sp. nov., *Hymenoloma antarcticum* e *Pohlia wahlenbergii*.

Na Angra Pendulum existem encostas com escórias cinzas e vermelhas e blocos de tufo amarelados que se desintegram e cobrem uma geleira morta. A maior parte da área foi criada pela erupção de 1969. As espécies de briófitas existentes são: *Bryum amblyodon*, *B. fuegianum*, *Didymodon brachyphillus*, *D. ditrichoideum*, *D. hyalinum*, *D. hyalinocuspdatum*, *Grimmia plagiopodia*, *Hymenoloma antarcticum*, *H. crispulum*, *Racomitrium heterostichoides*, *R. lanuginosum*, *S. amblyophyllum*. A população de líquens é composta por: *P. oculae-ranae*, *Placopsis parellina* e *S. vesuvianum*.

Na Colina Ronald e no Lago das Coroas existem cinzas finas e lama depositados durante a erupção de 1969. As espécies de briófitas existentes são: *Bryum amblyodon*, *B. orbiculatifolium*, *Notoligotrichum trichodon* e *Polytrichastrum longisetum*. Entre os líquens existem: *Degelia* sp. e *Peltigera didactyla*.

A região próxima ao Monte Pond é uma área de terra aquecida em torno da fumarolas, que compõem um solo fino com uma crosta mole, extremamente vulnerável a danos por pedestres. Associada a esta área existe uma densa vegetação de briófitas tais como: *B. dichotomum*, *B. orbiculatifolium*, *Dicranella hookeri*, *Didymodon brachyphillus*, *Ditrichum conicum*, *D. ditrichoideum*, *D. heteromallum*, *Philonotis polymorpha*, *Pohlia wahlenbergii*, *S. amblyophyllum*, *S. andinum* e *Schistidium praemorsum* e líquens da espécie *Placopsis parellina*.

Próximo ao Cone Perchuc, uma área composta por cinzas vulcânicas, existe uma estreita linha de fumarolas onde o solo é aquecido e bastante vulnerável. As espécies de briófitas existentes são: *B. dichotomum* e *D. ditrichoideum*. Em Ponta Collins encontram-se as espécies mais antigas da ilha, muito afetadas pelas erupções recentes, entre as briófitas podemos citar: *Didymodon brachyphillus* e *Grimmia plagiopodia*, entre os líquens existem:

*Acarospora austroshetlandica*, *Cladonia galindezii*, *Ochrolechia parella* e *Placopsis parellina*.

No Lago da Cratera existe um tapete de musgos contínuo sob uma escória coberta de lava a sudeste do lago, formada pela *Hymenoloma antarcticum*. As espécies de líquens presentes são: *Caloplaca johnstonii*, *Cladonia galindezii*, *Ochrolechia parella*, *Peltigera didactyla*, *Placopsis parellina*, *Protoparmelia loricata* e *S. vesuvianum* (APTROOT & VAN DER KNAAP, 1993; SMITH, 1988).

## **CAPÍTULO I**

### **A FORMAÇÃO DOS SOLOS E OS PEDOAMBIENTES DO SETOR OESTE DA ILHA DECEPTION, ANTÁRTICA**

## RESUMO

Os objetivos deste capítulo foram; propor Modelo Preditivo dos Estágios de Intemperismo dos Solos (MPEIS) do setor oeste da Ilha Deception, com o intuito de compreender quais os fatores ambientais que mais influenciam no processo de formação dos solos. Além disso; propor um padrão para descrição dos níveis de intemperismo dos solos, específico para a Antártica Marítima. Os perfis foram descritos de acordo com o ANTPAS, sendo realizadas também adaptações a este Guia, em relação ao estágio e tipo de sal e aos índices de intemperismo. Foi realizada uma nova classificação do grau de desenvolvimento dos solos da Antártica Marítima, ressaltando as suas especificidades, consideraram-se as seguintes características como indicadoras do nível de intemperismo: profundidade em presença ou ausência de permafrost, crioturbação, proporção e forma das frações > 2 mm, acúmulo de matéria orgânica, distinção de horizontes. A partir da observação destas características foi proposto um MPEIS, através da seleção das variáveis ambientais que influenciam o desenvolvimento do solo. Para a ilha Deception, foram selecionadas as seguintes variáveis ambientais: altitude, face de exposição das vertentes, curvatura, declividade, albedo, litologia, fauna e vegetação. Os temas foram gerados nos programas ArcGis 9,3 e no ENVI 4,5 tendo como base a carta topográfica de Deception (1:25.000) e uma imagem “Quickbird”. A partir das curvas de níveis foi gerado um MDE com célula de 5 m, este serviu de base para a geração dos outros temas. Estes foram reclassificados, sendo atribuídos pesos entre 0 e 1, sendo os valores mais próximos de zero, indicadores de limitações ao intemperismo e os mais próximos de 1, indicadores de condições que favorecem tal processo. Foi realizada Análise de Componentes Principais para identificar as variáveis ambientais que mais influenciaram no nível de intemperismo dos solos. Os resultados desta análise foram utilizados para a sobreposição dos temas, cujos pesos foram ponderados pelos % da variância explicada em cada eixo da ACP e pelos autovetores das variáveis mais importantes, sendo as variáveis fauna e vegetação para o eixo 1, e declividade e albedo para o eixo 2. De acordo com a metodologia proposta, a maior parte dos solos do setor oeste da Ilha Deception encontra-se no estágio 2 de intemperismo ocupando 49,3 %, sendo seguida pelo estágio 1 com 45%. Os solos em estágio 3 e 4 ocupam 4,67 % e 0,34 % da área de estudo, respectivamente. A comparação entre os estágios de intemperismo indicados pelo MPEIS, pela descrição de campo e pela ACP revelou resultados idênticos em 75 % e 87,5 % dos perfis analisados, respectivamente. As diferenças ocorreram nos perfis em que foram consideradas características não avaliadas pelo MPEIS, o que sugere que a metodologia proposta é válida. Existe uma tendência ao aumento do desenvolvimento dos solos em ambientes de menor albedo e menor declividade, que promovem maior estabilidade e disponibilidade de umidade. Somam-se a estas variáveis a proximidade de colônias de animais e a presença de vegetação que promovem a deposição de matéria orgânica nos solos e permitem o desenvolvimento de estrutura. A proposição de novos níveis de intemperismo adequados para a Antártica Marítima foi fundamental para a melhor caracterização dos solos do setor oeste da ilha Deception, refletindo a variabilidade de pedoambientes na qual tais solos se desenvolvem. Os parâmetros de intemperismo atribuídos neste trabalho poderão ser utilizados por outros pesquisadores, bem como servir de base para outros guias a serem elaborados pelo ANTPAS, contribuindo para aperfeiçoamento das pesquisas pedológicas realizadas nesta região.

## ABSTRACT

The aims of this chapter were: to propose a Predictive Model of Stages of Soil Weathering (PMSSW), for the west sector of Deception Island, in order to understand which environmental factors most influenced the soil formation process, and to propose description standards for levels of soil weathering, specific to the Maritime Antarctica. The profiles were described according to ANTPAS, but there were also adaptations to this Guide, in relation to stage and type of salt, and the weathering indexes. A new classification of the degree of soil development in the Maritime Antarctica was developed, emphasizing their specific features, considering the following characteristics as indicative of weathering level: depth in the presence or absence of permafrost, cryoturbation, proportion and shape of the fractions > 2 mm, accumulation of organic matter, distinction of horizons. From the observation of these features it was proposed a PMSSW, selecting environmental variables that influence the soil development. To Deception Island, there were selected the following environmental variables: altitude, aspect of slopes, curvature, slope degree, albedo, lithology, fauna and vegetation. The themes were generated in ArcGIS 9.3 and ENVI 4.5 programs, based on the topographical map of Deception (1:25,000) and a "Quickbird" image. From the slope curves a MDE was generated, with a cell of 5 m, which was the basis for generation of other subject maps. These maps were reclassified by assigning weights between 0 and 1, where values closest to zero indicated limitations to weathering and the values nearest to 1 for conditions that favored weathering. A Principal Component Analysis was applied to identify the environmental variables that most influenced the degree of soil weathering. The results of this analysis were used for overlying the themes, whose weights were weighted by % of variance explained on each axis of the PCA, and, by value of the eigenvectors of most important variables, being fauna and vegetation for axis 1, and slope and albedo for axis 2. According to the proposed methodology, the majority of soils in western sector of Deception Island was in weathering stage 2 and occupies an area of 49.3 %, followed by stage 1 with 45 %. The soils in stage 3 and 4 occupy 4.67 % and 0.34 % of the study area, respectively. The comparison between the stages of weathering indicated by PMSSW, the field description and PCA revealed identical results in 75 % and 87.5 % of analyzed profiles, respectively. The differences occurred in the profiles were the features considered were not assessed by PMSSW, which suggests that the proposed methodology is valid. There is an increasing trend in the development of soils in environments with lower albedo and lower slopes, which provide greater stability and availability of moisture. Added to these variables the vicinity of colonies of animals and presence of vegetation, which promotes deposition of organic matter in soil and allow development of soil structure. The proposition of new levels of weathering suitable for Maritime Antarctica was essential for better characterization of soils in the west sector of Deception Island, reflecting the variability of pedoenvironments where such soils were developed. The weathering parameters assigned in this study might be used by other researchers, as well as basis for other guides to be prepared by ANTPAS, contributing to further improvement of soil surveys in this region.

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos da Antártica se desenvolvem em condições extremas de baixa temperatura e umidade, sendo capazes de fornecer explicações singulares sobre os processos pedogenéticos ali desenvolvidos. As combinações únicas de clima e fatores biológicos produzem um padrão de intemperismo distinto, que apresenta grande sensibilidade as alterações climáticas. A fragilidade decorrente do fraco desenvolvimento torna estes solos mais suscetíveis a danos permanentes, pois a taxa na qual os processos ocorrem é muito mais lenta do que em latitudes menores.

Campbell & Claridge (1987) realizaram uma revisão sobre pesquisas em ciência do solo realizadas na Antártica, notadamente na porção continental. Os autores destacaram questões sobre o desenvolvimento, intemperismo e a distribuição dos solos. Os referidos autores concluíram que tais solos possuem muitas características que os distinguem de solos de outras regiões, e que, para acomodá-los dentro do quadro estabelecido de conhecimentos pedológico, é necessária a ampliação de alguns conceitos e definições.

Recentemente, o Brasil através do projeto Criossolos, começou a desenvolver pesquisas na Antártica Marítima, o que resultou em diversos trabalhos (FRANCELINO, 2004; ALBUQUERQUE-FILHO, 2005; MICHEL, 2005; SIMAS et al., 2007; BREMER, 2008; MOURA, 2010; FARIA, 2010) que discutem a gênese e classificação dos solos de algumas áreas desta região, bem como aspectos relacionados a paisagem na qual esses solos estão inseridos.

Na Antártica Marítima, as condições ambientais geram um quadro pedológico marcado por temperaturas relativamente mais amenas e maior disponibilidade de água líquida, quando comparado à Antártica Continental. Além disso, a presença de aves e mamíferos promove a deposição de dejetos, o que favorece o estabelecimento de vegetação, contribuindo para um maior desenvolvimento dos solos.

Apesar das especificidades ambientais da Antártica Marítima, as pesquisas pedológicas desenvolvidas nesta região têm sido baseadas nos parâmetros estabelecidos para a Antártica Continental, onde as condições climáticas são muito mais severas. Sendo o clima um dos principais fatores de formação dos solos, é claro supor que tais solos apresentam características muito distintas daqueles que se desenvolvem no interior do continente. Por isso, torna-se necessário um modelo de descrição de solos adequado para Antártica Marítima, enfatizando as suas principais características, para não comprometer a análise do processo de desenvolvimento, a classificação e o mapeamento de tais solos.

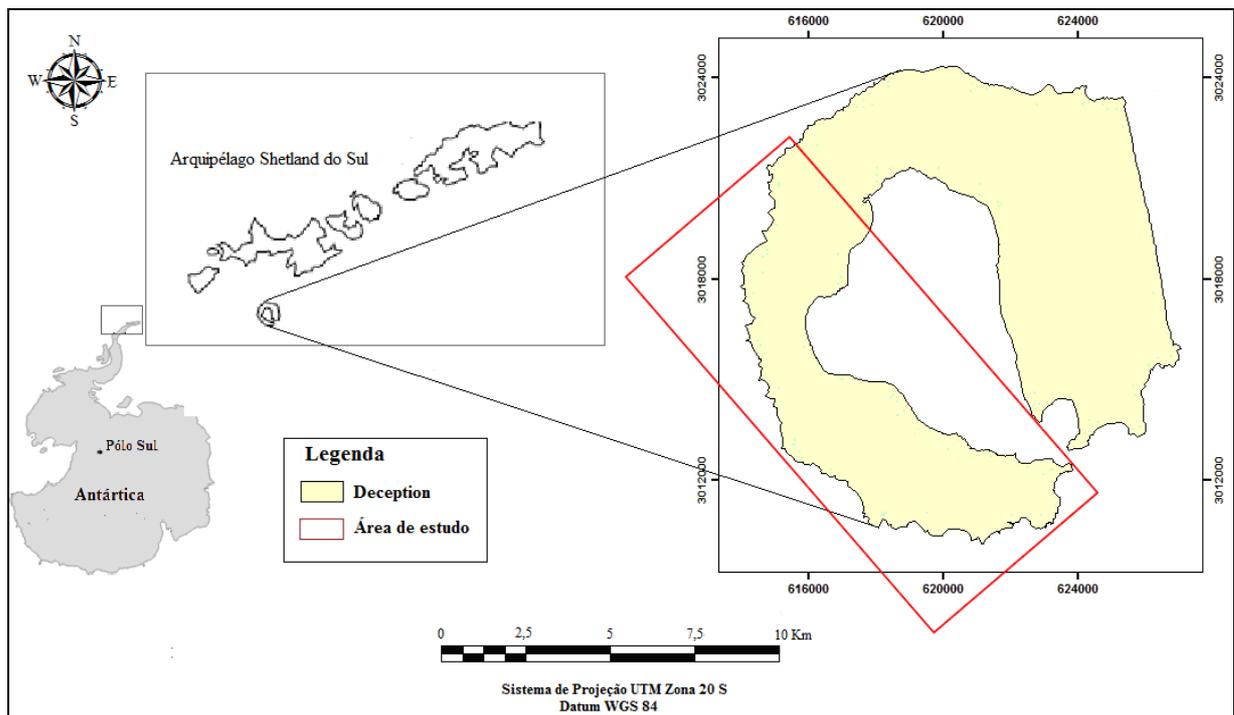
Campbell & Claridge (1987) agruparam os solos antárticos em função das diferentes condições de umidade em que eles estão expostos. Estes autores diferenciaram a Antártica em zonas climáticas, que apresentam maior ou menor quantidade de água, diante de suas características de temperatura e precipitação. Como os solos desenvolvidos na Antártica Marítima estão expostos a condições climáticas semelhantes, são os fatores locais que interferem na maior ou menor disponibilidade de água líquida, que influenciam o maior ou menor grau de intemperismo dos solos. Assim este trabalho constitui-se em uma análise integrada do processo de formação de solos e suas interações com a paisagem.

Neste sentido, o presente capítulo teve como objetivo propor modelo preditivo dos estágios de intemperismo dos solos do setor oeste de Deception, para compreender quais os fatores ambientais que mais influenciam no processo pedogenético. Além de propor padrão para descrição dos níveis de intemperismo dos solos, específico para a Antártica Marítima.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida no setor oeste da Ilha Deception, localizada a  $62^{\circ} 53' 30''$  S,  $63^{\circ} 01' 20''$  S e  $60^{\circ} 29' 20''$  W e  $60^{\circ} 45' 10''$  W, situada a sudoeste do Arquipélago Shetland do Sul, Antártica. A ilha é um conjunto de montanhas distribuídas em área emersa com forma de ferradura em torno de uma cratera vulcânica desmoronada, conforme o mapa na Figura 3:



**Figura 3.** Localização da área de estudo.

### 2.2 Coleta de Dados, Descrição e Classificação dos Solos

A coleta de dados no campo foi realizada nos meses de fevereiro e março de 2010, durante a OPERANTAR XXVIII. Inicialmente, foi feito o reconhecimento de toda a área com a observação dos diferentes compartimentos da paisagem que influenciam o padrão de distribuição dos solos.

Após a seleção dos locais mais representativos para abertura dos perfis, estes foram descritos e simultaneamente foi feita análise preliminar dos fatores, mecanismos e processos que interferem na gênese e desenvolvimento dos solos. Durante a OPERANTAR XXVIII, o Ministério do Meio Ambiente indeferiu a solicitação de licença para coletar amostras de solos da Antártica. Por isso, os solos foram apenas descritos utilizando-se as denominações de classe textural e fragmentos  $>2$  mm de acordo com o Guia para Descrição de Solo da FAO (2006) e observando-se os atributos propostos pelo Guia para Descrição, Amostragem, Análise e Classificação de Solos da Região Antártica (ANTPAS, 2006). Este último foi elaborado baseando-se nas características dos solos da Antártica Continental, cujo clima é muito mais severo que os da Antártica Marítima, com taxas de precipitação que variam de 0 a

45 mm e a temperatura varia de -10°C no verão a -80°C no inverno. Portanto, foram realizadas adaptações a este Guia, notadamente no que tange às características do estágio e tipo de sal e os índices de intemperismo propostos. Além disso, acrescentamos à descrição duas características extras: a agregação do solo e a temperatura dos horizontes no momento da descrição.

Os solos foram classificados seguindo os critérios da Base Mundial de Referência para os Solos (“World Reference Base for Soil Resources” – WRB) (FAO, 2006), a partir da análise das características morfológicas dos perfis.

### **2.3 Proposição de Novos Níveis de Intemperismo**

O Guia para Descrição, Amostragem, Análise e Classificação de Solos da Região Antártica (ANTPAS, 2006), estabelece seis estágio de intemperismo dos solos antárticos e sete estágios de desenvolvimento de sais, apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Assim, os solos são classificados quanto ao grau, distinção e profundidade da cor e dos horizontes, ao arredondamento de seixos e ao grau e o desenvolvimento dos sais.

Os níveis de intemperismo propostos pelo ANTPAS não são adequados para a Antártica Marítima, particularmente no que tange o estágio de sais, pois a acumulação de sais se manifesta em solos de ambientes com alta taxa de evaporação e baixa precipitação, que limita a lixiviação de sais do perfil. Se todas as características que representam os estágios de intemperismo fossem consideradas, a maior parte dos solos da Antártica Marítima, e na ilha Deception, em particular, seriam enquadrados no estágio 1 de intemperismo. No entanto, as descrições dos solos apresentadas (vide Anexos) mostram variedade no grau de desenvolvimento de tais solos, o que corrobora a necessidade de um novo tipo de classificação do grau de desenvolvimento dos solos para a região.

A cor é sugerida pelo ANTPAS para classificação dos níveis de intemperismo, no entanto, este atributo deve ser utilizado com cautela, pois as comparações só são válidas para solos desenvolvidos em materiais de origem semelhantes (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). Outro problema em relação à descrição proposta pelo ANTPAS diz respeito a distinção de horizontes. Esta é definida em uma escala entre mínima e muito distinta, no entanto não são apresentados os parâmetros que caracterizam a distinção. Tal fato se repete para a profundidade do permafrost, que é definida em uma escala entre raso e muito profundo, mas os limites das classes não são indicados, o que permite diversas interpretações.

**Tabela 1.** Estágios de intemperismo dos solos Antárticos. de acordo com o Guia para Descrição, Amostragem, Análise e Classificação de Solos da Região Antártica (ANTPAS, 2006).

Estágio	Condição das pedras e seixos	Cor	Distinção horizonte	Estágio dos sais	Profundidade permafrost
1	Angulares	5Y	mínimo	1	raso
2	Pouca coloração e fraco arredondamento	10YR 6/3 2,5Y 6/2	fraco	2	raso
3	Maior coloração e aumento do arredondamento	10YR 5/3 2,5Y 6/4	distinto	3	moderadamente profundo
4	Seixos muito pequenos e arredondados	10YR 5/4	muito distinto	4	profundo
5	Poucas rochas e forte pavimento desértico	10YR 4/4 5YR 5/8	muito distinto	5	profundo
6	Pavimento residual	7,5YR 5/6 5YR 4/8	muito distinto	6	raso se abaixo do substrato rochoso.

**Tabela 2.** Estágio de desenvolvimento de sais para solos Antárticos, de acordo com o Guia para Descrição, Amostragem, Análise e Classificação de Solos da Região Antártica (ANTPAS, 2006).

Estágio	Características
0	Não contém sais visíveis
1	Revestimento de sais na parte inferior das pedras;
2	Manchas de sal de 1-2 mm de diâmetro, que cobrem menos de 20% da superfície do horizonte
3	Manchas de sal de 1-2 mm de diâmetro, que cobrem mais de 20% da superfície do horizonte
4	Sais fracamente cimentados (pan)
5	Sais fortemente cimentados (pan)
6	Sais endurecidos (pan)

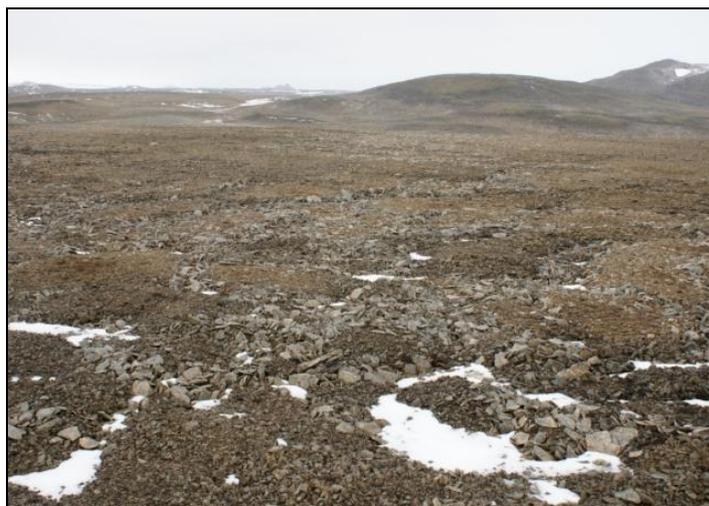
Diante disso, foi proposta nova classificação do grau de desenvolvimento dos solos da Antártica Marítima, ressaltando as suas especificidades. Para tal região, consideraram-se as seguintes características morfológicas como indicadoras do nível de intemperismo dos solos:

#### a) Profundidade

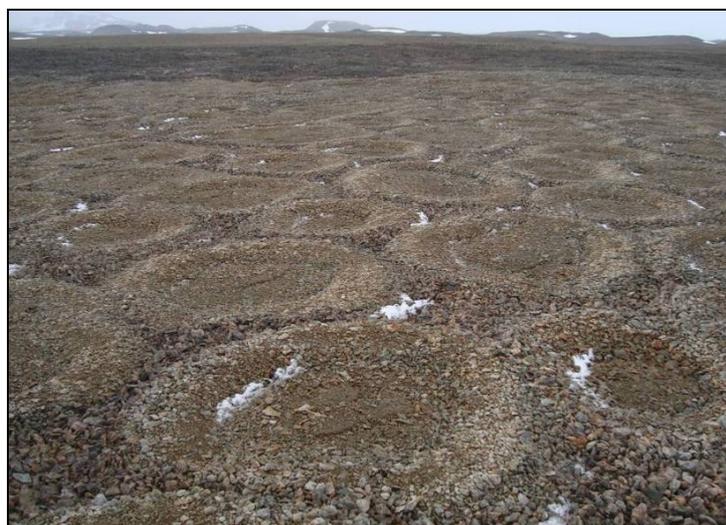
Em solos com presença ou ausência de permafrost, a profundidade indica o maior ou menor aprofundamento do intemperismo, onde solos mais profundos são mais desenvolvidos.

#### b) Crioturbação

O principal processo de formação dos solos da Antártica Marítima é a crioturbação. Esta é evidenciada pela presença de horizontes minerais ou orgânicos irregulares ou quebrados, cascalhos orientados na superfície e/ ou no perfil e desenvolvimento de padrões no solo. Os padrões ocorrem como estrias, círculos, redes e polígonos, podendo ser moderadamente ou bem desenvolvidos, como nas figuras 4 e 5, respectivamente.



**Figura 4.** Solo com padrão circular moderado na Península Byers  
(Foto de Francelino, 2009).



**Figura 5.** Solo com padrão circular bem desenvolvido na península Byers  
(Foto de Francelino, 2009).

Os solos com padrão moderado foram aqui definidos como aqueles que não apresentam formas bem definidas e a separação entre o material grosseiro e mais fino ainda está em desenvolvimento. Outro critério de distinção em relação aos solos com padrões bem desenvolvidos é o tamanho dos polígonos ou largura das estrias, sendo aqueles com espessura ou raio menor que 50 cm considerados como padrão moderado.

A distinção das formas é influenciada pela quantidade e tamanho dos fragmentos de rochas presente no terreno e pela frequência e intensidade dos ciclos de congelamento e degelo que promovem a crioexpulsão (BALLANTYNE, 2002).

#### **c) Proporção e forma das frações > 2mm**

A quantidade e a forma dos cascalhos e calhaus indicam maior ou menor desenvolvimento dos solos, onde o aumento da proporção destas frações e a presença de formas angulares indicam menor grau de intemperismo que menores proporções e formas subangulares. A presença de frações > 2mm está relacionada a maior ou menor resistência do material de origem e a intensidade do intemperismo físico, representado pelos ciclos de

congelamento e descongelamento e pelas variações de temperatura (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987).

#### **d) Teor de matéria orgânica**

Na Antártica Marítima, a matéria orgânica existente em alguns solos é oriunda da atividade da avifauna ou da presença de vegetação, representada por musgos, líquens e duas espécies de plantas superiores. A cobertura vegetal além de fornecer carbono ao solo pode amenizar as flutuações da temperatura do solo, tornando o regime térmico do solo mais estável (FRENCH, 1996). Ao mesmo tempo, o acúmulo de matéria orgânica favorece a formação de agregados e a distinção de horizontes (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987).

Para os níveis de intemperismo propostos, o acúmulo de matéria orgânica é identificado no campo pela presença de restos vegetais e animais em diferentes estágios de decomposição e pela cor do horizonte, que deve ter valor e croma  $<$  ou  $=$  a 3. A matéria orgânica no horizonte é definida como: baixa, se a espessura é  $<$  que 10 cm; média, entre 10 e 20 cm; e alto, se  $>$  20 cm.

#### **e) Distinção de horizontes**

Esta pode ser identificada pelas variações de cor, textura, proporção e forma das partículas grosseiras e pela presença ou ausência de agregação e matéria orgânica. Estas características que são úteis para a diferenciação de horizontes resultam da ação de processos e mecanismos de formação do solo, que expressam o maior ou menor desenvolvimento destes. Em relação à distinção, os horizontes podem ser classificados como:

●**Pouco distinto:** não ocorre muita diferenciação de textura e cor entre os horizontes. Também não existe agregação e nem presença de matéria orgânica. Ainda ocorre forte herança do material de origem, podendo ocorrer, ao longo de todo o perfil, a presença de partículas grosseiras em proporção  $>$  40%, bem como mosqueados que demonstram o intemperismo de minerais primários facilmente intemperizáveis oriundos do material originário. Tal herança é resultado da resistência deste material a situações de maior ou menor presença de umidade e do tempo de exposição aos agentes intempéricos.

●**Moderadamente distinto:** ocorre uma clara diferenciação de textura e/ou cor entre os horizontes, mas não existe agregação e nem presença de matéria orgânica. A distinção entre horizontes é oriunda de processos de deposição de sedimentos.

●**Distinto:** há uma clara diferenciação de textura e/ou cor entre os horizontes, podendo existir agregação e presença de matéria orgânica. A presença destas características que distinguem os horizontes está relacionada a atuação de mecanismos e processos pedogenéticos no perfil. Esta pode ser expressa pela formação de agregados, aumento da proporção de formas subangulares, orientação de cascalhos, etc.

●**Muito distinto:** existe uma clara diferenciação de textura e cor entre os horizontes, sendo a diferenciação do horizonte superficial para os subsuperficiais decorrentes da presença de agregação e matéria orgânica. A presença destas características que distinguem os horizontes está relacionada a intensa atuação de mecanismos e processos pedogenéticos no perfil. Esta pode ser expressa pela formação de agregados, ausência de formas angulares, orientação de cascalhos, horizontes quebrados e irregulares, etc.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros destas características que definem cada classe de intemperismo, que foram aplicados aos solos de Deception. Para enquadrar em um nível, o solo deverá apresentar pelo menos três, dos cinco critérios.

**Tabela 3.** Parâmetros para a classificação de estágios de intemperismo dos solos da Antártica Marítima, de acordo com a metodologia proposta

Níveis de intemperismo	Profundidade (cm)		Crioturbação	Proporção e forma das partículas > 2mm*	Classe de matéria orgânica	Desenvolvimento e distinção de horizontes
	Presença de permafrost	Ausência de permafrost				
1	0-20	0-10	ausente	> 90% angulares	ausente	pouco distinto
2	20-30	10-30	ausente	40 - 90% angulares e /ou subangulares	ausente/baixo	moderadamente distinto
3	30-50	30-50	cascalhos orientados, horizontes quebrados ou irregulares, cunhas de gelo e/ou padrão de solo moderado	20-40% angulares e /ou subangulares	médio	distinto
4	>50	>50	Padrão de solo bem desenvolvido	<20% subangulares	alto	muito distinto

### 2.3.1 Modelo de predição dos estágios de intemperismo dos solos

A partir da observação das características morfológicas que caracterizam o desenvolvimento dos solos da área de estudo, foi proposto um Modelo de Predição dos Estágios de Intemperismo dos Solos - MPEIS, através da seleção das variáveis ambientais que influenciam o desenvolvimento destas características.

Como na Antártica Marítima o principal agente de intemperismo é a água líquida, todas aquelas variáveis que influenciam o seu comportamento, através do aumento da sua disponibilidade e permanência dentro do perfil, interferem na gênese e desenvolvimento dos solos. Por isso, para a ilha Deception, foram selecionadas as seguintes variáveis ambientais contínuas: altitude, face exposição das vertentes, curvatura das vertentes, declividade, albedo da superfície, fauna e vegetação.

Apesar da influência destas variáveis, diante das especificidades do substrato da Ilha que é de origem vulcânica e geologicamente jovem, partiu-se do pressuposto que o material de origem é o principal fator de formação dos solos, controlando a atuação dos outros fatores e, por conseguinte, todas as variáveis relacionadas a eles.

O tema da variável albedo foi gerado no programa ENVI 4.5, baseando-se no Número Digital de imagem “Quickbird” da área de estudo. Já a litologia foi extraída do Mapa Geológico da ilha Deception (SMELLIE & LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2000) na escala 1:25.000. Os demais temas foram gerados com base na carta topográfica de Deception, escala de 1:25.000 (2ª edição, 2005) publicada pelo Centro Geográfico del Ejército español

A litologia e os outros temas foram gerados no ArcGis 9.3, onde a carta e o mapa foram digitalizados e georreferenciados. As classes litológicas foram vetorizadas manualmente e as curvas de nível através da ferramenta “ArcScan”. As imperfeições foram corrigidas através da Ferramenta “Topology” e pela edição manual do “shapefile”. A partir das curvas de nível foi gerado Modelo Digital de Elevação (MDE) com célula de 5 m, através da ferramenta “Interpolation Topo to Raster”. O MDE serviu de base para a geração dos mapas de diversas variáveis.

Através da ferramenta “Reclassify” os temas de cada variável contínua foram classificados em variáveis categóricas, com o intuito de limitar as condições únicas geradas no modelo de intemperismo. Em seguida, atribuíram-se pesos entre 0 e 1 para cada variável, sendo os valores mais próximos de zero (0) indicadores de limitações ao processo de intemperismo e os mais próximos de um (1) indicadores de condições que favorecem tal processo. Os pesos atribuídos para cada variável são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Pesos atribuídos as variáveis categóricas de cada variável ambiental preditiva utilizada para a definição dos níveis de intemperismo dos solos de Deception, Antártica Marítima

<b>Variáveis Preditivas</b>	<b>Variáveis Categóricas</b>	<b>Pesos</b>
<b>Altitude (m)</b>	0-100	1
	101-200	0,75
	201-300	0,5
	301-400	0,25
	>400	0
<b>Declividade (%)</b>	0-1 % (Plano)	1
	1-2 % (Muito Suavemente Inclinada)	0,9
	2-5 % (Suavemente inclinada)	0,8
	5-10 % (inclinada)	0,7
	10-15% (Fortemente Inclinada)	0,6
	15-30% (Moderadamente Íngreme)	0,4
	30-60% (Íngreme)	0,2
	>60% (Muito Íngreme)	0
<b>Curvatura das vertentes</b>	Côncava	1
	Linear	0,5
	Convexa	0
<b>Faces de orientação das vertentes</b>	Norte	1
	Noroeste	0,9
	Nordeste	0,8
	Oeste	0,6
	Leste	0,4
	Sudoeste	0,2
	Sudeste	0,1
	Sul	0
<b>Albedo</b>	DN 0-150	1
	DN 151-300	0,67
	DN 301-450	0,33
	DN >450	0
	DN 0-150	1
<b>Litologia</b>	Angra Pendulum	1
	Baily Head	0,9
	Tufos Amarelos	0,7
	Escudo Basáltico	0,5
	Baía Fumarola	0,4
	Monte Stonetrow (T. Kendall)	0,3
	Monte Stonetrow (Mt. Kirkwood)	0,2
	Depósitos indiferenciados	0
<b>Fauna</b>	Morainas	0
	Pingüins	1
	Lobos Marinhos	0,5
<b>Vegetação</b>	Ausente	0
	Presente	1
	Ausente	0

Os critérios para seleção de cada variável contínua, bem como para atribuição de peso para as variáveis categóricas, foram:

#### **a) Altitude**

O mapa de altitude foi gerado a partir do MDE. O tema foi reclassificado em cinco classes de altitude: entre 0-100 m, 101-200 m, 201-300m, 301-400 m e >400m.

De acordo com Mendonça e Oliveira (2007) a cada aumento de 100 m de altitude ocorre decréscimo de 0,5°C na temperatura do ar. Esta pequena diferença interfere diretamente no regime térmico dos solos, podendo representar o limite entre o ponto de congelamento e descongelamento. Quanto maior a possibilidade de descongelamento de uma área, maior será a disponibilidade de água líquida que influencia o intemperismo dos solos. Como esses locais situam-se normalmente em baixas altitudes, foram atribuídos pesos decrescentes para as classes de menor para as de maior altitude.

#### **b) Declividade**

O mapa de declividade foi gerado em porcentagem a partir do MDE, através da ferramenta “Surface Slope”. O tema gerado foi reclassificado em 8 classes adaptadas do modelo proposto pelo Guia de descrição de solos da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2006).

A declividade está relacionada ao transporte e deposição de materiais, bem como ao grau de estabilidade da superfície. Além disso, as áreas mais estáveis são mais úmidas o que favorece a colonização vegetal, influenciando no desenvolvimento do solo e seu aprofundamento (CAMPBELL, 1967 *apud* CAMPBELL & CLARIDGE, 1987). Já as áreas mais declivosas sofrem mais erosão, que remove o material recém intemperizado, provocando uma diminuição da espessura da camada ativa (MELO, 2009).

Diante deste pressuposto, foram atribuídos pesos decrescentes para as classes de menor para maior declividade.

#### **c) Curvatura das vertentes**

O mapa desta variável foi gerado a partir do MDE através da ferramenta “Surface Curvature”, o tema foi reclassificado em três classes: côncava, convexa e linear.

As características de curvatura influenciam os processos erosivos e a dinâmica de acúmulo de água e sedimentos, identificando as áreas de maior ou menor estabilidade e possibilidade de pedogênese. As superfícies côncavas são áreas de acumulação de neve, água e sedimentos, assim foi atribuído peso 1 para tal classe. Já as superfícies convexas têm maior tendência a perda de sedimentos e umidade, sendo atribuído o peso 0. A classe linear apresenta característica intermediária em relação às classes anteriores, por isso foi indicado o peso 0,5.

#### **d) Faces de orientação das vertentes**

O mapa desta variável foi elaborado a partir do MDE através da ferramenta “Surface Aspect”, gerando-se as seguintes classes: norte, noroeste, nordeste, oeste, leste, sudoeste, sudeste e sul. As diferentes faces de orientação das vertentes apresentam variações de intensidade, duração e frequência da insolação, podendo ocasionar um aumento local da média de temperatura, contribuindo para o aumento do degelo no verão. O aumento da temperatura interfere no regime térmico do solo, e o degelo ocasiona a maior presença de água no perfil, tais fatores favorecem um maior intemperismo dos solos.

Diante da latitude em que se encontra Deception, a insolação diminui das faces norte e oeste em direção as faces leste e sul. Por isso, as faces norte e oeste possuem temperatura mais elevada e maior teor de umidade, assim tais faces receberam pesos 1 e 0,8, respectivamente. Para as faces intermediárias noroeste e nordeste, indicou-se o peso 0,9. Já para as faces leste e sul atribuíram-se os pesos 0,4 e 0, respectivamente, pois recebem menor

insolação, apresentando ambiente com temperaturas inferiores e menor umidade quando comparadas as faces anteriores. As faces intermediárias sudoeste e sudeste receberam os pesos 0,2 e 0,1, respectivamente.

#### **e) Albedo**

O substrato que constitui Deception é Quaternário, muito recente com alterações provocadas por erupções pré 1829 e em 1829, 1839, 1842, 1969 e 1970. Tais erupções e atividades sísmicas espalharam piroclastos de diferentes composições por toda a ilha o que torna a coloração da superfície muito diversificada.

A cor de um substrato interfere diretamente no seu albedo, definindo a quantidade de radiação refletida pela superfície. As superfícies de coloração branca ou clara possuem um albedo alto, ou seja, refletem a radiação e absorvem pouco calor. Já os substratos de coloração mais escura absorvem mais a radiação. Os solos desenvolvidos em superfícies escuras aquecem-se mais e potencialmente apresentam maior descongelamento e presença de água líquida, na primavera e no verão. No inverno, a água do solo congela novamente dentro da fissura das rochas e minerais, causando maior fragmentação o que aumenta o percentual de partículas menores no solo, o que diagnostica um maior desenvolvimento dos solos.

Para contemplar a diversidade de cor dos substratos e assim extrapolar as informações de albedo para toda a área de estudo, utilizou-se o Número Digital (“Digital Number”–DN) da banda 2 de uma imagem “Quickbird” composição RGB123 de 21/01/2003, gentilmente cedida pelo Grupo de Pesquisa em Ambientes Antárticos e Mudanças Climáticas (“Research Group on Antarctic Environments and Climate Change - AntECC”)<sup>2</sup>

Inicialmente através da ferramenta “Compute Statistics” foi aplicada estatística de bandas, para verificar qual banda apresentou maior variância espectral dos níveis de cinza. A banda 2 foi selecionada pois apresentou variância de 0 a 2047, sendo 0 o número digital para o preto e 2047 para o branco. O intervalo entre estes valores representa a variação entre diferentes níveis de cinza. Em seguida, através da ferramenta “Density Slice” criou-se quatro classes de níveis de cinza: 0-150, 151-300, 301- 450, >450. Estes procedimentos foram realizados no ENVI 4.5. A imagem de classes gerada foi exportada para o ArcGis 9.3, onde atribuiu-se pesos decrescentes para as classe de menor para maior número digital.

É importante ressaltar que as informações do albedo dos substratos apresentadas neste estudo são oriundas da classificação digital da imagem de Deception, logo constituem estimativas, pois o limite entre as classes é arbitrário e a real distribuição destas superfícies apresenta variação sazonal devido a cobertura de neve, cuja concentração é variável a cada ano.

#### **f) Litologia**

A composição química, mineralógica e o arranjo dos minerais que compõem o substrato através do qual o solo se desenvolve, seja a rocha, o saprófito ou sedimentos, interfere diretamente no maior ou menor nível de intemperismo de um solo. A diversidade litoestratigráfica dos substratos de Deception é apresentada em seu mapa geológico, conforme já discutido no item 2.6.1.

A atribuição de pesos para a influência de cada unidade litoestratigráfica baseou-se prioritariamente no tamanho, grau de consolidação e cor do substrato. Assim quanto menor, mais friável e mais escuro o substrato, maior o peso, ou seja, mais susceptível a atuação dos agentes intempéricos. Naquelas unidades onde tais características foram semelhantes,

---

<sup>2</sup> Pesquisador Gonçalo Vieira

Centro de Estudos Geográficos / IGOT - Universidade de Lisboa  
Edifício Fac. Letras, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa, Portugal

utilizou-se o critério idade, atribuindo-se para as mais antigas pesos maiores, o que indica um maior período de exposição para a atuação dos agentes intempéricos.

Para os depósitos pós-caldeira da Formação Angra Pendulum atribuiu-se o peso 1, por constituir-se de tufo de cinzas e maars inconsolidados, cuja atuação do intemperismo é maior devido a maior superfície específica e ausência de um agente cimentante entre as partículas que compõem o substrato. Apesar da Formação Baily Head, também ser composta de cinzas, atribuiu-se o peso 0,9, porque estas se encontram endurecidas. Uma granulometria maior é observada na Formação Tufo Amarelo, constituída principalmente por lapili amarelo endurecido. Por isso, indicou-se o peso 0,7.

As demais formações são constituídas por fluxos de lava e escórias. Os depósitos do Escudo Basáltico, dada estas características de granulometria, diferencia-se das demais formações pela cor, que é escura, sendo indicado o peso 0,5.

O grupo Baía Fumarola é mais resistente ao intemperismo do que o Escudo Basáltico, devido a coloração amarela que reflete mais a radiação recebida, por isso recebeu o peso 0,4. Além disso, esta formação apresenta brechas. Os grupos Pico Stonetrow (Monte Kirkwood e Terraço Kendall) formados também por escórias e lavas de coloração clara, receberam os pesos 0,2 e 0,3, respectivamente, por serem do período pós-caldeira, ou seja, houve uma menor exposição aos agentes intempéricos, no entanto, como o terraço Kendall é o mais antigo dentre os dois, atribuiu-se a este subgrupo um peso maior.

Finalmente, aos materiais grosseiros e indiferenciados, como os depósitos aluviais de encostas, de praias e morainas, atribuiu-se o peso zero (0), considerando-se que estes substratos são de difícil meteorização e/ou de recente exposição.

#### **g) Fauna**

As atividades de aves e mamíferos depositam dejetos nos solos, resto de penas, ovos, pêlos (no caso de mamíferos) e animais mortos, que enriquecem em nutrientes e promovem intemperismo químico. Esse processo também favorece a colonização vegetal. Os solos afetados pela avifauna apresentam matéria orgânica nos horizontes superficiais e às vezes, desenvolvem estrutura formando horizontes B. O tema fauna foi gerado através da identificação no campo e vetorização manual de tais áreas na carta topográfica de Deception na escala 1:25.000.

Segundo Schaefer et al. (2004), os pingüins (*Pygoscelis Antarctica*) são os animais que promovem o maior enriquecimento dos solos antárticos, por isso, atribuiu-se o peso 1 para tal classe, aos lobos marinhos (*Arctocephalus gazella*) atribuiu-se o peso 0,5 e as áreas com ausência de animais o peso 0. Apesar da presença de ninhos de skuas (*Catharacta spp.*) nas partes mais altas da paisagem, a nidificação destes animais não foi categorizada como classe para a variável fauna, porque os seus dejetos são concentrados, assim, são rapidamente lavados pelo degelo, diminuindo a possibilidade de formação de solos ornitogênicos.

#### **h) Vegetação**

De acordo com Francelino (2004) a vegetação na Antártica está associada à presença de umidade, estabilidade do relevo e enriquecimento de nutrientes. Assim, esta variável constitui-se numa reafirmação daquelas que promovem tais características.

As manchas de vegetação foram mapeadas através da edição de “shapefile”, baseando-se nos pontos de GPS coletados no campo sobrepostos a uma composição colorida da imagem “Quickbird”. Apesar desta composição não incluir a banda infravermelha, que apresenta maior reflectância para vegetação, as manchas apresentam um padrão de forma, cor e textura característico, o que possibilitou a sua delimitação. Os locais onde tal padrão apresentou-se confuso, ainda que existissem pontos de GPS, não foram mapeados. A cobertura vegetal não foi subdividida em líquens, musgos e plantas superiores, sendo contabilizados para o modelo de predição apenas a presença ou ausência de vegetação, com pesos 1 e 0 respectivamente.

### 2.3.2 Identificação das variáveis ambientais mais importantes

De acordo com Vicini (2005) uma forma eficiente de analisar a influência de inúmeras variáveis para determinado fator ou processo, é a utilização da estatística multivariada, pois a análise simultânea permite obter informações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada. Assim, para identificar quais as variáveis ambientais que mais influenciam no nível de intemperismo dos solos empregou-se a estatística multivariada, através da Análise de Componentes Principais – ACP (“Principal Components Analysis”), usando o programa PC-ORD 4.01.

As variáveis consideradas foram: altitude, declividade, curvatura e orientação das vertentes, albedo, presença de fauna e vegetação. Foi feita uma matriz de Correlação de Pearson entre as variáveis e através desta matriz o PC-ORD 4.01 gerou os autovalores e autovetores, com os quais se obteve os escores. Os Componentes Principais foram extraídos em ordem decrescente de importância em termos de sua contribuição para a variação total dos dados. Os resultados obtidos nesta análise foram utilizados para ponderar a sobreposição dos temas no MPEIS.

### 2.3.3 Sobreposição dos temas

Os temas foram processados através da ferramenta “Overlay”, tendo como base os pesos atribuídos (conforme descrito no item 2.2) e os resultados obtidos na Análise de Componentes Principais. Neste tipo de análise estatística as variáveis correlacionadas são sintetizadas em eixos (Componentes). Para cada análise são gerados autovalores, autovetores e escores.

O autovalor é o valor que representa a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados (REGAZZI, 2001). A tabela 5 apresenta os autovalores obtidos na ACP. Para determinar o número de componentes a serem utilizados na análise foram selecionados aqueles componentes cujos autovalores foram superiores a 1 e juntos explicassem mais da metade da variância dos dados, conforme descrito por Vicini (2005). Assim, foram selecionados os eixos 1 e 2 que explicam aproximadamente 66% da variância.

Cada variável tem um peso de contribuição para a formação de cada componente (eixo). Estes pesos representam os autovetores que são coeficientes lineares que variam entre -1 e +1. Os autovetores podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável em relação às componentes principais e os sinais, positivos ou negativos, indicam relações diretamente ou inversamente proporcionais (REGAZZI, 2001).

Na Tabela 6 são apresentados os autovetores de cada eixo. Considerando-se o eixo 1 como principal formador da variância, 37,101 (conforme explícito na Tabela 5) verifica-se que as variáveis fauna e vegetação foram as que mais influenciaram nos perfis, pois apresentam os maiores valores em módulo 0,4810 e 0,4615, respectivamente. Em relação ao eixo 2, que explica 29,227% da variância dos dados (Tabela 5) a variável de maior contribuição foi a declividade, que apresentou um valor de autovetor de 0,4203, e o albedo com 0,4029.

**Tabela 5.** Autovalores da Análise de Componentes Principais das variáveis ambientais preditivas utilizadas no MPEIS

<b>Eixos</b>	<b>Autovalor</b>	<b>% Variância</b>	<b>% Variância Acumulada</b>
1	3,962	37,101	38,063
2	2,774	29,227	63,204
3	1,409	12,677	72,090
4	0,916	6,945	81,020
5	0,814	5,491	88,715
6	0,579	4,318	93,167
7	0,341	2,403	97,275
8	0,229	1,838	99,247
9	0,074	0,411	99,698
10	0,023	0,134	99,943

**Tabela 6.** Autovetores das Componentes Principais das variáveis ambientais preditivas utilizadas no MPEIS

<b>Variáveis</b>	<b>Autovetor Eixo 1</b>	<b>Autovetor Eixo 2</b>
Altitude	0,2639	-0,2470
Declividade	-0,0911	-0,4203
Curvatura	0,4060	-0,2287
Orientação das vertentes	0,2340	0,0386
Albedo	-0,1530	-0,4029
Fauna	-0,4810	-0,2539
Vegetação	-0,4615	-0,2275

Os pesos das variáveis que se destacaram em cada componentes foram ponderados pelo percentual da variância explicado pelo seu eixo e pelos seus autovetores em módulo. Assim, os pesos da fauna, vegetação, declividade e albedo foram multiplicados por 1,78; 1,71; 1,22 e 1,17 respectivamente. A variável litologia não foi analisada na ACP, porque diante das características dos substratos de Deception, partiu-se do pressuposto que esta variável controla a ação das outras, assim, atribuiu-se a tal variável o peso 2. Em relação as demais variáveis foi mantido o peso 1.

Os temas de todas as variáveis foram sobrepostos, gerando um novo tema. Este foi reclassificado e o maior peso acumulado foi 9,26. Através da ferramenta “Reclassify” os pedoambientes da área de estudo foram ordenados, de acordo com seus pesos em quatro estágios de intemperismo: 0 a 2 – estágio 1; 2 a 4 – estágio 2; 4 a 6 – estágio 3; 6 a 9,26 – estágio 4.

### **2.3.4 Validação**

Para validar o modelo, foi gerado no PC-ORD 4.01, através da função “rank”, gráfico de ordenação dos níveis de intemperismo entre as variáveis ambientais sintetizadas nos eixos 1 e 2 da ACP. Os resultados foram comparados aos da descrição de campo e o mapa de MPEIS.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Geoprocessamento e Análise Pedoambiental

##### 3.1.1 Áreas propícias à formação de solo

A área de estudo apresenta 4.704,3 ha, sendo 1.208,2 ha ocupados por glaciares, o que corresponde a 25,7% da área. Dentro dos 3.495,8 ha, ou 74,3% livres de gelo no verão, 0,5% têm encharcamento temporário devido ao degelo, 1,5% é ocupado por lagos e 1,23 % é ocupado por afloramentos rochosos. Assim, restam 3.426 ha de área livre de gelo sujeita a ação dos agentes intempéricos, onde ocorre formação de solo, composta por 17,4 ha de áreas com encharcamento temporário e 3.383 ha de áreas livres de gelo sem encharcamento (Tabela 7). Embora os afloramentos rochosos também estejam sujeitos a ação do intemperismo, devido a lentidão de tal processo na região austral, as taxas de formação do solo são muito reduzidas, de difícil identificação e mensuração, por isso tal classe não foi considerada neste trabalho.

**Tabela 7.** Detalhamento das áreas livres de gelo do setor oeste da Ilha Deception

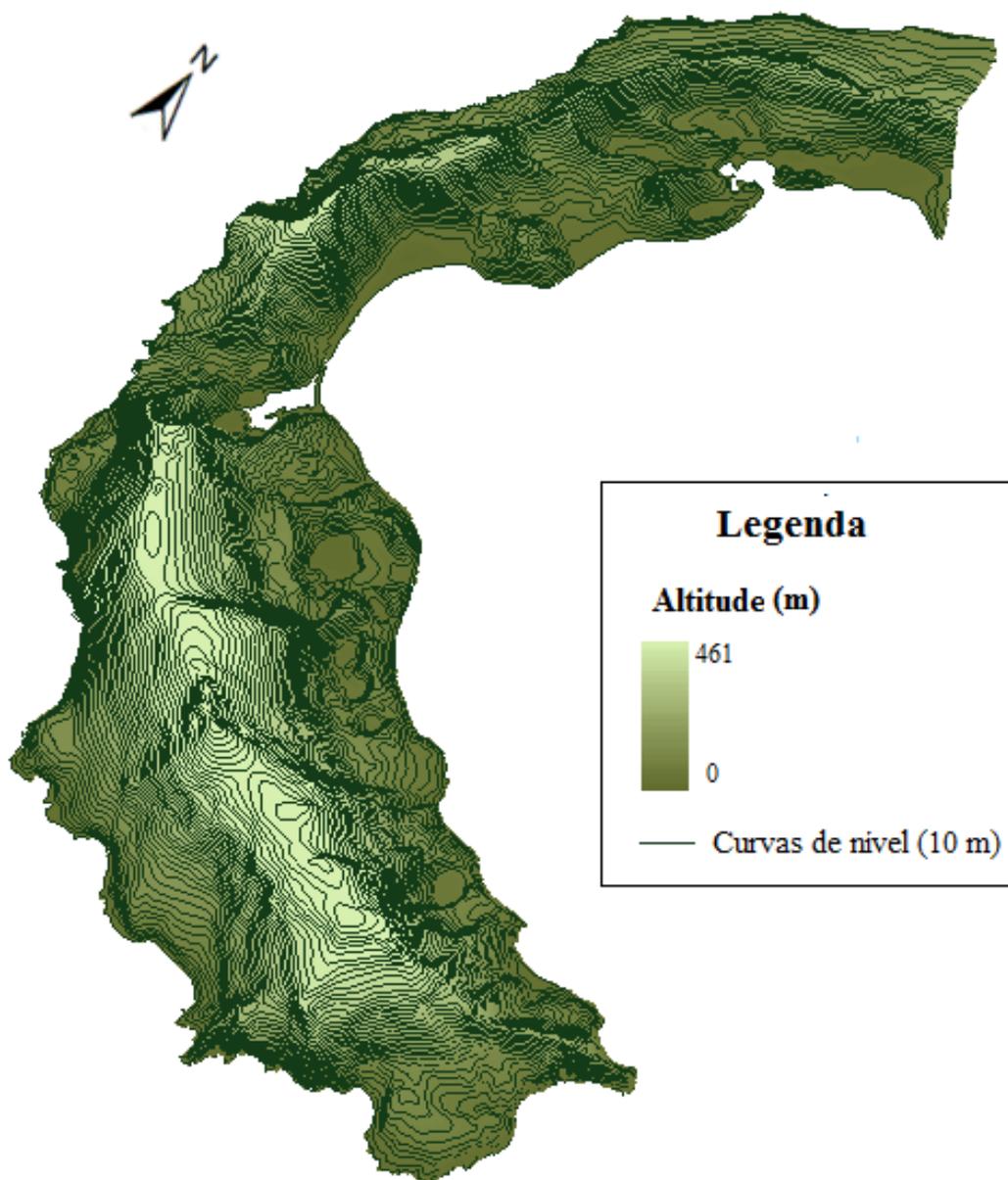
Classes	Área(ha)	Área(%)
Encharcamento temporário	17,4	0,5
Lagos	52,4	1,5
Afloramentos rochosos	43	1,23
Áreas livres sem encharcamento	3.383	96,77
Total	3.495,8	100

##### 3.1.2 Altitude

A altitude da área variou de 0 a aproximadamente 460 m, sendo o ponto culminante a 461 m. Tal variação pode ser observada na Figura 6, que apresenta o MDE da área em uma perspectiva 3D. As cotas acima de 300m representam 11% da área e em geral, são ocupadas por geleiras e afloramentos rochosos. A maior parte da ilha, 47%, está abaixo de 100m de altitude (Tabela 8).

**Tabela 8.** Classes de altitude do setor oeste da Ilha Deception

Classes de Altitude (m)	Área (ha)	Área(%)
0-100	2.240,8	47
101-200	1.298,8	27,5
201- 300	655,9	1,8
301-400	466,8	9,8
> 400	59,0	1,2
Total	4.704,3	100



**Figura 6.** Perspectiva 3D do Modelo Digital de Elevação do setor oeste da Ilha Deception.

### 3.1.3 Declividade

A maior parte da área (69,4%) apresenta declividade superior a 15%, o que caracteriza o relevo do setor oeste de Deception de moderadamente íngreme a muito íngreme, majoritariamente (Tabela 9). As áreas de maior declividade situam-se principalmente na costa externa da ilha e na borda dos glaciares (Figura 7). Tais áreas têm grande remoção de sedimentos, devido a ação da gravidade, vento, água ou neve, limitando o desenvolvimento dos solos.

Os menores percentuais de declividade (até 5%) são observados na costa interna da ilha, próximos aos lagos e as zonas de encharcamento e em algumas baías, como a Baía das Fumarolas e a Baía Telefon, por exemplo. Estes locais oferecem condições para a deposição de sedimentos e acúmulo de água, favorecendo a formação dos solos. O topo dos glaciares e a região constituída pelo Terraço Kendall também apresentam declividade baixa, em geral

inferior a 10%, no entanto são locais muito secos devido, principalmente, a intensa e constante ação de ventos.

**Tabela 9.** Classes de declividade do setor oeste da Ilha Deception, de acordo com o Guia para Descrição de Solo da FAO (2006)

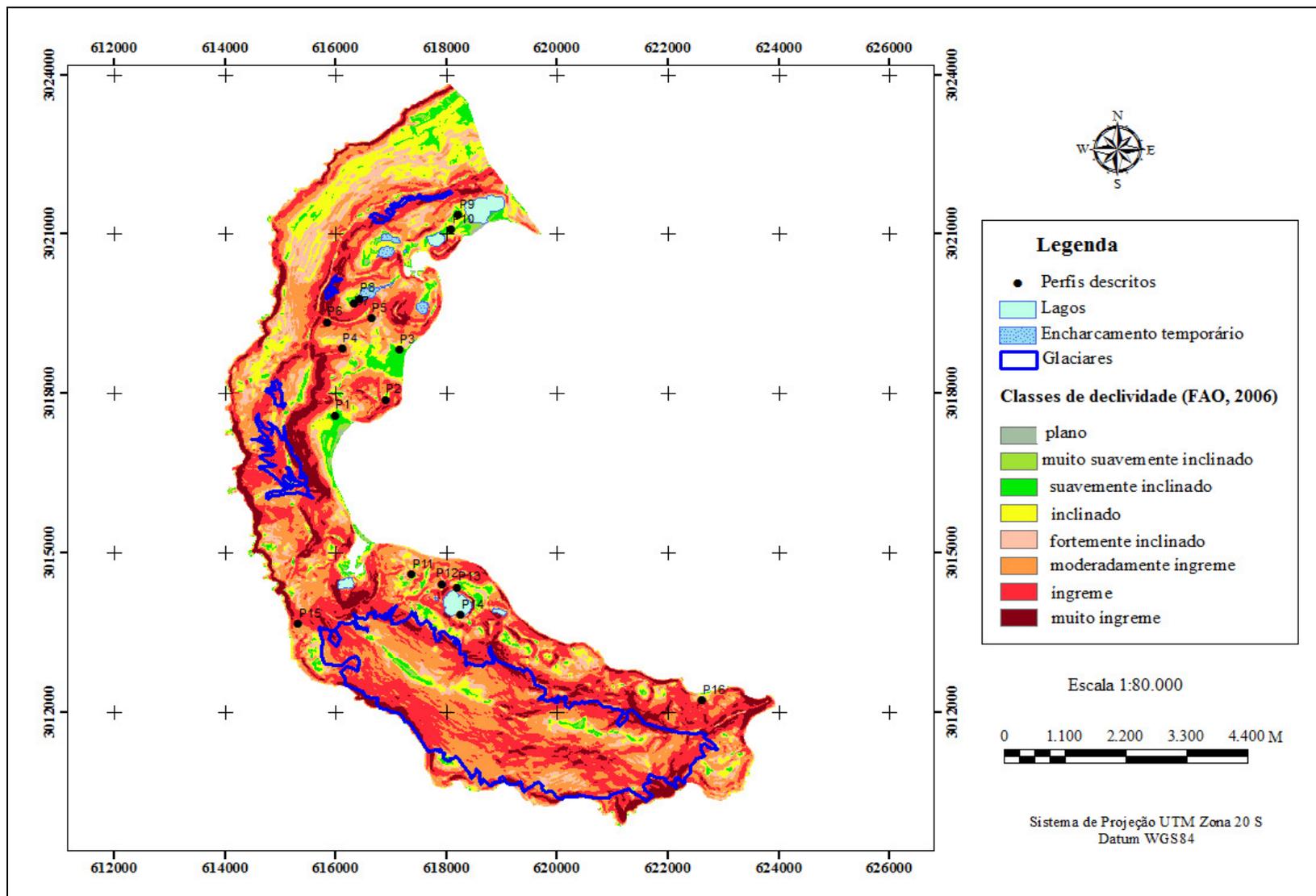
<b>Classes de declividade (%)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0-1 % (Plano)	15,32	0,3
1-2 % (Muito Suavemente Inclinado)	39,68	0,8
2-5 % (Suavemente inclinado)	249,89	5,2
5-10 % (inclinado)	591,46	12,5
10-15% (Fortemente Inclinado)	522,67	11,8
15-30% (Moderadamente Íngreme)	1420,4	30
30-60% (Íngreme)	1440,5	30,6
>60% (Muito Íngreme)	411,38	8,8
<b>Total</b>	<b>4.704,3</b>	<b>100</b>

### 3.1.4 Curvatura das vertentes

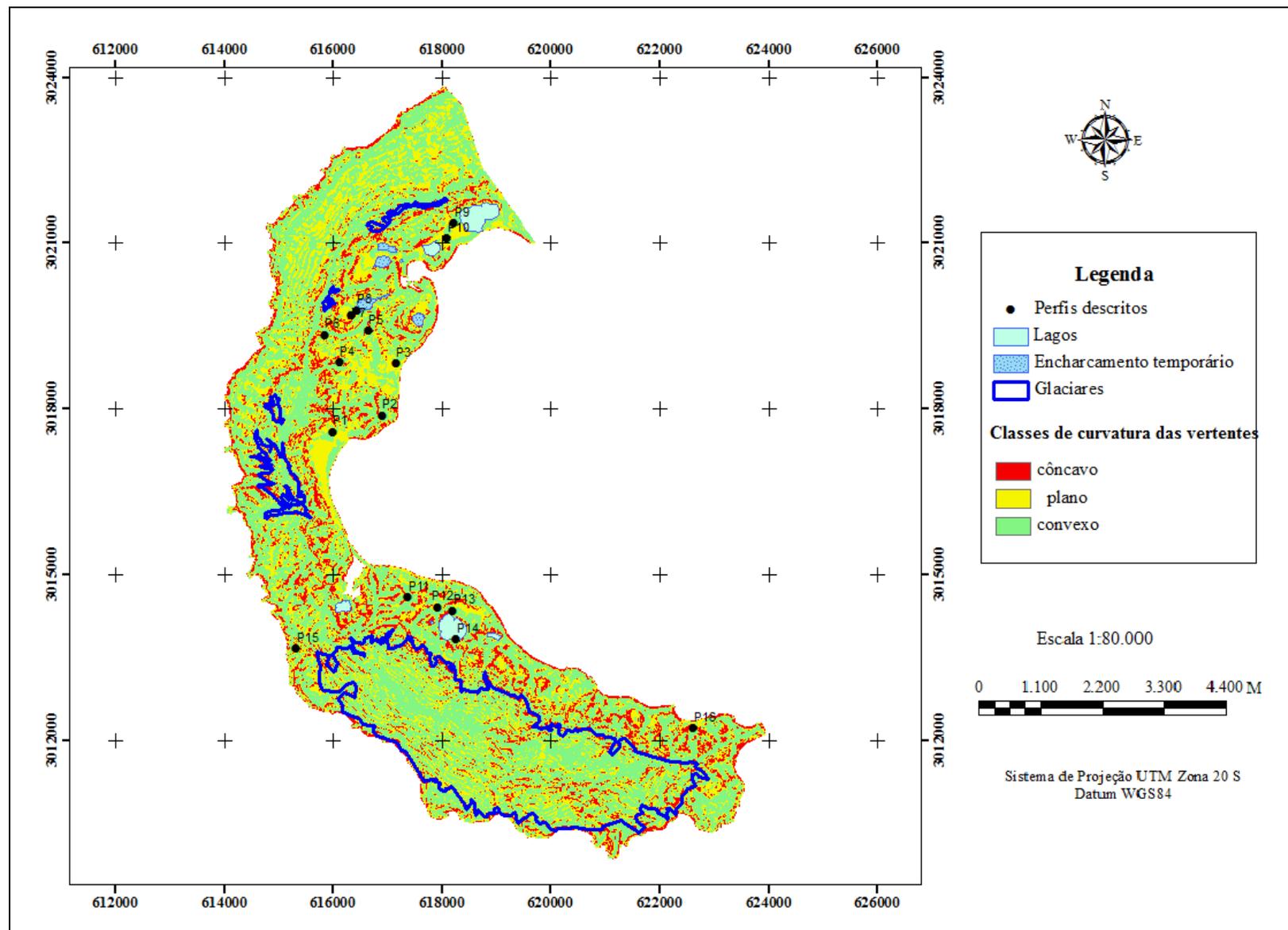
A maior parte da ilha, 49,7% (Tabela 10), apresenta curvatura convexa o que favorece a ocorrência de processos erosivos causados por neve ou água e a conseqüente remoção dos solos. As áreas côncavas, são observadas principalmente na costa interna da ilha (Figura 8) e constituem ambientes de acúmulo de água e sedimentos. As áreas planas se caracterizam pela maior estabilidade e se distribuem por toda a área de estudo.

**Tabela 10.** Curvatura das vertentes do setor oeste da Ilha Deception

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Côncavo	1.148,56	24,4
Plano	1.222,69	25,9
Convexo	2.350,16	49,7
<b>Total</b>	<b>4.704,3</b>	<b>100</b>



**Figura 7.** Mapa de classes de declividade do setor oeste da Ilha Deception, de acordo com o percentuais propostos pelo Guia para Descrição de Solos da FAO (2006).



**Figura 8.** Mapa de classes de curvatura das vertentes do setor oeste da Ilha Deception.

### 3.1.5 Faces de orientação das vertentes

Aproximadamente 4% da ilha está orientada para norte, noroeste e nordeste (Tabela 11), o que sugere uma maior insolação. Tais faces distribuem-se principalmente pelas porções noroeste e sudeste da ilha (Figura 9). No entanto, a porção noroeste apesar de receber maior insolação, está situada na costa externa. Assim, tal área apresenta uma diminuição de temperatura devido a presença de ventos muito fortes, o que aliado a forte declividade de algumas áreas, torna o ambiente inóspito para a colonização vegetal e a formação de solos mais desenvolvidos. Já a porção sudeste, além de receber maior insolação, encontra-se na costa interna da ilha, onde fica protegida de ventos fortes, o que pode favorecer um aumento local de temperatura. De acordo com as observações de campo, nesta porção da ilha os solos são mais desenvolvidos.

A região sudoeste recebe a menor insolação da área de estudo, pois suas vertentes estão voltadas principalmente para o sudoeste e sul. Este fato aliado à pequena extensão de área livre de gelo nesta região, fazem desta área um local com baixos níveis de formação de solo.

**Tabela 11.** Faces de orientação das vertentes do setor oeste da Ilha Deception

Faces de exposição	Área (ha)	Área (%)
Norte	648,5	13,7
Noroeste	743,37	15,8
Nordeste	600,3	12,7
Oeste	476,18	10
Leste	402,52	8,5
Sudoeste	699,66	14,9
Sudeste	541,48	11,4
Sul	609,35	13
Total	4.704,3	100

### 3.1.6 Albedo

As superfícies com baixo albedo localizam-se predominantemente na porção costeira da ilha (Figura 10) e ocupam 37,6% (Tabela 12) de sua área. Estes ambientes representam superfícies de coloração mais escura e são confirmadas pelas características litológicas de Deception, composta principalmente por material máfico. A classe de albedo médio distribui-se por toda a ilha e representa 21,2% de sua superfície. As áreas com alto albedo situam-se principalmente na borda dos glaciares e próximo aos divisores topográficos, ocupam 17% da ilha, sendo a classe de menor representação. As superfícies com albedo muito alto distribuem-se por 24,2% da ilha e constituem a superfície dos glaciares e campos de neve.

**Tabela 12.** Estimativa das classes de albedo do setor oeste da Ilha Deception

Classes	Área (ha)	Área (%)
baixo	1.768,2	37,6
médio	998,2	21,2
alto	799,6	17
muito alto	1.138,3	24,2
Total	4.704,3	100

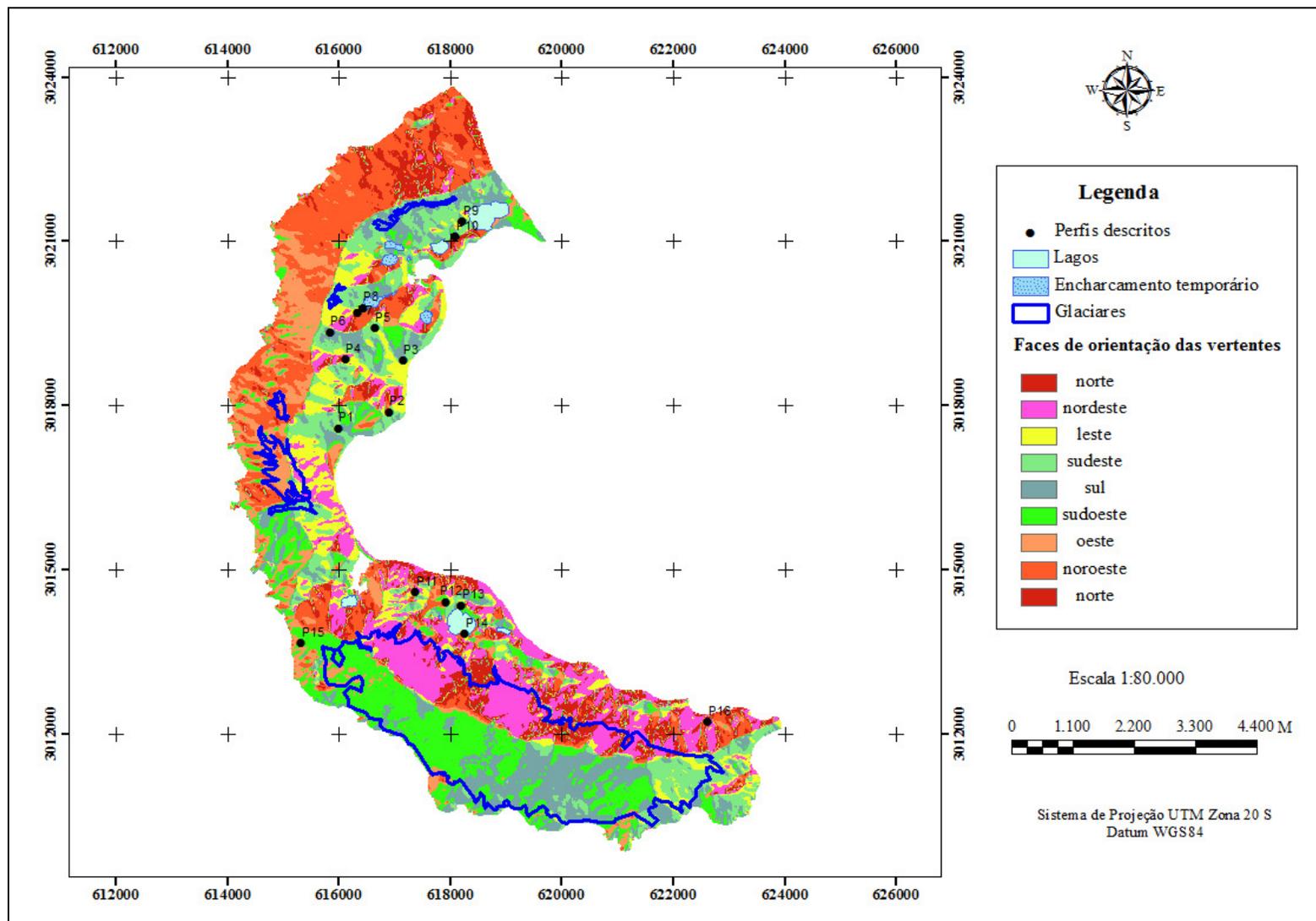
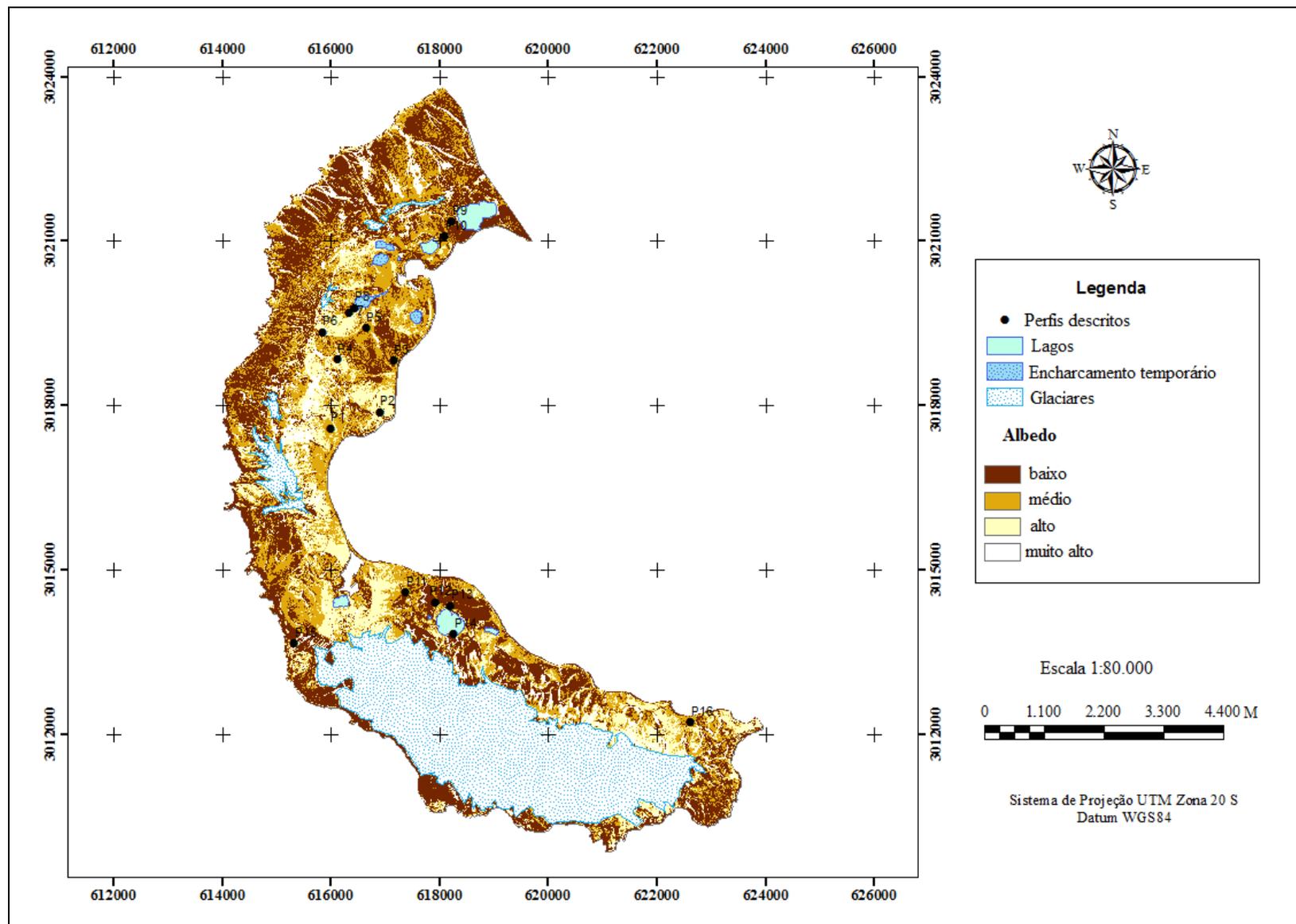


Figura 9. Mapa de faces de orientação das vertentes do setor oeste da Ilha Deception.



**Figura 10.** Mapa da estimativa das classes de albedo do setor oeste da Ilha Deception..

### 3.1.7 Modelo preditivo dos estágios de intemperismo dos solos

De acordo com o modelo proposto, os solos em estágio 1 ocupam 46% (Tabela 13). No entanto, a maior parte das áreas livres de gelo da ilha encontra-se em estágio de intemperismo maior, notadamente no estágio 2 (49,3%), o que se contrapõe aos estágios de intemperismo propostos pelo ANTPAS (2006), que classificam todos os solos de Deception no estágio 1. A área ocupada pelos solos em estágio 3 e 4 é significativamente reduzida, porém o simples diagnóstico de tais solos corrobora a necessidade de revisão dos parâmetros usados para classificação dos estágios de intemperismo dos solos da Antártica Marítima.

**Tabela 13.** Estágios de intemperismo dos solos do setor oeste da Ilha Deception, de acordo com o MPEIS

Estágio	Área (ha)	Área (%)
1	1.576,39	46
2	1.691,82	49,4
3	146,23	4,26
4	11,56	0,34
Total	3.426	100

Os solos em estágio 1 de intemperismo estão associados aos ambientes com declividade íngreme e muito íngreme, localizados em algumas áreas da costa externa da ilha, na proximidade dos glaciares e próximo ao topo do divisor topográfico na porção noroeste e central da área de estudo (Figura 11). Estes solos são encontrados principalmente entre as cotas 100 e 200m, e uma pequena parcela em cotas menores que 100m, notadamente nas áreas mais íngremes da costa externa. As maiores altitudes da ilha (>300m) estão ocupadas principalmente por glaciares, o que impede a formação de solo na maior parte da área ocupada por estas cotas.

Os ambientes nos quais tais solos se desenvolvem estão orientados em relação às faces norte e noroeste, o que sugere uma maior insolação. No entanto, os altos valores de albedo ocasionam a reflexão de grande parte da radiação recebida, contribuindo para um baixo aquecimento do solo. Tal fato aliado a alta declividade se reflete na diminuição da espessura do solo, favorecida pela remoção dos produtos recém intemperizados, através da ação da gravidade, vento chuva ou neve. A diminuição da espessura do solo de acordo com o aumento da altitude, declividade e albedo também foi observada na Antártica Continental, sendo relatada por Campbell & Claridge (2006) em estudo desenvolvido nas Montanhas Transantárticas.

Em relação à litologia estes solos distribuem-se principalmente por substratos que impelem resistência aos processos intempéricos, seja pela composição granulométrica (Baía Fumarola, pela recente exposição (Depósitos indiferenciados) ou por ambos (Pico Stonetrow, morainas).

Os solos em estágio 2 de intemperismo estão distribuídos por toda a área de estudo, (Figura 11). Dada a diversidade de ambientes na qual tais solos estão desenvolvidos, observam-se diferentes orientações das vertentes, com predomínio das faces nordeste, na porção sudeste da costa interna, e sul e sudeste na porção norte e central da mesma costa. Estes solos situam-se em ambientes que apresentam declividades que variam entre 2 e 30% , sendo classificados entre suavemente inclinados a moderadamente íngremes. Esta característica favorece a permanência dos produtos do intemperismo no perfil, oriundos de algum mecanismo pedogenético ou de processos de deposição, fato que aliado a um albedo médio, pode promover um maior aquecimento do solo quando comparado ao estágio anterior.

A amenidade da temperatura é influenciada pela baixa altitude que varia entre as cotas 0 e 100 m. Em relação a litologia estes solos distribuem-se principalmente pela formação Angra Pendulum, que oferece pouca resistência ao intemperismo, contribuindo para maior desenvolvimento dos solos comparado ao estágio anterior.

Os solos em estágio 3 são observados principalmente na costa interna da ilha, com algumas exceções notadamente na porção noroeste (Figura 11) e em algumas áreas da costa externa próximo a pingüineiras. Estes locais situam-se em cotas inferiores a 100m e apresentam declividades entre 1 e 15% com curvatura plana e côncava predominantemente o que favorece acúmulo de água e conseqüentemente os processos de intemperismo em um substrato litológico de baixa resistência (Formação Angra Pendulum, principalmente). Os intensos ciclos diários e sazonais de congelamento e descongelamento podem promover o arredondamento dos cascalhos presentes no solo, bem como provocar a sua orientação.

Tais ambientes estão orientados para a face norte, noroeste e nordeste, o que sugere uma insolação maior. Este fato, aliado a um baixo albedo contribui para um aumento local de temperatura, aumentando a fusão da camada ativa, cuja profundidade no verão pode atingir o topo do permafrost. A umidade e estabilidade do terreno estimulam a colonização vegetal. Tal fato, também foi observado na Península Keller, Ilha Rei Jorge, em estudo realizado por Francelino (2004) e em Cabo Hallet, em pesquisa desenvolvida por Brabyn et al. (2006).

A presença de avifauna também é comum nestas áreas, principalmente de lobos marinhos nas áreas de declividade mais suave e de pingüins nas áreas com maior declividade. A ação destes animais promove um maior enriquecimento químico do solo, o que favorece o desenvolvimento da vegetação e, conseqüentemente, o acúmulo de matéria orgânica e ao longo do tempo, a formação de uma incipiente estrutura no solo (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987).

Os solos em estágio 4 de intemperismo distribuem-se pontualmente pela área de estudo, todos em cotas inferiores a 100m, com baixo albedo em substrato pouco resistente. Apresentam valores de declividade e entre 0 e 15% e curvatura predominantemente côncava. Uma importante diferença entre este estágio e o anterior é oriunda do maior ou menor desenvolvimento da fauna e vegetação que contribuem para o acúmulo de matéria orgânica e uma maior distinção de horizontes pela espessura, agregação, etc. Além disso, a intensificação dos fatores que promovem o acúmulo de água no perfil o que se traduz no seu aprofundamento e na perspectiva de mais ciclos de congelamento e descongelamento favorece o processo pedogenético de crioturbação e crioexpulsão responsável pelo desenvolvimento de padrões no solo. Todas estas condições podem ser incitadas ainda pelo maior tempo de exposição aos agentes intempéricos.

A análise do mapa gerado demonstra que dentre os estágios de intemperismo propostos, os solos são mais desenvolvidos em ambientes de menor albedo e menor declividade, que promovem maior estabilidade e disponibilidade de umidade. Também existe uma tendência ao maior desenvolvimento dos solos com a diminuição da altitude, sendo os maiores níveis encontrados principalmente em cotas inferiores a 100 m. Além disso, a proximidade de colônias de animais e a presença de vegetação que provocam a deposição de matéria orgânica introduzem os organismos, como fator de formação dos solos antárticos, que embora não seja considerado um fator essencial, como ocorre nos ambientes tropicais, promove um maior desenvolvimento pedogenético (BOCKHEIM et al., 2006).

Os solos que se distanciam um pouco desta tendência, são resultado da combinação de uma série de fatores locais como face de orientação, curvatura das vertentes, radiação, etc., que promoverão características pedogenéticas únicas, que confirmam a impossibilidade de mensuração de toda a dinâmica da paisagem (ARNOLD, 1983).

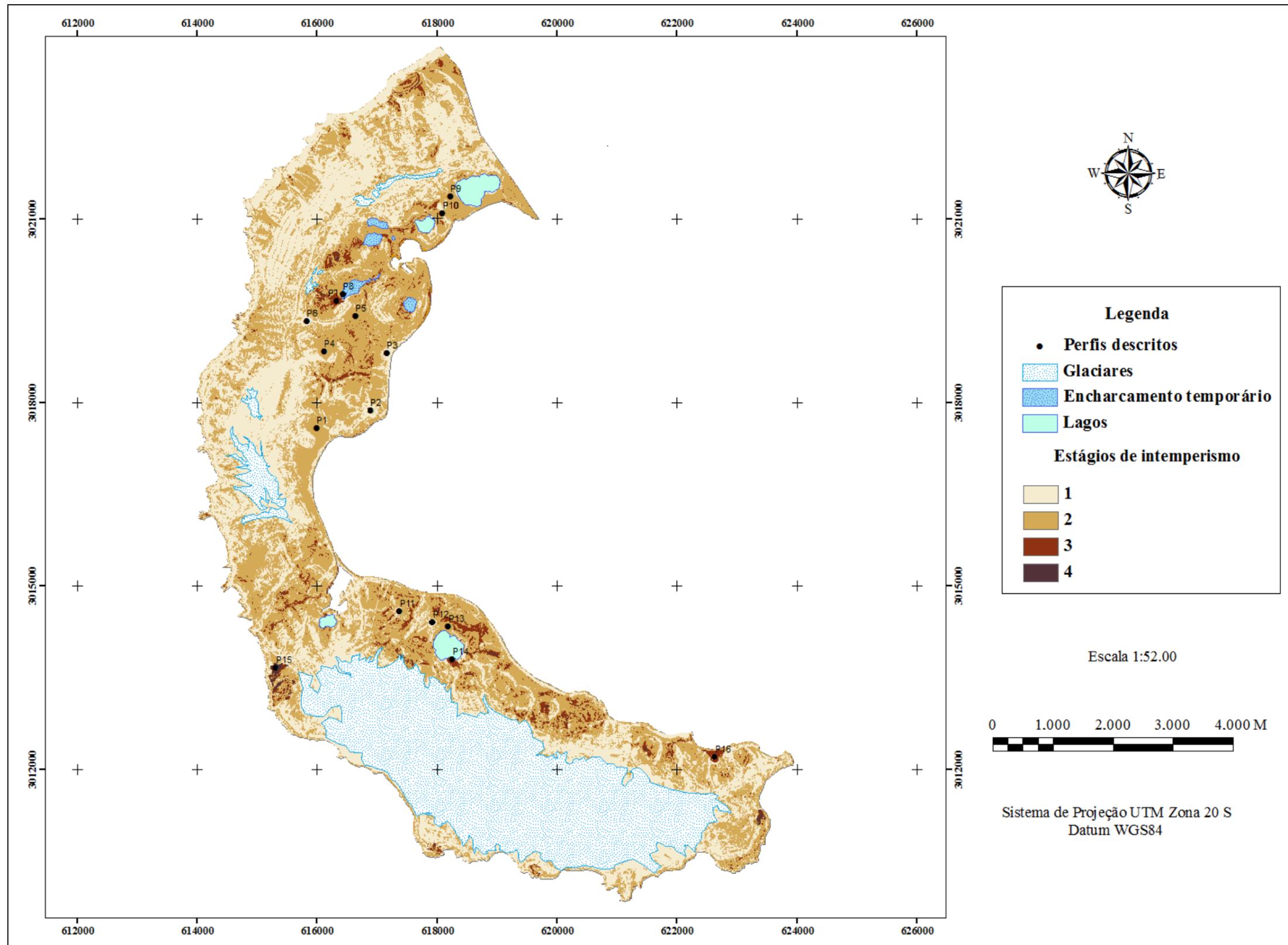


Figura 11. Mapa do Modelo Preditivo dos Estágios de Intemperismo do Setor Oeste da Ilha Deception.

## 3.2 Análise do Desenvolvimento dos Solos Estudados

Dentre os dezesseis perfis descritos, quatro foram classificados como estágio 1 de intemperismo, oito como estágio 2 e quatro como de estágio 3. Em Deception nenhum perfil foi enquadrado como estágio 4 de intemperismo, isso porque tal estágio exige características de desenvolvimento mais distintas favorecidas por determinadas condições ambientais, conforme descrito no item 3.1.7. Dada a extensão pontual destas condições na ilha, influenciada pelo caráter recente de seu substrato, a ocorrência destes solos não é representativa na área de estudo.

A classe dos Criossolos foi a mais representativa encontrada em catorze perfis. Dentre os perfis restantes, um foi classificado como Fluvissole e outro como Regossolo. A análise dos pedoambientes e das características morfológicas que demonstram o desenvolvimento dos solos descritos, são apresentadas a seguir. As figuras dos perfis e dos ambientes onde eles se situam, estão na Descrição dos Solos, em anexo.

### 3.2.1 Criossolos

De acordo com o WRB (2006) são classificados como Criossolos aqueles solos que apresentam camada de solo (cimentada ou não) com temperatura igual ou menor que 0°C por pelo menos dois anos consecutivos. A classe de Criossolos foi encontrada em toda área de estudo, em diferentes altitudes, posições na paisagem e materiais de origem diversos.

A diferenciação entre eles pautou-se nas variações texturais, evidências de crioturbação, condições de encharcamento, influência ornitogênica, percentual de frações grosseiras, etc., conforme descrito a seguir.

#### a) Túrbicos

São classificados em um segundo nível categórico como Túrbicos aqueles Criossolos que apresentam evidências de crioturbação, como horizontes quebrados, material misturado, cascalhos orientados, intrusões orgânicas, padrões no solo, etc. Apenas o perfil 4 foi classificado nesta classe.

#### ● Criossolo Túrbico (Episáltico) - Perfil 4

Este solo foi descrito em terço médio de encosta a 78m de altitude, com 20% de declividade, em curvatura convexa. O perfil (Figura 34 A e B) apresentou dois horizontes com textura mais fina que podem ser associados ao material de origem composto de depósitos de tufos e maars que são facilmente intemperizáveis, bem como pela existência de ciclos de congelamento e descongelamento que favorecem o mecanismo de transformação, responsável neste perfil pela diminuição do tamanho das partículas e pelo desgaste dos cascalhos, cuja maioria são subangulares. Estes ciclos também promovem a seleção e orientação das partículas no perfil, o que caracteriza o processo de crioturbação. A presença de um processo pedogenético neste solo está relacionada a maior insolação recebida diante da exposição à face nordeste, que indica um aumento de temperatura que favorece o degelo.

O primeiro horizonte apresenta apenas 5 cm e o segundo 45 cm. Este fato está relacionado à sua posição em terço médio da encosta, fato que associado a uma declividade classificada como moderadamente íngreme, favorece o mecanismo de perda de sedimentos para os compartimentos inferiores da paisagem. Assim, parte do solo que está em lenta formação é removida, diminuindo a espessura do horizonte superficial. Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 3.

## b) Hápticos

Dada as especificidades do ambiente pedogenético de Deception, a maior parte dos solos não puderam ser caracterizados dentro dos prefixos qualificadores indicados para a classe dos Criossolos, assim eles foram qualificados como Hápticos no segundo nível categórico. Para os sufixos a caracterização foi mais precisa, conforme apresentado a seguir.

### ● Criossolo Háptico (Ornítico) – Perfil 15

O perfil (Figura 45 A e B) está situado em terço médio de encosta em pingüineira abandonada a 50m de altitude, com 25% de declividade, curvatura côncava e face sudoeste.

A posição do perfil na paisagem sugere uma relativa perda de sedimentos. No entanto, tal fato é limitado, pois o solo está coberto por um extenso tapete de musgos, que protegem a superfície de erosão e mantêm o equilíbrio térmico, tornando a temperatura do solo mais elevada e mais constante, ainda que o solo esteja na face sudoeste. Tal fato também foi observado por Francelino (2004) e Bremer (2008) em estudos sobre a relação entre solos e vegetação na península Keller e na Península Warszawa, respectivamente.

A diferença textural entre os horizontes pode ser atribuída às adições e perdas de materiais em tempos geológicos anteriores. A presença de seixos dentro do perfil indica que o local serviu para nidificação de pingüins, representando o resto de ninhos, conforme descrito por Campbell & Claridge (1987).

Próximo a área onde o perfil foi descrito, observou-se a presença de uma colônia de pingüins que estavam trocando as penas. Foi possível verificar a atuação conjunta da fauna e vegetação para a formação dos solos (Figuras 12 e 13).

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 3.



**Figura 12.** Pingüins trocando as penas na Pingüineira Ponta de La Decobierta, próximo ao perfil descrito.



**Figura 13.** Pena de pingüim (destaque) depositada sobre musgo.

#### ● **Criossolo Háptico (Oxiáquico) - Perfil 7**

O perfil (Figura 37 A e B) está situado em depressão com encharcamento sazonal, a 20m de altitude, com 2% de declividade e curvatura plana. O solo apresenta um único horizonte de textura arenosa e cascalhenta e com a presença de mosqueados que demonstram o intemperismo de minerais primários facilmente intemperizáveis. A sua posição na paisagem sugere a adição de sedimentos e água de outros compartimentos da paisagem. No entanto, tais sedimentos são de material indiferenciado, com diferentes composições mineralógicas, embora de tamanho parecido. Tal característica faz com que o substrato mineral em que o solo se desenvolve apresente diferentes graus de intemperismo, o que pode ser evidenciado pela presença dos mosqueados acima mencionados.

O encharcamento sazonal, decorrente do aumento de temperatura devido à exposição à face nordeste e à posição de baixada, permite ciclos de congelamento e descongelamento sazonais que promovem o desgaste e arredondamento dos cascalhos presentes no perfil.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 1.

#### ● **Criossolo Háptico (Esquelético) - Perfil 2**

O perfil (Figura 32 A e B) foi descrito em um topo de morro a 98 m de altitude, com apenas 1% de declividade e curvatura convexa. O material de origem deste solo é autóctone, constituído de depósitos de tufos vulcânicos. Na superfície, é comum a presença de pedras angulares e o segundo horizonte do perfil apresenta um alto teor de cascalho. Estas características sugerem baixo grau de intemperismo físico do material de origem que é facilmente intemperizável.

O solo não apresenta nenhum desenvolvimento de estrutura, nem tampouco a presença de animais e colonização vegetal. A camada de solo congelada é rasa, encontra-se a 35cm, e sua estabilidade foi sugerida diante da granulometria mais grosseira do horizonte subjacente, que demonstra uma baixa frequência de ciclos de umedecimento e secagem causados pelo derretimento da camada congelada, o que, ao longo de muito tempo, provocaria a diminuição do tamanho das partículas do horizonte. Assim, diante de tal fato e pela sua baixa temperatura, tal camada foi classificada como permafrost.

A proximidade do permafrost da superfície do solo possivelmente está relacionada às baixas temperaturas em tal ambiente, inclusive no auge do verão, relacionadas à baixa insolação recebida pela exposição à face sul intensificadas pelo alto albedo, pelo aumento da altitude e pela constante atuação do vento.

Em média, a temperatura do ar diminui 0,5 °C a cada 100 m de altitude. Tal valor é bastante significativo, pois pode representar o limite entre o congelamento e a fusão do gelo presente na camada ativa, inibindo o processo de crioturbação. Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 1.

#### ● **Criossolo Háptico (Esquelético) - Perfil 5**

O perfil (Figura 35 A e B) foi descrito em terço superior de encosta a 115m de altitude, com 36% de declividade, curvatura convexa e face sudeste. O solo apresenta textura arenosa ao longo de todo o perfil e presença de cascalhos angulares, que caracterizam uma menor atuação do intemperismo físico dentro dos horizontes, devido a baixa frequência de ciclos de congelamento e descongelamento.

A altitude e a face de exposição sudeste indicam menor insolação e temperatura mais baixa que limitam a fusão do gelo, por isso o permafrost se mantém estável a 48 cm. A posição do solo na paisagem deveria ser traduzida em perda de sedimentos e, portanto diminuição da profundidade do perfil. No entanto, esse fato não foi observado.

Diante dos critérios estabelecidos neste trabalho para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 2.

#### ● **Criossolo Háptico (Esquelético) - Perfil 6**

O perfil (Figura 36 A e B) está localizado em terço superior de encosta a 190m de altitude, com 48% de declividade, em curvatura convexa na face sul. O solo é raso, apresentando apenas um horizonte, arenoso e com cascalhos angulares. O material originário é muito recente, produto autóctone de lavas estrombolianas de até 1969. O curto período de exposição aos agentes intempéricos, que já possuem uma ação reduzida em tal ambiente, limita o desenvolvimento deste solo.

O permafrost foi encontrado a 20 cm. Tais características estão relacionadas à posição na paisagem de ombreira. Tal compartimento geomorfológico caracteriza a existência de intenso mecanismo de perda de sedimentos por erosão, agravado pela curvatura convexa e pela declividade íngreme. Assim, a pequena atuação dos agentes intempéricos em tal ambiente é inibida pela constante remoção de material, seja por gravidade, vento ou precipitação na forma de chuva ou neve.

A grande altitude, a exposição à face sul e o alto albedo minimizam ainda mais a temperatura local, promovendo a estabilidade do permafrost. O processo pedogenético de crioturbação raramente se desenvolve, pois o degelo é pouco marcante. Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 1.

#### ● **Criossolo Háptico (Esquelético) - Perfil 9**

O perfil (Figura 39 A e B) está localizado em segundo nível de terraço marinho a 9m de altitude e com 5% de declividade, em curvatura plana, na face sul.

A sua posição na paisagem possibilita o acúmulo de água e sedimentos proveniente de outros compartimentos. A exposição à face sul reduz a quantidade de insolação, favorecendo a diminuição da temperatura e o congelamento. Assim os ciclos de gelo e degelo promovem o arredondamento das partículas existentes no perfil. No entanto, devido ao caráter deposicional

deste ambiente, também se observam cascalhos e pedras angulares enterradas no solo, sendo estas possivelmente de material mais resistente ou de deposição recente.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 1.

#### ● **Criossolo Háptico (Esquelético) - Perfil 12**

O perfil (Figura 42A e B) está localizado em terço superior de encosta a 70 m com 13 % de declividade, em curvatura convexa na face noroeste.

O solo é raso e arenoso com a presença de cascalhos angulares predominantemente. O solo situa-se em terreno ondulado (Figura 40) e com pequenas depressões, de profundidades e larguras decimétricas, que cobrem o terreno de forma contínua (MELO, 2009). Segundo esta autora, em Deception, esses terrenos são formados em locais onde ocorre um baixo isolamento térmico do permafrost devido a existência de uma fina camada de piroclastos, o que induz a fusão do gelo soterrado.

Essas informações são consistentes com a posição do perfil em ombreira na paisagem, que gera instabilidade da superfície ficando sujeita a perda de materiais facilmente removidos por ação da água, neve e vento e por isso, o solo não se aprofunda.

No entanto, tal fusão ocorreu no passado. Atualmente existe permafrost no local onde o solo foi descrito, o que não garante a sua continuidade ao longo do tempo, principalmente pelo possível aumento de temperatura local ocasionado pela exposição à face Nordeste.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 1.

#### ● **Criossolo Háptico (Esquelético) - Perfil 13**

O perfil (Figura 43 A e B) localiza-se em platô a 22m de altitude e com 8% de declividade.

Apesar da baixa altitude, o solo é raso, apresentando permafrost aos 30 cm. Isto pode ser explicado pela exposição à face sudoeste. Assim, apesar da posição no sopé da encosta há uma relativa escassez de água líquida dentro do perfil, dada a baixa temperatura. Isso interfere diretamente nos ciclos de congelamento e descongelamento que se tornam pouco frequentes, o que reflete no baixo grau de arredondamento dos cascalhos existentes no perfil, constituídos predominantemente de formas angulares.

Sobre a superfície ocorre um ralo tapete de musgos que adicionam pequena quantidade de matéria orgânica para o solo, o que, no entanto, ainda não condicionou a formação de estrutura e nem o aumento a formação de um horizonte A.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 2.

#### ● **Criossolo Háptico (Epiarênico) - Perfil 1**

O perfil (Figura 31 A e B) foi descrito em um terraço marinho, a 25 m de altitude, com declividade suave e curvatura plana. O perfil não apresenta desenvolvimento de horizontes que expressem a atuação de processo de formação do solo. A distinção de horizontes se efetua pela diferença textural que está relacionada à adição de sedimentos, devido a sua posição na paisagem entre um tálus e a praia. Os sedimentos classificados no mapa geológico da ilha como indiferenciados, são de natureza mineralógica e forma diversa, sendo transportados pela gravidade, vento e canais de degelo. Devido a sua proximidade da praia, no passado, o ambiente também pode ter recebido deposições marinhas. Isso pode ser evidenciado pela diminuição do teor de cascalhos em profundidade bem como pelo maior arredondamento destas frações, quando comparado aos horizontes superiores.

O solo apresenta camada cimentada aos 50 cm de profundidade, no entanto sem evidência de mistura de materiais ao longo do perfil o que sugere a ausência de crioturbação. Tal fato pode estar associado a menor insolação desse ambiente devido à exposição à face sul. Assim, mesmo no auge do verão, quando o solo foi descrito, não se verificou nenhum sinal de degelo e nem a presença de água na camada ativa, o que demonstra a estabilidade térmica da camada congelada. Por isso, apesar de não ter sido medida a temperatura ao longo de dois anos consecutivos, tal camada foi classificada como permafrost.

Diante dos critérios estabelecidos neste trabalho para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 2.

#### ● **Criossolo Háptico (Epiarênico) - Perfil 10**

O perfil (Figura 40 A e B) está situado em baixada a 4m de altitude e com 5% de declividade, em curvatura plana e na face norte.

Os horizontes deste solo são de textura arenosa, com a presença de cascalhos subangulares orientados aos 35 cm. No entanto, tal fato não indica o desenvolvimento do processo pedogenético de crioturbação, mas pode ser explicado pela adição de sedimentos ao perfil devido a sua posição na paisagem. A adição de sedimentos diferenciados se comprova pelas diferenças texturais entre os horizontes deposicionais.

A orientação junto à face norte promove maior insolação no ambiente, causando aumento de temperatura e da água líquida disponível. No inverno e outono a água se congela novamente, favorecendo o desgaste físico dos cascalhos dentro do perfil. Apesar disso, ainda se observam cascalhos angulares, provavelmente devido a maior resistência do material depositado.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 2.

#### ● **Criossolo Háptico (Epiarênico) - Perfil 14**

O perfil (Figura 44 A e B) classificado Criossolo Háptico (Epiarênico) está localizado em sopé da encosta a 4m de altitude, com 15% de declividade, em curvatura plana na face norte. A sua posição na paisagem sugere a adição de água e sedimentos. A orientação para a face norte torna as temperaturas locais mais amenas e favorece o degelo, tornando o ambiente mais úmido. A umidade e a estabilidade do terreno atraem fauna, representada por ninhais de skuas (Figura 14). Estes favorecem o estabelecimento de vegetação que juntamente com as a vegetação promovem o acúmulo de matéria orgânica no solo, formando um horizonte A que desenvolve também uma fraca estrutura.

Assim, neste perfil, além do mecanismo de adição ocorrem evidências de transformações tanto da matéria orgânica cuja decomposição é muito lenta, quanto do estado de agregação das partículas do horizonte A. Neste ambiente, onde as perdas são limitadas, o produto da degradação lenta do intemperismo se acumula, favorecendo o aumento da espessura do solo, que atinge o permafrost a 65 cm.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 3.



**Figura 14.** Presença de skuas e vegetação próxima ao Perfil 14.

● **Criossolo Háptico (Endoarênico) - Perfil 11**

O Perfil (Figura 41 A e B) localiza-se em moraina a 58m de altitude com 8 % de declividade, em curvatura convexa, na face oeste.

Na superfície do solo é comum a presença de pedras angulares e no perfil de textura arenosa, também existem pedras e cascalhos angulares, o que demonstra um baixo intemperismo destas frações. A localização do ambiente na face oeste indica um nível razoavelmente alto de radiação que promove o aumento de temperatura e o degelo da camada ativa. A presença de permafrost impede com que as partículas sejam carreadas, favorecendo a acumulação dos incipientes produtos intempéricos no próprio perfil, que se apresenta profundo, com permafrost sendo encontrado aos 75 cm.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 1.

● **Criossolo Háptico (Episiltic) - Perfil 16**

O perfil 16 (Figura 46 A e B) está localizado em terraço marinho a 23m de altitude em lobeira ativa, com 26% de declividade e curvatura linear, na face norte.

A sua posição na paisagem sugere adição de sedimentos indiferenciados das encostas e estabilidade ao carreamento dos mesmos. A exposição da vertente voltada para a face norte permite com que as temperaturas médias sejam mais elevadas, o que influencia o degelo, intensificando a umidade do solo. Na superfície do solo, ocorre a colonização de musgos, atraídos pela estabilidade, umidade e enriquecimento do sítio pela ação de lobos marinhos que depositam seus dejetos, pêlos (Figura 15), etc. A presença de matéria orgânica favoreceu a formação de uma fraca estrutura no solo, demonstrando o seu maior desenvolvimento. O permafrost foi encontrado a 59 cm, No entanto a presença de uma camada siltosa aos 45 cm sugere que o seu topo já foi mais alto, o que provocou o desgaste físico de tal material.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 3.



**Figura 15.** Pêlo de lobo sobre musgo no pedoambiente do perfil 16.

### 3.2.2 Fluvissoles

De acordo com o WRB (2006) são classificados como Fluvissoles aqueles solos que recebem sedimentos lacustres, fluviais ou marítimos, apresentando estratificação de camadas que se iniciam nos primeiros 25 cm do solo e atingem profundidades de 50cm ou mais. Tal classe de solo foi descrita em apenas um perfil, apresentado a seguir.

#### • Fluvissole Háptico (Arênico) - Perfil 3

O perfil (Figura 33 A e B) está localizado em terraço marinho a 9 metros de altitude, com 4% declividade, em curvatura plana, na face sudeste. O solo recebe sedimentos de diversas encostas, trazidos principalmente por água de canais glaciofluviais no período do verão (Figura 16). Além disso, ocorre deposição de materiais pelo vento e gravidade na superfície do terreno, que traz a falsa impressão do desenvolvimento de padrões poligonais neste solo (Figura 17). A padronização do solo está relacionada a presença de permafrost e a um intenso processo de crioturbação que rearranja as partículas mais finas e mais grosseiras do solo. Tal processo não pode ocorrer neste perfil, pois o solo está situado em um ambiente com atividade geotermal, fato comprovado pelo aumento da temperatura do solo em profundidade (vide a descrição dos solos, em anexo).

A textura ao longo de todo perfil é arenosa, com pequenas variações no percentual de areia e cascalho entre os horizontes que refletem o caráter deposicional de tais horizontes. Os cascalhos existentes no perfil são principalmente subangulares, o que sugere a existência de intemperismo físico causado pelo transporte dos sedimentos até o perfil e não por processo pedogenético.

Diante dos critérios estabelecidos neste trabalho para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 2.



**Figura 16.** Canal glaciofluvial próximo ao perfil 3.



**Figura 17.** Superfície do perfil 3.

### **3.2.3 Regossolos**

De acordo com o WRB (2006) são classificados como Regossolos aqueles solos que não se enquadram em nenhum dos Grupos de Referência para o primeiro nível categórico. Tal classe de solo foi descrita em apenas um perfil, apresentado a seguir.

#### **• Regossolo Háptico (Oxiáquico) – Perfil 8**

O perfil (Figura 38 A e B) classificado como Regossolo Háptico (Oxiáquico) está localizado em depressão com enchimento sazonal, constituindo o fundo de uma cratera a 12m de altitude com 4% de declividade, em curvatura linear, na face sudeste.

O solo apresenta dois horizontes bem distintos, decorrentes de processos deposicionais. O primeiro tem textura mais fina, com um teor de argila bastante significativo para os solos Antárticos, demonstrado pela sua resistência à penetração e por rachaduras no solo, típicas da presença de argilominerais 2:1 (Figura 18). Os constantes ciclos de

umedecimento e secagem favoreceram a formação de estrutura neste horizonte que é caracterizado pela presença dos mecanismos de adição e transformação das partículas que aos poucos foram formando agregados e desenvolvendo estrutura. Tal característica de maior umidade deve-se a posição de “toeslope” (Figura 32) que favorece a adição de materiais.

Diante dos critérios estabelecidos para a classificação dos níveis de intemperismo para os solos da Antártica Marítima, este perfil encontra-se no estágio 2.



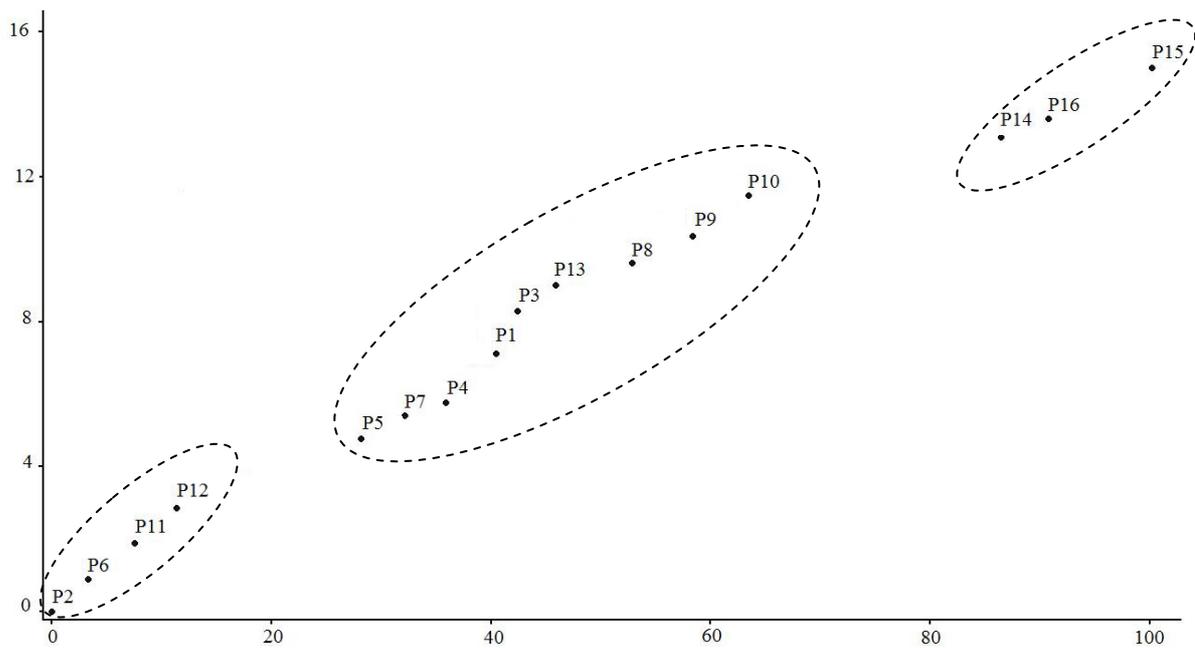
**Figura 18.** Superfície do perfil 8, onde se destacam as rachaduras.

### 3.3 Validação do Modelo Proposto

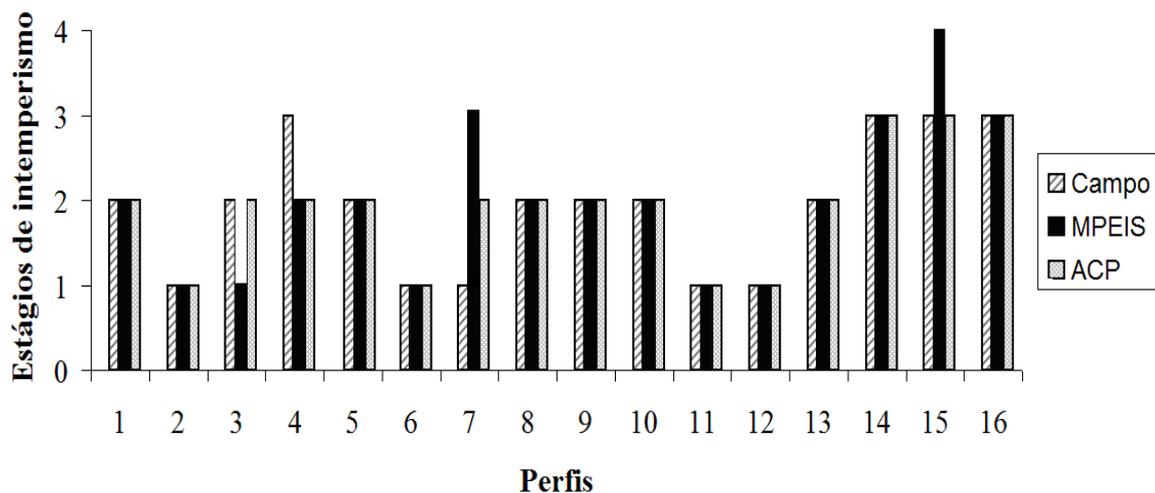
Através da ACP, gerou-se uma escala de intemperismo entre os perfis descritos, sendo aqueles situados mais próximos de zero (0) os menos desenvolvidos e os mais próximos de cem (100) os mais desenvolvidos. Neste gráfico (Figura 19) identificam-se três grupos, em nível mínimo, médio e máximo. Supondo-se que estes grupos correspondam aos estágios 1, 2 e 3 utilizados na descrição de campo, apenas os perfis 4 e 7 não foram classificados corretamente pela ACP, o que revela a confiabilidade desta análise.

A comparação entre as informações sobre os estágios de intemperismo levantadas pelo MPEIS, com a descrição morfológica de campo e com a ACP demonstra que dentre os dezesseis perfis, quatro tiveram variações de classificação, sendo estes os perfis 3, 4, 7 e 15 conforme apresentado na Figura 20.

O perfil 4 foi classificado no campo como de estágio 3, no entanto pelo MPEIS e na ACP esse perfil teve seu grau de desenvolvimento subestimado. Isso ocorreu porque tanto a ACP quanto o MPEIS foram baseadas apenas nas condições ambientais do perfil, enquanto a descrição de campo baseou-se nas características morfológicas, sendo a orientação dos cascalhos e a existência de formas subangulares os principais atributos para o enquadramento deste solo neste estágio. Como o MPEIS atribui maior nível de intemperismo para aqueles solos que apresentam fatores com maiores pesos, como por exemplo, fauna e vegetação, os solos que não apresentam tais condições são classificados em um estágio menor.



**Figura 19.** Escala de intemperismo entre os perfis descritos, gerada pela ACP.



**Figura 20.** Comparação entre os estágios de intemperismo do Modelo Preditivo, ACP, e o observado no campo.

Já a diferença em relação à ACP ocorreu porque nessa análise às condições de cada perfil sintetizadas nos eixos 1 e 2 foram comparadas entre si. Assim, solos com ausência de determinada condição podem ser diagnosticados como possuidores de grau de desenvolvimento mínimo, quando confrontados a outros solos que apresentam tal condição.

O perfil 7 foi classificado no campo como estágio 1 de intemperismo devido principalmente a forte herança do material de origem, representada pela presença de mosqueados. Tal característica não pode ser detectada pelo MPEIS e pela ACP, que diante das variáveis ambientais analisadas, enquadraram este perfil no estágio 3 e 2 de intemperismo, respectivamente (Figura 20). No entanto, na ACP apesar deste solo ter sido classificado no estágio 2, dentro deste grupo, este perfil ocupa a segunda menor posição, sendo um dos que mais se aproxima do nível baixo ou estágio 1.

Em relação ao Perfil 3, tanto a descrição de campo quanto a ACP o enquadraram no estágio 2. Já O MPEIS o enquadrado e classificou como estágio 1. Este fato deve-se as limitações da metodologia de atribuição de pesos, pois este perfil está localizado em um substrato indiferenciado, de recente exposição aos agentes intempéricos. Como a este substrato atribuiu-se baixo peso dentro da variável litologia a qual foi atribuída peso 2, o parâmetro substrato subestimou o desenvolvimento deste solo.

Em relação ao perfil 15, a descrição de campo e a ACP identificaram o estágio 3 de intemperismo e o MPEIS identificou o estágio 4 (Figura 20). Isto ocorreu devido a uma questão conceitual na qual para um solo ser enquadrado em estágio 4 (o mais avançado para a Antártica Marítima) é necessário apresentar maior intensidade de processos pedogenéticos, o que interfere diretamente nas características morfológicas de agregação, espessura de horizontes com acúmulo de matéria orgânica, forma dos cascalhos, etc. Assim, neste perfil, apesar de existirem condições ambientais favoráveis, essas características ainda não se manifestaram. Em relação à ACP, apesar da diferença de classificação em relação ao MPEIS, dentre os solos analisados, este perfil foi considerado o mais desenvolvido, conforme pode ser observado na Figura 53.

Dentre os perfis analisados, entre os estágios de intemperismo indicado pelo MPEIS houve uma sobreposição de 75% e pelo atribuído na descrição de campo e de 87,5% pelo apontado pela ACP. As diferenças ocorreram nos perfis em que foram consideradas características não avaliadas pelo Modelo Preditivo, o que sugere que a metodologia proposta neste trabalho é válida.

## 4 CONCLUSÕES

De acordo com o modelo proposto, a maior parte dos solos do setor oeste da Ilha Deception encontra-se no estágio 2 (49,4 %), sendo seguida de perto pelo estágio 1 que ocupa 45% da área. A área ocupada pelos solos em estágio 3 e 4 é significativamente reduzida, com 4,26% e 0,34%.

A análise dos pedoambientes demonstra que dentre os estágios de intemperismo propostos, os solos são mais desenvolvidos em ambientes de menor albedo e menor declividade, que promovem maior estabilidade e disponibilidade de umidade. Somam-se a estas variáveis a proximidade de colônias de animais e a presença de vegetação que promovem a deposição de matéria orgânica nos solos e permitem o desenvolvimento de estrutura, caracterizando um aprofundamento da evolução pedogenética.

A comparação entre os estágios de intemperismo indicados pela descrição de campo com o Modelo Preditivo e com a ACP revelou resultados idênticos em 75% e 87,5% dos perfis analisados, respectivamente, o que valida a metodologia proposta neste trabalho. No entanto, a descrição de maior número de perfis e o uso de novas variáveis no modelo como a radiação difusa e a atividade geotermal podem tornar os resultados e sua validação mais precisos.

A proposição de novos níveis de intemperismo para a Antártica Marítima foi fundamental para melhor caracterização dos solos do setor oeste da Ilha Deception, refletindo a variabilidade dos pedoambientes nos quais tais solos se desenvolvem.

Os parâmetros de intemperismo atribuídos neste estudo poderão ser utilizados por outros pesquisadores, bem como servir de base para outros Guias a serem elaborados pelo ANTPAS, contribuindo para aperfeiçoamento das pesquisas pedológicas nessa região.

## **CAPÍTULO II**

# **USO DO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO PERMAFROST EM DECEPTION, ANTÁRTICA**

## RESUMO

Os objetivos deste capítulo foram apresentar e analisar os dados do primeiro ano de utilização do GPR na Ilha Deception visando fornecer informações iniciais a respeito da profundidade do permafrost e da camada ativa, bem como de sua distribuição ao longo de três sítios selecionados na seqüência de um gradiente topográfico. Para tal, foi utilizado Radar de Penetração no Solo modelo TerraSIRch SIR-3000, com antenas de frequência central de 200 e 900 MHz. Foram realizadas três varreduras em cada sítio, com linhas de 30m de comprimento nos locais 2, 3 e 120 de comprimento no sítio 1, sendo 1m a distância entre as linhas de varredura. A profundidade do permafrost e da camada ativa foi avaliada de forma contínua ao longo do transecto. O sítio 1, a 25 m de altitude, apresentou padrão irregular e descontínuo sendo observado permafrost encaixado entre estruturas sedimentares na proximidade do Tálus e o seu desaparecimento na proximidade da praia. O sítio 2, a 78 m de altitude, também apresentou padrão irregular e descontínuo, sendo verificada a quebra de horizontes ao longo do transecto o que caracteriza crioturbação, além da presença de água livre o que representa degradação do permafrost. O sítio 3, a 115 m de altitude, apresentou permafrost regular e contínuo, atingindo profundidades entre 45 e 70 cm. Sob o aspecto altitudinal, observou-se também uma tendência a um comportamento irregular e desaparecimento do permafrost com a diminuição da altitude. A antena de 200 MHz permitiu a identificação de refletores e a visualização do comportamento das camadas mais profundas do solo, mas não foi capaz de detectar a interface entre o solo congelado e descongelado. A antena de 900 MHz foi mais adequada para auxiliar no monitoramento do permafrost e da camada ativa, pois foi capaz de registrar a profundidade do topo do permafrost, a sua subsidência e o seu comportamento irregular ou contínuo. Esta antena também foi útil para analisar a camada ativa, através da identificação clara dos cascalhos, canais de degelo e subsidência do permafrost. O radar de penetração no solo constitui um instrumento eficaz para a determinação da interface entre o solo descongelado e o permafrost, permitindo o seu monitoramento em face às mudanças climáticas.

## ABSTRACT

The objectives of this chapter were to present and to analyze the data from the first year of use of GPR in Deception Island to provide initial information about depth of permafrost and the active layer, as well as their distribution in three selected sites following a topographic gradient. For that purpose, a Ground Penetrating Radar TerraSIRch model SIR-3000 was used, with central frequency antennas of 200 and 900 MHz. There were performed three scans at each site, with lines 30 m long at sites 2, 3 and 120 m at site 1, spaced apart in 1 m between the scan lines. The depth of permafrost and the active layer was recorded continuously along each transect. The site 1, at 25 m altitude, showed irregular and discontinuous permafrost interlayered between sedimentary structures in the vicinity of a talus, and gradually disappearing towards the beach level. At site 2, located at 78 m a.s.l., also showed irregular and discontinuous pattern, with broken horizons along transect, indicating strong cryoturbation, besides presence of free water indicating degradation of the permafrost. The third site, at 115 m of altitude, showed regular and continuous permafrost, reaching depths from 45 to 70 cm. For altitudinal variation, a tendency of erratic occurrence of permafrost, and its disappearance with decreasing altitude was observed. The 200 MHz antenna allowed the identification of reflectors and visualization of soil deep layers pattern, but was not able to detect the interface between frozen ground and thawed soil. The 900 MHz antenna was best suited to assist in monitoring permafrost and the active layer, since it was able to register the depth of permafrost top, its subsidence and its pattern if erratic or continuing. This antenna was also particularly useful for analyzing the active layer, through the identification of gravel deposition, permafrost thawing and subsidence. The ground penetrating radar was an effective tool for determining the interface between thawed soil and permafrost, allowing its monitoring in the face of climate changes.

## 1 INTRODUÇÃO

O permafrost é um dos principais fatores controladores da dinâmica dos ecossistemas terrestres da Antártica Marítima, sendo a sua caracterização de extrema importância para essa região que apresenta temperatura mais elevada que outras partes da Antártica, o que a torna muito sensível às mudanças climáticas (VIEIRA et al., 2010).

Apesar disso, as pesquisas sobre o permafrost na Antártica, no que tange o seu estado térmico e evolução, características físicas, relações pedológicas, hidrológicas e geomórficas, têm sido restritas quando comparadas a outras regiões da criosfera como o Ártico (BOCKHEIM et al., 2008). A única exceção se resume ao McMurdo Vales Secos, onde pesquisas substanciais têm sido desenvolvidas ao longo das últimas décadas (CAMPBELL et al., 1994; MCKAY et al., 1998; CAMPBELL et al., 2000; BEYER et al., 2000; GUGLIELMIN, 2006; CAMPBELL & CLARIDGE, 2006; BOCKHEIM et al., 2007; ADLAM, 2010).

Diante disso, o ANTPAS e o SCAR criaram um programa de monitoramento denominado Camada Ativa Circumpolar (“Circumpolar Active-Layer” - CALM). Este se constitui em um esforço coordenado para monitorar o regime térmico do solo diante das mudanças climáticas através da análise das propriedades térmicas do permafrost e da dinâmica da camada ativa, em toda a Antártica (BOCKHEIM, 1995). Em contribuição a este esforço o projeto Criossolos Austrais do Programa Antártico Brasileiro, ao qual este trabalho está vinculado, vem instalando uma rede de sítios de monitoramento do permafrost e da camada ativa nas principais áreas livres de gelo da Antártica Marítima.

Na Ilha Deception, Arquipélago Shetland do Sul, já existem dois sítios de monitoramento do permafrost, um do Programa Antártico Espanhol, desenvolvido por López-Martinez (1996) e outro pelo Programa Antártico Português, iniciado por Melo (2009). Tal monitoramento está sendo realizado através da instalação de sensores de temperatura e umidade e através de sondagem mecânica em pontos selecionados.

O Radar de Penetração no Solo (“Ground Penetrating Radar” - GPR) também se apresenta como um equipamento capaz de avaliar o comportamento do permafrost e da camada ativa nesta região. Este método de investigação detecta as mudanças abruptas das propriedades dielétricas dos materiais, registrando de forma contínua a interface entre o solo descongelado e o congelado. Assim permite a visualização do comportamento destas camadas ao longo de um transecto, não se limitando a obtenção de dados pontuais. Tal método já foi utilizado com sucesso em outras regiões que apresentam permafrost, conforme estudos desenvolvidos por Doolittle et al. (1990); Arcone et al. (1998); Hinkel et al. (2001); Moorman et al. (2003) e Wu et al. (2005).

Os objetivos deste trabalho foram apresentar e analisar os dados iniciais do padrão e profundidade do permafrost e da camada ativa, bem como de sua distribuição ao longo dos sítios selecionados na Ilha Deception, utilizando GPR. Espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam contribuir para o monitoramento do comportamento do permafrost e da camada ativa na Ilha Deception frente às mudanças climáticas.

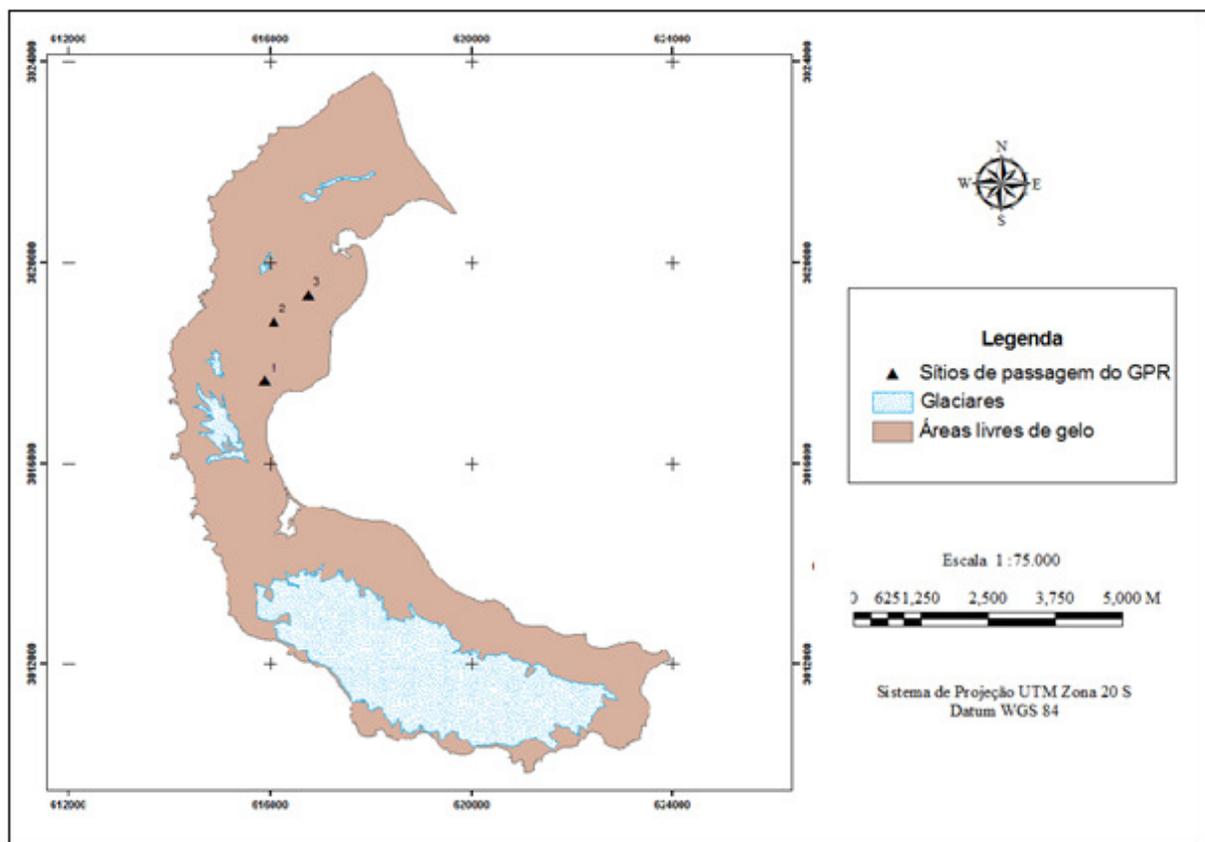
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

Diante das limitações temporais e logísticas inerentes às pesquisas realizadas na Antártica, representadas pelas súbitas e constantes alterações das condições atmosféricas e pela dificuldade de deslocamento, foi necessário eleger dentro do setor oeste uma área que representasse as variações de profundidade e distribuição do permafrost e que se localizasse nas proximidades do acampamento.

De acordo com Hinkel et al. (2001) o permafrost e a espessura da camada ativa são influenciados pela posição topográfica, cobertura da superfície e pelas propriedades do solo. Assim na seleção dos sítios para varredura com radar optou-se por considerar apenas a variação altitudinal, mantendo-se as outras variáveis constantes de forma a compreender a importância da topografia para a distribuição do permafrost. Por isso foram evitadas áreas com cobertura superficial de musgos, *Deschampsia* e líquens e áreas próximas de pontos de nidificação ou de repouso e/ou alimentação de qualquer animal, o que também minimizou qualquer tipo de impacto ambiental. Além disso, foram buscados locais livres de gelo e neve, pois de acordo com Munroe et al. (2007), a espessura variável de neve na superfície do terreno diminui a precisão das interpretações de profundidade de alcance dos sinais de GPR.

Diante disso, o trabalho com GPR foi desenvolvido em três sítios que atenderam todos os critérios e possuem variação altitudinal de 115, 78 e 25 m. O sítio 1 está localizado na Baía das Fumarolas e os outros dois localizam-se nas proximidades desta Baía (Figura 21).



**Figura 21.** Localização dos sítios de passagem do GPR

## **2.2 Caracterização dos Sítios**

A caracterização do pedoambiente de cada sítio foi descrita no item 3.2.1 do capítulo I, os sítios 1, 2, 3 correspondem aos perfis 1, 4 e 5, respectivamente. Em cada sítio foi aberto um perfil de solo, onde foi realizada descrição de acordo com o Guia para Descrição, Amostragem, Análise e Classificação de Solos da Região Antártica (ANTPAS, 2006) e classificação de acordo com o WRB (FAO, 2006), porém nenhuma amostra foi coletada para análise, conforme justificava descrita no item 2.2 do Capítulo I.

A descrição das características morfológicas do perfil tais como: granulometria dos horizontes, presença ou ausência de crioturbação, quantidade de cascalhos, profundidade do permafrost etc., foi utilizada para calibrar o levantamento com GPR e amparar a interpretação dos resultados.

## **2.3 Radar de Penetração no Solo**

Foi utilizado Radar de Penetração no Solo modelo TerraSIRch SIR-3000, com antenas de frequência central de 200 e 900 MHz. O equipamento foi programado para detectar 512 amostras por traço, 16 bits por amostra e alcançar em sua prospecção 125 e 17,5 nanossegundos, para cada antena, respectivamente. As antenas foram orientadas perpendicularmente à direção dos perfis.

Os dados foram coletados de maneira contínua, sendo as antenas montadas sobre um trenó transportado manualmente. Para a geração dos radargramas, foram realizadas três varreduras em cada sítio. No sítio 1 as varreduras foram realizadas no modo distância em linhas de 120 m de comprimento. Nos sítios 2 e 3 as linhas foram avaliadas no modo tempo em linhas de 30 metros de comprimento, sendo 1m a distância entre as linhas de varredura em todos os sítios.

## **2.4 Registro com GPS das Linhas de Varredura com GPR**

As linhas de varredura foram registradas utilizando GPS Diferencial (DGPS) de alta precisão geométrica ( $\pm 10$  cm de erro), modelo PROMARK II, cujos dados foram pós-processados no programa “Ashtech Solutions” 2.6, permitindo posterior espacialização dos dados obtidos sobre base pré-existente, além de possibilitar avaliação futura da ocorrência ou não de subsidência nos locais selecionados devido ao descongelamento do permafrost.

## **2.5 Processamento dos Radargramas**

O processamento e interpretação dos radargramas foram realizados no “Advanced Radar Data Analysis” (RADAN 6.6), programa fornecido pelo próprio fabricante do GPR. Não existe um padrão de procedimentos que devem ser seguidos para o processamento dos resultados, assim diante da qualidade dos dados obtidos no que se refere à relação sinal/ruído, foram realizados vários processamentos em cada radargrama, para destacar as superfícies em estudo e minimizar ruídos na obtenção dos radargramas.

Para cada radargrama e sítio, foram feitos os seguintes procedimentos. Inicialmente, foi feita a correção de posição (ajuste de off-set) para zero, para ajustar a onda direta emitida pelo GPR com a superfície do solo. Após este procedimento foi efetuada a normalização de distância para os radargramas dos sítios 2 e 3, que foram gerados no modo tempo. Em seguida, os sinais obtidos foram convertidos para o campo de frequência, onde se observou o intervalo do espectro em que a maior parte do sinal estava concentrada. Este passo foi necessário para a seleção do filtro a ser aplicado em cada radargrama, assim optou-se pelo

Filtro de Impulso Finito (FIR) que permite filtrar as frequências selecionadas sem deslocar as reflexões no tempo ou na posição (GSSI, 2008).

Para o procedimento de filtragem foram selecionadas frequências que variaram entre 100 e 400 MHz para os dados obtidos pela antena de 200 MHz e entre 300 e 1600 MHz para a antena de 900 MHz. Como o uso de filtro diminui a energia do sinal, foi aplicado ganho linear de valor 2 pontos, amplificando o sinal de baixa e alta amplitude. Para retirar o ruído paralelo aplicou-se o “Background Removal” nos radargramas obtidos com a antena de 200 MHz.

A conversão de tempo (nanossegundos) para profundidade (metros) foi realizada pela calibração de um refletor com profundidade conhecida, metodologia usada com sucesso por Hinkel et al. (2001). O procedimento consistiu na medição do tempo de viagem do permafrost no radargrama e cálculo da velocidade de propagação do sinal, através da equação:

$$V = 2d / t$$

Esta equação descreve a relação da média da velocidade ( $v$ ) de propagação do sinal a uma profundidade ( $d$ ), pelo tempo ( $t$ ) de viagem para um refletor. A calibração consistiu em comparar o tempo das reflexões nos perfis de radar com as profundidades medidas para o permafrost. Assim, estimou-se a velocidade de propagação do pulso e foi estabelecida uma escala de profundidade no radargrama.

As velocidades de propagação estimadas foram de 0,13 m/ns para os sítios 1 e 3 e de 0,12 para o sítio 2. Estes valores são comparáveis aos obtidos por Arcone & Delaney (1984), Hinkel et al. (2001) e Travassos et al. (2008) que usaram o GPR em área de permafrost.

Na última parte do transecto do sítio 1, avaliada com ambas as antenas, correspondente a posição entre 90 e 120 metros, não foi feita a conversão de tempo para profundidade, pois foi identificada uma camada úmida que alterou a velocidade de propagação do sinal, diminuindo a capacidade de penetração, o que tornou a escala de profundidade estabelecida inválida para este trecho.

Nos radargramas gerados pela antena de 900 MHz efetuou-se uma migração através da seleção de hipérboles cujas velocidades variaram entre 0,11 e 0,13m/ns.

A correção de topografia foi aplicada em todos os radargramas, com base nos dados de altitude obtidos pelo GPS diferencial. Finalmente, foi realizada a transformação de cor e indicou-se um novo ganho, mas apenas de visualização, o que promoveu maior contraste entre as reflexões e facilitou a interpretação dos resultados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

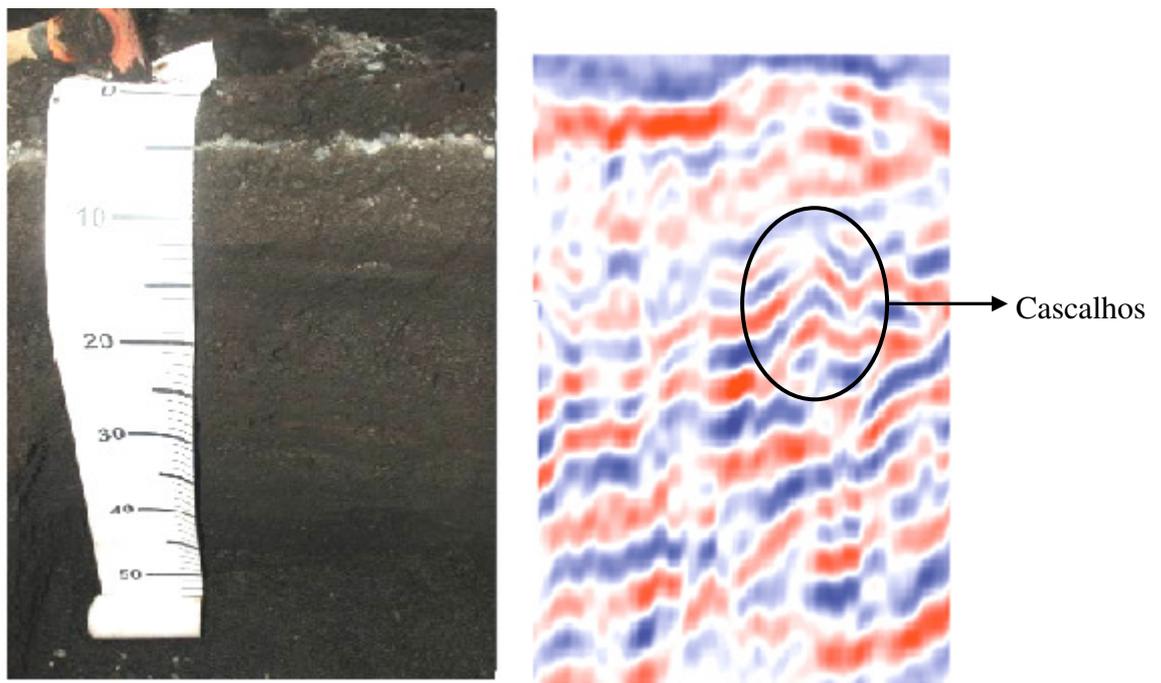
#### 3.1 Sítio 1: Terraço Marinho

O solo localizado em terraço marinho foi classificado como Haplic Cryosol (Epiarenic) segundo o sistema WRB (2006), apresentando camadas diferenciadas em profundidade e textura expedita variando de areia a franco arenosa, sendo todas cascalhentas.

No trecho do transecto correspondente ao perfil 1, no radargrama gerado pela antena de 900 MHz (Figura 22) observam-se hipérbolas angulosas que indicam a presença de cascalhos. Neste trecho o topo do permafrost encontra-se aos 50 cm.

A presença de camadas diferenciadas com constantes dielétricas distintas gera fortes refletores que foram registradas nos radargramas das antenas de 900 e 200 MHz como linhas de contrastes claros acima do permafrost (Figuras 23, 24 e 25 A e B). Nessas camadas observa-se a presença de seixos e cascalhos registrados como pequenas hipérbolas ao longo de todos os três primeiros trechos do transecto.

Nos radargramas gerados com a antena de 900 MHz os refletores dessas linhas apresentam padrão irregular com energia espalhada ao acaso e limite estreito entre essas camadas. Tal fato pode estar associado à grande quantidade de energia adquirida pela antena que capta com grande detalhe reflexões de muitos materiais causando sobreposição de sinal.



**Figura 22.** Perfil 1 e trecho do transecto correspondente em antena de 900 MHz.

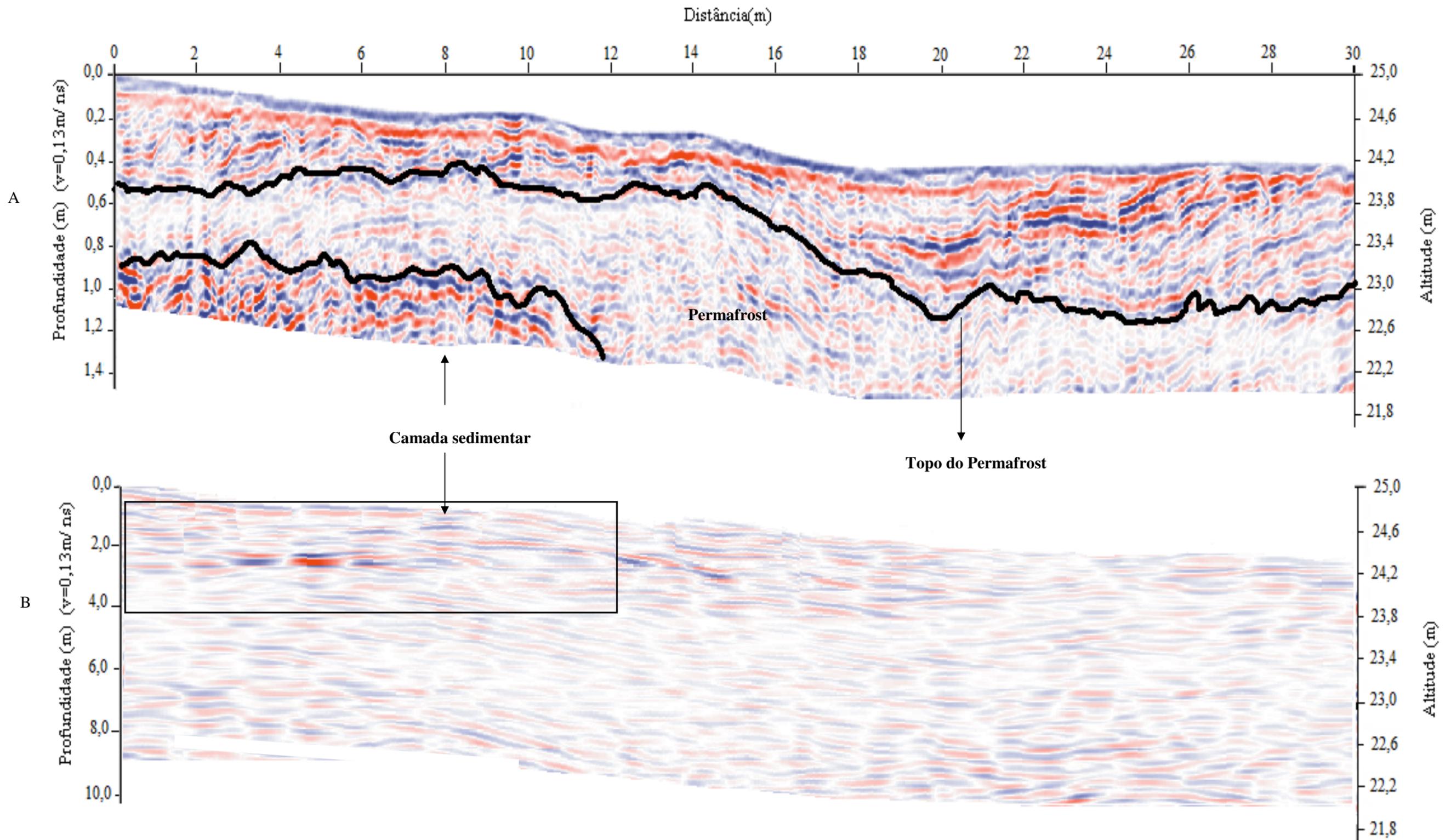
As reflexões de baixa amplitude, que se encontram ao longo de todo o trecho 1 (Figura 23 A e B) e 2 (Figura 24 A e B) e parte do trecho 3 (Figura 25 A e B), correspondem ao permafrost, cujo topo varia de profundidade entre 40 e 70 cm. Acima do topo do permafrost existe uma camada sedimentar que corresponde a camada ativa.

No primeiro trecho dos transecto, entre as posições 0 e 12 m (Figura 23 A e B) aos 80 cm de profundidade observa-se o topo de outra camada sedimentar que apresenta reflexão

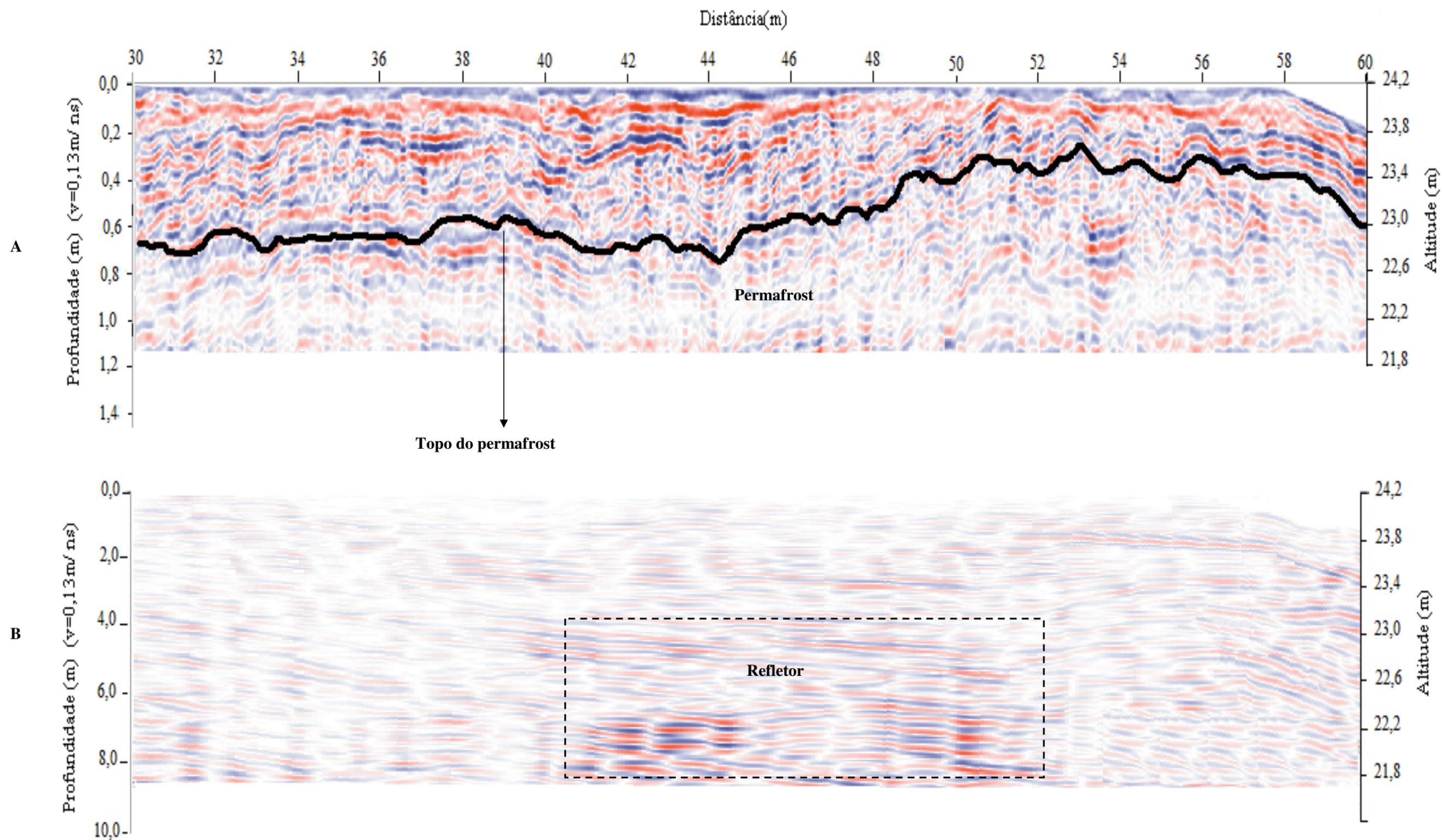
forte. Tal camada também foi registrada com a antena de 200 MHz sendo detectada até 2,5m de profundidade. Parte da camada de solo congelado encontra-se encaixada entre a camada ativa e a outra estrutura sedimentar, neste trecho o solo congelado pode ser tanto permafrost como apenas sedimento rico em gelo do inverno anterior.

No trecho 2, no radargrama gerado com a antena de 200 MHz (Figura 24B) foi observada outra camada com forte reflexão, a partir de 4m de profundidade entre as posições 40 e 52 m. Por volta de 80m do transecto (Figura 5 A), o permafrost não é mais registrado e o limite entre o seu topo e a camada ativa se confunde com um novo padrão de reflexão múltiplo em tempo duplo e imita a base de uma camada superior, caracterizando camada úmida gerada pela proximidade da praia (Figura 25 A e B).

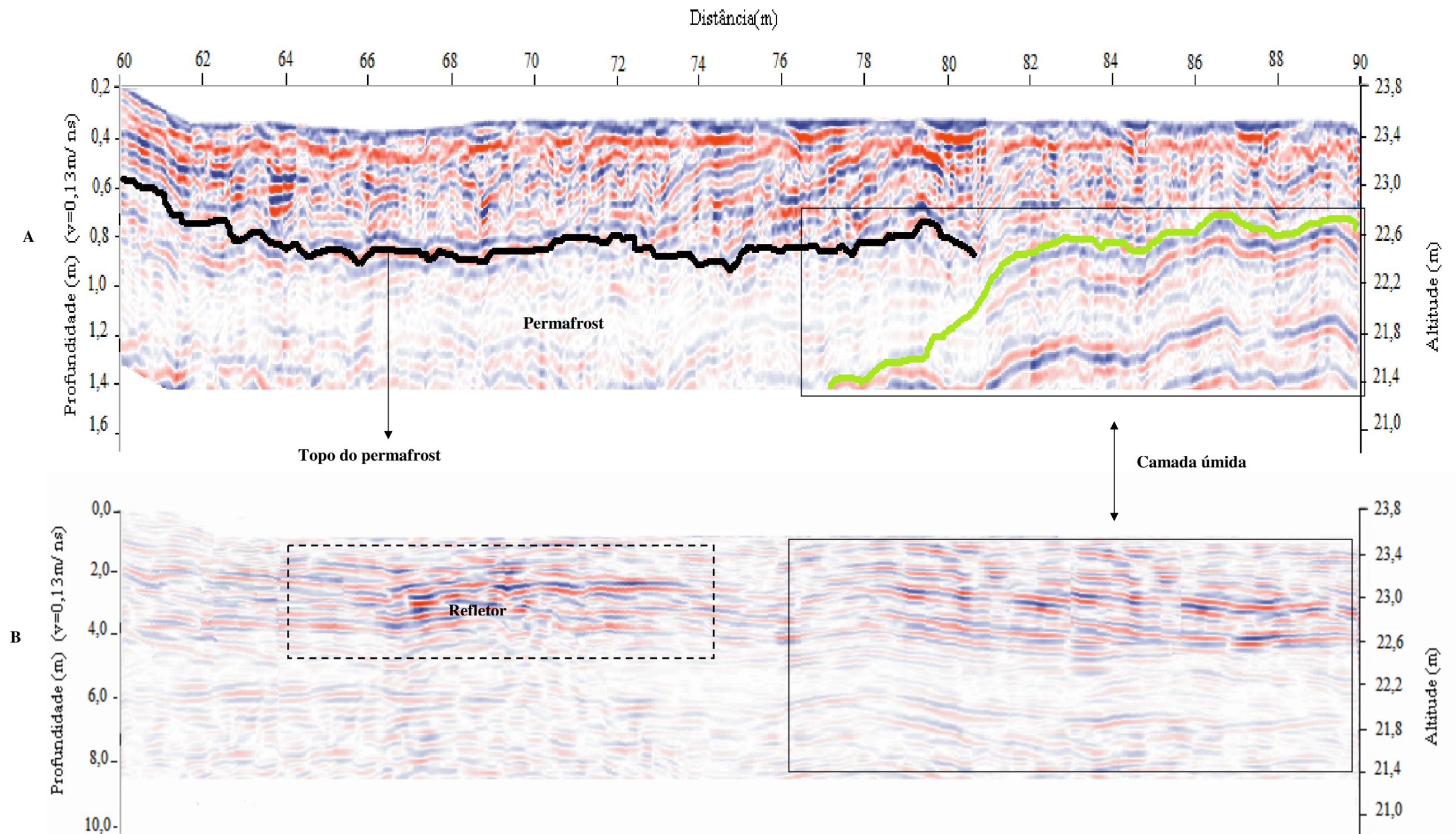
A partir deste ponto o permafrost desaparece, fato confirmado por tradagens realizadas no campo. Neste trecho o trado foi introduzido até os 110 cm e não se encontrou permafrost. Ao final do transecto (120 m) novamente foi feita tradagem (até 133 cm) e o permafrost também não foi observado. Este padrão de reflexão múltipla avança em profundidade sendo reproduzido no radargrama gerado pela antena de 200 MHz (Figura 25 e 26 B). Tal profundidade não foi estimada conforme descrito no item 2.5, mas possivelmente a penetração seja reduzida, pois a presença de umidade atenuou o sinal do GPR.



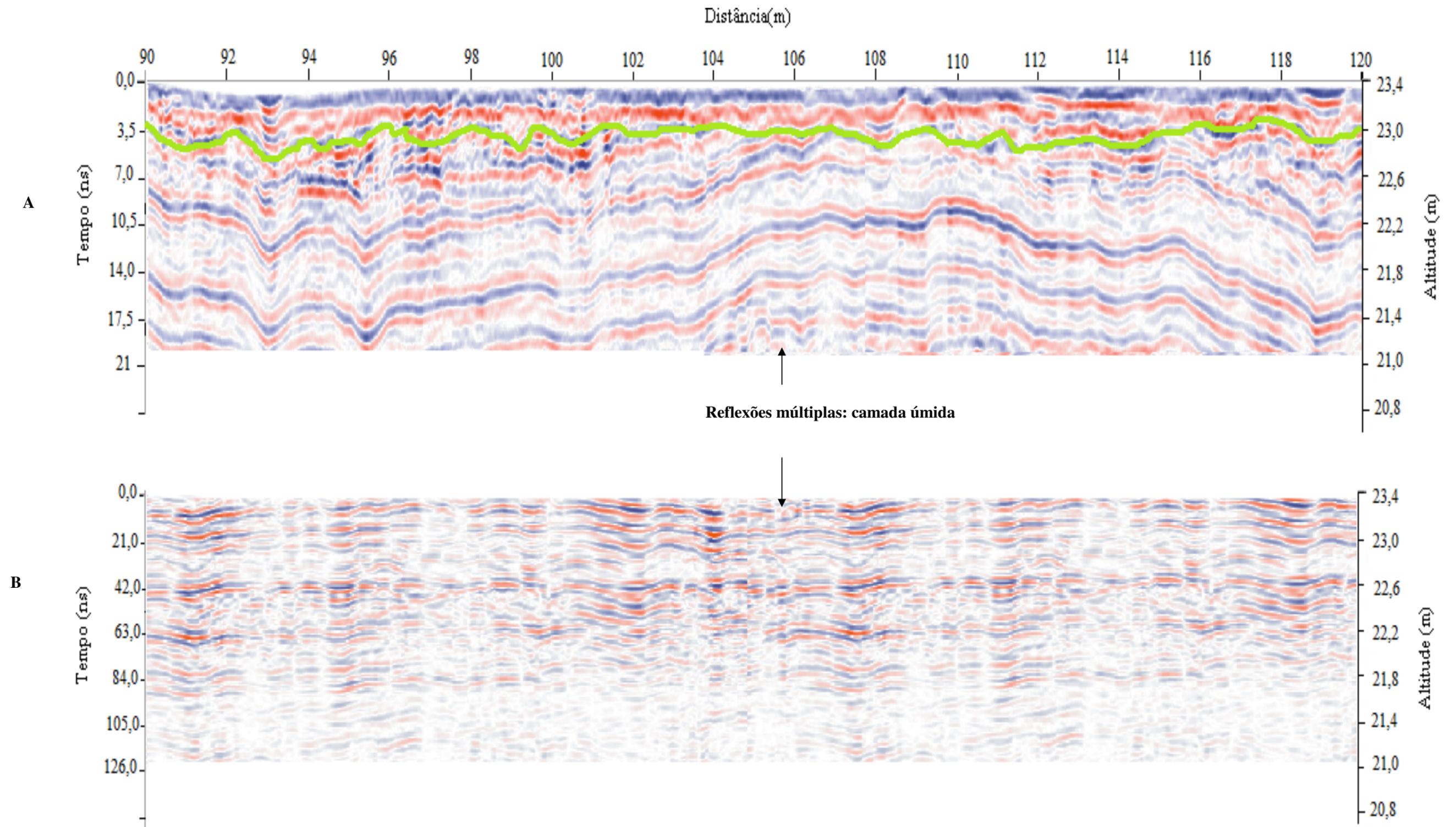
**Figura 23.** Trecho 1 do transecto referente ao sítio 1. A. Antena de 900 MHz . B. Antena de 200 MHz. (Exagero vertical 2:1).



**Figura 24.** Trecho 2 do transecto referente ao sítio 1. A. Antena de 900 MHz . B. Antena de 200 MHz. (Exagero vertical 2:1).



**Figura 25.** Trecho 3 do transecto referente ao sítio 1. A. Antena de 900 MHz . B. Antena de 200 MHz. (Exagero vertical 2:1).



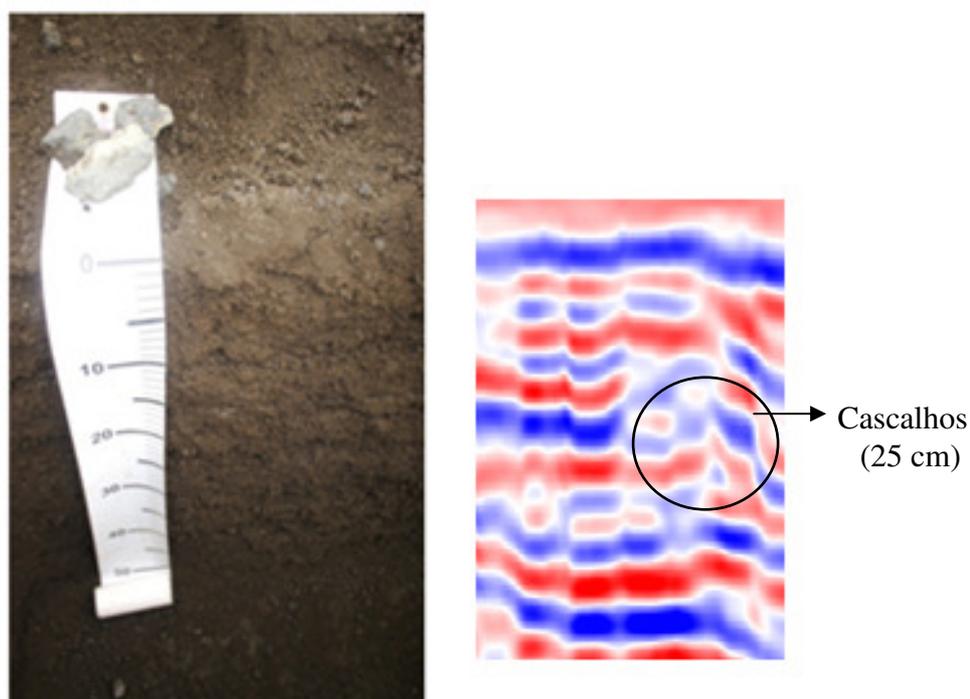
**Figura 26.** Trecho 4 do transecto referente ao sítio 1. A. Antena de 900 MHz. B. Antena de 200 MHz. (Exagero vertical 2:1).

### 3.2 Sítio 2: Terço Médio

Os radargramas gerados a partir das antenas de 900 e 200 MHz apresentam padrão claro, diferenciando-se entre camadas com refletores de alta amplitude, que caracterizam a camada ativa, e uma camada de baixa amplitude que corresponde ao permafrost. Este se apresenta ao longo do transecto de forma irregular e descontínua.

Nos radargramas gerados a partir das duas antenas verifica-se o topo do permafrost com padrão inclinado iniciando-se a aproximadamente 1,0 m e alcançando 80 cm de profundidade entre as posições 0 e 3m (Figura 28 A). Através da inspeção com a antena de 900 MHz observa-se que o padrão é quebrado e retomado em seguida a cerca de 35 cm, aprofundando-se até aproximadamente 60 cm e retornando aos 50 cm. Por volta da posição 80m, o padrão é quebrado novamente na profundidade de 40 cm e reaparece aos 70cm.

Este comportamento demonstra a existência de crioturbação, que promoveu a quebra e irregularidade das camadas do solo, que embora não tenham sido registrados no local de descrição do perfil (Figura 27), apresentam-se de forma clara ao longo de grande parte do transecto. O solo localizado em terço médio de encosta foi classificado como Turbic Cryosol (Episiltic) com textura franco-siltosa.



**Figura 27.** Perfil 4 e trecho do transecto correspondente em antena de 900 MHz.

No trecho do transecto correspondente ao perfil 4, no radargrama gerado pela antena de 900 MHz observam-se aos 25 cm hipérbolos angulosas que indicam a presença de cascalhos. Estes foram visualizados no campo, no momento da descrição do perfil e formavam linhas finas aos 10, 25 e 35 cm, as profundidades de 10 e 35 cm. No entanto estes cascalhos não foram registrados de forma clara no radargrama, observam-se apenas linhas mais fortes e pequenas angulações, indicando diferentes constantes dielétricas do substrato.

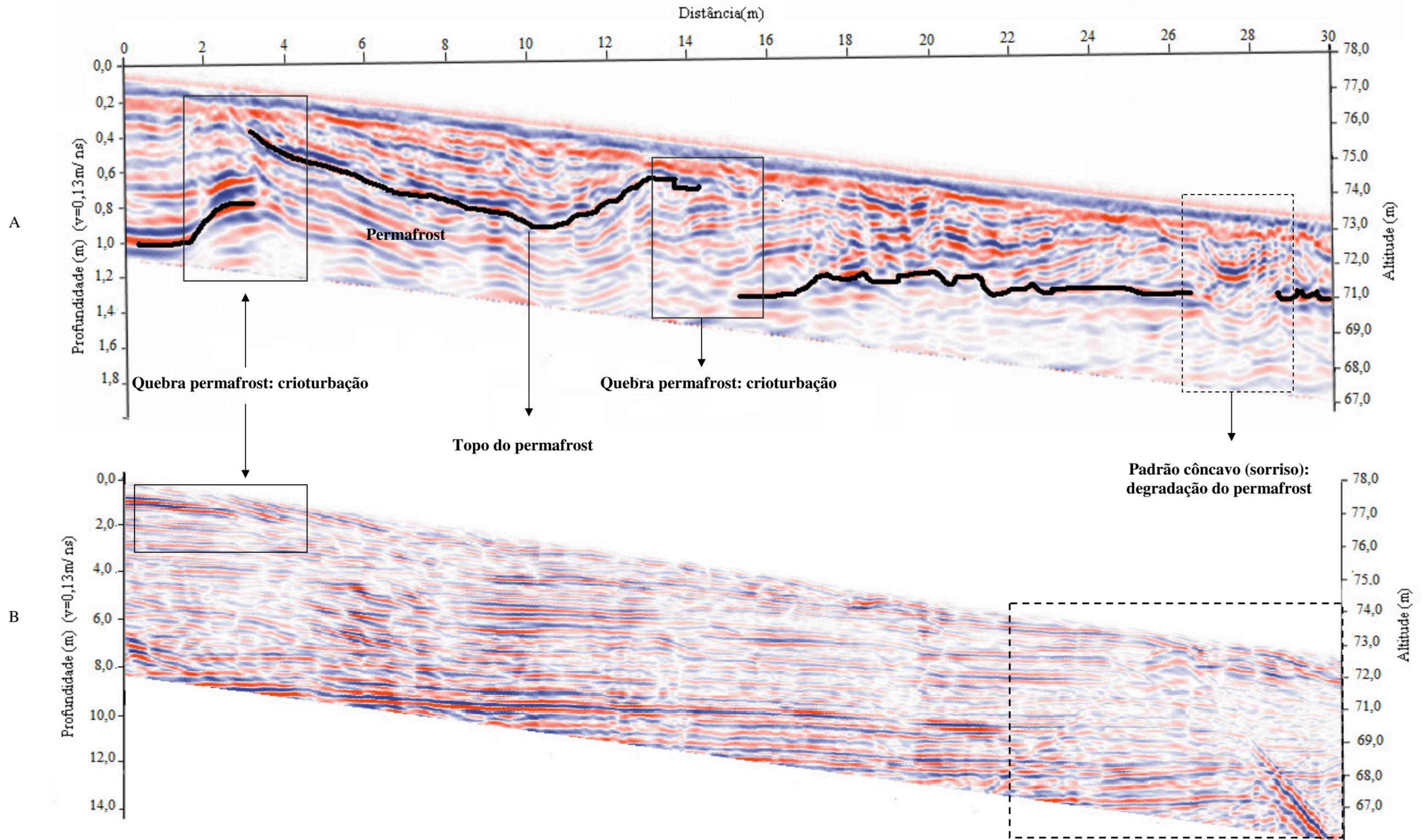
Entre as posições 26 e 28m do transecto, observa-se com a antena de 900 MHz, um padrão de reflexão côncava conhecido como sorriso (Figura 28 A), o que indica a diminuição da velocidade da reflexão causada pela presença de água, sugerindo que neste ponto ocorre a

degradação do permafrost. Este padrão também foi observado por Travassos et al. (2008) em pesquisa em área de permafrost nos Andes Argentinos.

A aplicação da diferença de velocidade de propagação de uma onda para diferenciar materiais congelados e descongelados também foi utilizada com sucesso por Ramos et al. (2007) em estudo na Ilha Linnigston, no Arquipélago Shetland do Sul, através de tomografia de resistividade elétrica e tomografia de refração sísmica.

Estas características não são representadas no radargrama gerado pela antena de 200 MHz, pois esta frequência permite a inspeção com menor detalhamento, porém em maior profundidade. Nesse radargrama (Figura 28 B) observa-se a presença de camadas que apresentam diferentes propriedades eletromagnéticas e existe um forte refletor por volta dos 8 m de profundidade. Ele apresenta padrão inclinado que atinge 4 m e se distribui até a metade do transecto. Finalmente, observa-se por volta de 25 m uma grande hipérbole que se inicia aos 8 m de profundidade e alcança pouco menos de 1,0 m.

Apesar de não ter sido efetuada a prospecção desse material no campo, dada a dificuldade de se realizar, com ferramentas manuais, perfurações no solo abaixo do permafrost, este padrão já foi observado por Moorman et al. (2003) e Steven et al. (2009) ao estudarem a subsuperfície do Ártico. De acordo com estes autores este padrão pode caracterizar rochas enterradas ou fraturas no gelo.

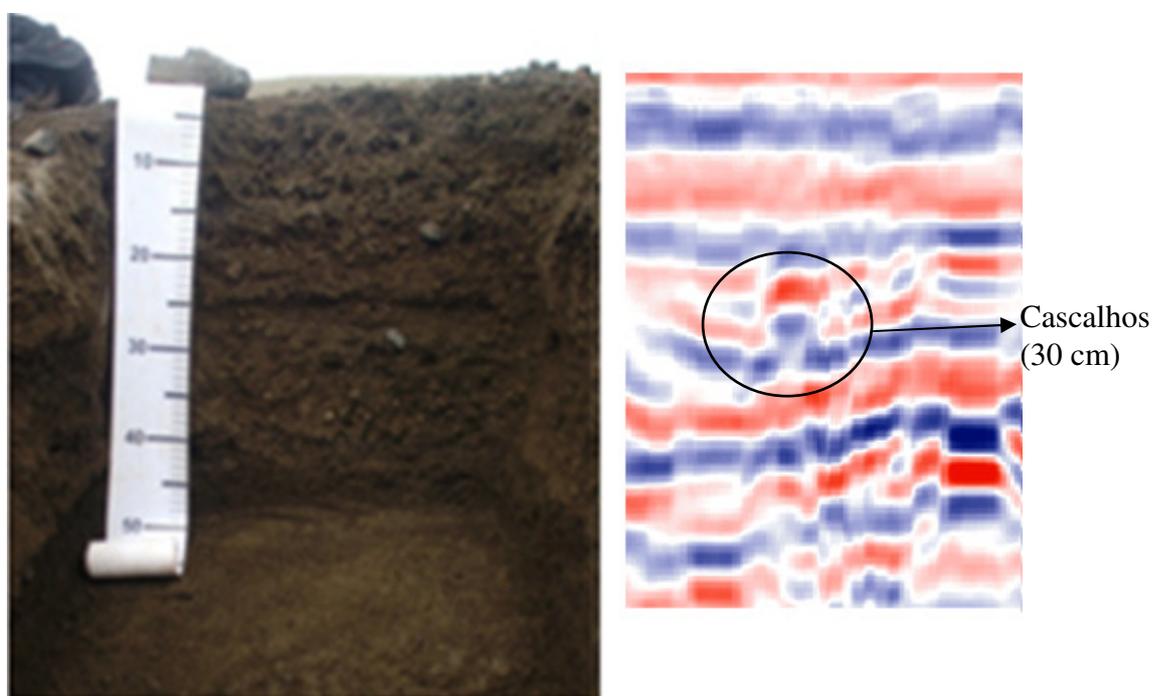


**Figura 28.** Transecto referente ao sítio 2. A. Antena de 900 MHz. B. Antena de 200 MHz. (Exagero vertical 2:1)

### 3.3 Sítio 3: Terço Superior

O solo localizado em terço superior de encosta foi classificado como Haplic Cryosol (Skeletal) com textura franco arenosa a areia franca cascalhenta.

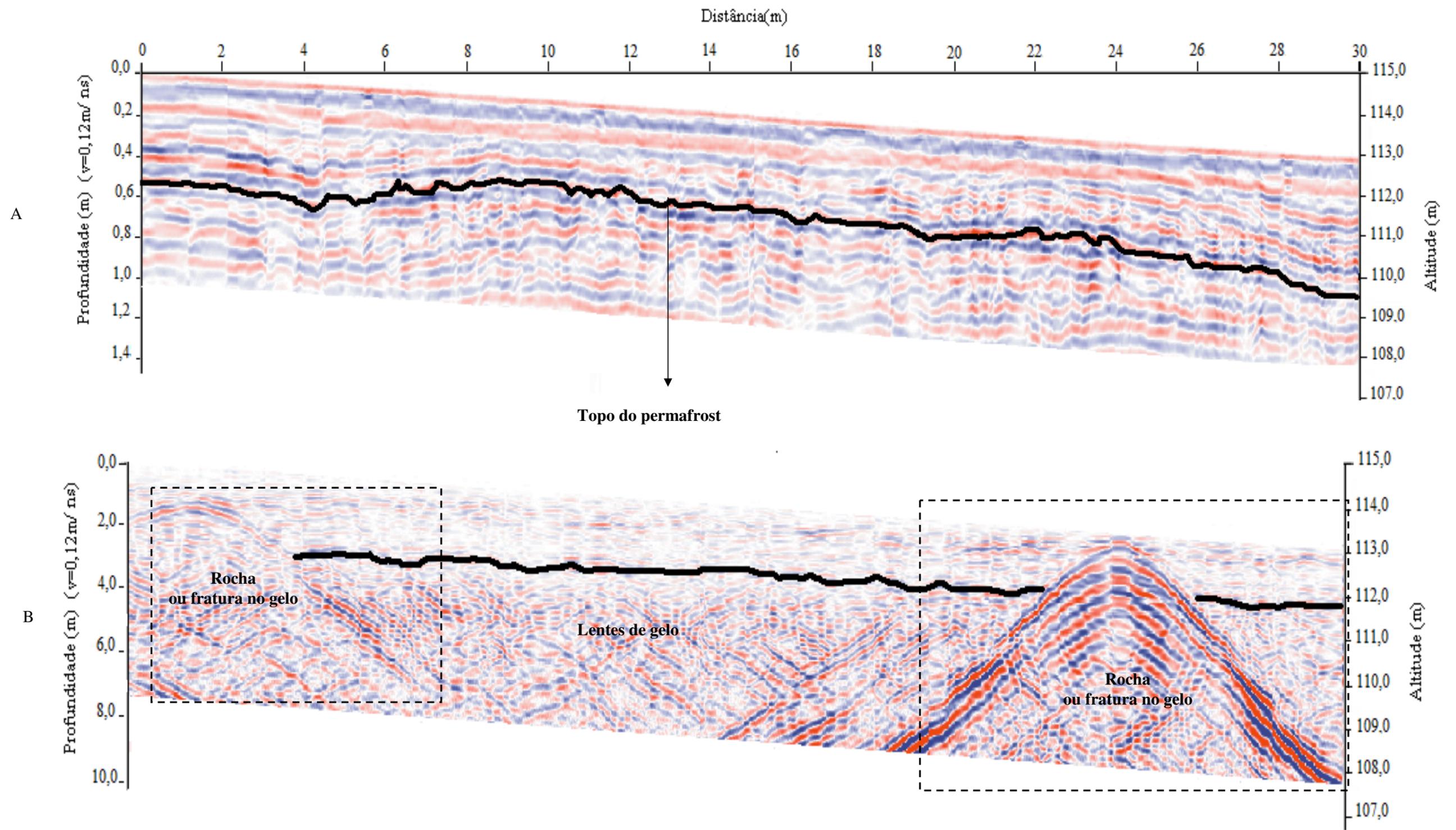
O radargrama gerado a partir da antena de 900 MHz apresenta padrão contínuo, diferenciando-se entre camadas com refletores de média amplitude, que caracterizam material franco a arenoso e seco, e um refletor um pouco mais forte que apresenta propriedades eletromagnéticas distintas em relação às seqüências superiores, indicando o topo do permafrost. Este se apresenta ao longo do transecto de forma contínua e atinge profundidades que variam entre 40 e 60 cm (Figura 30 A). Esta interface não muito clara entre o permafrost e a camada ativa é comum em áreas bem drenadas, conforme observado por Judge et al. (1991). No trecho correspondente à descrição do perfil o topo encontra-se a aproximadamente 48cm. Neste trecho foi observada a presença de cascalhos, indicados por reflexões angulosas (Figura 29).



**Figura 29.** Perfil 5 e trecho do transecto correspondente em antena de 900 MHz.

No radargrama gerado através da antena de 200 MHz, observam-se três padrões. Um paralelo do topo do radargrama até aproximadamente a profundidade de 3 m, grandes hipérboles individuais nas posições entre 0 e 6 m e entre 18 e 30 m do transecto, bem como hipérboles múltiplas abaixo de 3 metros (Figura 30 B). O primeiro padrão caracteriza as camadas arenosas que formam este solo e o permafrost, cujo topo e base não foram identificados no radargrama, possivelmente devido a grande presença de hipérboles que causam maior espalhamento da energia e dificultaram o registro do sinal do topo do permafrost. Além disso, o fato destas camadas conterem menos gelo que as inferiores as tornam menos transparentes para os sinais do radar, quando comparadas as camadas mais profundas (DOLITTLE & NELSON, 2009).

As hipérboles individuais, tal como no sítio 2 podem representar rochas enterradas ou fraturas no gelo. No entanto, a segunda hipótese é mais provável, pois o terceiro padrão é típico de lentes de gelo (MOORMAN et al., 2003).



**Figura 30.** Transecto referente ao sítio 3. A. Antena de 900 MHz. B. Antena de 200 MHz.

As duas antenas utilizadas apresentaram diferentes respostas à identificação do comportamento do permafrost e da camada ativa. A antena de 200 MHz não foi capaz de detectar a interface entre o solo congelado e descongelado, pois esta interface está localizada em pequena profundidade em todos os sítios. No entanto, essa antena permitiu a identificação de refletores e a visualização do comportamento das camadas mais profundas do solo, embora a base do permafrost não tenha sido identificada em nenhum dos transectos avaliados.

Já a antena de 900 MHz registrou em todos os sítios a profundidade do topo do permafrost e o seu comportamento irregular ou contínuo. Além disso, esta antena foi útil para analisar a camada ativa pela identificação clara dos cascalhos e subsidência do permafrost. Tal fato corrobora as conclusões de Hinkel et al. (2001) que afirmam que uma visualização mais detalhada do comportamento do permafrost pode ser obtida com antenas de frequência maior ou igual a 400MHz. Ao longo dos transectos gerados pela antena de 900 MHz, nos três sítios em estudo, verificou-se que o permafrost apresentou padrão de menor amplitude quando comparado às camadas subjacentes que apresentam conteúdo de água líquida, ainda que higroscópica, superior ao do permafrost o que causou resposta diferenciada em relação aos sinais de GPR. No entanto, a interface entre estas camadas nem sempre foi muito clara, conforme observado no sítio 3.

Isso pode ser justificado porque o permafrost é um conceito térmico, definido como a camada de solo ou rocha que permanece a temperaturas iguais ou inferiores a 0° C por pelo menos dois anos consecutivos (FRENCH, 1996). Assim, pode ser encontrado em materiais com diferentes texturas: argilosa, siltosa, arenosa, e até mesmo na própria rocha. Por isso, suas propriedades eletromagnéticas são diversas, sendo que sua constante dielétrica pode variar entre 1 e 8. Esta será influenciada pelo substrato originário e o teor de gelo, por isso apresentará respostas variáveis às inspeções com GPR, por vezes com maior ou menor distinção em relação às camadas adjacentes (ARCONE et al., 2002).

As observações efetuadas nos três sítios estão de acordo com os resultados obtidos por López-Martínez et al. (1996). Estes autores realizaram sondagens mecânicas da espessura da camada ativa em uma vertente na ilha Deception nas proximidades da Base Espanhola Gabriel de Castilla. Eles obtiveram valores de espessura vertical da camada ativa compreendidos entre os 60 e os 90 cm. Estes autores verificaram que o permafrost ocorreu, em determinados locais, até altitudes próximas ao nível médio das águas do mar, diminuindo de espessura e desaparecendo junto à praia, sugerindo a sua presença em quase toda a ilha.

Nesse estudo, foram verificados valores dentro deste intervalo e outros bem menores, por vezes próximos dos 35 cm. Isto se deve primeiramente as diferenças inerente aos locais pesquisados, que embora sejam na mesma ilha e próximos, apresentam declividades, altitudes e faces de exposição diferentes. Além disso, a pesquisa realizada por aqueles autores foi pontual, os dados foram obtidos através de inspeção em pequeno local selecionado.

Nesse estudo, verificou-se a profundidade do permafrost e da camada ativa de forma ininterrupta ao longo do transecto, mostrando o seu comportamento, que foi para os sítios 1 (25 m) e 2 (78 m) irregular e no 3 (115 m) contínuo. É importante ressaltar que o termo “contínuo” usado neste trabalho está relacionado à forma como o permafrost se apresenta nos radargramas e não se relaciona como os conceitos térmicos de permafrost, no qual este é classificado como: contínuo, descontínuo ou esporádico, conforme proposto por Campbell & Claridge (1987). Sob o aspecto altitudinal, observou-se uma tendência a um comportamento irregular e desaparecimento do permafrost com a diminuição da altitude.

Tal fato vai ao encontro dos dados obtidos por Melo (2009). A autora fez medições mecânicas da espessura da camada ativa em dois locais entre o Cerro Caliente a o Crater Lake em condições topográficas distintas. Ao longo dos 27 dias de monitoramento, no local 1, a 121m de altitude, a camada ativa sofreu degradação de cerca de 7 cm enquanto no local 2 (8m de altitude) a degradação foi de 40 cm. Tal condição foi atribuída à variação topográfica.

## 4 CONCLUSÕES

A boa correlação entre as descrições de campo e os registros obtidos nos radargramas enfatiza a viabilidade da aplicação deste tipo de método investigativo para o estudo do permafrost. Soma-se a isso, o fato deste método gerar informações de forma rápida e eficiente, permitindo uma análise contínua da subsuperfície.

De forma geral, as diferenças mais perceptíveis nos radargramas mostraram-se relacionadas com a presença ou a ausência de refletores fortes, representados nesta pesquisa pelo topo do permafrost, rochas, cascalhos, lentes de gelo e água.

A antena de 200 MHz permitiu a identificação de refletores e a visualização do comportamento das camadas mais profundas do solo, mas não foi capaz de detectar a interface entre o solo congelado e descongelado e nem a base do permafrost.

A antena de 900 MHz foi mais adequada para auxiliar no monitoramento do permafrost e da camada ativa, pois foi capaz de registrar a profundidade do topo do permafrost, a sua subsidência e o seu comportamento irregular ou contínuo. Apesar disso, observou-se uma sobreposição de sinal das reflexões do substrato devido à grande quantidade de energia captada por esta antena. Assim, sugere-se que para se obter uma maior resolução radargramétrica do permafrost e da camada ativa, com uma melhor relação sinal/ruído, pode ser utilizada antena de 400 MHz.

## CONCLUSÕES GERAIS

A proposição de novos níveis de intemperismo adequados para a Antártica Marítima, foi fundamental para a melhor caracterização dos solos do setor oeste da Ilha Deception, refletindo a variabilidade de pedoambientes na qual tais solos se desenvolvem.

A análise dos pedoambientes demonstra que, dentre os estágios de intemperismo propostos, os solos são mais desenvolvidos em ambientes de menor albedo e menor declividade, que promovem maior estabilidade e disponibilidade de umidade. Somam-se a estas variáveis a proximidade de colônias de animais e a presença de vegetação que promovem a deposição de matéria orgânica aos solos e permitem o desenvolvimento de estrutura, caracterizando um aprofundamento da evolução pedogenética.

A comparação entre os estágios de intemperismo indicados pelo Modelo Preditivo pela descrição de campo e pela ACP revelou resultados idênticos em 75% e 87,5% dos perfis analisados, respectivamente, o que valida a metodologia proposta neste trabalho.

A boa correlação entre as descrições de campo e os registros obtidos nos radargramas, demonstra a viabilidade da utilização do GPR para o estudo do permafrost. Soma-se a isso, o fato deste método gerar informações de forma rápida e eficiente, permitindo uma análise contínua da subsuperfície.

As informações analisadas neste trabalho no que tange ao desenvolvimento dos solos do setor oeste de Deception, o comportamento do permafrost e da camada ativa e os novos parâmetros de intemperismo poderão ser utilizados pelo ANTPAS para comparação com outros ambientes de forma a compreender as respostas da Antártica Marítima frente às mudanças climáticas e aperfeiçoar as pesquisas pedológicas nesta região.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação dos solos através da mera observação das características morfológicas em campo e dos pedoambientes nos quais tais solos estão inseridos, apesar de válida, levou a um certo grau de generalização dos solos. Isto ocorreu porque a maior parte dos prefixos e sufixos qualificadores de acordo com o WRB define limites precisos para determinadas características, sendo a classificação pautada na análise laboratorial das amostras de solo e substrato coletadas. Por isso, sugere-se que outros pesquisadores façam a coleta de amostras dos solos descritos no presente trabalho e complementem as informações aqui levantadas.

Para aprofundar o monitoramento do permafrost na Ilha Deception, os dados levantados nesse trabalho devem ser confrontados com inspeções em anos posteriores, juntamente com dados de temperatura e umidade do solo. Isso permitirá comparar eventuais alterações da profundidade do permafrost e do teor de água na camada ativa, o que indicará sinais da existência ou não de degradação do permafrost. Além disso, podem-se incluir novas áreas de monitoramento, para avaliar além da variação altitudinal a influência da cobertura vegetal e do albedo da superfície sobre o comportamento do permafrost.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLAM, L. S.; BALKS, M. R.; SEYBOLD, C. A.; CAMPBELL, D. I. Temporal and spatial variation in active layer depth in the McMurdo Sound Region, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 22, n. 1, p. 45-52, 2010.
- ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei Jorge, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental**. 2005. 149f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2005.
- ANTPAS. Antarctic permafrost and soil. **Soil Description Manual** (Versão 1, July 2006). Disponível em: <[erth.waikato.ac.nz/antpas/publications.shtml](http://erth.waikato.ac.nz/antpas/publications.shtml)> Acesso em: 20/10/2009.
- ANTPAS. Antarctic permafrost and soil. Disponível em: <<http://erth.waikato.ac.nz/antpas>> Acesso em 26/07/2010.
- APTROOT, A. & VAN DER KNAAP, W. O. The lichen flora of Deception Island, South Shetland Islands. **Nova Hedwigia**, v. 56, p. 183-192, 1993.
- ARANHA, P. R. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; SOBREIRA, F. G. The use of GPR for characterizing underground weathered profiles in the sub-humid tropics. **Journal of Applied Geophysics**, v. 49, p. 195-210, 2002.
- ARCONE, S. A.; DELANEY, A.J. Radar Investigations above the Trans-Alaskan Pipeline near Fairbanks. USArmy Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, **CRREL Report** . p. 84-27, 1984.
- ARCONE, S. A.; LAWSON, D. E.; DELANEY, A. J.; STRASSER, J. C. & STRASSER, J. D. Ground-penetrating radar refraction profiling of groundwater and bedrock in an area of discontinuous permafrost. **Geophysics**, v.63, n.5, p.1573–1584, 1998.
- ARCONE, S. A.; PRENTICE, M. L., & DELANEY, A. J. Stratigraphic profiling with ground-penetrating radar in permafrost: A review of possible analogs for Mars. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n° E11, p. 1- 18, 2002.
- ARNOLD, R. W. Concepts of soils and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Ed) Reprinted from: **Pedogenesis and Soil Taxonomy**. I. Concepts and Interactions. Amsterdam: Elsevier Science Publisher B.V., 1983. p. 1-21.
- BALLANTYNE, C. K.; HARRIS, C. **The Periglaciation of Great Britain**. Cambridge: University Press, 1994. 330 p.
- BALLANTYNE, C. K. Periglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, v. 21, p. 1935-2017, 2002.
- BARALDO, A. & RINALDI, C.A. Stratigraphy and structure of Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, p. 785-796, 2000.
- BEYER, L.; BOCKHEIM, J. G.; CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. Genesis, properties and sensitivity of Antarctic Gelisols. **Antarctic Science**, v. 11, n. 4, p. 387-398, 1999.
- BEYER, L.; PINGPANK, K.; WRIEDT, G.; BÖLTER, M. Soil formation in coastal continental Antarctica (Wilkes Land). **Geoderma**, v. 95, p. 283–304, 2000.

- BOCKHEIM, J. G.; BALKS, M. R.; McLEOD, M. **Guide for describing, sampling, analyzing, and classifying soils of the Antarctic Region**, ANTPAS, 2006. 12 p.
- BOCKHEIM J.G; CAMPBELL, I. B; GUGLIELMIN M; LOPEZ-MARTINEZ, J. Distribution of permafrost types and buried ice in ice-free areas of Antarctica. In: 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERMAFROST, 2008, Alaska. Alaska proceedings. University of Alaska Press: Fairbanks; 2008. p.125-130.
- BOCKHEIM, J. G.; CAMPBELL, I. B.; McLEOD, M. Permafrost distribution and active-layer depths in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. **Permafrost and Periglacial Processes**, v. 18, p. 217–227, 2007.
- BOCKHEIM, J. G; MAZHITOVA, G; KIMBLE, J. M.; TARCONAI, C. Controversies on the genesis and classification of permafrost-affected soils. **Geoderma**, v. 137, p. 33–39, 2006.
- BOCKHEIM, J. G. Permafrost distribution in the Southern Circumpolar Region and its relation to the environment: a review and recommendations for further research. **Permafrost and Periglacial Processes**, v. 6, p. 27-45, 1995.
- BOCKHEIM, J. G. Properties and classification of cold desert soils from Antarctica. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 224-231, 1997.
- BOCKHEIM, J. G. & TARNOCAI, C. Recognition of cryoturbation for classifying permafrost-affected soils. **Geoderma**, v. 81, p. 281-293, 1998.
- BRABYN, L.; BEARD, C.; SEPPELT, R. D.; RUDOLPH, E. D.; TÜRK, R.; GREEN, T. G. A. Quantified vegetation change over 42 years at Cape Hallett, East Antarctica. **Antarctic Science**, v.18, n. 4, p. 561–572, 2006.
- BRANDT, O.; LANGLEY, K.; KOHLER, J.; HAMRAN, S. E. Detection of buried ice and sediment layers in permafrost using multi-frequency Ground Penetrating Radar: A case examination on Svalbard. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, p. 212–227, 2007.
- BREMER, U. F. **Solos e geomorfologia da borda leste da Península Warszawa, Ilha Rei Jorge, Antártica Marítima**. 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.
- CAMPBELL, I. B. & CLARIDGE, G.G.C. **Antarctica: soil, weathering processes and environment**. Nova York: Elsevier, 1987. 368 p.
- CAMPBELL, I. B. & CLARIDGE, G. G. Antarctic permafrost soils. In: MARGESIN, R (Ed) **Soil Biology: Permafrost Soils**. Berlin: Springer-Verlag Heidelberg, 2009. p. 17-31.
- CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C.; BALKS, M. R. The effects of human activities on moisture content of soils and the underlying permafrost from the McMurdo Sound region, Antarctica. **Antarct. Sci.**, v. 6, p. 307–314, 1994.
- CAMPBELL, I. B. & CLARIDGE, G. G. C. Permafrost properties, patterns and processes in the Transantarctic Mountains Region. **Permafr. Periglac. Process.**, v. 17, p. 215–232, 2006.
- CAMPBELL, I.B.; CLARIDGE, G.G.C. Site and soil differences in the Brown Hills region of the Darwin Glacier, Antarctica. **N. Z. J. Sci.**, v.10, p. 563-577, 1967.
- CASELLI, A. T. & AGUSTO, M.R. Depósitos hidrovulcánicos recientes con indicios de inmiscibilidad magmática en la isla Decepción (Antártida). **Revista de la Asociación Argentina**, v. 59, n. 3, p. 495-500, 2004.
- COLLINS, M. E. & DOOLITTLE, J. A. Using ground-penetrating radar to study soil microvariability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 491- 493, 1987.

DANIELS, D.J. **Surface-Penetrating Radar**. London: The Institution of Electrical Engineers, 1996, 300 p.

DAVIS, J L & ANNAN, A P. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, v. 37, p. 531-551, 1989.

DOOLITTLE, J. A., COLLINS, M. E. Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. **Journal of Applied Geophysics**, v. 33, p. 101-108, 1995.

DOOLITTLE, J.A.; FLETCHER, P.; TURENNE, J. Estimating the thickness and volume of organic materials in cranberry bogs. **Soil Surv. Horiz.**, v. 31, n. 3, p. 73-78, 1990.

DOOLITTLE, J.A. & NELSON, F. Characterizing relict cryogenic macrostructures in Mid-Latitude areas of the USA with three-dimensional Ground-Penetrating Radar. **Permafrost and Periglac. Process**. v. 20, p. 257-268, 2009.

DOOLITTLE, J. A. Using ground-penetrating radar to increase the quality and efficiency of soil surveys. **Soil Science Society of America Journal**. Spec. Publ., v. 20, p. 11-32, 1987.

ESRI. Disponível em: < <http://support.esri.com/index.cfm?fa=software.gateway>> Acesso em: 13/09/09.

FARIA, A. L. L. **Solos e geomorfologia na parte meridional da península Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima**. 2010. 130f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Departamento de Solos. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Guidelines for soil description**. 4 ed. Rome: FAO, 2006. 97 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **World Reference Base for Soil Resources 2006**. World Soil Resources Reports, n.103. Rome, 2006.128 p.

FRANCELINO, M. R. **Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: Solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller**. 2004. 102 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2004.

FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G.R. Glossário de geomorfologia glacial e glaciologia, aplicado à Antártica Marítima. In: SCHAEFER, C. E.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.(Org.). **Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima**: Baía do Almirantado, Ilha Rei George - Rede 2. Viçosa: NEPUT, 2004. p. 159-167.

FRENCH, H. M. **The periglacial environment**. Londres: Longman, 1996. 309 p.

GERRARD, A. J. Soil geomorphology. Londres: Chapman and Hall, 1993. 288 p.

GRACIA, E.; CANALS, M.; FARREEN, M.; PRIETO, M. J.; SORBIDAS, J.; PALIA, R. Central and eastern Bransfield Basins (Antarctica) form a high resolution swath bathymetric data. **Antarctic Science**, v. 9, p. 168-180, 1997.

GSSI. **Radan Software**: User's Manual. Salem,USA: GSSI, 2008. 139 p.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico geomorfológico**. 5.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1978. 446 p.

GUGLIELMIN, M. Ground surface temperature (GST), active layer and permafrost monitoring in continental Antarctica. **Permafrost and Periglacial Processes**, v. 17, p.133-143, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 394 p.

HINKEL, K. M.; DOOLITTLE, J. A.; BOCKHEIM, J. G.; NELSON, F. E.; PAETZOLD, R.; KIMBLE, J. M.; TRAVIS, R. Detection of subsurface permafrost features with ground-penetrating radar, Barrow, Alaska. **Permafrost and Periglacial Processes**, v. 2, p. 179-190, 2001.

HJORT, J. **Environmental factors affecting the occurrence of periglacial landforms in Finnish Lapland: a numerical approach**. Aachen: Shaker Verlag, 2006. 162 p.

JUDGE, A. S.; TUCKER, C. M.; PILON, J. A.; MOORMAN, B. J. Remote sensing of permafrost by ground-penetrating radar at two airports in Arctic Canada. **Arctic**, v. 44, p. 4-48, 1991.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; RAMOS, M.; CRIADO, C.; SERRANO, E.; NICOLÁS, P. Anomalías geotérmicas y permafrost en la Isla Decepción, Antártida. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTÚDIOS ANTÁRTICOS, Madrid, 1996. **Actas...**Madrid: Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, 1996. p.223-234.

LORENA, V. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFMS/CCNE, 2005. 215 p.

MATSUOKA, N. Solifluction rates, processes and landforms: a global review. **Earth-Science Reviews**, v. 55, p. 107-134, 2001.

McKAY, C. P.; MELLON, M. T.; FRIEDMANN, E. I. Soil temperatures and stability of ice-cemented ground in the McMurdo dry valleys, **Antarctica**. **Antarctic Science**, v. 10, p. 31-38, 1998.

MELO, R. A. **Dinâmica geomorfológica atual na Ilha Deception (Antártica Marítima): análise espacial do sector Cerro Caliente – Crater lake**. 2009. 162 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território). Departamento de Geografia, Universidade de Lisboa, Lisboa - Portugal, 2009.

MENDONÇA, F. & OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Curitiba: Oficina de textos, 2007. 208 p.

MICHEL, R. F. M. **Solos criogênicos e ornitogênicos da área de entorno da Ponta Llano, Antártica Marítima**. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 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 Maritim e Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 1370-1376, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Disponível em:< [www.mma.gov.br/port.sbf/dap/antartica.html](http://www.mma.gov.br/port.sbf/dap/antartica.html).> Acesso em: 07/08/09.

MOORMAN, B. J.; ROBINSON, S. D.; BURGESS, M. M. Imaging periglacial conditions with ground-penetrating radar. **Permafrost and Periglacial Processes**, v. 14, p. 319-329, 2003.

MOURA, P. A. **Solos da porção norte da Península Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima: contribuições ao monitoramento ambiental**. 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

- MUNROE, J. S.; DOOLITTLE, J. A.; KANEVSKIY, M. Z.; HINKEL, K. M.; NELSON, F. E.; JONES, B. M.; SHUR, Y.; KIMBLE, J. M. Application of Ground-Penetrating Radar imagery for three-dimensional visualization of near-surface structures in ice-rich permafrost, Barrow, Alaska. **Permafrost and Periglac. Process.** v. 18, p. 309–321, 2007.
- PAREDES, C.; DE LA VEGA, R.; PÉREZ-LÓPEZ, R.; GINER-ROBLES, J. L.; MARTÍNEZ-DÍAZ, J. J. Descomposición fractal en subdomínios morfotectónicos del mapa de lineamientos morfológicos. **Boletín Geológico y Minero**, v. 118, n.4, p.775-787, 2007.
- 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, 2007. doi:10.3133/of2007-1047.srp070
- REGAZZI, A. J. INF 766 – **Análise multivariada**. Apostila de disciplina. Viçosa: UFV, CCET. Departamento de Informática, 2001. 166p.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; PEREIRA, A. B.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; SIMAS, F. N. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, A.C. Comunidades vegetais na Península Keller: ecologia e padrões de distribuição. In: SCHAEFER, C. E. G. R., FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. (Ed). **Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima**, 2004. p.65-72.
- SECIRM. Comissão Interministerial para Recursos do Mar. Disponível. **Tratado da Antártica**. Disponível em: <[http://www.mar.mil.br/secirm/proantar/trat\\_an.htm](http://www.mar.mil.br/secirm/proantar/trat_an.htm) > Acesso em: 14/08/2009.
- SERRANO, E. **Islas de Hielo**: naturaleza, presencia humana y paisaje en las islas Shetland del Sur. Antártida. Valladolid: Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, 2008. 246p.
- 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.
- SIMÕES, J. C. **Glossário da língua portuguesa da neve, do gelo e termos correlatos**. Pesquisa Antártica Brasileira, v. 4, p.119-154, 2004.
- SMELLIE, J. Lithostratigraphy and volcanic evolution of Deception Island, South Shetland Islands. **Antarctic Science**, v.73, n. 2, p. 788-209, 2001.
- SMELLIE, J. L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. **Geological map of Deception Island**. BAS Geomap Series, Sheet 6-A, 1 ed, 2000. Ed. Cambridge: British Antarctic Survey, 2000. n.p.
- SMITH, R. I. L. Short note. Botanical survey of Deception Island. **British Antarctic Survey Bulletin**, v. 80, p. 129-136, 1988.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 11.ed. Washington: USDA-NCR, 2010. Disponível em: <[ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil\\_Taxonomy/keys/keys.pdf](ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/keys/keys.pdf)> Acesso em: 10/01/2011.
- STEVENS, C. W; MOORMAN, B. J; SOLOMON, S. M.; HUGENHOLTZ, C. H. Mapping subsurface conditions within the near-shore zone of an Arctic delta using ground penetrating radar. **Cold Regions Science and Technology**. v. 56, p. 30–38, 2009.

TATUR, A. & MYRCHA, .A. Soils and vegetation in abandoned penguin rookeries (Maritime Antarctic). **Polar Biology**, v. 2, p. 181-189, 1989.

TRAVASSOS, M. J.; STAEL, G. C.; LIAUDAT, D. T. A GPR survey on degraded permafrost at Meson San Juan, Mendoza, Argentina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 4, p. 519-526, 2008.

USGS. U.S. Geological Survey. Glossary of volcanic terms. Disponível em: <<http://volcanoes.usgs.gov/images/pglossary/index.php>>. Acesso em 21/11/2010.

VAN EVERDINGEN, R. **Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms**. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology, 2005. 306 p.

VAUGHAN, D.G.; MARSHALL G.J.; CONNOLLEY, W.M.; KING, J.C.; MULVANEY, R. **Climate change** — devil in the detail. *Science*, v. 293, p.1777–1779, 2001.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFMS/ CCNE, 2005. 215p.

VIEIRA ,G.; BOCKHEIM, J.; GUGLIELMIN, M.; BALKS, M.; ABRAMOV, A. A.; BOELHOUWERS, J.; CANNONE, N.; GANZERT, L.; GILICHINSKY, D. A.; GORYACHKIN, S.; LÓPEZ-MARTINEZ, J.; MEIKLEJOHN, I.; RAFFI, R.; RAMOS, M.; SCHAEFER, C.; SERRANO, E.; SIMAS, F.; SLETTEN, R.; WAGNER, D. Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the Antarctic: Advances during the International Polar Year 2007-2009. **Permafrost and Periglacial Processes**. v 21, p. 182–197, 2010.

WINGE, M. **Glossário geológico ilustrado**, 2001. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/glossario/>>. Acesso em: 15/09/2009.

WU, T.; LI, S.; CHENG, G.; NAN, Z. Using ground-penetrating radar to detect permafrost degradation in the northern limit of permafrost on the Tibetan Plateau. **Cold Regions Science and Technology**, v. 41, p. 211-219, 2005.

## GLOSSÁRIO

**Calor latente** - é a quantidade de calor que uma unidade de massa de um material precisa receber ou perder para mudar o seu estado de agregação, sem alteração de sua temperatura (HALIDDAY et. al., 2002)

**Campos de blocos (“Felsenmeer”)** – é uma geoforma típica de regiões de clima frio, formado por processos de quebra de rochas devido ao congelamento. Trata-se de uma palavra germânica que significa campos de blocos. Felsenmeer é formado primeiramente *in situ* em platô ou terrenos de baixa declividade e é produto primário da quebra por congelamento. Este caráter de formação *in situ* distingue os felsenmeer de outras formas deposicionais. O seu processo de formação é iniciado com a infiltração de água nas rachaduras dos afloramentos de rochas em um ambiente de clima frio. Conseqüentemente o tamanho inicial dos blocos é determinado pela estrutura e litologia do material de origem a partir do qual o campo de bloco é formado. Um dos componentes chaves da formação dos felsenmeer parece ser a remoção de componentes granulares pequenos da superfície de formação. Isto é realizado pela lavagem com as águas de descongelamento, um evento que é promovido pela quantidade grande de espaços vazios entre os blocos fragmentados. O felsenmeer se forma em rochas granuladas grossas, com poucas partículas finas. Felsenmeer tende a se formar em xistos, granitos, basaltos e rochas calcárias massivas (FRANCELINO & SCHAEFER, 2004).

**Cinzas vulcânicas** – são partículas vulcânicas vítreas com diâmetro até 2 mm que são ejetadas em erupção vulcânica explosiva e caem, já frias no estado sólido, como uma nuvem de poeira formando depósitos (USGS, 2010).

**Composição traquítica** - magma relativamente rico em silício, sódio, potássio e gases vulcânicos dissolvidos, o que o torna altamente viscoso e, por isso, é expelido, freqüentemente em atividade explosiva sob a forma de fragmentos (piroclastos) e mais raramente de uma forma calma efusiva em escoada de lava. Mesmo neste último caso, a viscosidade das lavas impede que as escoadas progridam facilmente no terreno e, por isso, ou se acumulam numa doma ou em escoadas curtas e espessas (CASELLI, A. T. & AGUSTO, 2004).

**“Creep”** – é o processo ou geoforma resultante (manto) caracterizado por um tipo muito lento de fluxo de terra, dominado por um movimento gradual de material não consolidado no sentido morro abaixo, causado pela gravidade, facilitado pela saturação ocasional com água de descongelamento; às vezes redundantemente chamado de arrasto (“creep”) de solo (FRANCELINO & SCHAEFER, 2004).

**Cunhas de gelo (“Frost wedging”)** - é um processo de intemperismo físico em que a água líquida penetra nas falhas em cunha das rochas, congelando com o abaixamento da temperatura, quebrando a rocha pela mudança de volume nesta fase. Esta mudança de fase da água líquida para gelo resulta em um aumento volumétrico de 10%, que pode acarretar 2000 lbs/in<sup>2</sup> de pressão na rocha. Esta pressão raramente é alcançada, pois a maioria das rochas racha e quebra a tensões muito abaixo deste máximo. É mais eficiente em regiões onde a temperatura flutua regularmente entre o ponto de congelamento, sendo pouco importante nas regiões polares onde a água está permanentemente na forma sólida e não pode descongelar para iniciar o processo. Conseqüentemente a quebra por congelamento é muito mais efetiva

nas áreas sub-polares ou nas partes mais altas de cadeias montanhosas (FRANCELINO & SCHAEFER, 2004).

“**Debris**” - qualquer acumulação superficial de material solto separado da massa de rocha por meios químico e/ou mecânico. Eles consistem de fragmentos de rochas clásticas de qualquer tamanho e alguma matéria orgânica (FRANCELINO & SCHAEFER, 2004).

**Erupção estromboliana** - tipo de erupção onde brotam cinzas, gases, pequenos fragmentos de rocha quente que formam arcos luminosos no céu. Os fragmentos de lava combinam-se para formar rios de lava que escorrem pela encosta. Ocorrem explosões pouco violentas causadas pela acumulação de bolsas de gases, que sobem mais rapidamente que o magma que as rodeia (CASELLI, A. T. & AGUSTO, 2004).

**Erupções freáticas** – são explosões movidas a vapor quando a água sob o solo ou na superfície é aquecida pelo magma, lava, pedras quentes ou novos depósitos vulcânicos. O calor deste material faz a água ferver e provoca explosão onde são expelidos vapor, cinza, água, blocos e bombas (USGS, 2010).

**Erupção surtseyana** - corresponde a erupção basáltica submarina, isto é, a chaminé por onde sobe o magma está normalmente em contacto com a água do mar, embora o seu cone tenha crescido acima do nível do mar. Neste tipo de erupção, a água fria em contacto com o magma quente dá origem a um choque térmico com explosões intensas, que pulverizam o magma/lava e o projetam em nuvens de vapor e cinza, que por vezes formam colunas de grande altura. A cinza ao cair deposita-se formando camadas (estratificação) de grãos da dimensão da areia e de composição basáltica (CASELLI, A. T. & AGUSTO, 2004).

**Escória vulcânica** - são fragmentos piroclásticos de lava vesiculada, normalmente com tamanhos de mm a cm, que são ejetados em erupção vulcânica explosiva e caem junto com cinza, bombas e outros fragmentos piroclásticos (USGS, 2010).

**Falésia de gelo** - penhasco vertical que forma o limite entre uma plataforma de gelo (ou outra geleira flutuante) e o mar, podendo atingir mais de 50 m de altura (SIMÕES, 2004).

**Moraina** - (a) termo não aceito universalmente. Um monte ou outra acumulação topograficamente distinta de material glacial desordenado e não estratificado, predominantemente de till, depositado primeiramente pela ação direta da geleira, em uma variedade de formas. (b) Termo geral para a geoforma composta principalmente de till que foi depositado pela geleira. Conforme a gênese e forma, as morainas são classificadas em diferentes tipos, que incluem moraina final de campo, moraina lateral, recessional, terminal, entre outras. (c): Uma acumulação de material não consolidado depositado pelas geleiras. Estas acumulações tendem a ser não ordenada; isso é, encontramos partículas de diferentes tamanhos partindo de silte fino a grandes seixos. Os sedimentos e material rochosos das morainas também tendem a ter extremidades angulares (FRANCELINO & SCHAEFER, 2004).

**Lapili** – fragmentos de rochas entre 2 e 64 mm (0,08-2,5) de diâmetro, que foram expulsos de um vulcão durante uma erupção explosiva (USGS, 2010).

**Maars** - é um relevo baixo que forma uma cratera vulcânica gerada por erupções explosivas rasas (USGS, 2010).

**Palsa** - é um montículo turfoso com um núcleo de gelo. Podem ocorrer camadas alternadas de gelo separadas por turfa e/ ou material mineral. Grande parte das palsas ocorre na zona de permafrost descontínuo (VAN EVERDINGEN, 2005; GERRAD, 1993).

**Pingo** - é um monte de gelo perene constituído por um núcleo de gelo maciço, produzida principalmente pela intrusão de água que o congela, ou pelo crescimento de lentes de gelo segregado. Os pingos são cobertos por solos e colonizados pela vegetação (GERRAD, 1993).

**Piroclástico** (Grego: *pyro*=fogo; *klasis*= quebrado) - são fragmentos de rocha sólida que são expelidos para o ar pela erupção de um vulcão. Petrologicamente os piroclastos são fragmentos de uma rocha ígnea, solidificados em algum momento da erupção, ou mais frequentemente durante o seu percurso aéreo. Eles também podem ser arrancados no estado sólido por abrasão do material geológico existente ao longo das condutas eruptivas. *Piroclasto* é uma designação puramente genética, isto é baseia-se apenas na forma como o material foi produzido, no caso por ejeção sub-aérea de produtos vulcânicos sólidos, não tendo em conta a composição química e as características dimensionais e físicas dos produtos. Assim, o termo piroclástico quando usado em sentido amplo, tende a ser utilizado de forma genérica para referir qualquer material de natureza fragmentária produzida por um vulcão, sendo complementado por uma sub-classificação, em geral baseada na dimensão dos fragmentos. Estes são classificados, pelo tamanho, em: lapili (> 2mm - < 64 mm de diâmetro) e bombas ou blocos (> 64 mm de diâmetro) ( WINGE, 2001).

**Plagioclásio** - grupo de minerais feldspáticos, alumino-silicáticos sódico-cálcicos, triclinicos que constituem uma série isomórfica completa, variando desde o termo mais sódico (albita) até o mais cálcico (anortita) (WINGE, 2001).

**Terraços de crioplaneação** – são feições aplainadas em formações rochosas em regiões de clima frio e de aridez moderada. Como essas áreas são geralmente coberta por gelo permanente, estes terraços podem ser diagnóstico de terreno com permafrost (VAN EVERDINGEN, 2005).

**Tor periglacial** – pico alto, isolado, ou cume rochoso; ou uma pilha de pedras, muito ligadas e normalmente graníticas, exposto a intenso desgaste, e assumindo frequentemente formas estranhas ou fantásticas (FRANCELINO & SCHAEFER, 2004).

**Tufo** – é designação dada a um vasto conjunto de rochas caracterizadas pela sua baixa densidade, reduzida consistência intergranular que se traduz na presença de grãos (ou partículas de qualquer natureza) facilmente desagregáveis (GUERRA, 1978).

**Tufos palagonitizados** – formados pela interação entre a água e o basalto em fusão quando lavas basálticas emergem em ambientes aquáticos. Nestas circunstâncias, ao entrar em contacto com a lava, a água transforma-se instantaneamente em vapor, pulverizando o material basáltico em finos fragmentos de elevada superfície específica, os quais reagem a alta temperatura com a água vaporizada para formar um material vítreo de cor clara que, depois de mais ou menos soldado por compressão a quente, dá origem a formações de tufo vulcânico, cujos exemplos mais conhecidos são os típicos cones litorais das ilhas vulcânicas (GUERRA, 1978).

## ANEXOS

### Anexo A. Descrição Morfológica dos Perfis de Solos

#### Perfil nº 1

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 17/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 0615994 e N 3017582 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 31 A e B

**Relevo (face/declividade):** terraço marinho a 25m de altitude, com 4% declividade, na face sudeste.

**Material de origem:** depósitos piroclásticos recentes e depósitos aluviais e de praia indiferenciados.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ausente

#### Horizontes:

C1 0-5 cm, areia muito cascalhenta; grãos simples; bruno muito escuro (10YR 2/2); úmido; 6,5 °C.

C2 5-17 cm, franco-arenosa; cascalhos abundantes; grãos simples; bruno muito escuro (10YR 2/2); úmido; 5,5 °C.

C3 17-21 cm, areia; cascalhos abundantes; grãos simples; cinzento muito escuro (2,5YR 3/0); úmido; 2,4 °C.

C4 21-30 cm, franco-arenosa; muitos cascalhos; grãos simples; cinzento muito escuro (2,5YR 3/0); úmido; 2,0 °C.

C5 30-50 cm, franco-arenosa; muitos cascalhos; grãos simples; cinzento muito escuro (2,5YR 3/0); úmido; 1,2 °C.

Permafrost 50+, 0,3 °C.

**Estágio de intemperismo:** 2

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 50+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criosolo Háptico (Epiarênico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram coletadas amostras

#### Perfil nº 2

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 18/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 0616894 e N 3017876 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 32 A e B.

**Relevo (face/declividade):** topo de morro, a 98 m de altitude com 1% de declividade, na face sul.

**Material de origem:** tufos e maars de cinzas vulcânicas, Formação Pendulum Cove, pré- 1829.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Vegetação/organismos:** ausente

#### Horizontes:

C1 0-10 cm, franco-siltosa; muitos cascalhos; grãos simples; bruno (10YR 4/3); seco; 3,0 °C.

C2 10-35 cm, areia-franca; cascalhos abundantes; grãos simples; bruno-escuro (10YR 3/3); seco; 1,1 °C.

Permafrost 35+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 1

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade** ausente

**Profundidade do permafrost:** 35+

**Impacto humano no sítio:** leve, presença de experimento científico.

**Classificação do solo:** Criossolo Háptico (Esquelético) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

### **Perfil nº 3**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 20/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 617162 e N 3018814 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 33 A e B.

**Relevo (face/declividade):** terraço marinho a 9 metros de altitude, com 4% declividade, na face sudeste.

**Material de origem:** depósitos indiferenciados aluviais e de praias.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Vegetação/organismos:** ausente

### **Horizontes:**

C1 0-10 cm, areia- franca; cascalhos comuns; grãos simples; bruno (10YR5/3); seco; 4,2 °C.

C2 10-30 cm, areia-franca; muitos cascalhos; grãos simples; bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2); seco; 4,4 °C.

C3 30-50 cm, areia-franca; cascalhos comuns; grãos simples; bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2); seco; 5,2 °C.

C4 50-65 cm, franco-arenosa; muitos cascalhos; grãos simples; bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2); seco; 5,4 °C.

C5 65-110 cm +; areia cascalhenta; muitos cascalhos; grãos simples; bruno-acinzentado-escuro (10YR4/2); seco; 5,6 °C.

**Estágio de intemperismo:** 2

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** ausente

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Fluvissole Háptico (Arênico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

### **Perfil nº 4**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV) .

**Data:** 20/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 6116785 e N 3018880 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 34 A e B.

**Relevo (face/declividade):** terço médio de encosta a 78m de altitude e com 38% de declividade, na face nordeste.

**Material de origem:** tufos e maars de cinzas vulcânicas, Formação Pendulum Cove, pré- 1829.

**Padrão do solo/crioturbação:** linha de cascalho subangulares orientadas (10, 25 e 35 cm)

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ausente

**Horizontes:**

C1 0-5 cm, franco-siltosa; cascalhos abundantes; grão simples; bruno (7,5YR 4/2); seco; 2,6 °C.

C2 5-50 cm, franco-siltosa; muitos cascalhos; grãos simples; bruno-escuro (7,5 YR 3/2); seco; 1,1 °C.  
Permafrost 50+, 0,4 °C.

**Estágio de intemperismo:** 3

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 50+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Túrbico (Episíltico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

**Perfil nº 5**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 20/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 6116785 e N 3018880 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 35 A e B

**Relevo (face/declividade):** terço superior de encosta a 115m de altitude e com 36% de declividade, na face sul.

**Material de origem:** tufos e maars de cinzas vulcânicas, Formação Pendulum Cove, pré- 1829.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ausente

**Horizontes:**

C1 0-10 cm, franco-arenosa; cascalhos abundantes; grão simples; cinzento-escuro (10YR 4/1); seco; 4,8 °C.

C2 10-18 cm, areia franca; muitos cascalhos; grão simples; cinzento-escuro (10YR 4/1); seco; 2,7 °C.

C3 18-24 cm, franco-arenosa; muitos cascalhos; grão simples; bruno-escuro (10YR 3/3); seco; 2,1°C.

C4 24- 48cm, areia franca; muitos cascalhos; grão simples; bruno-escuro (10YR 3/3); seco; 1,5 °C.

Permafrost 48+, 0,4 °C.

**Estágio de intemperismo:** 2

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 48+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Háptico (Esquelético) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

**Perfil nº 6**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 20/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 0615832 e N 3019337 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** 36 A e B

**Relevo (face/declividade):** terço superior de encosta a 190m de altitude e com 48% de declividade, na face sul.

**Material de origem:** escórias estrombolianas e lavas pós-caldeira, formação Stonethrow Ridge, depósitos de 1839, 1842 e 1969

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ausente

**Horizontes:**

C 0-20 cm, franco-arenosa; muitos cascalhos; grão simples; bruno-acinzentado (10YR 5/2); seco, 1,5 °C.

Permafrost 20+, 0,4 °C.

**Estágio de intemperismo:** 1

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 20+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Háptico (Esquelético) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

**Perfil nº 7**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 20/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 0616331 e N 3019682 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 37 A e B

**Relevo (face/declividade):** depressão com encharcamento sazonal, a 20m de altitude com 2% de declividade, na face nordeste.

**Material de origem:** depósitos aluviais e de praia indiferenciados.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Vegetação/organismos:** ausente

**Horizontes:**

C 0-40 cm, areia; muitos cascalhos; grão simples; bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2), mosqueados vermelho (7,5R 5/8); úmido; 2,5 °C.

Permafrost 40+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 1

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 40+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Háptico (Oxyáquico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

**Perfil nº 8**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 20/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 0616433 e N 3019785 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 38 A e B

**Relevo (face/declividade):** depressão com encharcamento sazonal, constituindo o fundo de uma cratera a 12m de altitude com 4% de declividade, na face sudeste.

**Material de origem:** depósitos aluviais e de praia indiferenciados.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ausente

**Horizontes:**

B 0-65 cm, franco-argilo-siltosa; moderada, grande e média blocos angulares; Rosado (5YR 7/2); seco; 3,8 °C.

C 65+cm, areia-franca; cascalhos abundantes; grão simples; Bruno-avermelhado-claro (5YR 4/2); seco; 3,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 2

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** ausente

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do Solo:** Regossolo Háptico (Oxiáquico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

**Perfil nº 9**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel( Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV) .

**Data:** 21/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 618223 e N 3021355 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 39 A e B

**Relevo (face/declividade):** localizado em segundo nível de terraço marinho a 9m de altitude e com 5% de declividade, na face sul.

**Material de origem:** sedimentos de tufos e depósitos de erupções, Formação Pendulum Cove (cones Baía Telefon).

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** pequenas manchas de *Sanionia cf. uncinata*.

**Horizontes:**

A 0-5 cm, areia; muitos cascalhos; grão simples; pequeno conteúdo matéria orgânica; cinzento-escuro (10YR 4/1); úmido; 2,3 °C.

C 5-60 cm, areia franca, muitos cascalhos e poucas pedras; grão simples; cinzento-escuro (7,5YR 4/1); úmido; 2,0 °C.

Permafrost 60+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 2

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 60+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Turbico (Esquelético) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

### **Perfil nº 10**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 21/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 618086 e N 3021083 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 40 A e B

**Relevo (face/declividade):** localizado em baixada a 4m de altitude e com 5% de declividade, na face norte.

**Material de origem:** depósitos aluviais e de praia indiferenciados.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente.

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ausente

### **Horizontes:**

C1 0-25 cm, areia franca; muitos cascalhos; grão simples; bruno (7,5YR 5/2); úmido; 0,9 °C.

C2 25-40 cm, areia franca; muitos cascalhos; grão simples; cinzento escuro (5YR 4/1); úmido; 2,1°C.

C3 40-44 cm, franco-arenosa; muitos cascalhos; grão simples; cinzento escuro (5YR 4/1); úmido; 1,6 °C.

C4 44-58 cm, areia franca; muitos cascalhos; grão simples; cinzento escuro (5YR 4/1); úmido; 0,9 °C.

Permafrost 58+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 2

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 58+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criosolo Hápilico (Epiarênico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

### **Perfil nº 11**

**Descrito por:** Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV),

**Data:** 23/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** 617370 e N 3014583 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil :**Figura 41 A e B

**Relevo (face/declividade):** localizado em moraina a 58m de altitude com 8 % de declividade, na face oeste.

**Material de origem:** tufos e maars de cinzas vulcânicas, Formação Pendulum Cove (Vapour Col Cones), pré-1829.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ausente

### **Horizontes:**

C1 0-20 cm, areia franca; muitos cascalhos; grão simples; cinzento-escuro (10YR 4/1); úmido; 2,5°C.

C2 20-25 cm, franco-arenosa; pedras comuns; grão simples; cinzento-escuro (7,5YR 4/0); úmido; 2,4°C.

C3 25-55 cm, areia franca; pedras comuns; grão simples; cinzento muito escuro (7,5 YR3/0); úmido; 1,4 °C.

C4 55-75 cm, areia franca; muitos cascalhos e pedras comuns; grão simples; cinzento muito escuro (7,5 YR3/0); úmido; 0,8 °C.

Permafrost 75+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 1  
**Estágio e tipo de sal:** ausente  
**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente  
**Profundidade do permafrost:** 75+  
**Impacto humano no sítio:** ausente  
**Classificação do solo:** Criosolo Hápilico (Endoarênico) (WRB, 2006)  
**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

#### **Perfil nº 12**

**Descrito por:** Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV),  
**Data:** 23/02/2010  
**Localização GPS: Coordenadas UTM:** 617919 e N 3014400 zona 20 S  
**Foto do sítio e do perfil :** Figura 42 A e B  
**Relevo (face/declividade):** localizada em terço superior de encosta a 70 m com 13 % de declividade, na face nordeste.  
**Material de origem:** tufos e maars de cinzas vulcânicas, Formação Pendulum Cove ( Vapour Col Cones), pré-1829.  
**Padrão do solo/crioturbação:** terreno ondulado.  
**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.  
**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado  
**Vegetação/organismos:** ausente

#### **Horizontes:**

C1 0-5 cm, franco-arenosa; cascalhos abundantes; grão simples; cinzento muito escuro (7,5YR 3/0); úmido; 2,6 °C.  
C2 5-22 cm, areia franca; cascalhos abundantes; grão simples; cinzento muito escuro (7,5YR 3/0); úmido; 2,5°C.  
Permafrost 22+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 1  
**Estágio e tipo de sal:** ausente  
**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente  
**Profundidade do permafrost:** 22+  
**Impacto humano no sítio:** ausente  
**Classificação do solo:** Criosolo Hápilico (Esquelético) (WRB, 2006)  
**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

#### **Perfil nº 13**

**Descrito por:** Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).  
**Data:** 23/02/2010  
**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 618182 e N 3014343 zona 20 S  
**Foto do sítio e do perfil:** Figura 43 A e B  
**Relevo (face/declividade):** localizado em platô a 22m de altitude e com 8% de declividade, na face sudoeste.  
**Material de origem:** tufos e maars de cinzas vulcânicas, Formação Pendulum Cove (Crater Lake Cones, múltiplos centros eruptivos provavelmente pré 1829).  
**Padrão do solo/crioturbação:** transição irregular de horizontes  
**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.  
**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado  
**Vegetação/organismos:** cobertura de musgos *Polytrichum*, *Polytrichadelphus*, *Sanionia*.

#### **Horizontes:**

C1 0-10 cm, areia franca; cascalhos comuns; grão simples; cinzento muito escuro (7,5YR 3/0); úmido; 2,5 °C.

C2 10-30 cm, areia; cascalhos abundantes; grão simples; cinzento muito escuro (7,5YR 3/0); úmido; 1,3°C.

Permafrost 30+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 2

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 30+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Háptico (Esquelético) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

#### **Perfil nº 14**

**Descrito por:** Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV)

**Data:** 23/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 0618254 e N 3013818 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 44 A e B

**Relevo (face/declividade):** terço inferior de encosta a 4m de altitude e com 17% de declividade, na face norte.

**Material de origem:** escórias estrombolianas e lavas pós-caldeira, principalmente depósitos de 1839, 1842 e 1969; Formação Stonethrow Ridge, membro Mr. Kirkwood.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** ninhal de skuas e musgos *Polytrichum*, *Polytrichadelphus*, *Sanionia*

#### **Horizontes:**

A 0-10 cm, franco-arenosa; cascalhos comuns; matéria orgânica fíbrica; fraca pequena blocos subangulares; bruno-escuro (7,5 YR 3/2); seco; 3,0 °C.

C1 10-30 cm, areia franca; poucas pedras; grão simples; cinzento-escuro (2,5YR 4/0); seco; 2,4 °C.

C2 30-65 cm, areia franca; poucos cascalhos; grão simples; cinzento-avermelhado-escuro (10R 4/1) e vermelho-acinzentado (10R4/3); seco; 1,6°C.

Permafrost 65+, 0,4 °C.

**Estágio de intemperismo:** 3

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 65+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criosolo Háptico (Epiarênico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

#### **Perfil nº 15**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 24/02/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 0615305 e N 3013657 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 45 A e B

**Relevo (face/declividade):** terço médio de encosta em pinguineira abandonada a 50m de altitude e com 25% de declividade, na face sudoeste.

**Material de origem:** depósitos de morainas indiferenciados.

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** nublado

**Vegetação/organismos:** musgos *Polytrichastrum*, *Sanionia* em pinguineira abandonada

**Horizontes:**

A 0-20 cm, franco-arenosa; cascalhos comuns; matéria orgânica; fraca média blocos subangulares; cinzento muito escuro (5YR 3/1); úmido; 2,0 °C.

C 20-35 cm, franco arenosa; muitos cascalhos; grão simples; cinzento muito escuro (5YR 3/1); úmido; 1,4 °C.

C 35-40 cm, areia franca; muitos cascalhos e poucas pedras; grão simples; preto (10YR2/1); úmido; 0,5 °C.

Permafrost 40+, 0,1°C.

**Estágio de intemperismo:** 3

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** não descrito

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Háptico (Ornítico) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

**Perfil nº 16**

**Descrito por:** Juliana de Oliveira Tostes (Mestranda em Agronomia Ciência do Solo-UFRRJ/ julianageoufv@yahoo.com.br), Bruno Resck (Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV), e Roberto Michel (Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas-UFV).

**Data:** 01/03/2010

**Localização GPS: Coordenadas UTM:** E 622623 e N 3012210 zona 20 S

**Foto do sítio e do perfil:** Figura 46 A e B

**Relevo (face/declividade):** localizado em terraço marinho a 23m de altitude em lobeira ativa, com 26% de declividade, na face norte.

**Material de origem:** depósitos de praia indiferenciados

**Padrão do solo/crioturbação:** ausente

**Regime climático:** precipitação média de 500 mm/ano e temperatura média anual de -2°C.

**Condições do tempo no momento de descrição:** ensolarado

**Vegetação/organismos:** musgos *Polytrichastrum*, *Sanionia* e *Bryaceae* em lobeira ativa

**Horizontes:**

A 0-20 cm, franco-arenosa; cascalhos comuns; fraca pequena blocos subangulares; cinzento muito escuro (2,5YR 3/0); seco; 1,9 °C.

B 20-45 cm, franco-siltosa; cascalhos comuns; fraca pequena blocos subangulares;. cinzento muito escuro (2,5YR 3/0); seco; 1,4 °C.

Camada siltosa a 45 cm.

C 45-59 cm, franco-siltosa; cascalhos comuns; grão simples; preto (10YR2/1); úmido; 1,0 °C.

Permafrost 59+, 0,5 °C.

**Estágio de intemperismo:** 3

**Estágio e tipo de sal:** ausente

**Presença ou ausência de cimento de gelo e sua profundidade:** ausente

**Profundidade do permafrost:** 59+

**Impacto humano no sítio:** ausente

**Classificação do solo:** Criossolo Háptico (Episiltic) (WRB, 2006)

**Amostras coletadas:** não foram realizadas coletas

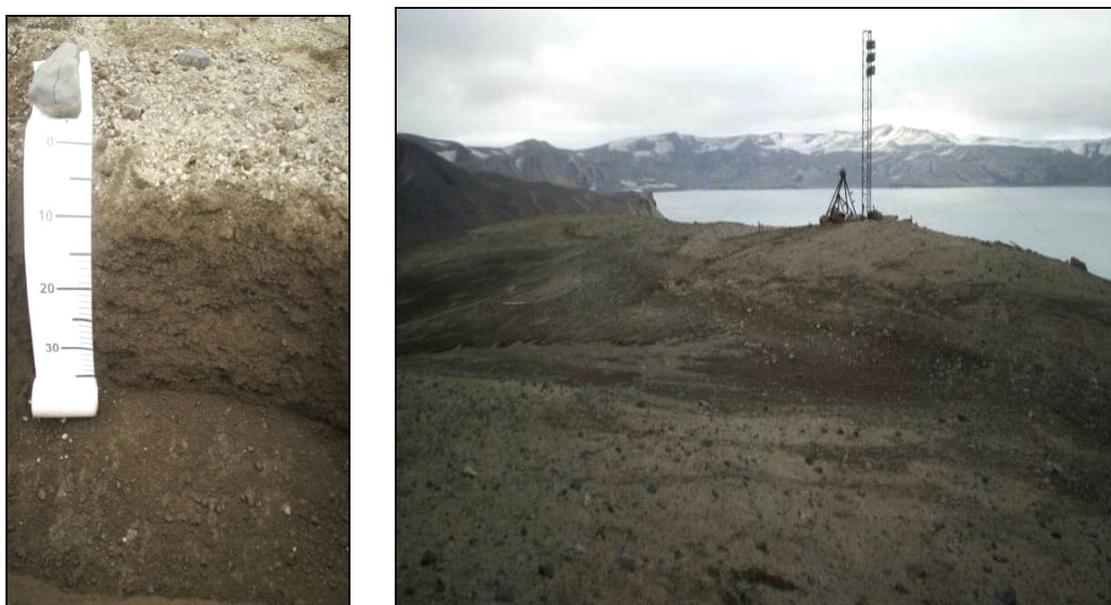
## Anexo B. Fotografias dos Perfis Descritos e Pedoambientes Correspondentes

### a) Perfil 1



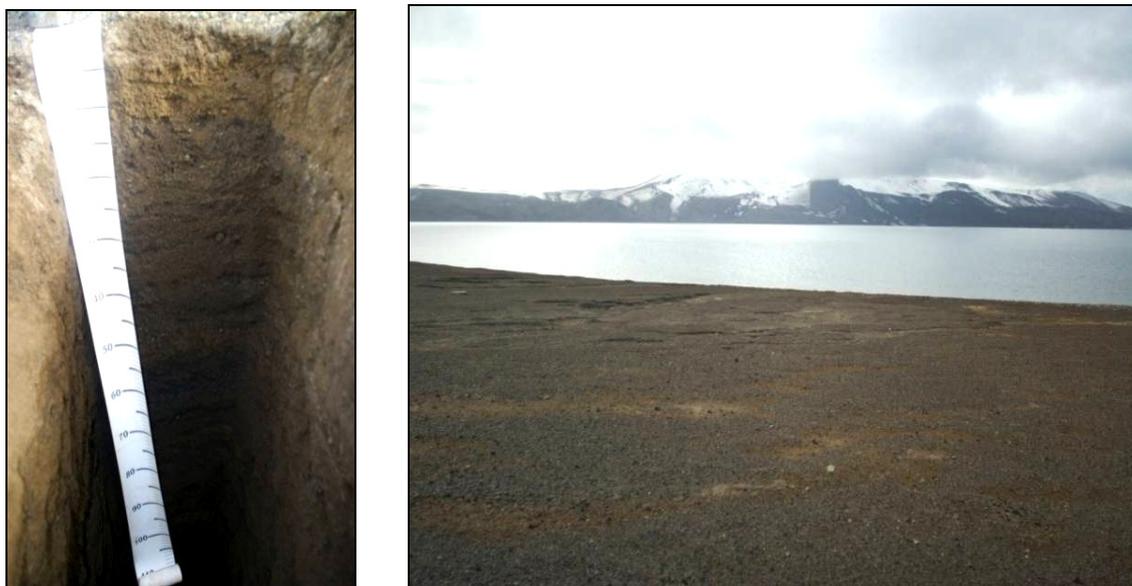
**Figura 31.** A Criossolo Háplico (Epiarênico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

### b) Perfil 2



**Figura 32.** A Criossolo Háplico (Esquelético). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**c) Perfil 3**



**Figura 33.** A Fluvisolo Háptico (Arênico) B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**d) Perfil 4**



**Figura 34.** A Criosolo Túrbico (Episáltico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**e) Perfil 5**



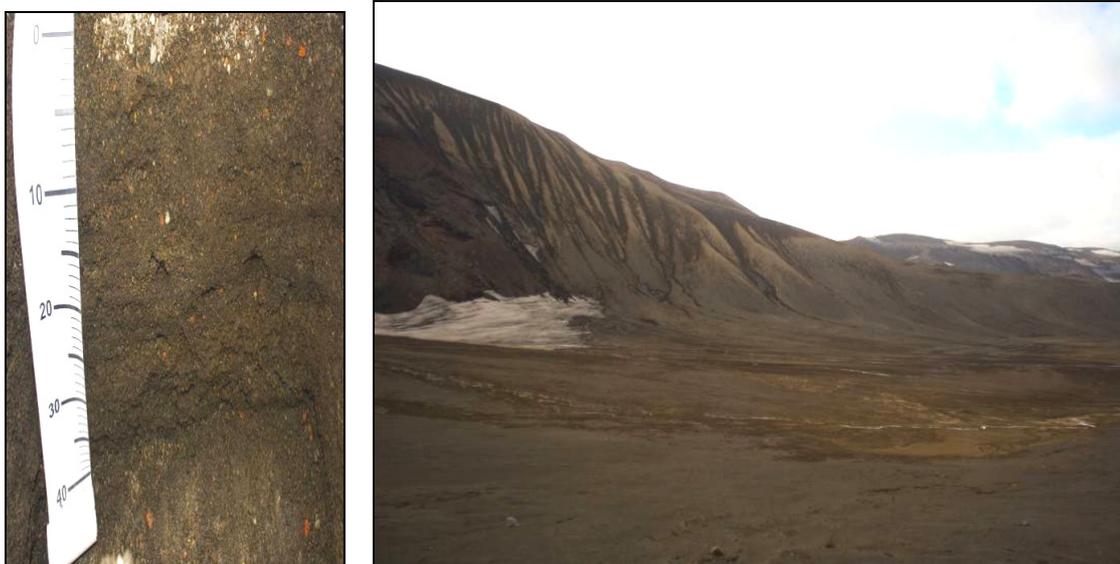
**Figura 35.** A Criossolo Háptico (Esquelético). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**f) Perfil 6**



**Figura 36.** A Criossolo Háptico (Epiarênico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**g) Perfil 7**



**Figura 37.** A Criossolo Háplico (Oxyáquico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**h) Perfil 8**



**Figura 38.** A Regossolo Háplico (Oxiáquico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**i) Perfil 9**



**Figura 39.** A Criossolo Turbico (Esquelético). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**j) Perfil 10**



**Figura 40.** A Criossolo Hápilico (Epiarênico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**l) Perfil 11**



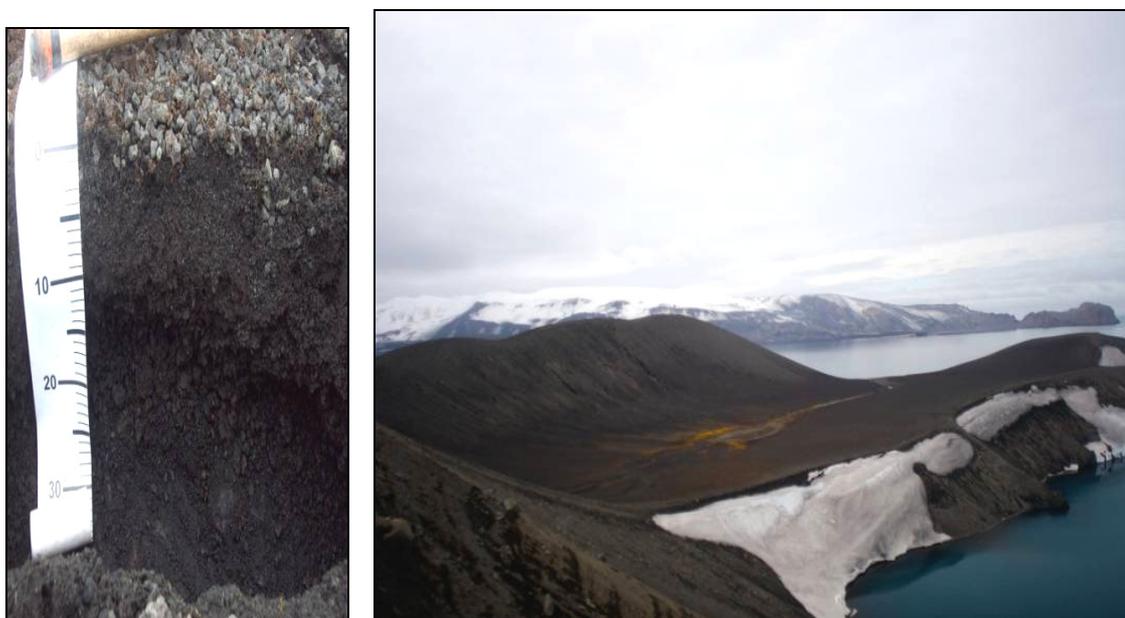
**Figura 41.** A Criosolo Háptico (Endoarênico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**m) Perfil 12**



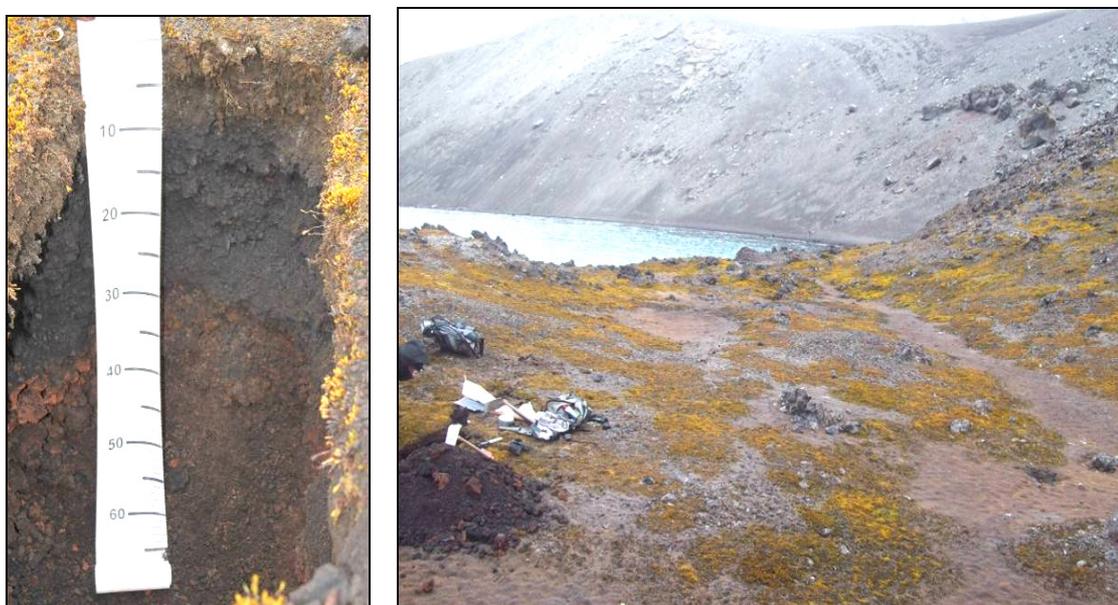
**Figura 42.** A Criosolo Háptico (Esquelético). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**n) Perfil 13**



**Figura 43.** A Criosolo Háptico (Esquelético). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**o) Perfil 14**



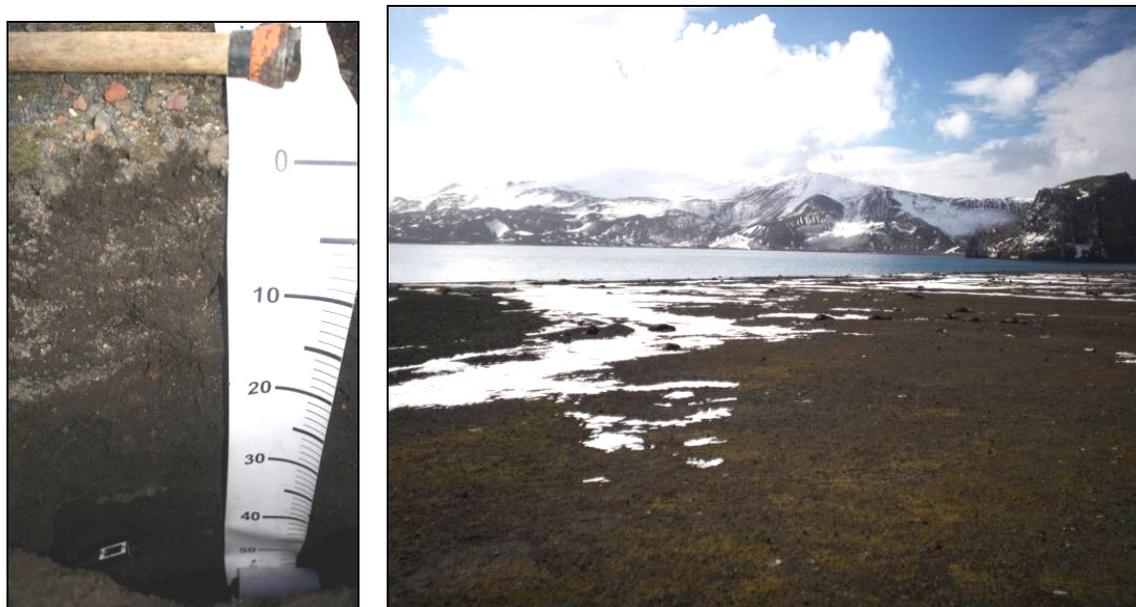
**Figura 44.** A Criosolo Háptico (Epiarênico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**p) Perfil 15**



**Figura 45.** A Criosolo Hápilico (Ornítico). B Pedoambiente correspondente ao perfil.

**q) Perfil 16**



**Figura 46.** A Criosolo Hápilico (Episiltic). B Pedoambiente correspondente ao perfil.