

ULISSES FRANZ BREMER

**SOLOS E GEOMORFOLOGIA DA BORDA LESTE DA PENÍNSULA
WARZAWA, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

ULISSES FRANS BREMER

**SOLOS E GEOMORFOLOGIA DO LESTE DA PENÍNSULA WARSZAWA,
ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA**

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

APROVADA: 25 de abril de 2008.

Prof. Márcio Rocha Francelino
(Co-Orientador)

Prof. Elpídio Inácio Fernande Filho
(Co-Orientador)

Prof. Felipe Nogueira Bello Simas

Prof. Walter Antonio P. Abrahão

Prof. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer
(Orientador)

Em memória de meu pai.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade propiciada e pela estrutura colocada à disposição do desenvolvimento desta tese, destacadamente os laboratórios de análises do Departamento de Solos (DPS).

Ao orientador, Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer por despertar-me o interesse para estes estudos, por suas críticas, sugestões e contribuições no processo de elaboração da tese, pela persistência na pesquisa antártica em condições muitas vezes adversas, pela amizade e boa convivência em três campanhas antárticas.

Ao co-orientador Prof. Márcio Francelino e conselheiro Prof. Elpídio Fernandes Filho, pelo auxílio na aquisição e pós-processamento de dados de *NAVSTAR GPS* na expedição antártica de 2004. Especialmente ao Márcio pelos trabalhos com GPS e perfis de solos na campanha de 2006, por sua amizade, sugestões e contribuições imprescindíveis a esta tese. E especialmente ao Elpídio, pela disponibilização da estrutura do Laboratório de Geoprocessamento (LabGeo) ao longo do processo da tese, por sua amizade e sugestões no exame de qualificação.

Ao co-orientador Prof. Norberto Dani, por disponibilizar a estrutura do Laboratório DRX, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para as análises mineralógicas e por suas contribuições na interpretação dos difratogramas, bem como por disponibilizar vaga em seu projeto para minha participação na campanha antártica de 2006.

Aos professores Liovando M. Costa e Walter P. Abrahão, por suas sugestões e contribuições enquanto examinadores de qualificação e tese, respectivamente.

Aos companheiros na campanha antártica de 2004, Felipe Simas e Roberto Michel, por seu auxílio durante o trabalho nos perfis, pela amizade e bom convívio em campo. Especialmente ao Prof. Felipe por suas críticas e sugestões no exame de qualificação e de defesa da tese.

Ao pós-doutorando Rogério Mercandelle Santana (UFV) por seu prestimoso auxílio nos trabalhos de aerofotogrametria.

À colega pós-graduanda Eliana de Souza, pelo pronto-auxílio durante as atividades de geoprocessamento no LabGeo UFV. Extensivo aos colegas pós-graduandos das turmas de 2003 a 2004, pelo bom convívio, por sua amizade e intercâmbio de conhecimentos e experiências durante o curso.

Aos técnicos Gilberto Santos e Maribel Santos, pelo auxílio durante os trabalhos de granulometria no Centro de Estudos Geologia Costeira e Oceânica (CECO-UFRGS), extensivo ao Prof. Nelson Gruber, diretor do CECO, por disponibilizar os laboratórios, e ao Ronaldo T. Bernardo e Jorge Costa, pelo auxílio na difratometria no Laboratório DRX (UFRGS).

Aos bolsistas de iniciação científica Juliana Rodrigues, Mariana e Vitor Vinhal, pelo auxílio nas análises químicas, e à bolsista Fernanda Matchuk, pelo trabalho na mesa digitalizadora do LabGeo/DPS.

À secretária Luciana, do PPG Solos, por sua atenção ao longo do curso, extensivo às secretárias Sônia e Tatiana, do DPS, bem como aos técnicos do laboratório de rotina de solos e seu coordenador Prof. Reinaldo Cantarutti. Especialmente à secretária e amiga, Cláudia Gonçalves, do projeto Criossolos, por sua assistência e vários encaminhamentos ao longo desse processo.

Aos colegas Prof. Fernando Livi, Tânia M. Strohaecker e Francisco Aquino, do Departamento de Geografia da UFRGS, pela amizade, encaminhamentos e apoio durante meu afastamento. Especialmente ao Prof. Jefferson Simões por disponibilizar a biblioteca, estação fotogramétrica e estrutura do Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas (NUPAC), para minhas demandas na tese.

Aos colegas do NUPAC-UFRGS, Rosemary Vieira, Ildo Parnow, Luis F. Velho e Eliana Fonseca pelo apoio técnico em informática e geoprocessamento, e ao Ricardo Braga, na versão do *Abstract* e arte-final das figuras.

À UFRGS, por conceder o afastamento durante 4 anos e pela bolsa PICDT, junto à CAPES, durante os últimos 2 anos e meio deste período. Ao PROANTAR pelo apoio logístico nas expedições antárticas.

Àqueles que facilitaram minha permanência em Viçosa, especialmente ao campanha antártico Manoel R. Albuquerque, aos colegas de repúblicas e amigos Eduardo Bimbi, Melchior Nascimento, Daniel Schurt, Délcio Rocha, Vladimir Iorio, Gustavo Guimarães, Klaus Scheuermann, Valdir Lourenço Jr. e Néia, pela amizade, apoio logístico, e boa convivência ao longo deste período.

BIOGRAFIA

Ulisses Franz Bremer, filho de Rosalina Pardini Bremer e Osmar Franz Bremer (04/10/1931-13/01/2006), nasceu em Teófilo Otoni, no estado de Minas Gerais. Graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura de Lavras, atual (UFLA), Minas Gerais, em dezembro de 1986. Foi bolsista de aperfeiçoamento em pesquisa do Programa Antártico Brasileiro/CNPq, de 1992 a 1993, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre. Tornou-se Geógrafo pela UFRGS, em abril de 1994 e desde outubro de 1996 é professor no Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da mesma Universidade. Concluiu o mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS, em junho de 1998. Em agosto de 2003 iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

	Página
Folha de rosto	i
Comissão avaliadora	ii
Dedicatória	iii
Agradecimentos	iv
Biografia resumida do autor	vi
Sumário	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Lista de Abreviaturas	xvi
Resumo	xviii
<i>Abstract</i>	xx

I. Introdução geral: Criossolos e a borda leste da península Warszawa

1. Apresentação	1
2. Contexto científico	2
2.1. Criossolos na Antártica	3
3. Objetivos	5
4. A área de estudo	6
Referências	8

II: Geomorfologia periglacial e geoambientes do sul da Área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado

1. Introdução	11
1.1. Fatores climáticos e hidrológicos na Ilha Rei George	11
1.1.1. Temperatura, precipitação e umidade relativa nas Shetlands do Sul	11
1.1.2. A ação hídrica, drenagem e deposição glaciofluvial	13
1.1.3. A ação eólica	15
1.1.4. O clima regional e a nebulosidade na ilha Rei George	16

1.2. Geleiras e áreas livres de gelo na borda leste da península Warszawa	16
1.2.1. Dinâmica e processos erosivos glaciais e deposicionais	18
1.2.2. Geoformas resultantes da erosão e deposição glacial	19
1.3. O <i>permafrost</i> e a camada ativa no ambiente periglacial da Ilha Rei George	19
1.3.1. Formas e depósitos associados à camada ativa	21
1.4. Conceito, condicionantes e processos periglaciais na península Warszawa	22
1.4.1. Relevo e formas estruturais da borda leste da península Warszawa	22
1.4.2. Formas típicas das plataformas superiores	24
1.4.3. Processos e morfologia de vertentes	25
1.4.3.1. Taludes e cones de detritos	25
1.4.3.2. Detritos afetados por fluxo	26
1.4.3.3. Geleiras de rocha e <i>protalus</i>	26
2. Metodologia	27
2.1. Interpretação de imagens digitais e geoprocessamento	27
3. O ambiente periglacial na margem oeste da baía do Almirantado	29
3.1. Formas resultantes da ação glaciofluvial e zonas proglaciais	30
3.1.1. Planícies glaciofluviais	30
3.1.2. Planícies glaciolagunares e a ação glaciomarinha na margem oeste da Baía do Almirantado	31
3.2. Superfícies de ablação eólica	33
5. Conclusões	34
Referências	34
III: Solos da margem oeste da baía do Almirantado: morfologia, características químicas e físicas, e classificação	38
1. Introdução	38

1.1. Propostas de zoneamento pedológico antártico	39
1.2. Estudos de solos da Antártica Marítima	42
2. Fatores relacionados à formação do solo no leste da península Warszawa	44
2.1. O material de origem e o tempo de sua exposição	44
2.2. Relevo da borda leste da península Warszawa	44
2.3. O clima nas ilhas Shetland do Sul e sua influência no leste da península Warszawa	44
2.3.1. A ação do congelamento e descongelamento	46
2.3.2. Processos químicos	46
2.4. Ação de aves e mamíferos na área de estudo	47
2.4.1. A atividade de pingüins entre as pontas Demay e Uchatka	47
2.4.2. Presença de mamíferos e outras aves no leste da península Warszawa	49
2.4.3. Cobertura vegetal entre as pontas Agat e Telefon	50
3. O <i>permafrost</i> e a camada ativa na margem oeste da baía do Almirantado	50
4. Materiais e métodos	52
4.1. Descrição dos solos	53
4.2. Análises laboratoriais	56
5. Resultados e discussões	57
5.1. Características físicas	57
5.2. Características químicas	58
5.2.1. Fosfatização: característica marcante dos perfis analisados	58
5.2.2. Elementos traços	61
5.3. Mineralogia	61
5.4. Os solos da borda leste da península Warszawa	71
5.4.1. Criossolos	72
5.4.2. Leptossolos	73
5.4.3. Fluvissolos	73
5.4.4. Regossolos	73
5.4.5. Terrenos sem desenvolvimento de solos	74

5.4.5.1 Terrenos Glaciais	74
5.4.5.2. Terrenos Proglaciais	74
5.4.5.3. Terrenos Praiais	75
5.4.5.4. Terrenos Rochosos	75
5.5. Ocorrência de artrópodes terrestres junto a formações vegetais no leste da península Warszawa	75
6. Conclusões	76
Referências	78
IV: Mapeamento geomorfológico, radiação solar e vegetação na borda leste da península Warszawa	83
1. Introdução	83
1.1. Objetivos	84
1.2. Procedimentos fotogramétricos	84
1.2.1. Fotogrametria métrica e interpretativa	84
1.2.2. Câmaras fotográficas	85
1.2.3. Mosaicos	86
1.3. Mapeamento na borda leste da península Warszawa – cuidados e dificuldades	86
2. Metodologia	87
2.1. Aquisição de pontos de controle no terreno	88
2.2. Obtenção das fotografias aéreas	89
2.3. Ortoretificação das fotografias aéreas e geração do mosaico	90
2.3.1. Orientação interior e exterior das aerofotos e fototriangulação	91
2.3.2. Modelo digital do terreno (MDT) e ortofotografias	95
2.3.3. Geração de um MDT com fotografias aéreas convencionais	97
2.3.4. Geração de mosaicos da área de estudo	98
2.5. Fotointerpretação	99
2.6. Delimitação das comunidades vegetais e modelagem da radiação solar	99

3. Resultados e discussões	99
3.1. Caracterização da cobertura vegetal da borda leste da península Warszawa	100
3.1.1. Formação de musgos em carpete nas áreas costeiras	101
3.1.2. Formação de líquens fruticosos	101
3.1.3. Formações de tapetes de musgos em altitude	102
3.1.4. Formação de úsneas sobre fragmentos de rocha	102
3.1.5. Áreas de vegetação incipiente com líquens fruticosos	102
3.1.6. Terrenos sem cobertura vegetal	102
3.2. Características geoecológicas da borda leste da península Warszawa	103
3.3. Efeito da radiação na caracterização geoecológica do sul da AAEP 128	106
4. Conclusões	107
Referências	109
5. Conclusões gerais	111
Anexo 1	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.1	Localização das Ilhas Shetland do Sul, no extremo norte da Península Antártica (modificado de Simões <i>et al.</i> , 2004).	4
1.2	Localização da área de estudo na borda leste da península Warszawa e margem oeste da baía do Almirantado, na ilha Rei George (modificado de SCAR, 2007).	6
1.3	Panorama da borda leste da península Warszawa, na ilha Rei George (Foto: Projeto Criossolos, fevereiro/2004).	7
2.1	Série de temperaturas médias anuais para o último meio século, obtidas de estações meteorológicas das Shetlands do Sul e norte da Península Antártica (Fonte: Aquino <i>et al.</i> , 2004).	12
2.2	A planície glaciofluvial Sphinx, que marca o extremo norte da área de estudo.	15
2.3	Mapa da ilha Rei George apresentando as áreas livres de gelo, basicamente restritas a pontas e pequenas penínsulas, em sua maioria no seu setor meridional.	17
2.4	Perfil esquemático de zonas e tipos de <i>permafrost</i> para uma vertente hipotética.	20
2.5	Falésia do lóbo norte da geleira Baranowski, e o <i>nunatak</i> Siodlo com seu topo tabuliforme.	23
2.6	Diferentes momentos do processo de desintegração física nas plataformas rochosas superiores da área de estudo.	24
2.7	Escarpa rochosa de Demay, apresentando típicos cones de detritos depositados sobre <i>talus</i> no sopé do promontório rochoso.	25
2.8	Recorte da imagem orbital <i>Quickbird</i> , da qual os 2/3 meridionais foram utilizados para o mapeamento geomorfológico.	29
2.9	Mapa geomorfológico da borda leste da península Warszawa.	32
2.10	Complexo lagunar glaciomarinho na zona proglacial da geleira Windy.	33
2.11	A mais extensa superfície de ablação eólica na área de estudo localiza-	33

	se nos terrenos altos entre Demay e a ponta Uchatka.	
3.1	Zonas pedológicas na região circumpolar meridional segundo Bockheim e Ugolini (1990).	40
3.2	Diferenças nos processos pedogenéticos em solos minerais ao longo da Região Circumpolar Austral.	41
3.3	Dois aspectos das paisagens da borda leste da península Warszawa, apresentando a diversidade de formas de relevo que caracterizam as áreas livres de gelo.	45
3.4	Ninhal de <i>P. antarctica</i> sobre terreno rochoso e irregular na extremidade da ponta Telefon, junto ao estreito Bransfield, no limite meridional da AAEP 128.	48
3.5	A ponta Uchatka e sua cobertura vegetal no sul da AAEP 128.	51
3.6	Perfil esquemático do comportamento térmico do <i>permafrost</i> (adaptado de Dobinski, 2006).	52
3.7	Sítio geográfico e perfil (P1) de solo ornitogênico da ponta Telefon.	53
3.8	Localização dos perfis amostrados para análises físicas e químicas.	54
3.9	Difratograma da amostra U103, extraída do perfil US1 (0-10) na ponta Agat, baía do Almirantado.	62
3.10	Difratograma da amostra U103, extraída do perfil US1 (10-40) na ponta Agat, baía do Almirantado	63
3.11	Difratograma comparativo das amostras US1 (10-40), D7 (20-40) e P3 (10-30).	64
3.12	Difratograma da amostra U107, do perfil D7, fração total.	65
3.13	Diagrama da amostra U107, do perfil D7, da ponta Uchatka.	66
3.14	Difratograma comparativo entre as amostras U107, U103 e U117.	67
3.15	Difratograma da amostra U117, na fração total, do perfil P3 (10-30), da ponta Telefon.	68
3.16	Difratograma da amostra U117 (P8).	69
3.17	Difratograma da amostra U114 (P80).	70
3.18	Difratograma comparativo entre as amostras U117, U103 e U107	71

4.1	Registro de pontos de controle adquiridos na costa da AAEP 128 sobre recorte do mapa de Pudélko (2002), representando parte da área de estudo.	88
4.2	Câmaras fotográficas utilizadas para obtenção das fotografias aéreas métricas (a) e não métricas (b).	89
4.3	A primeira linha de vôo foi orientada ao referencial da primeira fotografia inserida, a de número 44, no extremo meridional da área de estudo, a ponta Telefon.	94
4.4	Primeiro par aerofotográfico da segunda linha de vôo inserida (notar o recobrimento lateral com as fotos 44 e 46, da figura 4.4).	95
4.5	Linhas de vôo do SAF/SHOA executadas para a obtenção de fotografias aéreas convencionais da ilha Rei George.	97
4.6	Detalhes de fotografias aéreas convencionais, de duas diferentes linhas de vôo, que necessitam melhor distribuição de pontos de controle para ortorretificação.	98
4.7	Cobertura vegetal no setor sul da AAEP 128, entre as pontas Demay e Telefon.	104
4.8	Terraço marinho apresentando vegetação de <i>Deschampsia antarctica</i> danificada e empoçamento d'água (b) em solo compactado pelo uso do local por elefantes marinhos austrais (<i>Mirounga leonina</i>) na angra Paradise (a).	105
4.9	Radiação global na área de estudo no verão de 2005-2006.	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela	Título	Página
3.1	Locais de amostragem e características gerais dos <i>pedons</i> estudados no sul da AAEP 128. 3.1a – Ponta Telefon; 3.1b – Ponta Uchatka; 3.2c – Ponta Demay; 3.1d – Ponta Agat.	55
3.2	Quantidade e percentuais de componentes das amostras com diâmetro maior e menor que 2 mm, cascalho e TFSA, respectivamente.	57
3.3	Características químicas dos solos estudados.	59
3.4	Local de ocorrência, cor, mineralogia da fração argila, estrutura e grau de diferenciação de horizontes para os principais grupos de solos da margem oeste da baía do Almirantado.	72
4.1	Características de calibração da câmara <i>Hasselblad 553 ELX</i> , do NEPUT/UFV.	90
4.2	Pontos de controle adquiridos na margem oeste da baía do Almirantado.	91
4.3	Parâmetros de Orientação Interior da câmara <i>Hasselblad 553 ELX</i> .	93
4.4	Extensão e participação relativa das áreas sem vegetação entre as pontas Agat e Telefon, na ilha Rei George.	100
4.5	Extensão e participação relativa das áreas com vegetação entre as pontas Agat e Telefon, na ilha Rei George.	101
4.6	Distribuição das comunidades vegetais na área entre as geleiras Baranowski e Windy.	103
4.7	Síntese estatística do cruzamento da matriz de radiação global e a de cobertura vegetal.	106

LISTA DE ABREVIATURAS

AAEG – Área Antártica Especialmente Gerenciada

AAEP – Área Antártica Especialmente Protegida

ANTPAS – Antarctic and Sub-Antarctic Permafrost and Soils

ASPRS – American Society of Photogrammetry and Remote Sensing

ATCM – Antarctic Treaty Consultative Meeting

CCD – charge coupled device

DGPS – differential NAVSTAR GPS

DPS – Departamento de Solos da UFV

DRX – difratometria de raio X

EFD – estação fotogramétrica digital

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAC – fotografias aéreas convencionais

FAO – United Nations Food and Agriculture Organisation

FAPEF – fotografia aérea de pequeno formato

GCP – ground control point

GSSG – SCAR Standing Scientific Group on Geoscience

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IUSS – International Union of Soil Science

KGIS – King George Island Geographic Information System

LPS – Leica Photogrammetry Suite

MDT – modelo digital do terreno

NapOc – Navio de Apoio Oceanográfico

NAVSTAR GPS – Navigation Signal with Timing and Ranging Global Positioning
System

NEPUT – Núcleo de Estudo e Planejamento da Terra da UFV

OQBC – ortho quick color

PAN – Polskiej Akademii Nauk (Academia Polonesa de Ciências)

SAF – Servicio Aerofotográfico de la Armada (Chile)

SCAR – Scientific Committee on Antarctic Research
SHOAA – Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (Chile)
SIG – sistema de informações geográficas
SSSA – Soil Survey Staff of the United States Department of Agriculture
SSSI – Site of Special Scientific Interest
TFSA – terra fina seca ao ar
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFV – Universidade Federal de Viçosa
USARP – United States Antarctic Research Program
UTM – Universal Transversa de Mercator
WRB – World Reference Base for Soil Resources

RESUMO

BREMER, Ulisses Franz, DSc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2008. **Solos e geomorfologia da borda leste da Península Warszawa, Ilha Rei George, Antártica Marítima.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer; Co-Orientadores: Norberto Dani; Márcio Rocha Francelino; Elpídio Inácio Fernandes Filho.

No leste da península Warszawa, na ilha Rei George, pingüins da espécie *Pygoscelis antarctica* podem ser encontrados nidificando sobre costões rochosos, morainas baixas junto ao litoral, e terraços marinhos de segundo nível ou superiores. Deste modo, solos ornitogênicos derivados da atividade desses pingüins são em geral rasos, apresentando profundidade de fosfatização bem inferior aos solos ornitogênicos de pingüineiras de *P. adeliae*, que ocupam setores mais elevados da Área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado (AAEP 128). Trabalhos de campo e de laboratório com solos ornitogênicos, entre a ponta Sphinx, na baía do Almirantado, e a ponta Telefon, no estreito Bransfield, permitiram diferenciá-los dos demais ecossistemas ornitogênicos da AAEP 128. O mosaico de aerofotos de pequeno formato tomadas em 2004 e a interpretação de uma imagem do satélite *Quickbird*, de 2006, permitiram a diferenciação e classificação geomorfológica da área de estudo. Estes produtos também possibilitaram delimitar as principais comunidades vegetais e estabelecer algumas relações geocológicas, através da modelagem da radiação solar pela extensão *Solar Analyst* do programa *ArcView 3.2a*. As análises químicas de amostras de solo coletadas em perfis abertos no extremo sul da AAEP 128 apresentam valores de P extremamente elevados. Os teores de fósforo disponível extraíveis pelo extrator de Melich, atingem valores mais altos que os encontrados por Schaefer *et al.* (2004) em solos entre a ponta Thomas e a geleira Ecology, próximo da estação Arctowski, e por Michel *et al.* (2006), entre a geleira Ecology e a ponta Sphinx, próximo da estação Copacabana. Destacam-se os perfis P2 e P3, da ponta Telefon, com valores de 20054,5 mg dm⁻³ e 8667,9 mg dm⁻³ de P, respectivamente. Esses valores denotam a importante reatividade de soluções de lixiviados fosfáticos de guano em interação com substratos rochosos, quando estes se encontram crioturbados e, portanto, intensamente fraturados, e suscetíveis de percolarem soluções *per descendum*. Assim, tem-se a combinação do *habitat* de nidificação com a pouca profundidade dos solos permitindo que a matéria orgânica se acumule – mesmo que parte do material retorne ao mar por canais de escoamento superficial. Estes solos ornitogênicos de *P. antarctica*

também demonstram valores muito elevados de Na trocável, fato que aponta para a influência marinha, ficando o solo exposto aos *sprays* salinos provenientes da arrebentação ou trazidos pelo vento. Nas pontas Uchatka e Demay, junto à angra Paradise, os sítios de nidificação antigos demonstram teores de P muito inferiores aos teores das pingüineiras atuais e, ainda que anômalos em relação a solos não ornitogênicos, mantêm a tendência de solos mais rasos, com exceção do perfil D5, o mais profundo e desenvolvido dentre todos. Os teores de P aí se comparam aos de solos de locais colonizados por *P. adeliae*. Nos solos das áreas de Arctowski e Copacabana, a acidificação promovida pelo intemperismo e pela cobertura vegetal das angiospermas *Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis*, muitas vezes associadas a briófitas, é capaz de promover abaixamento do pH (4,76-5,23) e forte solubilização de formas de Al para solução. A maior comunidade florística no leste da península Warszawa é a de líquens, sendo que úsneas do gênero *Neuropogon* ocupam 7,7% da área estudada. As áreas vegetadas predominam em locais onde os valores médios da radiação global são superiores à média geral. Apesar da importância desta flora, 88,1% da área do sul da AAEP128 caracteriza-se pela ausência ou escassez de cobertura vegetal. Isto se dá em razão do curto período de exposição dos terrenos que até recentemente estavam cobertos de gelo; em razão da concentração de animais em poucos pontos junto ao litoral; e, conseqüentemente, do pouco desenvolvimento dos solos.

ABSTRACT

BREMER, Ulisses Franz, DSc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2008. **Soils and geomorphology of the Eastern Warszawa Peninsula, King George Island, maritime Antarctica.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer; Co-Advisers: Norberto Dani; Márcio Rocha Francelino, Elpídio Inácio Fernandes Filho.

On the eastern Warszawa Peninsula, King Georg Island, penguins (*Pygoscelis antarctica*) can be seen nesting on the rocky coasts, low moraines on the shoreline and second level, or higher, marine terraces. Thus, ornithogenic soils derived from these bird colonies are generally shallow, presenting phosphatization depth far lower than the ornithogenic soils of *Pygoscelis adeliae* rookeries, which occupy the higher grounds of the Antarctic Specially Protected Area Western Shore of Admiralty Bay (ASPA 128). Field work and laboratory analysis of ornithogenic soils, between Sphinx Point, inside Admiralty Bay, and Telefon Point, bordering the Bransfield strait, permitted the differentiation of these soils from other ASPA 128 ornithogenic ecosystems. A mosaic of small format aerial photographs taken in 2004, and the interpretation of a 2006 *Quickbird* satellite image allowed the contrast and geomorphologic classification of the study site. These products also made it possible to outline the main vegetation communities and establish some geocological relations of the area by modeling the solar radiation using the *Solar Analyst* function on *ArcView* 3.2a software. Soil sample chemical analyses from the extreme southern sector of ASPA128 studied profiles presented exceptionally high values for P. Available Mehlich-1 extractable P concentrations reached higher values than those found by Schaefer *et al.* (2004) in the soils between Thomas Point and Ecology Glacier, near Arctowski Station, as well as those found by Michel *et al.* (2006), between Ecology Glacier and Sphinx Point, near Copacabana. From Telefon Point, P2 and P3 profiles are noteworthy, showing values for P of 20054.5 mg dm⁻³ and 8667.9 mg dm⁻³, respectfully. These values suggest an important reactivity of the phosphate lixiviated solutions of guano interacting with the rocky substrate, under cryoturbation and, thus, intensively fractured and vulnerable to percolation of *per descendum* solutions. In this way, combining rookery habitat with the shallow soils, permitting the organic matter to accumulate – even though part of the material returns to the sea through surface flow channels. These *P. antarctica* ornithogenic soils also show very high values of exchangeable Na, demonstrating a marine influence due to the exposure of the soil to the beach sea spray or blown inshore.

At Uchatka and Demay points, around Paradise Cove, older rookeries present P concentrations a lot lower than the levels found at the current rookeries and, although anomalous to non-ornithogenic soils, maintaining the trend of shallower soils, with the exception of profile D5, the deepest and most developed of the whole dataset. P levels compare to soils of sites that were colonized by *P. adeliae* at the Arctowski and Copacabana sites. The acidification promoted by weathering and vegetation cover, mainly the angiosperms *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis*, frequently associated to bryophytes, is capable of reducing the pH (4.76-5.23) and high solubility forms of Al for the solution. Lichens compose the largest community of flora on the eastern Warszawa Peninsula, in which usneas from the genus *Neuropogon* make up 7.7% in the studied area. The vegetated areas are predominant in places where the average global radiation values are above the general average. Despite the importance of this flora, 88.1% of the southern sector of the ASPA128 is absent or rare of having any vegetation. This is due to the short period of time in which these terrains, up until recently, were ice covered, concentrating rookery activity in a few sites on the coast, consequently not promoting soil development.

I. Introdução geral

1. Apresentação

O Brasil desenvolve a maioria de sua pesquisa de campo antártica na Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG) Baía do Almirantado. É, portanto, o local onde se dão, mais intensamente, os impactos ambientais da presença brasileira na Antártica. Somam-se a estes os impactos de pessoal científico e logístico de países como Polônia, Estados Unidos e Peru, que também têm estações científicas nessa área, e o de visitantes e tripulantes de embarcações de companhias operadoras de turismo e dos programas antárticos desses e outros países.

Esta tese buscou o estudo de aspectos ambientais de parte dessa AAEG visando contribuir para o seu melhor conhecimento e gerenciamento. Assim, ela foi desenvolvida em três capítulos, além de uma introdução geral – onde se apresenta o tema e a área de estudo – e das conclusões gerais. O primeiro capítulo se ocupa da descrição da geomorfologia do sul da Área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado (AAEP 128), apresentando um mapa de síntese das geoformas em escala 1:2.500. O capítulo 2 apresenta o estudo e a descrição dos solos ornitogênicos da área e o capítulo 3 descreve a técnica utilizada no mapeamento geomorfológico e da vegetação, estabelecendo, ao final, algumas relações entre a distribuição das formações vegetais e a geomorfologia e o modelo de radiação solar para o sul desta AAEP.

Percebe-se uma carência de estudos do *permafrost* no âmbito da pesquisa antártica brasileira, e ainda faltam dados pedológicos abrangentes para a ilha Rei George e a Antártica Marítima. Planos de informação envolvendo os temas solos e geomorfologia são de grande interesse para Sistemas de Informações Geográficas (SIG) de lugares onde atuam grupos de pesquisa nos mais diversos campos da ciência. Uma série de planos de informação já foi inserida no SIG da referida AAEG por Ahlert *et al.* (2004) não constando, dentre eles, o de solos. Nesse aspecto, os resultados deste estudo poderão integrar-se aos de Francelino (2004), Michel (2005), Simas (2006) e Santana (2006), para formar um mapa geomorfológico e de solos da margem oeste da baía do Almirantado. Como parte do referido SIG, poderá ser disponibilizado à comunidade

científica brasileira e internacional através do *MapServer*[©] ainda no Ano Polar Internacional (2007-2009).

2. Contexto científico

O monitoramento do perfil de solos criogênicos, também denominados de solos criomórficos, ou solos de *permafrost*¹, é um bom recurso para conhecer o comportamento do clima nas regiões polares e subpolares. Solos com *permafrost* – ordem *Cryosols* (IUSS Working Group WRB, 2006), *Cryozems* (Rússia), e *Gelisols* (Soil Survey Staff, 1999) – apresentam propriedades biológicas, físicas e químicas muito peculiares, cujas alterações podem ser indicadores de mudanças na temperatura e no aporte de umidade do ambiente. Como os Criossolos (termo adotado neste trabalho, correntemente utilizado por pesquisadores brasileiros em pedologia antártica) não somente contêm grandes quantidades de carbono orgânico, mas também retêm C como resultado dos processos criogênicos, alguns cientistas afirmam que as áreas onde eles ocorrem seriam os lugares mais afetados pelo aquecimento global (Mitchell *et al.*, 1990, e Woo *et al.*, 1992).

Solos criogênicos (do grego *kraios*: frio, gelo), típicos das regiões de *permafrost* do globo, são encontrados nas altas latitudes e em altas montanhas. São associados esparsa ou continuamente a vegetação de tundra, a floresta de coníferas, ou florestas mistas de coníferas e decíduas. Segundo Tarnocai *et al.* (2003), estão armazenados aí, 16% do total de carbono orgânico do solo do planeta, ou seja, 268 Gt, na profundidade de 0-100 cm.

Cerca de 1/4 da superfície terrestre apresenta permafrost sendo quase 8 milhões de km² a cobertura de Criossolos apenas na zona circumpolar boreal. As principais áreas de ocorrência de Criossolos são encontradas na Rússia (100 milhões de ha), Canadá (25 milhões de ha), China (19 milhões de ha), Alaska (1 milhão de ha) e em partes da Mongólia, segundo dados da FAO (IUSS Working Group WRB, 2006) que registra, também, pequenas ocorrências deste grupo de solos no norte da Europa, Groenlândia e em áreas livres de gelo da Antártica.

A maioria das áreas de Criossolos, tanto na Eurásia como na América do Norte, encontra-se em seu estado natural, dando suporte a uma vegetação suficiente para o

¹ “Camada de solo congelado que não descongela completamente durante o verão. A esse terreno permanentemente congelado, dá-se o nome de permafrost” (French, 1996: 51).

pastejo de animais como caribus, renas e bois almiscarados. Porém, atividades que conduzam esses animais ao sobrepastejo de certas áreas, levam esses solos rapidamente à erosão e a outros danos ambientais.

2.1. Criossolos na Antártica

Embora se estime que 90% dos Criossolos do mundo estejam no hemisfério Norte, dados para Criossolos antárticos ainda são escassos para se fazer uma estimativa de sua área. No entanto, pode-se afirmar que eles cobrem uma superfície muito menor que os 10% restantes, pois as áreas livres de gelo se estendem por apenas 48.310 km² da Antártica, o que corresponde a apenas 0,4% daquele continente (SCAR, 2007). Apesar de sua pequena extensão, os solos da Antártica despertam o interesse científico por possibilitarem o estudo de processos físicos, químicos e biológicos sob condições extremas no planeta. Eles estão submetidos a extremos de baixa radiação solar e alta intensidade dos ventos ora associados à aridez extrema no continente, ora à alta umidade nos arquipélagos setentrionais, bem como à escassa cobertura vegetal, rara presença de fauna terrestre, excetuando-se enormes, e pontuais, concentrações de fauna marinha, além de espécies migratórias.

Em decorrência das dificuldades logísticas para se chegar a cada uma das áreas livres de gelo na Antártica, a teledetecção torna-se uma técnica fundamental para mapear seus solos. Para cobrir as grandes distâncias entre as áreas a serem estudadas nas Ilhas Shetland do Sul (Fig. 1.1), por exemplo, imagens de satélite e aerofotografias convencionais poderiam ser os recursos decisivos no mapeamento. No entanto, imageamento orbital de alta resolução espacial para a Antártica, quando disponível, tem custo muito alto e imagens orbitais de pequena e média resolução e fotografias aéreas de pequena e média escalas são ineficazes para o estudo dos solos dessas áreas dispersas, remotas e, em geral, pouco extensas.

Nos últimos anos, o Departamento de Solos (DPS) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), vem aperfeiçoando o uso de técnicas de aerofotogrametria nos estudos pedológicos e ambientais nas ilhas Shetland do Sul, tendo já produzido “as primeiras fotos aéreas da baía do Almirantado, em escala 1:5000, de excelente qualidade” (Schaefer, 2004), além de mapas e modelos de elevação e tridimensional da península Keller (Francelino *et al.*, 2004). Francelino (2004) afirma que as fotografias aéreas de

pequeno formato (escala grande) se tornaram uma ferramenta eficiente para o mapeamento dos solos da ilha Rei George.

O processamento e a interpretação desses materiais, associados a bancos de dados de análises laboratoriais, de observações de campo e outras técnicas de teledeteção, podem ser integrados automaticamente através de equipamentos computacionais. Deste modo, podem ser inseridos em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e disponibilizados em meios de relativamente fácil manipulação a cientistas, tomadores de decisão e agentes de turismo, bem como ao público em geral através de sua divulgação na rede mundial de informática.

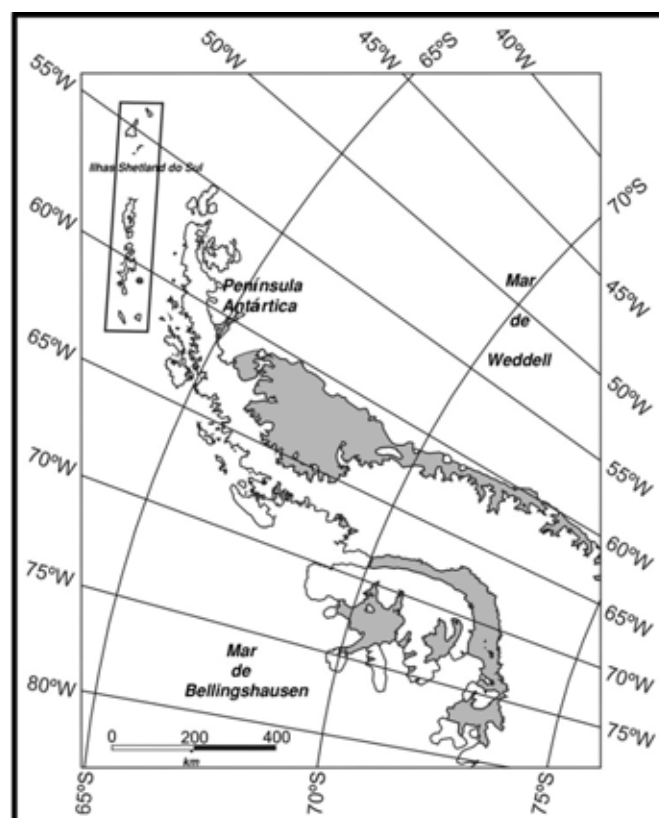


Figura 1.1 – Localização das Ilhas Shetland do Sul, no extremo norte da longa Península Antártica, rica em arquipélagos, baías e fiordes que abrigam inúmeras, pequenas e esparsas áreas livres de gelo. Em cinza, as plataformas de gelo (modificado de Simões *et al.*, 2004).

O presente trabalho marca o início, no âmbito do “Projeto Criossolos”, da utilização de imagens orbitais de alta resolução *Quickbird* para o mapeamento geomorfológico e obtenção de informações ambientais correlacionadas ao

desenvolvimento de solos no sul da Área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado, a AAEP nº 128.

3. Objetivos

O **objetivo geral** deste estudo é caracterizar fisiograficamente o setor localizado entre as pontas Agat e Telefon, da ilha Rei George (Figura 1.2), correlacionando os fatores físicos e os bióticos para compreender a dinâmica dos pedoambientes nessa parte da Antártica Marítima.

Os **objetivos específicos** da pesquisa visam:

(1) classificar e mapear as unidades geomorfológicas dos terrenos livres de cobertura glacial.

(2) verificar conseqüências da atividade de pingüins (*Pygoscelidae*) da espécie *Pygoscelis antarctica* para a formação de solos e colonização vegetal na área estudada.

(3) classificar os solos estudados, segundo parâmetros e critérios do sistema de classificação da Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas - *FAO* (ISSS-WG, 1998), e da *Soil Taxonomy* norte-americana (SSSA, 2003).

(4) fornecer novos subsídios científicos para o gerenciamento ambiental da Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado (AAEG nº 1).

4. A área de estudo

A área estudada neste trabalho se estende das colinas Rescuers, ao norte do morro Sphinx, na margem ocidental da baía do Almirantado, até a ponta Telefon, no estreito Bransfield. Situa-se entre as latitudes 62° 10' 50" S e 62° 14' 30" S, e entre as longitudes de 58° 25' 10" W e 58° 28' 30" W, em valores aproximados. Os terrenos se elevam desde o nível do mar até cerca de 350 m de altitude, apresentando grande diversidade topográfica e geomórfica.

A ilha Rei George tem sido uma das regiões mais conhecidas e visitadas da Antártica, desde que foi avistada por William Smith, em 16 de outubro de 1919 (Headland & Keage, 1985). O acesso a essa ilha é favorecido por ela ficar a menos que 1000 km distante da América do Sul, o que a coloca na porção antártica mais próxima de

outro continente.

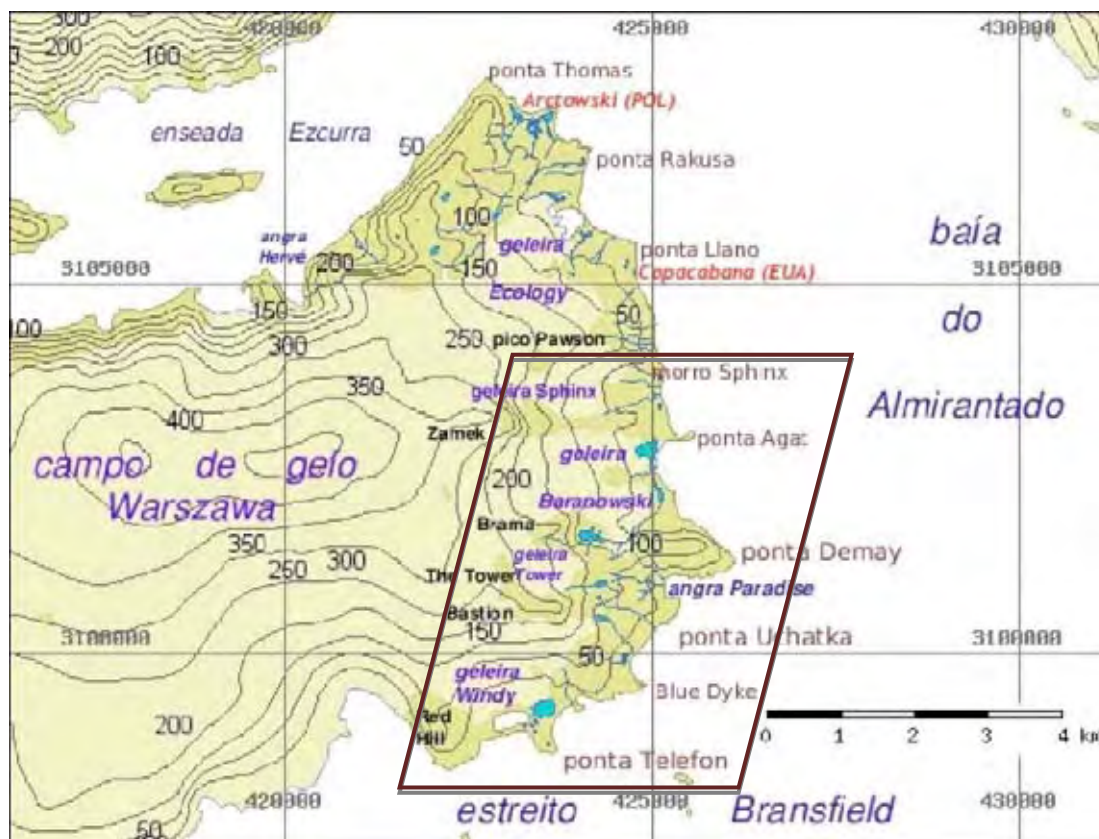


Figura 1.2 – Localização da área de estudo na borda leste da península Warszawa e margem oeste da baía do Almirantado, na ilha Rei George. A altimetria, os limites e as coordenadas geográficas foram obtidas do sistema de informações geográficas da ilha Rei George, *KGIS* (modificado de SCAR, 2007).

Particularmente, o setor da ilha aqui estudado é muito atrativo ao turismo, atividade que incrementou nesta região a partir da década de 1970. Isto demandou o desenvolvimento de atividades de gerenciamento para proteger seus valores científicos e históricos e garantir a pesquisa de longo prazo. Tanto pelo interesse científico como para garantir a proteção das áreas de reprodução de focas e as colônias de aves, a Polônia propôs a designação da área compreendida entre a ponta Rakusa, na baía do Almirantado, e a ponta Telefon, no estreito Bransfield, como Sítio de Interesse Científico Especial (SSSI). Esse status foi adotado em 1979, na X Reunião dos Membros

Consultivos do Tratado Antártico - *ATCM* (Bonner & Lewis-Smith, 1985). Com o reenquadramento dos sítios de proteção do patrimônio histórico e ambiental antártico, o *SSSI* n° 8 passou à categoria de Área Antártica Especialmente Protegida (AAEP), recebendo o número 128. A Figura 1.3 apresenta uma visão geral de grande parte desta área, de ricos aspectos fisiográficos e de vida selvagem.

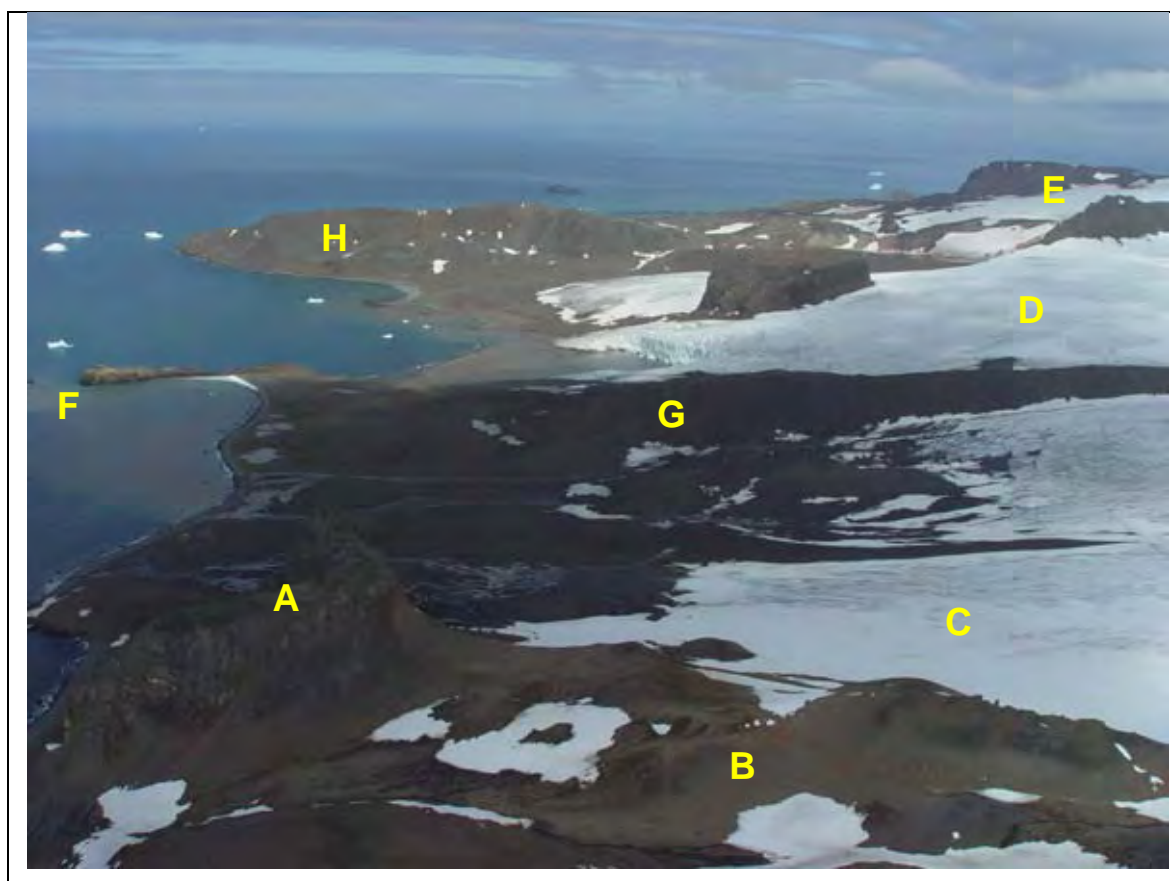


Figura 1.3 – Panorama da borda leste da península Warszawa, da ilha Rei George. A fotografia mostra em primeiro plano o morro Sphinx (A) e as colinas Rescuers (B), ao Norte da área de estudo. À direita, a partir do plano inferior, as geleiras Sphinx (C), Baranowski (D) e Tower (E), tendo a ponta Agat (F) à esquerda. A moraina Blaszyck (G), cortando o plano central da foto, é a mais alta e extensa da AAEP 128. A ponta Demay (H), no alto à esquerda, marca a transição da baía do Almirantado para o estreito Bransfield (Foto: Projeto Criossolos, fev/2004).

Desde meados da década de 1970 atividades de pesquisa e monitoramento são desenvolvidas nesta área, a partir das estações científicas Henryk Arctowski, da

Academia Polonesa de Ciências (PAN), e Peter J. Lenie, ou “Copacabana”, do Programa de Pesquisa Antártica dos Estados Unidos (USARP). Esta última, localizada dentro da AAEP, fica em atividade durante 5 meses do ano – de outubro a fevereiro – enquanto a estação polonesa funciona continuamente.

A AAEP 128 e as terras adjacentes abrigam locais de interesse potencial para a compreensão do quadro pedológico na Antártica Marítima, por constituir-se tanto de áreas livres de gelo expostas há centenas de anos, como por locais que foram expostos pela retração glacial rápida recentemente. O drástico recuo das geleiras nesta área, bem como em toda a ilha Rei George, vem sendo monitorado através de técnicas de sensoriamento remoto por Simões e Bremer (1994), Muser (1995), Braun e Gossmann (2002) e Bremer *et al.* (2004), que detectaram a diminuição da superfície glacial da ilha, desde 1956-57. Essa perda de massas glaciais tem como primeira consequência a exposição de novas áreas de embasamento rochoso e de sedimentos depositados ao longo do fluxo de gelo. De imediato, tais áreas se tornam passíveis à ação da atmosfera, uso faunístico e, em seguida, à colonização vegetal.

Investigações mais específicas sobre os locais de exposição recente podem trazer novos conhecimentos a respeito de paleopedologia e o melhor detalhamento do quadro geológico insular e regional. Conhecer a dinâmica das relações geocológicas nas áreas livres de gelo, desde as recentes até as que passaram por um período maior de intemperismo são a base para a compreensão do desenvolvimento de solos nestes ambientes.

REFERÊNCIAS

- Bonner, W.N. & Lewis-Smith, R.I. 1985. *Conservation areas in the Antarctic*. SCAR-IUCN. 299p.
- Braun, M. & Gossmann, H. 2002. Glacial changes in the areas of Admiralty bay and Potter cove, King George Island, Maritime Antarctica. In: Beyer, L. & Bölter, M. (eds). *Geocology of Antarctic ice-free coastal landscapes*. Berlin e Heidelberg: Springer-Verlag. pp: 75-89.
- Bremer, U.F., Arigony Neto, J., & Simões, J.C. 2004. Teledetecção de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 37-48.

- Francelino, M.R. 2004. *Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller*. Viçosa-MG: UFV. 101 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas – inédita)
- Francelino, M.R., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes Filho, E.I., Albuquerque Filho, M.R. de, Simas, F. N.B. & Moreira, G.F. 2004. Geofomas da Península Keller, Antártica marítima: subsídios ao monitoramento ambiental. In: Schaefer, C.E., Francelino, M.R., Simas, F.N.B. & Albuquerque Filho, M.R. de. (Ed). *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa-MG: NEPUT. pp: 15-25.
- French, H.M. 1996. *The periglacial environment*. 2. ed. Harlow, Essex: Longman. 341 p.
- Headland, R.K. & Keage, P.L. 1985. Activities on the King George island group, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Rec.*, 22 (140): 475-484.
- IUSS Working Group WRB. 2006. *World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication*. Roma: FAO. (World Soil Resources Report, 103)
- Mitchell, J.F.B., Manabe, S., Meleshko, V. & Tokioka, T. 1990. Equilibrium climate change - and its implications for the future. In: J.T. Houghton, G.J. Jenkins & J.J. Ephraums (eds.). *Climate change: the IPCC scientific assessment*. Cambridge: Cambridge University Press. pp: 131-172.
- Muser, D. 1995. *Der Gletscherrückzug auf King George Insel, Süd-Shetland-Inseln zwischen 1956-1992*. Freiburg: Universität Freiburg. 82 p. (Zulassungsarbeit zum Staatsexamen – inédito)
- SCAR - Scientific Committee on Antarctic Research. 2007. King George Island GIS Project - KGIS. Disponível em <<http://www.kgis.scar.org/mapviewer/kgis.phtml>>. Acessado em 13 de agosto de 2007.
- SCAR - Scientific Committee on Antarctic Research. 2007. Some Antarctic Statistics. Disponível em <<http://www.scar.org/information/statistics/>>. Acessado em 13 de agosto de 2007.
- Schaefer, C.E. 2004. Apresentação. In: Schaefer, C.E., Francelino, M.R., Simas, F.N.B. & Albuquerque Filho, M.R. de. (Ed). *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa-MG: NEPUT. pp: iii.
- Simões, J.C., Arigony Neto, J. & Bremer, U.F. 2004. O uso de mapas antárticos em publicações. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 191-198.
- Simões, J.C. & Bremer, U.F. 1994. Morfologia e dinâmica da calota de gelo da ilha Rei Jorge, Antártica. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Balneário Camboriú, SC: SBG. Boletim de Resumos Expandidos, vol.1: 354-355.*

- Soil Survey Staff. 1999. *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2 ed.* Washington: USDA-NRCS. (Agriculture Handbook, 436)
- SSSA - Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil taxonomy. 9 ed.* Washington, DC: USDA-NRCS.
- Tarnocai, C., Kimble, J. & Broll, G. 2003. Determining carbon stocks in Cryosols using the Northern and Mid Latitudes Soil Database. In: M. Phillips, S.M. Springman & L.U. Arenson. (eds.). *Permafrost. Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost. 21-25 July 2003. Zurich, Switzerland. vol 2.* Lisse: Balkema. pp: 1129-1134.
- Woo, M., Lewkowicz, A.G. & Rouse, W.R. 1992. Response of the Canadian permafrost environment to climatic change. *Physical Geography, 13*: 287-317.

II. Geomorfologia periglacial e geoambientes do sul da Área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado

1. Introdução

De um modo geral, as paisagens glaciais do globo estão submetidas a mudanças controladas fortemente pelas condições ambientais locais. Nos sistemas glaciais, o suprimento de energia se estabelece em ciclos de longo prazo, onde o comportamento da cobertura de gelo é controlado pelo clima regional. Permanecem num estado de equilíbrio relativo por milhares de anos, ou por alguns anos, estações, ou dias, em se tratando de ciclos de nível básico. Além dessa característica, outras condições determinantes de padrões particulares de processos geomorfológicos têm importância significativa em bacias glaciais individuais e áreas livres de gelo adjacentes.

A Terra vive um período interglacial e embora as condições ambientais nas altas latitudes do globo sejam em grande parte glaciais, a maioria dos seus ambientes encontra-se no perímetro da glaciação, ou seja, são periglaciais. Na ilha Rei George, os processos de glaciação e deglaciação são representativos para as ilhas Shetland do Sul e para o contexto regional deste setor da Antártica Marítima. Na gênese de suas paisagens, a concomitância dos processos geomórficos não é rara. A associação da ação do vento a processos de intemperismo químico combinados à desintegração mecânica das rochas pelo congelamento e descongelamento associados às diferenças de temperatura, é a consequência imediata da constituição litológica e posição dos materiais no terreno, do clima e maritimidade.

1.1. Fatores climáticos e hidrológicos na Ilha Rei George

1.1.1. Temperatura, precipitação e umidade relativa nas Shetlands do Sul

Situada entre o estreito Bransfield e a passagem Drake, na transição dos oceanos Pacífico e Atlântico, a ilha Rei George (62° 05' S, 58° 15' W) está submetida a um regime climático polar oceânico (Barsch *et. al.*, 1985), no qual a temperatura ao nível do mar, no verão, se eleva frequentemente acima de 0° C. Aquino (1999), utilizando uma série temporal de dados meteorológicos para as estações Frei e Deception, elaborada por

Jones & Lambert (1987), determinou em $-2,8^{\circ}\text{C}$ a média anual da temperatura atmosférica nas Shetlands do Sul, sendo a temperatura média no verão igual a $0,9^{\circ}\text{C}$, e no inverno $-7,0^{\circ}\text{C}$. Esses valores caracterizam um quadro mais ameno para o clima da Antártica Marítima, quando comparado ao clima polar da Antártica Continental.

Por situar-se na região de Baixa Pressão Circumpolar Antártica, o clima da ilha Rei George é determinado pela passagem de sucessivos sistemas ciclônicos originados no sudeste do oceano Pacífico. Estes se caracterizam por ventos fortes que trazem ar relativamente quente e úmido promovendo precipitações líquidas nos meses de verão, o que contribui para acelerar o derretimento da neve precipitada durante o inverno. Segundo Rakusa-Suszczewski *et al.* (1993) e Jiahong *et al.* (1994), a precipitação anual nesta ilha pode variar de 500 mm ao nível do mar, a valores entre 800 e 2000 mm no topo de sua calota de gelo.

Ao norte da área de estudo, na estação Henryk Arctowski, dados de umidade relativa do ar indicam a média de 82% (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993). Nesse quadro climático úmido que é característico para todo o arquipélago das Shetlands do Sul, o aquecimento regional na Península Antártica pode ser constatado na ilha Rei George, cuja temperatura média do ar elevou-se em $1,08^{\circ}\text{C}$ entre 1947 e 1995 (Ferron *et al.*, 2001). Apesar da oscilação de verões mais quentes com invernos muito frios observados em vários anos, os dados de temperatura média mostrados na Figura 2.1 apontam para uma tendência de aquecimento dessa região.

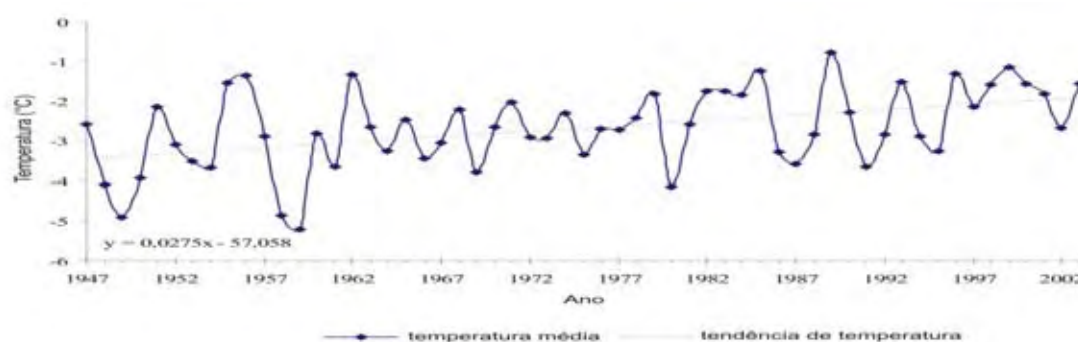


Figura 2.1. Série de temperaturas médias anuais para o último meio século, obtidas de estações meteorológicas das Shetlands do Sul e norte da Península Antártica (Fonte: Aquino *et al.*, 2004).

Se ainda há uma imprevisibilidade sobre o comportamento da fauna e flora locais frente a esse quadro climático, não há dúvidas que ele tem levado a um aumento sensível

na extensão das áreas livres de gelo e, conseqüentemente, do palco para o desenvolvimento de solos. Porém, esta gênese fica na dependência, também, de outros fatores, como a posição dessas áreas no relevo, sua constituição geológica, o tempo de duração dos fenômenos, a ação da biota e a intervenção antrópica.

1.1.2. A ação hídrica, drenagem e deposição glaciofluvial

Os meses de dezembro a março marcam o período de derretimento da neve precipitada durante o inverno e princípio da primavera, propiciando a formação de importantes canais glaciofluviais na península Warszawa. Estes canais se incrementam ao receberem as águas provenientes do degelo do permafrost e da precipitação pluvial, comum durante o verão, aumentando a intensidade dos processos glaciofluviais. A ação crionival associa-se à ação glaciofluvial mesmo nos meses mais quentes nas Shetlands, onde, em muitos dias, são registradas temperaturas abaixo de zero grau e precipitação de neve. Disto resulta em freqüentes aumentos e diminuições nos fluxos de degelo, tendo como conseqüência diferentes velocidades de correnteza e maior ou menor competência de remoção e transporte de material ao longo do período.

Como nos processos de sedimentação glacial, as relações de entrada (*input*), transferência e descarga de material num processo de deposição fluvioglacial são de complexidade alta. De acordo com Sugden & John (1984), o *input* de material no sistema glaciofluvial pode ser de quatro fontes: a) detritos derivados diretamente da erosão glaciofluvial do embasamento rochoso; b) detritos derivados de materiais previamente depositados; c) detritos deixados pelo gelo glacial; d) detritos derivados do sistema periglacial (particularmente em situações marginais e supraglaciais). O caminho seguido por esses materiais pode ser complicado se eles estiverem congelados na geleira ou incorporados em depósitos existentes glacialmente ou subglacialmente.

Uma característica geral para a rede de drenagem no leste da península Warszawa, é o predomínio de **cursos fluviais principais** aprofundando os talwegues de diminutos vales em V através de morainas, ou no contato destas com outros depósitos. Se o termo sulco ainda possa ser mais adequado a esses pequenos canais, **ravinas** verdadeiras aprofundam vertentes de pendentes suaves que drenam rumo à angra Paradise. De outra forma, **canais anastomosados**¹ (ou entrelaçados) caracterizam a

¹ Essas redes formadas de múltiplos, pequenos e rasos canais separados por diminutos bancos e ilhotas efêmeras de sedimentos fluviais são submersas nos períodos de intensificação do derretimento, sendo

drenagem de energia relativamente menor, nas zonas proglaciais.

Como não há uma uniformidade no transporte e na distribuição dos materiais glaciofluviais, eles podem ser encontrados misturados com *till*², sedimentos lacustres e materiais lascados por congelamento em ambientes glacioerosivos durante o processo de formação do *till* de fluxo. Assim, o verdadeiro material descarregado, oriundo do sistema glaciofluvial, será aquele caracterizado por sedimentos estratificados encontrados numa situação proglacial ou levados pela água de derretimento e deixados à jusante mais distal do limite do gelo. Algumas vezes os materiais glaciofluviais podem ser encontrados mesmo próximo da massa de gelo, deixados pela geleira como um resultado de sua retração ou do rebaixamento de sua frente.

Os processos de deposição pela água de degelo são muito similares àqueles dos cursos fluviais normais, exceto pelo fato de que o contato com o gelo glacial imprime suas particularidades no regime de fluxo, nas características do canal e na velocidade da correnteza. Hartshorn (1958, *apud* Sugden & John, 1984) alerta que os depósitos glaciofluviais, embora sejam de fácil reconhecimento por sua composição interna, resultam em geoformas construídas de areias e cascalhos glaciofluviais freqüentemente similares àqueles oriundos de *till*. Essa característica se evidencia para aqueles que tiveram origem em ambientes glaciais marginais onde a deposição, colapso ou removimentação modificaram tanto o arranjo dos sedimentos quanto as formas originais do contato com o gelo. De qualquer modo, não é uma tarefa simples diferenciar a ação dos processos glacial e glaciofluvial nas **planícies glaciofluviais** de Sphinx (Figura 2.2), Baranowski e Windy, cujas complexas zonas proglaciais vêm sendo (re)trabalhadas tanto pela água de derretimento como pela ação atmosférica.

muito características de planícies periglaciais. Suas formas mudam freqüentemente, deixando pouca possibilidade à colonização vegetal.

² Esses depósitos resultantes da atividade de geleiras são usualmente constituídos de materiais pobremente selecionados (mistura de lama, areia e cascalho) contendo clastos angulosos e estriados, diretamente depositados pelo gelo.



Figura 2.2 – A planície glaciofluvial Sphinx marca o extremo norte da área de estudo, desenvolve-se entre terraços marinhos, em parte recobertos por moraina, a oeste, e a leste pelas morâinas terminais da geleira Sphinx, de onde vem parte da carga sedimentar que caracteriza (Foto: U.F. Bremer, jan/2004).

1.1.3. A ação eólica

Dentre os fatores do clima, além do papel preponderante da presença de água, altamente disponível no geossistema na ilha Rei George, a ação eólica é intensa e fundamental para sua geomorfologi, assim como de toda a Antártica, conhecida como o continente onde a atuação dos ventos é a mais extrema no planeta. Transportando material particulado seja em suspensão ou por saltação, o vento promove uma variedade e freqüência de feições erosionais eólicas muito grande nas áreas livres de gelo antárticas.

Em conseqüência dos fortes ventos que atingem constantemente a região onde se localizam as Shetlands do Sul, a área de estudo está sujeita a processos de ablação eólica intensa. Embora mais sutil e de difícil mensuração, materiais transportados eolicamente vão aos poucos esculpindo a paisagem insular, notadamente nas superfícies de cimeira, onde podem ser encontrados até mesmo *tors*, como no morro Sphinx. A remoção e a abrasão dos materiais suavizam as formas do relevo onde a ação do vento é mais constante, promovendo aí formas degradacionais semelhantes a pavimento desértico, como a oeste de Demay. Em alguns pontos desse sítio, um dos resultados da deflação é a concavização de vertentes de **superfícies de ravinamento** em campos de detritos rochosos. Feições eólicas resultantes de erosão glacial, os depósitos de *loess*

(característicos do final do Cenozóico) não são esperados para essa região do globo. Quanto às formas eólicas agradacionais, elas não foram encontradas ao longo dos trajetos percorridos, nem observadas por sensoriamento remoto.

1.1.3. O clima regional e nebulosidade na ilha Rei George

O clima da ilha Rei George, característico para a Antártica Marítima, é do tipo ET, segundo a classificação climática de Köppen. Isto quer dizer que, embora a temperatura média do mês mais quente esteja abaixo de 10° C (clima E), ela é superior a 0° C (subdivisão climática T), diferentemente da Antártica Continental (clima EF), onde a média do mês mais quente é inferior a 0° C.

Com base numa série de registros do período entre 1947-1995, Ferron et al. (2004) encontraram -2,8° C o valor para a temperatura média do ar na ilha Rei George, e uma clara tendência de aumento regional. A temperatura influencia direta ou indiretamente a distribuição das espécies vegetais, e os processos de intemperismo.

Situando-se numa região de passagem freqüente de ciclones, a alta nebulosidade é uma característica marcante para a ilha Rei George, que, assim, recebe um baixo aporte de radiação direta. Nos meses de janeiro e fevereiro, a temperatura atmosférica média na baía do Almirantado situa-se entre 1,5° e 2,0° C (INPE, 2006), apresentando muitos dias encobertos. A presença de núvens é um fator primordial para os quantitativos de energia que chegam à superfície do terreno e tem consequência para o maior grau de umidade ou ressecamento.

1.2. Geleiras e áreas livres de gelo na borda leste da península Warszawa

A paisagem e morfogênese das ilhas Shetland do Sul são de aspecto predominantemente glacial. Serrano & López-Martínez (1998) estimam que as formas periglaciais ocupam apenas cerca de 3% da superfície total do arquipélago. A ilha Rei George tem apresentado rápida expansão de suas áreas periglaciais, em consequência da retração generalizada de sua cobertura de gelo, que teve reduzida sua superfície em 89 km² entre 1956 e 1995 (Bremer, 1998). Apesar desse rápido aumento das áreas livres de gelo, Braun *et al.* (2004) afirmam que mais de 92% da superfície da ilha ainda apresentam-se glacializados (Figura 2.3). Os 7% restantes, salvo vertentes muito escarpadas, permanecem cobertos de neve ao longo de 8-10 meses. Durante este período,

a neve age como isolante térmico à perda de temperatura do solo e da vegetação (Zhu *et al.*, 1993).

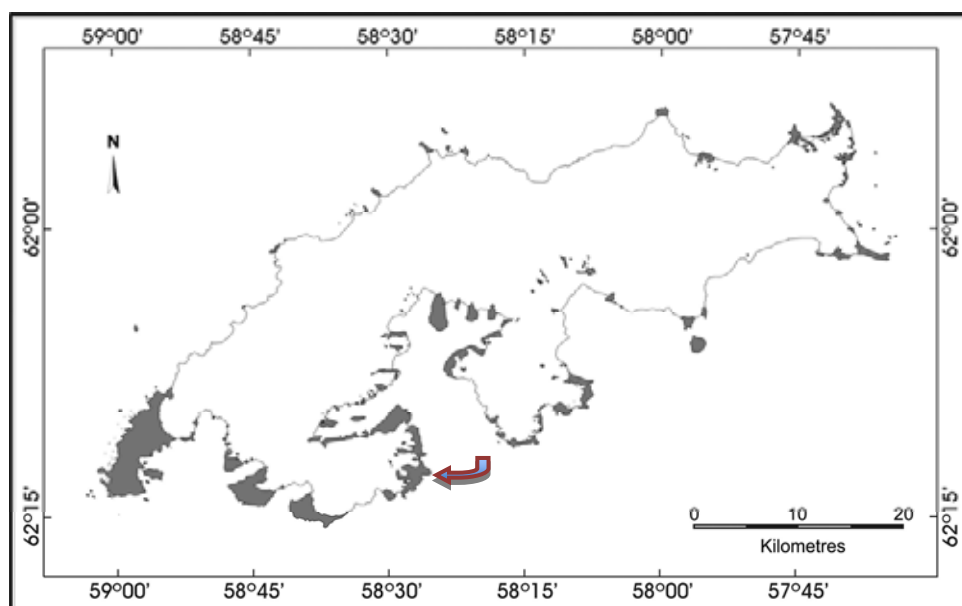


Figura 2.3. Mapa da ilha Rei George apresentando as áreas livres de gelo (em cinza escuro), basicamente restritas a pontas e pequenas penínsulas, em sua maioria no seu setor meridional. A seta indica a área livre de gelo da borda leste da península Warszawa. (modificado de Simões *et al.*, 2004).

Essa diminuição das massas de gelo pode ser consequência do aquecimento acentuado que vem se verificando na região da Península Antártica desde meados do século XX (Vaughn & Doake, 1996; King & Harangozo, 1998; Weller, 1998; Comiso, 2000; Vaughn *et al.*, 2001; Ferron *et al.*, 2004).

Entretanto, como as geleiras não respondem uniformemente – temporal e espacialmente – a mudanças ambientais (Paterson, 1994), e as massas de gelo das Shetlands do Sul ainda podem estar se retraindo após um avanço resultante de um máximo Neoglacial regional (Birkenmajer, 1979), do início do século XVIII (*i.e.* durante a Pequena Idade do Gelo), não é possível estabelecer uma relação direta entre o aquecimento climático regional atual e esse recuo glacial na ilha Rei George (Simões *et al.*, 2004).

Na curta estação de derretimento, essas áreas livres de gelo ficam sujeitas à ação hídrica, eólica e da energia solar como agentes dinâmicos de esculturação da paisagem. Por outro lado, ficam disponíveis ao uso por animais, em colônias próximas do mar ou

em ninhos esparsos, em pontos afastados da ação marinha direta.

1.2.1. Dinâmica e processos glaciais erosivos e deposicionais

As massas de gelo da ilha Rei George faziam parte de uma grande paleocalota de gelo que cobria a totalidade do grupo principal das Shetlands do Sul (John & Sugden, 1971; Sugden & John, 1973). Deste modo, as frentes das geleiras que cobriam a área entre as pontas Telefon e Agat eram coalescentes e se projetavam sobre o estreito Bransfield. A batimetria da baía do Almirantado e de áreas costeiras vizinhas, e testemunhos sedimentares de fundo marinho daí extraídos apontam nesse sentido (Gruber, 1989).

No processo de deglaciação, provavelmente ocorreram fases mais rápidas e lentas de retração em função da presença ou ausência de pontos de apoio para o gelo e por características do regime termo-basal. Vieira *et al.* (2004) afirmam que períodos de estabilidade, inferidos pelos depocentros de deglaciação foram possivelmente resultantes de irregularidades topográficas. E essas irregularidades tiveram reflexo no fluxo do gelo, que teria se caracterizado por um fluxo termo-basal úmido. O aporte de material de textura fina nas lagunas proglaciais da área estudada, demonstrado pelas plumas de sedimentos que se observa nas imagens de satélite e fotografias aéreas, são sintomáticos desta característica acima.

No presente, as maiores geleiras de descarga da área de estudo, Windy e Baranowski, há pouco tempo classificadas como geleiras de maré, tiveram recuo tão significativo que apenas uma parte muito pequena de suas frentes ainda mantém falésia de gelo sobre a água de lagunas proglaciais. O lóbo sul da Baranowski, completamente isolado do mar ou de corpos lagunares por depósitos de morâina à sua frente, diminui em espessura por derretimento provocado pela diminuição local do albedo devido, em boa parte, a detritos (till ou morâina basal e material que sofreu transporte eólico) depositados sobre o gelo. O mesmo fenômeno, que é típico para a geleira Sphinx, já ocorre também no leste de Windy, contribuindo para o lento, mas progressivo, acréscimo nas superfícies de planície nesses locais.

1.2.2. Geoformas resultantes da erosão e deposição glacial

As formas deposicionais mais frequentes na área de estudo, são as **morâinas recessionais** (ou de retração) e **frontais** (ou terminais). Segundo Benn & Evans (2003), as morâinas podem ser subdivididas com os componentes frontais e laterais, ou descritas como **morâinas latero-frontais**, o que parece se adequar à maioria das morainas desta área. Neste estudo, usou-se o termo **complexo morânico** para os depósitos de morâina que não apresentam uma forma bem definida e localizam-se em áreas onde houve avanço e retração de massas de gelo de diferentes bacias ou sub-bacias de drenagem.

Nas zonas proglaciais das geleiras Windy, Bastion, Tower e Baranowski, o material depositado é constituído de grande quantidade de detritos basais (*ground moraine*, aqui denominados **depósitos de till**). As **planícies glaciolagunares** e de Windy e Baranowski apresentam características marcantes de drenagem subglacial, um padrão semelhante ao encontrado na geleira Ecology, logo ao norte do limite da área estudada. Nesta geleira, onde um levantamento específico em sua zona proglacial identificou grande presença de clastos estriados e facetados que demonstram sua derivação basal e transporte, apontando para condições termo-basais úmidas (Vieira *et al.*, 2004). Aspecto semelhante pode ser encontrado na planície glaciofluvial entre o morro Sphinx e a moraina Blaszyck, e na zona proglacial da geleira Baranowski.

1.3. O *permafrost* e a camada ativa no ambiente periglacial da Ilha Rei George

Os limites ambientais das regiões periglaciais não são de fácil definição, contudo, um meio prático de delimitá-las se baseia na presença de *permafrost*, uma feição singular para essas regiões.

As áreas livres de gelo das Shetlands do Sul são constituídas de terrenos jovens – de exposição holocênica – provenientes de rochas vulcânicas, drenados por canais intermitentes. Sua morfodinâmica está associada, fundamentalmente, aos processos físicos e químicos resultantes do derretimento da neve e do gelo. Trata-se, portanto, de geoambientes submetidos a períodos longos de inverno e verões curtos que possibilitam a existência de *permafrost*. Toda a área de estudo inclui-se na zona propícia à existência de *permafrost* no hemisfério Sul, que tem na isoterma de média anual de -1°C o seu limite setentrional (Bockheim, 1995).

Com base nas pesquisas mais recentes do Grupo de Trabalho sobre

Permafrost e Solos Antárticos e Subantárticos (ANTPAS), o *permafrost* nas partes costeiras das Shetlands do Sul seria esporádico, ocorrendo continuamente apenas nas altitudes mais elevadas. A Figura 2.4 apresenta um diagrama da distribuição de permafrost numa vertente idealizada considerando-se também a cobertura glacial. Observações de campo e medidas pontuais de temperatura confirmam esse quadro geral, segundo o Professor Carlos Schaefer (comunicação pessoal), afirmando que "não parece haver *permafrost* contínuo nas áreas livres de gelo da Antártica Marítima".

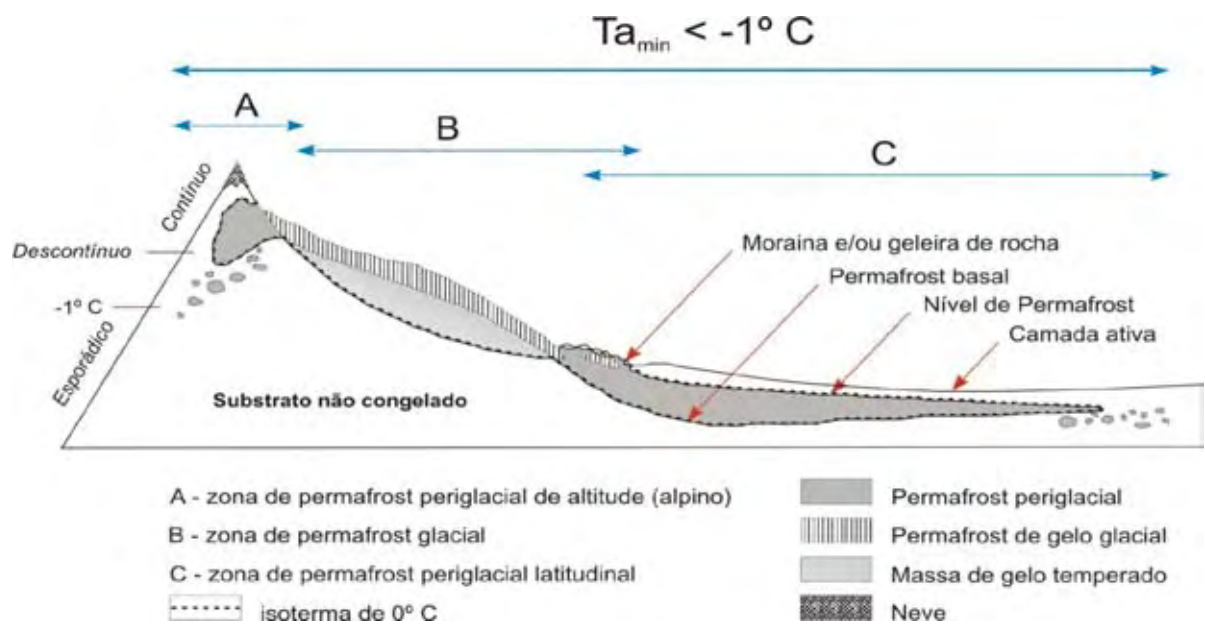


Fig. 2.4 – Perfil esquemático de zonas e tipos de permafrost para uma vertente hipotética (adaptado de Dobinski, 2006).

O *permafrost* é coberto de uma camada superficial, a camada ativa, que descongela no verão a uma profundidade que depende, principalmente, da temperatura, dos materiais que a constituem, e da existência ou não de cobertura vegetal. Não se tem ainda um conhecimento do comportamento geral desta camada para a Ilha Rei George. Sua espessura em diferentes locais, respostas a *inputs* de calor etc, são dados ainda por se obter, assim como as formas nas quais ela predomina no quadro fisiográfico local.

A camada ativa de congelamento e derretimento acima da superfície do permafrost, é encontrada, nessa paisagem, associada a campos pedregosos (*felsenmeer*), superfícies de padrões (solos poligonais ou estriados), terraços marinhos soerguidos, morainas e áreas de acumulação de escombros de rocha (*scree*, *tálus*). Nela se desenvolvem comunidades vegetais onde as condições do meio permitem, pois a

crioturbação é um fator inibidor da colonização, ao tornar os substratos instáveis. Nessas áreas, onde o congelamento empurra materiais de diferentes texturas, a solifluxão é intensa e ocorre rearranjo de material fragmentado. Se veios de gelifluxão são comuns na área de estudo, o mesmo não se pode dizer para círculos de pedra e polígonos típicos de tundra. Contudo, todos esses terrenos constituem parcela minoritária da ilha, reduzidos a estreitas faixas de terra entre as geleiras e o mar.

1.3.1. Formas e depósitos associados à camada ativa

A camada ativa constitui um elemento dinâmico muito importante nas ilhas Shetland do Sul e ocupa uma considerável extensão durante o verão, nas áreas livres de gelo. Se caracteriza pela circulação de água no contato entre a mesa degelada do *permafrost* e o corpo permanentemente gelado infrajacente, onde são produzidos fluxos entre as zonas profundas e superficiais, em função das diferenças de temperatura. Esses processos, com elevadas porcentagens de umidade no ar e bruscas trocas de temperatura em função da rápida entrada de novas massas de ar, permitem a existência de uma camada superficial ativa sobre as formações permanentemente geladas.

Para a intensificação da dinâmica da camada ativa se somam os ciclos diurnos e noturnos de gelo-degelo, a elevada disponibilidade hídrica derivada das precipitações e da fusão nival, e os freqüentes intercâmbios verticais motivados pelas variações de temperatura e umidade entre o solo e a atmosfera. Sobre a camada ativa se desenvolve um amplo conjunto de processos e formas associados ao *permafrost*, chegando-se a estabelecer relações entre as formas de modelado e a extensão do *permafrost* (Harris, 1982, e French, 1988, *apud* Serrano & López-Martínez, 1998).

1.4. Conceito, condicionantes e processos periglaciais na península Warszawa

A crioclastia é determinante para o fracionamento dos afloramentos rochosos nas Shetlands do Sul, dada a existência de ciclos de gelo-degelo suficientes para romper o substrato. De acordo com Serrano & López-Martínez (1998), "as formas mais representativas da gelifração são dominantes nas plataformas superiores", onde a ação do congelamento-descongelamento se incrementa. Nesses locais são encontrados substratos

tritutados por gelifração, microfraçãoes em lascas (não mapeáveis), raros *tors*³ e depósitos de detritos de rocha. A desagregação física produz uma paisagem periglacial pedregosa, com extensos *felsenmeer*⁴ nas pendentes de menor declive e afloramentos de rocha grandes em terraços de crioplanção ou dispersos.

Nas áreas de pendentes mais fortes, e com acentuados desníveis, são produzidos mecanismos periglaciais dominados pelo fluxo gravitacional. Formas associadas à gelifluxão são geradas nesses locais onde dominam a crio-reptação e a dinâmica associada à camada ativa do permafrost. Na ilha Rei George, Simonov (1977) determinou movimentos solifluidais de cerca de 15-55 cm por ano, próximo a Bellingshausen, na península Fildes. A gelifluxão consiste de um processo de transporte de material de primeira ordem na dinâmica atual, que é dificilmente quantificável na superfície e, por seu tamanho reduzido, processos de gelifluxão são cartografados apenas quando geram agrupamentos de tamanho suficientemente grande.

1.4.1. Relevo e formas estruturais da borda leste da península Warszawa

O contexto geológico e geotectônico da formação das ilhas Shetland do Sul e sua evolução é o mesmo da Península Antártica, ambos fazendo parte do Cinturão Andino. As Shetlands do Sul, são a parte superior de um arco magmático gerado nos últimos estágios de subducção da crosta oceânica do Pacífico sudeste sob a crosta continental antártica durante o Jurássico e Mioceno (Birkenmajer, 1980).

A ilha Rei George, na porção central do arco Scotia, consiste de vários blocos tectônicos limitados por falhas longitudinais. Birkenmajer (1980) afirma que durante o Terciário Superior, através de processo de falhamento, deu-se o surgimento da baía do Almirantado, nesta ilha. Segundo este autor, a falha Ezcurra separa, ao norte, as rochas vulcânicas pertencentes ao Jurássico Superior (Grupo Martel Inlet e parte do Grupo Wegger Peak com suas intrusões plutônicas), das rochas pertencentes ao Supergrupo King George Island, ao sul. À implantação e ao desenvolvimento dessa falha, seguiram-se seqüências de falhamentos de direção NE-SW e N-S, levando à intrusão de corpos

³ Formas com aspecto de castelos ou torres, resultantes de exposições rochosas abruptas em topos de morros ou encostas. Sua constituição litológica é a mesma do material subjacente, do qual se destaca após intensos processos de intemperismo periglacial promoverem a exumação do relevo.

⁴ Esse termo alemão, que significa “mar de rocha”, é amplamente utilizado para descrever superfícies altas cobertas de clastos de textura grossa angulosa resultantes da ação do congelamento sobre rochas bem consolidadas.

hipabissais de andesitos e basaltos denominados Grupo Admiralty Bay (Birkenmajer, 1980).

Os domos de gelo coalescentes que formam a calota glacial da ilha estão sob um controle estrutural marcante por esse conjunto de blocos e falhas. No terço inferior dessa calota, junto às baías e enseadas, expõem-se nunataks, cristas, falésias e escarpas rochosas que marcam os limites das bacias de drenagem do gelo.

Em alguns desses corpos rochosos são encontradas as poucas geoformas estruturais de relativa estabilidade, constituídas por afloramentos basálticos de topos planos, de aspecto tabular, como as pontas Telefon e Uchatka. O exemplo mais significativo aí encontrado, é a superfície plana inclinada de topo no morro Red, fora da AAEP 128, entre as geleiras Windy e Polar Club. Na figura 2.5, o **nunatak**⁵ Siodlo, na geleira Baranowski, um representante característico de geoforma estrutural que marca a divisão da drenagem desta geleira em dois grandes lóbos glaciais.



Figura 2.5 – Falésia do lóbo norte da geleira Baranowski, e o nunatak Siodlo com seu topo tabuliforme (Foto: U.F. Bremer, jan/2004).

Cristas e escarpas rochosas são feições estruturais muito encontradas em toda a área, estando algumas ainda nos cumes imponentes do extremo oeste da AAEP 128, ou seja, os picos Pawson (Cjaikowski nos mapas poloneses - 294 m) e La Tour (ou The Tower, 367 m), e os topos dos morros Zamek (350 m), Brama (257 m) e Bastion (297 m). e outras identificadas apenas por vestígios, algumas vezes registrados simplesmente como **afloramento de rocha**. São outros elementos importantes da paisagem, por sua

⁵ A palavra *nunatak*, na língua inuit, significa afloramento rochoso proeminente uma geleira ou campo de gelo que o circunda.

vez associados à proximidade e/ou contato com o mar, **falésias rochosas**, **rochedos** e **costões rochosos**.

1.4.2. Formas típicas das plataformas superiores

A desintegração *in situ* da rocha-mãe dá origem a mantos de clastos que recobrem as plataformas rochosas (Figura 2.6). Nos topos de afloramentos e nas partes cimeiras do relevo, predominam terraços de crioplaneação e as formas mais representativas da gelifração: microfigurações em lascas; substratos triturados; e *tors*.



Crista e superfície de colinas contíguas ao morro Sphinx apresentando afloramento da rocha-mãe relativamente preservada em meio a gelifratos de diversas texturas.

Fase inicial da desintegração *in situ* do substrato rochoso próximo da crista do morro Sphinx.

Figura 2.6 – Diferentes momentos do processo de desintegração física nas plataformas rochosas superiores da area de estudo. Nota-se efeitos da ação eólica suavizando as facetas dos blocos e matacões e promovendo o arredondamento da face exposta dos afloramentos (Fotografias: M.R. Francelino, 2006).

Serrano & López-Martínez (1998), trazem as seguintes definições para estas formas: 1) **microfigurações em lascas**: ordenação de gelifratos em torno do núcleo do qual se desprendem, em geral matacões e blocos. Apresentam formas alongadas dirigidas pela fraturação e ruptura laminar. Podem se originar sobre qualquer tipo de substrato e foram as plataformas superiores nos locais onde o substrato aflora. 2) **substratos triturados por gelifração**: são fragmentos de rochas tipicamente vulcanoclásticas, separados de um bloco principal, e cujas lascas ficam verticalmente orientadas. 3) **tors**: são afloramentos do substrato afetados por crioclastia e

intemperismo associados aos setores altos das encostas e dos topos, aparecendo geralmente como pequenas formas isoladas. São pouco frequentes, localizando-se nas plataformas altas no morro Sphinx, nunatak Siodlo, e na colina Sugar.

1.4.3. Processos e morfologia de vertentes

As formas periglaciais associadas aos depósitos de encosta estão muito presentes e, muitas vezes, apresentam grandes extensões nas ilhas Shetland do Sul. Originam-se prioritariamente nos relevos mais escarpados, com pendentes superiores a 45°, o que é muito comum na ilha Rei George, principalmente nas áreas de deglaciação recente, e em afloramentos de rochas ígneas.

1.4.3.1. Taludes e cones de colúvios

São depósitos muito instáveis, típicos das áreas de maior declividade, carecendo de material fino entre os fragmentos de rocha. Frequentemente, formam pedreiras de macrogelifractos (com eixo maior de até 1,5 m) gravitacionais angulosos e sem matriz, com blocos prismáticos e romboidais que invadem os sopés das vertentes. (Figura 2.7). A colonização por líquens é muito comum sobre eles.

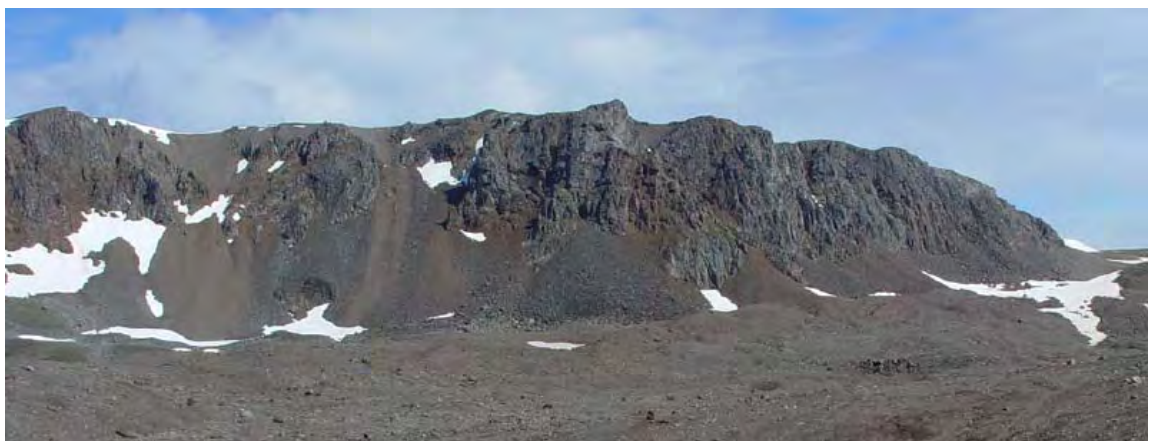


Figura 2.7 – Escarpa rochosa de Demay, apresentando típicos cones de detritus, os de maiores proporções na área de estudo, depositados sobre taludes de colúvios (tálus) no sopé do promontório rochoso (Foto: U.F. Bremer, janeiro/2004).

Representam importante parcela das formas periglaciais presentes nas áreas livres de gelo, e possuem uma grande importância paisagística. Tratam-se de detritos muito móveis e instáveis, nos quais seu dinamismo é favorecido pela ação da gravidade associada à presença de gelo interno. Todavia, também existem pedreiras estabilizadas, colonizadas por líquens, que indicam dinâmica escassa ou nula, com orientações preferenciais para o norte e nordeste, relacionadas ao maior aporte de radiação.

1.4.3.2. Detritos afetados por fluxo

Conformam acumulações de clastos arqueadas ao pé das encostas que constituem formas plenamente periglaciais derivadas da presença de gelo intersticial e permafrost em taludes de pronunciada pente em áreas de deglaciação recente. "Permitem observar o desenvolvimento de um meio ativo periglacial com permafrost contínuo ou descontínuo, que se estende desde as praias holocênicas até acima dos 70 m, alcançando, em certos casos, os 300 m, já em pleno meio glacial" (Serrano & López-Martínez, 1998).

1.4.3.3. Geleiras de rocha e *protalus*

São típicas de zonas marginais recentemente deglaciadas e ocorrem nas zonas periglaciais dos principais sistemas de montanhas do planeta. São consideradas locais importantes para a detecção e o estudo do permafrost e períodos climáticos. "A presença de geleiras de rocha constituídas de detritos (colúvios) sugere a existência de um recente retrocesso glacial acompanhado de um incremento dos processos periglaciais" (Serrano & López-Martínez, 1998). Isto caracteriza uma fase de transição entre os domínios glacial e periglacial e a ampliação do domínio criogénico.

"Nas Shetlands do Sul predominam as geleiras de rocha em língua, ante as lobuladas, e uma classificação genética permite observar que as geleiras de rocha de talude dominam sobre as de detritos glaciais" (Serrano & López-Martínez, 1998). Embora pouco mencionadas na literatura sobre a ilha Rei George, geleiras de rocha podem ser observadas, na península Fildes, ponta Hennequin, península Keller e vale Itália, esta no norte da península Warszawa.

Embora não tenham sido identificadas na área deste estudo, a pequena massa de gelo desconexa das geleiras Windy e Tower, aqui denominada geleira Bastion, por se localizar no sopé do monte de mesmo nome, e os remanescentes glaciais da geleira

Tower, na face leste do monte Brama, estão sendo preservadas pelo contínuo aporte de material lítico oriundo destas formações.

Outros processos e geoformas importantes de se considerar e que ocorrem em pequena escala nesta área são os blocos de arrasto e blocos erráticos, lóbos de gelifluxão, lóbos de pedras, solifluxão laminar, "fluxos" de blocos, terrenos ordenados (solos poligonais) e solos estriados.

2. Metodologia

Nesse trabalho buscou-se inventariar as principais formas periglaciais presentes na borda leste da península Warszawa, na ilha Rei George, e conhecer sua distribuição espacial nas áreas livres de gelo.

Para tanto, elaborou-se uma cartografia geomorfológica de detalhe, na escala 1:2.500, incluindo um inventário das formas e processos periglaciais em cada lugar, conforme sua localização geográfica. Este mapeamento foi possível após a leitura da paisagem em 3 incursões na AAEP 128, e à interpretação de aerofotografias de pequeno formato obtidas pelo Departamento de Solos da UFV e de uma cena orbital *Quickbird*, adquirida pelo Projeto Criossolos. A descrição dos procedimentos aerofotogramétricos e de fotointerpretação, é demonstrada no capítulo IV.

Além das etapas acima, foram realizadas amostragens relativas à estrutura e extensão dos solos e analisadas as morfo-seqüências periglaciais mais características desta parte da ilha. A partir do registro das formas e dos procesos ativos, pode-se tirar algumas conclusões ambientais sobre as características morfogenéticas dos espaços deglaciados, a distribuição atual do permafrost e evolução das formas nas áreas deglaciadas.

2.1. Interpretação de imagens digitais e geoprocessamento

Os produtos do imageamento aéreo ou orbital expressam as funções bidimensionais $F(x,y)$, da intensidade luminosa sobre os locais imageados. Segundo Mitishita (2004) esta intensidade é dada pela energia da luz, sempre positiva e finita, portanto, a função atribui um valor positivo para cada ponto. Uma imagem digital é uma discretização da função acima, gerando uma malha regular, onde cada posição é denominada *pixel*, contração de vocábulos da terminologia em língua inglesa, *picture*

element (elemento pictórico ou de imagem). Cada *pixel* possui um valor, chamado número digital (DN, sigla para o termo original em inglês, *digital number*), que é a intensidade de radiação eletromagnética recebida da parcela do terreno correspondente ao *pixel*.

Dados de sensores de alta resolução como *IKONOS*, *QuickBird* ou *Orbview3*, apesar de ainda custar caro para grandes áreas, têm aberto novas possibilidades de exploração de áreas pequenas, como as áreas livres de gelo da borda leste da península Warszawa. O satélite *Quickbird* opera numa altitude de 450 km, promovendo uma varredura de 16,5 km, o suficiente para abranger toda a extensão da área de trabalho. Seus sistemas eletro-ópticos operando na região do visível e infra-vermelho próximo possuem muitas semelhanças com as fotografias aéreas, cuja faixa espectral é similar (Rees, 2006).

Neste trabalho utilizou-se uma cena orbital *Quickbird* obtida em 26 de fevereiro de 2006, numa manhã com boa insolação e pouca cobertura de núvens. Trata-se de uma imagem bruta ortorretificada fusionada (*OQBC* – sigla em inglês para *Orto Quick Color*). Ela é o resultado da fusão de 3 bandas multiespectrais (0,45-0,52 μm ; 0,52-0,60 μm ; 0,63-0,69 μm) com resolução espacial de 2,40 m e 1 banda pancromática (0,45-0,90 μm) com resolução de 0,60 m. Como para outras imagens *QuickBird*, acompanham-na arquivos de suporte de dados da imagem (*ISD - Image Support Data*) que são um conjunto de metadados dentre os quais pode-se destacar o arquivo RPB. Trata-se de coeficientes polinomiais que permitem que a imagem seja ortorretificada.

A cena de trabalho foi uma composição dos canais vermelho, verde e azul, correspondendo às bandas 1, 2 e 3 (Figura 2.8). A cena foi obtida com fraca cobertura de núvens, e esta composição foi considerada de qualidade ótima para o trabalho. Fez-se apenas a equalização dos histogramas para melhorar a delimitação da linha de costa.

Não se recorreu a procedimentos de classificação digital da imagem, pois a resolução especial da mesma possibilitou a digitalização das feições em tela, utilizando-se da extensão ArcMap[®] 9.2 do programa ArcGIS[®] em ambientes *Windows XP* e *Parallels Desktop* para OS X 10.5.

3. O ambiente periglacial na margem oeste da baía do Almirantado

Através da análise digital da imagem *Quickbird* e do mosaico aerofotográfico, foi possível diferenciar 48 tipos de formas associadas aos diferentes ambientes, processos, topografias, litologias, altitudes e orientações, que mostram resultados da morfogênese glacial e periglacial típicas da Antártica Marítima.

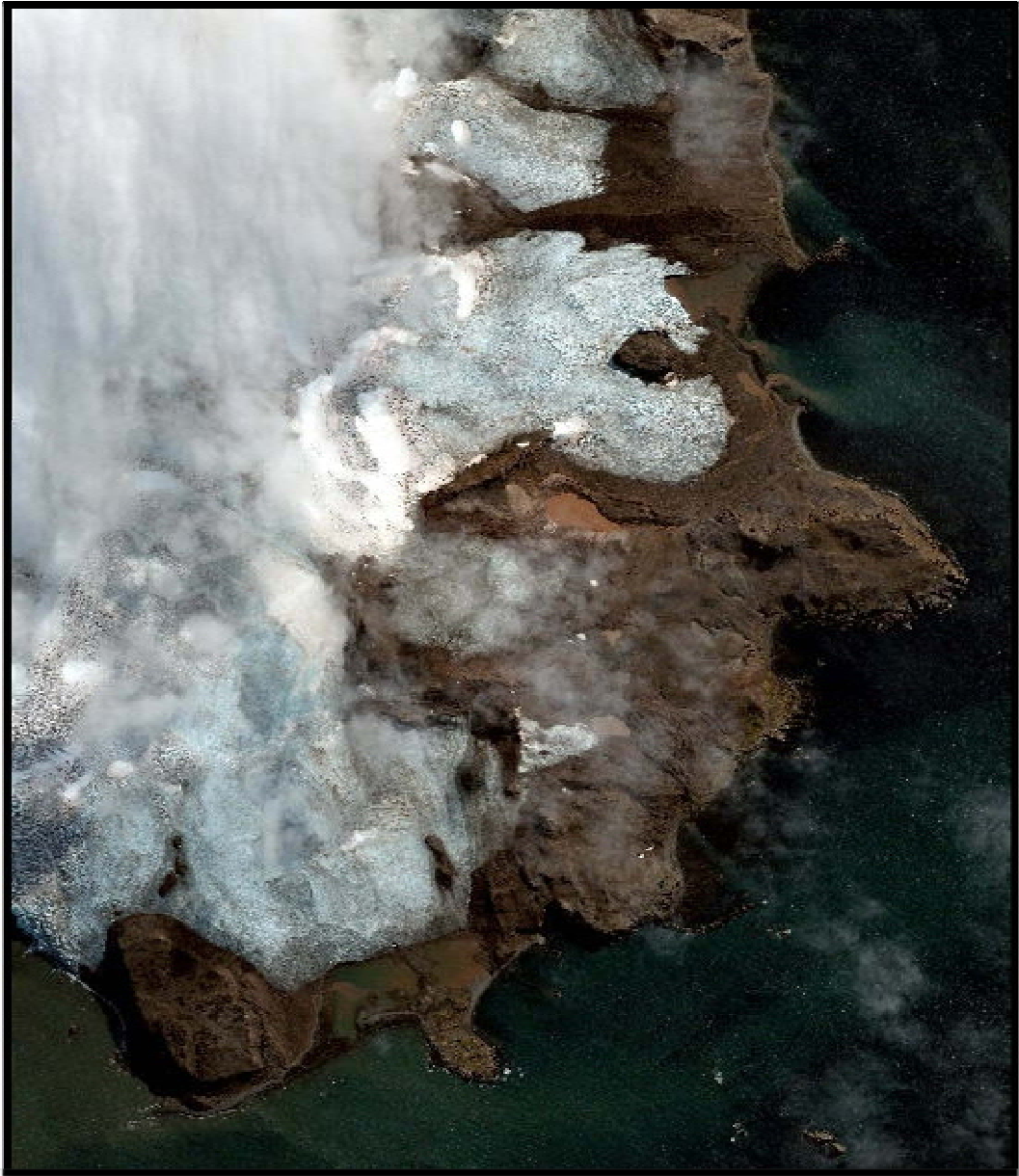


Figura 2.8 – Imagem orbital *Quickbird*, da qual os 2/3 meridionais foram utilizados para o mapeamento geomorfológico.

Um mapa geomorfológico do sul da AAEP Costa Ocidental da Baía do Almirantado foi elaborado para sintetizar graficamente tanto as formas associadas aos processos glaciais como aos periglaciais (Figura 2.9). Geoformas associadas aos processos periglaciais predominam em pontos mais elevados do relevo, enquanto as geoformas deposicionais glaciais ocupam as porções intermediárias e inferiores. Associadas às superfícies de menor altitude, encontram-se as planícies e formas associadas ao ambiente costeiro.

Quanto ao **permafrost**, na margem oeste da baía do Almirantado, é provável que ele não seja encontrado apenas na frente das geleiras Ecology e Baranowski, áreas cuja dinâmica é controlada, predominantemente, pelos processos de derretimento intensos no verão, e que está sujeita à ação de marés e ondas. Embora se sugira esta descontinuidade do permafrost, ele é característico para a maior parte da AAEP 128, e seu conhecimento carece de maiores estudos na região.

As formas de origem periglacial, anteriormente descritas, ocupam uma pequena parcela da borda leste da península Warszawa, e na área de estudo equivalem a cerca de 1/3 da extensão total das áreas livres de gelo.

3.1. Formas resultantes da ação glaciofluvial e zonas proglaciais

Várias geoformas são características das áreas de recuo recente das geleiras e ocorrem no setor meridional da AAEP 128. *Eskers*, *flutes*, cordões morânicos, pavimentos de clastos e rochas estriadas, que podem estar em meios relativamente estáveis, ou sofrendo retrabalhamento paraglacial, podem ser encontradas entre as praias e as frentes das geleiras principais. A ação marinha se associa à deposição glacial originando geoformas importantes na paisagem local, como praias e esporões de seixos submersos ou semi-submersos, terraços marinhos, e planícies lagunares glaciomarinhas.

3.1.1. Planícies glaciofluviais

Nas áreas de recuo glacial mais antigo, em terrenos de topografia mais suave, encontram-se planícies glaciofluviais. Diante de geleiras cujas posições mostram pouco recuo recente de suas frentes, nota-se claramente a diminuição da espessura da massa glacial e a presença de uma rede de drenagem conseqüente do derretimento da neve e do gelo. Nesses locais, onde os depósitos sofrem retrabalhamento paraglacial através de

agentes hídricos e eólicos, tem-se nos processos glaciofluviais o principal agente modelador da paisagem.

As principais planícies glaciofluviais encontradas no setor estudado se desenvolvem nos seus limites norte e sudoeste. São aqui denominadas Sphinx e Windy, por sua evolução se dar na zona proglacial das geleiras de mesmo nome.

A primeira, entre o morro Sphinx e a ponta Agat, ao norte da geleira Baranowski, é muito rica em feições que marcam o avanço e recuo da geleira Sphinx, como resíduos de morainas de retração, blocos de arrasto, *flutes* e pequenos *eskers*, alguns deles já apresentando presença escassa de gramínea. Essa zona de lavagem glaciofluvial é caracterizada por canais anastomosados que transportam e retrabalham sedimentos subglaciais e subaéreos desde a geleira Sphinx até a baía do Almirantado. A descarga desses sedimentos pode ser percebida através de plumas sedimentares ao norte da ponta Agat. Padrão semelhante a este ocorre ao sul da geleira Baranowski, entre a laguna proglacial desta e a moraina latero-frontal ao norte das escarpas de Demay.

A segunda planície glaciofluvial de alguma expressão desenvolve-se entre o morro Red e a laguna proglacial da geleira Windy. Trata-se de uma área entre a moraina latero-frontal oeste desta geleira e o terraço marinho que delimita a margem oeste da laguna. Este terreno está sujeito ao trabalhamento crionival, pluvial e eólico pois no local, as águas de derretimento que percorrem o canal de drenagem desde a montante do contato entre a geleira e o morro não mais transpõem as margens da larga calha de fundo chato na planície.

3.1.2. Planícies glaciolagunares e a ação glaciomarinha na margem oeste da baía do Almirantado

Planícies lagunares glaciomarinhas estão em processo de formação entre a ponta Telefon e a moraina latero-frontal leste da geleira Windy. Além da grande laguna proglacial desta geleira (Figura 2.10), ela já apresenta, também, um conjunto de pequenas lagoas em meio a terraços glaciolagunares e glaciofluviais.

Mapa geomorfológico do leste da Península Warszawa, Ilha Rei George, Antártica Marítima

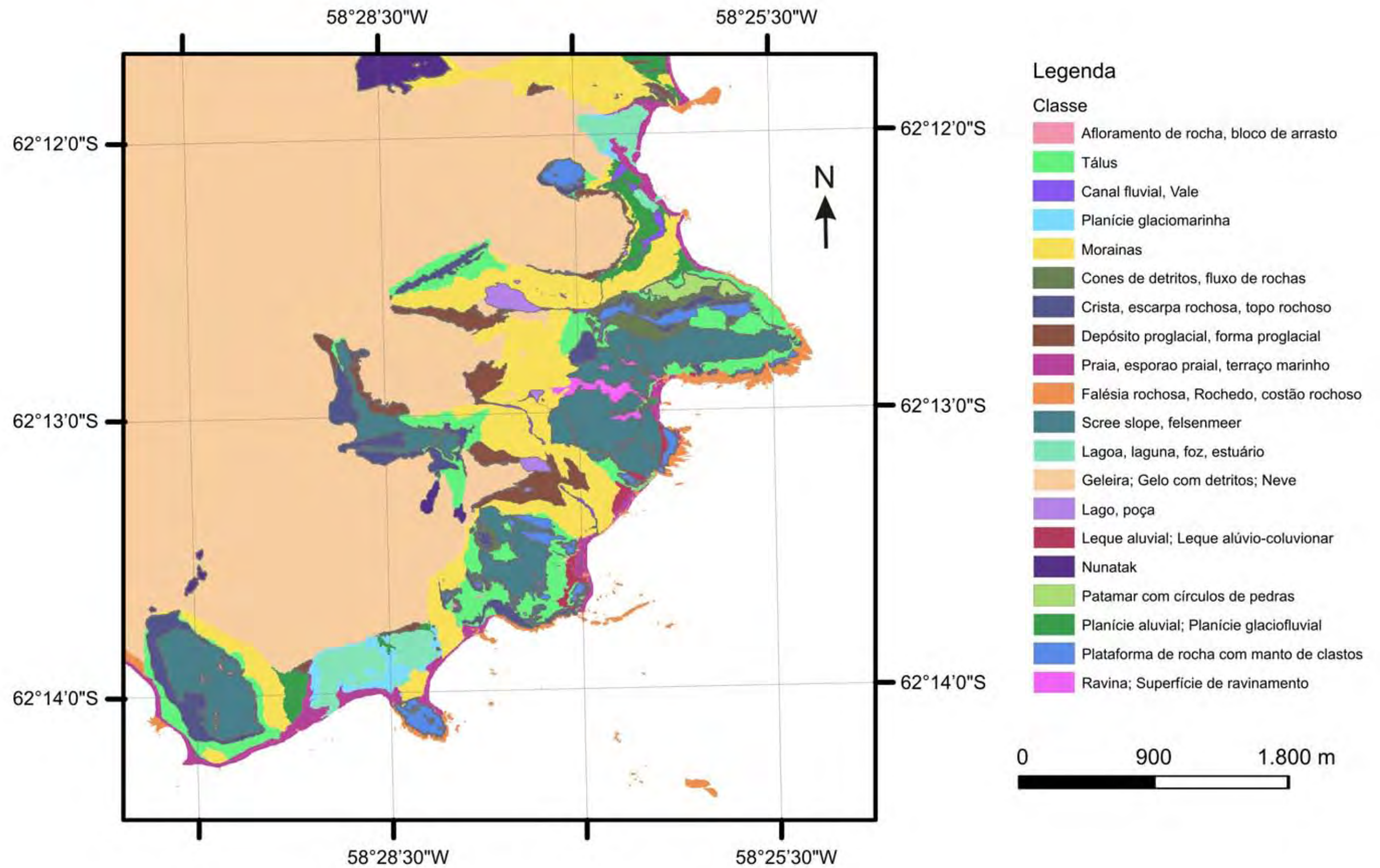


Figura 2.9 - Mapa geomorfológico da borda leste da península Warszawa (Projeção UTM e elipsóide de referência WGS84).



Figura 2.10 – complexo lagunar glaciomarinho na zona proglacial da geleira Windy, entre sua moraina lateral, em primeiro plano, e o morro Red, ao fundo, sob condição de maré alta (foto: U.F. Bremer, fevereiro de 2004).

3.2. Superfícies de ablação eólica

Superfícies de ablação típicas foram observadas nas áreas de cumeeira a oeste e sudoeste de Demay, entre a angra Paradise e a geleira Tower, e nas colinas Rescuers, junto ao noroeste de Sphinx (Figura 2.11).

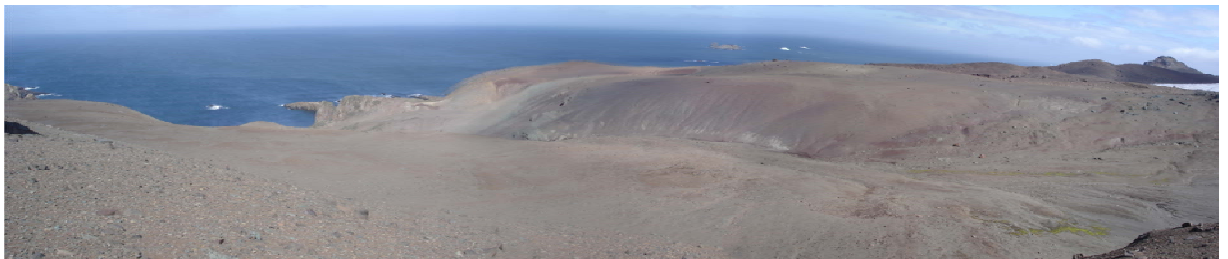


Figura 2.11 – A mais extensa superfície de ablação eólica na área de estudo localiza-se nos terrenos altos entre Demay e a ponta Uchatka (mosaico de fotografias tiradas por M.R. Francelino em fev/2006).

São áreas de deflação sedimentar, ou seja, que perdem clastos para as áreas vizinhas. No entanto, grande parte do material retirado pelo vento é depositado diretamente no mar, ou precipitado na superfície de geleiras próximas, não dando origem a feições eólicas agradacionais. Por ser, em geral, de baixo albedo, esse material particulado absorve mais radiação e contribui para acelerar o derretimento superficial das áreas glaciadas e de neveiros, sendo então carregado pelas águas de degelo até os lagos proglaciais, canais e planícies flúvio-glaciais, ou até mesmo ao mar.

4. Conclusões

Os ambientes glacial e periglacial não podem ser colocados em oposição um ao outro quando se trata da estrutura das paisagens de áreas livres de gelo na Antártica Marítima. Em ambos ocorre o permafrost, que é crítico para a constituição das geoformas periglaciais, e tem sua existência associada ao meio glacial.

O ambiente do setor meridional da borda leste da península Warszawa precisa ser melhor estudado em campo, e melhor amostrado para análises laboratoriais de seus constituintes sedimentares recentes, a fim de se conhecer melhor as interações entre os diferentes elementos fisiográficos.

Este capítulo buscou apresentar uma primeira síntese aproximada da geomorfologia da AAEP 128, sem o objetivo de criar uma classificação completa de geoformas glaciais e periglaciais na área de estudo mas, como parte dela não pode ser percorrida nas incursões que foram feitas, nem todos os elementos puderam ser completamente distintos na imagem orbital ou nas fotografias aéreas, notadamente aqueles sob a rala cobertura de nuvens – onde ela se apresentou – ou devido a distorções de cor e forma nas imagens após o mosaico aerofotográfico.

Referências

- Aquino, F.E. 1999. Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange. Porto Alegre: UFRGS. 91 p. (Dissertação de Mestrado em Geociências – inédita)
- Aquino, F.E., Simões, J.C., Setzer, A.W. & Ferron, F.A. 2004. Climatology and atmospheric temperature warming trend for King George Island, Antarctica. In: *Interdisciplinary Workshop Antarctic Peninsula Climate Variability: History, Causes and Impacts. Cambridge, UK, 16-18/09/2004. Abstracts: 56.*
- Barsch, D., Blümel, W.D., Flügel, W.A., Mäusbacher, R., Stäblein, G. & Zich, W. 1985. Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel, Südshetlandinseln, Antarktika. *Ber. Polarforschung, 24: 1-63.*
- Benn, D.I. & Evans, D.J.A. 2003. *Glaciers and glaciations*. London: Arnold. 734 p.
- Beyer, L., Bockheim, J.G., Campbell, I.B., Claridge, G.G.C. 1999. Genesis, properties and sensitivity of Antarctic Gelisols. (Review), *Antarctic Science, 11(4): 387-398.*

- Birkenmajer, K. 1979. Lichenometric dating of raised marine beaches at Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bull. Polish Acad. Sci. - Earth*, 29: 119-127.
- Bockheim, J.G. 1995. Properties and classification of cold desert soils from Antarctica. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61: 224-231.
- Braun, M. & Goßmann, H. 2002. Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica. In: Beyer, L. & Bölter, M. (Ed). *Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes*. Berlin: Springer-Verlag. pp: 75-89.
- Braun, M., Saurer, H. & Goßmann, H. 2004. Climate, energy fluxes and ablation rates on the ice cap of King George Island. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 87-103.
- Bremer, U.F. 1998. *Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da ilha Rei George, Antártica*. Porto Alegre: UFRGS-CEPSRM. 119 p. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto – inédita)
- Claridge, G.G.C., Campbell, I.B., Powell, H.K.J., Amin, Z.H. & Balks, M.R. 1995. Heavy metal contamination in some soils of the McMurdo Sound region, Antarctica. *Antarctic Sci.*, 7(1): 9-14.
- Comiso, J.C. 2000. Variability and trends in Antarctic surface temperatures from in situ and satellite infrared measurements. *J. Climatology*, 13: 1674-1696.
- Dobinski, W. 2006. Ice and environment: a terminological discussion. *Earth-Sci. Rev.*, 79 (2006): 229-240.
- Ferron, F.A., Simões, J.C., Aquino, F.E. & Setzer, A.W. 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 155-169.
- Fox, A.J. & Cooper, A.P.R. 1998. Climate-change indicators from archival aerial photography of the Antarctic Peninsula. *Ann. Glaciol.*, 27: 636-642.
- French, H.M. 1998. *The periglacial environment*. 2. ed. Harlow, Essex: Longman.
- Gruber, N.L.S. 1989. *Contribuição ao estudo da sedimentação glacio-marinha da Baía do Almirantado, Ilha Rei Jorge, Antártica*. Porto Alegre, UFRGS-IG. 174 p. (Dissertação de Mestrado em Geociências, inédita)
- Houghton, J.T. et. al. (eds) 2001. *Climate change 2001: the scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <http://www.ceptec.inpe.br/antartica>. Acesso em: 18 set. 2006.

- Jiahong, W., Jiancheng, K., Zichu, X., Zichu, X. Jiankang, H. & Lluberias, A. 1994. Climate mass balance and glacial changes on small dome of Collins ice cap, King George island, Antarctica. *Antarctic Research*, 5 (1): 52-61.
- John, B.S. & Sugden, D.E. 1971. Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands. *Brit. Ant. Surv. Bull.*, 24: 45-111.
- Jones, P.D. & Limbert, D.W.S. 1987. *A data bank of Antarctic surface temperature data*. Washington, DC: USDE. 52 p.
- King, J.C. 1994. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 14: 357-369.
- King, J.C. & Harangozo, S.A. 1998. Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes. *Ann. Glaciol.*, 27: 571-575.
- Macheret, Yu.Ya., Moskalevsky, M.Yu., Simões, J.C., & Ladouch, L. 1998. Structure and regime of King George Island ice sheet, South Shetland Islands, Antarctica, as a typical glacier in the south subpolar region. *Salzburger Geograph. Mater.*, 28: 73-80.
- National Research Council. 2000. *Reconciling Observations of Global Temperature Change*. Washington, DC: National Academy Press.
- Paterson, W.S.B. 1994. *The physics of glaciers*. 2. ed. Oxford: Elsevier. 480 p.
- Rakusa-Suszczewski, S., Mietus, M., Piasecki, J. 1993. Weather and climate. In: *The Maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty bay*. Warszawa: PAN-Department of Biology. pp: 19-25.
- Rees, W.G. 2006. *Remote sensing of snow and ice*. Boca Raton-EUA: Taylor & Francis. 285 p.
- Serrano, E. & López-Martínez, J. 1998. Caracterización y distribución de las formas y los procesos periglaciales en las islas Shetland del Sur (Antártida). In: Gómez Ortiz, A., Salvador Franch, F., Schulte, L. & García Navarro, A. (ed). *Procesos biofísicos actuales en medios fríos*. Barcelona: Universitat de Barcelona. pp: 181-204.
- Simões, J.C., Arigony Neto, J. & Bremer, U.F. 2004. O uso de mapas antárticos em publicações. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 191-197.
- Simões, J.C., Dani, N., Bremer, U.F., Aquino, F.E. & Arigony-Neto, J. 2004. Small cirque glaciers retreat on Keller Peninsula, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 49-56.
- Sugden, D.E. & John, B.S. 1973. The ages of glacier fluctuations in the South Shetland, Antarctica. In: van Zinderen Bakker, E.M. (ed) *Palaeoecology of Africa and of the surrounding islands and Antarctica*, vol. 8. Cape Town: Balkema. pp: 139-59.
- Sugden, D.E. & John, B.S. 1984. *Glaciers and landscape: a geomorphological approach*. London: Edward Arnold. 376 p.

- Simonov, I.M. 1977. Physical-geographic description of the Fildes Peninsula (South Shetland Islands). *Polar Geography*, 1: 223-242.
- Thom, G. 1978. Disruption of bedrock by the growth and collapse of ice lenses. *J. Glaciology*, 20: 571-575.
- Vaughn, D.G. & Doake, C.S.M. 1996. Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula. *Nature*, 379: 328-321.
- Vieira, R., Simões, J.C., Rossato, M.S. e Aquino, F.E. 2004. Feições geomórficas e sedimentares associadas à retração da geleira Ecology, baía do Almirantado: implicações para a dinâmica do gelo e regime térmico. *XII Simpósio de Pesquisa Antártica, São Paulo, USP-IG, 29/09-01/10/2004. São Paulo: CPA. Programa e Resumos*: 196.
- Vogt, S. & Braun, M. 2004. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 105-118.
- Weller, G. Regional impacts of climate change in the Arctic and Antarctic. *Ann. Glaciol.*, 27: 543-552.
- Zhu Cheng, Zhi-Jiu Cui, Xiong Hei Gang & Yao Zeng. 1993. Characteristics of the permafrost structure on the Fildes Peninsula, King George Island. *Sci. China*, 36: 997-1010.

III. Solos da margem oeste da baía do Almirantado: Morfologia, características químicas e físicas, e classificação.

1. Introdução

"Uma pergunta que é sempre feita a respeito da Antártica é: há solos lá?"
(Campbell e Claridge, 1987)

Apesar da questão concernente ao conceito de solos, quando de sua aplicação aos ambientes antárticos suscitar divergências (*e.g.* Tedrow, 2004), solos criogênicos com notável variabilidade química e morfológica são encontrados na Antártica de forma generalizada (Campbell e Claridge, 1987; Ugolini e Bockheim, 2008). Sua ocorrência se dá tanto em áreas vegetadas como nas desprovidas de vegetação. Ocorrem principalmente sob coberturas microfíticas, de briófitas (hepáticas e musgos), líquens e algas macroscópicas terrestres no chamado "bioma antártico" (Øvstedal e Lewis-Smith, 2001). No entanto, os solos mais desenvolvidos da Antártica Marítima, em geral, estão associados ainda à presença das angiospermas *Deschampsia antarctica* Desv., *Poaceae*, e *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl., *Cariophyllaceae*, que mantêm interação positiva com a camada ativa mais desenvolvida, estabilizando a paisagem (Simas et al., 2008).

Na Antártica Marítima, estudos mais recentes demonstram que a maioria dos sítios com abundante vegetação está associada a solos ornitogênicos, com características de forte acidólise devido à formação de ácidos fortes (sulfúrico, nítrico e fosfórico), que seguem a decomposição do guano de aves (Kuhn, 1997; Simas et al., 2007). Alguns dos aspectos que evocam mais interesse no estudo desses solos refere-se ao seu lugar dentro dos grupos de solos mundiais, e em sua dinâmica no contexto climático global.

No âmbito da Antártica Continental, criossolos áridos foram descritos detalhadamente por Campbell e Claridge (1987) e Beyer e Bölter (1999) principalmente na região dos vales secos (77° 30' S, 162° E). Nessas áreas, por seu clima desértico polar e permanente estado de congelamento, os solos são pouco desenvolvidos e ricos em sais solúveis (Campbell e Claridge, 1987; Bockheim, 1997; Beyer e Bölter, 1999), uma

característica que é predominante na Antártica Oriental¹. No entanto, informações pedológicas das áreas remotas da Península Antártica ainda são escassas.

1.1. Propostas de zoneamento pedológico antártico

O primeiro a desenvolver um sistema de classificação englobando os solos num padrão zonal relacionado ao clima foi Dokuchaev, que em 1886 publicou seu estudo sobre solos da Sibéria e leste europeu, no qual estes variam de desérticos e chernozêmicos, nas estepes do sul, a podzóis das zonas florestais e solos de tundra, mais ao norte (Campbell e Claridge, 1987).

As diferenças biogeográficas entre a Antártica Continental e a Antártica Marítima (Longton, 1988) levaram estudiosos de solos a tentativas de enquadrar pedologicamente a Antártica em setores que respeitassem senão essa zonalidade, outras muito semelhantes.

Utilizando espécies vegetais, temperatura média anual e precipitação como fatores ambientais diferenciadores, Bockheim e Ugolini (1990) propuseram a setorialização da região circumpolar austral em quatro zonas pedológicas: Floresta Subantártica; Tundra Subantártica; Deserto Polar Antártico; e Deserto Polar Frio, que se distribuem ao longo de um transecto latitudinal (Figura 3.1). A se considerar a proposta desses autores, as ilhas Shetland do Sul fariam parte da "Zona de Tundra Subantártica", e se esperaria para os processos pedogenéticos características como a presença de *permafrost*, o acúmulo de matéria orgânica, brunização e, em menor escala, carbonização e pavimento desértico. No entanto, estudos de Blume *et al.* (1997), mostram que o quadro fornecido por Bockheim e Ugolini (1990) sobre processos pedogenéticos associados a essas zonas precisa ser modificado, pelo menos em parte.

¹ Devido à posição geográfica, constituição geológica, relevo e forma, são reconhecidos na Antártica dois grandes setores: - 1) ao leste das montanhas Transantárticas, entre 30° W e 150° E, a Antártica Oriental, o setor geologicamente mais antigo e estável, e também o mais elevado e vasto, ocupando 75% de toda a área continental - incluídas as plataformas de gelo e os arquipélagos costeiros; 2) a Antártica Ocidental, muito menor e mais baixa (elevação média de 1500 m) que o setor oriental, é geologicamente mais nova, e inclui os montes Ellsworth, as gigantescas plataformas de gelo Ronne-Filchner e Ross e o longo prolongamento rumo ao continente sul-americano, a escarpada Península Antártica, com suas ilhas adjacentes e a grande plataforma de gelo Larsen.

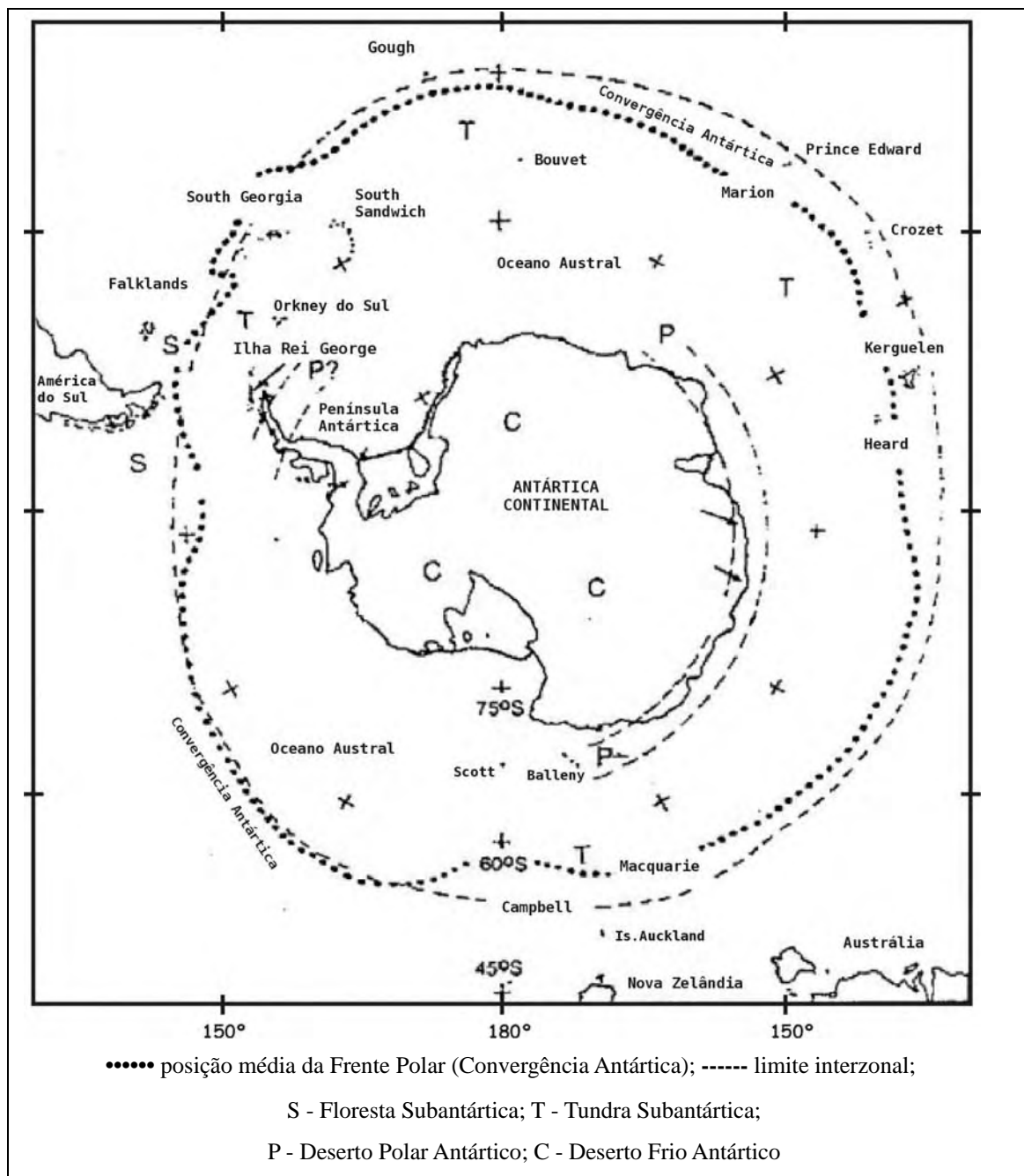


Figura 3.1. Zonas pedológicas na região circumpolar meridional (modificado de Bockheim & Ugolini, 1990).

Blume *et al.* (1997) afirmam ter observado solos podzolizados nas zonas de "Tundra Subantártica" e em partes do "Deserto Polar", bem como afirmam haver um forte enriquecimento de matéria orgânica em muitos solos do "Deserto Polar" e que a rubificação de solos na "Tundra Subantártica" e em partes do "Deserto Polar" parecem resultar principalmente de compostos de ferro bruno-avermelhados. Deste modo, eles mudaram e ampliaram o diagrama proposto por Bockheim & Ugolini (1990) para os

diferentes processos pedogenéticos segundo um transecto latitudinal na zona circumpolar do sul do globo, conforme a Figura 3.2. Blume et al. (1997) desenvolveram estudos na ilha Rei George, na área de Arctowski, uns poucos quilômetros ao norte da área deste trabalho. A partir desses estudos, incluíram as Shetlands do Sul na zona que denominam “Deserto Subpolar Antártico”, e as ilhas Orkney do Sul, também na Antártica Marítima, foram por eles enquadradas na mesma zona, porém em transição para o que denominam de “Alta Tundra Subantártica”.

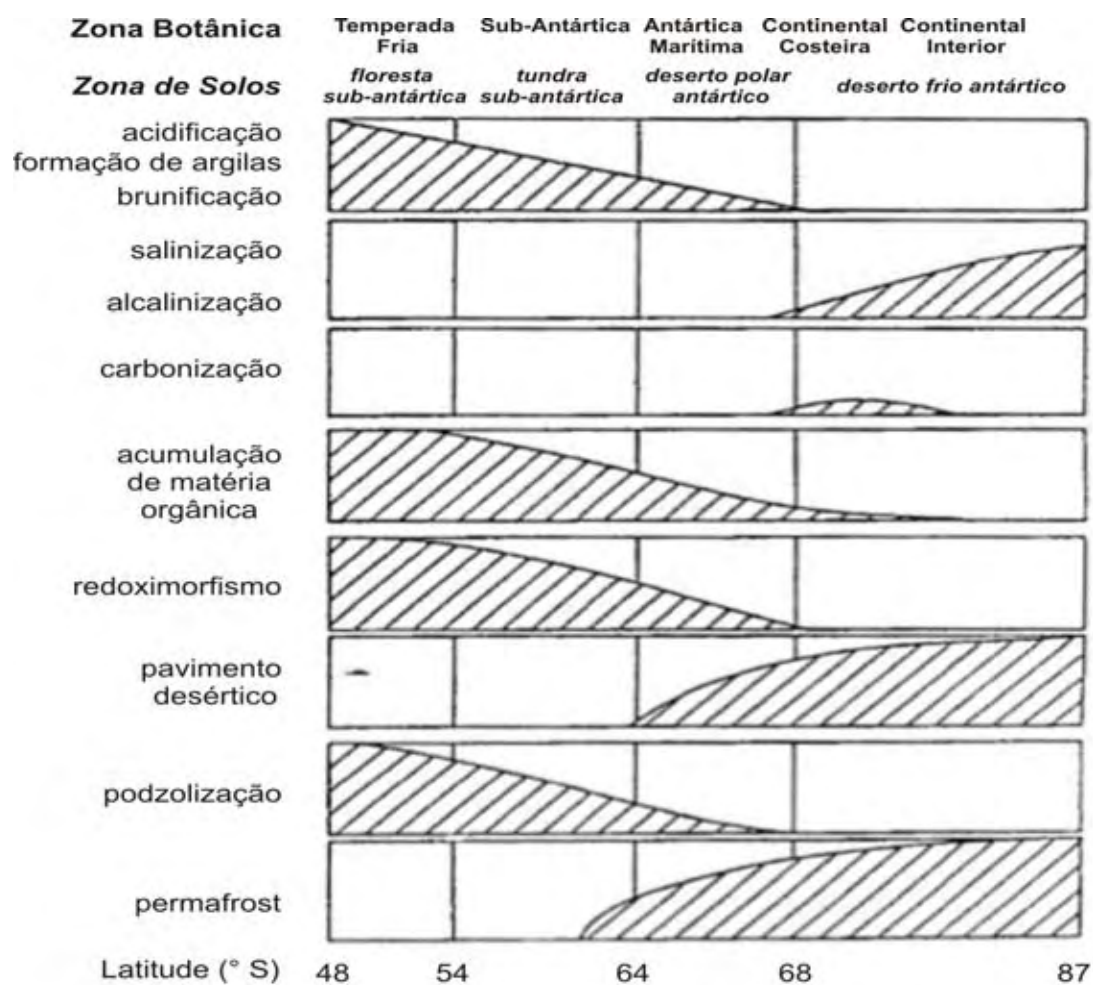


Figura 3.2. Diferenças nos processos pedogenéticos em solos minerais ao longo da Região Circumpolar Austral (modificado de Bockheim e Ugolini, 1990 por Blume et al., 1997).

Por sua vez, Tedrow e Ugolini (1966, *apud* Campbell e Claridge 2004), Tedrow (1977) e Campbell e Claridge (1987) preferem simplificar o zoneamento pedológico antártico em solos desérticos polares e solos desérticos frios. Estes últimos

caracterizariam pedologicamente a maior parte do continente antártico, a Antártica Oriental e a maior parte da Antártica Ocidental, exceto as áreas incluídas na Antártica Marítima (*i.e.*, o norte e oeste da Península Antártica), nas quais predominariam os solos desérticos polares.

Com base em estudos de gradientes pedológicos em cronosequências, Bockheim (2008) evidenciou que o tempo de exposição dos solos na região do mar de Ross (Antártica Continental) é o fator mais importante na diversidade funcional dos solos, incluindo atributos como profundidade, coerência, crostas de sais visíveis e profundidade do *permafrost*. O principal fator climático afetando o solo foi altitudinal, e não latitudinal.

O estudo de gradientes altitudinais e latitudinais é importante para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas terrestres antárticos (Bockheim e Ugolini, 1990; Virtanen *et al.*, 2006; Barrett *et al.*, 2006; Bockheim, 2008), e seu reconhecimento foi pioneiramente relatado por Campbell e Claridge (1969), quando estes autores estabeleceram a zonalidade dos solos com regime frígido.

Desde então muitos estudos sobre as relações ecológicas foram desenvolvidas (*e.g.*, Ugolini e Bockheim, 2008), confirmando a importância da topografia na distribuição de diversos atributos químicos (sais) e morfologia (*e.g.*, *permafrost*, cunhas de gelo).

1.2. Estudos dos solos da Antártica Marítima

As dificuldades de acesso às pequenas áreas livres de gelo da costa da Península Antártica, e de suas ilhas, restringem a pesquisa dos componentes de seus ecossistemas terrestres. Ainda que existam poucos estudos sobre sua gênese e classificação, comparativamente aos solos da Antártica Continental, um crescente e robusto banco de dados já se encontra publicado recentemente (Tatur, 1989; Blume *et al.*, 2004; Schaefer *et al.*, 2004; Albuquerque-Filho, 2005; Michel *et al.*, 2006; Simas *et al.* 2007), incluindo aspectos mais detalhados de micromorfologia e microquímica (Simas *et al.*, 2007; Schaefer *et al.*, 2008).

Via de regra os estudos até então desenvolvidos nesta região remetem a fragmentos espacialmente dispersos e, na maioria das vezes, distantes entre si, o que

torna a Antártica Marítima ainda um dos lugares menos estudados pela ciência do solo na Antártica. Tanto o *permafrost* como a camada ativa continuam carecendo de melhor caracterização nessas áreas, apesar do aumento de contribuições científicas nesta última década (Tatur *et al.*, 1997; Jeong & Yoon, 2001; Blume *et al.*, 2002; e Blume *et al.*, 2004; Goryachkin *et al.*, 2004; Simas *et al.*, 2007).

Os poucos estudos de solos da Antártica Marítima têm exposto um quadro pedológico bem distinto do continental. Ali, as temperaturas mais altas e a disponibilidade de água no solo têm possibilitado um maior desenvolvimento do perfil (Albuquerque-Filho, 2005; Michel *et al.*, 2006; Simas, 2007; Simas *et al.*, 2008). Associando-se a isto, a presença de grande número de aves e deposição de seus dejetos favorece o crescimento de vegetação e, conseqüentemente, o incremento da biodiversidade.

Nas áreas de intensa concentração de aves, destacadamente os pingüins (*Pygoscelidae*), a disponibilidade de nutrientes, associada aos outros fatores de formação do solo, possibilita a existência dos solos ditos ornitogênicos (Ugolini, 1970; Tatur, 1989). Por outro lado, terrenos padronizados com solos poligonais com cunhas de gelo, tão comuns na Tundra, embora ocorram nas Shetlands do Sul, não são típicos para a Antártica Marítima.

Uma intensa investigação dos solos da baía do Almirantado, da ilha Rei George, vem se desenvolvendo pelo Projeto Criossolos, no âmbito Programa Antártico Brasileiro (Proantar), desde 2002, sendo muitos dados já publicados e disponíveis (Simas *et al.*, 2008; Schaefer *et al.*, 2008).

Ao longo deste período, dados analíticos e morfológicos vêm sendo apresentados para os principais tipos de solos aí encontrados, tendo possibilitado discutir os processos e fatores que levam à sua formação, bem como classificá-los de acordo com os sistemas da *FAO* e *Soil Taxonomy* (Francelino, 2004, Schaefer *et al.*, 2004, Simas *et al.* 2007).

Como parte deste projeto, estudos pedológicos mais aprofundados da parte ao sul da estação Pieter J. Lenie ("Copacabana"), na margem oeste da baía do Almirantado, foram iniciados em 2003. Neste capítulo, apresenta-se uma caracterização e classificação, segundo os sistemas *FAO* (2006) e *Soil Taxonomy* (SSSA, 2003), para alguns solos da Área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado (AAEP 128) situados entre as pontas Agat e Telefon.

2. Fatores relacionados à formação do solo na borda leste da península Warszawa

2.1. O material de origem e o tempo de sua exposição

O intemperismo é intenso na Antártica Marítima, decorrente não somente de processos físicos, cujo predomínio é marcante na Antártica Continental, mas também químicos. Associados, eles desmantelam com muita eficácia os afloramentos de rochas vulcânicas que, por sua vez, raramente são encontrados sem algum grau de deterioração.

A maior parte das paisagens livres de gelo do leste da península Warszawa está coberta de sedimentos provenientes da fragmentação mecânica de rochas depositados principalmente como *talus*, vertentes de escombros (*scree slopes*) ou *felsenmeer*. Esses materiais são, em geral, heterogêneos quanto à composição mineral, tamanho e forma. Junto de clastos originados localmente é comum estarem associados materiais alóctones, que sofreram remoção e transporte pela competente ação de massas glaciais, o que dificulta relacionar, de imediato, sua origem e idade a outros componentes vizinhos na paisagem. Sua exposição é recente (holocênica) e a diversidade se acentua na medida em que os depósitos ficam submetidos aos processos típicos dos ambientes periglaciais (*e.g.* crioturbação, solifluxão, transporte fluvial).

2.2. Relevo da borda leste da península Warszawa

A dinâmica atual da paisagem na margem oeste da baía do Almirantado é muito ativa, principalmente devido aos processos erosivos glaciais serem intensos. Com excessão de uns poucos e pequenos terrenos planos ou de topografia suave, o relevo característico desta área varia de ondulado a forte ondulado, incluindo considerável número de vertentes escarpadas (Figura 3.3). Isto dificulta, e até mesmo impede, em alguns locais, a formação de áreas mais estáveis onde poderia haver o desenvolvimento de solos mais significativos.

2.3. O clima nas ilhas Shetland do Sul e sua influência na península Warszawa

As características do clima da Antártica Marítima são propícias ao desenvolvimento de solos nas áreas livres de gelo da Península Antártica e nos

arquipélagos adjacentes. Nas áreas costeiras da Antártica, a maior umidade, associada à presença de matéria orgânica, favorece a pedogênese em relação às áreas mais secas.

Existem muitos indicadores de que esta região está sofrendo mudança climática que afeta não somente seu sistema glacial, como também seus ecossistemas terrestres (Braun e Goßmann, 2002). Fox e Cooper (1998), analisando conjuntos de fotografias aéreas multitemporais, determinaram indicadores de mudança climática na Península Antártica que implicam no aumento da superfície de menor albedo, o que significa a ampliação das áreas livres de gelo e neve permanente.



Figura 3.3. Dois aspectos das paisagens da borda leste da península Warszawa, apresentando a diversidade de formas de relevo que caracterizam as áreas livres de gelo, alternando áreas planas e vertentes de pendentes moderadas a fortes (a), ou pequenas planícies flúvio glaciais e vertentes fortemente escarpadas (b).

Enquanto a temperatura média do ar na superfície do planeta aumentou $0,06^{\circ}\text{C}$ por década durante o século XX (Houghton *et al.*, 2001), sendo que nos anos de 1979 a 1998, o aumento foi de $0,19^{\circ}\text{C}$ (National Research Council, 2000), na região da Península Antártica, um aumento de $2,5^{\circ}\text{C}$ foi registrado entre a metade e o final daquele século (King, 1994). Este aumento de temperatura contribui para a aceleração do derretimento da neve e do gelo nos arquipélagos do norte dessa região – o caso do local deste estudo – que tem características subpolares (Macheret *et al.*, 1998). Ou seja, a

temperatura do gelo das ilhas está muito próxima de seu ponto de fusão sob pressão, suscetível, portanto, ao derretimento ao longo do verão, quando as temperaturas atingem 0° C ou superam esse valor. Este fator é de suma importância para aumentar a disponibilidade de água no pedoambiente e também por saturá-lo.

2.3.1. A ação do congelamento e descongelamento

As mudanças da fase sólida para líquida, e vice-versa, da água no solo condicionam a criogênese de solos. Em boa parte da área estudada, a falta de uma ação intensiva dos processos criogênicos nos solos se deve à descontinuidade do permafrost.

Os processos relacionados à ação da água proveniente do derretimento da neve e do gelo controlam fortemente os ambientes terrestres, de acordo com Vogt & Braun (2004) que utilizaram a teledetecção para verificar a influência da cobertura de neve e geleiras sobre os ecossistemas terrestres e marinhos na Antártica Marítima.

Esses ecossistemas se desenvolvem a taxas muito lentas, devido ao clima excessivamente frio, baixa precipitação, ausência de cobertura vegetal expressiva e pelo intemperismo muito lento das rochas (Claridge *et al.*, 1995). Do mesmo modo, os processos pedogenéticos ocorrem aí muito lentamente e, mesmo nas superfícies mais estáveis, onde são encontrados solos datados do Mioceno, não há desenvolvimento expressivo do perfil (Beyer *et al.*, 1999). Em um estudo mais generalizado do permafrost das Shetlands do Sul, Thom (1978) afirma que, em suas investigações, o mesmo se encontrava a uma profundidade máxima de 0,7 m.

2.3.2. Processos químicos

O intemperismo químico na Antártica é muito restrito e dependente da umidade e da litologia, principalmente na Antártica Continental, onde os principais processos envolvidos são oxidação e salinização, enquanto hidrólise e carbonatação de minerais primários são insignificantes, mesmo em rochas expostas há mais de 4 milhões de anos (Matsuoka, 1995, Beyer *et al.*, 2000). As transformações minerais nos solos limitam-se à hidratação, a exemplo da transformação de micas em vermiculita hidroxiladas, podendo-se encontrar esmectita na presença de elevados teores de Mg e pH alto (Campbell e Claridge, 1987, Beyer *et al.*, 1999).

Entretanto, na Antártica Marítima, a presença de água líquida no solo durante o

verão possibilita o início de uma série de processos pedogenéticos. Além da água, a matéria orgânica acumulada e a entrada de nitrogênio e fósforo oriundos de dejetos de aves marinhas, favorecem o desenvolvimento de solos, freqüentemente rasos (< 1 m de profundidade). Hall (1993) considera que a precipitação salina, e os ciclos de umidade-resssecamento e gelo-degelo são os três mecanismos de intemperismo fundamentais, atuando sinergicamente. Segundo Tatur e Myrcha (1989), complexos orgânicos em água, quimicamente agressivos, derivados do guano de pingüins, aceleram o intemperismo de rochas e a formação do solo na ilha Rei George. Ainda assim, os solos das Shetlands do Sul são incipientes, com teor muito baixo de argila e elevado conteúdo de materiais macroclásticos refletindo a composição química da rocha matriz (Beyer e Bölter, 2000).

2.4. Ação de aves e mamíferos na área de estudo

2.4.1. A atividade de pingüins entre as pontas Demay e Telefon

Uma grande quantidade de material orgânico originário da presença e atividade de aves é depositado anualmente nas áreas livres de gelo da Antártica Marítima, como guano fresco, cascas de ovos, penas, carcaças, etc. Ninhais de *Pygoscelis antarctica* são encontrados sobre terraços marinhos próximos ao litoral, morainas baixas junto da costa e costões rochosos (Figura 3.4). Por este motivo, observações de campo revelaram que os solos ornitogênicos derivados de guano de *P. antarctica* são, em geral, mais rasos, apresentando profundidade de fosfatização bem inferior aos solos ornitogênicos de pingüineiras de *P. adeliae* encontrados nas pontas Rakusa e Llano, no nordeste da AAEP 128, estudados por Simas *et al.* (2007).

Aproximadamente 6,4 toneladas (peso seco) por dia é o aporte de guano de pingüim depositado nas áreas de nidificação nas margens da baía do Almirantado, segundo Rakusa-Suszczewski, (1980, *apud* Zdanowski *et al.*, 2004). Deste modo, estas aves causam um impacto significativo nos balanços locais de carbono, nitrogênio, fósforo e outros minerais (Tatur, 2002). Embora fezes de pingüins sejam de origem essencialmente marinha, sua decomposição ocorre rapidamente em terra pela ação da comunidade bacteriana altamente diversa do guano. Pesquisas desenvolvidas por Bölter (1995) e Zdanowski & Weglenski (2001) indicaram alta diversidade e abundância da comunidade microbiana nas áreas livres de gelo e neve da ilha Rei George.



Figura 3.4 – Ninhal de *P. antarctica* sobre terreno rochoso e irregular na ponta Telefon, junto ao estreito Bransfield, no extremo meridional da AAEP 128. Na rocha não nidificada, no primeiro plano, pode-se observar colonização primordial por algas nitrofílicas.

Atualmente, os ninhais de pingüins *P. antarctica* na área da angra Paradise – um pequeno grupo na ponta Uchatka e outro ainda menor em Demay – e em Patelnia (ponta Telefon), são os principais núcleos de colonização de aves na área deste estudo. Faltam dados censitários para estas colônias, porém o aspecto das pingüineiras leva a entender estar havendo diminuição das populações de pingüins na área de estudo, pois alguns locais próximos daqueles ocupados pelos ninhos atuais apresentavam características de ninhais abandonados.

As colônias de *P. antarctica* dependem fundamentalmente dos estoques de krill (*Euphausia superba*) para o seu desenvolvimento. As populações deste crustáceo, por sua vez, se alimentam de algas que proliferam sob o gelo marinho que se forma na superfície oceânica nos meses de inverno. Segundo Siegel (2000, *apud* ASOC, 2004), em geral, condições favoráveis de gelo marinho permitem uma reprodução mais cedo, possibilitando a formação da gigantesca biomassa de krill no verão. Isto se dá em sincronia com o período de maior atividade das aves – do nascimento ao crescimento e independência dos filhotes – que nidificam na ilha Rei George.

Entretanto, uma possível anomalia na variabilidade² da cobertura sazonal do gelo marinho no estreito Bransfield e na baía do Almirantado pode estar relacionada à diminuição dessas populações. Um atraso no início da formação do gelo marinho e a diminuição no período de permanência da superfície congelada do mar implicariam na redução do estoque de krill para as aves. A este quadro se associariam outros fatores, como o derretimento tardio da neve que se acumulou nas pingüineiras durante o inverno, e a intensificação da ação de predadores, focas leopardo (*Hydrurga leptonyx*) principalmente.

2.4.2. Presença de mamíferos e outras aves no leste da península Warszawa

Outras espécies de aves e mamíferos, que também têm o krill como componente de sua dieta, contribuem para o aporte guano e restos animais na área deste estudo. Destaque para um grande grupo de andorinhas do Ártico (*Sterna vitata*) que coloniza a ponta Agat durante o verão. Skuas (*Catharacta spp.*) nidificam em partes mais altas do relevo, afastadas do litoral, enquanto opetrel das tempestades (*Oceanites oceanicus*) nidifica entre blocos de rocha e fendas de rochedos ao longo da costa. Alguns pares de gaivotão austral (*Larus dominicanus*) também fazem ninhos em rochedos da baía do Almirantado e do estreito Bransfield, mas não foram encontrados em grandes grupos entre as pontas Agat e Telefon.

Porém, à exceção dos pingüins, que se agrupam em áreas mais amplas e que tornam-se muito caracterizadas por sua atividade, as demais espécies citadas geralmente depositam seus dejetos mais concentradamente, apenas nos pontos onde localizam os seus ninhos, ou em locais de descanso, mais esparsos. Deste modo, muito de sua contribuição orgânica é lavada pelas chuvas ou pelo derretimento da neve, o que diminui a possibilidade de formação de solos ornitogênicos nos pontos onde essas aves foram encontradas na área estudada.

Entre os mamíferos, destaca-se a presença de lobos marinhos (*Arctocephalus gazella*), *Otariidae*, e elefante marinho austral (*Mirounga leonina*), *Focidae*. Ela se torna mais intensa no verão, quando ocorre a chegada de centenas de *A. gazella* provenientes da Georgia do Sul (informação pessoal da zoóloga Dr. Larissa R. de Oliveira). Contudo,

² Barreira & Compagnucci (2007) afirmam que o gelo marinho na Antártica não se apresenta da mesma maneira todos os anos e o setor da Antártica onde se encontram a Península Antártica e os mares de Weddell, Amundsen e Bellingshausen é a região na qual se manifesta a maior variabilidade interanual do gelo marinho.

apesar do grande aporte de material (fezes, urina, pelos e carcaças) deixado por esses animais em praias e terraços marinhos, eles também promovem impacto na vegetação. Este impacto fica muito mais visível nos locais onde se agrupam os haréns de *M. leonina*, conforme mostrado no capítulo 4 deste trabalho. Um outro efeito proporcionado pelos grandes e pesados animais esta espécie é a compactação do solo por onde seus grupos transitam ou permanecem.

2.4.3. Cobertura vegetal ente as pontas Agat e Telefon

A maior parte da superfície correspondente ao sul da AAEP 128 constitui-se de terrenos desprovidos de formações vegetais. Trata-se de geleiras, neve, lagos, lagunas, morainas e vertentes recobertas de material lítico fragmentado, pouco estáveis ao estabelecimento da flora. No capítulo 4 é apresentado um mapeamento geral da vegetação local que mostra haver cobertura vegetal em 276,6 ha de uma área total de 936,6 ha analisada no extremo sul desta AAEP. Contrastando com a paisagem apresentada na Figura 3.5, essa cobertura é escassa em praticamente 80% das áreas onde foi detectada presença de vegetação.

As maiores comunidades vegetais são de líquens, que ocupam 13% da área vegetada, com predomínio de úneas do gênero *Neuropogon*. Forrações de briófitas (tapetes de musgos) cobrem 2,7% da área analisada e céspedes da gramínea *Deschampsia antarctica*, perfazem 2,5%. Comunidades mistas de briófitas com esta gramínea perfazem o restante 1,8%. De um modo geral, líquens crustosos são encontrados esparsamente em toda a área entre as pontas Agat e Uchatka, mesmo em campos de rochas, ou depósitos de moraina mais antigos.

3. O *permafrost* e a camada ativa na margem oeste da baía do Almirantado

Nas regiões polares, são encontradas camadas de terreno congelado – chamadas *permafrost* – de espessuras variáveis. São assim definidas quando mantêm, por dois ou mais anos sucessivos, uma condição térmica na qual solos e sedimentos permanecem a 0° C ou abaixo dessa temperatura (Figura 3.6). O *permafrost*, que cobre 24% das terras emersas do globo (French, 1996) é, acima de tudo, controlado por fatores climáticos e caracterizado por geoformas e condições de terreno extremas.



Figura 3.5 – A ponta Uchatka e sua cobertura vegetal no sul da AAEP, abriga solos ornitogênicos em taludes saturados e parcialmente cobertos de tapete de musgo e de comunidade mista de musgo e gramínea (no alto à esquerda). No primeiro plano, a plataforma de pequeno promontório rochoso tem seu solo coberto por céspedes de *D. antarctica*. (Foto: Projeto Criossolos, jan/2004)

Sua espessura pode atingir várias centenas de metros (*e.g.* cerca de 600-800 m na Sibéria Central – no centro da Yakutia). Com relação à Antártica, ainda é muito pouco o conhecimento que se tem de seus terrenos congelados perenemente. A principal obra de referência sobre ambientes periglaciais (French, 1996) nada descreve sobre o *permafrost* antártico nas 19 páginas do capítulo *Permafrost*. Um quadro da distribuição mundial de *permafrost* mostra sua extensão no Hemisfério Sul como sendo de 13,5 milhões de km², toda ela na Antártica (Baranov, 1959 e Shi, 1988 *apud* French, 1996), e nada mais. Tomando por base apenas esse dado, se poderia concluir que 37,3% do *permafrost* do planeta estão naquele continente.

Durante o período relativamente curto de verão ártico e antártico, somente a zona superficial de sedimentos do *permafrost* descongela. Nesta parte superior do *permafrost* (camada ativa) se encontram os chamados *Gelisols* (*Soil Taxonomy*), ou *Cryosols* (*FAO*) - solos que possuem *permafrost* nos 100 cm superiores do perfil.

4.1. Descrição dos solos

Um trajeto de aproximadamente 8 km foi percorrido, entre as geleiras Ecology e Windy, na ilha Rei George, ao longo do qual foram observadas e descritas as características geoambientais. Juntamente com as análises de laboratório, procurou-se conhecer melhor os solos de áreas de nidificação antiga e atual de *Pygoscelis antarctica*, e diferenciá-los dos demais ecossistemas ornitogênicos da AAEP 128.

O tempo disponível e as dificuldades de deslocamento entre o acampamento base da equipe e a área de estudo foram empecilhos para a realização dos trabalhos de campo conforme um modelo ideal. Essas limitações obrigaram o grupo de trabalho a realizar levantamentos detalhados em locais específicos, em detrimento de um levantamento que explorasse de forma sistemática toda a área. Na Figura 3.7 um perfil de solo pedregoso sob cobertura de *D. antarctica* aberto em área de nidificação antiga. Deste modo, optou-se pelo estudo, descrição de perfis e coleta de solos de áreas sob diferentes coberturas vegetais entre a ponta Agat, na baía do Almirantado, e a ponta Telefon, no estreito Bransfield, conforme mostra a Tabela 3.1.

Com a ênfase sendo dada à abertura de perfis de solos próximos aos sítios de nidificação atual, levantamentos detalhados foram realizados em topossequências nas pontas Demay e Uchatka, e em três ambientes da ponta Telefon.

Os perfis US1, na ponta Agat, e P2A, na margem de uma grande poça intermitente no sudeste da ponta Telefon oposta à margem onde se havia coletado o perfil P2, foram abertos em fevereiro de 2006.



Figura 3.7. Sítio geográfico e perfil (P1) de solo ornitogênico da ponta Telefon.

Em janeiro de 2006, foram feitas coletas superficiais de solo para análises químicas em três outros locais, representativos de diferentes geoambientes entre a zona proglacial da geleira Sphinx e a ponta Uchatka.

Ao todo, 12 perfis (1 entre a ponta Agat e a moraina Blaszyck; 4 na vertente norte de Demay, 3 na ponta Uchatka; e 4 na ponta Telefon), foram abertos e descritos conforme o sistema *FAO* (FAO, 1999). Deles foram coletadas amostras para análises físicas e químicas. A Figura 3.8 mostra os locais onde foram coletados os perfis cujos resultados de análises físicas e químicas são apresentados neste capítulo. Em outros três pontos, foram feitas apenas amostragens de pouca quantidade de material da superfície. Em outros três pontos, foram feitas apenas amostragens de pouca quantidade de material da superfície para análises de textura.

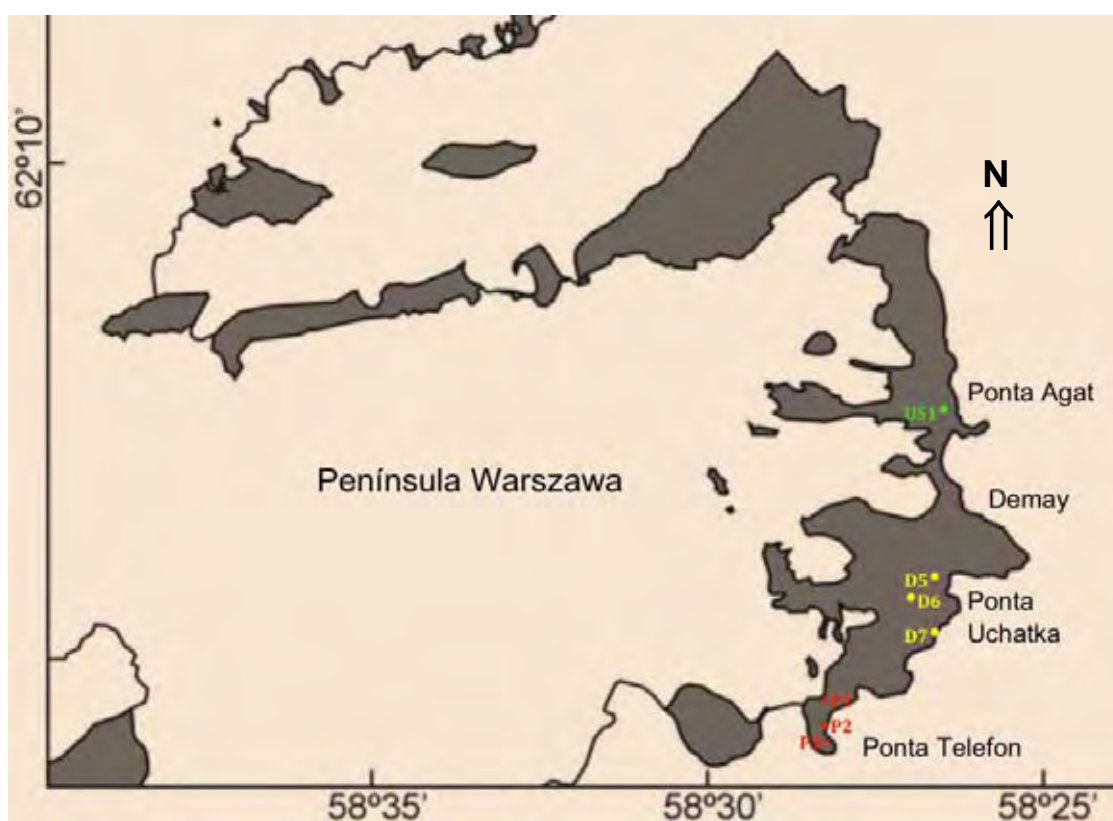


Figura 3.8. Localização dos perfis amostrados para análises físicas e químicas (o perfil P2A não foi inserido, pois na escala da figura ele se sobrepõe ao P2).

Tabela 3.1 – Locais de amostragem e características gerais dos *pedons* estudados (a. Ponta Telefon; b. Ponta Uchatka; c. Demay; d. Ponta Agat).

PERFIL (Altitude) Coordenadas geográficas	Cobertura Vegetal	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO SÍTIO DE AMOSTRAGEM
--	----------------------	--

a) Ponta Telefon

P1 (6 m) 62°14'03"S; 58°28'16"W	<i>Deschampsia antarctica</i>	Transecto longitudinal curto no eixo NW-SE, desde uma área de pingüineira abandonada, em terreno pedregoso colonizado por <i>D. antarctica</i> , até uma área vizinha a ninhal atual, sobre costão rochoso. Dois perfis (P2 e P2A) no trecho intermediário foram descritos numa depressão que abriga poça formada por drenagem endorréica, da água de chuva e derretimento de neve enriquecida por material biológico proveniente de ninhais próximos.
P3 (5 m) 62°14'06"S; 58°28'11"W	<i>D. Antarctica</i>	
P2 (4 m)	Solo	
P2A (4 m) 62°14'05"S; 58°28'10"W	orgânico de lodo algal	

b) Ponta Uchatka

D6 (23 m) 62°13'10"S; 58°26'27"W	Musgos em rampas	Transecto abrangendo solos em sucessão altimétrica e vegetacional, em áreas de ocupação antiga por ninhais, hoje densamente colonizadas, seja por <i>D. Antarctica</i> + <i>C. quitensis</i> como no perfil da parte mais baixa de encosta bem drenada, no contato com terraço marinho voltado para a angra Paradise, ou por briófitas, no terreno de vertente encharcada, no perfil aberto na cota mais alta entre os três, ou por associação briófitas-gramínea, no perfil mais afastado da ponta Uchatka.
D7 (17 m) 62°13'15"S; 58°26'34"W	Musgos + <i>D. antarctica</i>	
D5 (4 m) 62°13'04"S; 58°26'22"W	<i>D. antarctica</i> + <i>Colobanthus quitensis</i>	

c) Demay

D4 (101 m)	Ausente	Transecto altimétrico de solos andesito-basálticos na vertente norte de Demay, incluindo terraço soerguido colonizado por gramínea, próximo à ponta Block, terreno pedregoso em encosta densamente colonizada por líquens fruticosos, solo encharcado colonizado por briófitas, no terço superior de Demay, voltada para o monte Brama e solo de topo, sob pavimento de clastos sem vegetação.
D3 (82 m)	Musgos	
D2 (38 m)	Úsneas	
D1 (5 m)	<i>D. antarctica</i>	

d) Ponta Agat

US1 (3 m)	<i>D. antarctica</i>	Terraço marinho soerguido, colonizado extensivamente por gramínea, entre a moraina Blaszyck e a ponta Agat.
-----------	--------------------------	---

4.2. Análises laboratoriais

Imediatamente após serem coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e guardadas em caixas plásticas sob temperatura ambiente até serem recolhidas pelo Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc) Ary Rongel, da Marinha do Brasil. Para não sofrerem alterações físico-químicas e biológicas significativas, elas foram mantidas em câmara fria durante todo o período de transporte até o Brasil, no NApOc. Ao chegarem à UFV foram imediatamente desempacotadas e colocadas para secar ao ar.

Após a secagem, foram peneiradas em malha de 2 mm e pesadas. A classificação textural foi feita através de dispersão mecânica de amostras de TFSA em água destilada. Não foi utilizado dispersante químico para evitar a degeneração do fosfato. Em seguida à dispersão, procedeu-se ao peneiramento, secagem e pesagem de areias, sedimentação de silte e sifonação da fração menor que 0,002 mm (Gee e Bauder, 1986).

Em seguida o material foi reacondicionado em sacos plásticos e pequenas porções de terra fina seca ao ar (TFSA) foram enviadas ao Laboratório de Rotina de Fertilidade de Solos da UFV para as análises químicas a seguir relacionadas.

A determinação de nutrientes extraíveis, pH e textura para amostras de TFSA foi feita conforme EMBRAPA (1997).

Fez-se a extração de Ca^{2+} , Mg^{2+} , e Al^{3+} trocáveis, com KCl 1 mol L^{-1} , e P, Na e K com extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997).

Os níveis de nutrientes nos extratos foram determinados através de espectroscopia de absorção atômica (para o Ca^{2+} , Mg^{2+} , e Al^{3+}), emissão de chama (para K e Na) e fotolorimetria (para o P).

A determinação de H^+ e Al^{3+} trocáveis deu-se com extrator acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} .

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por combustão, em amostras de menos de 0,5 mm (Yeomans e Breemen, 1988).

O método de digestão Kjeldahl (EMBRAPA, 1997) foi usado na determinação de N total.

Fluorescência de raios X foi utilizada para a determinação de elementos traços.

Os resultados das análises químicas podem ser encontrados na Tabela 3.3.

A fração argila foi separada e, para 7 perfis, as amostras foram submetidas a difratometria de raios X (DRX), em tubos de cobre, para a determinação de sua mineralogia.

5. Resultados e discussões

5.1. Características físicas

O alto teor de cascalhos e pedregosidade foram características encontradas para quase todos os perfis (Tabela 3.2). Os pedons P1, P2, P2A e P3, identificados no campo como sendo de solos ornitogênicos, na ponta Telefon, possuem teores de cascalho variando de 14% no horizonte orgânico algal – P2A (20-30 cm) – até maior que 80% no perfil mais próximo do costão rochoso – P3 (10-20 cm) – indicando que a fosfatização incrementa os teores de finos de forma aleatória, já que a interação do guano se dá diretamente sobre a rocha basáltica.

Do mesmo modo, os solos de ornitogênese mais antiga da ponta Uchatka mostram valores muito variáveis de cascalhos, com tendência de aumento em profundidade apenas para o perfil D5.

Tabela 3.2 – Quantidade e percentual de componentes das amostras com diâmetro maior e menor que 2 mm, cascalho e TFSA, respectivamente.

Perfil	Profundidade (cm)	Cor (solo seco)	Cascalho %	TFSA %
a) Ponta Telefon				
P1	(5-15)	10YR 5/2 Bruno acinzentado	76,40	23,60
	(15-25)	10YR 5/3 Bruno	37,62	62,38
	(25-45)	10YR 4/3 Bruno	64,20	35,80
P2	(10-20)	7,5YR 4/1 Cinzento escuro	51,29	48,71
P2A	(0-10)	7,5YR 6/1 Cinzento	28,57	71,43
	(10-20)	7,5YR 4/1 Cinzento escuro	58,36	41,64
	(20-30)	2,5YR 6/2 Cinza levemente brunado	13,79	86,51

P3	(0-10)	10YR 4/3	Bruno	74,01	25,99
	(10-20)	10YR 5/2	Bruno acinzentado	80,28	19,72
	(20-30)	10YR6 /2	Cinza levemente brunado	65,26	34,74

b) Ponta Uchatka

D5	(0-10)	10YR 5/3	Bruno	8,33	91,67
	(10-25)	10YR 6/2	Cinza levemente brunado	11,48	88,52
	(25-50)	10YR 6/4	Bruno amareado moderado	45,80	54,20
	(50-80)	10YR 5/3	Bruno	54,86	45,14
	(80-100)	10YR 6/3	Bruno claro	42,16	57,84
	(100-135)	10YR 6/3	Bruno claro	52,60	47,40

D6	(0-10)	7,5YR 3/4	Bruno escuro	41,67	58,33
	(10-20)	10,5YR 5/3	Bruno	36,36	63,64
	(20-40)	7,5YR 4/3	Bruno	34,58	65,42

D7	(20-30)	10YR 5/2	Bruno acinzentado	70,39	29,61
-----------	---------	----------	-------------------	-------	-------

c) Ponta Agat

US1	(0-10)	2,5YR 7/2	Levemente acinzentado	17,57	82,53
	(10-40)	2,5YR 7/2	Levemente acinzentado	34,39	65,61

5.2. Características químicas

5.2.1. Fosfatização: característica marcante dos perfis analisados

As análises químicas de solos ornitogênicos amostrados no leste da península Warszawa apresentaram como característica comum em todas elas os quantitativos de fósforo extremamente elevados. Os teores de P disponível extraíveis por Mehlich-1 atingem valores superiores mesmo àqueles encontrados por Schaefer *et al.* (2004) em solos amostrados entre a ponta Thomas e a geleira Ecology, próximos da estação científica polonesa Henryk Arctowski, e por Michel *et al.* (2006), entre a geleira Ecology e as colinas Rescuers, próximo da estação Pieter J. Lenie (Copacabana).

Destacam-se os perfis da ponta Telefon (P2 e P3), com valores de 20054,5 mg dm⁻³ e 8667,9 mg dm⁻³ de P, respectivamente. A Tabela 3.3 permite uma comparação dos valores encontrados para todos os perfis. Eles denotam a extrema reatividade de soluções de lixiviados fosfáticos de guano em interação com substratos rochosos, quando estes se encontram crioturbados e, portanto, intensamente fraturados e suscetíveis de percolarem soluções *per descendum*.

Tabela 3.3. Características químicas dos solos estudados

Amostra	Profundidade (cm)	pH (H ₂ O)	P (mg dm ⁻³)	MO (dag kg ⁻¹)	Ca ⁺² (cmolc dm ⁻³)	Mg ⁺² (cmolc dm ⁻³)	K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	SB (cmolc dm ⁻³)	Al ⁺³ (cmolc dm ⁻³)	H+Al (cmolc dm ⁻³)	t (cmolc dm ⁻³)	T (cmolc dm ⁻³)	V (%)	(m) (%)	ISNa (%)	P-rem (mg L ⁻¹)
Ponta Uchatka																	
D5	0-10	5,18	245,2	9,34	9,68	10,20	0,03	1,34	21,71	2,90	13,0	24,61	34,71	62,5	11,8	5,45	13,2
	20-40	5,05	729,7	1,02	9,21	7,57	0,02	1,05	18,30	14,51	45,6	32,81	63,90	28,6	44,2	3,21	5,7
D6	0-10	4,75	307,1	7,29	6,37	6,25	0,02	1,52	14,52	3,79	13,8	18,31	28,32	51,3	20,7	8,28	10,7
	20-40	5,02	270,1	6,65	6,75	5,28	0,01	1,20	13,61	1,82	18,2	15,43	31,81	42,8	11,8	7,79	9,8
D7	20-40	4,85	1837,1	2,43	3,81	3,45	0,01	1,37	9,67	1,92	22,9	11,59	32,57	29,7	16,6	11,80	31,7
Ponta Telefon																	
P1	0-10	4,94	4056,1	6,01	6,47	2,19	0,01	4,29	13,49	0,44	17,4	13,93	30,89	43,7	3,2	30,77	38,4
P1	20-40	4,47	644,5	2,18	3,75	1,12	0,00	1,69	7,66	1,43	25,8	9,09	33,46	22,9	15,7	18,58	39,6
P2	0-10	5,87	7153,4	43,11	11,99	25,42	0,07	13,76	31,83	0,10	8,1	31,93	39,93	79,7	0,3	43,11	66,3
P2	10-20	7,12	8370,3	21,80	2,36	18,72	0,05	6,15	28,23	0,00	5,5	28,23	33,73	83,7	0,0	21,80	100,5
P2	20-30	7,86	8408,8	29,57	0,67	11,74	0,03	5,57	18,83	0,00	4,4	18,83	23,23	81,1	0,0	29,57	87,1
P3	0-10	5,78	3935,9	41,12	3,36	4,29	0,01	5,88	14,10	0,20	7,1	14,30	21,20	66,5	1,4	41,12	46,7
P3	10-20	5,59	1341,6	41,78	3,87	4,04	0,01	6,74	15,49	0,64	10,4	16,13	25,89	59,8	4,0	41,78	43,4
Ponta Agat																	
US1	0-10	6,14	222,1	3,07	27,17	13,68	0,04	4,09	45,26	0,00	4,7	45,26	49,96	90,6	0,0	9,04	33,0
US1	10-40	7,92	208,5	0,26	44,06	11,21	0,03	3,46	58,92	0,00	0,5	58,92	59,42	99,2	0,0	5,88	37,4

P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu (extrator Mehlich 1); Ca, Mg, Al (extrator KCl – 1 mol L⁻¹); MO (matéria orgânica = C orgânico x 1,724 – Walkley-Black); H+Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0); SB (Soma de Bases trocáveis); CTC t (capacidade de troca efetiva); CTC T (capacidade de troca catiônica a pH 7,0); V (índice de saturação de bases); m (índice de saturação de alumínio); ISNa (índice de saturação de sódio); P-rem (fósforo remanescente)

Os teores totais de elementos maiores nos 4 perfis da ponta Telefon evidenciam profunda transformação biogeoquímica em colônias de *Pygoscelis antarctica*.

Com relação aos valores de P total, estes são extremamente elevados, variando de 7,89% a 29,1% de P₂O₅. Nos três perfis, os teores totais aumentam em profundidade, de forma que as maiores fosfatizações ocorrem abaixo de 20 cm (P1=23,9%; P2=29,1%; P2A=; P3=14,9%). Este fato ilustra a transformação dos resíduos e sua mobilidade em subsuperfície, formando horizontes fosfáticos bem evidentes.

Como a quase totalidade do fósforo adicionado aos solos ocorreu como apatita, em ossos de pingüins ou restos de krill, as concentrações de Ca são elevadas em superfície, mas ao contrário do P decrescem de forma acentuada em sub-superfície onde o fósforo solúvel reage com soluções ricas em K, F, NH₄, Al e Fe, reprecipitando novas formas de P.

Assim, nos solos onde houve redução dos teores de CaO em profundidade (P1, de 11,3% para 1,7% CaO; P3, de 12,15% para 3,3% CaO), houve um aumento dos teores de Fe₂O₃ (P1, de 9,3% para 25,0% Fe₂O₃; P3, de 7,3% para 15,2% Fe₂O₃) e K₂O (P1, de 1,0% para 1,75% K₂O), evidenciando a formação de novos fosfatos, sem, contudo, promover o desaparecimento completo da apatita.

O solo P2 mostrou-se bem diferenciado, não apenas pela tendência de manter elevados teores de CaO em profundidade, bem como pela forte redução dos teores de Fe₂O₃ e Al₂O₃, com aumento significativo dos teores de MgO e P₂O₅, com redução de K₂O e Na₂O. Neste perfil, o fosfato de cálcio adicionado parece ter reagido pouco com a rocha, mantendo valores de matéria orgânica elevados, associados à apatita pouco alterada. Análises químicas dos elementos biodisponíveis em solução evidenciaram uma grande riqueza de P disponível, além de valores de pH > 7, sem Al³⁺ reativo, corroborando os teores totais observados. Neste caso ainda não houve o processo de acidificação pronunciada pela oxidação de NH₄ e formação de HNO₃.

Deste modo, tem-se uma notável heterogeneidade da fosfatização por P. *antarctica*, que foi confirmada pelas análises mineralógicas destes solos. Ora ela se dá com grande intensidade diretamente sobre a rocha, acompanhada de reações de hidrólise e precipitação de fosfatos de Fe e Al, com K, Ca e outros elementos menores, ora ela se faz incipiente e pouco transformada diretamente sobre o substrato ainda pouco alterado, com acúmulo absoluto de apatita e redução dos teores de fosfatos secundários. Em princípio, esperar-se-ia que tal variação estivesse relacionada à idade da fosfatização e, conseqüentemente, do solo.

5.2.2. Elementos traços

Os valores mais elevados de elementos-traços foram detectados para Sr e Ba, que tendem a substituir o Ca na estrutura de carbonatos e possuem origem marinha. Os valores de Cu mostram variação acentuada entre os solos (faixa 60-508), indicando presença variável de sulfetos de cobre nas rochas da região, que apresentam importante anomalia para este elemento, ou aportes marinhos.

Os valores de Pb foram muito baixos, confirmando a não existência de *background* elevado deste elemento na ilha Rei George, indicada pelo estudo de mais de 30 perfis de solos em áreas livres de gelo da baía do Almirantado, por Albuquerque Filho (2004).

Os teores de Zn são comparáveis aos valores de Cu, e foram consistentes com os resultados obtidos por Albuquerque Filho (2004) e Santos (2005), nos solos e sedimentos da região, indicando proveniência marinha.

Todos os demais elementos analisados não indicaram qualquer anomalia ou valor discrepante, particularmente Cr e As, elementos potencialmente tóxicos que mostram concentrações extremamente baixas, em todas as amostras analisadas.

5.3. Mineralogia

No Perfil US1 (0-10 cm) – solo da ponta Agat – fração total, a análise permitiu a identificação de minerais primários das rochas que formam o substrato. Dentre estes, destacam-se minerais do grupo dos feldspatos (F), cujo posicionamento do pico principal a 3.20 Å sugere presença de plagioclásios (aluminossilicatos de cálcio e sódio). Os picos a 1.77 Å e 2,52 Å são indicativos da presença de minerais ferromagnesianos como a magnetita e a olivina. O quartzo (Qz) é traço na amostra e pode ser confundido com grafite. Minerais hidratados que podem estar relacionados tanto a processos hidrotermais ou pedogenéticos são as zeolitas (Zl) e os argilominerais do grupo das esmectitas (Sm) [Figura 3.9].

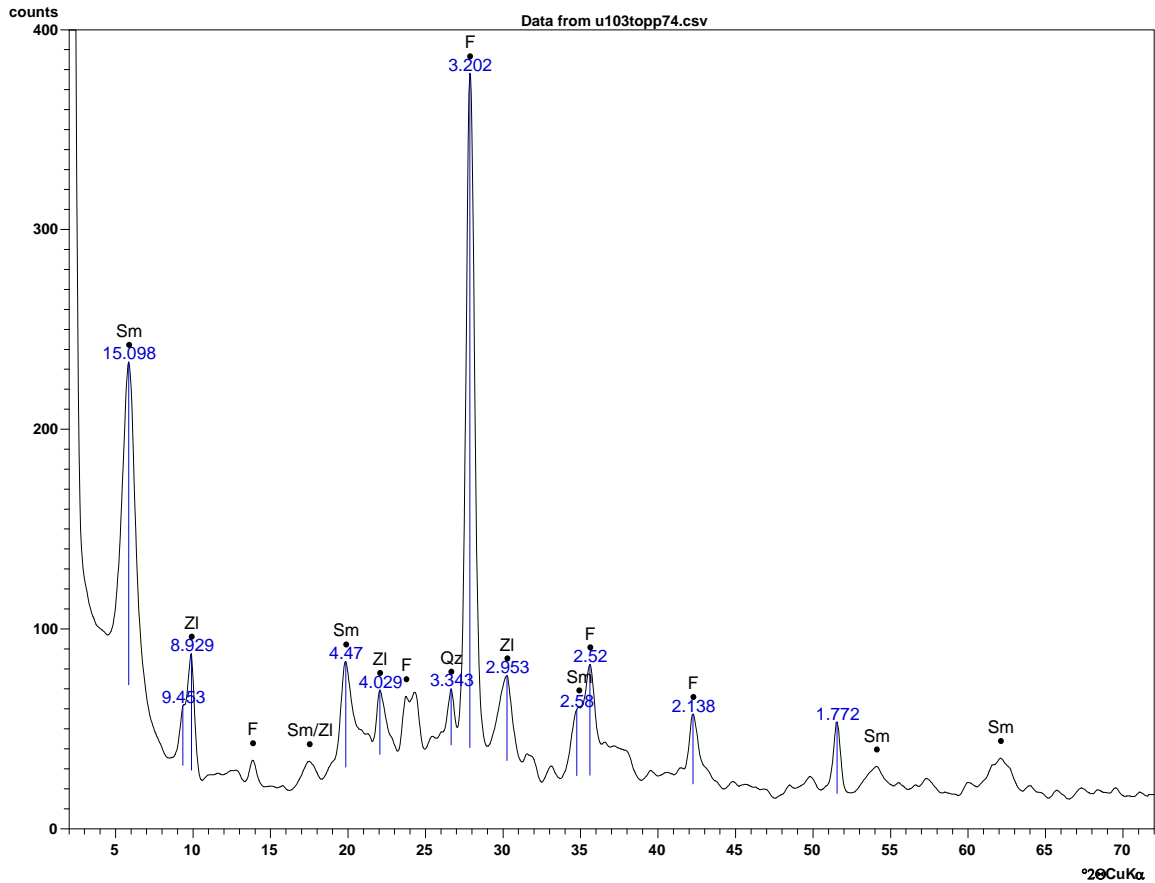
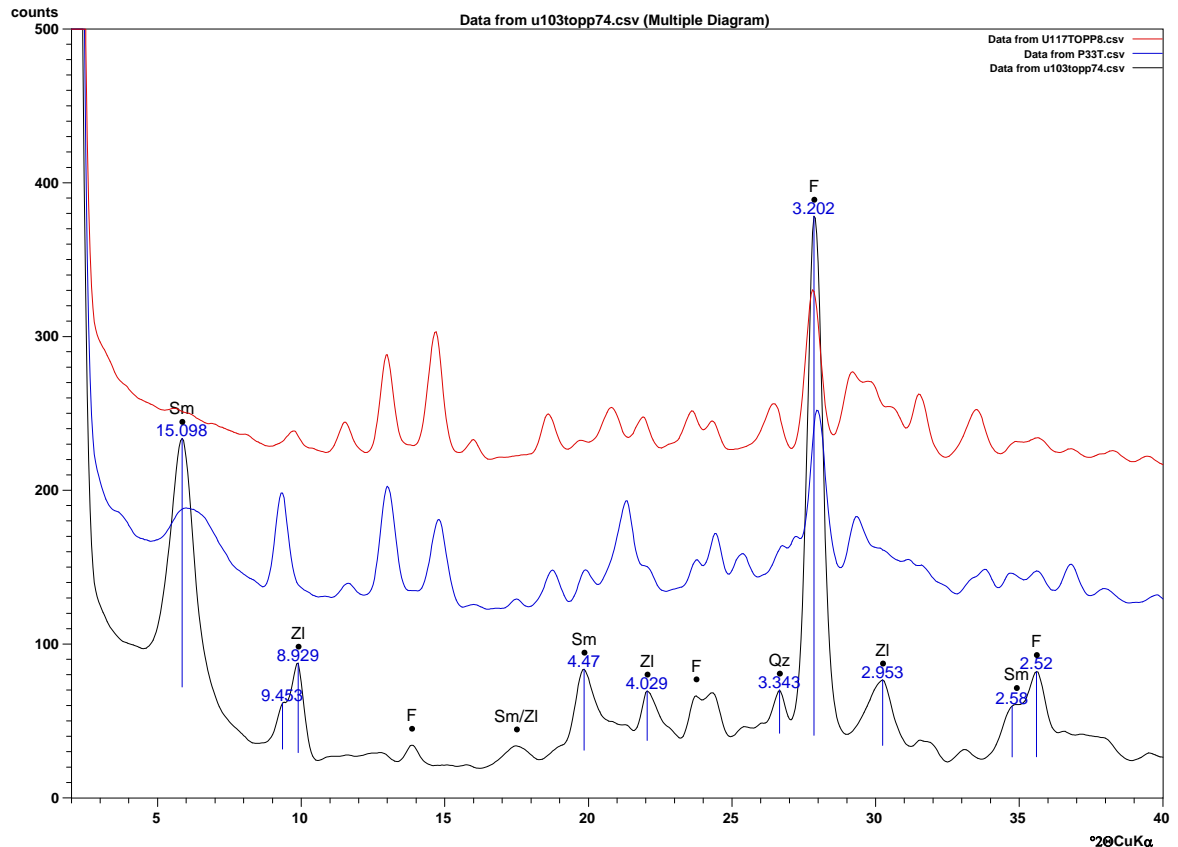


Figura 3.9 – Amostra U103, fração total.

Na fração fina da amostra (menor que 10 μ m), os testes são conclusivos quanto a presença de argilominerais expansivos do grupo das esmectitas (Sm). O comportamento da esmectita, com espaçamento basal de 15 Å nas amostras sem tratamento, variando para 17.5 Å no tratamento glicolado e para 10 Å com calcinação, permite afirmar que a esmectita é da variedade montmorilonita [Figura 3.10], rica em Ca, corroborando a natureza cálcica dos basaltos locais.



30 (traço vermelho).

Figura 3.11 – Amostra US1 10-40 (traço preto), amostra D7 20-40 (traço azul) e P3 10-30 (traço vermelho).

No Perfil D7 (20-40) – solo da ponta Uchatka – fração total, a análise permitiu a identificação de alguns minerais observados na amostra sem influência ornitogênica, como o feldspato (F) e a esmectita (Sm). As demais fases cristalinas observadas são pertencentes ao grupo dos fosfatos e dos sulfatos. Os picos assinalados com a denominação S1 sugere a presença de sulfatos hidratados de alumínio e ferro, tipo basaluminita, igualmente identificados por Tatur e Myrcha para solos fosfatizados da área de Arctowski e ponta Rakusa (Barczuk e Tatur, 2003). Entre os fosfatos, destacam-se fases cristalinas do grupo dos leucophosphitos denominados de P1 e da vashegyta – $\text{Al}(\text{OH},\text{F})(\text{PO}_4)3\text{H}_2\text{O}$, denominados de P2 [Figura 3.12].

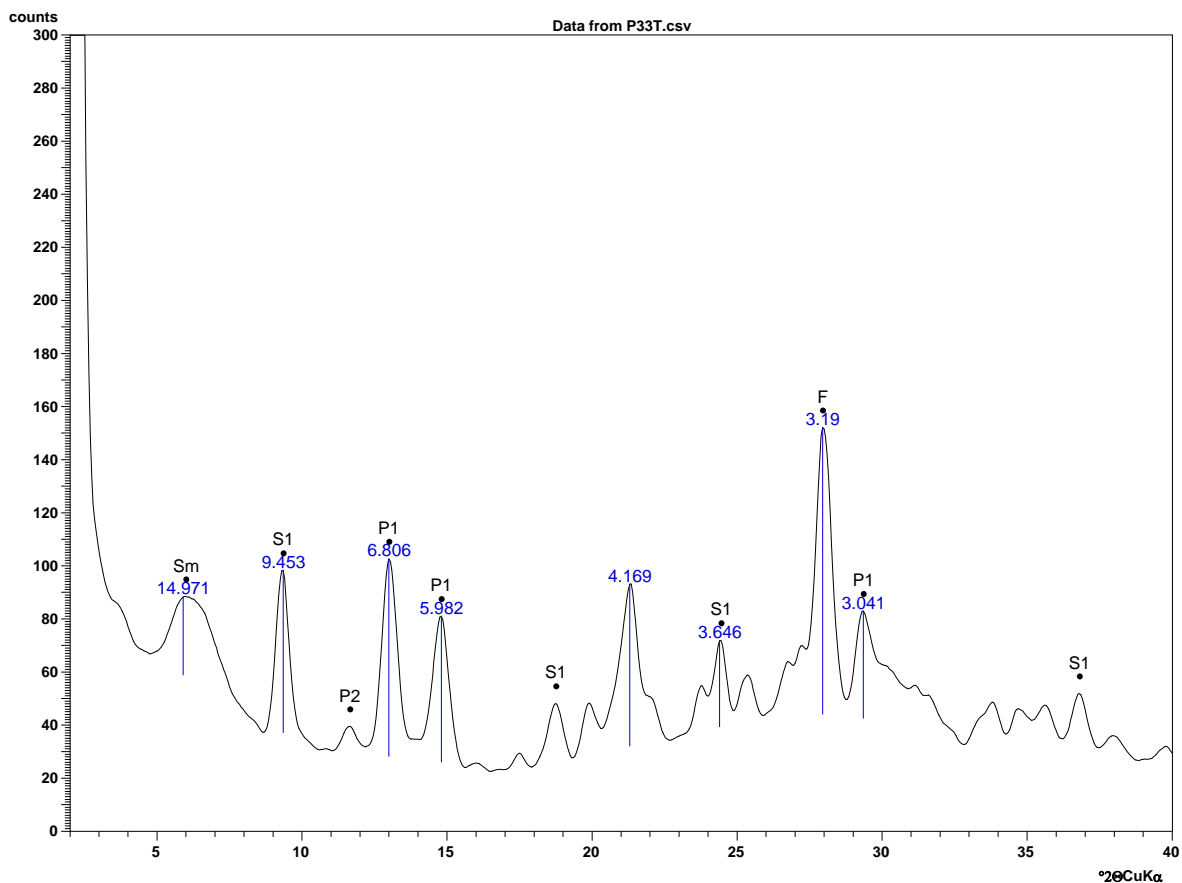


Figura 3.12 – Amostra U107 (perfil D7 da ponta Uchatka, 20-40 cm): Fração total.

Na fração fina da amostra (menor que $10\mu\text{m}$), há presença de argilominerais expansivos do grupo das esmectitas (Sm). O comportamento da esmectita, com espaçamento basal de 15 \AA nas amostras sem tratamento, expande para $16,8\text{ \AA}$ quando glicolado e colapsa para 10 \AA com aquecimento. Diferentemente do feldspato (pico a $3,19\text{ \AA}$), os fosfatos e sulfatos são formas hidratadas e não suportam o tratamento térmico, decompondo-se facilmente. Este comportamento é bem visível no difratograma calcinado (traço vermelho), onde os picos desaparecem [Figura 3.13].

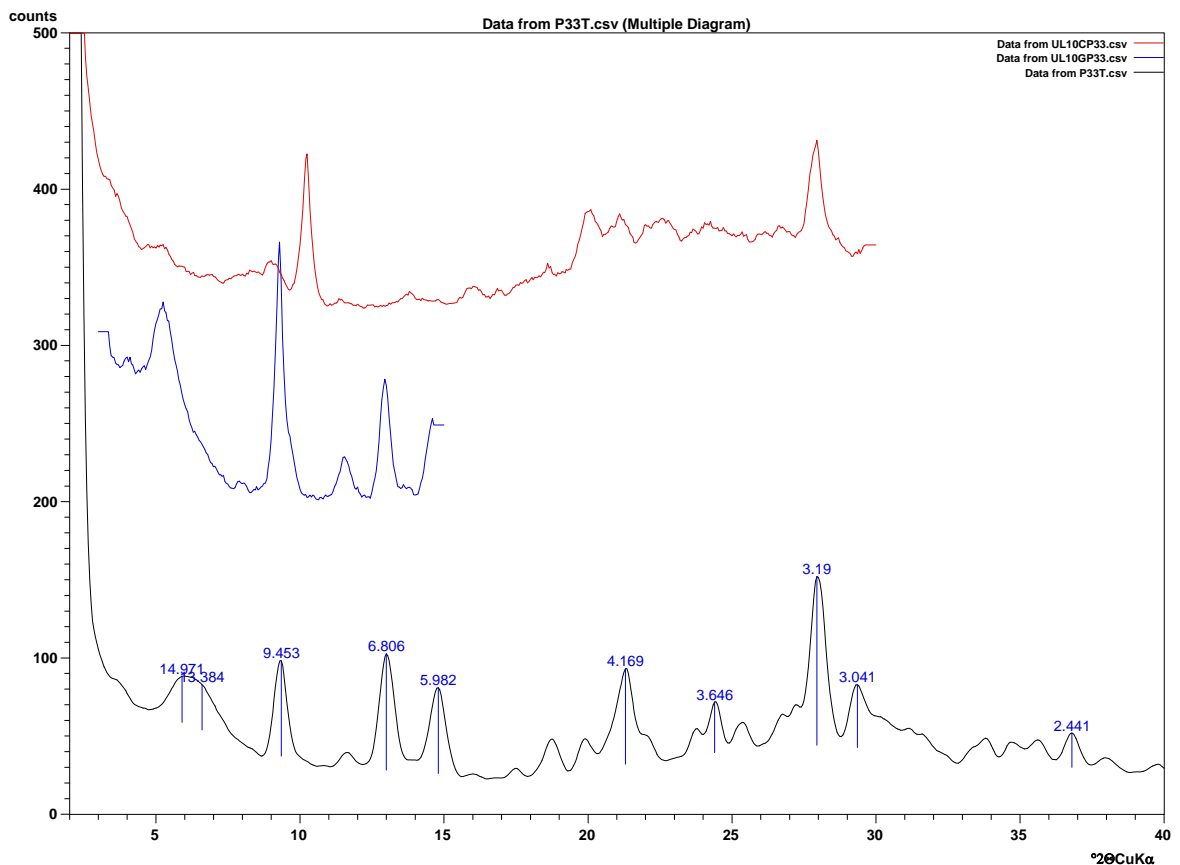


Figura 3.13 – Amostra U107. Fração total (traço preto), fração menor que 10 μm, orientada e glicolada (traço azul), fração menor que 10 μm, orientada e calcinada (traço vermelho).

Na comparação dos resultados, observa-se os diferentes padrões dos difratogramas. A amostra U107, com material ornitogênico antigo, possui um caráter intermediário entre a amostra U103 (sem influência ornitogênica) e a amostra U117 (material ornitogênico atual) [Figura 3.14].

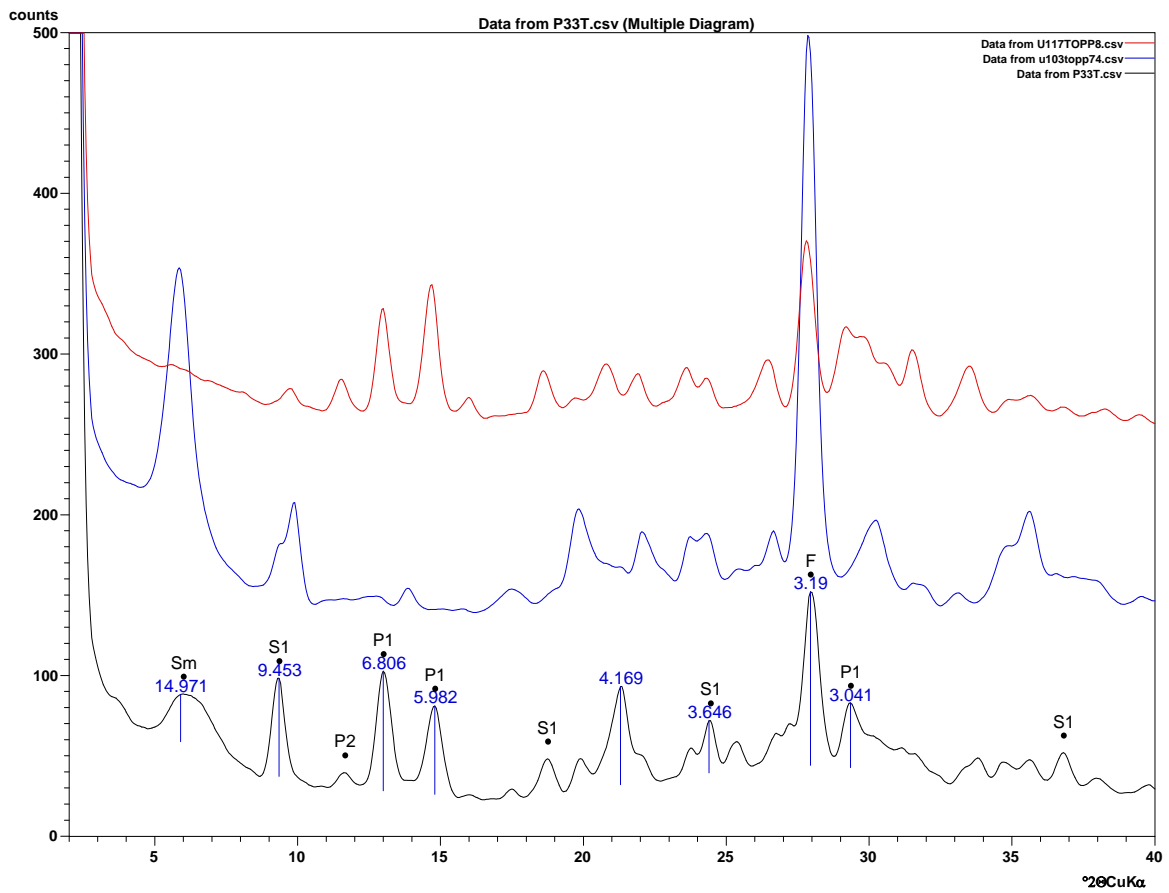


Figura 3.14–Amostra U107 (traço preto), amostra U103 (traço azul) e U117 (traço vermelho).

No perfil P3 (10-30) – solo da ponta Telefon – (amostra U117), na fração total, apenas o feldspato (F) permanece como uma fase cristalina herdada do substrato. Parece não haver esmectita (Sm) na amostra. As demais fases cristalinas observadas são pertencentes ao grupo dos fosfatos e dos sulfatos. Os picos assinalados com a denominação S2 sugere a presença de sulfato de Ca do tipo gipsum. Entre os fosfatos, destacam-se fases cristalinas do grupo da leucophosphita denominados de P1, dos vashegyitas, denominados de P2, da brushita, denominados de P3, da minyulita, denominados de P4, da struvita, denominados de P5 e da gormanita, denominados de P6 [Figura 3.15].

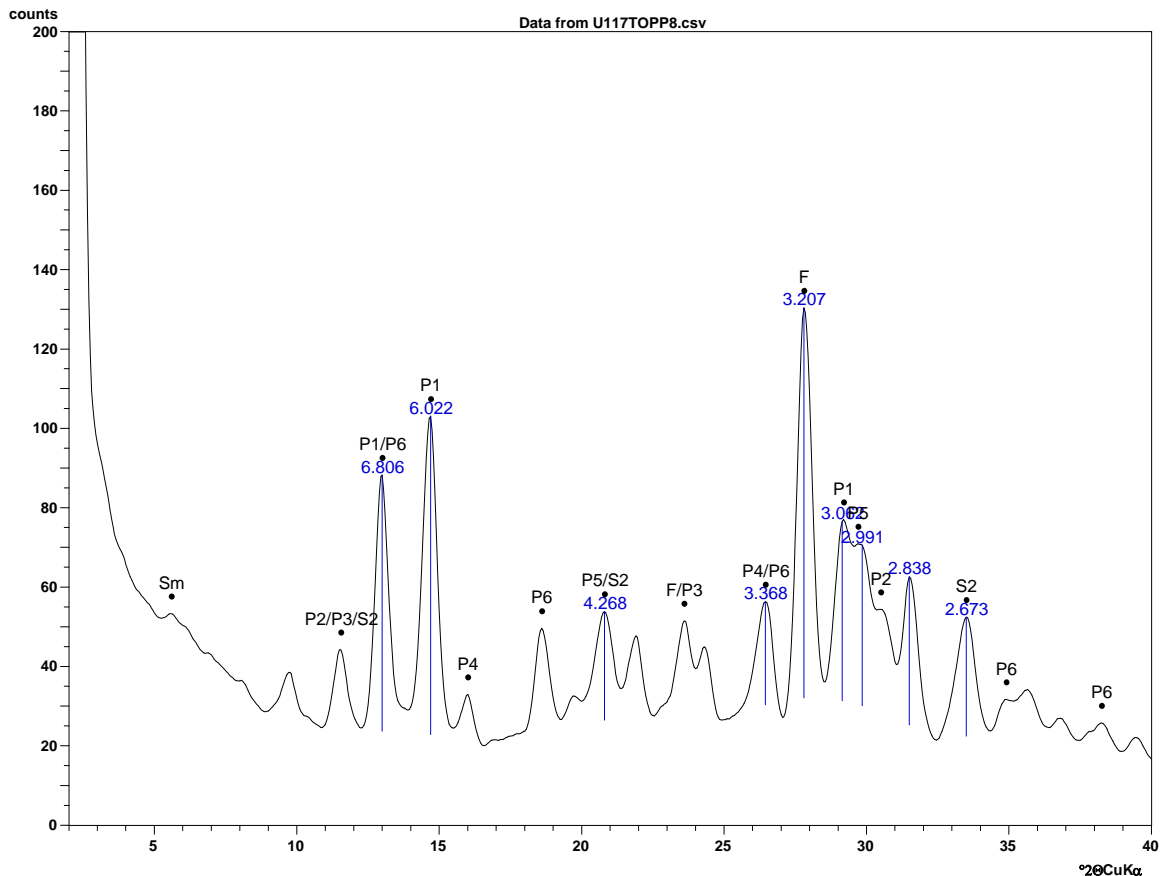


Figura 3.15–AmostraU117(perfil P3 da ponta Telefon, 10-30 cm). Fração total.

No perfil P3 foi encontrada uma das mais ricas assembléias de fosfatos já detectados em solos ornitogênicos da Antártica, indicando que os *P. antarctica* têm hábitos de nidificação capazes de uma profunda alteração química e mineralógica dos substratos das plataformas rochosas que ocupam.

Nos testes com o material mais fino da amostra (menor que 10 μm) aparece um pico posicionado a 12.55 Å que poderia ser relacionado com argilominerais, porém, no modo calcinado, o material se decompõe e não aparece o pico a 10Å que iria confirmar a presença de argilominerais expansivos como a esmectita. Embora não se descarte a presença de algum argilomineral na amostra, o comportamento é mais sugestivo de uma forma hidratada de basaluminita (hidrobasaluminita). Esta possibilidade é confirmada pelo comportamento de amostras similares, que não apresentaram evidências de esmectita [Figura 3.16].

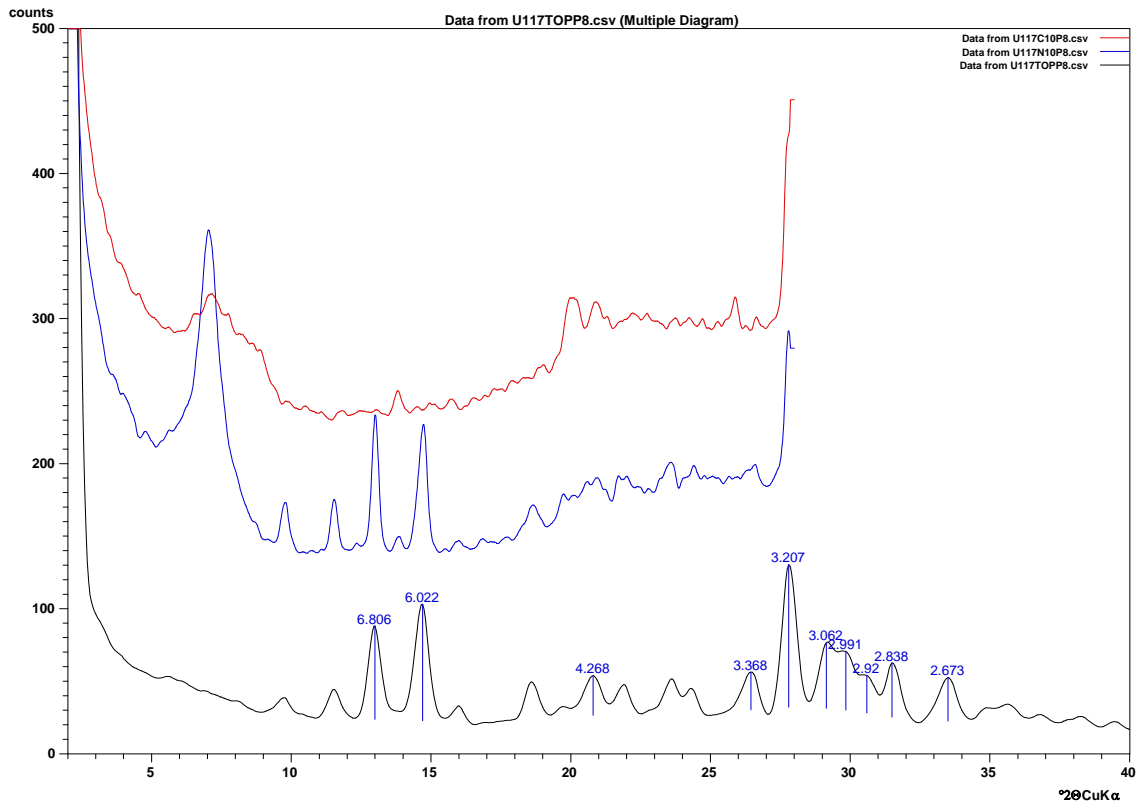


Figura 3.16 – Amostra U117 (P8). Fração total (traço preto), fração menor que 10 μm e sem tratamento (traço azul), fração menor que 10 μm com calcinação (traço vermelho).

Na amostra U114 (20-30 cm), os resultados obtidos com a fração total (sem separação de fração) permite identificar feldspato (3.19Å) e principalmente fluorapatita (2.79Å, 2.70Å e 3.44Å). Nestas amostras associadas com ornitogênese atual, praticamente inexistem as argilas. [Figura 3.17].

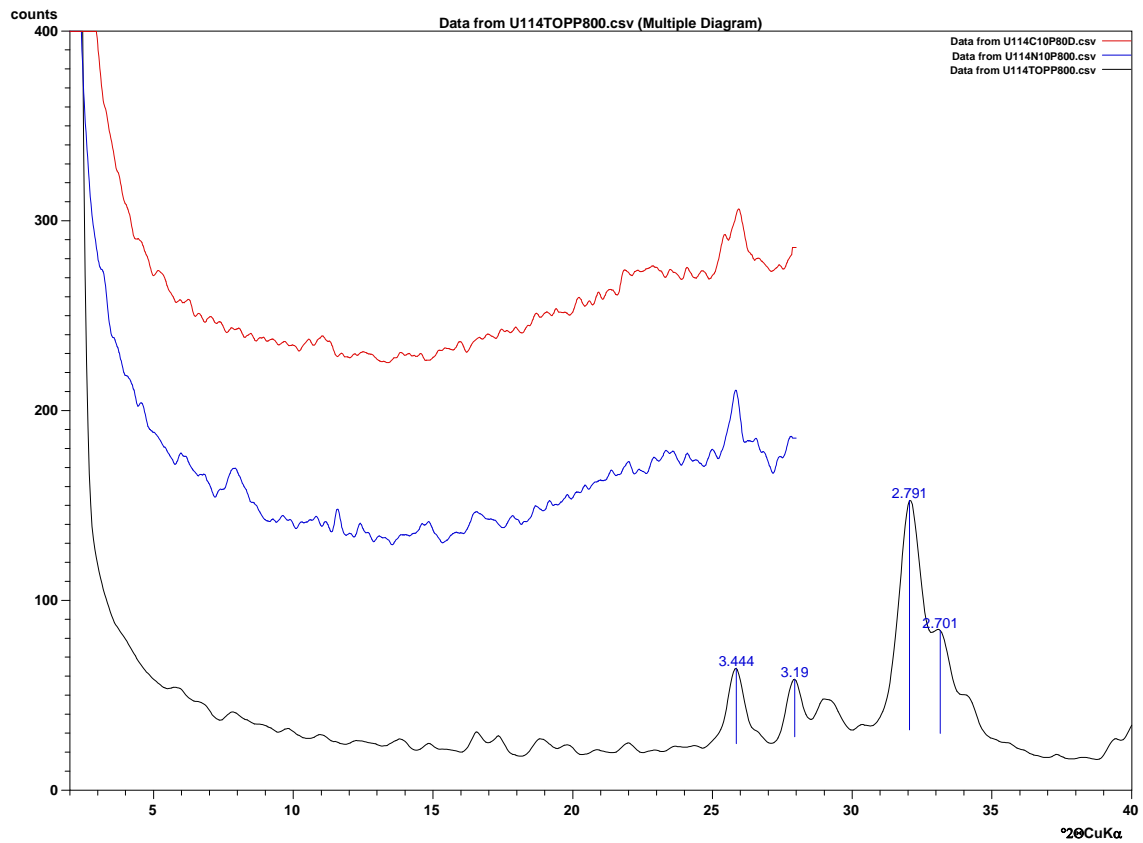


Figura 3.17–Amostra U114 (P80). Fração total (traço preto); fração menor que $10 \mu\text{m}$ e sem tratamento (traço azul); fração menor que $10 \mu\text{m}$ com calcinação (traço vermelho).

Na comparação dos resultados, observa-se os diferentes padrões dos difratogramas. A amostra U117, com material ornitogênico atual, se destaca pela maior complexidade mineralógica, envolvendo várias formas de minerais hidratados de fosfato. [Figura 3.18].

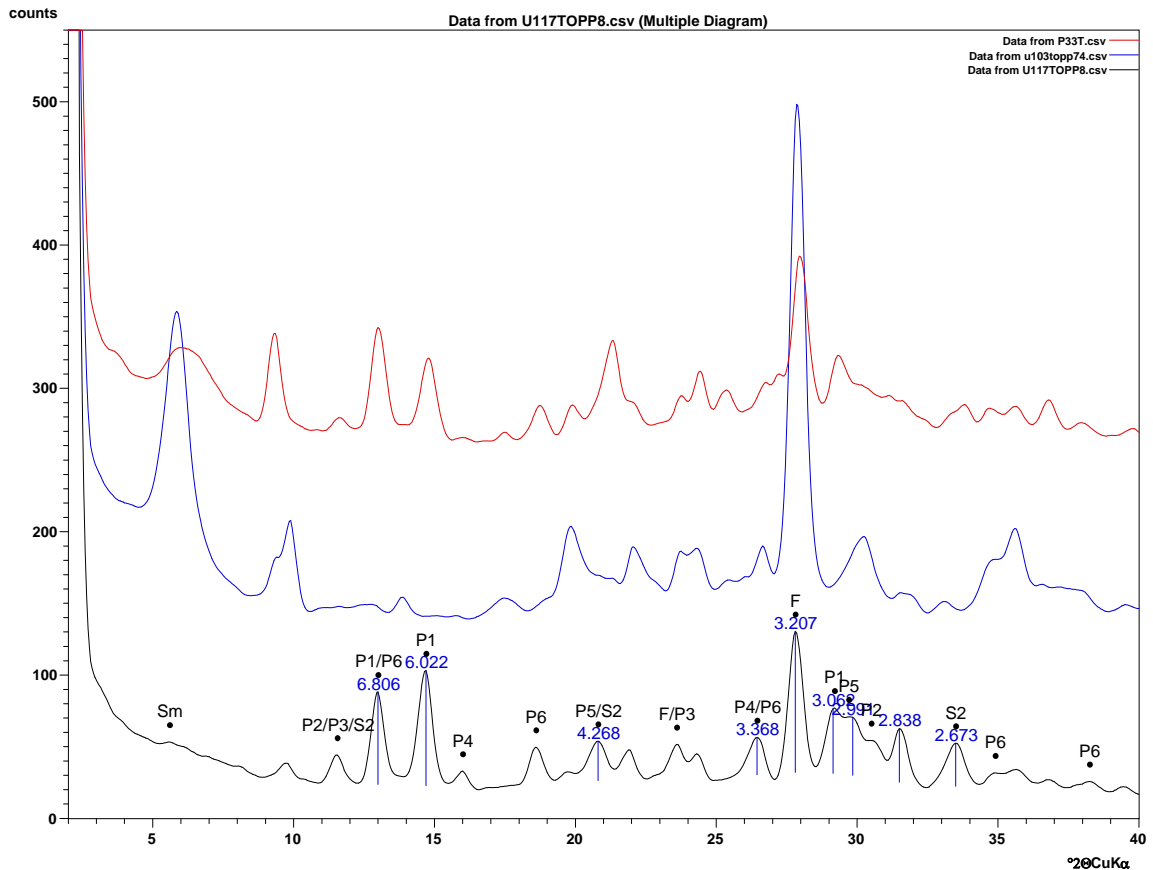


Figura 3.18 – Amostra U117 (traço preto), amostra U103 (traço azul) e U107 (traço vermelho).

5.4. Os solos do sul da península Warszawa

O perfil D5 apresenta características de uma pedogênese muito mais ativa que os demais perfis, com forte desenvolvimento de horizontes. É também nesse perfil que se encontrou a cobertura vegetal mais exuberante.

Foram identificadas, entre a ponta Agat e a ponta Telefon, 3 classes de solos, sendo Criosolos e Leptosolos as classes mais comuns. Também identificou-se quatro tipos de terreno não classificados como solos: terrenos glaciais, proglaciais, praias, e rochosos. Para comparação de características físicas e mineralógicas os solos foram agrupados em Ornitogênicos, Fracamente Ornitogênicos e Não Ornitogênicos, conforme representação na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Local de ocorrência, cor, mineralogia da fração argila, estrutura e grau de diferenciação de horizontes para os principais grupos de solos da margem oeste da baía do Almirantado

Grupo de solo	Ocorrência	Mineralogia da fração argila	Estrutura	Formação de horizontes
Solos Ornitogênicos	Ponta Uchatka Ponta Telefon	Fosfatos Sulfatos Minerais primários	Granular média forte, laminar moderada	Profunda fosfatização, alcançando >30 cm nas fraturas.
Solos fracamente ornitogênicos	Demay norte Ponta Agat	Minerais primários Fosfatos Esmectitas degradadas	Granular média a moderada, laminar fraca	Fosfatização e acidificação a até 30 cm
Não Ornitogênicos	todas as áreas livres de gelo	Minerais primários Esmectitas	Laminar fraca	Crioturbação forte, inversão de camadas, pedregosidade superficial e silte subsuperficial

5.4.1. Criossolos

Criossolos foram encontrados em grande parte da área de estudo, especialmente nas vertentes expostas para o sul. Devido à multiplicidade de formas de pouca extensão, próprias de paisagens geomorfológicas de deglaciação holocênica, unidades homogêneas em geral representam áreas muito pequenas, correspondendo a determinadas geoformas e outras relações ambientais muito específicas (*e.g.*, terraço marinho outrora colonizado por pingüins, depósitos de tálus vegetados por líquens, etc.).

Criossolos são caracterizados pela presença de material gélido e apresentam evidência de crioturbação e segregação por gelo. Solos com *permafrost* podem ser cimentados por gelo, o que é típico para regiões árticas ou, no caso de água intersticial insuficiente, podem ser secos como os desertos polares antárticos (Wagner, 2007).

Os principais processos de formação de Criossolos nas paisagens de *permafrost* são a criopedogênese, que inclui congelamento e descongelamento, empurrão por

congelamento, amontoamento, fissuração e solifluxão. Os repetidos ciclos de congelamento e descongelamento levam a feições de crioturbação que incluem horizontes irregulares, quebrados ou curvados e um enriquecimento de matéria inorgânica e outros compostos inorgânicos, especialmente ao longo do topo da mesa do *permafrost*. Como um resultado da criopedogênese, muitos Criosolos são influenciados por um forte micro-relevo (*patterned ground*). O tipo de micro-relevo tem efeitos na formação e nas propriedades do solo. Encostas com orientação norte geralmente não possuem permafrost até os 100 cm de profundidade, e mostram um regime de solifluxão mais severo pelos constantes ciclos de congelamento e descongelamento.

5.4.2. Leptossolos

De acordo com Francelino *et al.* (2004), os Leptossolos são assemelhados aos Neossolos Litólicos de perfil A/R do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. São solos com profundidade limitada por rocha dura contínua, dentro dos 25 cm iniciais. Estão presentes sobre as feições mais estáveis da área, como afloramentos de rocha e *felsenmeer*. No sul da AAEP 128, eles geralmente estão colonizados por *Usnea* spp., às vezes em associações com *Deschampsia antarctica*. A associação entre *P. antarctica*, geoforma e cobertura vegetal permitiu a formação dos Leptossolos Ornitogênicos gélidos, que estão presentes principalmente nos topos planos dos afloramentos de rocha costeiros.

5.4.3. Fluvissoles

Ocupando pequena parcela da área de estudo, os Fluvissoles desenvolvem-se nas poucas planícies de deposição glaciofluvial. Não foram estudados perfis desses solos, porém eles podem ser encontrados nas porções mais estáveis dos terrenos que formam as planícies Sphinx, Baranowski Sul e Windy Leste.

5.4.4. Regossolos

Associados a outros solos, são encontrados Regossolos com caráter gélido em morainas e depósitos coluviais estabilizados, muito comuns em toda a área, notadamente nas vertentes baixas. Ocorrem associados aos Fluvissoles nos ambientes fluvioglaciais.

5.4.5. Terrenos sem desenvolvimento de solos

Em uma grande extensão da AAEP 128 se constitui de superfícies glacializadas, lacustres, lagunares, de terrenos recém deglaciados bem como depósitos inconsolidados de grande instabilidade geomorfológica. Muitas dessas áreas têm duração efêmera, do ponto de vista geológico, não persistindo no período de poucos anos ou mesmo de um ano para o outro, como por exemplo aquelas constituídos de *till* basal depositado em algumas planícies lagunares glaciomarinhas. São áreas plenamente desprovidas de vegetação que constituem parcela importante da margem oeste da baía do Almirantado.

5.4.5.1. Terrenos Glaciais

Constituem-se de massas de neve e gelo ativas ou estagnadas que podem ser encontradas em vários pontos da área estudada. Incluem-se aí desde pequenos neveiros até expressivas massas de gelo, como as geleiras Baranowski, Sphinx e Windy, sendo esta última limítrofe ao sul e oeste da AAEP 128.

A delimitação de neveiros e geleiras está diretamente relacionada à época de observação. A maior parte das geleiras da área estudada têm seus términos em terra firme, portanto sua extensão é mais constante que as geleiras de maré, conforme o padrão geral da ilha Rei George. No entanto, a delimitação de neveiros só pode ser determinada confiavelmente quando se dispõe de dados obtidos em dois ou mais anos sucessivos, para comprovar a persistência das massas de neve mesmo ao longo do verão. Caso não persistam, esses locais devem ser recategorizados como solos ou outro tipo de terreno.

5.4.5.2. Terrenos Proglaciais

Miríades de canais anastomosados entalhando pequenas planícies flúvio-glaciais e lagunares, *flutes*, *kettles*, blocos erráticos e de arrasto, fragmentos de morainas recessionais, etc, compõem os mosaicos proglaciais. Neste trabalho são reconhecidos como terrenos proglaciais aqueles onde não há o desenvolvimento de solos. De um modo geral, são terrenos fundamentalmente associados à dinâmica glaciomarinha e glaciofluvial atual, como áreas mais baixas de planícies glaciolagunares e canais por

onde fluem águas de degelo. Aqui também estão relacionados locais de deposição de *till*, frontal ou lateralmente às geleiras, por estarem muito suscetíveis ao transporte hídrico ou por recobrirem massas de gelo e/ou neve em franco processo de derretimento, o que compromete sua permanência e dificulta sua delimitação precisa.

5.4.5.3. Terrenos Praiais

Constituídos por esporões praiiais, pelas praias propriamente ditas e do primeiro nível de terraços marinhos. Via de regra, as praias da AAEP 128 são cascalhosas, formadas de seixos de diversos tamanhos e matações. Areias grossas são encontradas em proporções muito menores, nas áreas de retrabalhamento marinho mais antigo e de menor dinâmica marinha atual, contudo praias arenosas não são típicas para o local de estudo.

Os esporões praiiais têm sua superfície emersa sujeita à ação de ondas e marés, sendo sua extensão muito variável, dependendo do horário de observação e do tipo de maré. Assim, quando observados numa fotografia aérea esses terrenos podem parecer muito mais extensos se a mesma tiver sido obtida durante a baixamar em um período de maré de quadratura do que numa maré de sizígia. Por outro lado, sua extensão será muito menor, ou mesmo imperceptível, se a aerofoto foi obtida durante a maré alta.

5.4.5.4. Terrenos Rochosos

São áreas constituídas por afloramentos de rocha e rochas fragmentadas. Costões rochosos são típicos ao longo da costa da AAEP 128, mais destacadamente no setor voltado para o estreito Bransfield. Pavimentos de clastos (textura variável de seixo a matação) em geral, *felsenmeer*, taludes de escombros (*scree slopes*), terraços marinhos soerguidos completam esse quadro.

5.5. Ocorrência de artrópodes terrestres junto a formações vegetais no leste da península Warszawa

Em comparação com outros esporões presentes na baía do Almirantado, pode-se dizer que ponta Agat é uma área bem vegetada, com grande diversidade de espécies. Ela abriga a maior colônia de andorinha (trinta-réis) do ártico, *Sterna vittata* – não foi

realizado censo, mas provavelmente mais de 100 indivíduos sobrevoavam a área no período de observação – do sul da AAEP. Foram encontradas muitas conchas vazias de *Nacella* sp., molusco que constitui parcela importante da dieta de gaivotão austral, *Larus dominicanus*, que também nidifica no local. A existência de muitas fendas nas rochas indica que há, também, grande potencialidade de utilização deste local por *Oceanites oceanicus*, o petrel das tempestades.

Essa intensa concentração de aves torna o local bastante fertilizado, o que proporciona o estabelecimento de uma comunidade vegetal diversa. Nas pequenas depressões na rocha, estavam presentes as duas angiospermas (*D. antarctica* e *Colobanthus quitensis*) e musgos, estes ocorrendo apenas em rachaduras nas rochas, que normalmente são locais onde acumula água. Cresce aí uma grande diversidade de líquens, *Caloplaca* sp, *Buellia* sp, *Ramalina terebrata* e outros crustosos, foliáceos e fruticosos, notadamente *Usnea* nas partes mais apicais. Em meio a essa vegetação foram encontrados colêmbolas entre os tufo de *D. antarctica* e a rocha.

Nas proximidades desse local foi amostrado o perfil de solo US1, num terraço marinho recoberto por moraina. Esta área apresenta colonização extensiva por *D. antarctica* e uns poucos tufo de *C. quitensis* sendo que não foram encontradas briófitas, mas havia algas do gênero *Prasiola*. Ácaros foram encontrados em fragmentos de tábuas em putrefação e associados à vegetação, onde também foram registrados colêmbolas. Não foi feita a descrição de espécies, mas, comparando-se com outras áreas da baía do Almirantado (Bremer *et al.*, 2006), acredita-se que esse padrão de distribuição de artrópodes terrestres possa se repetir em ambientes semelhantes a este na AAEP.

6. Conclusões

Os teores de matéria orgânica encontrados nos solos estudados são altamente variados, em função das condições de acumulação, onde o excesso de frio que inibe a mineralização, e da remoção pela erosão, agravada pelas condições climáticas severas e pelas mudanças ambientais. Solos turfosos e escuros, ricos em C, com horizontes superficiais hísticos foram encontrados nas áreas colonizadas por aves, notadamente *Pygoscelis antarctica*.

A fosfatização é muito heterogênea nos solos amostrados – via de regra os teores de P aumentam com a profundidade, diferentemente do Ca, que diminui na medida em que se avança subsuperficialmente.

Há uma notável complexidade mineralógica dos fosfatos nos solos ornitogênicos de *P. antarctica*, apesar de serem bem mais rasos que os solos ornitogênicos de *P. adeliae* descritos por Simas et al. (2007).

Foram encontrados ácaros e colêmbolos associados às comunidades vegetais, porém não foram estudadas suas interações nem o papel dos artrópodes terrestres para o enriquecimento do solo com carbono orgânico, ou formação de estrutura.

A presença de comunidades vegetais mais desenvolvidas está diretamente relacionada ao grau de ornitogênese dos solos que colonizam, pois a atividade de aves é determinante na fertilização e estabilização dos mesmos. A formação de solos com perfis mais desenvolvidos mantém uma relação estreita com a atividade de aves, o que parece ser próprio de toda a Antártica Marítima.

Ao longo da área de estudo foram encontrados também manchas de solos amarelados, muito pobres em carbono, a até mesmo podzóis e pavimento de clastos, assemelhados ao tipo desértico. Do ponto de vista climático, é inapropriado generalizar a classificação dos solos da Antártica Marítima com o termo Deserto Polar Antártico. O aporte de umidade no sistema é muito elevado e, tanto a precipitação como a água disponibilizada pelo derretimento da neve e do gelo têm papel fundamental para a pedogênese.

Referências

- Albuquerque-Filho, 2005. *Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental*. Viçosa: UFV (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)
- ASOC – The Antarctic and Southern Ocean Coalition. 2004. *Management of the Antarctic krill: ensuring the conservation of the Antarctic marine ecosystem*. Paper presented for consideration by the XXIII SC-CCAMLR Meeting. Hobart: CCAMLR. 15 p.
- Barczuk, A. & Tatur, A. 2003. Biogenic phosphate and sulphate minerals in the soils of Antarctic Peninsula. *Min. Soc. of Poland*, 23: 41-47.
- Barreira, S. & Compagnucci, R. 2007. Variabilidad espacial del hielo marino antártico y su relación con el clima de Sudamérica en invierno y primavera. In: *VI Simposio Argentino y III Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas. Buenos Aires, 10-14 de Setembro de 2007. Dirección Nacional del Antártico / Instituto Antártico Argentino*. 5 p. GEORE805 (CDROM)
- Beyer, L., Bockheim, J.G., Campbell, I.B., Claridge, G.G.C. 1999. Genesis, properties and sensitivity of Antarctic Gelisols. (Review), *Antarctic Science*, 11(4): 387-398.
- Beyer, L. & Bölter, M. 2000. Chemical and biological properties, formation, occurrence and classification of Spodic Cryosols in a terrestrial ecosystem of east Antarctica (Wilkes Land). *Catena*, 39: 95-119.
- Beyer, L. Pingpank, C., Wriedt, G., Bölter, M. 2000. Soil formation in coastal continental Antarctica (Wilkes Land). *Geoderma*, 95: 283-304.
- Birkenmajer, K. 1980. Report on geological investigations of King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica), in 1978/79. *Studia Geologica Polonica*, 64: 89-105.
- Blume, H.-P., Beyer, L., Bölter, M., Erlekeuser, H., Kalk, E., Kneesch, S., Pfisterer, U., & Schneider, D. 1997. Pedogenic zonation in soils of the southern circum-polar region. *Advances in GeoEcology*, 30: 69-90.
- Blume, H.-P., Chen, J., Kalk, E. & Kunh, D. 2002. Weathering and soil formation. In: Beyer, L. & Bölter, M. 2002. *Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag. pp: 114-138.
- Blume, H.-P., Chen, J., Kalk, E. & Kunh, D. 2004. Mineralogy and weathering of Antarctic Cryosols. In: Kimble, J.M. (ed). *Cryosols: permafrost-affected soils*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag. pp: 415-426.
- Bockheim, 1997. Properties and classification of cold desert soils from Antarctica. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61: 224-231.

- Bockheim, I. e Ugolini, F. 1990. A review of pedogenic zonation in well-drained soils of the Southern Circumpolar Region. *Quaternary Res.*, 34: 47-66.
- Bölter, M. 1995. Distribution of bacterial numbers and biomass in soils and on plants from King George Island (Arctowski Station), Maritime Antarctica. *Polar Biol.*, 15: 131-135.
- Braun, M. & Goßmann, H. 2002. Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica. In: Beyer, L. & Bölter, M. (Ed). *Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes*. Berlin: Springer-Verlag. pp: 75-89.
- Bremer, U.F., Schaefer, C.E.G.R., Rezende-Pinto, F.M., Francelino, M.R., Ahlert, S. & Dani, N. 2006. Estudo preliminar sobre as relações entre a biota do solo e características morfodinâmicas da península Keller. In: *Encontro A Pesquisa Sul-Rio-Grandense na Antártica*. Porto Alegre: NUPAC-UFRGS e Academia Brasileira de Ciências-Regional Sul. pp: 12-13.
- Campbell, I.B. & Claridge, G.G.C. 2004. *apud* Tedrow & Ugolini, 1966; Tedrow, 1977; Campbell & Claridge, 1987)
- Campbell, I.B. & Claridge, G.G.C. 1987. *Antarctica: soils, weathering processes and environment*. Amsterdam: Elsevier. (Developments in Soil Science, 16)
- Claridge, G.G.C., Campbell, I.B., Powell, H.K.J., Amin, Z.H. & Balks, M.R. 1995. Heavy metal contamination in some soils of the McMurdo Sound region, Antarctica. *Antarctic Science*, 7(1): 9-14.
- EMBRAPA–CNPS [Centro Nacional de Pesquisa de Solos]. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. 1999. *Base referencial mundial del recurso suelo*. Roma: FAO-SICS-ISRIC. 94p. (Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos, 84)
- Fox, A.J. & Cooper, A.P.R. 1998. Climate-change indicators from archival aerial photography of the Antarctic Peninsula. *Ann. Glaciol.*, 27: 636-642.
- Francelino, M.R. 2004. *Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller*. Viçosa: UFV. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas – inédita)
- Francelino, M.R., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes Filho, E.I., Albuquerque Filho, M.R. de, Simas, F. N.B. & Moreira, G.F. 2004. Geoformas da Península Keller, Antártica marítima: subsídios ao monitoramento ambiental. In: Schaefer, C.E., Francelino, M.R., Simas, F.N.B. & Albuquerque Filho, M.R. de. (Ed). *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. pp: 15-25.

- Gee, G.W. & Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*. Madison: Soil Science Society of America. pp: 383-412.
- Goryachkin, S.V., Blume, H.-P., Beyer, L., Campbell, I., Claridge, G., Bockheim, J.G., Karavaeva, N.A., Targulian, V. & Tarnocai, C. 2004. Similarities and differences in Arctic and Antarctic soil zones. In: Kimble, J.M. (ed). *Cryosols: permafrost-affected soils*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag. pp: 49-70.
- Hall, K. 1993. Enhanced bedrock weathering in association with late-lying snowpatches: evidence from Livingston Island, Antarctica. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18: 121-129.
- Hanson, J.D. & Gordon, J.E. 1998. Antarctic environments and resources: a geographical perspective. Harlow, Essex: Longman. 402 p.
- Houghton, J.T. et. al. (eds) 2001. *Climate change 2001: the scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jeong, G.Y. & Yoon, H.I. 2001. The origin of clay minerals in soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica, and its implications for the clay-mineral composition of marine sediments. *J. Sedimentary Res.*, 71: 833-842.
- King, J.C. 1994. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 14: 357-369.
- Longton, R.E. 1988. *The biology of polar briophytes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Macheret, Yu.Ya., Moskalevsky, M.Yu., Simões, J.C., & Ladouch, L. 1998. Structure and regime of King George Island ice sheet, South Shetland Islands, Antarctica, as a typical glacier in the south subpolar region. *Salzburger Geograph. Mater.*, 28: 73-80.
- Matsuoka, N. 1995. Rock weathering processes and landform development in the Sor Rondane Mountains, Antarctica. *Geomorphology*, 12: 323-339.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C.E.G.R., Dias, L.E., Simas, F.N.B., Benites, V., Mendonça, E.S. 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70: 1370-1376.
- National Research Council. 2000. *Reconciling Observations of Global Temperature Change*. Washington, DC: National Academy Press.
- Øvstedal, D.O. & Lewis-Smith, R.I. 2001. *Lichens of Antarctica and South Georgia: guide to their identification and ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rakusa-Suszczewski, S. 1980. The role of near-shore research in gaining and understanding of the functioning of Antarctic ecosystem. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 27: 229-233.

- Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Albuquerque Filho, M.R., Michel, R.F.M., Viana, J.H.M. & Tatur, A. 2004. Fosfatização: processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In: Schaefer, C.N., Francelino, M.R., Simas, F.N.B. & Albuquerque Filho, M.R. de (Ed). *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. pp: 47-58.
- Siegel, V. 2000. Krill (Euphausiacea): life history and aspects of population dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 (Suppl. 3): 130-150.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Melo, V.F., Albuquerque Filho, M.R., Michel, Pereira, V.V., Gomes, M.R.M., & Costa, L.M. da. 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as soil forming process. *Geoderma*, 138 (2007): 191-203.
- SSSA - Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil taxonomy. 9 ed.* Washington, DC: USDA-NRCS.
- Tatur, A. 1989. Ornithogenic soils of the maritime Antarctic. *Pol. Polar Res.*, 4: 481-532.
- Tatur, A. 2002. Ornithogenic ecosystems in the Maritime Antarctic - formation, development and disintegration. In: Beyer, L. & Bölter, M. (Eds). *Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes*. Heidelberg: Springer. pp: 161-184. (Ecological Studies, 154)
- Tatur, A. & Myrcha, A. 1993. Ornithogenic soils. In: Rakusa-Suszczewski, S. (Ed). *The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*. Warszawa: Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Science. pp: 161-165.
- Tatur, A., Myrcha, A. & Niegodzisz. 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in maritime Antarctic. *Polar Biol.*, 17: 405-417.
- Tedrow, J.C.F. 2004. Soil research in arctic Alaska, Greenland and Antarctica. In: Kimble, J.M. (ed). *Cryosols: permafrost-affected soils*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag. pp: 5-16
- Thom, G. 1978. Disruption of bedrock by the growth and collapse of ice lenses. *J. Glaciology*, 20: 571-575.
- Ugolini, F.C. 1970. Antarctic soils and their ecology. In: Holdgate, M.W. (ed.). *Antarctic Ecology. vol. 2*. London: Academic Press. pp: 673-692.
- Vogt, S. & Braun, M. 2004. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Pesq. Antárt. Bras.*, 4: 105-118.
- Wagner, D. 2007. Permafrost soils. Disponível em <http://www.awi-potsdam.de/www-pot/geo/soils.html>. Acessado em 13/09/2007.

- Yeomans, J.C. & Bremner, J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19 (13): 1467-1476.
- Zdanowski, M.K., Weglenski. P., Golik, P., Sasin, J.M., Borsuk, P., Zmuda, M.J. & Stankovic, A. 2004. Bacterial diversity in Adelie penguin, *Pygoscelis adeliae*, guano: molecular and morpho-physiological approaches. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 33: 819-829.
- Zdanowski, M.K. & Weglenski. P. 2001. Ecophysiology of soil bacteria in the vicinity of Henryk Arctowski Station, King George Island, Antarctica. *Soil Biol. Biochem.*, 33: 819-829.

IV. Mapeamento geomorfológico, radiação solar e vegetação da borda leste da península Warszawa

1. Introdução

A maior parte da criosfera e de suas áreas periféricas localizam-se em pontos remotos da superfície terrestre. Sendo muitas vezes inacessíveis ao mapeamento através de técnicas de campo tradicionais, esses locais têm nos sistemas de sensoriamento remoto ferramentas científicas fundamentais para o seu estudo. Deste modo, imagens de satélite e/ou fotografias aéreas são recursos imprescindíveis, contudo nem sempre de fácil obtenção para a Antártica. O alto custo, a ausência de imageamento por alguns sistemas orbitais, ou mesmo a dificuldade de aquisição de cenas de boa qualidade, sem cobertura de nuvens, tornam-se empecilhos ao mapeamento de regiões como a da Península Antártica e suas ilhas, levando o pesquisador à busca de outras fontes para suprir sua base de dados.

Imagens satelitais de alta resolução espacial fornecem cenas representando superfícies menores e têm custo alto, mas são uma solução para levantamentos de pequenas áreas, permitindo que se adquira diretamente apenas a área de trabalho, o que pode baixar o preço na aquisição. Câmaras para fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEF) adaptadas a aeronaves leves ou ultraleves que estejam operando na mesma região podem fornecer uma alternativa econômica e eficiente aos sistemas de mapeamento convencionais, que são mais caros. Vantagens adicionais para os sistemas aerofotogramétricos alternativos podem ser garantidas com o uso de lentes de abertura mais ampla. Ademais, acrescenta-se uma faixa extensa de filmes cuja disponibilidade é relativamente fácil e o processamento simplificado (Graham, 1988) e sistemas fotogramétricos digitais dedicados ao manuseio de imagens obtidas por câmaras FAPEFs.

As vantagens advindas da exploração aerofotográfica com o emprego de aeronaves leves para missões de pequenos levantamentos, devem levar em consideração a menor estabilidade dessas aeronaves. Velho (2006), encontrou uma variação de até 27 m na altura de aerofotos adjacentes obtidas por câmara acoplada em helicóptero Esquilo, num vôo realizado a 1000 m de altitude.

Este capítulo apresenta a ortorretificação de fotografias aéreas obtidas com dois modelos de câmaras FAPEFs e a geração de um mosaico para servir de base para elaboração dos mapas temáticos de vegetação, geformas e solos do sul da Área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado (AAEP 128), comparando-se seus resultados com os obtidos através de uma imagem de satélite *Quickbird*.

1.1. Objetivos

O objetivo principal deste capítulo é estudar atributos geocológicos da área de estudo a partir da elaboração de um mosaico aerofotográfico utilizando FAPEFs obtidas pelo Projeto Criossolos. São objetivos específicos mapear as áreas vegetadas e verificar suas relações com fatores abióticos como o tipo de terreno onde se estabelecem as comunidades e a influência da radiação solar na distribuição de vegetação nas áreas livres de gelo na área entre as pontas Block e Telefon.

1.2. Procedimentos fotogramétricos

1.2.1. Fotogrametria métrica e interpretativa

A definição de Fotogrametria como a “arte, ciência e tecnologia de se obter informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos”, pela ASPRS (2004), já tornou-se clássica. E num dos mais tradicionais manuais desse conjunto de técnicas, Wolf (1983) a subdivide em fotogrametria métrica e interpretativa. A fotogrametria métrica é utilizada para elaboração de mapas planimétricos e topográficos, pois possibilita a extração de ângulos, distâncias e alturas. Por sua vez, a fotogrametria interpretativa ocupa-se com o reconhecimento e identificação dos objetos através da fotointerpretação – estudo sistemático de imagens fotográficas onde podem ser identificadas feições e objetos – e do sensoriamento remoto – reconhecimento e identificação de objetos sem contato físico com eles (Rocha, 2002).

Atualmente, quase todo o serviço aerofotogramétrico de laboratório é executado em meio digital, sendo fotogrametria digital definida por Arruda Jr. (2002), como o

conjunto de procedimentos e processamentos fotogramétricos realizados em um computador. Aqui, além da resolução dos cálculos, que também são usados na fotogrametria analítica, as próprias imagens fotográficas são processadas num ambiente computacional. Com o avanço da fotogrametria digital, gerou-se uma necessidade de adaptação e criação de dispositivos de *hardware* e programas de informática capazes de dar condições aos usuários realizarem os procedimentos fotogramétricos de forma adequada, simples e eficaz.

1.2.2. Câmaras fotográficas

As câmaras fotogramétricas podem ser classificadas em dois grandes grupos: câmaras métricas e câmaras não-métricas. Segundo Brito & Coelho (2002), as câmaras métricas, ou fotogramétricas, são construídas e calibradas especificamente para possibilitar a obtenção de medições. Sua orientação interna é conhecida e estável, o foco é fixo, possuem marcas fiduciais para recuperar os elementos de orientação interior, além de um sistema a vácuo para manter a planura do filme. Já as câmaras não métricas, para as quais há uma disponibilidade comercial grande, são geralmente manuais e não mantêm uma orientação interna constante, não apresentam foco construído rigidamente, não possuem marcas fiduciais. Mas podem ser consideradas de alta qualidade, mesmo que gerem um maior número de distorções, quando comparadas com as câmaras métricas.

Quanto ao processamento, as câmaras podem ser classificadas em analógicas e digitais. As câmaras analógicas geram imagens a partir da projeção dos negativos em papel fotográfico, enquanto as câmaras digitais são dotadas de um sensor digital – CCD (*charged coupled device*) fotossensível.

Quanto ao tamanho do negativo utilizado, Segantine (1988) classifica as câmaras de acordo com o tipo de fotografias que serão obtidas. Câmaras para fotografias aéreas convencionais (FAC) são métricas e utilizam, geralmente, negativos de 23 cm x 23 cm. Câmaras para fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEF) são, em geral, não métricas, utilizam negativos menores, equivalentes a cerca de 1/3 do comprimento lateral dos negativos para as FAC.

1.2.3. Mosaicos

Quando não é possível representar a área de um estudo através de apenas uma imagem, utiliza-se a técnica de gerar uma imagem a partir da união de partes de outras, ao que se chama de mosaico. Ele pode ser elaborado a partir de fotografias ou de ortofotos.

Os mosaicos podem ser divididos em três tipos: controlado, semi-controlado e não controlado. Nos mosaicos não controlados, a sobreposição e união das imagens são meramente visuais, não havendo a localização das fotografias no espaço. Nos mosaicos semi-controlados utiliza-se alguns pontos de controle para orientar as fotos, todavia não é possível obter as altitudes das fotografias. Já no mosaico controlado as fotografias podem ser retificadas e ter suas diferenças de escala corrigidas, que é o que se pretende neste trabalho.

1.3. Mapeamento na borda leste da península Warszawa – cuidados e dificuldades

Até o fim da segunda década do século XIX, os mapas-mundi apresentavam em branco todo o seu extremo sul, nomeado "Partes Desconhecidas". Com descobrimento da ilha Rei George, as Ilhas Shetland do Sul tornaram-se, em 1819, a primeira parte da Antártica a ter seu nome num mapa (Hattersley-Smith, 1951-1952). A aproximadamente 100 km da península Trinity, a parte mais setentrional da Península Antártica, essa ilha não somente é a maior das Shetlands do Sul, como também é a que apresenta a maior cobertura glacial dentre elas e que possui maior extensão livre de gelo, somadas todas as áreas deglaciadas. Dentre essas áreas, uma das mais importantes localiza-se na costa leste da península Warszawa, banhada pela baía do Almirantado e pelo estreito Bransfield.

A área do presente estudo, aí situada, está totalmente inserida na AAEP 128, na ilha Rei George, o que implica em restrições ao acesso em seu interior. Assim, atividades de pesquisa nela realizadas devem ser criteriosamente programadas evitando-se um número exagerado de percursos sobre seus terrenos recentemente deglaciados, o pisoteio de sua flora incipiente, e perturbações à fauna. As únicas construções permanentes no interior desta AAEP são o refúgio polonês Uchatka, na praia da angra Paradise, e a pequena estação científica Peter J. Lenie, do *USARP*. Esta, apelidada de Copacabana, por Wayne Trivelpiece, seu fundador, é o ponto de apoio para pesquisa de

longo prazo com 3 espécies de pinguins (*Pygoscelidae*) ao sul da ponta Llano, há mais de 30 anos.

Os eixos principais de referência para a área de estudo são definidos pelas pontas Telefon e Demay, distanciadas por 3,7 km, no estreito Bransfield, e desta ponta até os rochedos a NE do morro Sphinx, numa distância de 3,1 km, na baía do Almirantado. Daí ao nunatak Pawson tem-se 1,6 km, e deste à laguna proglacial da geleira Windy, aproximadamente 4,8 km, fechando o polígono pesquisado.

O relevo local inclui topos de acesso difícil, como os picos Zamek, com 350 m de altitude, e La Tour (ou The Tower), com 367 m, tanto por de seus fortes aclives como pela necessidade de transpor taludes de detritos rochosos fragmentados. Já o pico Pawson (ou agulha Czajkowski), com 294 m, é de acesso difícil (pela necessidade de atravessar trecho da geleira Sphinx e por exigir escalada técnica). Por outro lado, as inúmeras fendas da geleira Baranowski inviabilizam sua travessia, restando a opção de transpor sua laguna numa canoa para acessar as áreas livres de gelo mais ao sul. Estes empecilhos, associados ao acesso controlado à entrada na AAEP, são restritivos aos trabalhos de campo ao nível de detalhe e requerem levantamentos aéreos ou orbitais de resolução muito alta para mapeamentos de escala grande.

2. Metodologia

Esta pesquisa envolveu dois levantamentos aéreos da AAEP 128 – um fotogramétrico e outro fotográfico – para os quais foram usadas câmaras FAPEFs, sendo uma delas métrica e a outra não-métrica, respectivamente, com o emprego de aeronaves leves e sistemas fotogramétricos digitais dedicados ao manuseio de imagens obtidas por câmaras para FAPEF.

Os produtos desses aerolevantamentos, após mosaicados em programa computacional de estação fotogramétrica digital (EFD), foram utilizados para o mapeamento geomorfológico do sul da AAEP 128, apresentado no capítulo 2 desta tese, e para o mapeamento da vegetação e modelagem da radiação solar, tema explorado no presente capítulo.

As toponímias utilizadas neste trabalho seguem as orientações de Sievers & Thomson (1995) e a referência do *Composite Gazetteer of Antarctica* (GSSG, 2003).

Foram extraídas da carta polonesa da baía do Almirantado, em escala 1:50.000 (Batke, 1990), ou do mapa da ilha Rei George, segundo Braun *et al.* (2001).

2.1. Aquisição de pontos de controle no terreno

Para ortorretificar as fotografias aéreas e também para delimitar as principais comunidades vegetais da área de estudo, foram adquiridos pontos de controle no terreno (*GCPs*) através do *NAVSTARGPS* (*Navigation Signal with Timing and Ranging Global Positioning System*). Esses pontos foram marcados nas aerofotos e num mapa da AAEP 128, conforme mostrado na Figura 4.1, em escala 1:12.500.

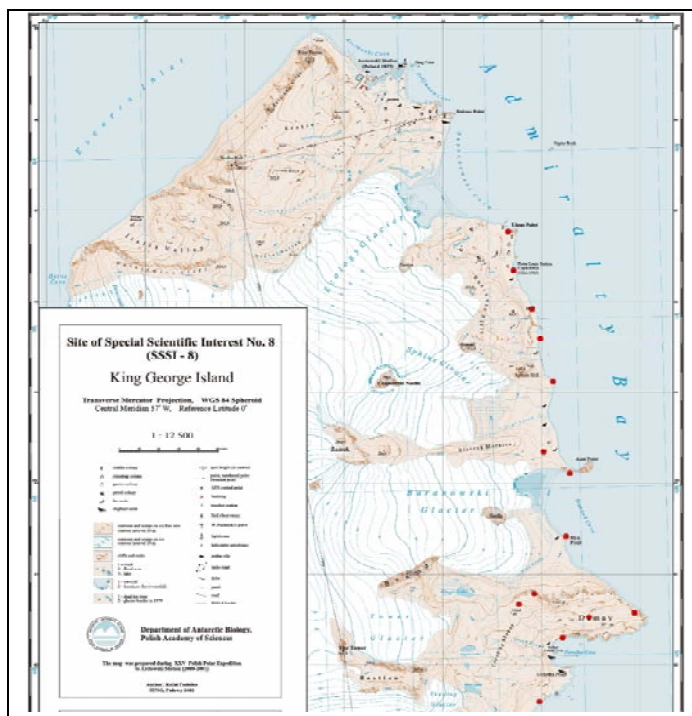


Figura 4.1 – Registro de pontos de controle adquiridos na costa da AAEP 128 sobre recorte do mapa de Pudelko (2002), representando parte da área de estudo.

As coordenadas dos *GCPs* estão no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e no sistema de referência WGS84. Para sua aquisição foram utilizados receptores do sistema de posicionamento global diferencial (*DGPS*) *Ashtech Promark 2*. Os perímetros das áreas vegetadas maiores foram adquiridos com o receptor operando no modo cinemático. Como o método de aquisição foi o de posicionamento relativo, os *GCPs* foram corrigidos através do programa *Ashtech Solutions*[®] 2.6, o que permitiu uma precisão de 0,50 m. Os dados do receptor de dupla frequência foram adquiridos pela

estação base do Projeto VLF, do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e Universidade Presbiteriana Mackenzie, na península Keller.

2.2. Obtenção das fotografias aéreas

Os dois modelos de câmaras analógicas utilizados para obter as fotografias aéreas da AAEP são da marca *Hasselblad* (Figura 4.2), pertencentes ao Núcleo de Estudo e Planejamento de Uso da Terra da Universidade Federal de Viçosa (NEPUT/UFV).

Para o levantamento aerofotogramétrico, foi utilizada uma câmara métrica *Hasselblad MK-70*, que usa lentes Carl Zeiss. Este modelo de câmara foi usado inicialmente pela NASA, em 1971, para obtenção de imagens orbitais.

Os dados obtidos desse levantamento tiveram qualidade de imagem excelente, porém foram pouco úteis no contexto geral do trabalho, pois, as linhas de vôo foram realizadas em diferentes alturas e em dias diferentes daquele das fotos não-métricas, cujo plano de vôo foi executado com maior rigor. Deste modo, somente as aerofotos das pontas Demay e Uchatka foram utilizadas para o mosaico de trabalho.



Fig. 4.2 - Câmaras *fotográficas* utilizadas para obtenção das fotografias aéreas métricas (a) e não métricas (b) (Fonte: Manuals2go, 2007 e Camera Review, 2007).

As câmaras operaram acopladas em plataforma especialmente desenvolvida, pelo NEPUT/UFV, para este tipo de levantamento, executado com aeronave leve. Foram realizados vôos de baixa altitude com um helicóptero Esquilo bi-turbinado, operando a partir do navio de apoio oceanográfico (NApOc) Ary Rongel, da Marinha do Brasil e obtidas aerofotos na escala aproximada de 1:20.000.

No levantamento aerofotográfico, para obtenção de fotografias aéreas não-métricas, de tamanho 6x6 cm, foi utilizada uma câmara analógica *Hasselblad 553 ELX*. Câmaras desta série foram fabricadas na Suécia, de 1988 a 1999, e também fizeram parte de missões aeroespaciais norte-americanas, pois além da excelente qualidade óptica, têm grande autonomia. Com a energia armazenada em suas cinco baterias, câmaras deste modelo podem proceder a até 4000 exposições (Williams, 2000), o que é decisivo para que sejam usadas em missões na Antártica. A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros de calibração desta câmara.

2.3. Ortorretificação das fotografias aéreas e geração do mosaico

A manipulação das imagens e dos dados geodésicos foi realizada com a extensão *Leica Photogrammetry Suite (LPS)* do programa *Erdas Imagine 8.7*, de acordo com a seqüência proposta por Kim (s/d.). Iniciou-se pela Criação do Projeto, onde foi selecionada a opção *frame camera* para o tipo de câmara. Manteve-se para a projeção cartográfica e o sistema de coordenadas, os parâmetros adotados na aquisição por *DGPS*. Após criado o projeto foram inseridas as fotografias digitais e se construiu a pirâmide de imagens.

Uma pirâmide de imagem é uma técnica utilizada para otimizar o processamento das imagens, onde o próprio programa as reamostra e as comprime, gerando arquivos *.rrd* associados a cada uma delas. Segundo Vaquero (2004), essa otimização pode ser feita a partir de uma diminuição da resolução espacial da imagem (aumento do tamanho dos *pixels*), de uma filtragem passa-baixa e de uma amostragem. Utiliza-se a imagem de maior resolução na base, dispendo-se acima dela, sucessivamente, as imagens de resolução menor.

Tabela 4.1 - Características de calibração da câmara *Hasselblad 553 ELX*, do NEPUT/UFV, segundo Francelino (2004).

Parâmetros	Valores	Intervalo
Distância Focal Calibrada	50,977 mm	+/- 0,041 mm
Ponto Principal	$x_o = -0,084$ mm $y_o = -0,149$ mm	+/- 0,022 mm +/- 0,023 mm
Distorção Radial Simétrica	$K_1 = -1,81398102 \times 10^{-05}$ mm ⁻² $K_2 = 5,25156573 \times 10^{-09}$ mm ⁻⁴	+/- $1,7373568 \times 10^{-06}$ mm ⁻² +/- $3,7612859 \times 10^{-09}$ mm ⁻²

	$K_3 = 5,80729230 \times 10^{-12} \text{ mm}^{-6}$	$+/- 2,4594555 \times 10^{-12} \text{ mm}^{-6}$
Distorção Descentrada	$P_1 = -1,20162248 \times 10^{-05} \text{ mm}^{-2}$	$+/- 3,2602443 \times 10^{-06} \text{ mm}^{-2}$
	$P_2 = 2,80164707 \times 10^{-05} \text{ mm}^{-2}$	$+/- 3,4505527 \times 10^{-06} \text{ mm}^{-2}$

Para o mosaico aerofotográfico da área de estudo, 66 fotografias foram processadas. Este elevado número de fotos exige um número muito grande de pontos de controle para sua ortorretificação. No entanto, pelas dificuldades de acesso à área, a distância da base de GPS mais próxima e a duração limitada das cargas das baterias dos receptores de GPS numa condição de temperaturas muito baixas, foram obtidos muito poucos pontos de controle confiáveis (ver Tabela 4.2).

Foram então obtidos pontos de controle diretamente da base cartográfica polonesa, obtida em <http://www.geostat.iung.pulawy.pl/arct/>.

2.3.1. Orientação interior e exterior das aerofotos e fototriangulação

A etapa inicial do processo para gerar um bloco orientado de aerofotos é a Orientação Interior. Andrade (2003) a define como uma operação “que permite a reconstrução do feixe perspectivo que gerou as perspectivas – fotografias”. Segundo Tomaselli (1987, *apud* Santos, 2004) a imagem sofre uma transformação bidimensional de 6 parâmetros, onde seu sistema de coordenadas de imagem passa a ser fiducial, sendo necessário saber as coordenadas calibradas das marcas fiduciais e as coordenadas do ponto principal. A Tabela 4.3 apresenta os parâmetros de Orientação Interior da câmara.

Tabela 4.2. Pontos de controle adquiridos na margem oeste da baía do Almirantado.

PONTO	BASE	TIPO	LONG	ERRO	LAT	ERRO	ALT	ERRO
UB--	COPA	Processado	424864.724	0.015	3,100,296.82	0.016	27.575	0.019
U1--	COPA	Processado	425173.720	0.199	3,100,483.48	0.162	24.567	0.213
U2--	COPA	Processado	424635.392	0.013	3,101,196.58	0.017	141.104	0.018
U3--	COPA	Processado	424161.751	0.013	3,101,028.63	0.015	168.907	0.019
U4--	COPA	Processado	424138.898	0.014	3,100,546.77	0.016	115.943	0.019
U5--	COPA	Processado	424324.897	0.017	3,100,385.22	0.016	112.884	0.017
U6--	COPA	Processado	424200.244	0.017	3,100,228.71	0.016	131.796	0.019
U7--	COPA	Processado	424114.076	0.247	3,099,864.04	0.262	110.271	0.252
U8--	COPA	Processado	423717.024	0.016	3,099,746.48	0.017	90.300	0.018
U9--	COPA	Processado	423800.278	0.012	3,099,410.85	0.012	41.925	0.013
UA--	COPA	Processado	424196.405	0.016	3,099,540.22	0.015	94.239	0.02
EACF		Processado	427175.152	0	3,115,811.64	0	57.530	0

Esses parâmetros estão contidos no certificado de calibração da câmara, e são inseridos no programa através de um arquivo *.cam*, ou editando-se o arquivo *default* do

próprio *LPS*. Na realização desta etapa, as fotografias apresentaram resíduos aceitáveis, considerando um erro médio quadrático (*RMSE*) inferior a 1/3 de pixel (0,33 pixel).

O ordenamento de inserção das imagens deu-se na mesma seqüência dos experimentos realizados na Orientação Relativa

O passo seguinte é a Orientação Exterior que recupera a posição e os ângulos de cada aerofoto (referencial fiducial) em um referencial terrestre (sistema de coordenadas do terreno). Assim, a posição da fotografia é dada pela determinação das coordenadas do seu centro perspectivo em um referencial terrestre e, a partir das coordenadas do centro, os demais pontos da foto podem ter suas coordenadas calculadas (Velho, 2006). Segundo Andrade (2003), a orientação relativa orienta um par de fotografias, em posição e atitude, entre si. Ou seja, uma fotografia tem seus parâmetros de orientação exterior determinados a partir da posição da fotografia adjacente. Deste modo tem-se um par de aerofotos num mesmo referencial que, geralmente, é o referencial fiducial da primeira fotografia (Velho, 2006). A posição é dada pelas coordenadas tridimensionais do centro da fotografia e a altitude é dada pelos ângulos de Euler.

O bloco foi orientado ao referencial fiducial da primeira fotografia inserida (fotografia de número 44). Para que isto fosse possível, o primeiro par foi inserido (fotos 44 e 46, ver Figura 4.3) e foi ajustado conforme os seguintes passos, conforme metodologia utilizada por Velho (2006):

- 1 - Os seis parâmetros de orientação exterior ($X_o, Y_o, Z_o, \omega, \varphi, \kappa$), da foto 44 foram fixados com valor zero;
- 2 - Os seis parâmetros de orientação exterior ($X_o, Y_o, Z_o, \omega, \varphi, \kappa$), da foto 46 foram fixados com valor zero;
- 3 - A aerobase foi calculada a partir da altura de vôo aproximada informada (1450 m) e o tamanho do filme utilizado no levantamento (60 mm);
- 4 - Fixou-se, na direção das abscissas, no sentido crescente deste eixo, o valor da aerobase, como se fosse a coordenada em X do centro perspectivo da segunda fotografia;
- 5 - Marcou-se seis pontos de passagem no par e foi feita a triangulação.

Tabela 4.3 - Parâmetros de Orientação Interior

Dsitância focal	$f = 50.997\text{mm}$
Ponto Principal	$x_o = -0.084\text{mm}$
	$y_o = -0.149\text{mm}$
Coordenadas das fiduciais	$x_1 = -30.00$
	$y_1 = 30.00$
	$x_2 = 30.00$
	$y_2 = 30.00$
	$x_3 = 30.00$
	$y_3 = -30.00$
	$x_4 = -30.00$
	$y_4 = -30.00$
Distorção Radial Simétrica	$K_1 = -1.81398102 \times 10^{-05} \text{mm}^{-2}$

Após ter-se inserido o primeiro par, inseriu-se as demais fotografias da mesma linha de vôo. Logo na primeira tentativa foi informado que não havia parâmetros suficientes para a solução matemática da triangulação pelo programa. Deste modo, para concatenar as fotos, fixou-se os parâmetros de orientação exterior da segunda foto, bem como os da primeira, e assim, sucessivamente para as demais. Esta foi uma etapa muito demorada do trabalho, na qual marcava-se os pontos de passagem (pontos de von Grüber) na próxima foto, triangulava-se o bloco, fixava-se a última foto. Por fim, eram liberados os parâmetros de orientação exterior da foto anterior e, somente após esta etapa, se inseria a próxima fotografia mas os resultados da triangulação eram instáveis. Só foi possível se chegar a resultados constantes após optar pela fixação de uma fotografia a cada três inseridas, onde se alcançou uma triangulação convergente.

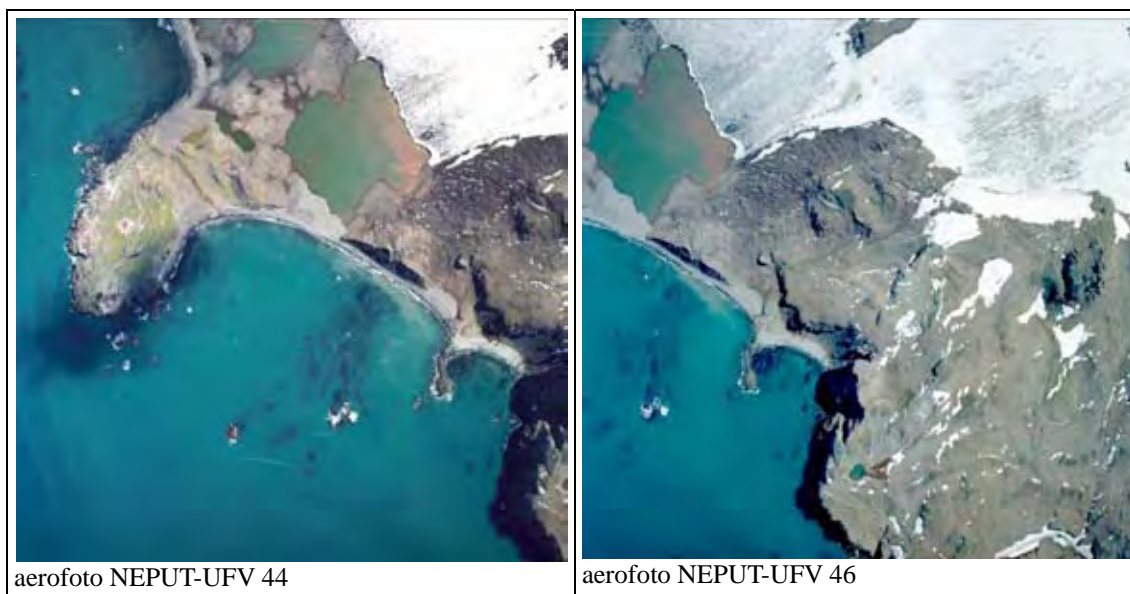


Figura 4.3 - A primeira linha de vôo foi orientada ao referencial da primeira fotografia inserida, a de número 44, no extremo meridional da área de estudo, a ponta Telefon.

A primeira fotografia da segunda linha de vôo a ser concatenada foi a 39, que tem recobrimento lateral com a fotografia 46 (Figura 4.4). Esta já estava com seus parâmetros de orientação exterior fixos. Assim, a partir da fotografia 39, foram inseridas as demais fotografias desta linha de vôo, sendo que os pontos de passagem iam sendo marcados tanto nos recobrimentos longitudinal como no lateral.

Aquela que deveria ser a terceira linha de vôo, segundo a seqüência acima, era constituída por fotografias obtidas com a câmara métrica. Optou-se, então, por dar continuidade ao trabalho com as fotografias não-métricas para, ao final dessa etapa, concatenar-se ao maior mosaico, não métrico, o pequeno mosaico, métrico.

Em seguida, procedeu-se à orientação exterior absoluta das fotografias, processo que as relaciona com o terreno levantado através de parâmetros obtidos com os pontos de controle. O passo seguinte foi a fototriangulação, que permite determinar um maior número de pontos com coordenadas de terreno a partir dos parâmetros de orientação exterior. De acordo com Velho (2006), isto possibilita realizar uma intersecção espacial, onde o ponto será determinado num par de imagens e, através das Equações de Colinearidade, determinam-se as coordenadas no espaço objeto deste ponto.

$$x = -f [m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)] / [m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)]$$

$$y = -f \left\{ \frac{[m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)]}{[m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)]} \right\}$$

Nestas equações, considera-se a distância focal (f), as coordenadas dos pontos no espaço objeto (X, Y, Z), as coordenadas do centro perspectivo no espaço objeto (X_L, Y_L, Z_L), as coordenadas dos pontos no espaço imagem (x, y), e os elementos da matriz de rotação M (m_{ij}).



Figura 4.4 - Primeiro par aerofotográfico da segunda linha de vôo inserida (notar o recobrimento lateral com as fotos 44 e 46, da figura 4.3).

2.3.2. Modelo digital do terreno (MDT) e ortofotografias

MDTs são importantes em qualquer investigação de zonas montanhosas ou de relevos movimentados como a borda leste da península Warszawa. Ademais, eles são necessários para a ortorretificação de dados de imagem, e daí para o georreferenciamento preciso e o co-registro com outros dados ou repetições de dados através da construção de um modelo matemático que reproduz o comportamento altimétrico da superfície da área de estudo. Neste estudo, os MDTs de cada par de aerofotos e também de todo o bloco de fotos foram gerados através da ferramenta *DTM Extraction*, do aplicativo *LPS*.

Os modelos foram gerados a partir de uma grade irregular de pontos e degradação da qualidade da imagem em dez vezes gerando, na saída, uma imagem com *pixels* dez vezes maior que os originais (3 m no terreno). O tipo de terreno utilizado foi o

padrão e não se selecionou área para exclusão, assim como não se fez uso de dados externos. Esta prática visou gerar rapidamente os MDTs, para que fosse possível analisar a utilização dos modelos após uma edição mas os resultados não foram satisfatórios.

Outras tentativas foram realizadas, da mesma forma que foram gerados os modelos acima citados, alterando o tamanho do *pixel* e o tipo de malha sendo, em alguns casos, utilizada a malha regular e, novamente, não se obteve resultados satisfatórios. O par 44-46 serviu de base para a realização de testes envolvendo a determinação de zonas de exclusão e de zonas de relevo característico, esperando-se, assim, um modelo mais verossímil.

Gerando o MDT com grade irregular em duas situações diferentes, numa sem área de exclusão e noutra com as áreas selecionadas, obteve-se novos MDTs que, apesar de apresentarem diferença entre si, ainda não estavam representando o terreno levantado. Outros testes foram realizados selecionando novas áreas, atribuindo características a cada região demarcada e alterando os parâmetros da grade. Definitivamente, os resultados foram insatisfatórios.

2.3.3. Geração de um MDT com fotografias aéreas convencionais

Na impossibilidade de se gerar um MDT que expressasse com mais fidelidade as formas do terreno da área de estudo a partir das fotografias de pequeno formato, buscou-se gerar um modelo a partir de fotografias métricas. Aerofotos métricas foram disponibilizadas pelo Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NUPAC/UFRGS) para gerar um mosaico ortorretificado com a intenção de se construir uma base cartográfica confiável. Essas fotos aéreas, tomadas no verão do ano anterior ao do levantamento realizado pela UFV, foram adquiridas junto ao *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA)* cujo *Servicio Aerofotográfico (SAF)* executou as linhas de vôo apresentadas na Figura 4.5.

Um MDT confiável é fundamental para que informações extraídas do mosaico que o gerou possam ser inseridas no sistema de informações geográficas (SIG) da AAEG Baía do Almirantado. Assim, um outro projeto fotogramétrico foi iniciado, paralelamente à geração do mosaico das aerofotos obtidas pela câmara *MK70*, utilizando fotografias métricas da ilha Rei George na escala 1:50.000.

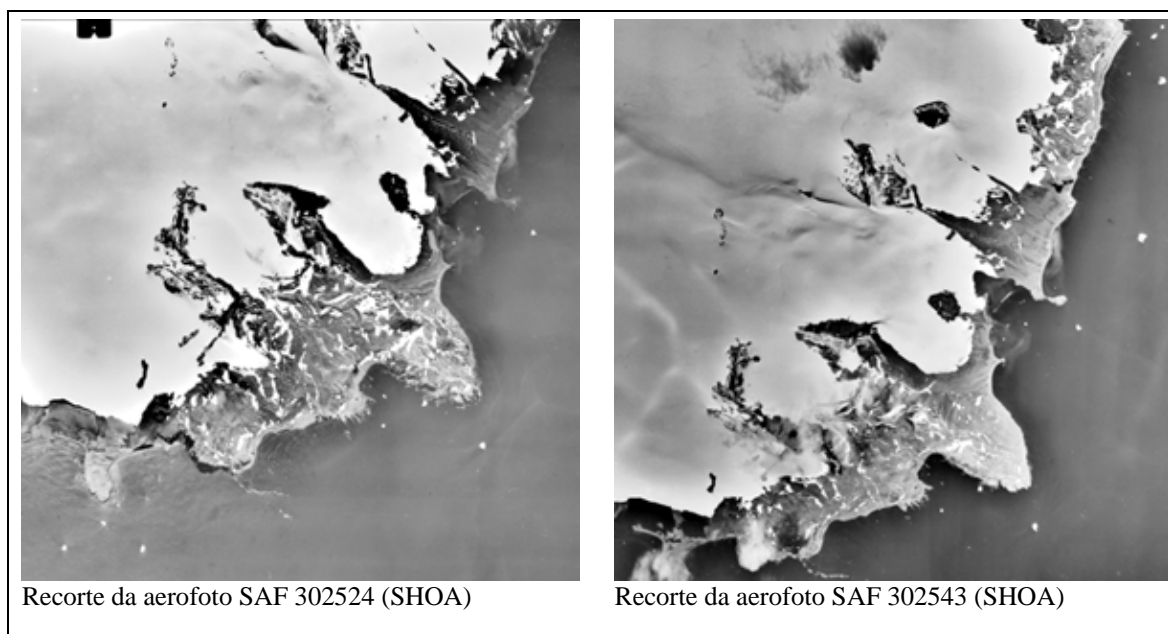


Figura 4.6 - Detalhes de fotografias aéreas convencionais de duas diferentes linhas de vôo que necessitam melhor distribuição de pontos de controle para ortorretificação.

2.3.4. Geração de mosaicos da área de estudo

O primeiro mosaico foi gerado inserindo as ortofotos no módulo *Mosaic Tool* do LPS e processando, sem a edição de outros parâmetros, a nova imagem. As bordas do filme fotográfico não foram excluídas e a diferença de tons entre as ortofotos é um grande problema a se solucionar, principalmente nas fotografias não-métricas. Dois complicadores principais se colocam para a elaboração destes produtos com as aerofotos disponíveis: -1) os vôos foram realizados em diferentes datas; 2) as linhas de vôo foram executadas em diferentes altitudes. Além destes, notou-se que as aerofotos não métricas apresentam muita angulosidade e que digitalização das fotografias em papel resultou em melhor qualidade que a dos negativos.

O novo mosaico, confeccionado a partir dos anteriores – um com as fotografias aéreas não-métricas e o outro com fotografias aéreas métricas – foi utilizado para a elaboração de mapas da área estudada. Os resultados dos levantamentos aerofotográfico e aerofotogramétrico puderam ser comparados através dos mosaicos, e estes foram fundidos para que fossem gerados os mapas de vegetação e do modelo de radiação.

2.5. Fotointerpretação

Neste trabalho, utilizou-se análise estereoscópica óptica para visualizar diferenças topográficas nos terrenos. O objetivo desse procedimento foi dirimir dúvidas na delimitação de feições geomórficas com bordas pouco nítidas nas fotografias digitalizadas. Foram usados tanto estereoscópios portáteis (ou de bolso) como convencionais.

Além da utilização desse recurso como auxiliar no mapeamento geomorfológico descrito no capítulo 2, ele também foi usado para melhor diferenciar as áreas ocupadas por vegetação que, posteriormente, foram delimitadas em tela conforme descrição a seguir.

2.6. Delimitação das comunidades vegetais e modelagem da radiação solar

As maiores áreas cobertas de vegetação foram delimitadas com o *GPS* diferencial operando no modo cinemático, enquanto para as áreas menores utilizou-se de fotoanálise do mosaico semi-controlado na escala 1:2.500. Suas composições florísticas foram levantadas em campo e registradas no *GPS* como pontos estáticos, como em Francelino *et al.* (2007).

As áreas delimitadas foram sobrepostas no mosaico para mapeamento da vegetação e comparou-se com a delimitação das áreas vegetadas, digitalizadas em tela na imagem *Quickbird*. Os dados foram processados no programa *Arcview*[®] 3.2a, gerando mapa temático na escala final de 1:5000. Utilizou-se as informações de radiação global, obtida da soma da radiações direta e difusa, realizando-se a análise estatística no programa OS4 1.0.

3. Resultados e discussões

Devido ao recuo recente das geleiras Windy e Tower, encontra-se exposta uma extensa área onde o processo de colonização vegetal é recente. Isto se reflete na predominância de comunidades com vegetação incipiente sem qualquer vegetação, as quais ocupam, juntas, 88% da área de estudo. Devido ao grande volume de água de degelo durante o verão, essa área apresenta pequenos lagos, poças e um sistema de drenagem dinâmico. Os solos presentes ficam encharcados ao longo desse período,

favorecendo o surgimento de musgos, em sua maioria dos gêneros *Sanionia*, *Bryum* e diversos politricáceos, que em outras formações ocorrem principalmente nas linhas de drenagem. Nos topos mais antigos das morainas laterais e frontais ocorrem pequenas formações de úsneas (*Neuropogon spp.*) que crescem sobre afloramentos rochosos ou em fragmentos de rocha. É notável a presença de comunidades vegetais mais desenvolvidas nas áreas de ocorrência de solos ornitogênicos, a exemplo de outras áreas da baía do Almirantado (Simas *et al.*, 2007).

3.1. Caracterização da cobertura vegetal do sul da borda leste da península Warszawa

Conforme apresentado no capítulo III, a colonização vegetal da AAEP 128 apresenta-se escassa, estando as maiores concentrações de angiospermas associadas a locais de antiga colonização por aves, notadamente das três espécies de pingüins (*Pygoscelis adeliae*, *P. antarctica*, e *P. papua*) que habitam esta área. Como pode ser observado na Tabela 4.4, a maioria dos terrenos (70,5%) apresenta-se praticamente desprovida de vegetação. Isto decorre tanto por sua juventude, como pela presença de corpos lacustres ou lagunares, pela cobertura glacial e/ou forte atividade crionival, ou, principalmente, pela associação de um ou mais desses fatores com a falta de colonização por aves.

Tabela 4.4 – Extensão e participação relativa das áreas sem vegetação entre as pontas Agat e Telefon na ilha Rei George.

FISIOGRAFIA	ha	%
Geleiras e neveiros	281,89	30,10
Lagos	195,94	20,92
Área livre de gelo sem vegetação	182,20	19,45
Total (inclui áreas vegetadas)	936,61	100,00

Uma cobertura vegetal escassa cobre 23,5%, enquanto 6 % da área são cobertos por vegetação praticamente contínua. A Tabela 4.5 apresenta os percentuais para as diferentes comunidades identificadas, seguindo a tipologia proposta em Francelino *et al.* (2007). Pereira *et al.* (2006) afirmam que a cobertura vegetal da ilha Rei George indica

uma relação estreita com diversos outros fatores ambientais e constitui-se num eficiente indicador das condições geocológicas locais.

Tabela 4.5 – Extensão e participação relativa das áreas com vegetação entre as pontas Agat e Telefon na ilha Rei George.

COMUNIDADES	Área (ha)	%
Cobertura vegetal escassa	220,89	23,58
Líquens (predomínio de <i>Neuropogon sp.</i>)	36,42	3,89
Campo (“carpete”) de briófitas	7,38	0,79
<i>Deschampsia antarctica</i>	6,88	0,73
Briófitas + <i>D. antarctica</i>	4,66	0,50
<i>D. antarctica</i> + briófitas	0,34	0,04
Área (incluído áreas não vegetadas)	936,61	100,00

3.1.1. Formação de musgos em carpete nas áreas costeiras

Nas áreas com maior disponibilidade de umidade ocorrem formações de tapetes de musgos onde a população com maior densidade é a de *Sanionia uncinata*. Nas linhas de drenagem e locais úmidos, ocorrem populações de *Bryumpseudotrichetum*. Céspedes de *Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis* são geralmente raros nesses locais, porém em alguns pontos são relativamente densos, possivelmente devido a algum aporte de guano de aves.

3.1.2. Formação de líquens fruticosos

As formações de líquens fruticosos são características de áreas onde predominam afloramentos rochosos ou grandes blocos de rochas. Estes locais estão geralmente cobertos por líquens saxícolas fruticosos como por exemplo as úsneas *Neuropogon antarcticus* Du Rietz e *N. aurantiaco-ater* (Jacq.) Bory. Os musgos são raros, representados principalmente por pequenas populações de *Sanionia uncinata*, *Polytrichumjuniperinum* e *P. alpinum*, de modo especial, em locais onde ocorrem ninhos de skua. Em comunicação pessoal, o liquenólogo Adriano Spielmann afirmou que ainda há muita discussão em torno do gênero *Neuropogon* para as úsneas antárticas.

3.1.3. Formações de tapetes de musgos de altitude

Nas superfícies mais altas da ponta Demay, ocorrem formações descontínuas de musgos. Nessas formações se proliferam, predominantemente, populações de *S. uncinata* – nos locais em que o substrato é formado por fragmentos de rochas – e *P. juniperinum* em locais onde ocorrem solo. Por sua vez, *Bryumpseudotrichetum* se desenvolve em linhas de drenagem e outros locais úmidos.

3.1.4. Formação de úsneas sobre fragmentos de rocha

Em locais onde o substrato é formado por pequenos fragmentos de rochas (escombros) e o sedimento fino é constantemente carregado pela água de degelo, a vegetação geralmente está formada, de forma acentuada, por populações de *N. antarctica* e *N. aurantiaco-ater*, aparentemente decadentes que irão desaparecendo devido à fragmentação dos restos de afloramentos rochosos.

3.1.5. Áreas de vegetação incipiente com líquens fruticosos

São áreas em que aparentemente não existe vegetação, pois ocorrem apenas céspedes raros de *Deschampsia antarctica* e *C. quitensis*. Os musgos são representados por pequenas populações de *S. uncinata*. Líquens, quando presentes, são crustosos.

3.1.6. Terrenos sem cobertura vegetal

As áreas sem vegetação geralmente estão em faces voltadas para geleiras, estando sob influência de ventos secos e frios ou, então, são áreas de degelo muito recente onde ainda ocorre muita solifluxão durante os períodos de degelo, impedindo a fixação e o desenvolvimento das plantas (Francelino *et al.*, 2007). São paisagens em geral muito instáveis e dinâmicas.

De maneira geral, das comunidades vegetais presentes na área de estudo, os campos de *Neuropogon spp.* são as mais comuns, concentrados principalmente no topo plano da ponta Demay (Figura 4.7), apresentando uma área de 35,2 ha (Tabela 4.6).

Tabela 4.6. Distribuição das comunidades vegetais na área entre as geleiras Baranowski e Windy.

Tipologia de comunidade	Área	
	ha	%
Área de vegetação incipiente	220,9	48,3
Área sem cobertura vegetal	182,2	39,8
<i>Deschampsia antarctica</i>	6,9	1,5
<i>D. antarctica</i> + Briófitas	0,3	0,1
Briófitas em carpete	6,8	1,5
Briófitas + <i>D. antarctica</i>	4,7	1,0
Briófitas em taludes	0,5	0,1
<i>Neuropogon spp.</i>	35,2	7,7

3.2. Características geológicas da borda leste da península Warszawa

Diferentes associações entre comunidades vegetais e geoformas foram encontradas na área de estudo, conforme descrição a seguir. O mapa da Figura 4.7 apresenta uma síntese da vegetação desse setor da península Warszawa.

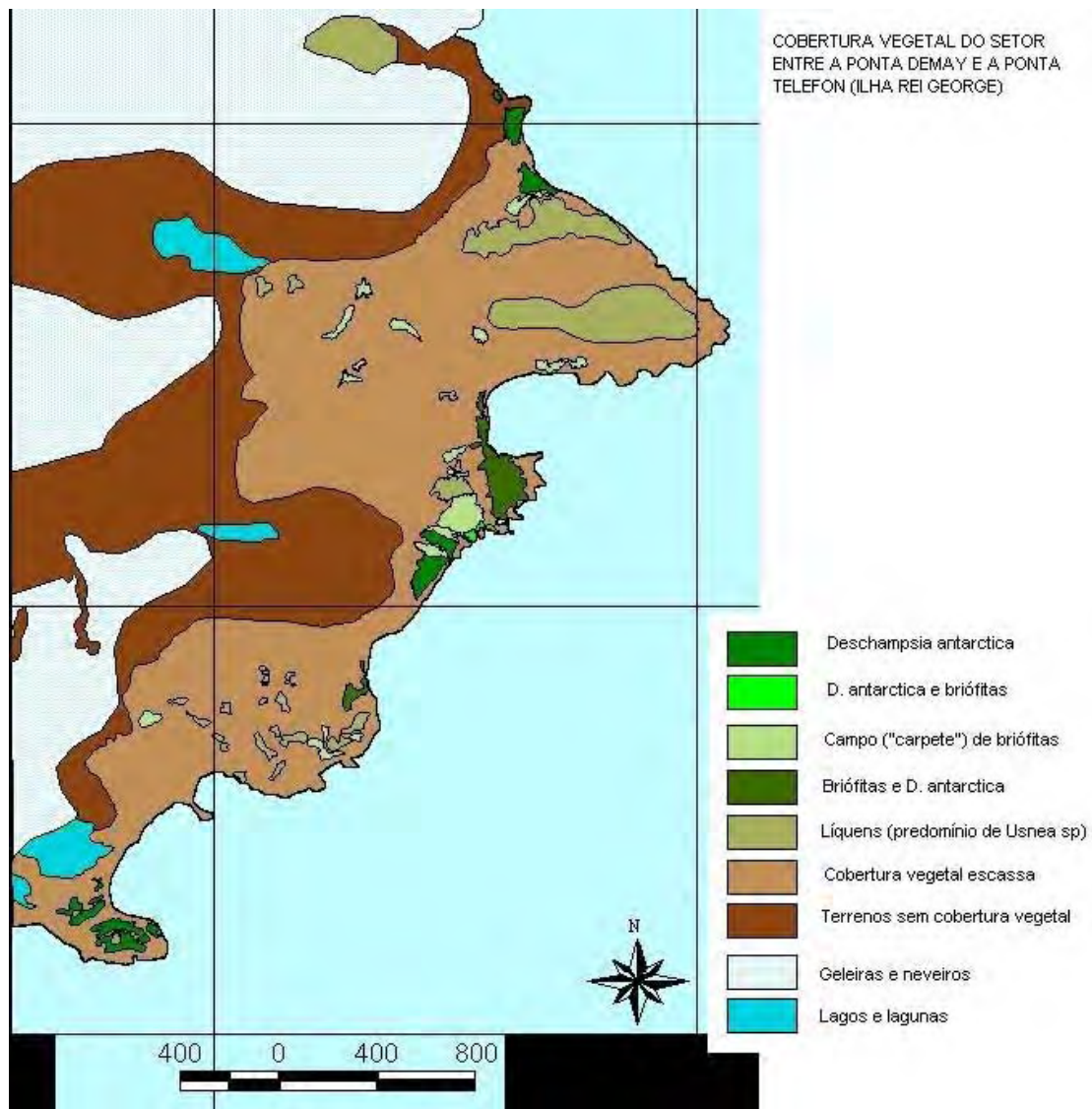


Figura 4.7 – Cobertura vegetal desde o sul da geleira Baranowski à ponta Telefon.

Nas comunidades vegetais localizadas nos terraços marinhos soerguidos, predomina na vegetação céspedes de *D. antarctica*, associadas aos de *C. quitensis*, sendo os musgos representados por pequenas populações de *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske.

Em alguns destes locais, ocorrem populações de mamíferos, principalmente foca elefante austral (*Mirounga leonina*), *Focidae*, e lobo-marinho austral (*Arctocephalus gazella*), *Otariidae*. A presença destes mamíferos afeta diretamente a cobertura vegetal, através da incorporação de nutrientes das fezes e pela compactação do solo, o qual, quando presente em pequenos declives, inicia um processo erosivo intenso durante o período de degelo, com perdas consideráveis de solo e cobertura vegetal (Figura 4.8). A frequência de ocupação e deposição de excreta afeta tanto química quanto fisicamente

tais formações e são comuns vastos espaços onde os musgos e as gramíneas estão senescentes ou mortos pela atuação de fauna de focas.



Figura 4.8 – Terraço marinho apresentando vegetação de *Deschampsia antarctica* danificada e empoçamento d'água (b) em solo compactado pelo uso do local por elefantes marinhos austrais (*Mirounga leonina*) na angra Paradise (a).

Nos locais mais úmidos desses terraços, ocorre *Bryum pseudotrichetum* (Hedw.). À medida que se afastam da região costeira, os céspedes de *D. antarctica* diminuem de tamanho e de densidade, aumentando a presença de *C. quitensis* e musgos, principalmente *S. uncinata* e *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L.Smith – nos locais em que sofre influência de colônias de aves – e *Polytrichum juniperinum* Hedw., onde não ocorrem aves.

3.3. Efeito da radiação na caracterização geocológica do sul da AAEP 128

No período estudado ocorreram muitos dias nublados, segundo registros do INPE (2006). Isto interfere na quantidade de energia total que atinge à superfície do terreno, sendo que tal variação não foi considerada na modelagem. Estimativas diretas da radiação difusa não existem ainda para a região da baía do Almirantado.

Quase todos os valores médios da radiação global presente em cada comunidade vegetal (Tabela 4.7) são superiores à média obtida de toda a área, com exceção de algumas comunidades homogêneas ou associações de briófitas.

Tabela 4.7 – Síntese estatística do cruzamento da matriz de radiação global e a de cobertura vegetal.

Comunidades	Média	Max	Min	Var	Dp
			KW		
<i>Neuropogon spp.</i>	98,306	121,187	39,814	184689,155	13,590
<i>Deschampsia antarctica</i>	101,766	116,565	79,458	45161,194	6,720
Briófitas em carpete	92,854	117,510	44,557	254708,617	15,960
Taludes com briófitas	105,320	113,075	91,676	14481,983	3,806
Vegetação incipiente	93,200	123,629	25,693	334172,890	18,280
Briófitas+ <i>Deschampsia</i>	102,418	111,043	83,590	19526,013	4,419
<i>Deschampsia</i> +briófitas	85,064	104,696	55,692	158587,020	12,593
Sem cobertura vegetal	99,393	125,631	29,389	210173,452	14,497
Toda a área analisada	93,194	125,631	25,693	364597,555	19,094

No estudo do efeito da radiação na distribuição das comunidades, foi verificado que o modelo gerado (Figura 4.9) não considerou aspectos locais que provavelmente interferem de forma marcante os padrões de insolação na região, como a presença de geleiras e de bancos de neve, que alteram profundamente a radiação difusa da área e, conseqüentemente, a radiação global.

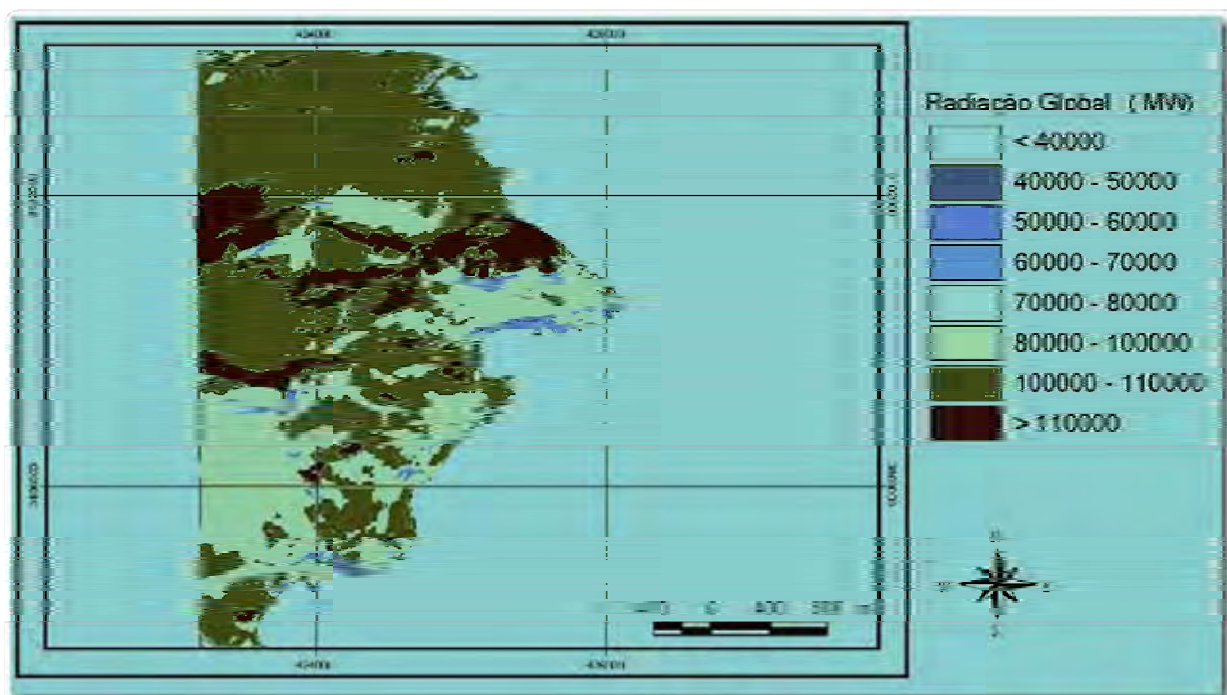


Figura 4.9 – Radiao global na área de estudo no verão 2005-2006.

4. Conclusões

O mosaico aerofotográfico mostrou-se um bom produto para detectar características ambientais, contudo as diferenças visíveis entre as fotografias dos vos métrico e não métrico, bem como as diferentes alturas e datas de vo, foram problemas técnicos que levam  pouca confiabilidade do produto do ponto de vista da quantificao.

As áreas com valores médios de radiao mais elevados foram taludes, em sua maioria aquelas ocupadas por musgos. Isso ocorre por tratar-se de vertentes voltadas principalmente para o norte.  nesses taludes que têm incio os processos de degelo, fazendo com que permaneçam mais tempo úmidas, o que favorece a formao de um ambiente propício ao desenvolvimento das briófitas.

Comunidades ocupando locais com menores valores de radiao são principalmente associaes de musgos e *Deschampsia*, que ocorrem majoritariamente nos terraços marinhos, muito comumente sombreados por vertentes íngremes. Esses terraços têm acumulam água de degelo favorecendo, em alguns lugares, o surgimento das briófitas.

A avaliação, com técnicas de física do solo, das interações entre grupos de mamíferos marinhos e as comunidades vegetais que ocupam os terraços pode fornecer informações mais confiáveis sobre impactos da fauna ao pedoambiente e comunidades vegetais que não sofrem a pressão de herbívoros, mas podem ser localmente impactados pela recuperação e crescimento das populações de focas outrora ameaçadas de extinção.

Referências

- Andrade, J.B. de. 2003. *Fotogrametria. 2ª ed.* Curitiba: SBEE. 256 p.
- Arruda Jr., E.R. de. 2002. "*Mosaicagem*" de imagens digitais. Presidente Prudente: UNESP-FCT. 96 p. (Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas - inédita)
- ASPRS - American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 2004. *Manual of Color Aerial Photogrammetry*. Wisconsin: George Banta. 550 p.
- Batke, Z. 1990. *Admiralty Bay. King George Island. 1:50.000*. Warszawa: Polskiej Akademii Nauk, Nakladem Instytutu Ekologii. (mapa)
- Braun, M., Simões, J.C., Vogt, S., Bremer, U.F., Blindow, N., Pfender, M., Saurer, H., Aquino, F.E. & Ferron, F.A. 2001. The compilation of a DTM and a new satellite image map for King George Island (Antarctica). *Geo-Spatial Inform Sci.*, 4: 47-51.
- Brito, J.N. & Coelho, L. 2002. *Fotogrametria digital*. Rio de Janeiro: IME. Disponível em <<http://www.efoto.eng.uerj.br>> Acessado em 30/11/2006.
- Camera Review. 2007. Hasselblad 553ELX. In: http://www.camerareview.com/templates/camera_details.cfm?camera_id-2. (acessado em 03/01/2007)
- Francelino, M.R. 2004. *Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller*. Viçosa: UFV. 102 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, inédita)
- Francelino, M.R., Pereira, A.B., Sá, M.M.F., Spielmann, A.A., Bremer, U.F., Tonin, A., e Schaeffer, C.E. 2007. Influência da radiação solar na distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, INPE, 21-26/abril/2007. Anais*. pp: 2637-42.
- Graham, R. W. 1988. Small format aerial surveys from light and microlight aircraft. *The Photogrammetric Record*, 12 (71): 561-573.
- GSSG – Standing Scientific Group on Geoscience. 2005. Composite Gazetteer of Antarctica. http://www.pnra.it/SCAR_GAZE.
- Hattersley-Smith, G. 1951-52. King George Island. *The Alpine J.*, 58 (282): 67-75.
- Kim, W. s/d. *Leyca Photogrammetry Suite. Manual de Treinamento*. São Paulo: Wild comercial.
- Kraus, K. 1993. *Photogrammetry. Vol. 1 - Fundamentals and standard processes*. Bonn: Drümmler. 397 p.
- Manuals2go. 2007. Hasselblad 553ELX Owner's manual. In:<http://manuals2go.com/>

gmanuals/hasselblad_53elx_owner.htm. (acessado em 03/01/2007)

- Mitishita, E. 1997. *A monorrestituição digital de aerofotos associada com sistema de computação gráfica CAD para fins de mapeamento na área florestal*. Curitiba: UFPR-CCF. 252 p. (Tese de Doutorado em Engenharia Florestal - inédita)
- Pereira, A.B., Francelino, M.R., Tonin, A., Spielmann, A.A. e Sá M.M.F. 2006. Comunidades vegetais de áreas de degelo de Demay, ilha Rei George, Antártica. *XIV SPA, Instituto de Geociências, USP, 4 a 6/10/2006. São Paulo: CPA*. pp: 133-134.
- Pudelko, R. 2002. *Site of Special Scientific Interest No. 8 (SSSI - 8). King George Island. 1:12500*. Pulawy: IUNG; Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Sciences. (mapa)
- Pudelko, R. 2007. Site of Special Scientific Interest nº 8 (SSSI-8). King George Island. Disponível em <http://www.geostat.iung.pulawy.pl>. Acessado em 17 de Julho de 2007.
- Rocha, C.H.B. 2002. *Geoprocessamento. Tecnologia transdisciplinar. 2.ed.* Juiz de Fora, MG.: Ed. do Autor. 220 p.
- Segantine, P.C.L. 1988. *Aerofotointerpretação e Fotogrametria*. São Carlos, SP: USP-EESC-Departamento de Transportes.
- Sievers, J. & Thomson, W. 1995 [publicado em 1998]. Adopting one name per feature on maps of Antarctica: an experimental application – Topographic Map (Satellite Image Map) 1:250,000 Trinity Peninsula SP21-22/13. *Polarforschung*, 65: 123-131.
- Simas et al. 2007. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, Maritime Antarctica. *Geoderma*, 2008. doi: 10.1016/J. Geoderma. 2007.10.019.
- Vaquero, D.A. 2004. Pirâmides de imagens. Plano de Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística) do Curso de Pós-Graduação em Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo. 39 p. Disponível em <<http://www.vision.ime.usp.br/~daniel/mac5701/monografia.pdf>>. Acessado em 12 de dezembro de 2006.
- Velho, L.F. 2006. Geração de nova base cartográfica para a península Keller a partir de fotografias de pequeno formato. In: *XIV Simpósio sobre Pesquisa Antártica. São Paulo, USP-CPA, 4 a 6/10/2006. Programa e Resumos: 70*.
- Velho, L.F. 2006. *Geração de mosaico controlado da península Keller com fotografias de pequeno formato*. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Geociências, Depto de Geodésia. 54 p. (Projeto Cartográfico – inédito)
- Williams, P. 2000. Online camera database. A Brief History of Hasselblad: 1941-1993. Disponível em <http://www.williamsphotographic.com/ocr/mf/hassys.html>. Acessado em 12 de Junho de 2006.
- Wolf, P.R. 2000. *Elements of photogrammetry: with applications in GIS. 3. ed.* Boston: McGraw-Hill. 608 p.

V. Conclusões gerais

Na Antártica, os teores de matéria orgânica nos solos são altamente variados, em função das condições de acumulação (excesso de frio que inibe a mineralização) e da remoção pela erosão, agravada pelas condições climáticas severas e pelas mudanças ambientais. Isto pode ser observado na área aqui estudada, a borda leste da península Warszawa, da ilha Rei George.

No setor meridional da área Antártica Especialmente Protegida Costa Ocidental da Baía do Almirantado, solos turfosos e escuros, ricos em C, com horizontes superficiais hísticos foram encontrados nas áreas colonizadas por aves, notadamente *Pygoscelis antarctica*. Na maior parte da AAEP 128, os processos pedogenéticos são muitas vezes ainda primordiais, e a formação de solos com perfis mais desenvolvidos mantém uma relação estreita com a atividade de aves, o que parece ser próprio da Antártica Marítima.

Ao longo da área de estudo foram encontrados, além de solos ornitogênicos, desde manchas de solos amarelados, muito pobres em carbono, a até mesmo podzois e pavimento de clastos, assemelhados ao tipo desértico. Entretanto, do ponto de vista climático, é inapropriado generalizar a classificação dos solos da Antártica Marítima com o termo Deserto Polar Antártico. Isto se deve ao elevado aporte de umidade no sistema, onde tanto a precipitação – que ultrapassa valores de 450 mm na área de estudo – como a água disponibilizada pelo derretimento da neve e do gelo têm papel fundamental para a pedogênese.

Nas áreas livres de gelo da borda leste da península Warszawa, terrenos com mantos de clastos – *felsenmeer* e *scree slopes* – perfazem 22,72% da superfície, enquanto outros terrenos periglaciais (*e.g. talus*, cones de detritos, leques aluviais) totalizam 21,57%. De proporções semelhantes a essas é a extensão ocupada pelas morainas (22,29%), ao passo que outras formas glaciais ocupam apenas 5,47%. O restante dos terrenos é constituído principalmente por cristas e escarpas rochosas, e pequenas planícies glaciofluviais e glaciolagunares instáveis, quadro geomorfológico esse que corrobora o pouco desenvolvimento dos solos no local.

A umidade disponível, associada à contribuição de aves para a disponibilização de nutrientes, possibilita que cerca de 12% da área entre as geleiras Baranowski e Windy seja ocupada por algum tipo de comunidade vegetal, destacando-se as úsneas (líquens do

gênero *Neuropogon*), que ocupam cerca de 8% de toda a superfície estudada. Artrópodes terrestres associados à interface solo-planta, bem como à rizosfera, em comunidades de *Deschampsia antarctica* e musgos, apontam para a necessidade de melhor conhecimento a respeito da relação entre esses animais e a incorporação de carbono orgânico ao solo.

Na distribuição das comunidades vegetais, a radiação solar também assume importante papel, pois, influencia direta ou indiretamente diversos processos que interferem no desenvolvimento das espécies presentes na região. Porém, o modelo gerado pelo *Solar Analyst* é limitado por não incluir a influência das superfícies de alta reflexão como as geleiras e áreas cobertas de neve existentes no período estudado. Essa influência deve ser analisada conjuntamente com outros fatores ambientais como o relevo, os regimes hídricos e as atividades da fauna, para o melhor conhecimento das relações clima-solo-planta na borda leste da península Warszawa, bem como nas demais áreas livres de gelo da Antártica Marítima.

Anexo 1: Superfície total de geoformas, depósitos e rede hidrográfica

Classe	Área (m²)
Gelo e neve	15747132,73
Geleira	15678972,70
Gelo com detritos	30069,40
Neve	38090,63
Depósitos e formas proglaciais	356279,39
Depósito de till	198307,83
Detritos supraglaciais	144157,63
Flute	13813,94
Morainas	1468078,75
Complexo morâinico	338458,74
Cristas de moraina com núcleo de gelo	568449,80
Moraina	1750,02
Moraina de retração	93423,84
Moraina frontal	45730,49
Moraina lateral	387989,70
Morainas aplanadas	5908,86
Moraina latero-frontal	26367,30
Planícies fluviais	275549,01
Complexo flúvio-deltaico	10764,28
Planície aluvial	3181,01
Planície glaciofluvial	261603,72
Planícies lagunares e marinhas	89754,52
Planície glaciolagunar	25228,79
Planície lagunar	10254,62
Planície lagunar glaciomarinha	54271,11

Rocha	1061191,51
Afloramento de rocha	14107,37
Blocos de arrasto e erráticos	73,47
Rochedo, costão rochoso	211437,43
Cristas e escarpas rochosas	472353,49
Falésia rochosa	62329,04
Nunatak	272249,51
Platô	28641,20
Praias e terraços marinhos	327170,12
Esporão praial	98818,85
Praia	85023,30
Terraco marinho - primeiro nível	117112,89
Terraço marinho - segundo nível	26215,09
Depósitos e formas de vertentes baixas e médias	926138,03
Leque alúvio-coluvionar	42661,61
Leque aluvial	9702,63
Patamares com círculos de pedras	60905,10
Ravina	18953,02
Superfície de ravinamento	40495,67
<i>Talus</i>	753420,00
Depósitos e formas de vertentes superiores	123034,91
<i>Bergschrund</i>	3493,22
Cones de detritos	114298,46
Fluxo de rochas	1676,46
Talude com solos estriados	3566,77
Pavimentos de clastos	1495801,77
<i>Felsenmeer, scree slopes</i>	1159727,89
Plataforma de rocha com manto de clastos	336073,88

Hidrografia	461800,28
Vale em V, canal de drenagem principal	25060,76
Canal anastomosado	52497,44
Foz, estuário	3057,47
Lagoas e lagunas	291918,82
Lagos e poças	89265,79

Superfície total da área de estudo **22331931,02**