

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**Delimitação de geoambientes na península Potter,
Ilha Rei George (Antártica Marítima),
utilizando dados COSMO-SkyMed e QuickBird**

André Medeiros de Andrade

PORTO ALEGRE
RIO GRANDE DO SUL - BRASIL
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**Delimitação de geoambientes na península Potter,
Ilha Rei George (Antártica Marítima),
utilizando dados COSMO-SkyMed e QuickBird**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto para obtenção
do Título de Mestre em Sensoriamento
Remoto

Área de Concentração: Sensoriamento
Remoto aplicado.

Orientado: André Medeiros de Andrade

Orientador: Jorge Arigony Neto

PORTO ALEGRE
RIO GRANDE DO SUL - BRASIL

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Andrade, André Medeiros de

Delimitação de geoambientes na península Potter, Ilha Rei George (Antártica Marítima), utilizando dados COSMO-SkyMed e QuickBird. Porto Alegre, 2013.

150 p.

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto/UFRGS – Área de concentração: Sensoriamento Remoto aplicado.

Orientador: Jorge Arigony Neto.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Geoambientes. 3. Antártica Marítima.

FOLHA DE APROVAÇÃO

André Medeiros de Andrade

Delimitação de geoambientes na península Potter, Ilha Rei George
(Antártica Marítima), utilizando dados COSMO-SkyMed e QuickBird

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto para obtenção
do Título de Mestre em Sensoriamento
Remoto

Área de Concentração: Sensoriamento
Remoto aplicado.

Orientador: Jorge Arigony Neto

Aprovada em:

Prof. Dr. Carlos Ernesto G. R. Schaefer

Prof. Dr. Glauber Acunha Gonçalves

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer

Prof. Dr. Jorge Arigony Neto
(Orientador)



Base Antártica Carlini [19 de fevereiro de 2012]

“A coragem é uma graça escondida, um recurso invisível e uma força motora que vem do coração” (H.E. Alexander)

Pai e mãe,
a vocês dedico esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade e estrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta dissertação.

À CAPES, pela bolsa de estudo em nível de pós-graduação.

Ao meu orientador professor Dr. Jorge Arigony Neto, pela prontidão em tecer críticas e sugestões sempre construtivas. Sua alegria e empolgação com a ciência foram contagiantes e fundamentais durante todo o processo.

Aos professores e demais funcionários do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da UFRGS. Em especial à professora Dra. Eliana Lima da Fonseca e à secretária Magdalena Assaf, pela atenção e auxílio ao longo desses dois anos.

Ao professor Dr. Carlos Ernesto G. R. Schaefer, pela amizade e todos os ensinamentos. Em especial por ter disponibilizado uma vaga em seu projeto para que eu desenvolvesse os trabalhos de campo.

À Marinha do Brasil pelo suporte logístico prestado durante a OPERANTAR XXX.

Ao Instituto Antártico Argentino, em especial à base Carlini por disponibilizar a estrutura da base durante os trabalhos de campo.

Ao alpinista David e aos pesquisadores Dr. Marc Oliva, Dr. Dermot Antoniades e João Agrela pela amizade e companheirismo durante as atividades de campo.

Ao professor Dr. Ulisses Franz Bremer, por ter me recebido quando cheguei à UFRGS. Principalmente pelas inúmeras conversas sobre assuntos científicos, futebol e nossa terra amada Minas Gerais.

Ao professor Dr. Cláudio Wilson Mendes Junior, que em todos os momentos foi muito atencioso em tirar as minhas diversas dúvidas.

Ao professor Dr. Everton Poelking pelos diversos auxílios referentes à Potter.

Aos colegas do Laboratório de Monitoramento da Criosfera (LaCrio) e do Centro Polar e Climático (CPC) pelos momentos compartilhados.

Aos amigos da turma do mestrado. Vocês foram essenciais para a minha rápida adaptação em terras gaúchas.

Ao meu pai, minha mãe e minhas irmãs, que com muito amor sempre me apoiaram.

À Alice pela paciência e longas conversas. Principalmente por ter conseguido vencer a geografia e se fazer presente mesmo com a distância.

À minha amiga Deja Bandeira, que através de 54 e-mails amenizou a saudade da minha terra com muitas piadas, contos, histórias e “pedaços de queijos”.

RESUMO

ANDRADE, André Medeiros, MSc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fevereiro de 2012. **Delimitação de geoambientes na península Potter, Ilha Rei George (Antártica Marítima), utilizando dados COSMO-SkyMed e QuickBird.**
Orientador: Jorge Arigony Neto

O estudo desenvolvido nesta dissertação tem como objetivo delimitar e caracterizar os geoambientes da península Potter, Ilha Rei George, Antártica Marítima, utilizando dados de sensoriamento remoto provenientes dos satélites COSMO-SkyMed e QuickBird e técnicas de geoprocessamento. Foram utilizadas cinco imagens do satélite COSMO-SkyMed, uma imagem do satélite QuickBird e um modelo digital de elevação da área livre de gelo da península Potter. As imagens foram submetidas à normalização radiométrica, correção da geometria e nas imagens SAR fez-se a filtragem do ruído speckle. Através de interpretação visual, análise dos valores de retroespalhamento, e com o apoio das informações obtidas por meio de levantamento em campo realizado em fevereiro de 2012, foram delimitadas as zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas nas imagens SAR. Os valores de retroespalhamento das zonas superficiais nas áreas de rocha e solo exposto não apresentaram diferenças significativas que possibilitassem a classificação. Através de uma análise multicritério e considerando as configurações geomorfológicas, distribuição da vegetação, suscetibilidade à ação eólica na superfície e as porções da superfície que recebem radiação solar considerada ideal ou que provoquem saturação no desenvolvimento da vegetação, foram delimitados sete geoambientes na península Potter, sendo seis geoambientes nas áreas livres de gelo e o geoambiente da geleira Polar Club. Nas unidades geoambientais das áreas livres de gelo, são predominantes as feições geomorfológicas de terraços marinhos e morainas, a forma do terreno é convergente e côncava e a influência da suscetibilidade à ação eólica é pouca ou nenhuma. O mapeamento da península Potter por meio de unidades geoambientais possibilitou ampliar o conhecimento dos elementos superficiais que constituem esse ambiente.

ABSTRACT

ANDRADE, André Medeiros, MSc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fevereiro de 2012. **Delineation of geoenvironments in Potter Peninsula, King George Island (Maritime Antarctic) using COSMO-SkyMed and QuickBird data.**

Adviser: Jorge Arigony Neto

This study aims to define and characterize the geoenvironments of Potter Peninsula, King George Island, Antarctic Maritime, using remote sensing data from COSMO-SkyMed and QuickBird, and GIS techniques. At total, five images acquired by COSMO-SkyMed satellite, one QuickBird image and a digital elevation model from the ice-free area of Potter Peninsula were used. The pre-processing of the imagery consisted of radiometric calibration, geometric correction and, for SAR images, speckle filtering. By means of visual interpretation, analysis of backscattering values, and with the use of field data collected in February 2012, the glacier facies of Polar Club glacier, lakes and wet areas of Potter Peninsula were classified. The backscattering of the rock areas did not show significant differences to enable the segmentation of classes. By using a multicriteria approach considering the geomorphology, vegetation distribution, wind influence on the surface, and influence of the solar radiation on the vegetation, seven geoenvironments were identified in Potter Peninsula, six of them in the ice-free areas and one geoenvironment in the Club Polar glacier. In the geoenvironments of the ice-free areas, geomorphological features like marine terraces and moraines are predominant, the configuration of the terrain is convergent and concave, and the influence of wind intensity is small or does not exist. The mapping of geoenvironments in Potter Peninsula allowed the increase in the knowledge about the surface elements that constitute this environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1: Localização da Península Antártica no continente antártico, com destaque para a localização da Ilha Rei George. (B) Localização da península Potter na Ilha Rei George.....	24
Figura 1. 2: Paisagem com encostas íngremes ao longo das praias na península Potter.....	24
Figura 1. 3: Padrão do relevo suave nas áreas livres de gelo no interior da península Potter.....	25
Figura 1. 4: Localização das principais feições fisiográficas existentes na península Potter.....	26
Figura 2. 1: Série de temperaturas médias mensais da temperatura média diária do ar na superfície da península Potter durante o período de 1986 a 2011	28
Figura 2.2: Canal glaciofluvial no terraço marinho próximo da Ponta Stranger, na porção sul da península Potter..	30
Figura 3.1: Representação do processo de aquisição de dados de sensoriamento remoto	32
Figura 3.2: Representação da interação da radiação na superfície de uma geleira e um lago congelado	37
Figura 3.3: Zonas de neve e gelo detectadas por sensores radar e os valores de retroespalhamento característico de cada zona de radar na Península Antártica	38
Figura 3.4: Curvas de reflectância da água nos estados líquido, gasoso (nuvem) e sólido (neve)	42
Figura 3.5: Espectro de reflectância da vegetação verde e sadia	43
Figura 3.6: Ilustração da sequência topográfica e da distribuição da vegetação em um perfil na região de Ponta Stranger, península Potter.....	45
Figura 4. 1: Mapa com os cinco pontos demarcados para auxiliar na interpretação dos elementos superficiais no transcorrer das atividades de campo	49
Figura 4. 2: Percursos realizados durante o trabalho de campo na península Potter em fevereiro e dezembro de 2012.	50
Figura 4. 3: Mapa topográfico da península Potter.....	52
Figura 4. 4: Modelo Digital de Elevação da superfície livre de gelo da península Potter.	54

Figura 4. 5: Ilustração das formas da curvatura horizontal.....	54
Figura 4. 6: Representação da curvatura horizontal do terreno na península Potter ...	55
Figura 4. 7: Ilustração de vertentes analisadas em perfil com as configurações de curvatura vertical convexa, retilínea e côncava.....	56
Figura 4. 8: Representação da curvatura vertical do terreno na península Potter	57
Figura 4. 9: Ilustração dos tipos de formas do terreno a partir da combinação das curvaturas verticais e horizontais.....	58
Figura 4. 10: Forma do terreno das áreas livres de gelo da península Potter.	59
Figura 4. 11: Orientação das vertentes nas áreas livres de gelo da península Potter.	61
Figura 4. 12: Superfícies das áreas livres de gelo da península Potter que sofrem suscetibilidade à ação eólica	62
Figura 4. 13: Taxas de radiação solar global incidente na superfície livre de gelo da península Potter nas quatro estações do ano.	64
Figura 4. 14: Tempo de incidência da radiação solar global na superfície livre de gelo da península Potter durante a estação do verão.....	65
Figura 4. 15: Tempo de incidência da radiação solar global na superfície livre de gelo da península Potter durante a estação do inverno	66
Figura 4.16: Áreas propícias ao desenvolvimento de comunidades vegetais a partir da radiação solar incidente na superfície conforme o período do ano.....	69
Figura 4. 17: Espacialização das classes de vegetação classificadas de acordo com as áreas de PCL conforme o período do ano.	70
Figura 4. 18: Áreas da superfície que durante o verão apresentam saturação de radiação solar incidente para o desenvolvimento das comunidades vegetais.....	71
Figura 4. 19: Áreas da superfície que durante a primavera apresentam saturação de radiação solar incidente para o desenvolvimento das comunidades vegetais.....	72
Figura 4. 20: Distribuição das comunidades vegetais, dentro e fora das áreas de saturação à radiação solar incidente.....	73
Figura 4. 21: Acervo de imagens COSMO-SkyMed da península Potter utilizadas neste trabalho.....	76
Figura 4. 22: Rotina de processamento dos dados COSMO-SkyMed utilizados neste estudo.....	77
Figura 4. 23: Resultado da aplicação do filtro de mediana em uma imagem COSMO-SkyMed da península Potter	80
Figura 4. 24: Perfis utilizados para extrair os valores de retroespalhamento da superfície da península Potter a partir das imagens COSMO-SkyMed.	82
Figura 4. 25: Parte do lago Rudy e a representação do perfil A classificado de acordo com a classe da superfície B	83

Figura 4. 26: Extremo sul da península Potter com a região da Ponta Stranger ao fundo na superfície ao nível do mar.....	84
Figura 4. 27: Imagem QuickBird obtida em 06/01/2007, utilizada nesse estudo.....	85
Figura 4. 28: Locais onde houve coleta de amostras de vegetação.....	86
Figura 4. 29: Mapa de vegetação da península Potter.....	87
Figura 4. 30: Mapa de vegetação da península Potter após a eliminação das áreas menores que a área mínima mapeável.....	88
Figura 4. 31: Mapa de geomorfologia das áreas livres de gelo da península Potter....	88
Figura 5. 1: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil A nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.....	90
Figura 5. 2: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil B nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.....	90
Figura 5. 3: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil C nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.....	91
Figura 5. 4: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil B nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.....	91
Figura 5. 5: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil A, extraídos da imagem COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.....	92
Figura 5. 6: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil B extraídos da imagem COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.....	93
Figura 5. 7: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil C extraídos da COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.....	94
Figura 5. 8: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil D extraídos da imagem COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.....	94
Figura 5. 9: Retroespalhamento do perfil A extraído das COSMO-SkyMed obtidas em quatro datas distintas.....	95
Figura 5. 10: Retroespalhamento do perfil B extraído das COSMO-SkyMed obtidas em quatro datas distintas.....	96

Figura 5. 11: Retroespalhamento do perfil C extraído das COSMO-SkyMed em quatro datas distintas.....	97
Figura 5. 12: Retroespalhamento do perfil D extraído das COSMO-SkyMed em quatro datas distintas.....	98
Figura 5. 13: Zonas superficiais da península Potter classificadas a partir das imagens COSMO-SkyMed obtidas em 01/02/2011 com polarização HH e VV.....	102
Figura 5. 14: Zonas superficiais da península Potter classificadas a partir da imagem COSMO-SkyMed obtida em 29/12/2011 com polarização VV.....	103
Figura 5. 15: Zonas superficiais da península Potter classificadas a partir das imagens COSMO-SkyMed obtidas em 14 e 15/02/2012 com polarização HH e VV respectivamente.	103
Figura 5. 16: Comparação dos valores de retroespalhamento extraídos de duas imagens COSMO-SkyMed obtidas em 01/02/2011 e com polarização distinta.	105
Figura 5. 17: Comparação dos valores de retroespalhamento extraídos de imagens COSMO-SkyMed obtidas em 14 e 15/02/2012.	106
Figura 5. 18: Variação espaço-temporal da superfície da geleira Polar Club nas datas em que foram adquiridas as imagens deste estudo	111
Figura 5. 19: Série de temperaturas médias mensais do ar na superfície da península Potter durante o período de fevereiro de 2010 a fevereiro de 2012	112
Figura 5. 20: Série de temperaturas médias diárias do ar na superfície da península Potter durante o período de novembro de 2010 a fevereiro de 2011.	114
Figura 5. 21: Série de temperaturas médias diárias do ar na superfície da península Potter durante o período de novembro de 2011 a fevereiro de 2012	114
Figura 6. 1: Mapa das unidades geoambientais da península Potter.	116
Figura 6. 2: Configuração característica dos terraços marinhos, com a presença de comunidades vegetais	119
Figura 6. 3: Parte da superfície do geoambiente de cone de deposição de sedimento fluvial com vegetação esporádica com destaque para as morainas recentes	120
Figura 6. 4: Paisagem do geoambiente de terraços marinhos soerguidos com forte influência antrópica e apresentando parte da base Carlini.....	122
Figura 6. 5: Parte do geoambiente de terraços marinhos com alta biodiversidade de flora e onde está localizada a ponta Stranger.	123
Figura 6. 6: Paisagem característica do geoambiente de morainas basais com áreas livres de gelo recentes.....	125

Figura 6. 7: Ambiente característico do geoambiente de superfície com predominância de afloramento rochosos com a imagem do cone vulcânico Three Brothers e as superfícies de tálus com blocos e fragmentos de rochas 127

Figura 6. 8: Parte da geleira Polar Club 128

Figura A. 1: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 01/fev/2011-HH. 139

Figura A. 2: Figura A.2: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 29/dez/2011-VV..... 140

Figura A. 3: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 14/fev/2012-HH. 141

Figura A. 4: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 15/fev/2012-VV. 142

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Comprimentos de onda e frequências de RADAR utilizados em trabalhos de sensoriamento remoto por micro-ondas ativas.....	33
Tabela 3.2: Especificações da constelação de satélites COSMO-SkyMed	35
Tabela 3.3: Principais características do satélite QuickBird	41
Tabela 3.4: Características gerais das três vias de metabolismo e de fixação do CO ₂	46
Tabela 3.5: Valores de Ponto de Compensação à Luz e Ponto de Saturação em relação à radiação	47
Tabela 4. 1: Características gerais dos componentes da superfície da península Potter observados em fevereiro de 2012.....	51
Tabela 4. 2: Área de cada classe de curvatura horizontal nas áreas livres de gelo da península Potter.....	55
Tabela 4. 3: Área de cada classe de curvatura vertical nas áreas livres de gelo da península Potter.....	57
Tabela 4. 4: Variáveis morfométricas – Área de cada classe de forma do terreno nas áreas livres de gelo da península Potter.	60
Tabela 4. 5: Área resultante da intersecção da vegetação classificada com as áreas de ponto de compensação à luz (PCL) para as classes de musgos, líquens e algas talosas	68
Tabela 4. 6: Área resultante da intersecção da vegetação classificada com áreas de ponto de saturação à luz (PS) para as classes de musgos, líquens e algas talosas ...	74
Tabela 4. 7: Informações técnicas das imagens COSMO-SkyMed utilizadas neste trabalho.....	77
Tabela 5. 1: Classes de alvos superficiais existentes nas imagens COSMO-SkyMed e os respectivos valores estatísticos de retroespalhamento.....	100
Tabela 5. 2: Valores de retroespalhamento obtidos em diferentes estudos para a Zona de Radar de Gelo Exposto e a Zona de Radar de Neve Úmida na banda C e X a partir de dados SAR.....	101
Tabela 5. 3: Média e desvio-padrão do retroespalhamento extraídos de dois perfis nas imagens com polarização HH e VV de 01/02/2011.	107
Tabela 5. 4: Média e desvio-padrão do retroespalhamento extraídos de dois perfis nas imagens de 14 e 15/02/2012.....	107

Tabela 5. 5: Área de cada zona superficial da península Potter identificada nas imagens COSMO-SkyMed.....	108
Tabela 5. 6: Área de abrangência das zonas de radar de gelo exposto e de neve úmida em três datas distintas e em diferentes faixas de altimetria na geleira Polar Club.....	111
Tabela 6. 1: Caracterização geral dos geoambientes da península Potter.....	117
Tabela A. 1: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil A.	143
Tabela A. 2: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil B.	144
Tabela A. 3: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil C.....	145
Tabela A. 4: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil D.....	145
Tabela A. 5: Feições geomorfológicas presentes na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.	146
Tabela A. 6: Diferentes configurações da forma do terreno presentes na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.	147
Tabela A. 7: Comunidades vegetais presentes na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.	148
Tabela A. 8: Intensidade e direção dos ventos na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.	149
Tabela A. 9: Área superficial que apresenta valores de radiação solar incidente referente às áreas de pontos de compensação à luz.....	150
Tabela A. 10: Área superficial que apresenta valores de radiação solar incidente referente às áreas de pontos de saturação à luz.	150

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	Micrômetro
AMM	Área Mínima Mapeável
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
Cm	Centímetros
COSMO-SkyMed	Constellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation
ESA	European Space Agency
GPS	Global Positioning System
Km	Quilômetros
Maxver	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
OPERANTAR	Operação Antártica Brasileira
PAN	Panchromatic
PCL	Ponto de Compensação à Luz
PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
PS	Ponto de Saturação
RADAR	Radio Detection And Ranging
SAR	Syntethic Aperture Radar
SCAR	Scientific Committee on Antarctic Research
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZRGE	Zona de Radar de Gelo Exposto
ZRNS	Zona de Radar de Neve Seca
ZRNU	Zona de Radar de Neve Úmida
ZRPC	Zona de Radar de Percolação Congelada

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: Introdução

1.1.	Apresentação	21
1.2.	Contexto científico	21
1.3.	Objetivos	23
1.4.	Caracterização da área de estudo.....	23

CAPÍTULO 2: Ilha Rei George e Antártica Marítima

2.1.	Introdução	27
2.2.	Contexto climático	27
2.3.	Ambiente periglacial	29

CAPÍTULO 3: Sensoriamento remoto e geoambientes

3.1.	Introdução	31
3.2.	Sensoriamento remoto	31
3.3.	Sistema SAR – plataforma e especificações	32
3.3.1.	Sensoriamento remoto de micro-ondas ativas – superfícies de neve e gelo	36
3.3.2.	Sensoriamento remoto de micro-ondas ativas – áreas livres de gelo	39
3.4.	Sensor óptico – plataforma e especificações	40
3.4.1.	Sensores ópticos – superfícies de neve e gelo.....	41
3.4.2.	Sensores ópticos – Áreas livres de gelo.....	42
3.5.	Geoambientes.....	43
3.5.1.	Relação entre a distribuição espacial da vegetação e a radiação solar	45

CAPÍTULO 4: Métodos

4.1.	Introdução	48
4.2.	Levantamento de dados em campo.....	48
4.3.	Modelagem digital das variáveis morfométricas do terreno	52
4.3.1.	Digitalização das curvas de nível.....	52
4.3.2.	Elaboração do Modelo digital de elevação.....	53

4.3.3.	Curvatura horizontal	54
4.3.4.	Curvatura vertical.....	56
4.3.5.	Modelagem da forma do terreno e da orientação da vertente	57
4.4.	Estimativa da radiação solar incidente na superfície	62
4.4.1.	Influência da radiação solar na distribuição superficial da vegetação ..	65
4.5.	Processamento das imagens COSMO-SkyMed	75
4.5.1.	Calibração radiométrica e correção geométrica.....	78
4.5.2.	Filtragem do speckle.....	79
4.5.3.	Valores de retroespalhamento dos diferentes alvos na península Potter...	81
4.6.	Interpretação a partir da imagem QuickBird e edição dos dados de vegetação e geomorfologia	84

CAPÍTULO 5: Caracterização e delimitação das zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas da península Potter a partir de dados SAR

5.1.	Introdução	89
5.2.	Caracterização do retroespalhamento SAR na banda X em zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas	89
5.3.	Delimitação das zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas a partir dos dados SAR.....	101

CAPÍTULO 6: Delimitação de geoambientes da península Potter

6.1.	Introdução	115
6.2.	Unidades geoambientais	115
6.2.1.	Terraços marinhos	118
6.2.2.	Cone de deposição de sedimento fluvial com vegetação esporádica	119
6.2.3.	Terraços marinhos soerguidos com forte influência antrópica	121
6.2.4.	Terraço marinho com alta biodiversidade de flora	122
6.2.5.	Morainas basais com áreas livres de gelo recente	124
6.2.6.	Superfície com predominância de afloramento rochosos.....	125
6.2.7.	Geleira Polar Club	127

CAPÍTULO 7: Considerações finais

7.1. Conclusões 129

7.2. Recomendações para futuros trabalhos 130

Referências bibliográficas 131

ANEXOS 138

CAPÍTULO 1: Introdução

1.1. Apresentação

Esta dissertação analisou diferentes elementos que constituem a superfície da península Potter com o objetivo de ampliar o conhecimento e as informações disponíveis acerca deste local.

A estrutura deste estudo é dividida em sete capítulos, que apresentam todas as etapas sucedidas até a obtenção e análise dos resultados. O primeiro capítulo possui caráter introdutório, apresentando o tema e a área onde foi desenvolvido o estudo, bem como os objetivos propostos. O segundo capítulo se ocupa da descrição das características ambientais da Ilha Rei George, enfatizando os atributos relacionados ao clima, geomorfologia e flora. O terceiro capítulo discute o sensoriamento remoto e suas potencialidades nos estudos de unidades geoambientais, enfatizando os dados orbitais provenientes de radar e de sensor óptico. O capítulo quatro descreve os métodos empregados no estudo e os capítulos cinco e seis expõem os resultados alcançados na delimitação de zonas superficiais na península Potter, a partir de dados provenientes de radar, e a delimitação dos geoambientes respectivamente. Finalmente, o sétimo capítulo tece as conclusões e recomendações para estudos futuros neste tema.

1.2. Contexto científico

No planeta Terra, a neve e o gelo estão entre as feições superficiais mais dinâmicas e transitórias. Estes elementos, que configuram os ambientes glaciais, exercem intensa influência no clima local e global, afetando também os regimes oceânicos. O termo criosfera é utilizado para descrever toda neve e gelo existente na superfície terrestre e os seus principais componentes são: cobertura de neve, lagos e rios congelados, gelo marinho, geleiras de altitude, mantos de gelo e o permafrost (SIMÕES, 2004).

O ambiente antártico, em particular, é um local inóspito e tem recebido muita atenção da comunidade científica em virtude de sua importância para o planeta, decorrente principalmente das mudanças climáticas. Segundo Bockheim e Hall (2002), em toda a região da Antártica, menos de 1% (55.000 km²) de sua área é livre de gelo, e da área total livre de gelo aproximadamente 14% (8.000 km²) está situada na Península Antártica e suas ilhas. Em função do isolamento geográfico dessa região e

das condições climáticas extremas, torna-se difícil a realização de pesquisas *in loco*, principalmente devido à complexa logística e aos altos custos financeiros para a efetivação de expedições científicas.

Na superfície terrestre coexistem diversos elementos como a vegetação, hidrografia, forma do terreno e tipo de solo. Em geral, a análise destes elementos é feita através da abordagem individualizada dos constituintes da superfície. Entretanto, estas informações podem ser analisadas em conjunto a partir de um método que estruture e avalie os elementos de uma superfície através da similaridade e correlação entre estes, possibilitando o agrupamento destes conjuntos de informações em unidades de geoambientes (DIAS *et al*, 2002), gerando informações importantes que podem auxiliar nas atividades de gestão e decisão do uso e ocupação da superfície terrestre (COOPER e MURRAY, 1992).

O sensoriamento remoto, através dos dados gerados por sensores passivos e ativos, é uma ferramenta fundamental para a caracterização e compreensão dos geoambientes antárticos, devido à capacidade de trabalhar simultaneamente com diferentes informações espaciais (FRANCELINO *et al*, 2004; SCHAEFER *et al*, 2007). O sensoriamento remoto por radares de abertura sintética, em particular, é uma importante ferramenta devido à capacidade de coletar dados em condições meteorológicas em que a maior parte dos sensores passivos não são capazes, possibilitando a obtenção de dados em qualquer horário, independente da configuração da cobertura de nuvens. Além disso, sensores radar geram informações referentes à rugosidade superficial, propriedades dielétricas e teor de umidade dos alvos (JENSEN, 2009), podendo ser aplicados no estudo da dinâmica do permafrost (KÄÄB, 2008), mapeamento de feições geomorfológicas periglaciais (MASSON, 1991; KOCH *et al.*, 2008; FRICKER *et al*, 2010), classificação da cobertura superficial (ALBRIGHT *et al*, 1998), monitoramento da dinâmica temporal da cobertura de neve e gelo (RAU *et al*, 2000) e classificação de zonas de neve de radar (RAU *et al*, 2000; LIU *et al*, 2006; ARIGONY-NETO *et al*, 2007; ARIGONY-NETO *et al*, 2009).

Estudos voltados para o mapeamento de geoambientes Antárticos ainda são escassos, principalmente em decorrência da ausência de dados cartográficos e imagens orbitais de alta resolução que possibilitem a elaboração de estudos com escalas adequadas (SCHAEFER *et al*, 2007). Com o intuito de ampliar o conjunto de dados cartográficos e informações referentes à superfície da Ilha Rei George, os resultados deste estudo serão integrados aos de Arigony-Neto (2001), Francelino (2004), Santana (2006), Bremer (2008), Poelking (2011) e Michel (2011). Neste contexto, análises nos componentes da superfície utilizando a variável geoambiental possibilitará delimitar e quantificar as variações espaço-temporais nos elementos que

constituem a superfície da península Potter, viabilizando o desenvolvimento de análises em conjunto com dados espaciais e cartográficos de diversas fontes.

1.3. Objetivos

O objetivo geral deste estudo é delimitar e caracterizar os geoambientes da península Potter, Ilha Rei George, Antártica Marítima (Figura 1.1), utilizando dados de sensoriamento remoto provenientes do radar COSMO-SkyMed e do satélite QuickBird.

Os objetivos específicos deste estudo visam:

- Determinar as características e os valores de retroespalhamento na banda X dos diferentes alvos superficiais presentes na península Potter;
- Delimitar as zonas superficiais das áreas livres de gelo e da geleira Polar Club através dos valores de retroespalhamento e interpretação visual das imagens COSMO-SkyMed;
- Caracterizar a forma do terreno e a orientação das vertentes;
- Analisar a influência da radiação solar na distribuição superficial da vegetação; e
- Realizar o zoneamento ambiental da superfície da península Potter a partir de geoambientes, servindo de auxílio para atividades de pesquisa, gestão e monitoramento ambiental da península Potter.

1.4. Caracterização da área de estudo

A península Potter está localizada na Ilha Rei George, arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, na Antártica Marítima, entre o estreito de Bransfield e a passagem de Drake, entre as latitudes 62°13,5' e 62°16' sul e longitudes 58°42' e 58°33' oeste (Figura 1.1). Nessa península, está instalada desde 1953 a base científica Carlini (antiga base Jubany) que pertence à Argentina. A península possui uma expressiva área livre de gelo durante o período de verão com extensão leste-oeste de 6 km e extensão norte-sul de 3,5 km, com área de aproximadamente 7,13 km² e a frente da geleira Polar Club em franco processo de retração (BRAUN e GOßMANN, 2002). Através da cooperação entre o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) e o Instituto Antártico Argentino foi possível utilizar o apoio logístico e a estrutura física da base Carlini como suporte para o desenvolvimento dos trabalhos de campo durante a expedição científica em fevereiro de 2012.

A península Potter revela características bem marcadas de clima periglacial na sua zona litorânea, com ventos fortes vindos do leste e oeste, podendo alcançar velocidade superior a 100 km/h (VARELA, 1998). Durante o verão austral, como resultado do aumento da temperatura, ocorre um intenso processo de derretimento da neve acumulada durante o inverno, acarretando na saturação do solo e induzindo a um processo de hidromorfismo temporário (FRANCELINO *et al*, 2004).

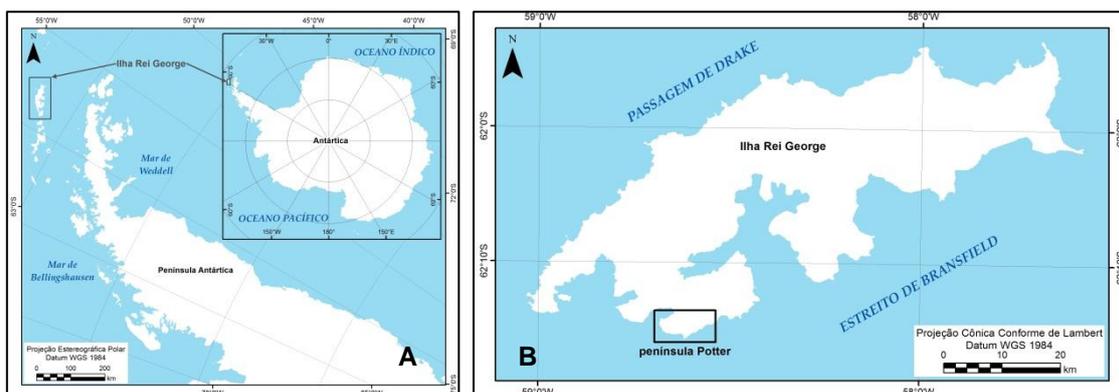


Figura 1. 1: (A) Localização da Península Antártica no continente antártico, com destaque para a localização da Ilha Rei George. (B) Localização da península Potter na Ilha Rei George.

A morfologia da península Potter é caracterizada pela predominância de planaltos crioplanados, encostas íngremes ao longo das praias (Figura 1.2) e relevo suave no interior (Figura 1.3). Os valores de altimetria variam desde o nível do mar até aproximadamente 195 m de altitude no ponto mais alto do cone vulcânico denominado Three Brothers. Assim como os demais sistemas glaciais da região, a geleira Polar Club apresenta uma tendência de retrocesso durante os últimos 50 anos (DEL VALLE *et al*, 2004; ANDRADE *et al*, 2011).

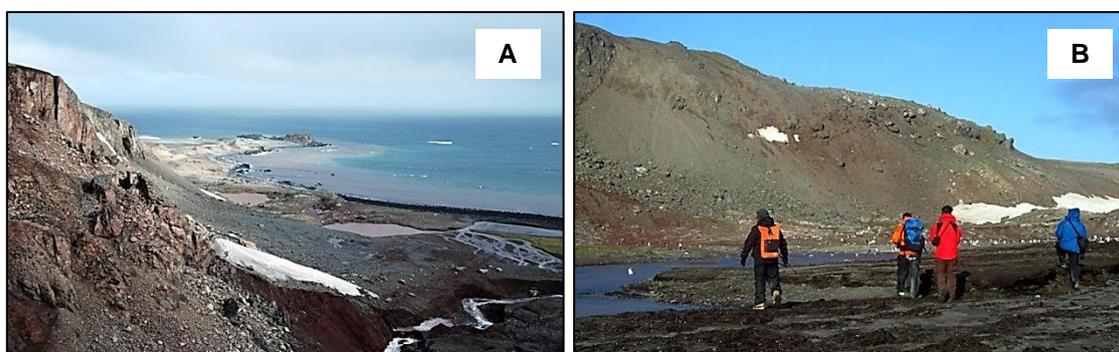


Figura 1. 2: Encostas íngremes ao longo das praias na península Potter em que (A) é a visão da porção da superfície em direção à Ponta Stranger e o Estreito de Bransfield. (B) mostra a visão da encosta íngreme em uma superfície ao nível do mar (Fotografias do autor obtidas em fevereiro de 2012).

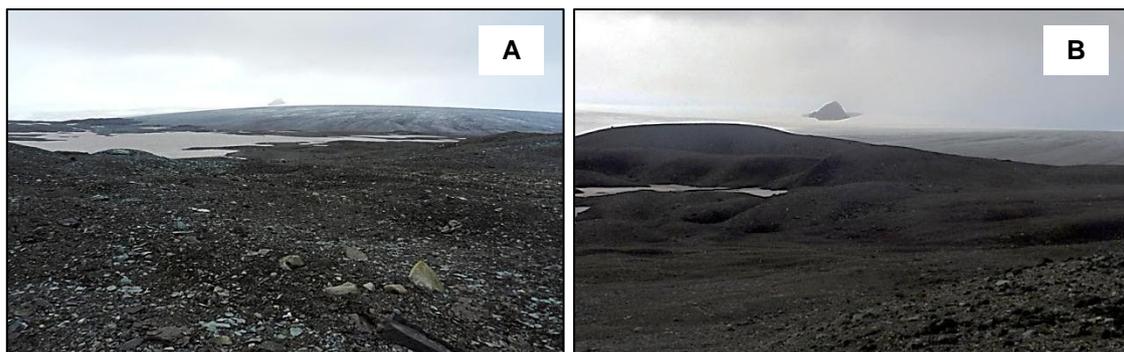


Figura 1. 3: Padrão do relevo suave nas áreas livres de gelo no interior da península Potter. Em (A) é possível visualizar parte do lago superior e logo após a geleira Polar Club. Em (B) o relevo com presença de morainas e após a geleira Polar Club. Destaca-se a visualização do nunatak Florence circundado pela geleira (Fotografias do autor obtidas em fevereiro de 2012).

A vegetação da península Potter apresenta o padrão de distribuição característico da região da Antártica Marítima, sendo composta por espécies características do clima de tundra, com briófitas, cianobactérias, duas espécies de gramíneas, *Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis* e com predominância de líquens (POELKING, 2011).

No interior da península Potter existem lagos de água doce compondo a rede de drenagem superficial. Os dois principais lagos da península possuem o nome de lago Rudy e lago Superior. De acordo com Del Valle *et al.* (2004), estes lagos foram formados entre morainas neoglaciais, tendo surgido o lago Rudy a aproximadamente 500 anos e o lago Superior no decorrer da década de 1950, com ampla expansão entre os anos 1981 e 1985. A área superficial do lago Rudy é de 88.000 m², enquanto o lago Superior, apesar de existir a pouco mais de 50 anos apresenta uma área superficial aproximadamente duas vezes maior, com 210.000 m². A Figura 1.4 exhibe a localização das principais feições fisiográficas existentes na península Potter.

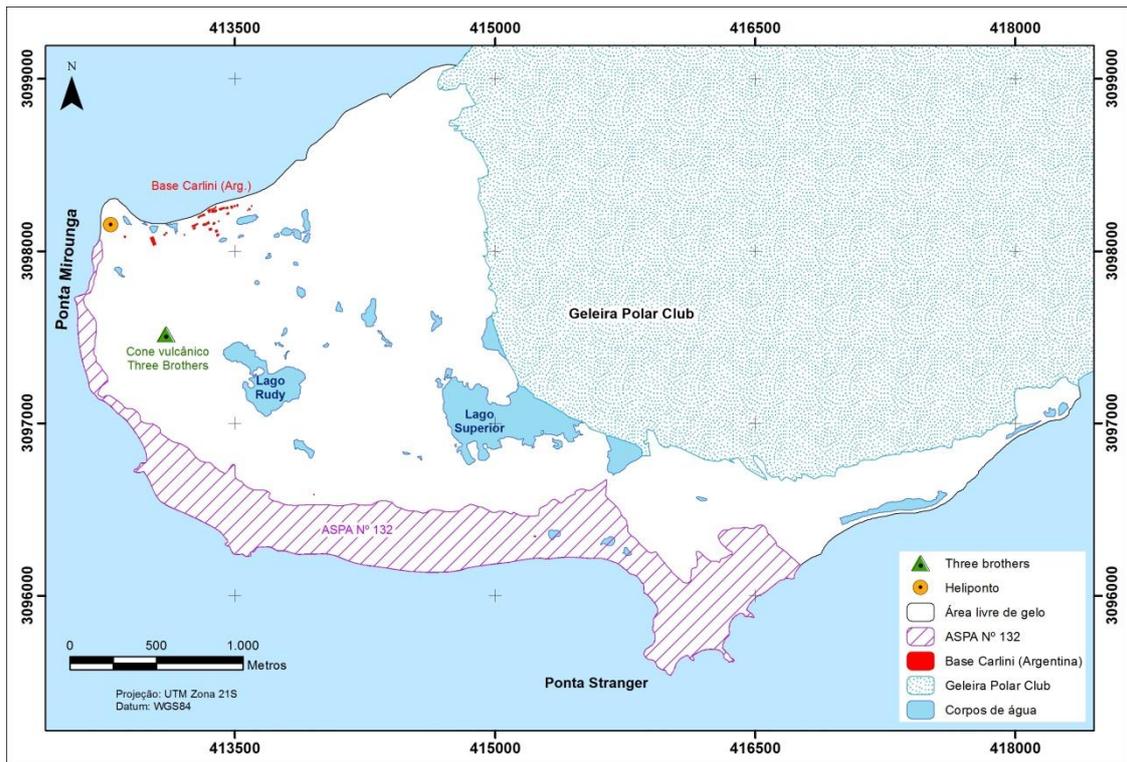


Figura 1. 4: Localização das principais feições fisiográficas existentes na península Potter.

CAPÍTULO 2: Ilha Rei George e Antártica Marítima

2.1. Introdução

A região da Antártica é dividida nos domínios da Antártica Continental, da Península Antártica e da Antártica Marítima (ØVSTEDAL e SMITH, 2001). O arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, ao qual a Ilha Rei George pertence, faz parte da Antártica Marítima, estando localizado a noroeste da Península Antártica.

Este capítulo tem o objetivo de apresentar informações referentes à Ilha Rei George e a Antártica Marítima, expondo as principais características climáticas da geomorfologia periglacial da região onde o estudo foi desenvolvido.

2.2. Contexto climático

O bioma antártico pode ser dividido biogeograficamente em zonas que correspondem a diferentes regiões climáticas, dentre elas a região da Antártica Marítima (ØVSTEDAL e SMITH, 2001). A Antártica Marítima engloba toda a porção oeste da Península Antártica e os arquipélagos das Sandwich e Shetland do Sul. O arquipélago das Shetland do Sul é compreendido por 29 ilhas, entre elas a Ilha Rei George (HALL, 2002).

De acordo com Øvstedal e Smith (2001), a região da Antártica Marítima é caracterizada por um clima marítimo, frio e úmido, apresentando temperaturas médias mensais maiores que 0°C durante o período de verão e durante o inverno raramente atingindo valores menores que -12°C. A precipitação média anual nessa região varia entre 350 e 500 mm, havendo maior concentração durante o verão. Considerando a classificação climática de Köppen, as regiões polares são divididas em dois domínios climáticos: o EF e o ET. O domínio EF é caracterizado por temperaturas médias mensais sempre negativas, enquanto no domínio ET ocorre pelo menos um mês no ano com temperatura média positiva, porém menor que 10°C (FERREIRA, 1991). A Ilha Rei George, por exemplo, possui temperatura média anual de -2,8°C, variando de -1,3° a 2,7°C durante o verão e de -15,5° a -1,0°C durante o inverno (FERRON *et al*, 2004). A existência e desenvolvimento de espécies vegetais na região da Antártica Marítima só é possível devido a estas condições climáticas.

Segundo Bremer (2008), em decorrência de sua localização na região de Baixa Pressão Circumpolar Antártica, o clima da Ilha Rei George é fortemente influenciado pela passagem de contínuos sistemas de ciclones, originados no oceano

pacífico. Os fortes ventos que transportam o ar relativamente quente e úmido do oeste são decorrentes destes sistemas, resultando em precipitações líquidas durante o período do verão.

A partir de dados meteorológicos coletados pela estação meteorológica permanente da base Carlini, foi gerada a série de dados de temperaturas médias mensais da temperatura média do ar na superfície da península Potter durante o período de 1986 a 2011 (Figura 2.1). É possível notar um padrão de oscilação ao longo de toda essa série, entretanto, apontando para a tendência de aquecimento na temperatura do ar.

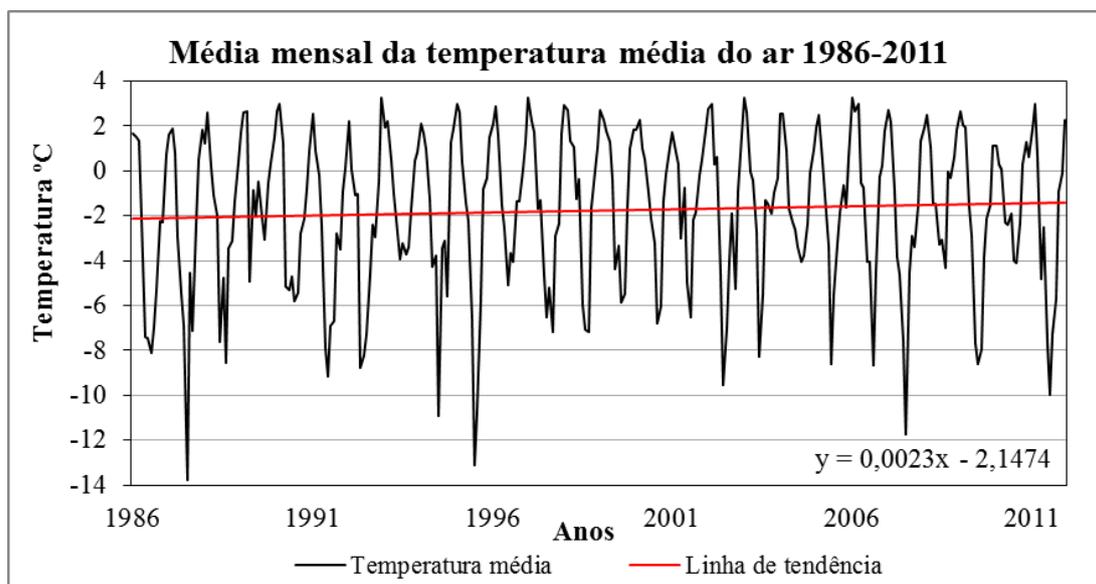


Figura 2. 1: Série de temperaturas médias mensais da temperatura média diária do ar na superfície da península Potter durante o período de 1986 a 2011 (Fonte: Andrade *et al*, 2012).

O ambiente antártico tem passado por mudanças, Cook *et al.* (2005) afirmam que estas variações são decorrentes de diferentes causas, incluindo a alteração climática, aumento da precipitação e elevação da temperatura do oceano, tendo sido registrado na Península Antártica desde 1950 um aumento de 2,5°C na temperatura da atmosfera superficial (COOK *et al*, 2005; TURNER *et al*, 2005). Estas variações interferem nas camadas marginais das geleiras, resultando no recuo de geleiras e plataformas de gelo, principalmente a partir da metade do século 20. Em decorrência da temperatura média nesta região, as geleiras da Antártica Marítima possuem a massa de gelo próxima do ponto de fusão e o derretimento das geleiras resulta no aumento das áreas livres de gelo, podendo transformar os ecossistemas terrestres e alterar a dinâmica do permafrost (BREMER, 2011).

2.3. Ambiente periglacial

Segundo French (2007), no ambiente periglacial ocorre predominância dos processos de intemperismo relacionados à ação do gelo e pela presença de permafrost. Esse ambiente engloba regiões localizadas em altas altitudes e/ou altas latitudes, estimando-se que na atualidade aproximadamente 25% da superfície terrestre possui conformação periglacial. Em ambientes periglaciais é comum o intenso congelamento durante o inverno e o descongelamento durante o verão, originando superfícies livres de gelo.

Nestes ambientes, devido aos longos períodos de inverno intercalados com verões amenos, ocorre o congelamento de uma camada do solo que não degela por completo durante os meses do verão. Esta camada congelada, denominada permafrost, segundo Vieira *et al.* (2010) é considerada um elemento fundamental no controle da dinâmica dos ecossistemas terrestres da Antártica. O permafrost é classificado como um solo que permanece com a temperatura abaixo de 0°C por no mínimo dois anos, sendo muito sensível às mudanças climáticas (HARRIS *et al.*, 2009). De acordo com Vieira *et al.* (2010), aproximadamente 0,36% da região da Antártica possui permafrost.

O ambiente da Antártica Marítima possui um ecossistema dinâmico com a existência de permafrost, gelo e neve superficial, sistemas glaciais e diversos tipos de feições geomorfológicas. Segundo Koch (2008), as feições periglaciais estão relacionadas ao clima regional e ao albedo superficial.

Bremer (2008) considera que na região das Ilhas Shetland do Sul, as áreas livres de gelo são compostas por terrenos jovens, provenientes de rochas vulcânicas e drenadas por canais intermitentes. A morfodinâmica destas áreas está associada aos processos físicos e químicos decorridos do derretimento da neve e do gelo.

A região noroeste da Península Antártica está localizada na posição climática próxima ao limite setentrional do permafrost antártico, onde pequenos incrementos da temperatura podem acarretar alterações nos ambientes com áreas livres de gelo (VIEIRA *et al.*, 2010).

Durante o inverno e início da primavera é o período em que a precipitação de neve é mais intensa nessa região. Na Antártica Marítima, durante a estação do verão ocorre o aumento da temperatura do ar e o conseqüente derretimento da neve, que em conjunto com a água proveniente da precipitação pluvial e do degelo do permafrost, irão formar os diversos canais glaciofluviais na península Potter (Figura 2.2).

Os canais glaciofluviais, comuns durante o verão nas áreas livres de gelo da Antártica Marítima, são descritos na península Warszawa por Bremer (2008), exibindo as características destes fluxos de drenagem e destacando a capacidade deste evento em modelar a geomorfologia periglacial em vales com formato em “V”. Este padrão descrito para a península Warszawa é semelhante ao sistema de drenagem registrado na península Potter no mês de fevereiro de 2012, apresentado na Figura 2.2, sendo possível observar o processo de remodelagem do relevo em toda a extensão do trajeto do curso hídrico.



Figura 2.2: Canal glaciofluvial no terraço marinho próximo da Ponta Stranger, na porção sul da península Potter. O sentido de escoamento deste canal é do ponto A para o ponto B (Fotografias do autor obtidas em fevereiro de 2012).

CAPÍTULO 3: Sensoriamento remoto e geoambientes

3.1. Introdução

A Antártica é considerada uma área primordial para o clima do planeta, permanecendo como o continente com menos impactos antrópicos (GUGLIELMIN, 2012). O sensoriamento remoto, através dos dados gerados por sensores ativos e passivos, fornece ferramentas essenciais para a caracterização dos geoambientes, devido à sua capacidade de obter com um conjunto de diferentes informações espaciais e temporais (FRANCELINO *et al*, 2004; SCHAEFER *et al*, 2007).

O objetivo deste capítulo é apresentar as principais propriedades do sensoriamento remoto e suas potencialidades para abordagens e estudos em ambientes polares, com enfoque na análise dos componentes do ambiente a partir da concepção de geoambientes.

3.2. Sensoriamento remoto

No sensoriamento remoto orbital, a energia proveniente da superfície terrestre é mensurada através de um sensor a bordo de um satélite. Esta energia medida é utilizada para gerar imagens da superfície, possibilitando a obtenção de dados sem a necessidade do contato físico entre o analista e o alvo existente na imagem (RICHARDS e JIA, 2006). A Figura 3.1 sintetiza o procedimento de gerar dados de sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para monitoramento de ambientes inóspitos, perigosos e de difícil acesso, possibilitando a obtenção de dados contínuos de extensas regiões, o que não seria possível de realizar espacialmente e temporalmente em medidas *in situ* (LUBIN e MASSOM, 2006). De modo geral, os sistemas satelitais não são projetados para fins específicos de pesquisa em regiões polares ou subpolares. Entretanto, é possível utilizar os dados de satélites que possuem a órbita polar.

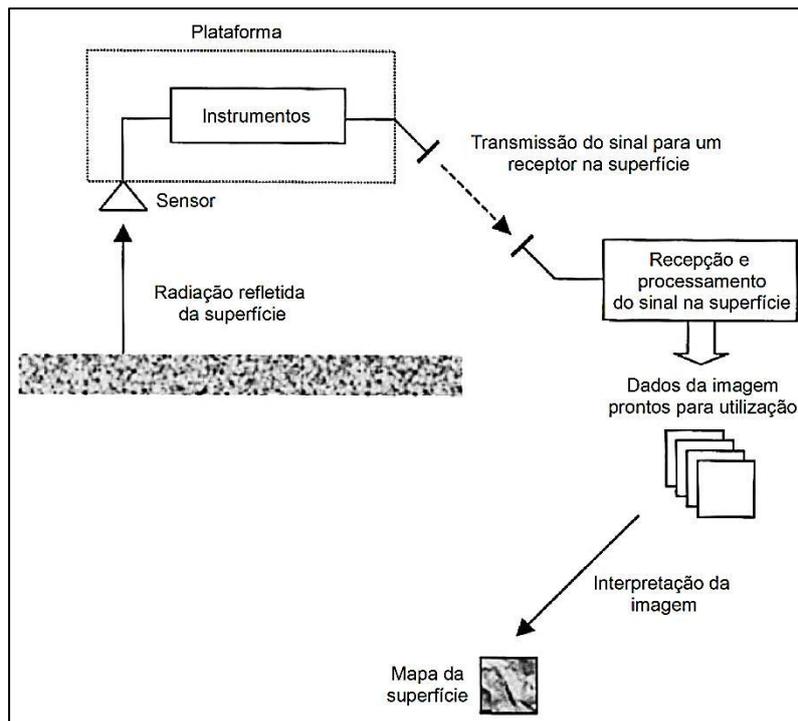


Figura 3.1: Representação do processo de aquisição de dados de sensoriamento remoto (Adaptado de Richards e Jia, 2006).

Estudos utilizando o sensoriamento remoto em regiões polares incluem o mapeamento de feições relacionadas à geomorfologia periglacial (FRANCELINO *et al*, 2004; GROSSE *et al*, 2005; KOCH *et al*, 2008; ULRICH *et al*, 2009; FISCHER *et al*, 2011), análises da distribuição espacial do permafrost (KÄÄB, 2008; KOCH *et al*, 2008; PANDA *et al*, 2010) e monitoramento da dinâmica de geleiras e da neve e gelo superficial (RAU *et al*, 2000; BREMER *et al*, 2004; LIU, 2006; ARIGONY-NETO *et al*, 2007; ARIGONY-NETO *et al*, 2009), entre outros.

3.3. Sistema SAR – plataforma e especificações

A maior parte dos sistemas passivos de sensoriamento remoto registram a energia eletromagnética proveniente do Sol refletida ou emitida pela superfície. Os sistemas ativos de sensoriamento remoto independem da energia eletromagnética proveniente do Sol ou das propriedades térmicas da Terra, sendo capazes de gerar a própria energia eletromagnética, possibilitando a obtenção de informações em qualquer horário (JENSEN, 2009).

O processo de obtenção de dados através de um radar é composto por três etapas principais. Inicialmente, o sensor emite a energia eletromagnética na faixa das micro-ondas em direção à superfície, que ao atravessar a atmosfera é pouco afetada

mesmo com a presença de nuvens. Posteriormente, esta energia eletromagnética interage com a superfície, resultando no retroespalhamento e finalmente sendo registrada pelo receptor do sensor (JENSEN, 2009). A Tabela 3.1 contém as informações referentes aos comprimentos de onda das principais bandas dos radares imageadores.

O sensoriamento remoto por radar obteve o principal avanço após o desenvolvimento do sistema de radar com abertura sintética (*synthetic aperture radar* - SAR). O sistema SAR simula através da sintetização eletrônica uma antena de tamanho muito grande, ampliando a capacidade de extrair informações da superfície (JENSEN, 2009).

Os dados obtidos por um sensor de radar são incapazes de detectar informações espectrais ou termais. As informações superficiais captadas pelo radar são de rugosidade e condutividade elétrica, sendo este atributo relacionado ao teor de umidade do solo (MATHER, 2004).

Tabela 3.1: Comprimentos de onda e frequências de RADAR utilizados em trabalhos de sensoriamento remoto por micro-ondas ativas (Adaptado de Jensen, 2009).

Bandas do radar	Comprimento de onda (cm)	Frequência (GHz)
K_a (0,86 cm)	0,75 - 1,18	40 - 26,5
K	1,19 - 1,67	26,5 - 18
K_u	1,67 - 2,4	18 - 12,5
X (3,0 e 3,2 cm)	2,4 - 3,8	12,5 - 8
C (7,5; 6,0 cm)	3,9 - 7,5	8 - 4
S (8,0; 9,6; 12,6 cm)	7,5 - 15	4 - 2
L (23,5; 24,0; 5,0 cm)	15 - 30	2 - 1
P (68,0 cm)	30 - 100	1 - 0,3

A nomenclatura associada aos comprimentos de onda do radar difere da nomenclatura adotada nos dados de sensores passivos. De acordo com Jensen (2009), as antenas de radar enviam e recebem a energia de comprimentos de onda muito longas e são medidas em centímetros (cm), sendo as bandas do radar mensuradas em unidades de frequência em gigahertz (GHz).

Segundo Richards e Jia (2006), a polarização é a orientação do vetor do campo elétrico em forma de ondas que é transmitido e posteriormente recebido. A propagação da energia eletromagnética utilizada pelo radar é feita a partir de uma onda que possui os vetores de campo elétrico e magnético, perpendiculares à direção

de propagação. Quando o vetor do campo elétrico é paralelo à superfície terrestre, propagando em direção x , a onda é polarizada horizontalmente (H), enquanto os vetores do campo elétrico verticais à superfície, propagando em direção y são polarizados verticalmente (V).

A partir de dados provenientes do satélite ALOS PALSAR e do sensor ETM+, Koch *et al.* (2008) analisaram as feições glaciais e periglaciais na Ilha Livingston, obtendo resultados que corroboram a importância do radar orbital na identificação e interpretação de diferentes superfícies de ambientes periglaciais. Na Península Antártica, estudos foram desenvolvidos utilizando dados SAR com o intuito de monitorar a dinâmica espacial e temporal da neve e gelo (RAU *et al.*, 2000; LIU *et al.*, 2006; ARIGONY-NETO *et al.*, 2007; ARIGONY-NETO *et al.*, 2009). Em um trabalho semelhante, Rau *et al.* (2000) utilizaram dados ERS-1, ERS-2 e RADARSAT, operando na banda C, para monitorar a cobertura de neve e gelo na Península Antártica, propondo a classificação de zonas superficiais de radar de neve e gelo.

O satélite COSMO-SkyMed (*Constellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation*) é o primeiro produto do Programa Espacial Italiano gerado pela Agência Espacial Italiana (*Agenzia Spaziale Italiana* - ASI) e o Ministério da Defesa Italiano para fins de observação terrestre (BATTAZZA *et al.*, 2009). O sistema é composto por uma constelação de quatro satélites de médio porte, com o primeiro lançamento tendo ocorrido em junho de 2007 e o último em novembro de 2010. De acordo com ASI (2007), o tempo previsto para o término de operação dos satélites é de cinco anos. As principais informações técnicas referentes ao satélite COSMO-SkyMed são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Especificações da constelação de satélites COSMO-SkyMed (Adaptado de ASI, 2007).

	COSMO 1 - Jun. 2007
	COSMO 2 - Dez. 2007
	COSMO 3 - Out. 2008
	COSMO 4 - Nov. 2010
Data de lançamento	
Fim de operação	5 anos
Banda (comprimento de onda)	X (3 cm)
Ângulo incidente	20° - 60°
Altitude da órbita (km)	514
Inclinação	97,86°
Resolução temporal (dias)	16
Modos de aquisição	
SpotLight	Resolução espacial (m): 1
	Resolução em range (m): ≤ 1
	Resolução em azimute (m): ≤ 1
	Área imageada (km): 10x10
	Polarização: HH ou VV
Stripmap (Himage)	Resolução espacial (m): 5
	Resolução em range (m): ≤ 5
	Resolução em azimute (m): ≤ 5
	Área imageada (km): 40x40
	Polarização: HH, ou HV, ou VH, ou VV
Polarimetric (PingPong)	Resolução espacial (m): 20
	Resolução em range (m): ≤ 20
	Resolução em azimute (m): ≤ 20
	Área imageada (km): 30x30
	Polarização: Imagens co-polarizadas HH, HV, ou HH, HV ou VV, VH
ScanSAR (WideRegion)	Resolução espacial (m): 30
	Resolução em range (m): ≤ 30
	Resolução em azimute (m): ≤ 30
	Área imageada (km): 100x100
	Polarização: HH, ou HV, ou VH, ou VV
ScanSAR (HudeRegion)	Resolução espacial (m): 100
	Resolução em range (m): ≤ 100
	Resolução em azimute (m): ≤ 100
	Área imageada (km): 200x200
	Polarização: HH, ou HV, ou VH, ou VV

Os dados gerados pelo satélite COSMO-SkyMed ainda são pouco utilizados em estudos voltados para regiões polares. Em 2012, na *Open Science Conference* da XXXII Reunião do *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR), principal evento relacionado a pesquisas Antárticas, o único trabalho contido nos anais do evento utilizando dados COSMO-SkyMed foi o de Arigony-Neto *et al* (2012), que analisaram a distribuição espacial e as características relacionadas à acumulação de neve na geleira Union. Outro exemplo de uso de dados COSMO-SkyMed é de Parmiggiani *et al.* (2009), que detectaram icebergs na região antártica.

Jensen (2009) destaca que determinados parâmetros ambientais possuem a capacidade de interferir na intensidade do retroespalhamento do radar, dentre estes se destacam a rugosidade superficial, as características dielétricas do alvo e teor de umidade presente nos alvos.

3.3.1. Sensoriamento remoto de micro-ondas ativas – superfícies de neve e gelo

A constante dielétrica é a característica elétrica de um material, alusiva à sua capacidade de conduzir energia elétrica, importante atributo, possibilitando que seja mensurado e mapeado as áreas com diferentes teores de umidade na superfície (JENSEN, 2009). Segundo Massom (1991), a profundidade de penetração de uma onda com frequência de 6 GHz no gelo puro é de 1 a 2 m. Todavia, o sinal que retorna do gelo glacial tende a ser dominado pelo espalhamento superficial e a intensidade dependerá da rugosidade do gelo e do comprimento de onda. A profundidade de penetração de ondas eletromagnéticas de 10 GHz a 40 GHz na neve apresenta variação de 10 m a 1 m. A Figura 3.2 ilustra a forma como ocorre a interação entre a energia eletromagnética proveniente do radar com diferentes coberturas superficiais de gelo.

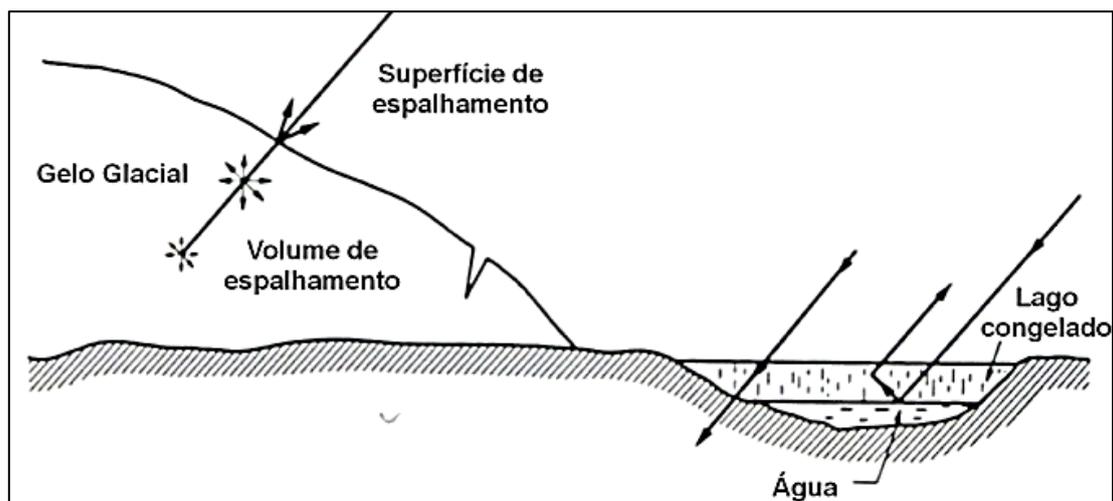


Figura 3.2: Representação da interação da radiação na superfície de uma geleira e um lago congelado (Adaptado de Massom 1991).

Os sistemas SAR são capazes de identificar diferentes características na superfície de geleiras. Em relação a neve, a resposta espectral é relacionada a fatores como: teor de água livre, tamanho e formato dos grãos, presença de impurezas, espessura das camadas e rugosidade da superfície (BREMER *et al*, 2004).

Rau *et al.* (2000) consideram que a superfície das geleiras pode ser dividida em zonas de radar. Estas zonas são denominadas de Zonas de Geleiras Detectadas por Radar e a identificação e delimitação ocorrem a partir das características do retroespalhamento em cada zona superficial. Esta descrição das zonas de radar é uma adaptação das zonas propostas por Benson (1962) e posteriormente descritas por Paterson (1994). A divisão é composta por quatro possíveis zonas de detecção pelos sensores, definidas como: Zona de Radar de Neve Seca (ZRNS), Zona de Radar de Percolação Congelada (ZRPC), Zona de Radar de Neve Úmida (ZRNU) e Zona de Radar de Gelo Exposto (ZRGE). Na Figura 3.3 está representada a delimitação das zonas de geleiras.

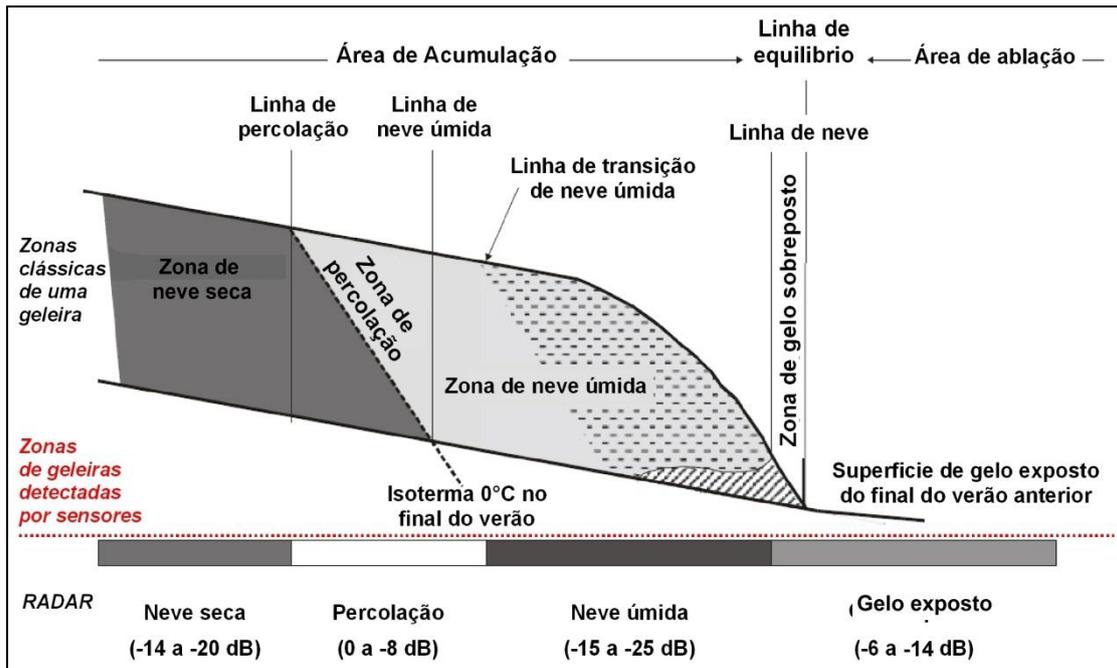


Figura 3.3: Zonas de neve e gelo detectadas por sensores radar na banda C, polarização VV e os valores de retroespalhamento característico de cada zona de radar na Península Antártica (Adaptado de Rau *et al*, 2000).

As ZRNS são restritas a locais com grandes altitudes, onde a temperatura nunca é superior ao ponto de fusão (BRAUN, 2001). Devido a localização e as condições climáticas, não ocorre derretimento da neve, resultando na gradual compactação da neve precipitada como resultado do próprio peso e pela ação do vento (LIU *et al*, 2006). Os grãos de neve, de acordo com Partington (1998) são menores que 5 mm e as ZRNS nas imagens são caracterizadas por áreas com tons escuros, proveniente do baixo retroespalhamento volumétrico (RAU *et al*, 2000).

Liu *et al* (2006) destacam que a ZRPC é caracterizada por grandes grãos de neve e camadas de gelo geradas devido ao processo cíclico de derretimento da neve e congelamento da água em redes de drenagem horizontais. Arigony-Neto (2006) considera que no processo de degelo na ZRPC a água irá percolar até uma determinada profundidade e novamente será recongelada. O padrão de recongelamento depende da estrutura física que irá conter o escoamento da água percolada. Se a estrutura for vertical, serão formadas glândulas de gelo. Entretanto, se a água atingir uma camada impermeável horizontal irá fluir lateralmente, formando camadas de gelo. Estas camadas de gelo são responsáveis pelo alto retroespalhamento do radar, produzindo áreas com tons brilhantes nas imagens.

A ZRNU é extremamente dinâmica, ocorrendo com maior frequência em regiões com baixas altitudes, resultante do derretimento da neve durante o verão

(RAU *et al*, 2000). A localização da zona de transição entre a ZRPC e a linha de neve úmida irá coincidir com a isoterma 0°C, podendo apresentar variações que dependem das condições meteorológicas atuais e anteriores (RAU *et al*, 2000). Arigony-Neto (2006) aponta que a margem da ZRNU é chamada de firm, estágio intermediário entre a neve e o gelo, ou linha de neve anual. Deve-se destacar que esta linha limítrofe em geral não é definida por uma demarcação distinta (BRAUN, 2001). Na ZRNU é característico o baixo retroespalhamento do sinal do radar, apresentando áreas com tons escuros nas imagens, resultado da grande quantidade de água proveniente do degelo (RAU *et al*, 2000), que amplia o conteúdo de água no pacote de neve e conseqüentemente reduz a intensidade do retroespalhamento (LIU *et al*, 2006). No inverno, de acordo com Rau *et al*. (2000) com a diminuição da temperatura a água irá novamente congelar, retornando ao padrão característico da ZRPC.

A porção de menor altitude de uma geleira configura muitas vezes a ZRGE, onde no período do verão toda a neve acumulada perdida por ablação e fusão (BRAUN, 2001). Na zona de gelo exposto, os valores médios de retroespalhamento se devem ao espalhamento da superfície do gelo densa e rugosa, variando de -9 a -13 dB. No início do inverno a cobertura de neve pouco metamorfoseada será transparente para o sinal do radar (BRAUN, 2001; ARIGONY-NETO *et al*, 2007). A delimitação dos limites da ZRGE é mais propícia a partir do final do verão ou no início do inverno, isso porque no período de fusão, a zona de radar adjacente, constituída pela ZRNU possui baixo retroespalhamento, enquanto no período de congelamento esta zona retorna a configuração de ZRPC, aumentando os valores de retroespalhamento, o que facilita a distinção da ZRGE (RAU *et al*, 2000; BRAUN, 2001). Entretanto, mesmo no verão as diferenças de retroespalhamento entre a ZRNU e a ZRGE são suficientes para a clara separação entre as duas zonas (BRAUN, 2001).

3.3.2. Sensoriamento remoto de micro-ondas ativas – áreas livres de gelo

A dificuldade de identificar e interpretar os alvos em imagens de radar decorre principalmente das diferenças da forma como é representada a superfície em uma cena gerada por um radar e uma cena gerada por sensores ópticos. Uma alternativa para auxiliar na correta interpretação e extração dos dados superficiais em imagens de radar é utilizar outras fontes de informação auxiliares.

A textura é uma informação importante para a interpretação de imagens SAR. Segundo Schowengerdt (2007), a textura descreve a rugosidade visual de uma superfície, causada pela distribuição espacial da sombra dos alvos e da configuração do relevo. A informação textural possibilita distinguir e delimitar as áreas cobertas por

solo, rocha, corpos de água, neve e gelo, elementos que compõem os principais tipos de cobertura terrestre das áreas livres de gelo.

A umidade, obtida por dados SAR fornece informações relevantes em relação aos elementos que configuram a superfície. A radiação de micro-ondas emitida por um SAR ao interagir com a superfície lisa de água, reflete praticamente toda a radiação incidente para fora de alcance do sensor, causando o retroespalhamento menor que o de uma superfície seca (JENSEN, 2009). Em decorrência dessa propriedade, imagens de radar possibilitam o acompanhamento e monitoramento da dinâmica dos pacotes de neve e gelo permanentes ou sazonais remanescentes do período do inverno. Em decorrência destas propriedades, os dados SAR são importantes para fins de delimitação dos geoambientes, permitindo a extração de informações que não são possíveis em imagens ópticas.

3.4. Sensor óptico – plataforma e especificações

Os sensores ópticos, sistemas passivos de sensoriamento remoto, captam informações nos comprimentos de ondas do visível e infravermelho. Estes sensores dependem da radiação proveniente do Sol e da radiação térmica infravermelha emitida pelos materiais na superfície terrestre (SCHOWENGERDT, 2007). Todo objeto terrestre possui a propriedade de absorver e refletir radiação solar na faixa espectral entre 0,4 a 3 μm .

O satélite QuickBird, lançado em outubro de 2001 foi desenvolvido através da parceria entre as empresas DigitalGlobe, Ball Aerospace & Technologies, Kodak e Fokker Space (CELESTINO, 2007). O satélite QuickBird possui quatro bandas espectrais com resolução espacial de 2,44 m e uma banda pancromática com 0,61 m. Através da fusão entre a banda pancromática e as bandas multiespectrais, unindo a qualidade visual e as informações espectrais é possível ampliar a capacidade de discretização dos alvos superficiais. As espécies de vegetação existentes nas áreas livres de gelo da península Potter possuem tamanho e volume reduzidos, sendo compostas principalmente por briófitas, líquens e algas talosas. A banda do infravermelho próximo é importante por auxiliar na identificação de superfícies cobertas por vegetação nas áreas livres de gelo. O sistema de varredura eletrônica realizado pelo QuickBird é feito de modo linear, com flexibilidade para visadas *off-nadir* com inclinação até 30°. Esta visada possibilita a obtenção de dados superficiais com maior frequência temporal e também originar pares estereoscópicos, entretanto acarreta na degradação espacial do pixel para 0,72 m e 2,88 m na banda

pancromática e multiespectral respectivamente (CELESTINO, 2007). As principais informações técnicas referentes ao satélite QuickBird são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Principais características do satélite QuickBird (Adaptado de DigitalGlobe, 2007).

Data de lançamento	Out. 2001
Banda (comprimento de onda em μm)	1 (0,45 – 0,52)
	2 (0,52 – 0,60)
	3 (0,63 – 0,69)
	4 (0,76 – 0,90)
	Pan (0,45 - 0,90)
Resolução espacial (m)	Pancromática – 0,61
	Multiespectral – 2,44
Resolução radiométrica (bits)	11
Resolução temporal (dias)	1 - 3
Altitude da órbita (km)	450
Largura da faixa (km)	16,5 (nadir)
Inclinação da órbita (graus)	97,2

3.4.1. Sensores ópticos – superfícies de neve e gelo

Estudos desenvolvidos em ambientes polares e utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto têm aumentado nas últimas décadas devido ao aprimoramento dos sistemas satelitais. Liu *et al.* (2006) utilizaram em conjunto dados SAR e ópticos para analisar a dinâmica da zona de neve úmida na Antártica continental. Ulrich *et al.* (2009) caracterizaram as superfícies geomorfológicas periglaciais no Ártico utilizando dados do sensor ETM+ do satélite Landsat e espectrômetros portáteis, enquanto Grosse *et al.* (2005) e Koch *et al.* (2008) utilizaram dados provenientes de sensores ópticos para analisar e mapear feições periglaciais na região noroeste da Sibéria e Ilha Shetland do Sul respectivamente.

No ambiente natural, a água existe nos estados físicos sólido, líquido e gasoso, ocorrendo em cada estado uma configuração distinta de absorção e reflectância da radiação eletromagnética (MOREIRA, 2005). A visualização e distinção da água em estado líquido através do sensoriamento remoto é um procedimento simples, causado pela distinção no padrão de reflectância em relação a outros alvos, principalmente na região infravermelho próximo. Contudo, a presença de sedimentos em suspensão, florações de algas e outras partículas na água podem alterar e aumentar a

reflectância. As nuvens possuem elevada reflectância na região espectral do visível e do infravermelho próximo, enquanto a neve apresenta alta reflectância no espectro visível, tornando-se pouco reflexiva a partir de 1,4 μm (BROWKER *et al*, 1985). A Figura 3.4 apresenta a curva de reflectância da água nos três estados físicos.

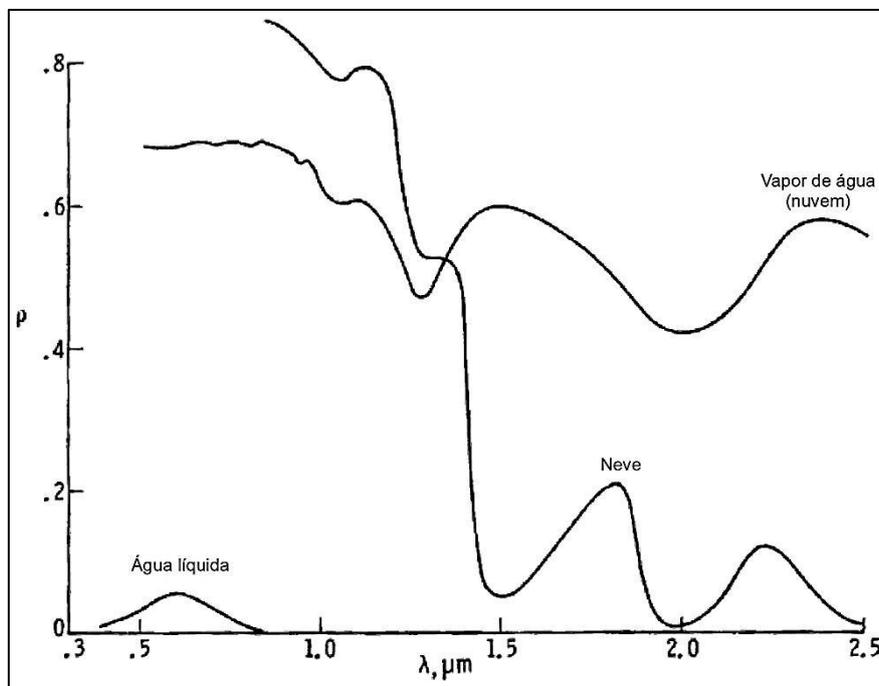


Figura 3.4: Curvas de reflectância da água nos estados líquido, gasoso (nuvem) e sólido (neve) (Adaptado de Bowker *et al*, 1985).

A identificação e espacialização da neve em imagens ópticas é um procedimento simples, por ser a neve mais clara do que a vegetação, solo, água e rocha. Entretanto, na região da Antártica Marítima, devido às condições climáticas é constante a presença de nuvens, elemento que impossibilita a visualização da superfície. A neve e a nuvem são alvos com resposta espectral na faixa do visível muito semelhante, conforme mostrado na Figura 3.4. Um procedimento de distinguir neve de nuvem é obter a série temporal de imagens ópticas com datas de obtenção próximas ou então utilizar uma imagem de radar obtida em data próxima, devido ao radar não sofrer interferência da cobertura de nuvens.

3.4.2. Sensores ópticos – Áreas livres de gelo

A típica reflectância da vegetação possui valores inferiores a 0,7 μm devido aos pigmentos de carotenóide e clorofila, centrados em 0,48 μm e 0,68 μm respectivamente. O pico de reflectância em 0,56 μm decorre da região do espectro

visível de fraca absorção. Em torno de 0,7 μm ocorre um forte aumento na reflectância, marcando a mudança de absorção da clorofila para a reflectância celular (BROWKEN *et al*, 1985). A radiação eletromagnética contida na faixa de comprimento de onda entre 0,3 e 2,5 μm é denominada de espectro reflexivo, possuindo a curva de reflectância, conforme demonstrado na Figura 3.5.

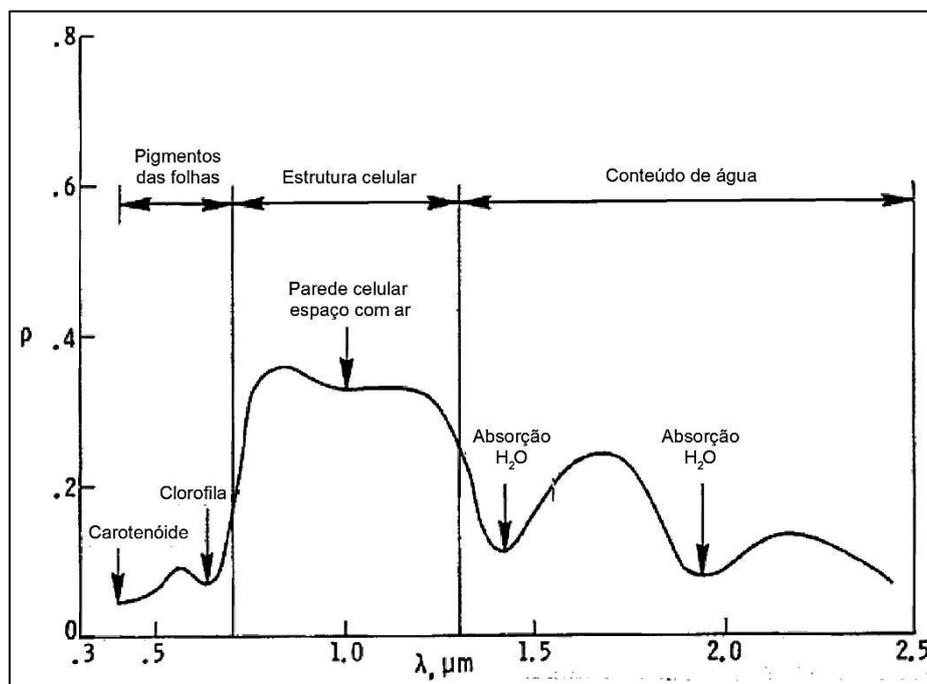


Figura 3.5: Espectro de reflectância da vegetação verde e sadia (Adaptado de Bowker *et al*, 1985).

A reflectância do solo e de rochas não possui uma característica bem definida como na vegetação. De acordo com Moreira (2005), o parâmetro de reflectância da radiação do solo será influenciado por fatores como: óxidos de ferro, umidade, matéria orgânica, granulometria, mineralogia da argila e o material de origem. Ainda deve-se considerar que a cor do solo, a capacidade de drenagem interna do solo, a temperatura e a localização também podem interferir na reflectância. A proporção de energia refletida pelo solo será influenciada por todos estes fatores citados em conjunto.

3.5. Geoambientes

O termo geoambiente é utilizado para representar uma superfície que possui elementos no ambiente com características homogêneas e passíveis de agrupamento (DIAS *et al*, 2002). Nas áreas livres de gelo do ambiente antártico, alguns elementos

são importantes na delimitação de geoambientes, como: feições geomorfológicas, vegetação, tipos de solos e áreas com influência antrópica.

O conceito de unidades geoambientais envolve realidades diversas, podendo apresentar diferentes conotações de acordo com a área de conhecimento. Para Dias *et al.* (2002), o termo geoambiente é definido como um ambiente cujo espaço apresenta homogeneidade nos elementos e fatores ambientais que o constituem. Portanto, para a delimitação de geoambientes é necessário o conhecimento das características dos solos, relevo e vegetação. O mapeamento destes elementos da superfície possibilita a integração das classes existentes e a delimitação dos geoambientes.

A vegetação que ocorre na Antártica Marítima é característica de ambientes polares. Dentre as espécies ocorrentes nas áreas livres de gelo, ocorre predominância de briófitas com destaque para os musgos, duas espécies de fanerógamas, duas espécies de algas talosas e diversas espécies de líquens (ØVSTEDAL e SMITH, 2001; OLECH, 2002).

A colonização de comunidades vegetais segundo Pereira e Putzke (1994), depende principalmente da luz, devido à taxa de aproximadamente 20 horas de luz por dia durante o verão e taxas de 2 horas por dia durante o inverno. Segundo Schaefer *et al.* (2004), outras variáveis como temperatura, vento, precipitação e atividades ornitogênicas são elementos que associados às características locais, como a estabilidade superficial, tipo de rocha e erosão decorrente de atividade eólica são fundamentais a sobrevivência e estabelecimento da vegetação. Em decorrência destas especificidades, determinadas espécies apresentam padrão bem definido de espacialização de seus nichos, podendo servir de bons indicadores de alterações no ambiente.

A ocorrência de líquens no bioma antártico predomina sobre as outras espécies vegetais. Entretanto, o seu desenvolvimento e ocorrência depende da estabilidade do terreno, tipo de rocha, textura da superfície e proteção física contra a radiação solar direta e ventos fortes (ØVSTEDAL e SMITH, 2001).

As briófitas apresentam distribuição relacionada aos ambientes hidromórficos, com presença de água e superfícies úmidas (SCHAEFER *et al.*, 2004). Na península Potter as comunidades de musgos apresentam predominância em solos com maior umidade ou mal drenados e pH ácido ou neutro. As associações de musgos e gramíneas se desenvolvem principalmente em solos ornitogênicos, salinos e ricos em matéria orgânica, ocorrendo maior biomassa em antigas áreas onde anteriormente havia colônias de pinguins. Os líquens estão localizados, sobretudo em superfícies rochosas e planas (POELKING, 2011).

Nas áreas livres de gelo da Antártica Marítima, existe estreita relação entre a distribuição vegetal com o padrão geomorfológico e características hídricas. Líquens são indicadores de áreas estáveis e com boa drenagem. Já as áreas com elevada umidade, como terraços marinhos soerguidos ocorre predominância de briófitas (SCHAEFER *et al*, 2004). Na Figura 3.6 estão representados de forma esquemática os principais elementos de solos, vegetação e relevo ao longo de um transecto, em Ponta Stranger, esboçando os principais geoambientes da sequência topográfica.

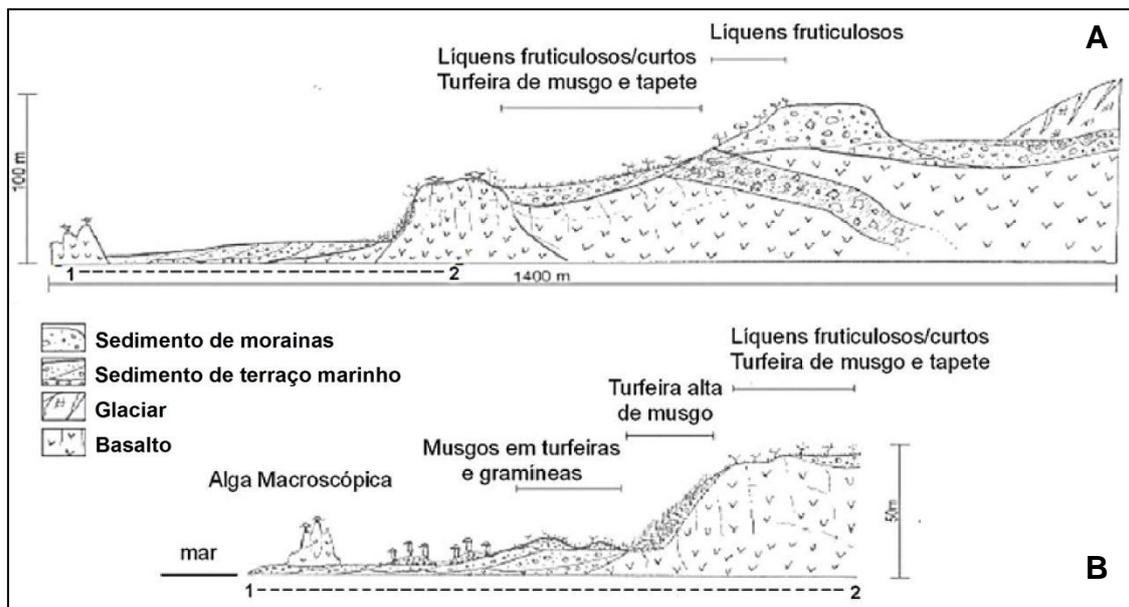


Figura 3.6: Ilustração em (A) da sequência topográfica e da distribuição da vegetação em um perfil na região de Ponta Stranger, península Potter. Em (B) o perfil aumenta o detalhamento limitando a área entre o ponto 1 e 2, destacando a distribuição da vegetação no terraço marinho (Adaptado de Poelking, 2011).

3.5.1. Relação entre a distribuição espacial da vegetação e a radiação solar

Toda vida na superfície terrestre depende da energia proveniente do Sol. A radiação solar global, composta pela radiação direta e difusa, não se limita ao fornecimento de energia para a vegetação, desempenhando também a importante função de condicionamento e desenvolvimento da vegetação, podendo inclusive, em situações de excesso tornar-se fator de estresse (LARCHER, 2000). Aproximadamente 45% da radiação solar está na faixa espectral entre 0,38 e 0,71 μm , energia na faixa do visível e utilizada para as atividades fotossintéticas.

Segundo Larcher (2000), as espécies vegetais fixam CO₂, processo denominado via do ácido dicarboxílico para fixação do CO₂. Neste processo as espécies vegetais são divididas em três grupos de vias metabólicas, denominados C₃ (formação de carboidratos), C₄ (fixação de CO₂) e CAM (processo de fixação e descarboxilação em dois tempos distintos). Esta subdivisão considera as particularidades da fisiologia vegetal, estando na Tabela 3.4 as principais características das três vias de metabolismo.

Tabela 3.4: Características gerais das três vias de metabolismo e de fixação do CO₂.

Características	Vias de metabolismo		
	C ₃	C ₄	CAM
Liberação de CO₂ na luz	sim	não	não
Capacidade fotossintética líquida	de baixa a alta	de alta a muito alta	baixa na luz moderada no escuro
Ponto de saturação da fotossíntese em relação à radiação	em intensidades intermediárias	não ocorrência de saturação até mesmo em altas intensidades	em intensidades intermediárias ou em altas intensidades

As informações da via de fixação do CO₂ são importantes por possibilitar a quantificação da capacidade fotossintética e o ponto de saturação fotossintética em relação à radiação de cada espécie vegetal.

No processo de fotossíntese, segundo Larcher (2000) ocorrem situações em que o processo fotossintético fixa a mesma quantidade de CO₂ que é liberado pela respiração, condição fisiológica chamada de ponto de compensação à luz (PCL), quantidade de radiação ideal para o desenvolvimento da vegetação. Em situação oposta, havendo intensa radiação, ocorre significativo aumento na atividade de fotossíntese, resultando na condição fisiológica do ponto de saturação (PS), atingindo valores acima do ponto de tolerância da vegetação. Todavia, os valores de PCL e PS variam conforme a espécie vegetal. A Tabela 3.5 apresenta os valores de PCL e PS para as espécies de musgos, líquens e algas.

Tabela 3.5: Valores de Ponto de Compensação à Luz e Ponto de Saturação em relação à radiação (Adaptado de Larcher, 2000).

Grupo vegetal	Ponto de Compensação à Luz - PCL ($\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Ponto de Saturação - PS ($\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Algas planct\u00f4nicas; Algas Marinhas da zona de mar\u00e9	5-8	200-500
Musgos	5-20	150-300
Liquens	50-150	300-600

A configura\u00e7\u00e3o topogr\u00e1fica \u00e9 o principal fator que interfere na incid\u00eancia da radia\u00e7\u00e3o solar no terreno, devido \u00e0 varia\u00e7\u00e3o na eleva\u00e7\u00e3o, orienta\u00e7\u00e3o da vertente e declividade. Devido a esta heterogeneidade espacial, as caracter\u00edsticas do microclima s\u00e3o influenciadas pela temperatura do ar e do solo, evapotranspira\u00e7\u00e3o, din\u00e2mica espacial e temporal da neve, umidade do solo e a radia\u00e7\u00e3o solar (FRANCELINO *et al*, 2007).

Modelos topogr\u00e1ficos e clim\u00e1ticos da radia\u00e7\u00e3o solar e da topografia fornecem significativas informa\u00e7\u00f5es referentes aos padr\u00f5es de distribui\u00e7\u00e3o da radia\u00e7\u00e3o solar na superf\u00edcie (FERNANDES-FILHO e S\u00c1, 2007; FRANCELINO *et al*, 2007). Atrav\u00e9s das ferramentas de estimativa digital da radia\u00e7\u00e3o solar em superf\u00edcies \u00e9 poss\u00edvel ampliar o conhecimento acerca da influ\u00eancia da vari\u00e1vel radia\u00e7\u00e3o solar na distribui\u00e7\u00e3o da vegeta\u00e7\u00e3o. Estudos abordando a rela\u00e7\u00e3o entre a distribui\u00e7\u00e3o da vegeta\u00e7\u00e3o, as vari\u00e1veis topogr\u00e1ficas e a radia\u00e7\u00e3o solar incidente na superf\u00edcie tornaram-se mais acess\u00edveis \u00e0 comunidade cient\u00edfica com o advento das ferramentas de modelagem digital superficial implantada em softwares de sistemas de informa\u00e7\u00f5es geogr\u00e1ficas (SIG) (FRANCELINO *et al*, 2007).

CAPÍTULO 4: Métodos

4.1. Introdução

Este capítulo é dividido em três tópicos e tem por finalidade apresentar os dados e os procedimentos metodológicos empregados neste trabalho.

O primeiro tópico descreve as atividades desenvolvidas no levantamento de campo, bem como as informações coletadas. O segundo expõe as etapas de trabalho com os dados orbitais, abrangendo os dados SAR e ópticos. Por último, são descritos os procedimentos adotados na modelagem digital das variáveis morfométricas do terreno.

4.2. Levantamento de dados em campo

Durante o mês de fevereiro de 2012 ocorreu a expedição científica à Antártica, no transcorrer da XXX Operação Antártica Brasileira (OPERANTAR). Na península Potter, as atividades ocorreram entre os dias 10 e 19 de fevereiro. Durante este período, a base Carlini forneceu apoio logístico, disponibilizando inclusive um laboratório para elaboração dos planos diários de atividades e pré-processamento dos dados obtidos em campo.

Inicialmente, da imagem COSMO-SkyMed de 01/02/2011, polarização HH, foram escolhidos cinco locais na península Potter que apresentam elementos na superfície com formas e padrão diferentes entre si. Em campo, estes locais foram visitados com o objetivo de descrever características como: tipo e cor do material superficial, existência ou não de corpos de água, presença de pacotes de neve sazonal ou permanente e existência de vegetação. Este procedimento em campo é importante e teve por objetivo auxiliar na interpretação dos elementos superficiais visualizados na série de imagens COSMO-SkyMed.

A Figura 4.1 exibe o mapa utilizado como referencial de campo, impresso em tamanho A2 e contendo a imagem COSMO-SkyMed de 01/02/2011, polarização HH e os cinco pontos de visita demarcados. Também são exibidos cinco quadros que destacam cada um dos cinco pontos visitados. O ponto 1 está localizado próximo à base Carlini, apresentando padrão de drenagem superficial; o ponto 2 está localizado próximo ao lago Rudy, sobre uma superfície coberta por neve; o ponto 3 está localizado próximo à geleira Polar Club, possibilitando descrever as características de transição entre a geleira e a superfície livre de gelo; o ponto 4 está localizado próximo a um dos principais canais de drenagem glaciofluvial da península Potter; e o ponto 5,

localizado na porção sul da península, está em um local com acentuada presença de vegetação.

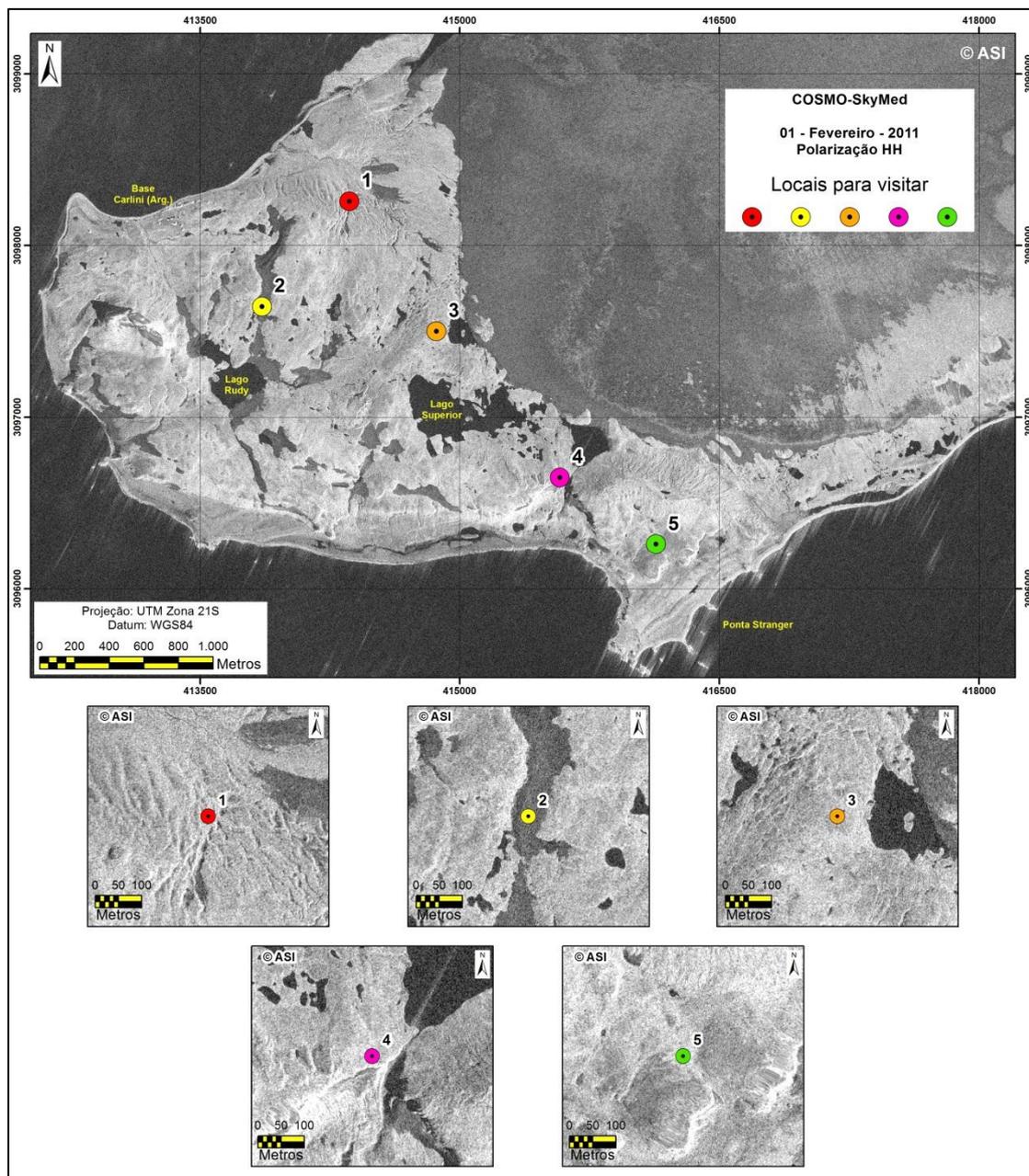


Figura 4. 1: Mapa contendo os cinco pontos demarcados como importantes para auxiliar na interpretação dos elementos superficiais da península Potter. Este mapa foi utilizado no transcorrer das atividades de campo. Os quadros abaixo do mapa destacam a área de cada ponto visitado.

Em campo realizou-se a descrição das características referentes aos elementos previamente visualizados nas imagens COSMO-SkyMed. Utilizando um receptor GPS Garmin eTrex Legend HCx foram coletadas as coordenadas geográficas

de locais onde fez-se a descrição da paisagem, tendo sido feito também o traçado dos caminhos percorridos. Os pontos foram visitados e neles obtidos informações por meio da descrição das características do relevo e características da cobertura superficial, com ênfase na presença de corpos de água, pacotes de neve e vegetação; também foi feito registro fotográfico de cada local visitado. A Tabela 4.1 exibe as características gerais de cada ponto visitado.

No trajeto entre os pontos também foram coletadas informações de outros locais que possuem feições e atributos relevantes no processo de interpretação das imagens. A coleta de dados e descrição dos elementos que constituem a paisagem superficial teve como objetivo auxiliar na interpretação das imagens e validar a caracterização dos valores de retroespalhamento de cada tipo de cobertura superficial. A Figura 4.2 exibe os percursos realizados na península Potter.

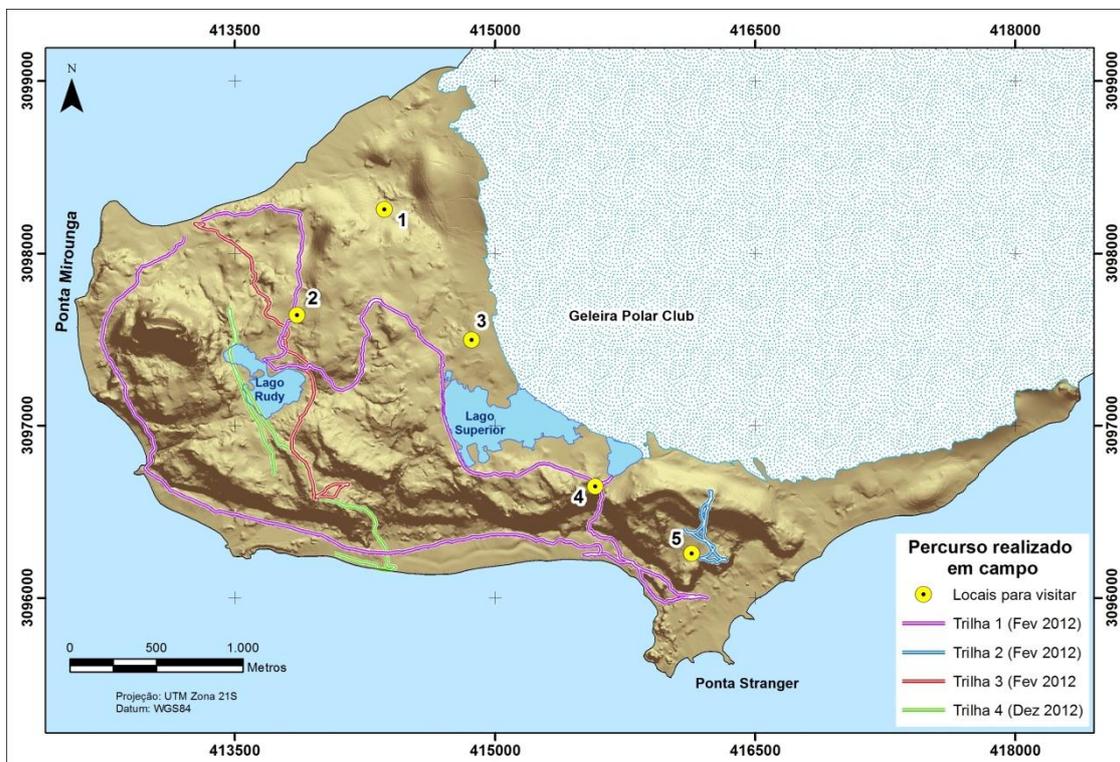


Figura 4. 2: Percursos realizados durante o trabalho de campo na península Potter em fevereiro e dezembro de 2012. Também são exibidos os locais demarcados para a visita em campo.

Tabela 4. 1: Características gerais dos componentes da superfície da península Potter observados em fevereiro de 2012.

	Locais visitados conforme apresentado na Figura 4.2				
	1	2	3	4	5
Relevo	Predominância de relevo ondulado, com ocorrência de relevo plano e suave ondulado	Predominância de relevo plano	Predominância de relevo suave ondulado	Predominância de relevo ondulado, com ocorrência de relevo forte ondulado, plano e suave ondulado	Predominância de relevo suave ondulado
Presença de água	Predominância de solo em estado de hidromorfismo, com ocorrência de canais de drenagem com baixa vazão de água	Predominância de solo em estado de hidromorfismo, com ocorrência de canais de drenagem de água e lagos sazonais	Ocorrência de um lago permanente próximo	Ocorrência de um lago permanente, do qual origina um canal de drenagem com acentuada vazão de água durante o período do verão	Ocorrência esparsa de solos em estado de hidromorfimos, com ocorrência de canais de drenagem com baixa vazão de água
Existência de neve e/ou gelo	Não constatado	Ocorrência de pacotes de neve resultantes do derretimento da neve acumulada durante o inverno	Não constatado	Não constatado	Não constatado
Presença de vegetação	Não constatado	Ocorrência de vegetação com predominância de musgos	Não constatado	Não constatado	Ocorrência acentuada de vegetação com predominância de musgos e líquens
Condição da superfície em dezembro de 2012	N	Superfície coberta por neve	N	N	N

N – Locais não visitados em dezembro de 2012.

4.3. Modelagem digital das variáveis morfométricas do terreno

O procedimento de caracterizar o relevo através de variáveis quantitativas é denominado morfometria. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são importantes ferramentas para estudos voltados à modelagem digital da superfície terrestre.

A modelagem digital das variáveis do terreno desenvolvidas neste estudo abrange a elaboração do MDE e a delimitação da curvatura horizontal e vertical, informações essenciais para gerar a forma do terreno. Também foram analisados os atributos relacionados à orientação das vertentes e radiação solar global incidente na superfície terrestre.

4.3.1. Digitalização das curvas de nível

As curvas de nível são fontes importantes de dados altimétricos para a elaboração de MDEs. As curvas de nível utilizadas neste estudo foram extraídas do mapa topográfico da península Potter, tendo as curvas de nível equidistância de 3 metros (LUSKY *et al*, 2001), apresentado na Figura 4.3.

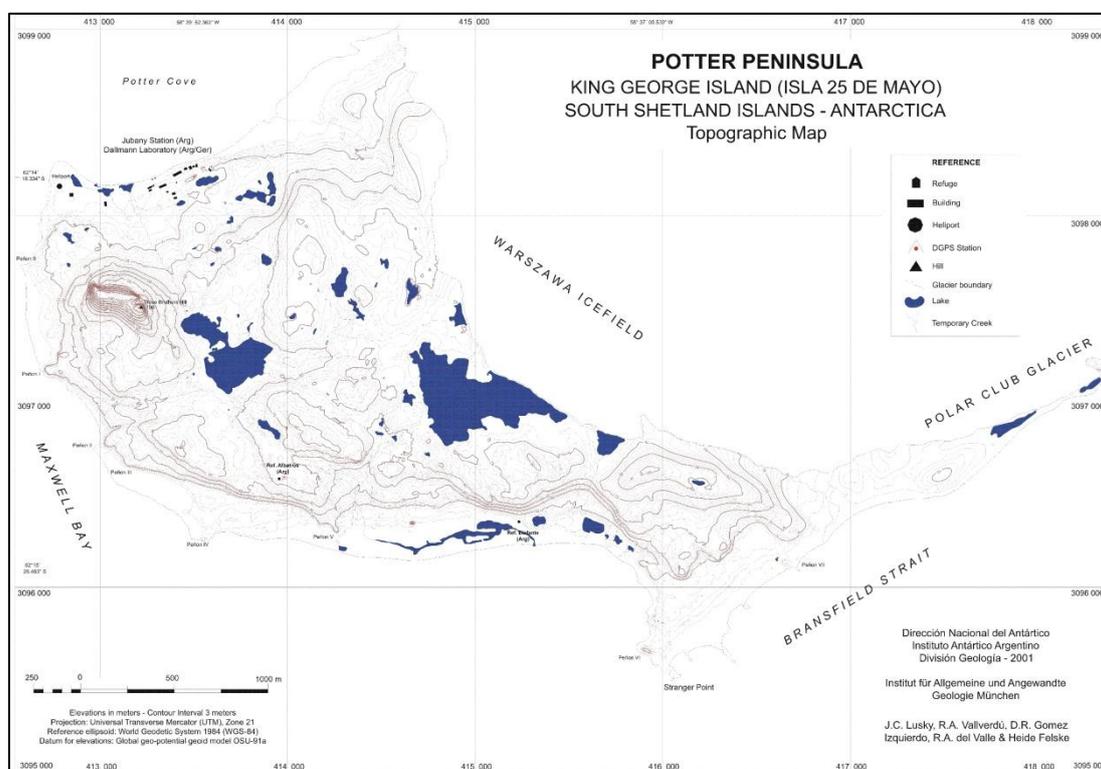


Figura 4. 3: Mapa topográfico da península Potter. As curvas de nível utilizadas para gerar o Modelo Digital de Elevação foram digitalizadas a partir deste mapa. (Fonte: Lusky *et al*, 2001).

Os dados altimétricos das curvas de nível foram digitalizados manualmente utilizando o *software* ArcGIS. A digitalização é um procedimento adequado para a transformação de dados espaciais em formatos analógicos para o formato digital.

Este procedimento consistiu inicialmente em traçar as linhas das curvas de nível na tela do computador, tendo a digitalização sido feita em escala 1:7.000, e posteriormente foi inserido o valor altimétrico de cada feição da curva de nível. Esta etapa foi fundamental para a sequência das análises espaciais, por ser a informação superficial base para gerar o MDE e sucessivamente todas as informações referentes à modelagem digital da superfície.

4.3.2. Elaboração do Modelo digital de elevação

Através de dados de altimetria é possível gerar por meio de interpolação um modelo digital de elevação (MDE). Segundo Valeriano (2008a), existem diferentes métodos de interpolação, sendo a escolha do interpolador ideal condicionado aos resultados esperados do MDE a ser desenvolvido. Neste estudo o MDE é essencial por ser a base de dados para a elaboração dos outros tipos de informações referentes à modelagem digital do terreno, como a curvatura vertical, horizontal, forma do terreno, orientação das vertentes e incidência global de radiação solar.

Para gerar o MDE utilizado neste trabalho, foi utilizado o interpolador *topo to raster* implementado no *software* ArcGIS. Este interpolador foi concebido com a finalidade de elaborar modelos digitais de elevação hidrológicamente corretos, utilizando as informações da superfície referentes à drenagem e hidrografia para restringir o processo de interpolação, gerando uma superfície modelada com informações da altimetria em conjunto com informações da drenagem. O processo de interpolação dos dados de altimetria ocorre em duas etapas: inicialmente o algoritmo cria a morfologia generalizada da superfície, isso a partir dos valores das curvas de nível; em seguida, o algoritmo utiliza as informações altimétricas das curvas de nível para modelar as formas tridimensionais do terreno. Como resultado desta operação foi gerado o MDE das áreas livres de gelo da península Potter com resolução espacial de 1 metro. A Figura 4.4 exibe o MDE gerado da península Potter.

A área superficial do MDE não contempla a superfície da geleira Polar Club, sendo restrita às áreas livres de gelo, isto devido ao mapa topográfico de Lusky *et al.* (2001) possuir curvas de nível apenas das áreas livres de gelo.

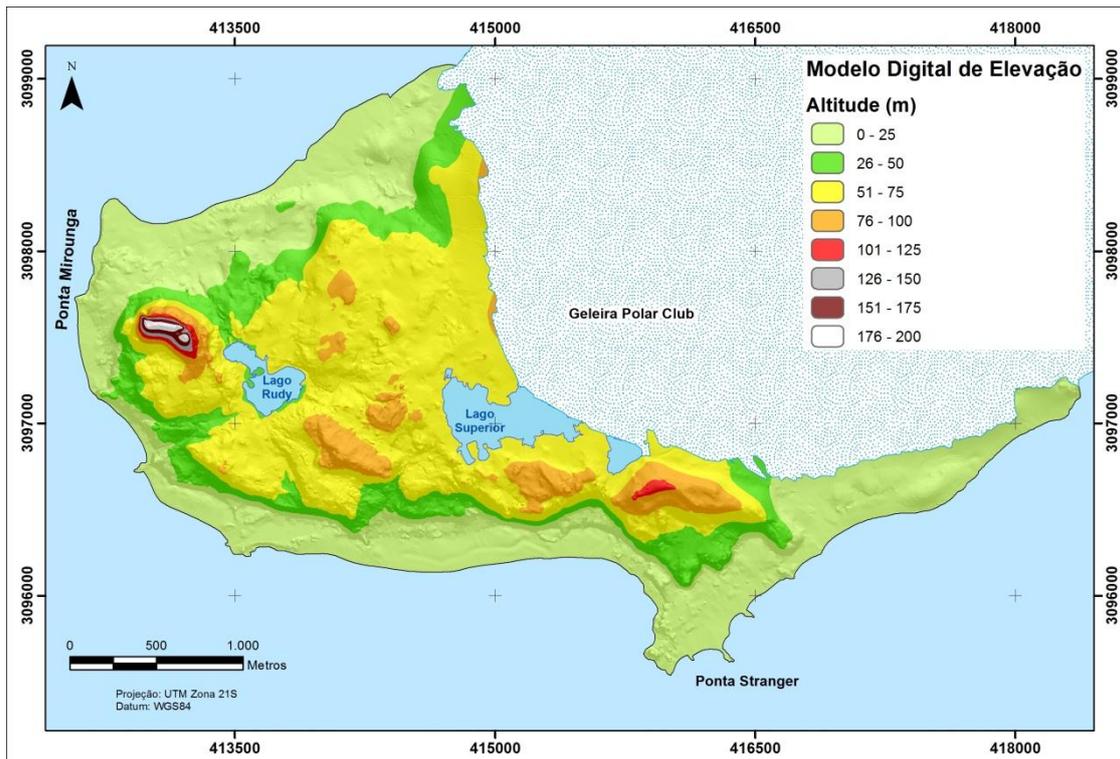


Figura 4. 4: Modelo Digital de Elevação da superfície livre de gelo da península Potter.

4.3.3. Curvatura horizontal

Através de análises em representações da superfície projetadas horizontalmente é possível extrair informações acerca da curvatura horizontal, atributo relacionado ao caráter divergente, planar ou convergente dos fluxos na superfície (VALERIANO, 2008a). As formas da curvatura horizontal são ilustradas na Figura 4.5. Esta característica é importante por estar relacionada ao padrão e intensidade dos processos de deslocamento e acúmulo de água, matéria orgânica e sedimentos no solo sobre a superfície. Outra importância da curvatura horizontal se deve à influência desempenhada sobre o balanço hídrico e processos relacionados à pedogênese e morfogênese (VALERIANO, 2008a).

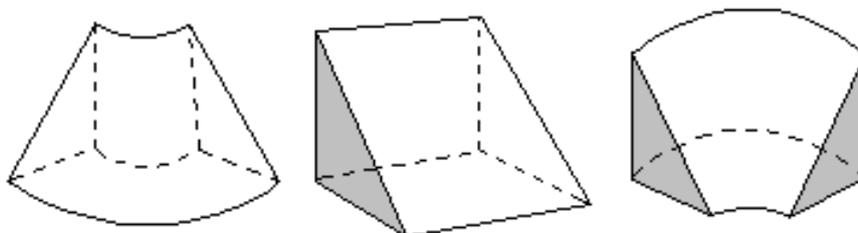


Figura 4. 5: Ilustração do padrão das formas da curvatura horizontal, da esquerda para a direita, divergente, planar e convergente respectivamente (Adaptado de Valeriano, 2008b).

A curvatura horizontal é derivada das curvas de nível e o cálculo destas superfícies na península Potter foi implementado através do *software* ArcGIS e utilizando o método proposto por Valeriano (2008b), sendo os valores superficiais expressos pela diferença do ângulo dividido pela distância horizontal, sendo as unidades em graus por metro. O método propõe três classes de curvatura horizontal, estando os valores negativos compreendidos por superfícies convergentes e os valores positivos superfícies divergentes. Para a delimitação das áreas planares utiliza-se um intervalo abrangendo os valores entre $-0,038^{\circ} \text{ m}^{-1}$ a $+0,051^{\circ} \text{ m}^{-1}$. A Figura 4.6 exhibe a distribuição espacial da curvatura horizontal nas áreas livres de gelo da península Potter, enquanto a Tabela 4.2 apresenta as áreas compreendidas por cada classe.

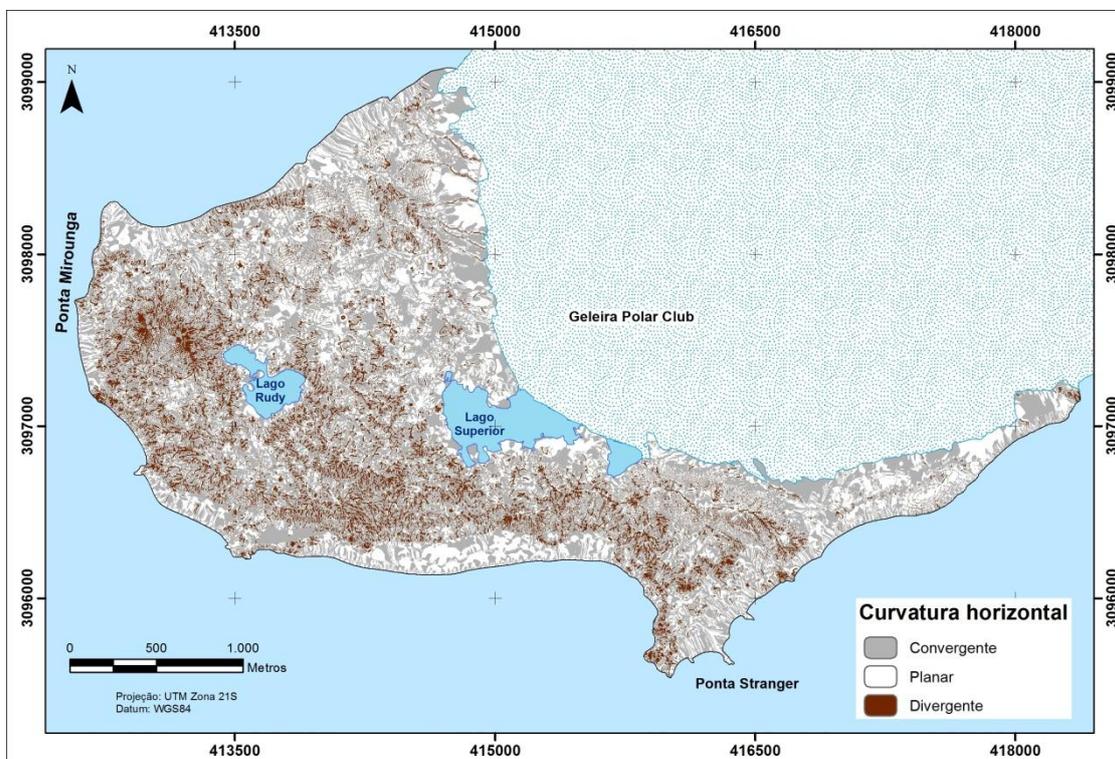


Figura 4. 6: Representação da curvatura horizontal do terreno na península Potter, gerada a partir do MDE.

Tabela 4. 2: Área de cada classe de curvatura horizontal nas áreas livres de gelo da península Potter.

Curvatura Horizontal	Área (km ²)
Convergente	3,57
Planar	0,91
Divergente	2,65

4.3.4. Curvatura vertical

A curvatura vertical refere-se ao formato da vertente quando analisada em perfil, sendo considerada por Valeriano (2008a) como uma importante informação para delimitação de topografias homogêneas. A curvatura vertical está relacionada à forma convexo, retilínea ou côncava da vertente (VALERIANO, 2008b), feições estas ilustradas na Figura 4.7. Esta configuração é importante nos processos de transporte e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica na superfície terrestre (VALERIANO, 2008a). A intensidade deste transporte de materiais sobre a superfície é fruto da combinação das características da curvatura vertical com a configuração da declividade e do comprimento da vertente.

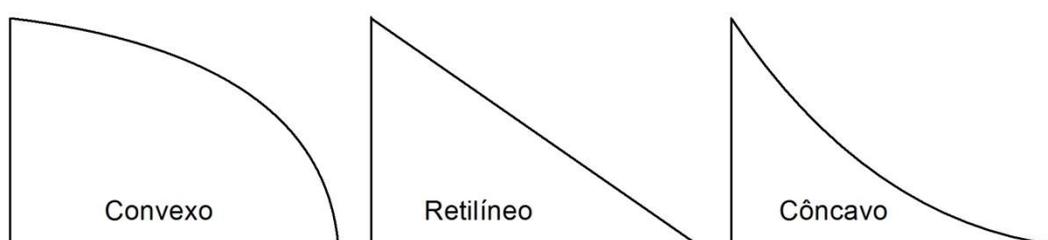


Figura 4. 7: Ilustração de vertentes analisadas em perfil com as configurações de curvatura vertical convexa, retilínea e côncava.

A curvatura vertical também é derivada das informações contidas nas curvas de nível e para sua elaboração aplicou-se o método proposto por Valeriano (2008b) através do *software* ArcGIS. O cálculo é feito utilizando janelas móveis que a partir da comparação dos valores de altimetria de um conjunto de pixels gera o valor de curvatura vertical para o pixel central da janela móvel, sendo os valores expressos na unidade de graus por metro (VALERIANO, 2008b).

O método divide a curvatura vertical em três classes, com os valores negativos compreendidos por superfícies côncavas e os valores positivos superfícies convexas, enquanto os valores nulos correspondem às superfícies retas. Entretanto, Valeriano (2008b) propõe um intervalo que abrange os valores entre $-0,01^{\circ} \text{ m}^{-1}$ a $+0,01^{\circ} \text{ m}^{-1}$ para a delimitação da classe retilínea da curvatura vertical.

A Figura 4.8 exibe a distribuição espacial da curvatura vertical nas áreas livres de gelo da península Potter, enquanto a Tabela 4.3 apresenta as áreas compreendidas por cada classe. As características da curvatura vertical e do relevo da península Potter são influenciados fortemente pelo controle estrutural.

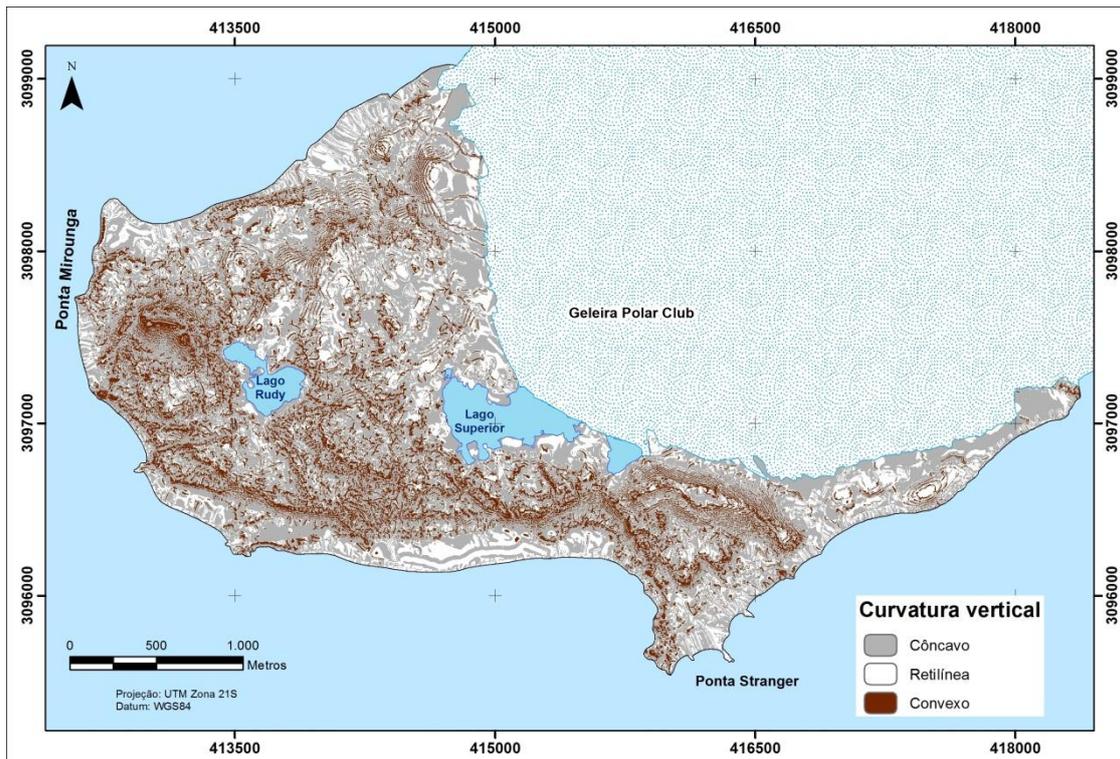


Figura 4. 8: Representação da curvatura vertical do terreno na península Potter, gerada a partir do MDE.

Tabela 4. 3: Área de cada classe de curvatura vertical nas áreas livres de gelo da península Potter.

Curvatura Vertical	Área (km ²)
Côncava	3,82
Retilínea	1,30
Convexa	2,01

4.3.5. Modelagem da forma do terreno e da orientação da vertente

A forma do terreno representa a configuração topográfica resultante da combinação das curvaturas horizontais e verticais (VALERIANO, 2008a), sendo importante para os padrões de transporte de materiais e escoamento hidrológico na superfície. As formas do terreno possíveis são ilustradas na Figura 4.9.

		Curvatura horizontal		
		convergente	planar	divergente
Curvatura vertical	côncava			
	retilínea			
	convexa			

Figura 4. 9: Ilustração dos tipos de formas do terreno a partir da combinação das curvaturas verticais e horizontais (Fonte: Valeriano, 2008b).

Para gerar a forma do terreno foi utilizado o método proposto por Valeriano (2008b) e implementado no *software* ArcGIS. Utilizando a ferramenta de calculadora de arquivos matriciais, foi aplicada a intersecção entre as feições de curvatura vertical e horizontal e tendo como resultado as áreas em comum para cada combinação de curvaturas.

De acordo com Valeriano (2008a), as combinações máximas de curvatura do terreno são compreendidas pelas formas: convergente e côncavo, situação de máxima concentração e acúmulo do transporte superficial e pela forma convergente e convexo, quando ocorre a máxima dispersão de transporte superficial. Estas informações são importantes para ampliar o conhecimento acerca da morfometria das áreas livres de gelo da península Potter, possibilitando também a elaboração de análises espaciais em conjunto com outras informações espaciais deste local.

O mapeamento da forma do terreno e da orientação das vertentes é importante por ampliar o conhecimento acerca da superfície da península Potter, sendo importante para auxiliar na elaboração de outros estudos e também para atividades de gestão do uso e ocupação das áreas livres de gelo, principalmente para as atividades da base Carlini e atividades de pesquisa.

Para inúmeras outras atividades também é importante conhecer a forma do terreno. Esta informação possibilita modelar e inferir acerca do comportamento dos eventos superficiais, como o padrão de drenagem superficial, as áreas propícias para

desenvolvimento da vegetação e os locais com maior propensão para retenção e acumulação de neve.

A forma do terreno foi gerada a partir da intersecção entre os rasters provenientes da classificação da curvatura vertical e da curvatura horizontal das áreas livres de gelo. A partir desta operação foram geradas as classes de forma do terreno, conforme é exibido na Figura 4.10.

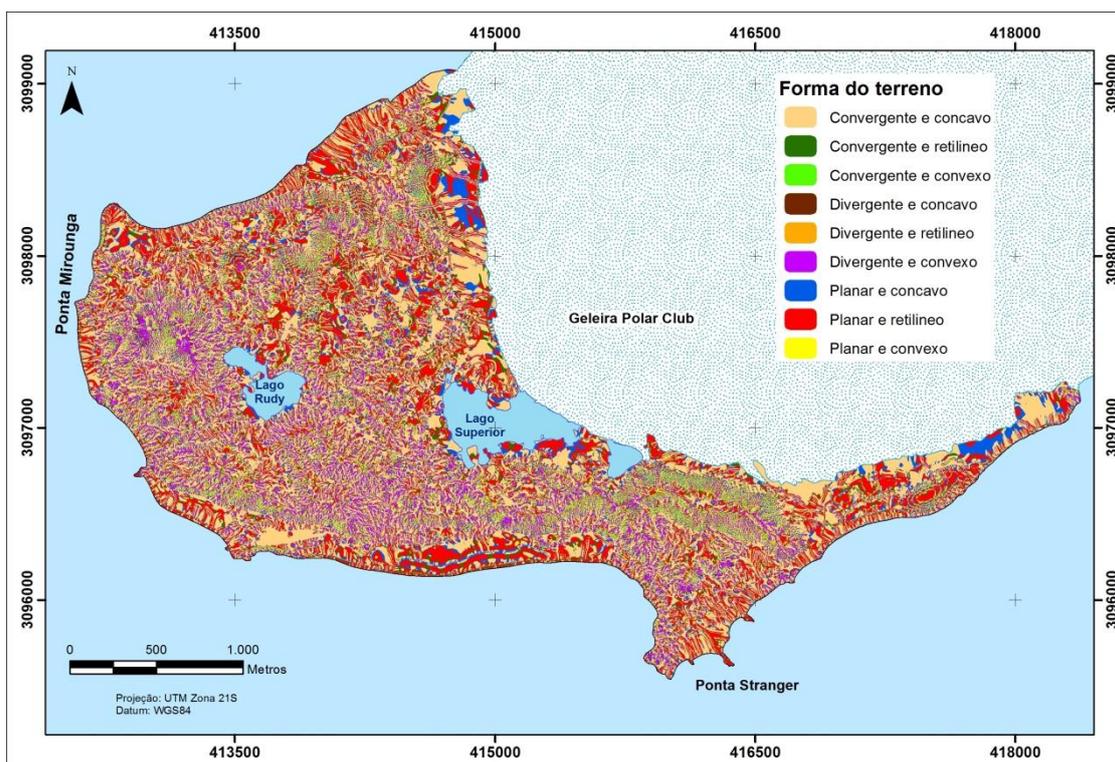


Figura 4. 10: Forma do terreno das áreas livres de gelo da península Potter.

Foram geradas nove classes de variáveis morfométricas, representando a forma do terreno. A Tabela 4.4 apresenta o valor da área compreendida por cada uma das classes. A classe da superfície cuja forma do terreno é convergente e côncavo ou a classe planar e retilíneo apresentaram a maior abrangência superficial, cobrindo 41,5 e 20,6%, respectivamente. A classe da forma do terreno planar e côncavo e a classe divergente e convexo abrangem da superfície total 10,7 e 10,2%, respectivamente.

Tabela 4. 4: Variáveis morfométricas – Área de cada classe de forma do terreno nas áreas livres de gelo da península Potter.

Forma do Terreno	Área (km²)
Convergente e côncavo	2,96
Convergente e convexo	0,17
Convergente e retilíneo	0,45
Divergente e côncavo	0,10
Divergente e convexo	0,73
Divergente e retilíneo	0,08
Planar e côncavo	0,76
Planar e convexo	0,41
Planar e retilíneo	1,47

De acordo com Valeriano (2008 b), as formas extremas do terreno são as classes: convergente/côncavo e divergente/convexo. Segundo o autor, a superfície convergente e côncava apresenta a máxima concentração e acúmulo do escoamento, sendo portanto área propícia para a acumulação do material drenado, enquanto a superfície divergente e convexa é caracterizada pela máxima dispersão do escoamento do material. É importante salientar que somente os atributos da forma do terreno não são suficientes para determinar os padrões da drenagem, sendo portanto fundamental a intersecção deste plano de informações com outros dados como a declividade e o tipo de solo.

Uma importante informação passível de extração da geomorfologia é a orientação das vertentes. A orientação da vertente refere-se ao sentido em que está voltada a direção esperada do escoamento superficial, sendo seu valor expresso em azimute em relação ao norte geográfico, variando de 0° a 360° e crescendo no sentido horário (VALERIANO, 2008 a). A orientação da vertente influencia no regime térmico superficial, devido às taxas de incidência da radiação solar, variando de acordo com o sentido em que está voltada. Na Antártica, a importância da orientação da vertente é ainda maior devido ao maior tempo de exposição à radiação solar nas vertentes voltadas para o norte e os baixos valores de radiação incidente nas vertentes voltadas para o sul. A Figura 4.11 exibe a configuração da orientação das vertentes nas áreas livres de gelo da península Potter.

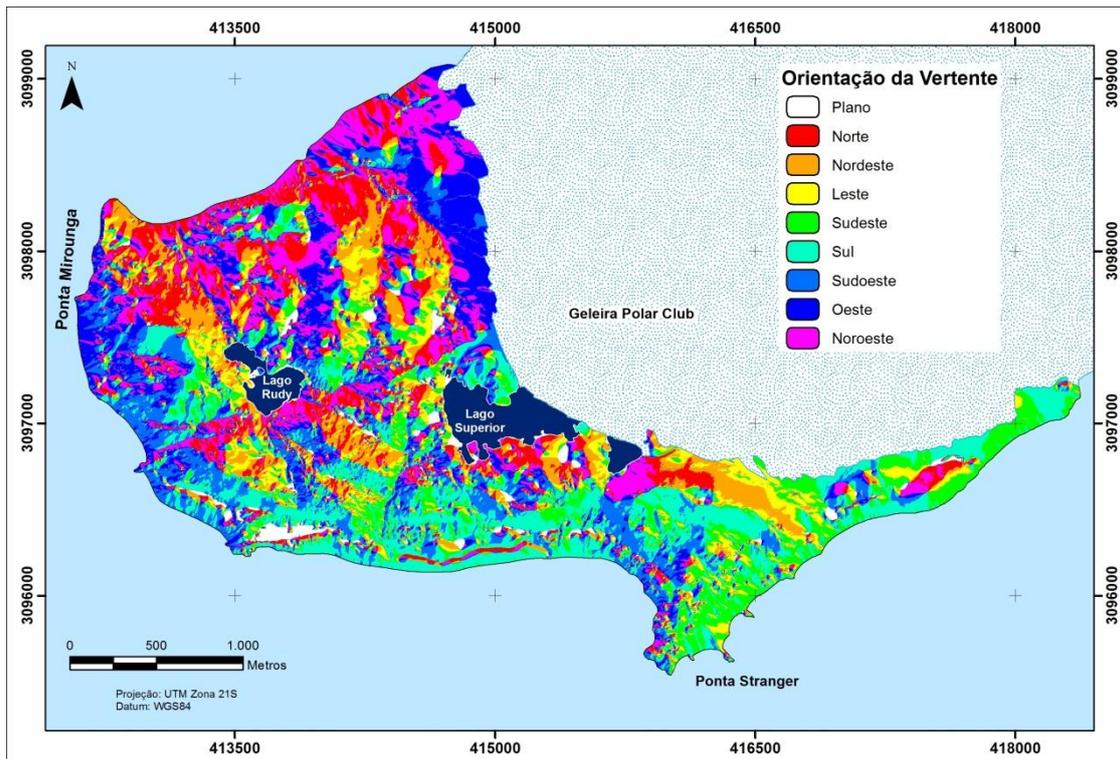


Figura 4. 11: Orientação das vertentes nas áreas livres de gelo da península Potter.

Na península Potter, o vento é forte e proveniente principalmente do leste e oeste, com rajadas que podem atingir valores superiores a 100 km/h (SCHLOSS *et al.*, 1998). Neste local, a ação eólica está entre os principais elementos modeladores da variação e espessura da neve, influenciando diretamente na distribuição e na deposição das camadas de neve. Segundo Wunderle *et al.* (1998), nas vertentes com a face voltadas para o sentido que recebe diretamente o vento, a neve torna-se bastante compactada pelo vento. Em contrapartida, nas vertentes cujas faces estão voltadas no sentido contrário à direção do vento, a neve é protegida por esta barreira física, originando arestas salientes nos cumes (cornijas).

Visando mapear na área livre de gelo da península Potter as superfícies que recebem maior suscetibilidade à ação eólica, a área livre de gelo foi segmentada em classes de acordo com a orientação da vertente. As vertentes voltadas para leste e oeste foram classificadas como as vertentes com maior suscetibilidade à ação eólica intensa, enquanto as vertentes voltadas para nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste foram classificadas como intensidade média; e por fim, as vertentes voltadas para norte ou sul foram classificadas como pouca ou nenhuma intensidade. O resultado desta classificação é apresentado na Figura 4.12.

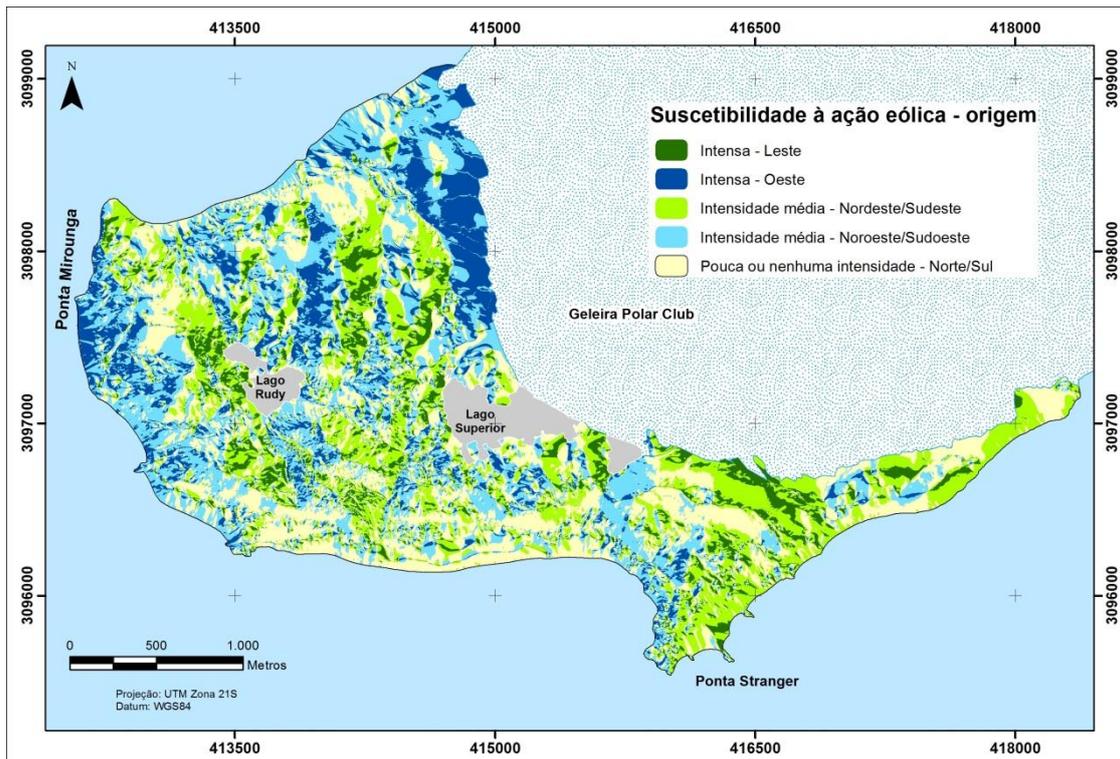


Figura 4. 12: Superfícies das áreas livres de gelo da península Potter que sofrem susceptibilidade à ação eólica. Também é apresentada a direção do vento incidente.

Na superfície livre de gelo da península Potter, a classe de susceptibilidade eólica com maior abrangência é a de pouca ou nenhuma intensidade, perfazendo 31,3% da superfície. As classes de intensidade média dos ventos nordeste/sudeste e noroeste/sudoeste possuem a área superficial de 21,1 e 25,8%, respectivamente. As superfícies que possuem suas vertentes voltadas para leste e oeste apresentam as menores proporções de áreas na península com área de 8,2 e 13,6%, respectivamente.

4.4. Estimativa da radiação solar incidente na superfície

Esta seção apresenta os resultados obtidos na análise da correlação existente entre a distribuição espacial das comunidades vegetais classificadas através de técnicas de sensoriamento remoto e as taxas de radiação global incidentes na superfície geradas a partir de modelagem nas áreas livres de gelo da península Potter.

A estimativa da radiação global incidente na superfície foi feita utilizando o módulo *Solar Analyst* implementado no programa ArcGIS, através do método descrito por Fu e Rich (1999). A partir dessa operação, foram gerados mapas representando a radiação global total potencial incidente em cada porção da superfície, englobando a soma das radiações diretas e difusas.

Este método de quantificação da radiação solar global incidente possui limitações em decorrência dos valores gerados serem potenciais máximos, simulando situações em que não ocorram variações nos componentes atmosféricos, não sendo portanto considerada a cobertura de nuvens. Esta modelagem considera principalmente a latitude da área analisada, a geometria da topografia e o ângulo de incidência do sol em cada período do ano.

A estimativa da radiação global incidente foi feita para períodos demarcados de acordo com as estações do verão, outono, inverno e primavera de 2011. Esta divisão foi feita com o objetivo de determinar as estações do ano que apresentaram valores de radiação solar propício e não propício para o desenvolvimento das comunidades vegetais. A Figura 4.13 apresenta os resultados obtidos na estimativa da radiação global incidente nas áreas livres de gelo da península Potter durante as estações do ano.

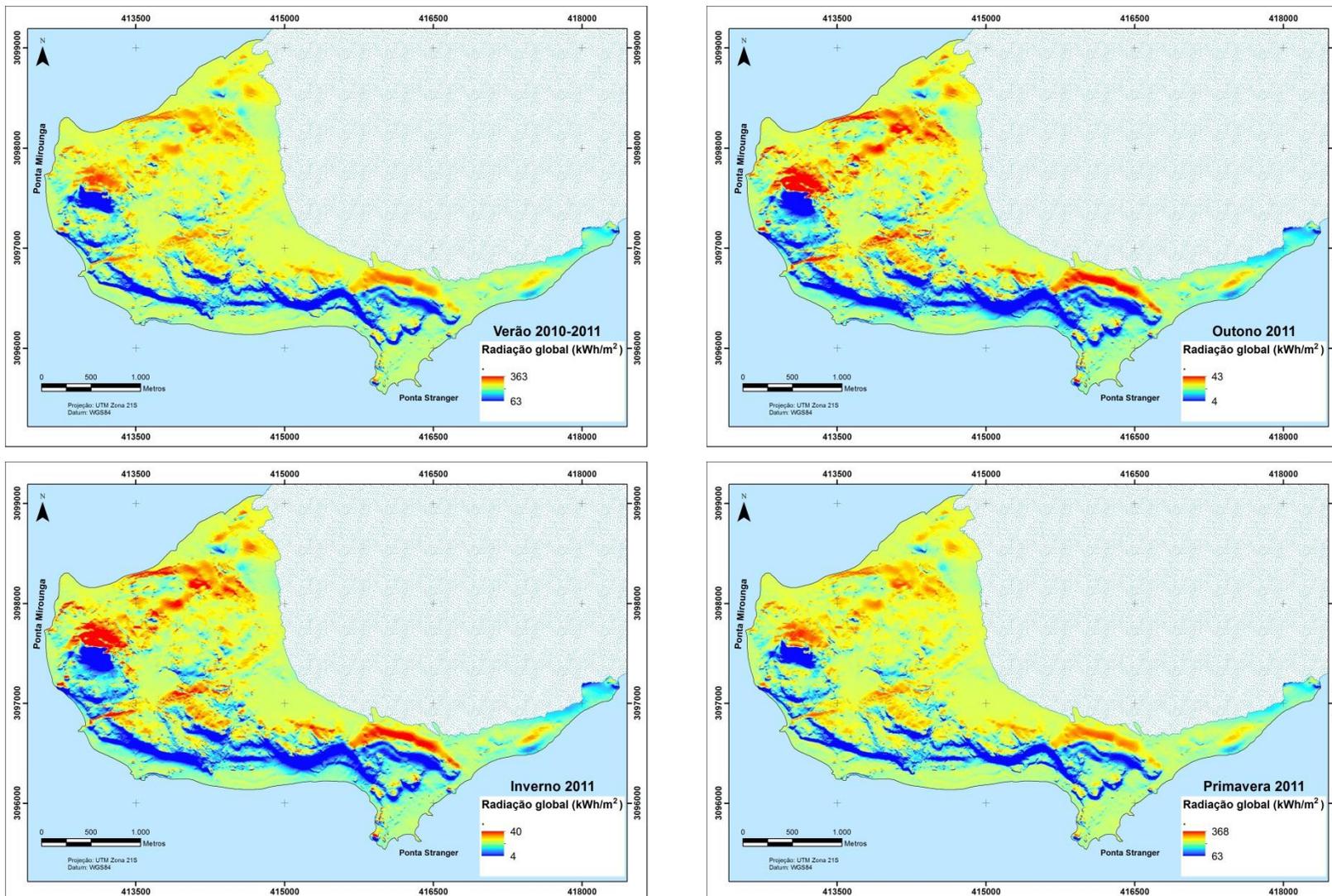


Figura 4. 13: Taxas de radiação solar global incidente na superfície livre de gelo da península Potter nas quatro estações do ano.

4.4.1. Influência da radiação solar na distribuição superficial da vegetação

A radiação proveniente do Sol está entre os principais elementos para o desenvolvimento de comunidades vegetais na região da Antártica Marítima (PEREIRA e PUTZKE, 1994). As taxas de radiação global incidente na península Potter variam de acordo com o período do ano, tendo sido registrado similaridade nos valores máximos de incidência durante os períodos do verão e primavera e nos valores mínimos durante o inverno e outono. O tempo de ocorrência de radiação solar durante as estações também acompanhou o padrão de incidência, com os valores máximos registrados para o verão, primavera, outono e inverno de 1467, 1462, 694 e 690 horas, respectivamente. A Figura 4.14 exibe a quantidade de horas de radiação solar incidente em cada porção da superfície para a estação do verão. Neste período, as áreas contíguas a praia e ao sul da península representadas pela cor vermelha, apresentaram o maior tempo de incidência de radiação solar, com duração máxima de 1467 horas ao longo do período. Também se destacam os valores elevados de duração na área onde está localizado o lago Superior, próximo geleira Polar Club, superfície esta de recuo recente. Está área é de recuo recente e no futuro pode ser favorecida para o desenvolvimento de comunidades vegetais em decorrência do maior tempo de incidência de radiação e com a estabilidade no ambiente.

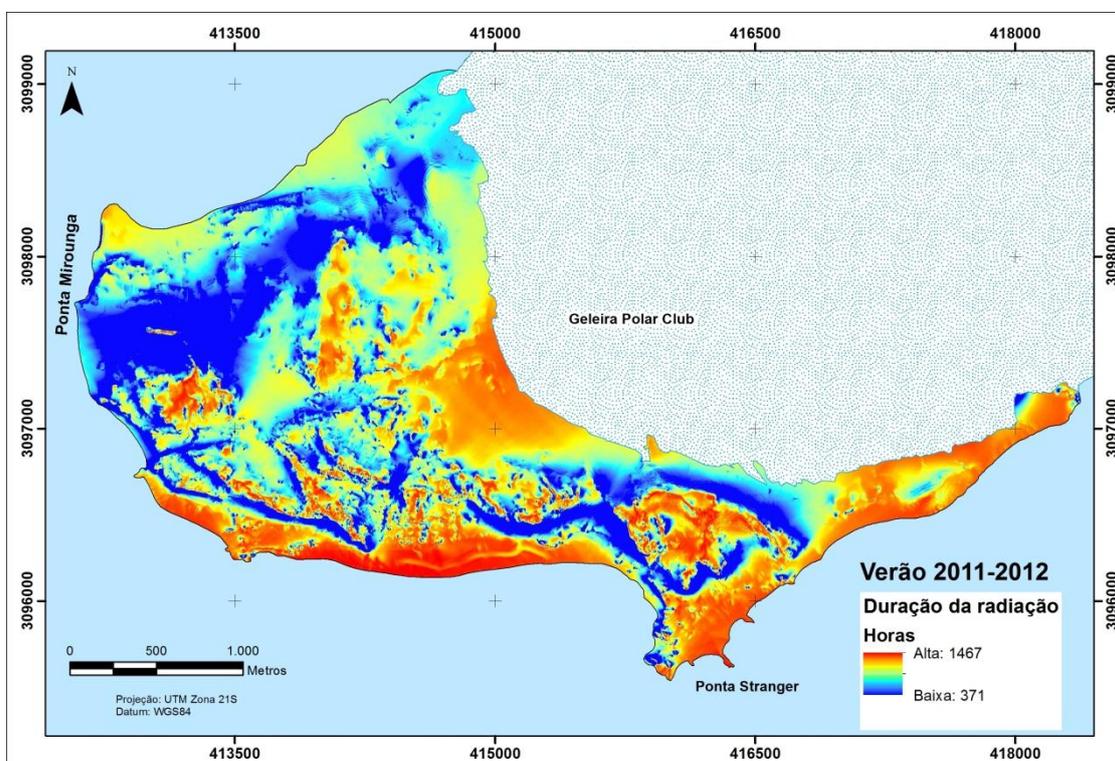


Figura 4. 14: Tempo de incidência da radiação solar global na superfície livre de gelo da península Potter durante a estação do verão. As áreas que apresentam maior tempo de

exposição à radiação solar estão na porção sul da península, principalmente os terraços marinhos contíguos à praia.

Durante as estações de inverno e outono ocorrem as menores taxas de incidência da radiação solar sobre a superfície, havendo inclusive áreas da superfície que não recebem radiação solar durante todo este período. As áreas que apresentam ausência de radiação solar incidente estão localizadas principalmente nas encostas na porção sul da península, conforme demonstrado na Figura 4.15, que apresenta a quantidade de horas de radiação solar incidente durante o inverno. É possível visualizar que o padrão de duração da radiação solar incidente alternou, sendo que as superfícies que apresentaram maior quantidade de tempo de radiação durante o verão passaram a apresentar as menores quantidades de duração durante o inverno e o outono.

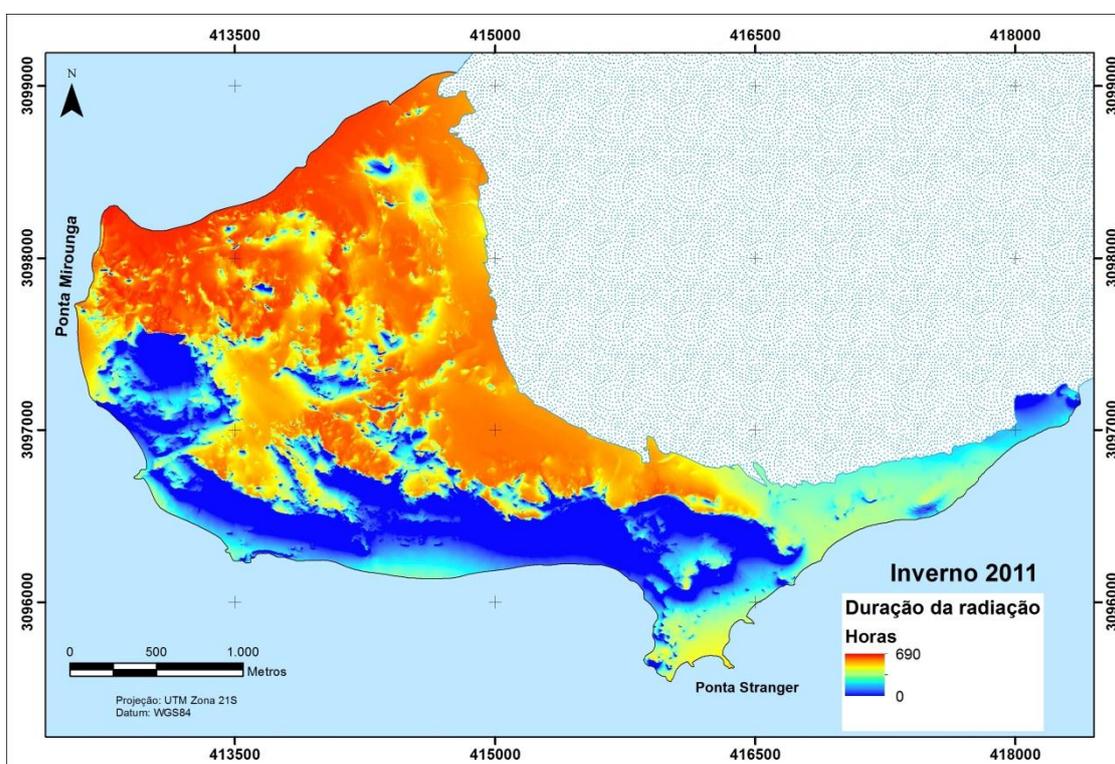


Figura 4. 15: Tempo de incidência da radiação solar global na superfície livre de gelo da península Potter durante a estação do inverno. É possível visualizar as vertentes com a coloração azul representando os locais em que não ocorreu incidência de radiação durante o inverno.

A distribuição espacial da vegetação nas áreas livres de gelo da península Potter foi gerada a partir da classificação da imagem QuickBird obtida na estação do verão de 2007. Entretanto, a estimativa da radiação incidente na superfície para outros períodos possibilita a análise da correlação existente com a distribuição da vegetação.

Esta análise é importante, já que mesmo durante o inverno e outono, períodos em que normalmente a vegetação na superfície é coberta pela neve, possibilitando assim delimitar as áreas que durante o inverno a radiação global incidente possui valores que possibilitam o desenvolvimento da vegetação. Esta informação possibilita definir as áreas da superfície que poderiam sofrer maiores alterações em condições em que o inverno e outono venham a apresentar a temperatura do ar acima da média, podendo resultar no derretimento da camada superficial de neve e conseqüentemente na exposição da vegetação superficial.

Cada tipo de vegetação possui um determinado intervalo de valores em que a taxa de radiação solar incidente é ideal para que ocorra o processo fotossintético, denominado ponto de compensação de luz (PCL). Os valores de PCL para cada classe de vegetação são apresentados na Tabela 3.5. Todavia, para efetivar a delimitação das áreas propícias os valores foram transformados de $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para kWh m^{-2} , de forma a ficarem compatíveis com os dados da radiação global incidente. Após calcular os valores de radiação global potencial incidente na superfície terrestre nas diferentes estações do ano, as superfícies foram segmentadas de acordo com o intervalo de PCL para as classes de musgos, líquens e algas talosas, estando exibidas na Figura 4.16 as áreas correspondentes ao PCL das classes de musgos e líquens durante as estações do ano.

A estação do outono foi a única das estações que apresentou radiação incidente dentro da faixa propícia para as três classes de vegetação, enquanto o verão e a primavera apresentaram radiação incidente com valores propícios apenas para a classe de líquens. Finalmente, a radiação incidente durante o período do inverno apresenta valores que são condizentes com o PCL das classes de musgos e algas talosas.

Através da distribuição das classes de vegetação gerada através da classificação da imagem QuickBird e da delimitação das áreas PCL de cada classe de vegetação, buscou-se analisar a correlação existente entre as duas informações. Para esta análise realizou-se a intersecção entre as áreas da vegetação com a área considerada como PCL para esta respectiva vegetação, resultando em um terceiro mapa contendo a vegetação localizada dentro da área PCL e a vegetação localizada fora da área PCL. O resultado desta operação é mostrado na Figura 4.17, com a espacialização das classes de musgos, líquens e algas talosas na estação do outono e a classe de musgos no inverno.

O musgo foi a única classe de vegetação que apresentou compatibilidade entre a área de distribuição da vegetação classificada e a área de PCL nas estações de inverno e outono, tendo sido registrado um total de 23,5 e 5,9% da vegetação

classificada dentro da área de PCL. Em contrapartida, os líquens nas quatro estações apresentaram 100% da superfície classificada localizada fora da área de PCL. O mesmo ocorreu as algas talosas para as estações de inverno e outono. A Tabela 4.5 exhibe por completo os dados gerados a partir da intersecção entre a vegetação e as áreas de PCL.

Tabela 4. 5: Área resultante da intersecção da vegetação classificada com as áreas de ponto de compensação à luz (PCL) para as classes de musgos, líquens e algas talosas. São apresentadas as áreas da vegetação localizadas dentro e fora da PCL.

Período	Classe	Área propícia total por estação do ano	Área da vegetação classificada	Vegetação classificada dentro da Área PCL		Vegetação classificada fora da Área PCL	
		(km ²)	(km ²)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Verão 2010/11	Musgos	0	0,051	-	-	-	-
	Líquens	0,045	0,493	0	0	0,493	100
	Algas Talosas	0	0,123	-	-	-	-
Inverno 2011	Musgos	2,207	0,051	0,012	23,5	0,039	76,5
	Líquens	0	0,493	0	0	0,493	100
	Algas Talosas	0,046	0,123	0	0	0,123	100
Outono 2011	Musgos	1,326	0,051	0,003	5,9	0,048	94,1
	Líquens	0,008	0,493	0	0	0,493	100
	Algas Talosas	0,008	0,123	0	0	0,123	100
Primavera 2011	Musgos	0	0,051	-	-	-	-
	Líquens	0,044	0,493	0	0	0,493	100
	Algas Talosas	0	0,123	-	-	-	-

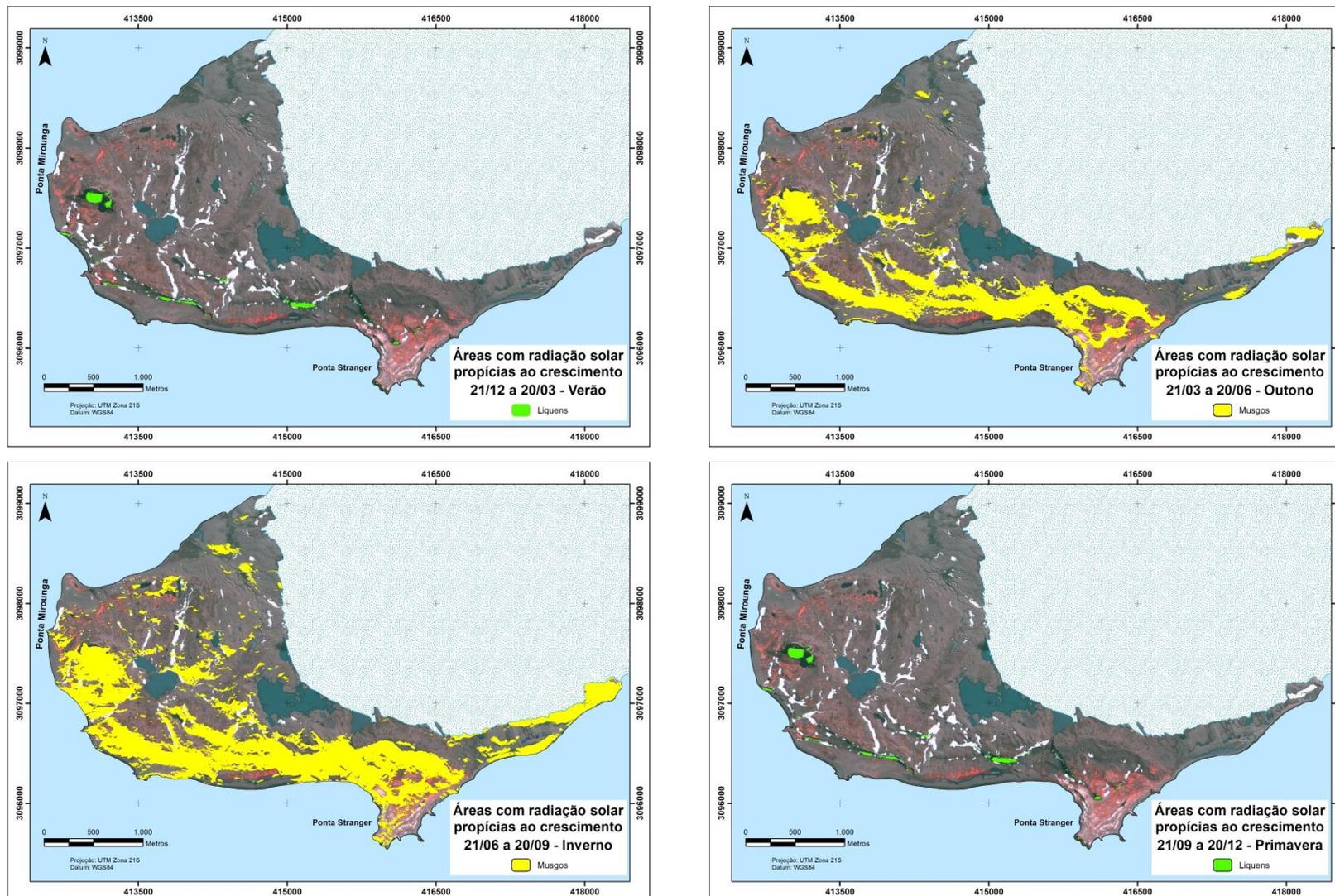


Figura 4.16: Áreas propícias ao desenvolvimento de comunidades vegetais a partir da radiação solar incidente na superfície conforme o período do ano.

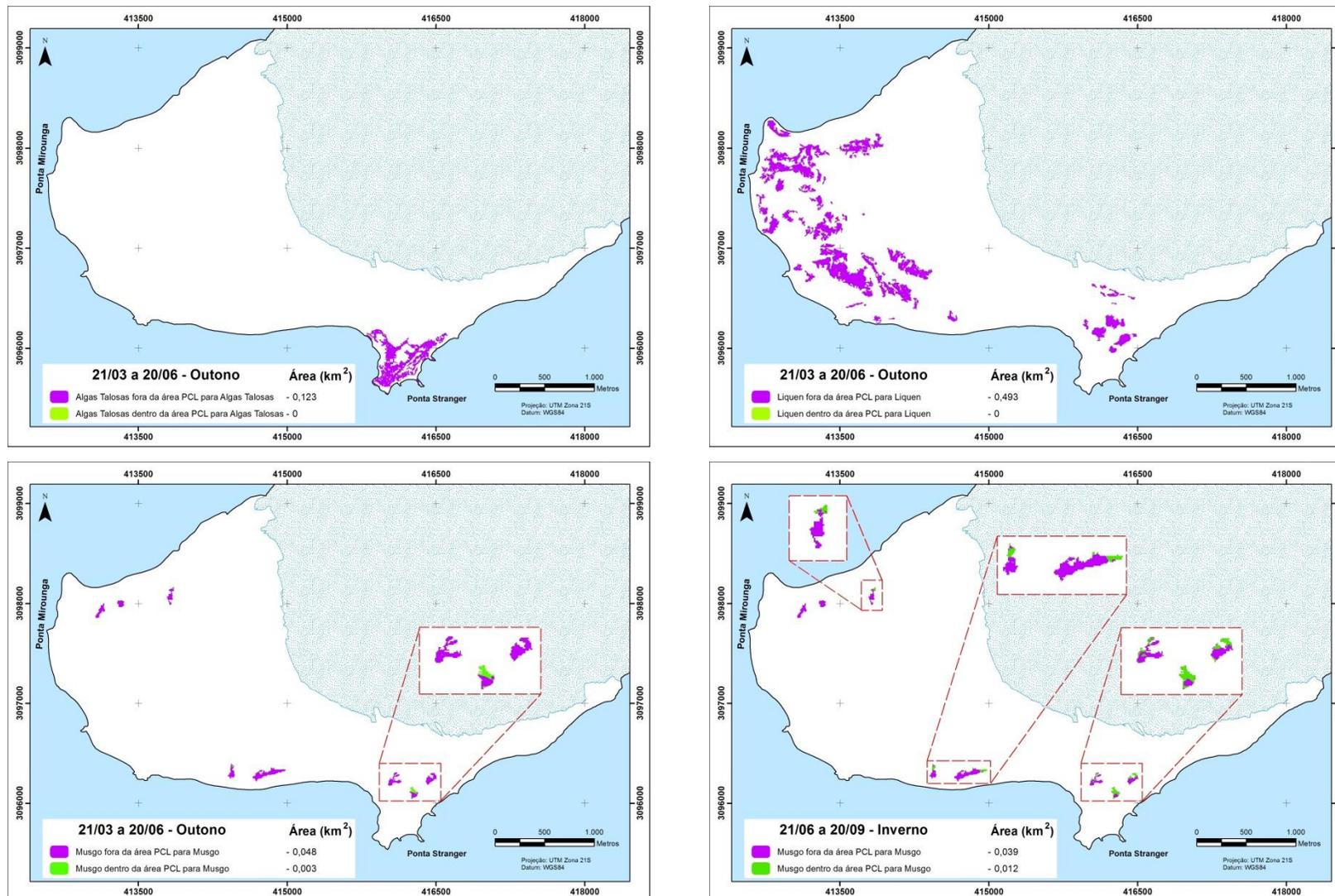


Figura 4. 17: Espacialização das classes de vegetação classificadas de acordo com as áreas de PCL conforme o período do ano.

Além das áreas de PCL é possível calcular as áreas cuja radiação solar incidente atinge valores superiores ao limite tolerável para o desenvolvimento das comunidades vegetais, denominado de ponto de saturação (PS). Para calcular as áreas de PS também foram convertidos os valores de PS que inicialmente estavam em $\mu\text{mol fótons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para kWh m^{-2} , assim como ocorrido para os valores de PCL esta operação visou tornar estes dados compatíveis com os dados da radiação global incidente.

Após a conversão das informações de PS, os dados contendo os valores de radiação global incidente foram classificados de forma a destacar as áreas cujo valor de radiação incidente é superior ao tolerado pela vegetação, podendo acarretar na saturação. As classes de musgos e algas talosas foram as únicas que apresentaram áreas de PS nas estações do verão e primavera. Para a classe de líquens não houve constatação durante todo o período de incidência de radiação solar na superfície com taxa superior ao limite de PS, enquanto nas estações do inverno e outono em nenhuma das três classes houve saturação da radiação solar. As Figuras 4.18 e 4.19 exibem as áreas de saturação de radiação solar para as classes de musgos e também para algas talosas em associação com musgos para o período do verão e primavera, respectivamente.

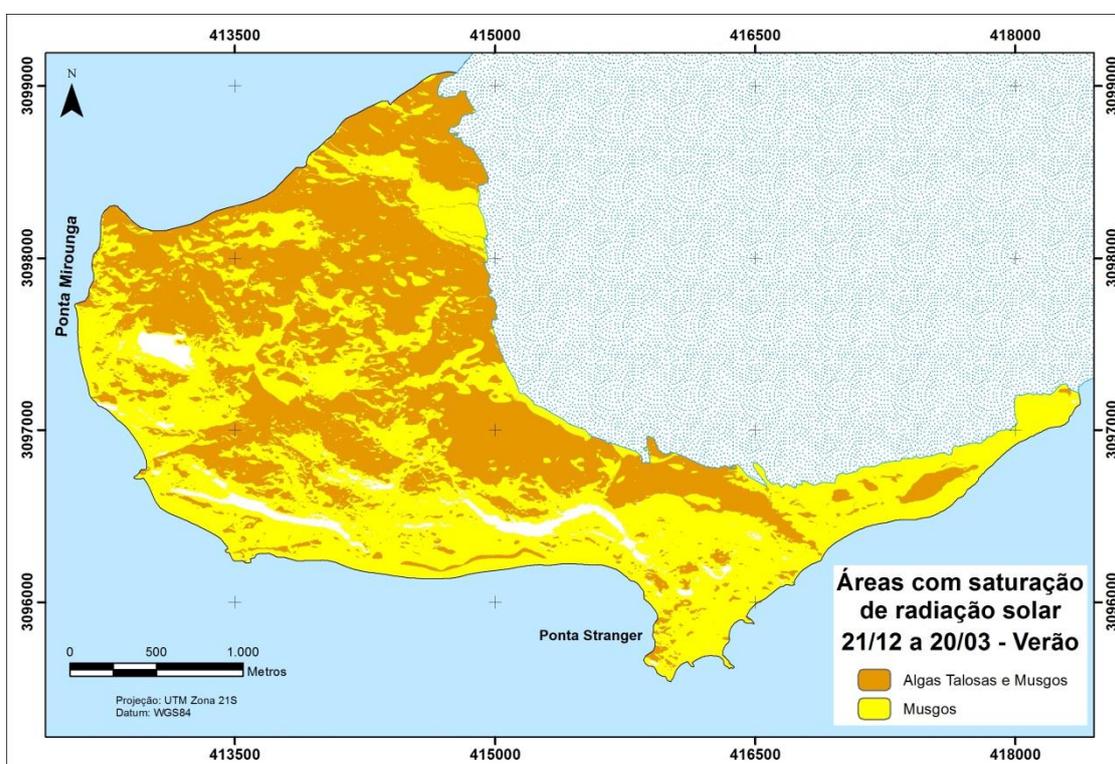


Figura 4. 18: Áreas da superfície que durante o verão apresentam saturação de radiação solar incidente para o desenvolvimento das comunidades vegetais.

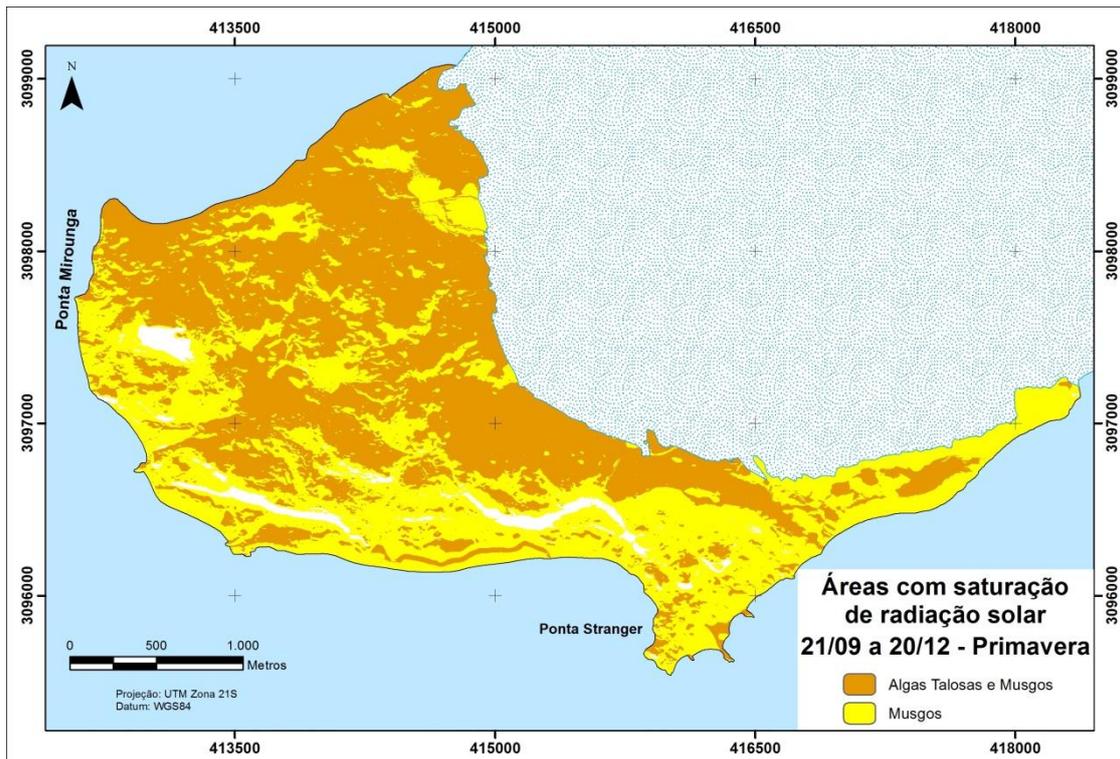


Figura 4. 19: Áreas da superfície que durante a primavera apresentam saturação de radiação solar incidente para o desenvolvimento das comunidades vegetais.

Através das Figuras 4.18 e 4.19 é possível visualizar a distribuição espacial das superfícies cujo valor de radiação modelado é superior ao limite para o desenvolvimento vegetal de acordo com o tipo de vegetação. A classe de algas talosas e musgos, mapeada na cor laranja, representa as áreas cujo valor de radiação é de saturação para as duas classes, sendo que a área de saturação para a classe musgo é complementada pela área mapeada na cor amarela.

Após a classificação, fez-se a intersecção entre o mapa contendo a vegetação classificada e o mapa contendo as áreas na superfície de PS. Durante as estações do inverno e primavera não se constatou superfícies cujo valor de incidência resultando em PS. Já no verão e na primavera registrou PS para as classes de musgos, associação de musgos e outra vegetação e algas talosas, sendo os valores altamente similares para os dois períodos. A Figura 4.20 exhibe o resultado do mapeamento realizado da intersecção entre a vegetação classificada com a área PS para as classes de associação de musgos e outra vegetação e também a classe de algas talosas para o período do verão e primavera.

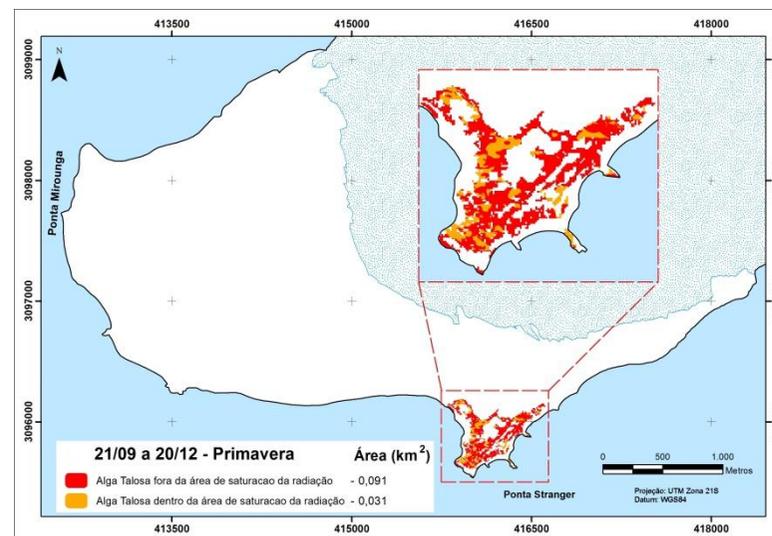
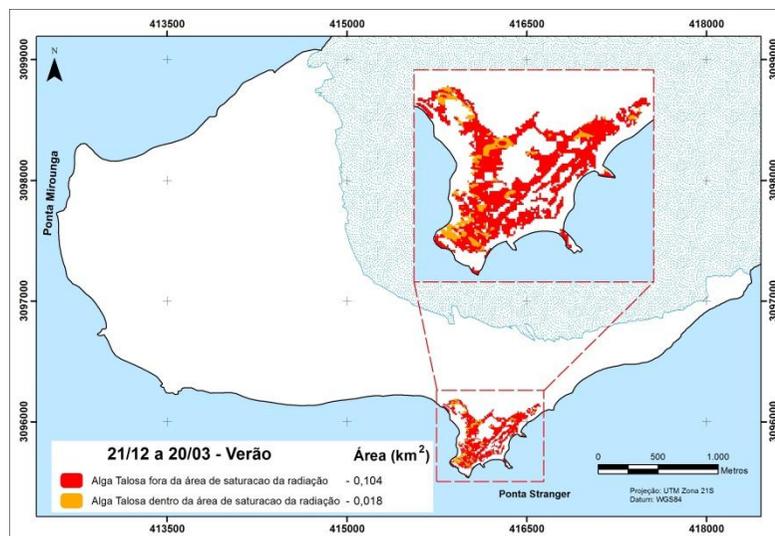
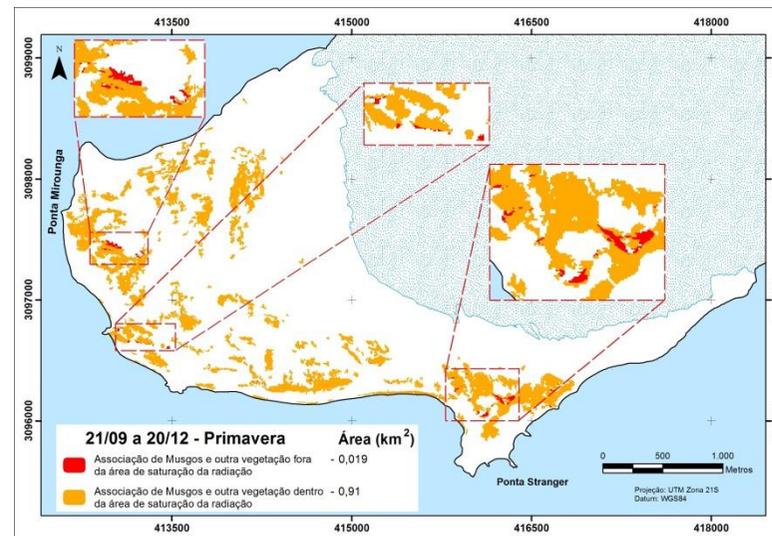
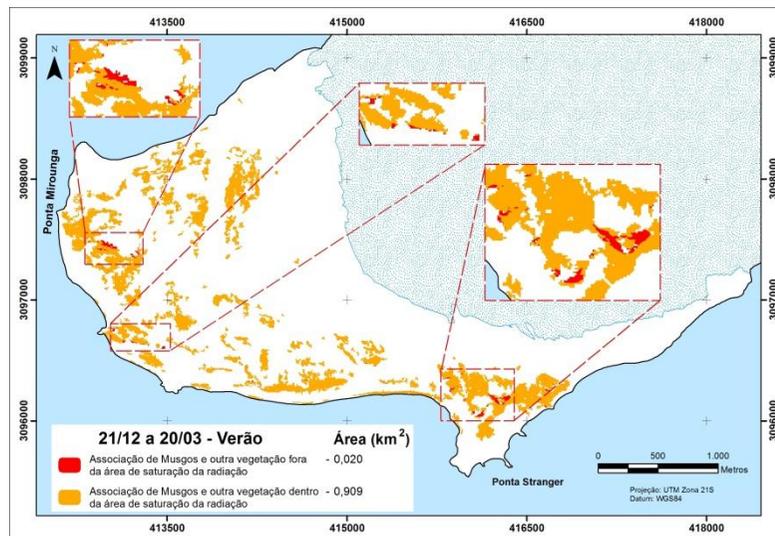


Figura 4. 20: Distribuição das comunidades vegetais, dentro e fora das áreas de saturação à radiação solar incidente.

A vegetação de musgos classificada está localizada em sua totalidade no interior das áreas consideradas PS nas duas estações, enquanto as outras duas classes apresentaram padrões distintos, com a classe de associação de musgos e outra vegetação estando em sua maior proporção localizada no interior da área PS e as algas talosas estão a maior parte localizadas fora da área PS. A Tabela 4.6 exhibe por completo o resultado da intersecção entre a vegetação classificada e a área PS, com a área e a respectiva porcentagem de recobrimento para cada classe.

Tabela 4. 6: Área resultante da intersecção da vegetação classificada com áreas de ponto de saturação à luz (PS) para as classes de musgos, líquens e algas talosas. São apresentadas as áreas da vegetação localizadas dentro e fora da PS.

Período	Classe	Área da vegetação classificada			
		Dentro da área PS		Fora da área PS	
		(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Verão	Musgos	0,051	5,2	0	0
	Associação de musgos e outra vegetação	0,909	92,9	0,020	16,1
	Algas talosas	0,018	1,9	0,104	83,9
Primavera	Musgos	0,051	5,1	0	0
	Associação de musgos e outra vegetação	0,91	91,7	0,019	17,3
	Algas talosas	0,031	3,2	0,091	82,7

Os resultados obtidos na análise da correlação existente entre a distribuição da vegetação e a radiação solar global incidente nas áreas livres de gelo evidenciam que os parâmetros de radiação solar incidente não foram eficazes para descrever os padrões de cobertura superficial da vegetação. Uma possibilidade de alcançar resultados utilizando essa metodologia seria utilizar fatores não parametrizados nesse estudo, como o tipo de solo, suscetibilidade eólica etc. Considera-se que não há correlação entre as áreas mapeadas como PCL e PS com a real distribuição da vegetação na superfície. Entretanto, essa constatação pode ser decorrente de elementos no ambiente que impossibilitam o desenvolvimento das comunidades

vegetais nesses locais de PS, como por exemplo, o intenso vento incidente sobre a superfície que impede a fixação e expansão espacial da vegetação.

4.5. Processamento das imagens COSMO-SkyMed

Em decorrência da ampla área abrangida e da possibilidade de obtenção contínua de dados, os sistemas de satélites orbitais são ferramentas fundamentais para atividades de pesquisa, principalmente em ambientes como o da Antártica. O conjunto de dados SAR utilizados no desenvolvimento deste trabalho é composto por cinco imagens do satélite COSMO-SkyMed. A Figura 4.21 exibe as cinco imagens SAR já submetidas à normalização radiométrica, filtragem do speckle e correção da geometria, enquanto na Tabela 4.7 são apresentadas as principais informações técnicas relativas às imagens obtidas. Dentre as imagens utilizadas, as cenas dos dias 14 e 15 de fevereiro de 2012 foram obtidas durante o período em que estavam ocorrendo as atividades de campo, ampliando a qualidade da interpretação da superfície.

As imagens COSMO-SkyMed utilizadas neste estudo foram obtidas em nível 1A do tipo *Single-Look Complex Slant* (SCS). Nestas imagens a magnitude dos pixels é representada por um valor complexo I e Q. A posição da imagem neste nível refere-se à coordenada da visada (alcance inclinado). O nível de processamento desses dados inclui o ganho de compensação do receptor, calibração interna, dados com foco, estatística de estimativa dos dados de saída e formatação dos dados de saída.

A série de imagens utilizada necessitou de alguns processamentos iniciais para tornar as imagens adequadas para a extração de dados superficiais. Neste trabalho, o processamento das imagens foi executado em três etapas: a primeira é referente à calibração radiométrica, seguido da filtragem do speckle e finalmente a correção da geometria das imagens.

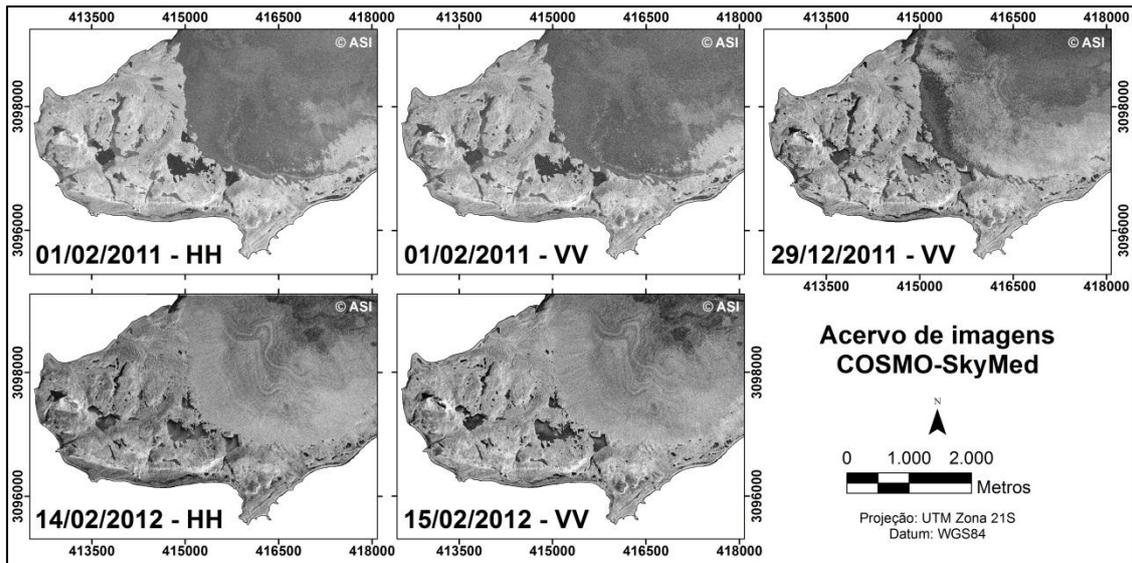


Figura 4. 21: Acervo de imagens COSMO-SkyMed da península Potter utilizadas neste trabalho.

A rotina de processamento das imagens COSMO-SkyMed utilizadas neste estudo é apresentada na Figura 4.22.

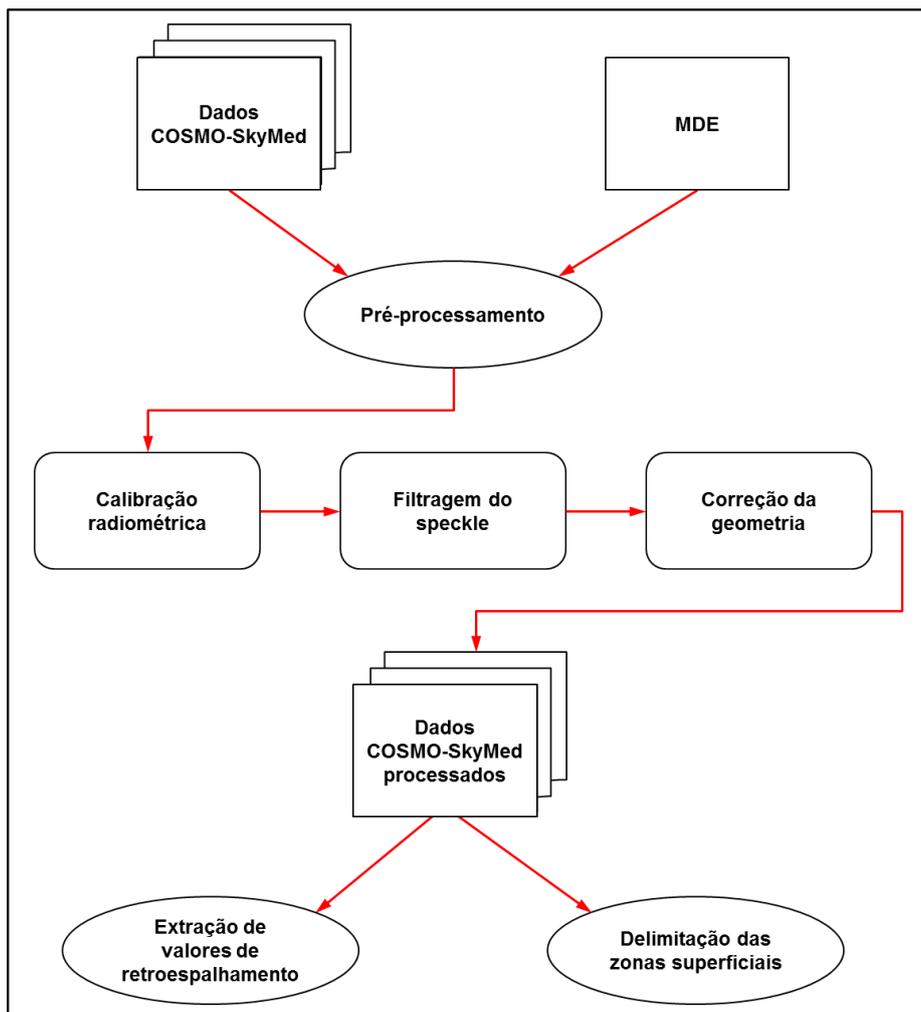


Figura 4. 22: Rotina de processamento dos dados COSMO-SkyMed utilizados neste estudo.

Tabela 4. 7: Informações técnicas das imagens COSMO-SkyMed utilizadas neste trabalho.

Data das imagens COSMO-SkyMed	Polarização	Satélite da constelação	Modo de aquisição	Direção da órbita	Horário da aquisição
01/02/2011	HH	2	SpotLight	Descendente	20h04min
01/02/2011	VV	3	SpotLight	Descendente	19h46min
29/12/2011	VV	2	SpotLight	Descendente	20h07min
14/02/2012	HH	2	SpotLight	Descendente	19h49min
15/02/2012	VV	2	SpotLight	Descendente	20h06min

4.5.1. Calibração radiométrica e correção geométrica

A imagem SAR na configuração bruta possui erros gerados no processo de obtenção pelo satélite e para a elaboração de estudos quantitativos como: comparação de dados adquiridos por diferentes sensores SAR, obtenção de dados geofísicos através dos valores de retroespalhamento e estudos multitemporais, se faz necessário corrigir estes erros.

Segundo Freeman (1992), as principais causas de erro na radiometria das imagens SAR são decorrentes das flutuações na potência dos sinais transmitidos, dos ganhos do receptor, de ruídos e do padrão de iluminação da antena. Para efetivar a normalização radiométrica é necessário determinar o padrão de iluminação da antena para cada pixel na superfície, podendo este procedimento ser feito por diversas técnicas de processamento de imagens.

Para a normalização radiométrica de imagens SAR, um método adequado é efetuado a partir das informações superficiais contidas em um modelo digital de elevação (MDE). Neste método, a superfície da imagem SAR é simulada a partir dos parâmetros topográficos contidos no MDE, como o ângulo de incidência, sendo complementado com os dados da geometria de iluminação e da linha de voo do satélite (FREEMAN, 1992). Neste procedimento, a geometria da imagem SAR é corrigida a partir do conjunto de pontos de referência do MDE.

As imagens COSMO-SkyMed utilizadas neste estudo foram disponibilizadas no nível de processamento SCS_B, dados que possuem os valores dos pixels relacionados ao retroespalhamento do terreno por meio de uma constante. Entretanto, foi necessário transformar estes valores para o coeficiente de retroespalhamento do radar (σ°) a partir dos valores de uma superfície projetada no alcance inclinado, transformando o valor de cada pixel para decibel (dB). Um bel é o equivalente a uma diferença unitária em logaritmos de base 10 entre dois números, sendo um dB igual a 0,1 bel, uma diferença de 0,1 na base logarítmica 10 entre dois números.

O MDE utilizado como base para a elaboração da calibração radiométrica e a correção geométrica das imagens SAR foi elaborado a partir das curvas de nível com equidistância de 3 m, do mapa topográfico elaborado por Lusky *et al.* (2001) para a área livre de gelo da península Potter. A reamostragem dos pixels e do MDE foi feita através de interpolação por meio do método do vizinho próximo. O procedimento de elaboração do MDE é descrito no item 4.5.2. *Modelo digital de elevação.*

As calibrações radiométrica e geométrica das imagens SAR foram efetuadas utilizando o *software* Next ESA SAR Toolbox (NEST), desenvolvido pela Agência

Espacial Europeia (ESA) e disponibilizado de forma livre. Para a calibração radiométrica dos dados SAR foi utilizado o método proposto por Freeman (1992).

No término do processo de correção da geometria, é gerado uma imagem onde os pixels assumem a posição a partir das feições correspondentes na superfície, minimizando os efeitos resultantes da distorção pelo efeito do relevo, tornando possível a sobreposição com o MDE.

4.5.2. Filtragem do speckle

O speckle é um padrão que ocorre nos dados SAR aleatoriamente devido à natureza coerente das micro-ondas, resultando em interferências construtivas e destrutivas, gerando áreas com tons claros e escuros nas imagens. O speckle degrada a qualidade da imagem e dificulta a interpretação das feições superficiais.

Utilizando técnicas de processamento de imagem como a filtragem, é possível reduzir o efeito do speckle. Entretanto, não existe a possibilidade do speckle ser eliminado por completo. Uma característica da filtragem no domínio espacial é acarretar mudanças em todos pixels da imagem, sendo importante escolher o tipo de filtro a ser utilizado de acordo com a informação na imagem que se busca destacar.

Neste estudo, as cinco imagens SAR passaram pelo processo de redução do speckle, utilizando o filtro de mediana com janela 3x3 para reduzir o speckle nas zonas de neve e gelo da Península Antártica de modo a interferir o mínimo nas informações referentes às bordas entre essas feições. O filtro de mediana possui a vantagem de suavizar o efeito speckle com pouca interferência nas bordas dos alvos superficiais (RICHARDS e JIA, 2006). Nesta filtragem, o valor do pixel do centro da janela 3x3 é dado a partir da mediana de todos os pixels abrangidos pela janela (SCHOWENGERDT, 2007).

Para as imagens SAR deste estudo, foi aplicado o filtro de mediana com janela 3x3 e 5x5, tendo sido obtido melhor resultado visual com a janela 3x3, principalmente devido à perda de informações resultante da suavização no interior das classes com a janela 5x5. A Figura 4.23 apresenta os padrões distintos da interferência dos ruídos do speckle na imagem COSMO-SkyMed de 01/02/2011 - HH. Na imagem sem filtragem a interferência do ruído proveniente do speckle é maior, reduzindo o contraste entre os alvos superficiais e conseqüentemente dificultando a interpretação. As imagens com filtro de mediana 3x3 e 5x5 aparentam ser semelhantes, contudo a imagem com filtro 5x5, devido à maior suavização apresenta um aspecto “embaçado”. Em decorrência do resultado visual obtido com o filtro de mediana 3x3, optou-se nesse estudo por padronizar todos os procedimentos de filtragem das imagens COSMO-SkyMed

utilizando o filtro com janela 3x3. As imagens nesse estudo possuem resolução espacial de 1 m, o que somando às informações visuais após a filtragem ampliará a capacidade de discretizar os alvos, indo de encontro com os objetivos desse trabalho.

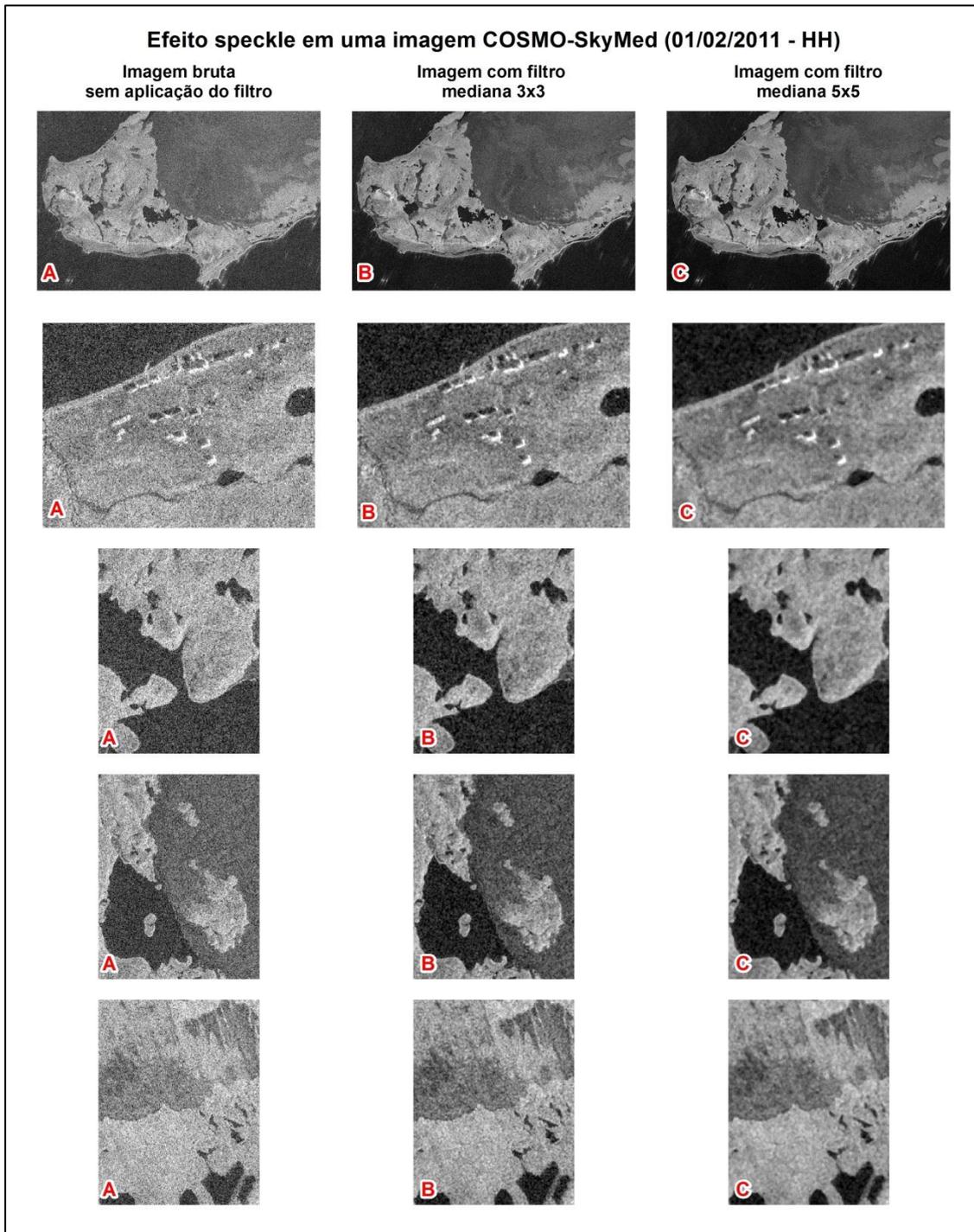


Figura 4. 23: Resultado da aplicação do filtro de mediana em uma imagem COSMO-SkyMed da península Potter. A figura apresenta a imagem bruta sem aplicação do filtro (A) e a mesma imagem após a filtragem por mediana 3x3 (B) e mediana 5x5 (C).

4.5.3. Valores de retroespalhamento dos diferentes alvos na península Potter

Estudos com o propósito de classificar os elementos da superfície em imagens SAR, a partir dos seus valores de retroespalhamento, foram desenvolvidos com diferentes áreas de estudo e conjunto de dados SAR (ALBRIGHT *et al*, 1998; RAU *et al*, 2000; ARIGONY-NETO *et al*, 2007; ARIGONY-NETO *et al*, 2009).

As imagens de radar são importantes ferramentas para o mapeamento da superfície terrestre, apresentando dados em diferentes resoluções espaciais, aquisição de dados em qualquer horário e sensibilidade a atributos hidrológicos e climáticos (ALBRIGHT *et al*, 1998), características essas fundamentais para estudos em regiões polares.

Grande parte dos estudos dos valores de retroespalhamento das feições superficiais já desenvolvidos foram feitos utilizando a banda C de dados SAR. Considerando os dados da banda X do satélite COSMO-SkyMed ainda não se tem conhecimento de trabalhos com enfoque em zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas. Conhecer o padrão de retroespalhamento dos alvos da superfície é importante para determinar e quantificar as características de retroespalhamento dos diferentes componentes superficiais da península Potter. Neste estudo foi adaptado o método proposto por Rau *et al*. (2001), no qual através do traçado de um perfil longitudinal em dados SAR na Península Antártica foi delimitado os valores de retroespalhamento de cada fração do perfil, possibilitando associar as informações obtidas através da interpretação visual com os valores de retroespalhamento.

Para a delimitação das zonas de radar da península Potter foram traçados quatro perfis, estando os perfis A e B localizados nas áreas livres de gelo e os perfis C e D na superfície da geleira Polar Club (Figura 4.24). O comprimento dos perfis A, B, C e D é 3,03 km, 0,71 km, 2,5 km e 2,81 km respectivamente.

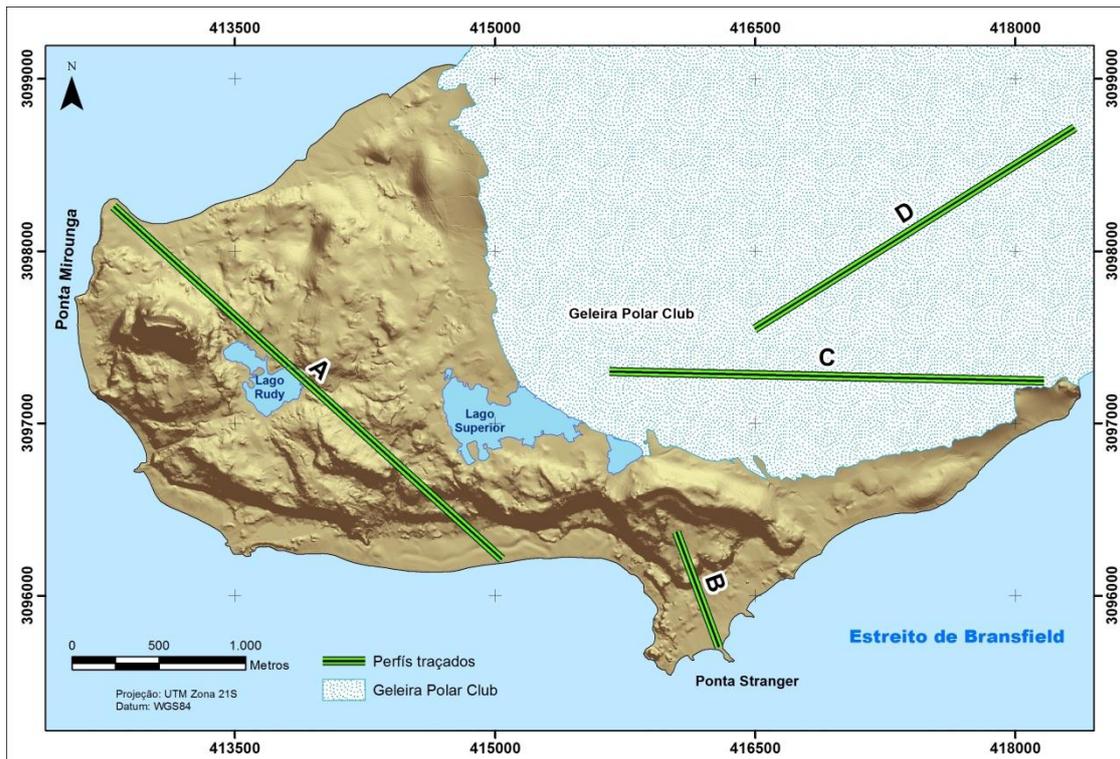


Figura 4. 24: Perfis utilizados para extrair os valores de retroespalhamento da superfície da península Potter a partir das imagens COSMO-SkyMed. Os perfis A e B abrangem a área livre de gelo, enquanto os perfis C e D estão localizados sobre a geleira Polar Club.

A partir de cada perfil transversal foram extraídos os valores de retroespalhamento para cada pixel das cinco imagens SAR utilizadas no trabalho. O traçado dos perfis na área livre de gelo foi delimitado de forma a abranger o máximo de feições na superfície com diferentes valores de altimetria e formas do relevo. Já os perfis localizados na geleira Polar Club foram definidos com o intuito de abranger as superfícies que apresentaram variações temporais, possibilitando associar esta variação visual e temporal com os respectivos valores de retroespalhamento. As Figuras 4.25 e 4.26 exibem a representação simulada dos perfis transversais sobre a superfície em dois pontos distintos da península Potter. A Figura 4.25, a partir da fotografia obtida no dia 10 de fevereiro de 2012 exibe uma fração do lago Rudy e parte do perfil A já classificado conforme o tipo de classe da superfície.

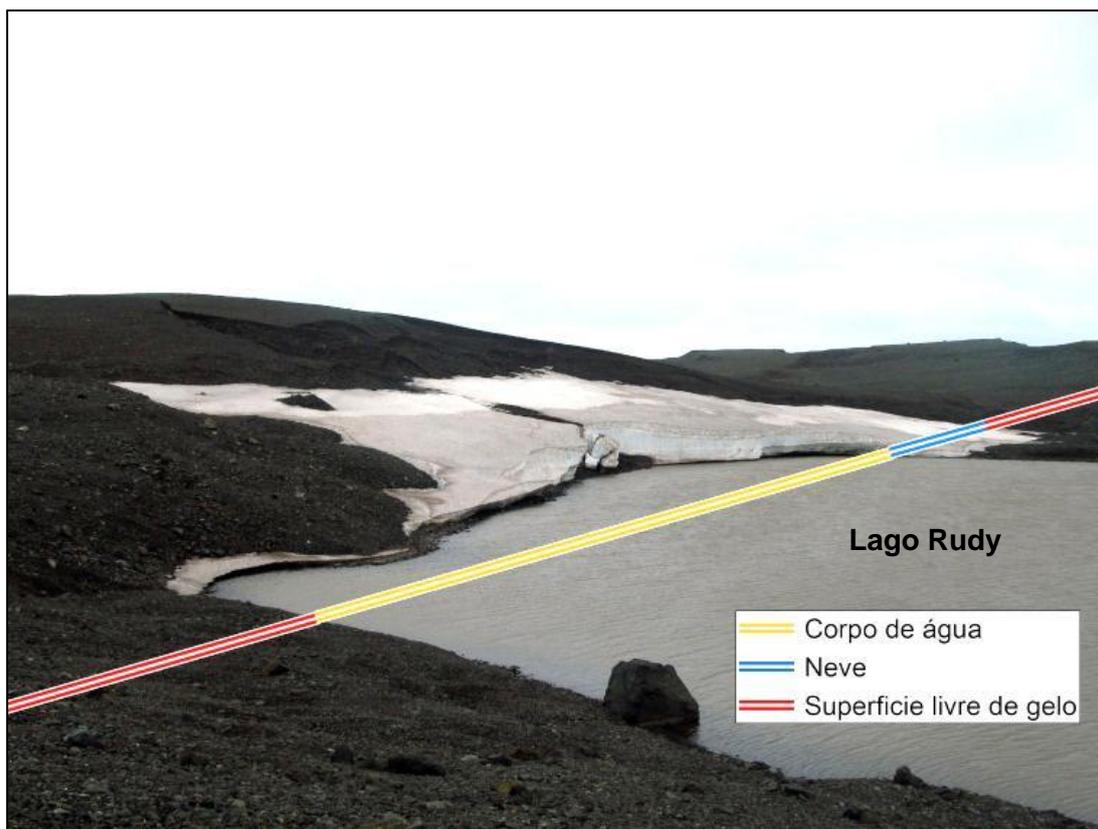


Figura 4. 25: Parte do lago Rudy e a representação do perfil A classificado de acordo com a classe da superfície B (Fotografia do autor, obtida no dia 10 de fevereiro de 2012).

A Figura 4.26, que abrange o extremo sul da península Potter foi obtida no dia 13 de fevereiro de 2012 e possibilita visualizar o terraço marinho e a região de Ponta Stranger. Nesta figura está representado o perfil B cobrindo superfícies livres de gelo cobertas por vegetação.

A descrição das características da superfície realizada em campo, e apresentada anteriormente no capítulo 4.2. *Levantamento de dados em campo*, foi um procedimento fundamental para aprimorar a qualidade da interpretação das feições nas imagens SAR. Devido aos diferentes períodos abrangidos nas imagens, estas feições superficiais apresentam variações visuais ao longo do tempo, principalmente devido às condições meteorológicas durante o período de obtenção das imagens. No capítulo 5 é apresentado de forma detalhada como se procedeu a delimitação das zonas superficiais da península Potter.

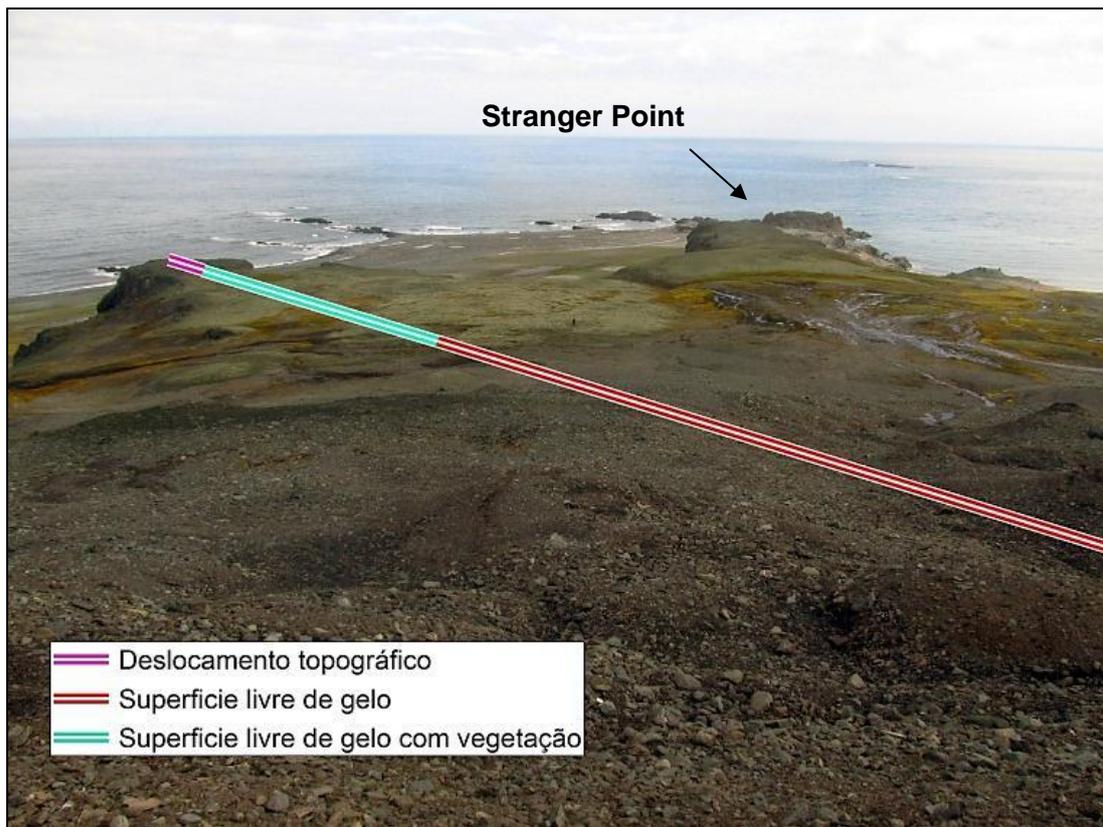


Figura 4. 26: Extremo sul da península Potter com a região da Ponta Stranger ao fundo na superfície ao nível do mar. Nessa figura está representada uma parte do perfil B (Fotografia do autor, obtida no dia 13 de fevereiro de 2012).

4.6. Interpretação a partir da imagem QuickBird e edição dos dados de vegetação e geomorfologia

A cena do satélite QuickBird utilizada neste estudo foi obtida no dia 06 de janeiro de 2007 e possui quatro bandas espectrais com resolução espacial de 2,44 m e uma banda pancromática com resolução espacial de 0,61 m. A Figura 4.27 apresenta a imagem QuickBird na composição RGB (432). Para a utilização da imagem no trabalho, foram realizados os procedimentos de correção geométrica e fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática.

A correção geométrica foi realizada utilizando pontos de controle extraídos do mapa topográfico de Lusky *et al.* (2001). No total foram selecionados sete pontos comuns no mapa topográfico e na imagem, tendo sido utilizado para o georreferenciamento da imagem foi utilizado o método descrito em Richards e Jia (2006) através do *software* ENVI, através do modelo polinomial, cujos parâmetros são determinados a partir do conjunto de coordenadas de feições na superfície que são homólogas, utilizando para a correção os valores de coordenadas extraídos de pontos

de controle. Após a correção da geometria da imagem foi feita a ortorretificação, visando minimizar as distorções relativas ao relevo resultando em uma imagem planimétrica com as feições com escala consistente em toda a cena. Este procedimento foi feito utilizando o coeficiente polinomial racional (RPC) e o MDE através da ferramenta *orthorectify* implementada no *software* ArcGIS.

A fusão de imagens é um procedimento que visa combinar imagens de distintos sensores ou bandas com diferentes resoluções espaciais para gerar um produto híbrido contendo as informações espaciais de uma imagem com as informações espectrais de outra imagem. Para realizar este procedimento foi utilizado o sistema cilíndrico de coordenadas, conhecido por transformação IHS (I- intensidade, H- matiz e S- saturação). Neste método, a imagem foi transformada do sistema RGB, composto por três bandas em conjunto, para o sistema IHS, composto por três bandas individualizadas. No sistema IHS, a banda de intensidade, contendo as informações do brilho da imagem, é substituída por outra banda com maior resolução espacial. Neste trabalho, a imagem incorporada ao sistema IHS foi a banda pancromática do QuickBird. Posteriormente, a imagem é novamente transformada para o sistema RGB. Entretanto, ao término da operação a imagem passou a ter a resolução espacial de 0,61 m.

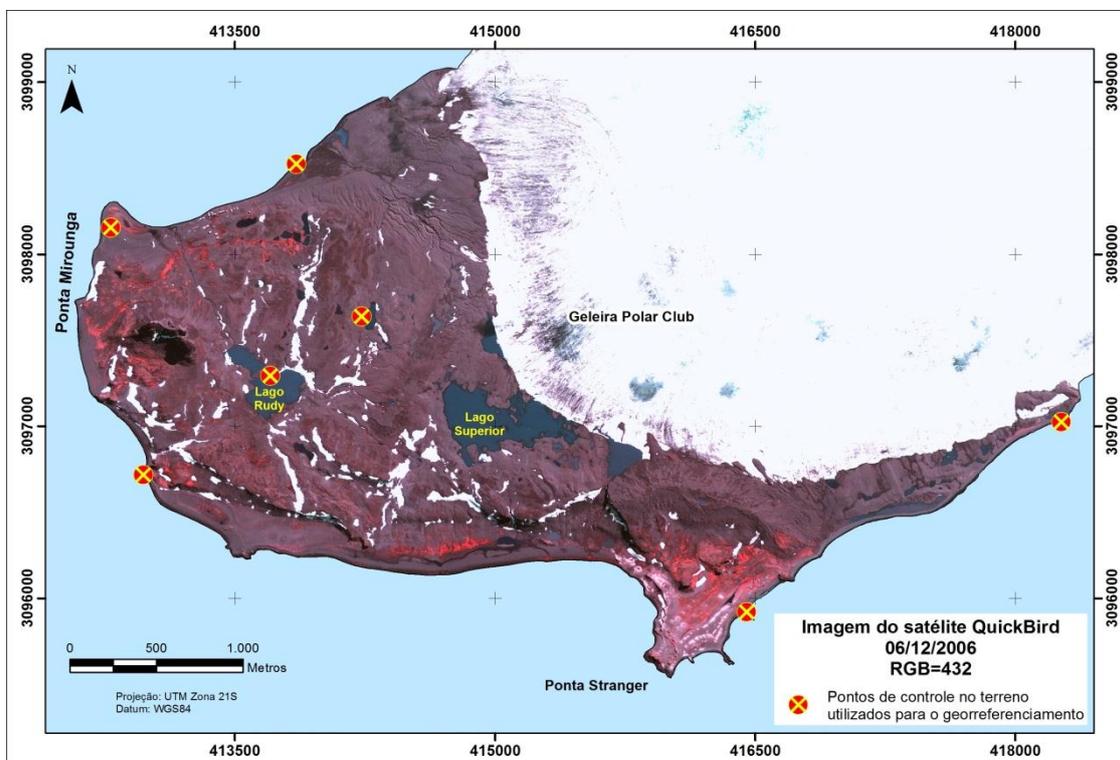


Figura 4. 27: Imagem QuickBird obtida em 06/01/2007, utilizada nesse estudo. Composição colorida RGB 432.

A classificação da vegetação da península Potter utilizada neste estudo é fruto do trabalho desenvolvido pelo TERRANTAR, núcleo de estudo de ecossistemas terrestres na Antártica, tendo sido desenvolvida por Poelking (2011) com auxílio de Andrade *et al.* (2009). A caracterização da vegetação considerou cinco classes de vegetação: algas talosas, líquens, líquens e musgos, musgos e por fim musgos e gramíneas. As amostras de vegetação utilizadas para a classificação foram obtidas durante a expedição científica à península Potter no verão de 2008 e são apresentados na Figura 4.28 a localização das amostras de vegetação coletadas. As amostras de vegetação coletadas foram posteriormente identificadas e essa informação utilizada para classificar a imagem QuickBird.

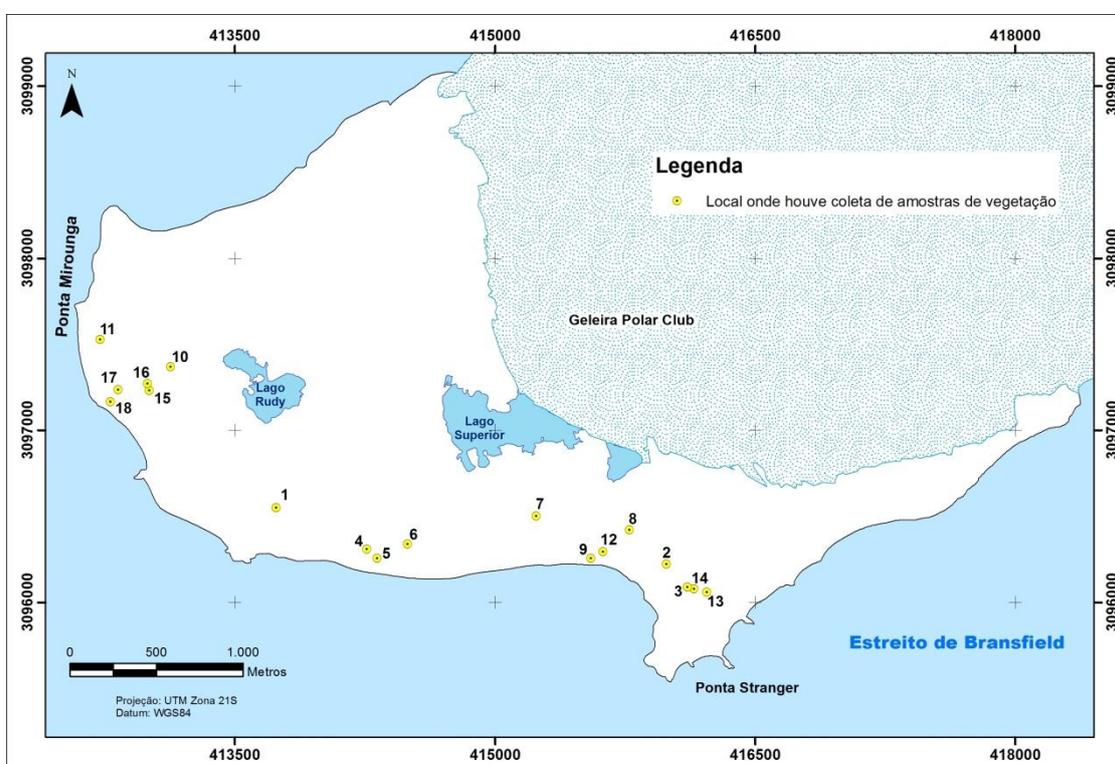


Figura 4. 28: Locais onde houve coleta de amostras de vegetação na península Potter.

A categorização da vegetação superficial a partir dos valores espectrais da imagem QuickBird foi feita através do método de classificação supervisionada, utilizando o classificador estatístico de Máxima verossimilhança (Maxver) implementado no *software* IDRISI Andes. Os resultados obtidos na classificação foram considerados bons, alcançado o valor de 0,97 no índice kappa (POELKING, 2011). Os resultados obtidos na classificação da vegetação são apresentados na Figura 4.29.

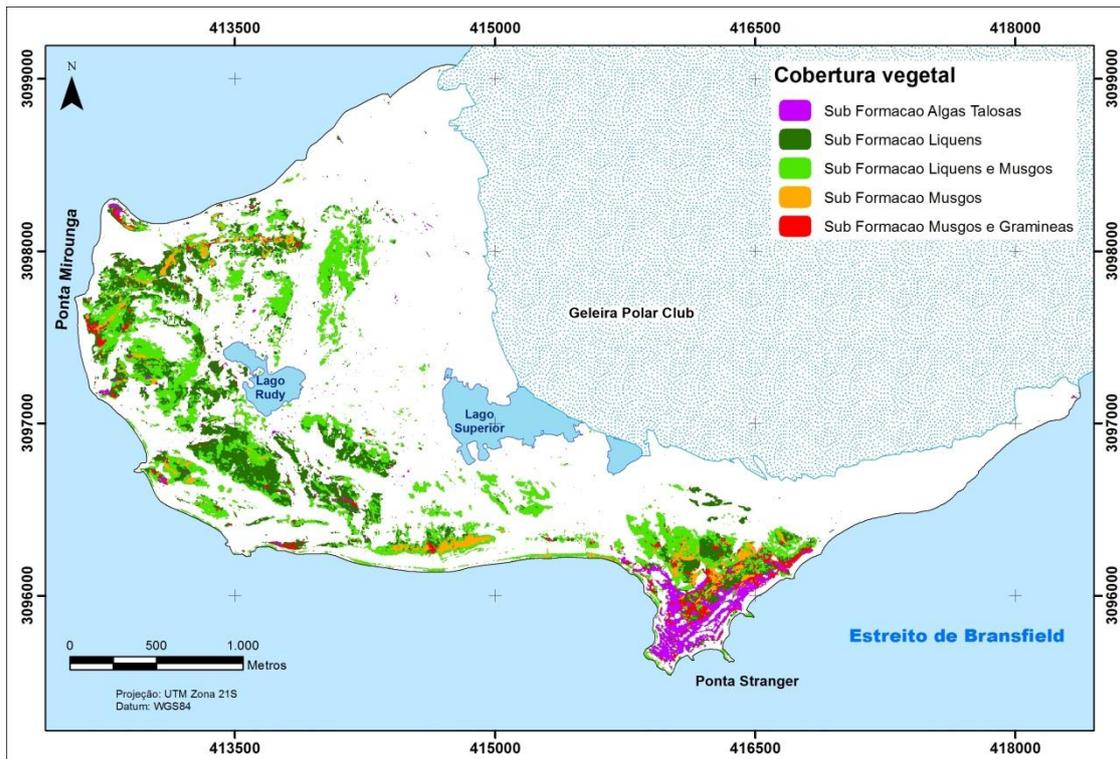


Figura 4. 29: Mapa de vegetação da península Potter (Adaptado de Poelking, 2011).

Para as operações de modelagem espacial do terreno optou-se por melhorar a qualidade cartográfica dos dados referentes à vegetação, utilizando para tal a técnica da área mínima mapeável (AMM). Por definição a AMM é tida como a menor área abrangida por um elemento contido em um mapa ou carta topográfica, com valor de $0,4 \text{ cm}^2$. Esta operação teve como objetivo eliminar os pixels de vegetação com áreas menores do que a AMM. Para determinar o valor da AMM da classificação da vegetação utilizou-se a equação 1:

$$AMM = \frac{E^2 \cdot 0,4}{10^8} \quad (1)$$

onde a variável “E” representa a escala numérica dos dados cartográficos, sendo 1:25.000 a escala dos dados de vegetação. A partir desta expressão, obteve-se o valor de 1.960 m^2 como AMM, sendo posteriormente eliminados todos os polígonos com área inferior a este valor. O resultado da classificação da vegetação na península Potter, já com a eliminação dos conjuntos de pixels menores a AMM, é apresentado na Figura 4.30.

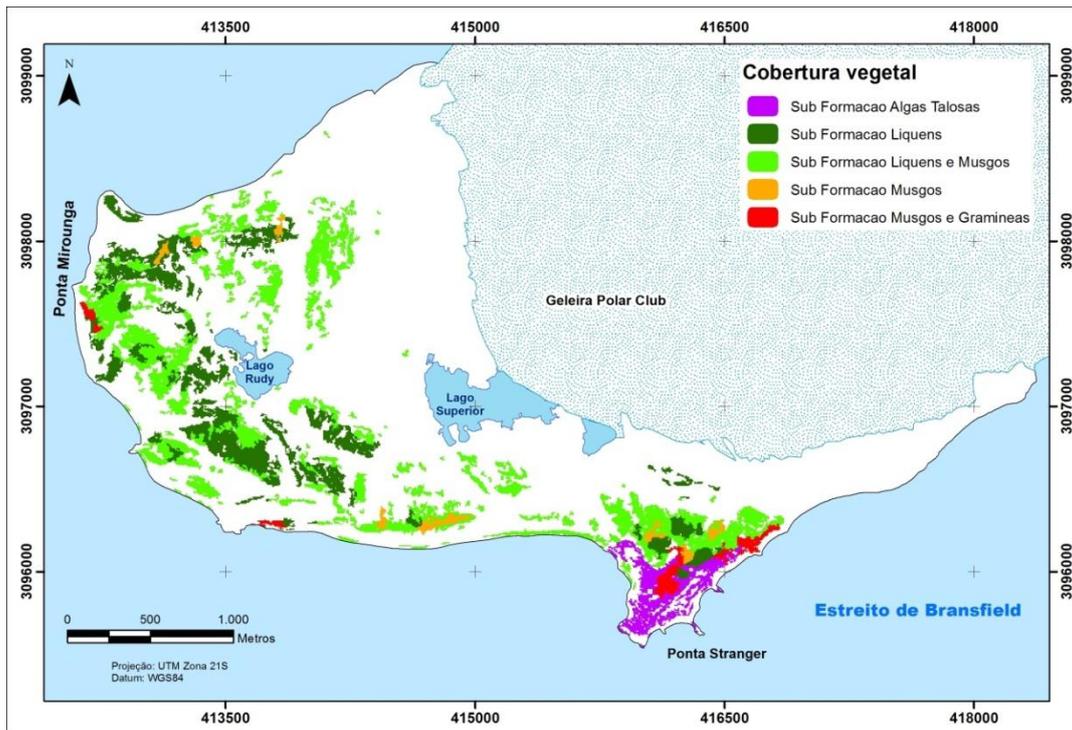


Figura 4. 30: Mapa de vegetação da península Potter após a eliminação das áreas menores que a área mínima mapeável.

Os dados de geomorfologia utilizados na delimitação dos geoambientes foram gerados por Poelking (2011) com auxílio de Andrade *et al.* (2009), sendo exibido na Figura 4.31.

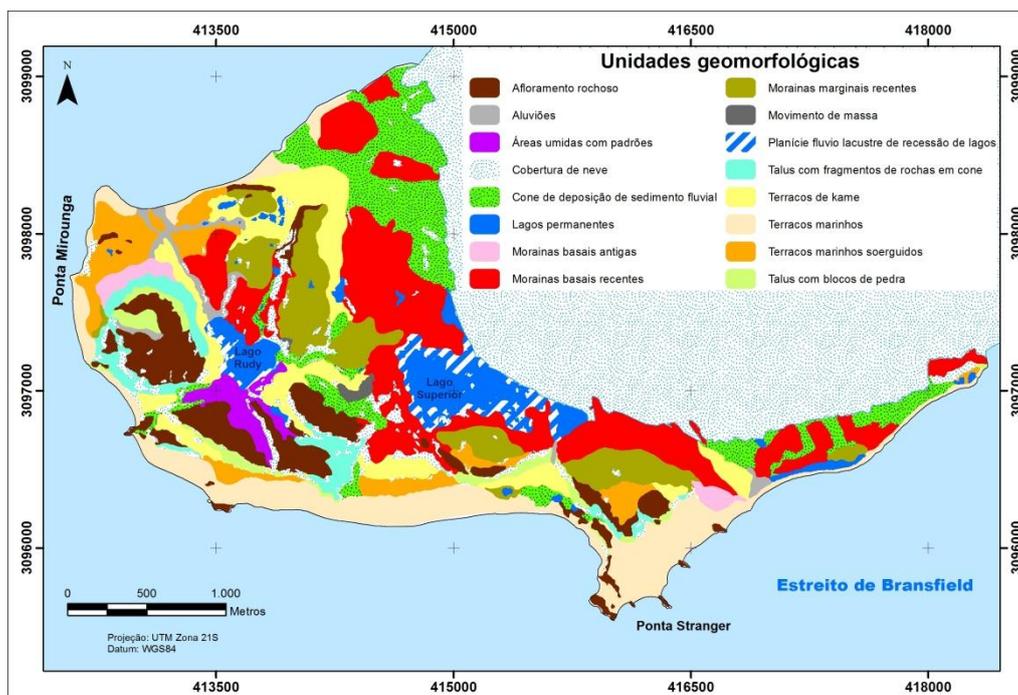


Figura 4. 31: Mapa de geomorfologia das áreas livres de gelo da península Potter (Adaptado de Poelking, 2011).

CAPÍTULO 5: Caracterização e delimitação das zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas da península Potter a partir de dados SAR

5.1. Introdução

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na caracterização das zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas da península Potter a partir das imagens COSMO-SkyMed, tendo sua estrutura dividida em duas partes. A primeira parte apresenta a caracterização das zonas superficiais a partir dos valores de retroespalhamento extraídos de quatro perfis transversais nas imagens COSMO-SkyMed. A segunda parte contém a delimitação dessas zonas superficiais em toda a península Potter, apresentando a possível relação existente entre o padrão meteorológico da temperatura do ar local e dinâmica das feições de neve e gelo.

5.2. Caracterização do retroespalhamento SAR na banda X em zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas

A partir das zonas superficiais delimitadas na série temporal de imagens COSMO-SkyMed, foram retirados valores de retroespalhamento dos alvos terrestres extraídos de imagens filtradas e originais, a partir dos quatro perfis transversais traçados na península Potter. O primeiro conjunto de dados corresponde a imagens submetidas à filtragem do speckle com janela 3x3 que substituiu os valores dos pixels centrais da janela pelo valor mediano dos pixels vizinhos. Os outros valores de retroespalhamento foram extraídos das imagens com os valores originais dos pixels.

Posteriormente, foram extraídos os valores de retroespalhamento das imagens SAR utilizadas na dissertação, sendo exibidos nas Figura 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 os valores extraídos dos perfis A, B, C e D (Figura 4.24) da imagem de 01/fev/2011, com polarização VV, submetida ao filtro de mediana 3x3 e sem filtragem do speckle. Os perfis de retroespalhamento das outras imagens são apresentados nos Anexos A.1, A.2, A.3 e A.4.

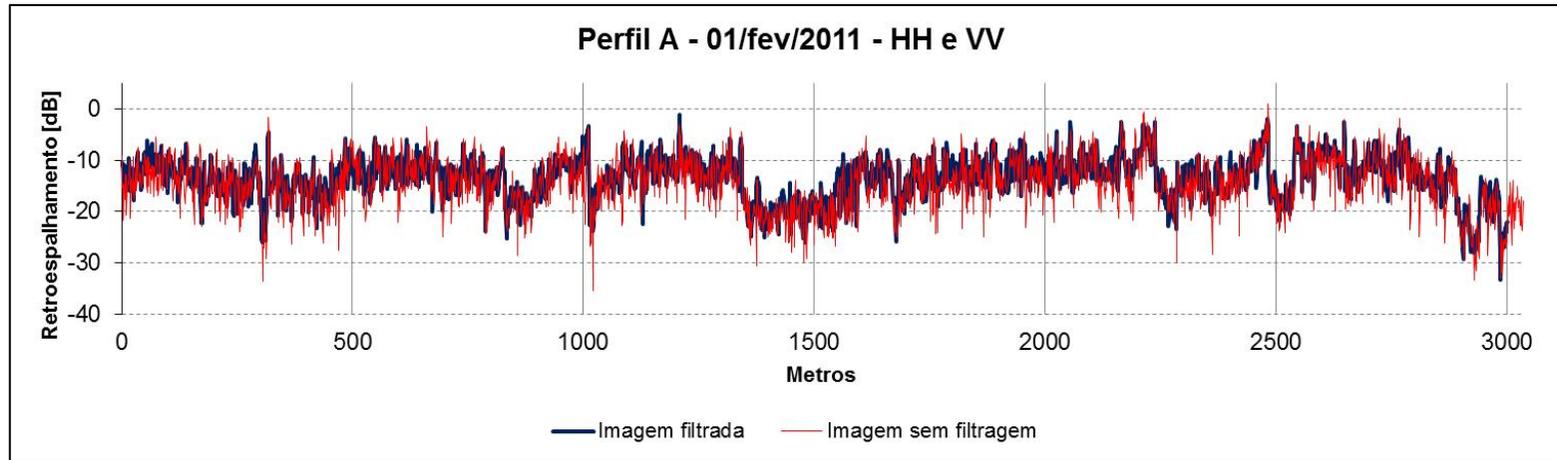


Figura 5. 1: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil A nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.

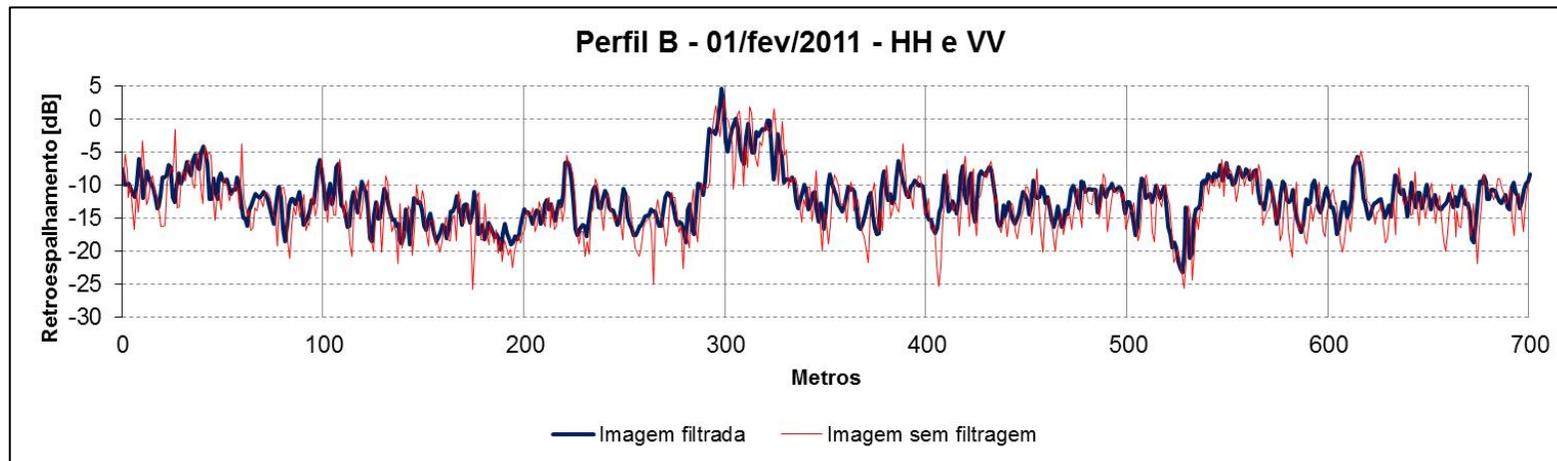


Figura 5. 2: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil B nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.

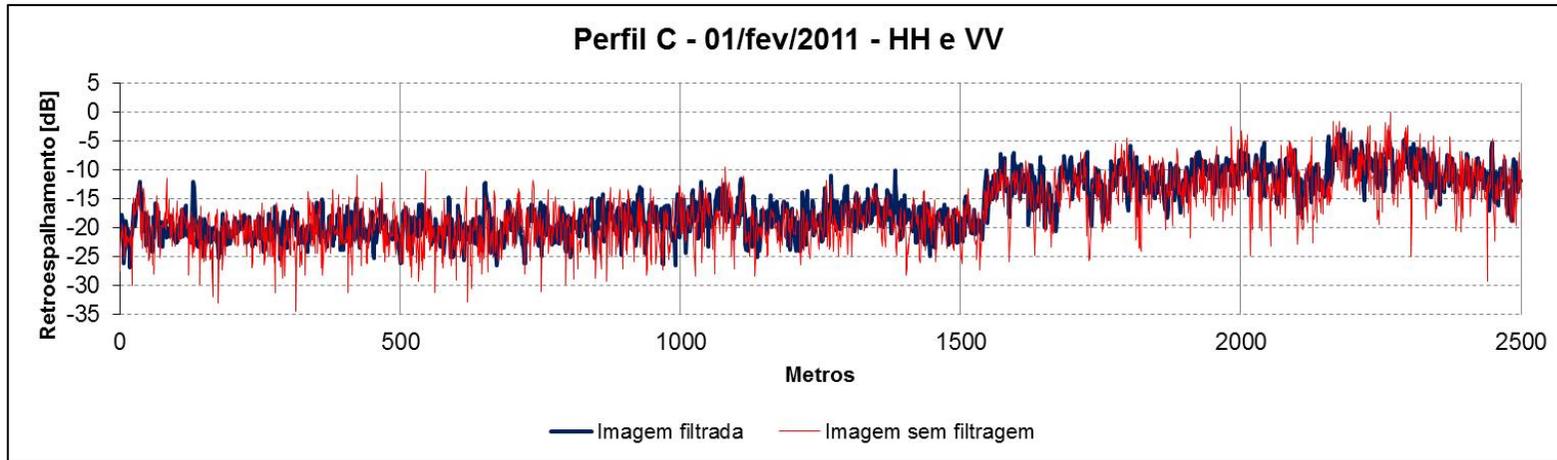


Figura 5. 3: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil C nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.

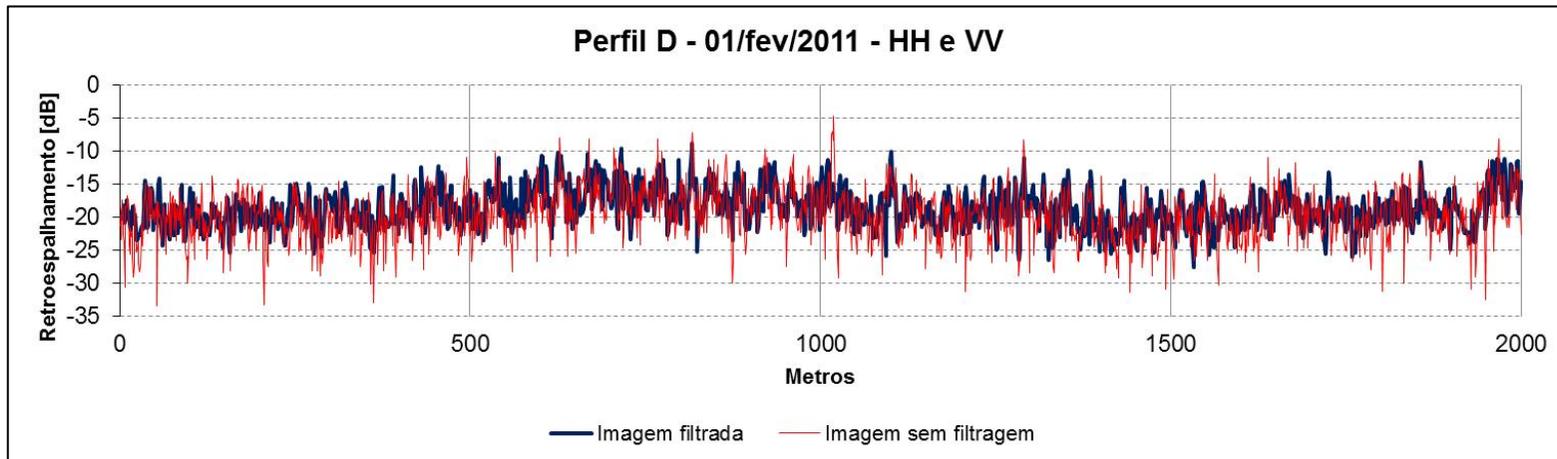


Figura 5. 4: Valores de retroespalhamento extraídos ao longo do perfil B nas imagens COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, polarização HH e VV, com filtragem do speckle e sem filtragem.

Visualizando o padrão de retroespalhamento dos perfis, é evidente a semelhança entre a configuração das curvas da imagem filtrada e da imagem não filtrada. Tendo em vista que a próxima etapa será responsável pela distinção de cada fração da curva de retroespalhamento de acordo com o alvo correspondente na superfície, optou-se neste estudo por utilizar as imagens filtradas para tal finalidade, devido à melhoria alcançada no aspecto visual decorrente da operação de filtragem e principalmente por não alterar os valores do retroespalhamento de forma significativa.

Tendo obtido as curvas de retroespalhamento dos perfis e utilizando a porção da imagem correspondente a cada curva, os valores de retroespalhamento foram classificados de acordo com as classes que corresponde ao elemento na superfície predominante. O procedimento se deu a partir da interpretação visual das feições nas imagens COSMO-SkyMed, utilizando como auxílio a imagem QuickBird em superfícies de difícil interpretação dos dados SAR, principalmente as superfícies livres de gelo cobertas por vegetação. As Figuras 5.5 e 5.6 mostram os resultados obtidos na classificação dos valores de retroespalhamento extraídos da imagem de 01/fev/2011, obtida com polarização HH a partir dos perfis transversais A e B respectivamente, localizados na área livre de gelo da península Potter.

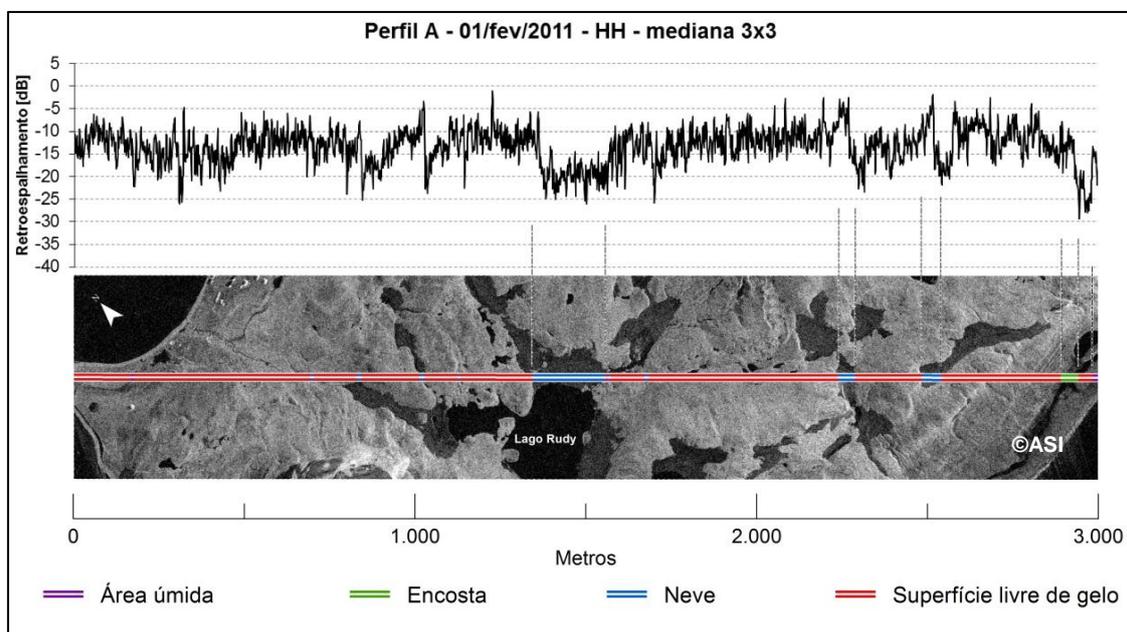


Figura 5. 5: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil A, extraídos da imagem COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.

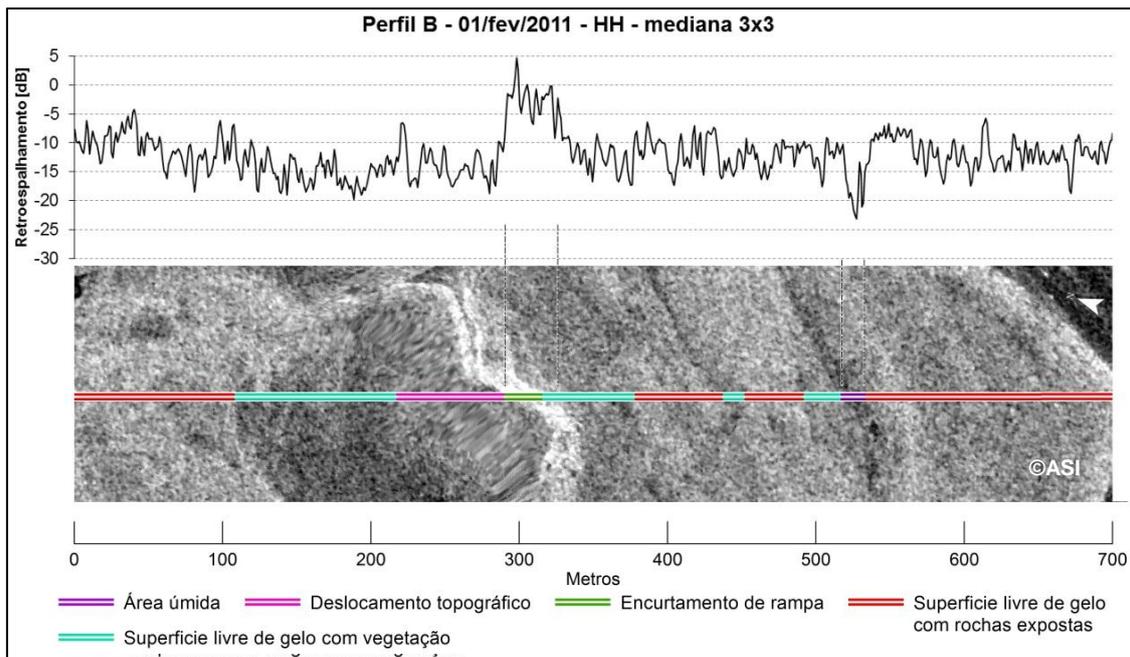


Figura 5. 6: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil B extraídos da imagem COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.

O perfil A, exibido na Figura 5.5, se estende por uma grande porção da superfície livre de gelo da península Potter, da extremidade norte próxima à base Carlini até a extremidade sul, próxima à região de Ponta Stranger. O perfil foi caracterizado por quatro classes de cobertura superficial, com predominância da superfície livre de gelo. As classes de cobertura nas áreas livres de gelo apresentaram acentuado contraste, o que facilitou a interpretação e classificação.

O perfil B apresentado na Figura 5.6, localizado no extremo sul da península e abrangendo parte da região de Ponta Stranger, foi caracterizado por cinco classes, incluindo uma classe referente ao deslocamento topográfico, distorção nas cenas resultantes do processo de correção da geometria da imagem; dentre as classes existentes é predominante a superfície livre de gelo, seguido das superfícies livres de gelo que possuem vegetação na superfície.

Alguns estudos utilizaram os dados SAR para extrair informações da superfície de geleiras (e.g., ALBRIGHT *et al*, 1998; PARTINGTON, 1998; RAU *et al*, 2000; ARIGONY-NETO *et al*, 2007). Através dos perfis C e D, localizados na superfície da geleira Polar Club, foram extraídos os valores de retroespalhamento em diferentes datas, possibilitando detectar no espaço de tempo de um ano as variações superficiais ocorridas. As Figuras 5.7 e 5.8 exibem a classificação dos valores de retroespalhamento extraídos da imagem de 01/fev/2011, polarização HH, a partir dos perfis transversais C e D respectivamente, localizados na geleira Polar Club.

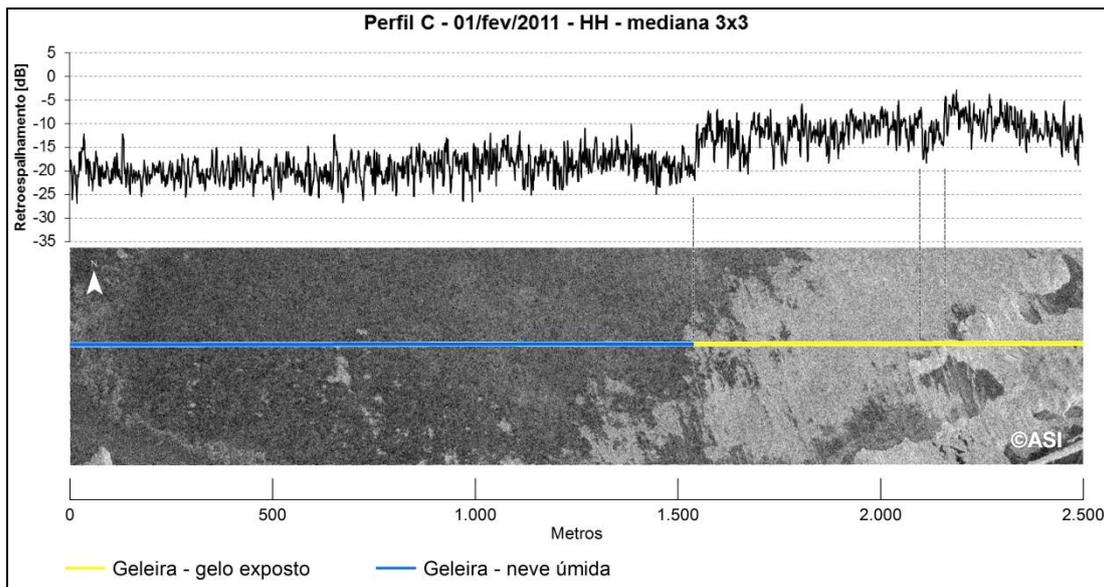


Figura 5. 7: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil C extraídos da COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.

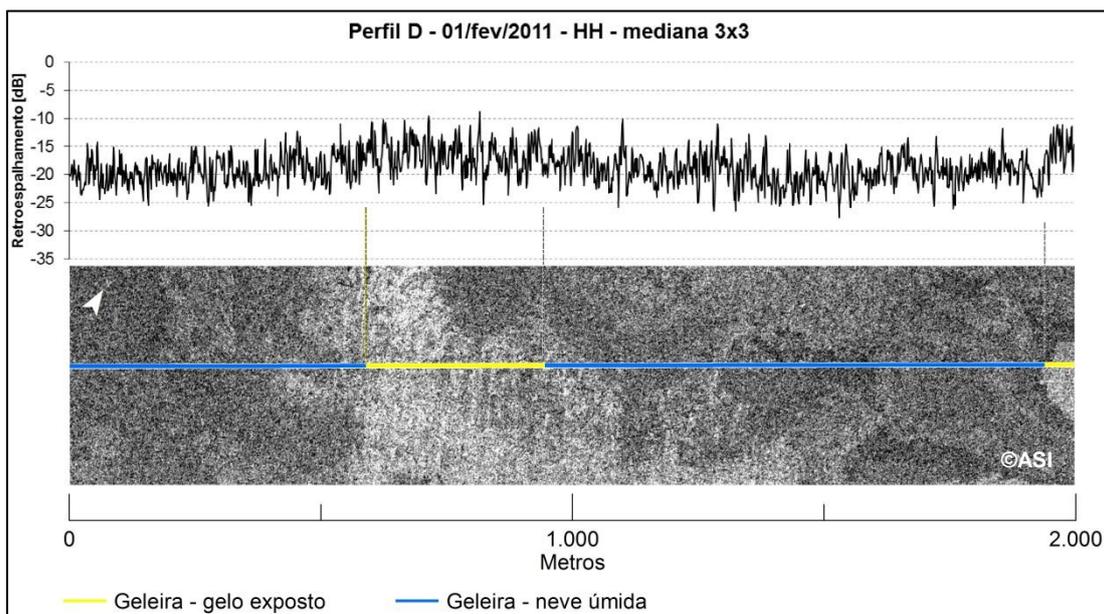


Figura 5. 8: Classificação dos valores de retroespalhamento do perfil D extraídos da imagem COSMO-SkyMed de 01/fev/2011, com polarização HH e filtragem do speckle.

A neve e o gelo são os elementos que apresentaram a maior variabilidade temporal e espacial dentre os alvos mapeados na imagem de 01/fev/2012, polarização HH, com os valores de retroespalhamento da ZRGE extraídos dos perfis variando de -10,8 a -16,8 dB e o retroespalhamento da ZRNU de -15,4 a -19,4 dB.

As Figuras 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 exibem os resultados da classificação das curvas de retroespalhamento dos quatro perfis para as imagens de 01/fev/2011 (VV), 29/dez/2011 (VV), 14/fev/2012 (HH) e 15/fev/2012 (VV) respectivamente.

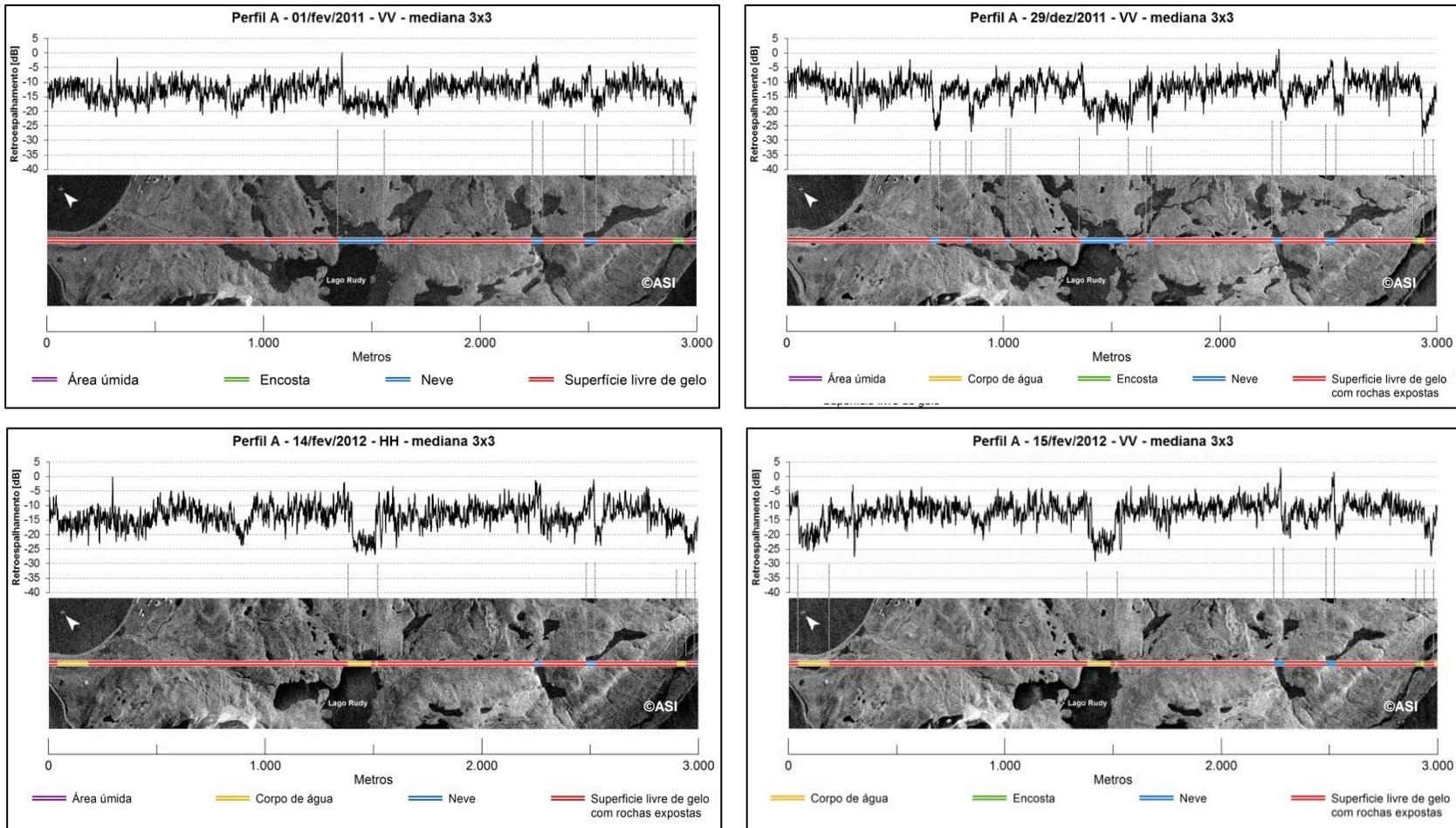


Figura 5. 9: Retroespalhamento do perfil A extraído das COSMO-SkyMed obtidas em quatro datas distintas. O perfil segue por uma extensão de 3 km ao longo da área livre de gelo da península Potter. As superfícies livres de gelo com rochas expostas são predominantes e possuem média de retroespalhamento de -12,1 dB, enquanto as superfícies com neve têm média de retroespalhamento de -16,5 dB. As superfícies cobertas por neve e que posteriormente tornaram-se corpo de água apresentaram as maiores variações no retroespalhamento, como observado no lago Rudy.

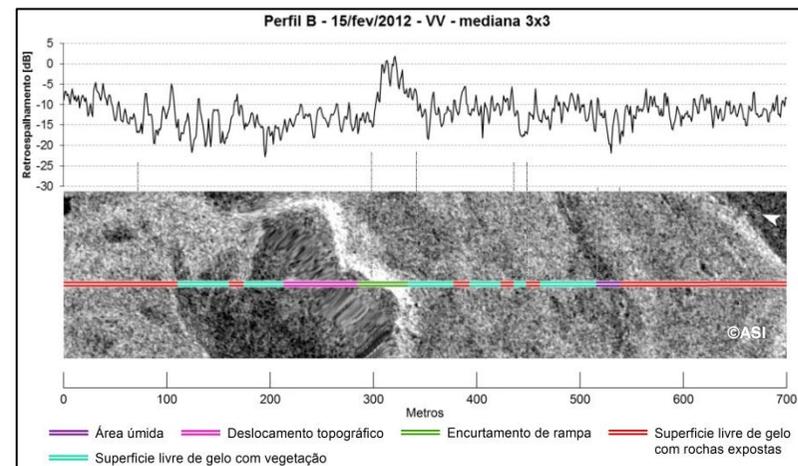
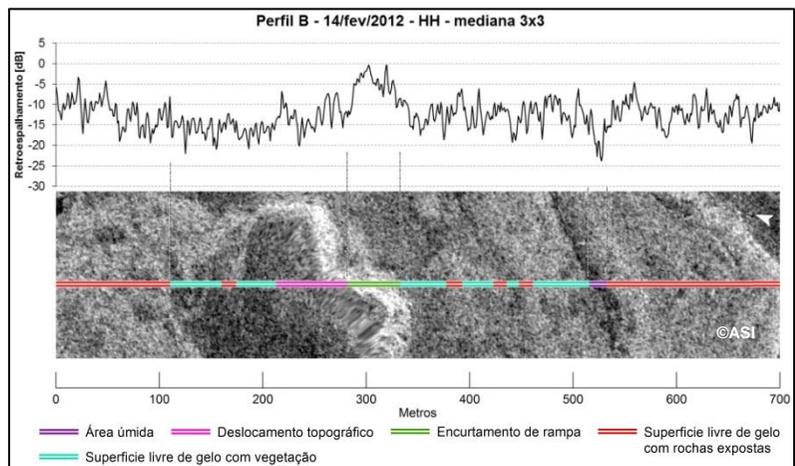
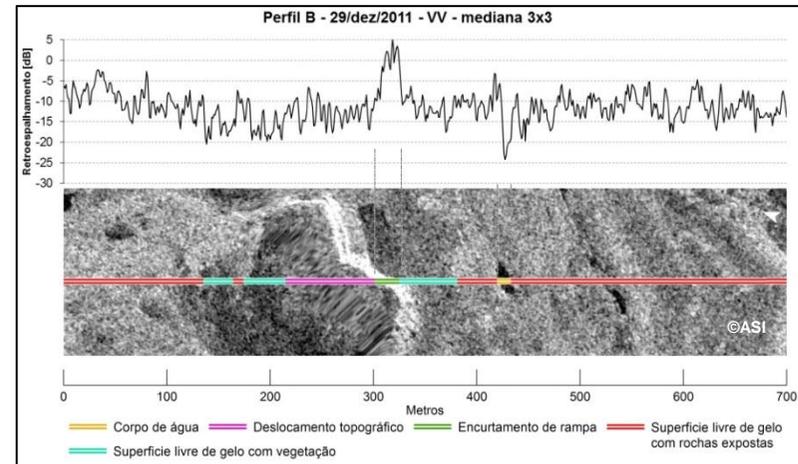
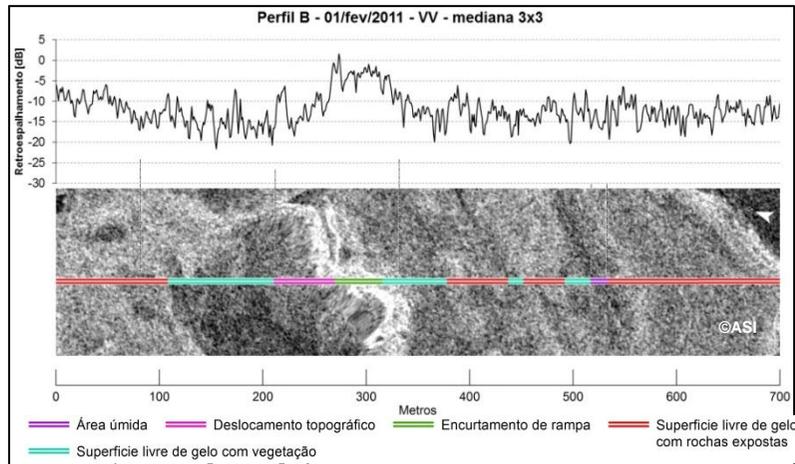


Figura 5. 10: Retroespalhamento do perfil B extraído das COSMO-SkyMed obtidas em quatro datas distintas. O perfil possui extensão de 0,7 km em Ponta Stranger, na península Potter. As superfícies livres de gelo predominam e possuem média de retroespalhamento de -11,4 dB, enquanto as superfícies livres de gelo com cobertura de vegetação têm média de retroespalhamento de -13,7 dB. As áreas de encurtamento de rampa apresentaram as maiores variações no retroespalhamento.

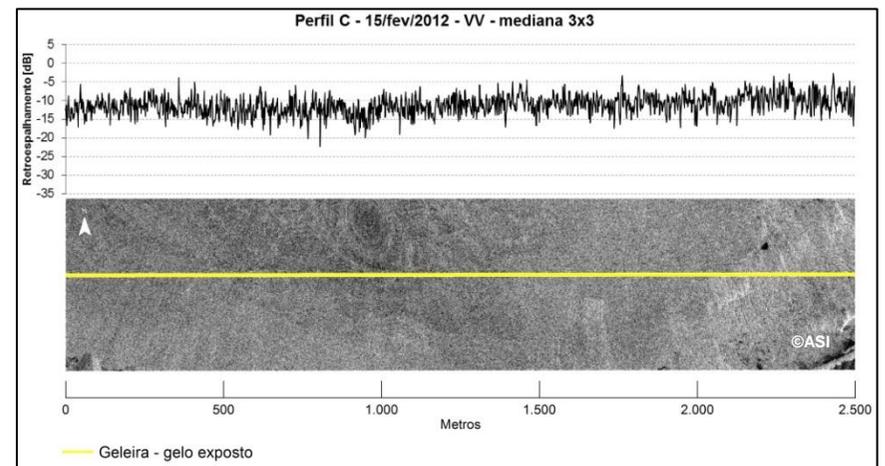
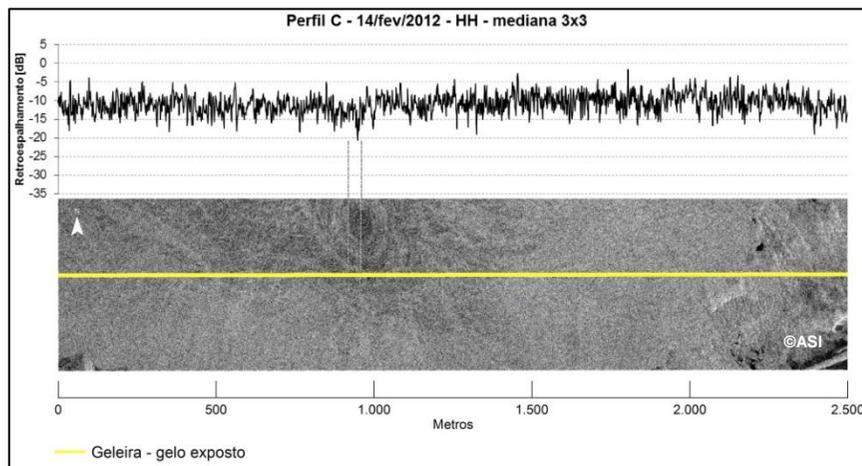
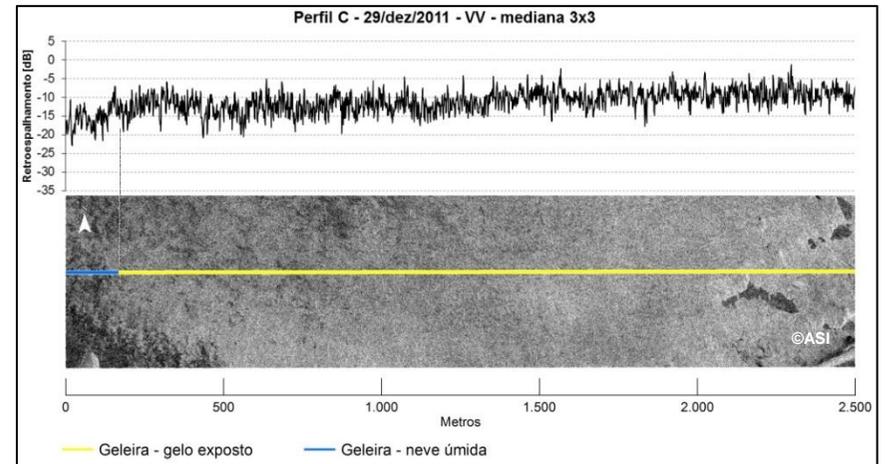
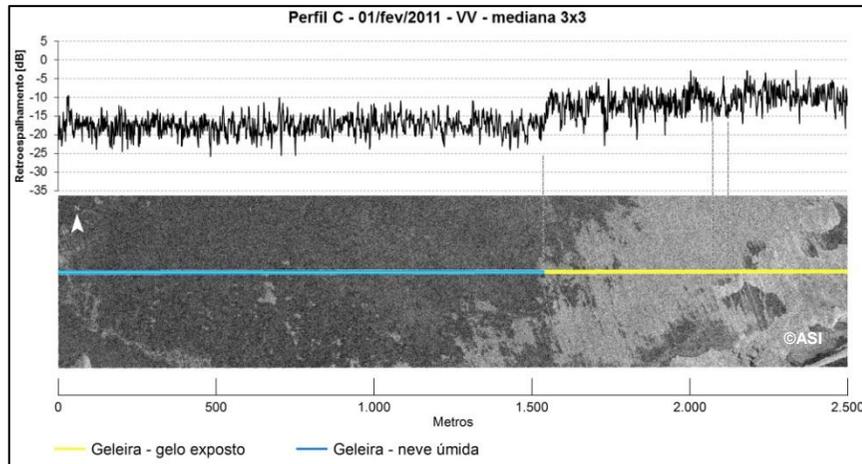


Figura 5. 11: Retroespalhamento do perfil C extraído das COSMO-SkyMed em quatro datas distintas. O perfil está na geleira Polar Club, na península Potter e sua extensão é de 2,5 km, na península Potter. As superfícies da geleira com gelo exposto possuem média de retroespalhamento de -11 dB as superfícies da geleira com neve úmida têm média de retroespalhamento de -17,4 dB. Ao longo da série temporal, a principal mudança ocorrida foi a redução da área superficial de neve úmida na geleira.

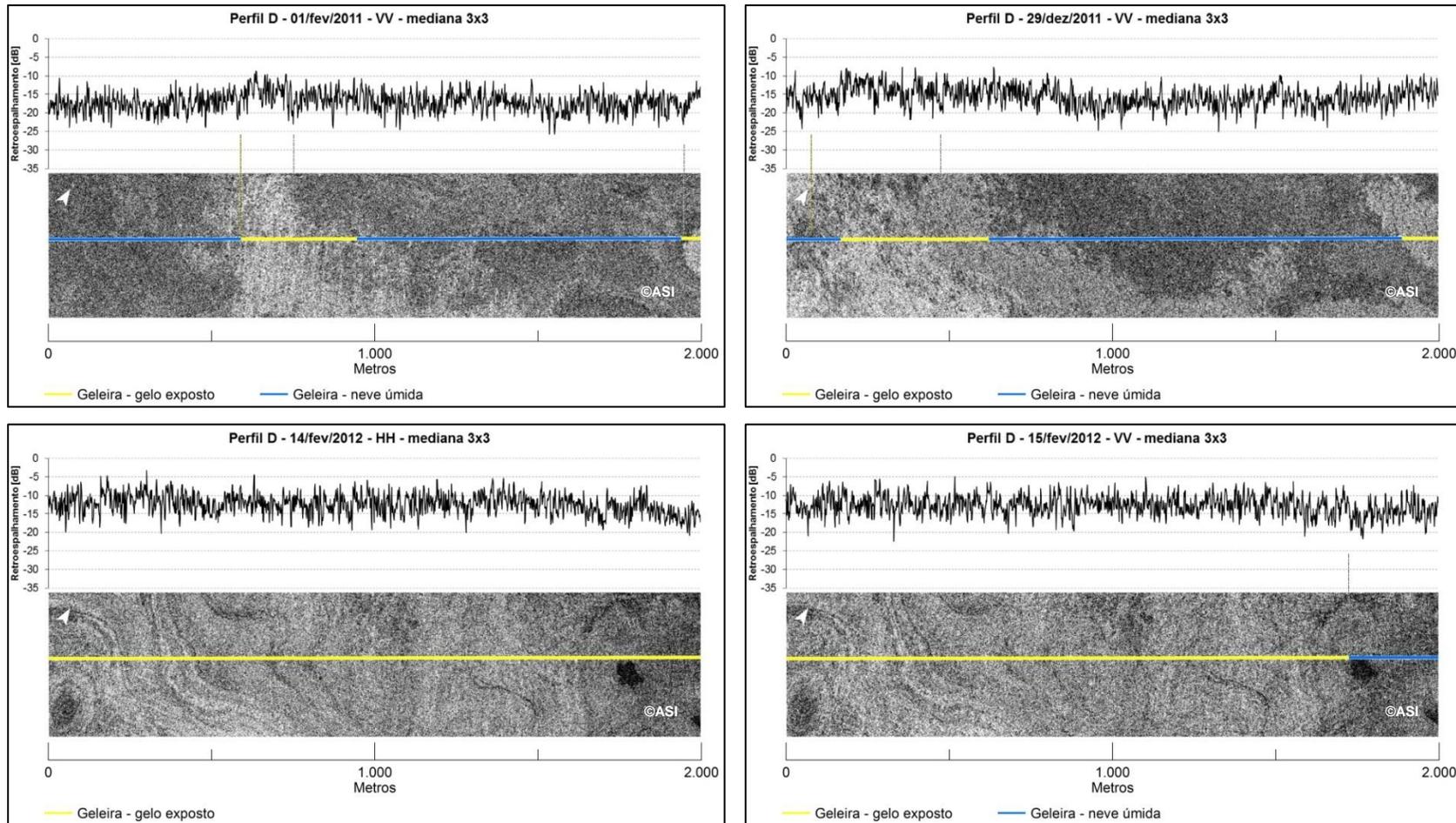


Figura 5. 12: Retroespalhamento do perfil D extraído das COSMO-SkyMed em quatro datas distintas. O perfil está na geleira Polar Club, na península Potter e possui extensão de 2 km. No mês de fevereiro as superfícies da geleira com gelo exposto são predominantes e possuem média de retroespalhamento de -14,4 dB e as superfícies da geleira com neve úmida têm média de retroespalhamento de -17 dB. Ao longo da série temporal, a principal mudança ocorrida foi a redução da área superficial de neve úmida na geleira.

As classes superficiais existentes no perfil A apresentaram valores da média do retroespalhamento variando conforme a série de imagens COSMO-SkyMed: a superfície de áreas úmidas apresentou os valores variando entre -16,92 e -24,29 dB, as superfícies de corpo de água variaram entre -18,47 e -23,27 dB, as encostas alteraram entre -13,27 e -23,27 dB, a neve variou de -9,98 e -23,27 dB e as superfícies livres de gelo com rochas expostas variaram entre -11,14 e -12,85 dB. Uma possibilidade para os valores de retroespalhamento inferiores pode ser decorrente da intensa tempestade de neve ocorrida durante a noite do dia 14/fev/2012 e persistindo até a manhã do dia 15/fev/2012, evento observado em campo. A Tabela A.5 em anexo, contém os valores da média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil A.

Através do perfil B, foram extraídos os valores de retroespalhamento de seis classes, incluindo o deslocamento topográfico. A variação dos valores de retroespalhamento de cada classe foi a seguinte: as áreas úmidas variaram entre -14,6 e -18,2 dB, as superfícies compreendidas por deslocamento topográfico alternaram entre -10,9 a -13,5 dB, a área com encurtamento de rampa variou entre -1 e -6,8 dB, superfície livre de gelo com rochas expostas variou entre -10,8 e -13,6 dB, superfície livre de gelo com vegetação de -13,3 e -14,1 dB e corpo de água, alvo que ocorreu apenas na imagem de dezembro, apresentou valor médio de retroespalhamento de -17 dB. A Tabela A.6 em anexo, exibe os valores médios e o desvio-padrão do retroespalhamento do perfil B extraídos das imagens filtradas e não filtradas.

Os perfis C e D, localizados na geleira Polar Club são compostos pelas classes de superfícies de gelo exposto e neve úmida apresentaram os valores médios de retroespalhamento mais homogêneos. A classe de ZRGE no perfil C apresentou valores médios de retroespalhamento variando de -10,8 a -11,8 dB, enquanto no perfil D os valores médios de retroespalhamento variaram de -12,5 a -16,8 dB. A classe de ZRNU no perfil C expôs valores médios de retroespalhamento variando de -15,4 a -19,3 dB. Já no perfil D os valores médios de retroespalhamento foram de -14,8 a -19,4 dB. Os valores completos extraídos dos perfis C e D contendo a média e o desvio-padrão das classes superficiais extraídas das imagens filtradas e não filtradas são exibidos na Tabela A.7 e A.8 em anexo. A Tabela 5.1 exibe a média, mediana, desvio-padrão, valor máximo e mínimo de retroespalhamento de cada classe superficial, englobando todos os perfis em que ocorra a classe. Foi constatado que algumas parcelas dos perfis C e D apresentaram variações dos valores de retroespalhamento mesmo quando pertencentes a uma mesma classe. A variação dos valores de retroespalhamento é decorrente da presença de materiais sedimentares sobre a

geleira, interferindo diretamente no espalhamento do sinal do radar e aumentando os valores do retroespalhamento.

Tabela 5. 1: Classes de alvos superficiais existentes nas imagens COSMO-SkyMed e os respectivos valores estatísticos de retroespalhamento.

Zonas superficiais	Retroespalhamento (dB)				
	Média	Mediana	Desvio-Padrão	Máximo	Mínimo
Áreas úmidas	-17,35	-16,93	3,95	-8,53	-33,31
Corpo de água	-18,92	-19,66	4,31	-3,37	-27,57
Deslocamento topográfico	-12,71	-12,98	3,15	-0,59	-20,14
Encosta	-10,91	-9,08	8,80	5,23	-29,33
Neve	-17,62	-17,78	3,61	-2,83	-28,18
Superfície livre de gelo com rocha exposta	-12,01	-11,86	3,37	2,93	-29,15
Superfície livre de gelo com vegetação	-13,66	-13,73	3,39	-0,24	-22,74
Geleira: gelo exposto	-11,98	-11,80	3,14	-1,19	-27,11
Geleira: neve úmida	-17,77	-17,76	2,91	-6,99	-27,65

O retroespalhamento da neve superficial varia de acordo com as características locais como: umidade, constituição, profundidade, rugosidade da superfície e a densidade (ALBRIGHT *et al*, 1998). Os valores médios de retroespalhamento das superfícies da geleira de ZRNU e ZRGE são condizentes com os resultados obtidos por outros autores. A Tabela 5.2 contém os valores de retroespalhamento para estas duas classes, compilando os valores obtidos neste estudo e os valores obtidos por outros autores que utilizaram a banda C e X de satélites SAR.

Tabela 5. 2: Valores de retroespalhamento obtidos em diferentes estudos para a Zona de Radar de Gelo Exposto e a Zona de Radar de Neve Úmida na banda C e X a partir de dados SAR.

Zonas glaciais do radar	σ° [dB]	Banda	Local	Autor
Geleira: Gelo exposto	-15 a -10	C	Península Antártica	Rau <i>et al.</i> (2000)
	-13 a -6	C	Ilha Rei George	Braun, 2001
	-13 a -6	C	Península Antártica	Arigony-Neto <i>et al.</i> (2009)
	-16,8 a -10,8	X	península Potter (Ilha Rei George)	Este estudo
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
Geleira: Neve úmida	~ -11	X	Montanha Everest	Albright <i>et al.</i> , 1998
	~ -17	C	Montanha Everest	Albright <i>et al.</i> , 1998
	-25 a -15	C	Península Antártica	Rau <i>et al.</i> (2000)
	-22 a -15	C	Ilha Rei George	Braun, 2001
	-25 a -14	C	Península Antártica	Arigony-Neto <i>et al.</i> (2009)
	-19,4 a -14,8	X	península Potter (Ilha Rei George)	Este estudo

5.3. Delimitação das zonas superficiais de neve e gelo, lagos e áreas úmidas a partir dos dados SAR

Dentre as propriedades dos dados COSMO-SkyMed, para este estudo destaca-se a possibilidade em detectar o teor de umidade nas camadas de neve e gelo na superfície, fornecendo informações indiretas referentes às variações em parâmetros meteorológicos em diferentes escalas de tempo. Na península Potter, os elementos superficiais que apresentam maior taxa de variação temporal e espacial são a neve e o gelo; enquanto feições como vegetação, geomorfologia e os lagos permanentes não apresentam variações significativas em curtos espaços de tempo.

Através de interpretação visual foram delimitadas as classes: áreas livres de gelo com acentuada umidade, superfícies na geleira com cobertura de gelo exposto ou neve úmida, gelo no mar, lagos sazonais, lagos permanentes e cobertura de neve nas áreas livres de gelo. A interpretação foi baseada nos alvos existentes nas imagens COSMO-SkyMed, tendo sido utilizado como auxílio as informações obtidas em campo no transcorrer de fevereiro de 2012 e a imagem QuickBird. Para as feições superficiais

da geleira Polar Club foi utilizado os valores de retroespalhamento para auxiliar na categorização das zonas superficiais. As Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 exibem as imagens contendo as classes que delimitam as zonas superficiais na península Potter extraídas das imagens obtidas em 01/fev/2011, 29/dez/2011 e 15/fev/2012 respectivamente. Em decorrência da proximidade nas datas de obtenção das imagens de 1 a 15 de fevereiro, as classes extraídas das imagens com polarização VV e HH de 1 de fevereiro apresentam cobertura similar das classes superficiais; o mesmo ocorre com as classes de cobertura superficial para as imagens de 14/fev/2012 e 15/fev/2012.

Neste estudo, não foi considerada toda a área de abrangência da geleira, tendo sido analisado apenas a área da geleira Polar Club abrangida nas imagens SAR. A altitude da porção analisada da geleira varia de aproximadamente 80 metros na base, no limite da geleira com a superfície de gelo, alcançando valores próximos a 250 metros na parte mais elevada.

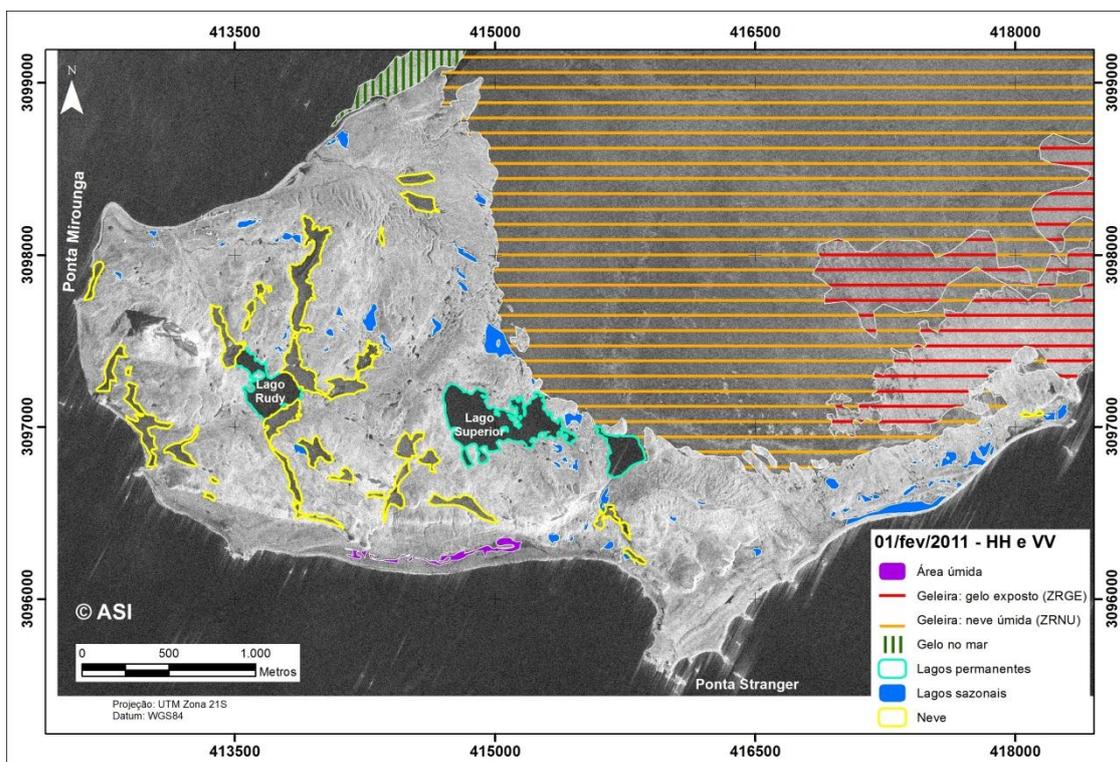


Figura 5. 13: Zonas superficiais da península Potter classificadas a partir das imagens COSMO-SkyMed obtidas em 01/02/2011 com polarização HH e VV.

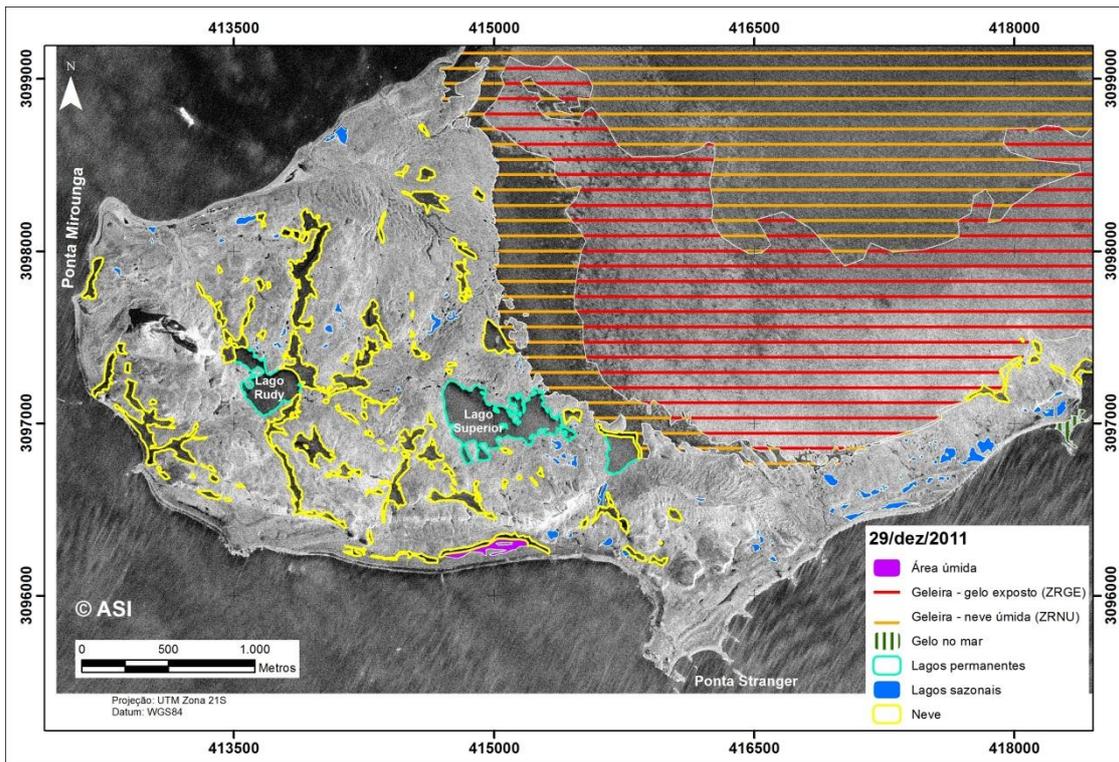


Figura 5. 14: Zonas superficiais da península Potter classificadas a partir da imagem COSMO-SkyMed obtida em 29/12/2011 com polarização VV.

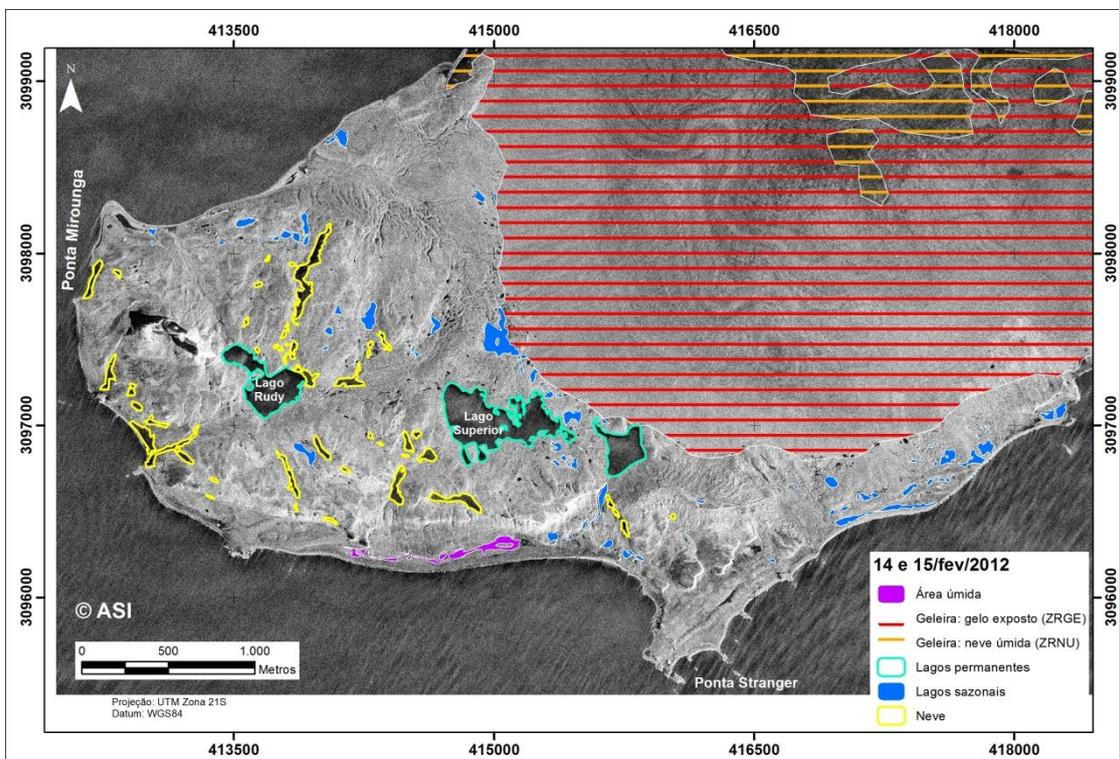


Figura 5. 15: Zonas superficiais da península Potter classificadas a partir das imagens COSMO-SkyMed obtidas em 14 e 15/02/2012 com polarização HH e VV respectivamente.

As imagens obtidas no dia 01 de fevereiro de 2011 apesar de possuírem polarização distinta apresentam elevada similaridade, tendo sido detectado o mesmo com as imagens obtidas nos dias 14 e 15 de fevereiro de 2012. Esta afirmativa pode ser constatada através da extração dos valores de retroespalhamento de duas áreas homólogas nas duas imagens. Na Figura 5.16 é apresentado o comportamento do retroespalhamento extraído de dois perfis nas imagens com polarização HH e VV adquiridas em 01/02/2011. O mesmo tipo de análise é apresentado na Figura 5.17, porém para as imagens de 14 e 15/02/2012.

O perfil A foi selecionado na área livre de gelo, enquanto o perfil B foi selecionado na superfície da geleira Polar Club, possibilitando extrair os valores de retroespalhamento de pequenas áreas com diferentes classes de cobertura, bem como gerar os valores estatísticos do retroespalhamento destes alvos. A curva de retroespalhamento para os alvos superficiais nos dois pares de imagens apresentaram similaridade muito elevada, o que também foi constatado nos valores estatísticos que são apresentados nas Tabelas 5.13 e 5.14.

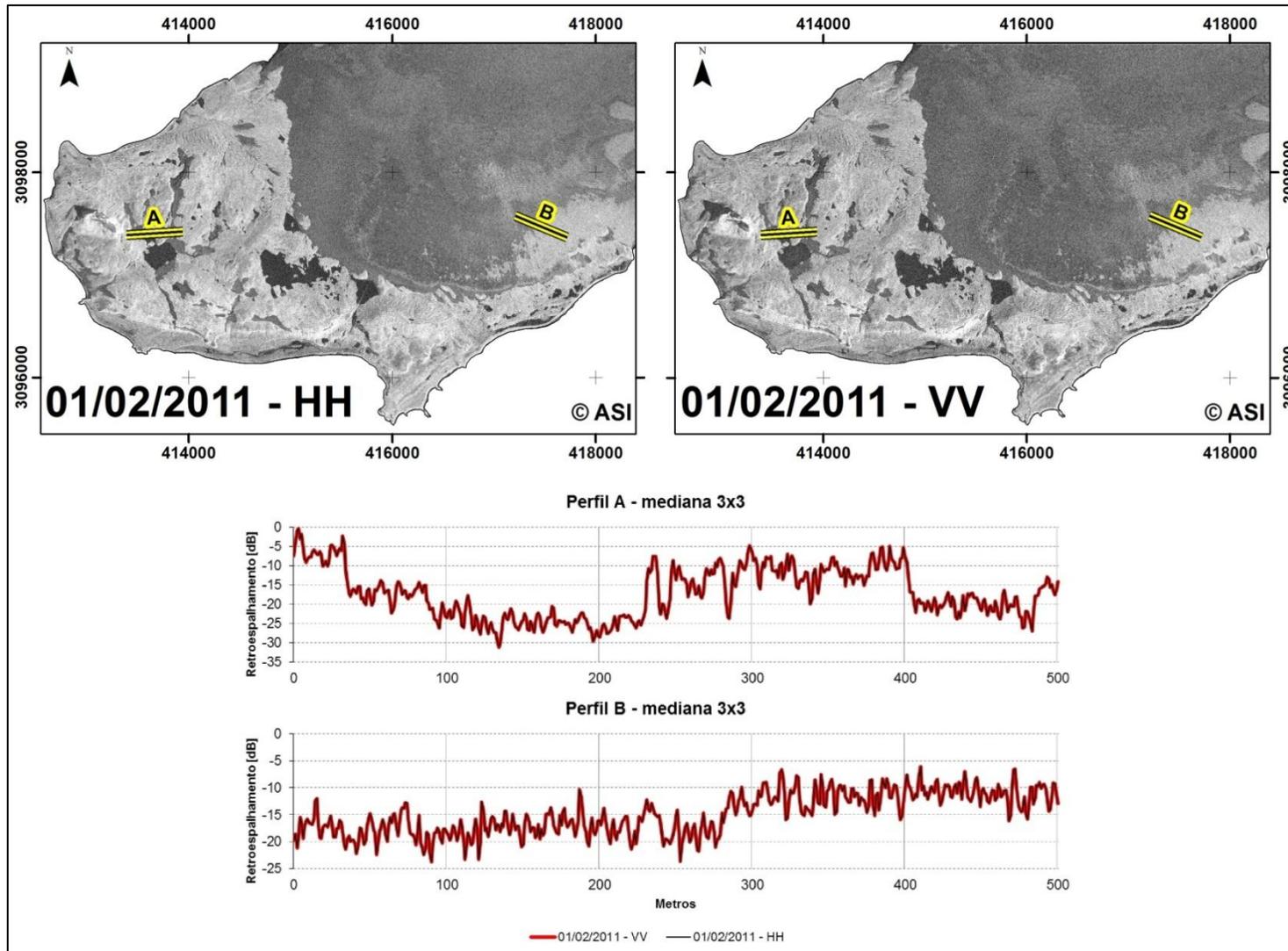


Figura 5. 16: Comparação dos valores de retroespalhamento extraídos de duas imagens COSMO-SkyMed obtidas em 01/02/2011 e com polarização distinta.

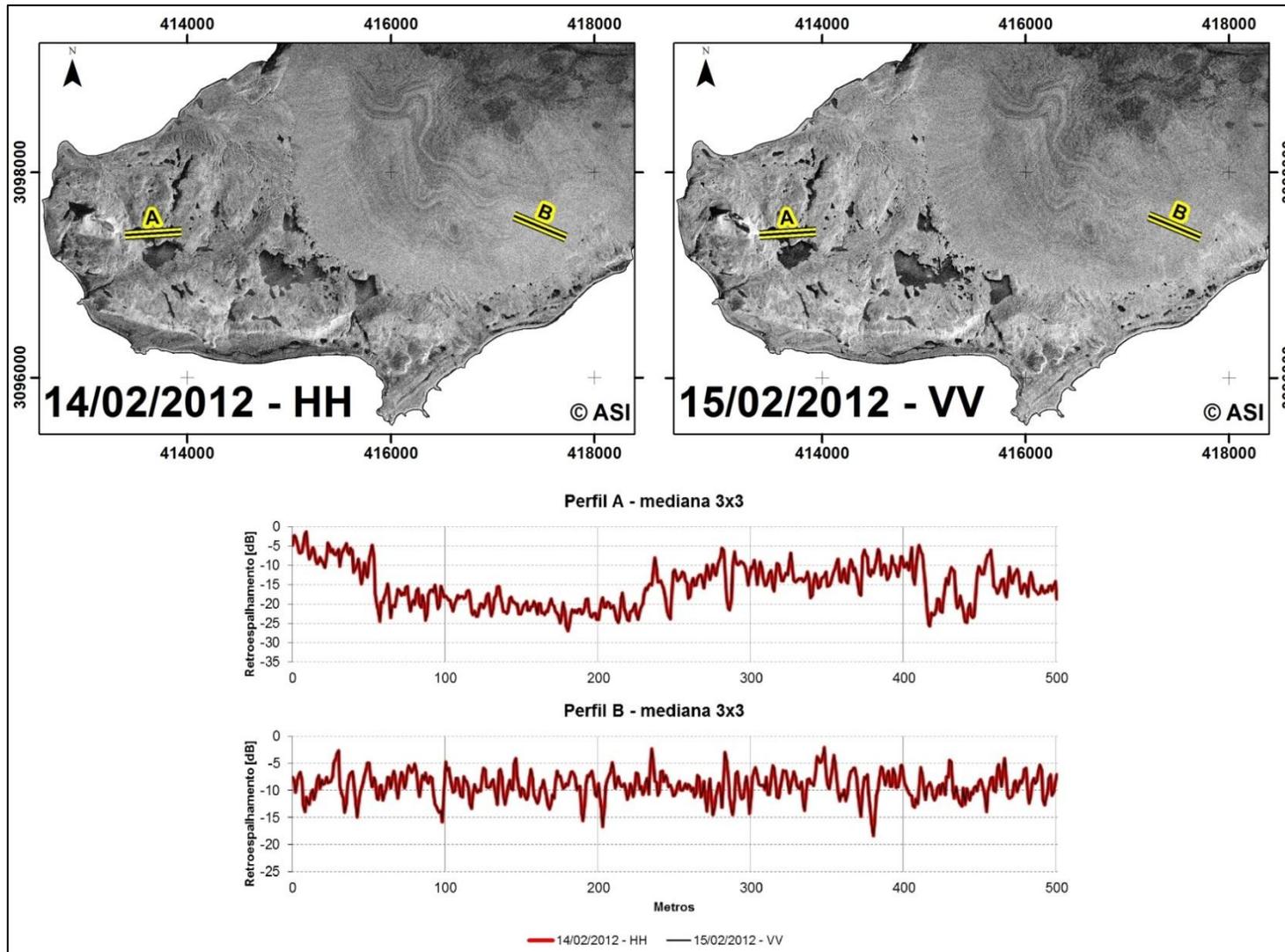


Figura 5. 17: Comparação dos valores de retroespalhamento extraídos de imagens COSMO-SkyMed obtidas em 14 e 15/02/2012.

Tabela 5. 3: Média e desvio-padrão do retroespalhamento extraídos de dois perfis nas imagens com polarização HH e VV de 01/02/2011.

Perfil	Classe	01/02/2011 - HH		01/02/2011 - VV	
		\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
A	Água	-25,095	1,969	-25,096	1,971
	Neve	-18,899	3,383	-18,898	3,379
	Superfície livre de gelo com rocha exposta	-13,151	5,423	-13,151	5,423
B	Geleira: gelo exposto	-17,336	2,498	-17,337	2,498
	Geleira: neve úmida	-11,250	2,109	-11,250	2,109

\bar{X} = Média; DP= Desvio-padrão

Tabela 5. 4: Média e desvio-padrão do retroespalhamento extraídos de dois perfis nas imagens de 14 e 15/02/2012 com polarização HH e VV, respectivamente.

Perfil	Classe	14/02/2012 - HH		15/02/2012 - VV	
		\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
A	Água	-20,278	2,446	-20,278	2,449
	Neve	-21,750	2,275	-21,750	2,274
	Superfície livre de gelo com rocha exposta	-11,967	4,082	-11,967	4,082
B	Geleira: gelo exposto	-9,100	2,436	-9,100	2,436

\bar{X} = Média; DP= Desvio-padrão

Observando a Tabela 5.3, nota-se que o par de imagens de 01/02/2011, os valores da média do retroespalhamento extraídos do perfil A para as classes de água, neve e superfície livre de gelo com rocha exposta apresentaram valores semelhantes, tendo havido diferenciação apenas nos valores de desvio-padrão para a classe de água e neve. No perfil B, para o mesmo par de imagens, a similaridade na média e no desvio-padrão do retroespalhamento dos alvos da geleira com neve úmida e gelo exposto se manteve.

Nas imagens obtidas em 14 e 15 de fevereiro de 2012, os valores da média do retroespalhamento extraídos do perfil A para as classes de água, neve e superfície livre de gelo com rocha exposta, conforme é exibido na Tabela 5.4, apresentaram similaridade semelhante ao observado no par de imagens de 01/02/2011, com valores idênticos na média e baixa variação no desvio-padrão. No perfil B, nesta data foi constatada apenas a classe de gelo exposto na geleira Polar Club, tendo sido alcançado valores idênticos na média e no desvio padrão do retroespalhamento deste alvo.

Os valores exibidos nas Tabelas 5.3 e 5.4 evidenciam uma diferença elevada nos valores de retroespalhamento da classe de gelo exposto na geleira Polar Club. Esta diferença pode ser decorrente das diferenças no conteúdo superficial da geleira. Uma possível causa é que em fevereiro de 2011 a neve superficial da geleira não estivesse derretendo, diferentemente da configuração em fevereiro de 2012 que a neve superficial da geleira apresentou alto teor de derretimento, havendo maior teor de umidade nesta classe, resultando na redução dos valores do retroespalhamento. As características do retroespalhamento na superfície das geleiras variam de acordo com as condições meteorológicas que antecedem e do momento de obtenção da imagem. A área das classes superficiais apresentaram variações de acordo com a data de aquisição das imagens. Na Tabela 5.5 é apresentada a área de cada classe superficial extraída da interpretação das imagens COSMO-SkyMed, tendo sido as cinco imagens agrupadas em fevereiro de 2011, dezembro de 2011 e fevereiro de 2012.

Tabela 5. 5: Área de cada zona superficial da península Potter identificada nas imagens COSMO-SkyMed.

Classe	Área (km ²)		
	01/Fev/2011 HH e VV	29/Dez/2011 VV	14 e 15/Fev/2012 HH e VV
Área úmida	0,023	0,017	0,024
Geleira: Gelo exposto	1,146	3,887	6,913
Geleira: Neve úmida	6,664	3,809	0,737
Gelo no mar	0,107	0,012	-----
Lagos permanentes	0,274	0,268	0,296
Lagos sazonais	0,156	0,096	0,159
Neve	0,383	0,521	0,146

As superfícies da geleira abrangidas pela ZRNU e a cobertura de neve nas áreas livres de gelo reduziram a área entre fevereiro de 2011 e fevereiro de 2012. A superfície coberta por neve aumentou 0,138 km² (37,1%) entre fevereiro e dezembro de 2011. Entretanto, entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2012 esta cobertura reduziu 0,375 km² (71,9%), resultando em uma área superficial 61,8% menor do que a exibida em fevereiro de 2011. O padrão de variação superficial da neve possivelmente está relacionado com o período de intensa precipitação que ocorre durante o inverno e primavera, havendo em dezembro resquícios da neve precipitada anteriormente. Possivelmente, a redução da cobertura de neve ocorrida entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2012 é resultado de um evento esperado, visto que, com o aumento da temperatura a neve derrete a taxas elevadas durante a estação de ablação, sendo natural que no final desta estação, a zona de radar de gelo exposto apresente sua maior área de abrangência na superfície.

Na superfície da geleira Polar Club correspondente a ZRNU, foi constatado uma variação constante de área entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2012. Entre fevereiro de 2011 e dezembro de 2011 a superfície coberta por neve úmida apresentou área de 2,855 km², tendo havido continuidade na variação da área desta classe entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2012, sendo registrado para o período a área de 3,072 km² da ZRNU. Durante o período de fevereiro de 2011 a fevereiro de 2012 a área total da ZRNU foi de 5,92 km². A ZRNU apesar de em alguns períodos apresentar área inferior, não se pode considerar que houve redução ou aumento desta classe superficial, já que a área entre os períodos apenas foi coberta ou descoberta pela neve que em geral tem seu início do derretimento a partir do início da estação de ablação de 2011 e 2012. O comportamento da neve nessa porção da geleira possivelmente é decorrente da configuração das características glaciológicas, da localização em baixa altitude e das condições climáticas. Entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2012, período no qual ocorreu a maior variação na superfície de neve úmida, a temperatura média do ar foi 1,93°C, valor pouco acima da média 1,9°C dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro entre 1986 a 2012.

Ao contrário da neve que cobre as superfícies livres de gelo e a ZRNU, a ZRGE registrou aumento na área durante o período analisado. O aumento ao longo do período analisado foi constante, com acréscimo de 2,741 km² entre fevereiro de 2011 e dezembro de 2011, e posteriormente, até fevereiro de 2012 somou-se 3,026 km²; no transcorrer de um ano a superfície desta classe aumentou 5,767 km². A partir dos padrões de expansão e retração das zonas da geleira é possível deduzir que as duas classes apresentaram a dinâmica de variação superficial inversamente proporcional, com os valores de aumento da zona de gelo exposto próximos aos valores de redução

da zona de neve úmida, significando que a redução de uma classe acompanhou o aumento da outra classe. A zona de neve úmida está localizada acima do gelo glacial, sendo constituída principalmente pela neve precipitada durante o inverno e a primavera, e devido à ablação esta camada de neve é perdida, resultando na exposição do gelo, que caracteriza a zona de gelo exposto.

As classes que compõem as zonas superficiais da geleira apresentam alta variabilidade nas diferentes datas em que foram adquiridas as imagens. A altitude é um fator que interfere na configuração superficial das geleiras, tendo sido evidenciado por Rau *et al.* (2000) exemplos de interferência da altitude na configuração das zonas glaciais na Península Antártica. A geleira Polar Club exibida nas imagens COSMO-SkyMed utilizadas neste estudo apresenta o valor de altimetria máxima de 250 m, não sendo, portanto uma altitude elevada como os valores encontrados nas cadeias montanhosas do interior da Península Antártica. A Figura 5.18 apresenta a península Potter com as curvas de nível com equidistância de 50 m sob a geleira Polar Club, possibilitando visualizar a variação espaço-temporal ocorrida na superfície glacial nas datas em que foram adquiridas imagens para este estudo. As classes de ZRGE e ZRNU foram quantificadas de acordo com a faixa de altitude que se encontram, estando a área de cada classe nas diferentes datas exibida na Tabela 5.6.

A superfície da geleira classificada como ZRGE em 01/02/2011 esta localizada na porção sudeste da geleira, estando acumulada principalmente entre as altitudes de 50 e 200 m. Em 29/12/2011, a superfície classificada como ZRGE apresenta expansão da área com direção longitudinal, porém, mantendo a maior parte entre as altitudes de 50 e 200 m. Por fim, nas imagens de 14 e 15/02/2012, observa-se que a ZRGE está presente na maior parte da superfície da geleira, tendo a ocorrência de ZRNU apenas nas porções com altitude acima de 200 m. Considerando que o desaparecimento sazonal da ZRNU que resulta na exposição da ZRGE é um evento esperado, e ao analisar as variações sazonais das zonas glaciais, possivelmente os diferentes valores de altitude não são fatores que interferem diretamente na configuração das zonas superficiais da geleira Polar Club na península Potter.

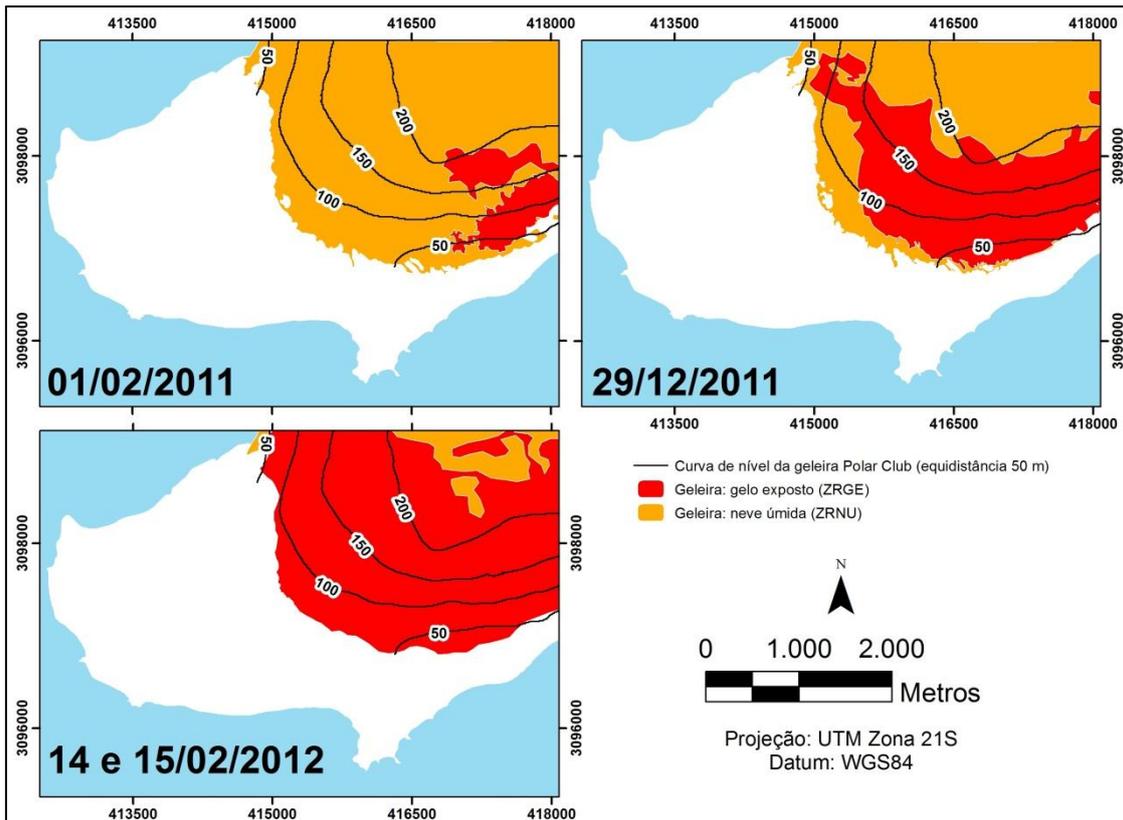


Figura 5. 18: Variação espaço-temporal da superfície da geleira Polar Club nas datas em que foram adquiridas as imagens deste estudo. As curvas de nível com equidistância de 50 m possibilitam visualizar a variação de acordo com a cota altimétrica.

Tabela 5. 6: Área de abrangência das zonas de radar de gelo exposto e de neve úmida em três datas distintas e em diferentes faixas de altimetria na geleira Polar Club.

Faixa de altimetria (m)	Classe	Área (km ²)		
		01/02/2011	29/12/2011	14 e 15/02/2012
8 – 50	ZRGE	0,08	0,1	0,25
	ZRNU	0,29	0,19	0,03
50 – 100	ZRGE	0,31	0,57	1,48
	ZRNU	1,22	0,88	0
100 – 150	ZRGE	0,26	0,35	1,7
	ZRNU	1,44	1,35	0
150 – 200	ZRGE	0,42	0,67	1,92
	ZRNU	1,5	1,25	0
200 – 250	ZRGE	0,09	2,08	1,57
	ZRNU	2,19	0,21	0,7

Em decorrência da sensibilidade dos dados SAR para o teor de umidade nos alvos superficiais, é possível distinguir na geleira Polar Club as zonas superficiais de neve úmida e de gelo exposto. Dentre os elementos superficiais nas imagens SAR, a neve e o gelo apresentaram notáveis variações entre as imagens de fevereiro/dezembro de 2011 e fevereiro de 2012. Visando estabelecer a correta interpretação dos eventos exibidos nas imagens, foram utilizados os valores de temperatura média do ar na superfície da península Potter entre 1986 e 2012 para se ter conhecimento da temperatura do ar durante o período estudado. A Figura 5.19 exibe a série de temperatura média mensal do ar entre fevereiro de 2010 e fevereiro de 2012, destacando os três períodos onde se localizam as imagens COSMO-SkyMed utilizadas neste estudo.

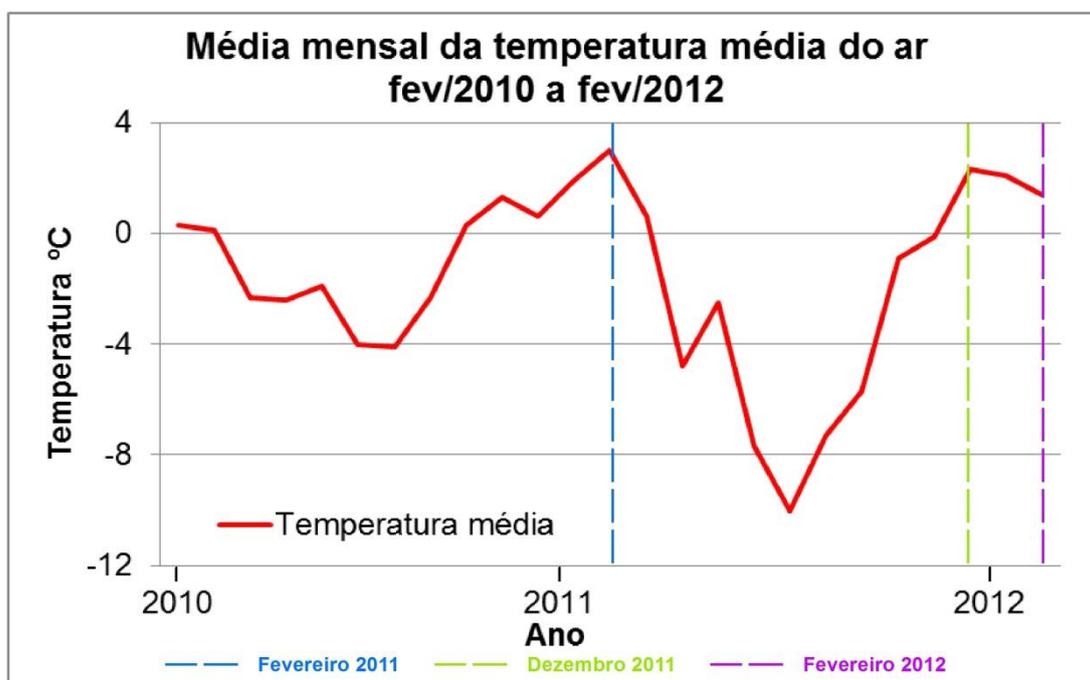


Figura 5. 19: Série de temperaturas médias mensais do ar na superfície da península Potter durante o período de fevereiro de 2010 a fevereiro de 2012. Destaque para os meses de fevereiro de 2011, dezembro de 2011 e fevereiro de 2012, período em que foram obtidas as imagens.

Na península Potter, a temperatura média mensal do ar dos meses de fevereiro de 1986 a 2012 foi de 2,11°C, enquanto a média mensal nos meses de dezembro de 1986 a 2011 foi de 1,29°C. A temperatura média mensal do período que engloba os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (i.e., verão austral) entre 1986 e 2012 foi de 1,9°C.

No ano 2011, o mês de fevereiro apresentou temperatura média de 3°C, valor acima da média para os meses de fevereiro de 1986 a 2012. Ainda no ano 2011, o mês de dezembro obteve temperatura média de 2,3°C, também excedendo o valor da média dos meses de dezembro entre os anos de 1986 a 2011. No mês de fevereiro de 2012 a temperatura média registrada foi 1,4°C, valor inferior à média dos meses de fevereiro da série temporal.

Para compreender a configuração espacial das imagens COSMO-SkyMed de fevereiro é importante analisar a série de temperatura diária do ar no período de novembro a fevereiro, possibilitando assim comparar a temperatura média do ar do período em que as imagens foram obtidas com a temperatura média do ar com a série histórica de temperatura. A Figura 5.20 apresenta a variação da média diária da temperatura do ar entre novembro de 2010 a fevereiro de 2011 e a Figura 5.21 exibe a variação da média diária da temperatura do ar entre novembro de 2011 a fevereiro de 2012. Analisar este período é importante por se tratar do período em que ocorrem as temperaturas mais elevadas e por ser o mês em que foram adquiridas a maior parte das imagens. A média da temperatura média diária do ar entre novembro e fevereiro do período de 1987 a 2012 é de 1,34°C. A temperatura média diária para os mesmos meses dos anos de 2010 e 2011 é de 1,7°C, enquanto a temperatura média diária para este período nos anos de 2011 e 2012 foi de 1,43°C. Os dois valores de temperatura estão acima da temperatura média para o período de 1987 a 2012. Apesar da média da temperatura para o período abrangendo novembro de 2011 a fevereiro de 2012 ser menor do que a temperatura média do período de 1987 a 2012, o que se observou nas imagens foi a redução das superfícies de neve e gelo nas áreas livres de gelo, bem como o aumento das zonas superficiais de gelo exposto na geleira Polar Club entre fevereiro de 2011 e fevereiro de 2012. Em fevereiro de 2011 foi observado maior ocorrência de neve nas áreas livres de gelo e menor área de gelo exposto na geleira em fevereiro de 2011, sendo que a possível causa deste padrão seja a temperatura média diária do ar entre novembro de 2009 a fevereiro de 2010, tendo sido registrado 0,25°C, valor muito inferior à média da temperatura para este período entre os anos de 1987 e 2012; em decorrência destas baixas temperaturas, a neve que foi precipitada durante o inverno de 2009 pode ter sofrido taxas menores de derretimento, tendo havido acumulação junto a neve precipitada no inverno de 2010, resultando em uma maior área de recobrimento destas classes superficiais em fevereiro de 2011.

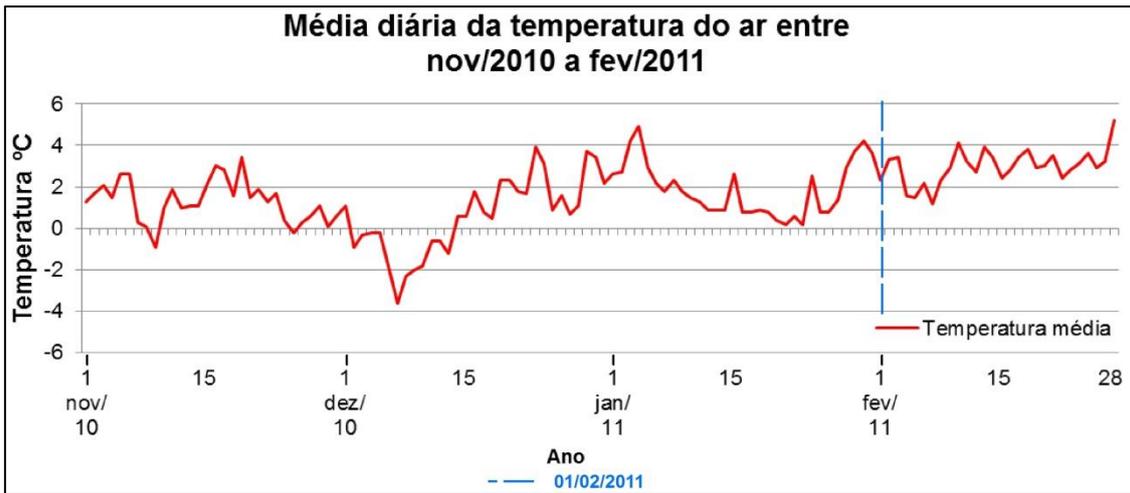


Figura 5. 20: Série de temperaturas médias diárias do ar na superfície da península Potter durante o período de novembro de 2010 a fevereiro de 2011. Destaque para o dia 1 de fevereiro de 2011, data em que houve aquisição de imagens COSMO-SkyMed.

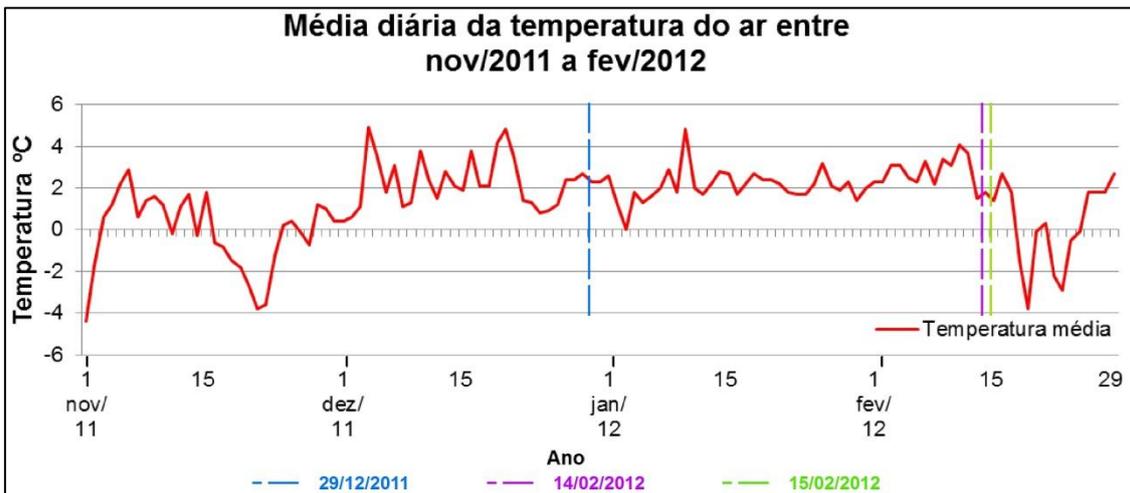


Figura 5. 21: Série de temperaturas médias diárias do ar na superfície da península Potter durante o período de novembro de 2011 a fevereiro de 2012. Destaque para as datas: 29 de dezembro de 2011, 14 e 15 de fevereiro de 2012, datas em que houve aquisição de imagens COSMO-SkyMed.

CAPÍTULO 6: Delimitação de geoambientes da península Potter

6.1. Introdução

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na delimitação dos geoambientes da península Potter, realizada através dos elementos espaciais anteriormente modelados. Nesta seção é apresentado o mapa das unidades geoambientais da península Potter, sendo posteriormente feita a descrição geral de cada uma destas unidades.

O ambiente é composto por inúmeros elementos, dentre eles solo, geologia, geomorfologia, vegetação e hidrografia. Para a estratificação do meio físico da área livre de gelo da península Potter em unidades geoambientais, foram utilizados os dados obtidos através da caracterização e zoneamento superficial por meio dos dados SAR e também os dados gerados através da modelagem do terreno, como os aspectos da geomorfologia, forma do terreno, vegetação, orientação das vertentes, suscetibilidade à ação eólica na superfície e relação existente entre a distribuição da vegetação e a radiação solar incidente na superfície.

6.2. Unidades geoambientais

De modo geral, a superfície da península Potter abrangida neste estudo é estratificada em dois domínios geoambientais, um abrangendo a geleira Polar Club e o outro englobando toda a área livre de gelo. Estes dois domínios são englobados por sete unidades geoambientais, sendo, seis desses localizados nas áreas livres de gelo e o outro localizado na geleira. A Figura 6.1 exibe o mapa contendo as unidades geoambientais, enquanto a Tabela 6.1 apresenta uma síntese geral das principais características dessas unidades.

Na península Potter existem diversos lagos sazonais e alguns permanentes. No processo de delimitação das unidades geoambientais não foram consideradas as superfícies dos lagos, já que, estes alvos não foram introduzidos como parte dos geoambientes.

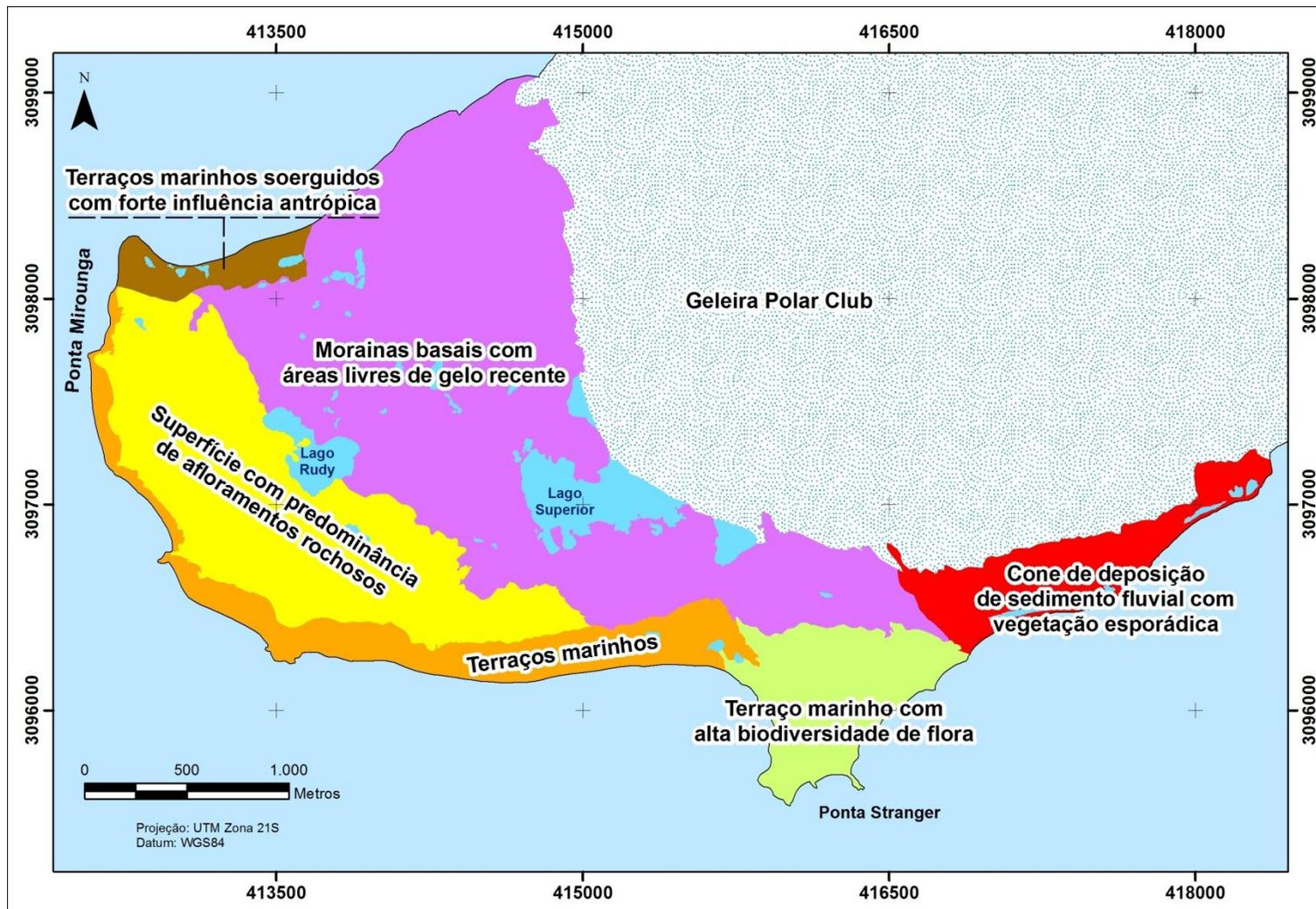


Figura 6. 1: Mapa das unidades geoambientais da península Potter.

Tabela 6. 1: Caracterização geral das unidades geoambientais da península Potter.

Unidade Geoambiental	Área (km²)	Geomorfologia	Forma do terreno	Vegetação	Suscetibilidade à ação eólica (origem)
Terraços marinhos	0,63	Terraços marinhos	Convergente e côncavo e Planar e retilíneo	Sub formação líquens e musgos	Pouca ou nenhuma e Média (Noroeste/Sudoeste)
Cone de deposição de sedimento fluvial com vegetação esporádica	0,47	Cone de deposição de sedimento fluvial e Morainas basais	Convergente e côncavo e Planar e convexo	Vegetação esporádica	Média (Nordeste/Sudeste) e Pouca ou nenhuma
Terraços marinhos soerguidos com forte influência antrópica	0,16	Terraços marinhos soerguidos	Convergente e côncavo e Planar e retilíneo	Sub formação líquens e musgos e Sub formação líquens	Pouca ou nenhuma e Média (Noroeste/Sudoeste)
Terraço marinho com alta biodiversidade de flora	0,55	Terraços marinhos	Convergente e côncavo e Planar e retilíneo	Sub formação líquens e musgos e Sub formação Algas Talosas	Média (Nordeste/Sudeste) e Pouca ou nenhuma
Morainas basais com áreas livres de gelo recente	3,31	Morainas basais recentes	Convergente e côncavo e Planar e retilíneo	Sub formação líquens e musgos	Média (Noroeste/Sudoeste) e Pouca ou nenhuma
Superfície com predominância de afloramentos rochosos	1,56	Afloramento rochoso	Convergente e côncavo e Divergente e convexo	Sub formação líquens e Sub formação líquens e musgos	Pouca ou nenhuma e Média (Noroeste/Sudoeste)
Geleira Polar Club	8,29	Geleira	Não mensurado	Inexistente	Não mensurado

6.2.1. Terraços marinhos

A geomorfologia predominante desse geoambiente são os terraços marinhos, com superfícies com baixas inclinações, tendendo à configuração horizontal e com acentuada deposição de sedimentos, sendo exibido na Figura 6.2 uma paisagem típica dos terraços marinhos. Outras feições geomorfológicas que estão presentes nesse geoambiente, porém em menores proporções, são os cones de deposição de sedimento fluvial, morainas marginais recentes, tálus com blocos de pedra e afloramentos rochosos. A configuração da forma do terreno predominante é de superfícies do tipo convergente e côncava, perfazendo 41% da superfície total, também ocorrendo em menores proporções outras formas do terreno, com destaque para as superfícies planares e retilíneas e planares e côncavas. A Tabela A.5 e A.6 em anexo apresentam todas as informações referentes à área de abrangência de cada classe geomorfológica e da forma do terreno para esse geoambiente.

Esse geoambiente apresenta no seu interior a maior parte da ASPA da península Potter, apresentando uma área de 0,62 km², perfazendo 43,4% da área total da ASPA. Nos terraços marinhos, próximos à costa marítima é comum a presença de elefantes marinhos, lobos marinhos e pinguins durante o verão.

A vegetação estimada neste geoambiente abrange uma área de 0,14 km², com predominância de sub formação líquens e musgos, com 71,3% de toda a vegetação existente nesse geoambiente. A área abrangida por cada classe de vegetação existente nesse geoambiente está descrita na Tabela A.7 em anexo.

No que tange à intensidade e suscetibilidade à ação eólica nas vertentes deste geoambiente, foi classificada uma área de aproximadamente 45% na classe de pouca ou nenhuma suscetibilidade à ação eólica. Aproximadamente 11,8% da superfície foi classificada como áreas que recebem influência intensa de ventos com origem oeste. As informações completas referentes à suscetibilidade à ação eólica na superfície da península Potter são apresentadas na Tabela A.8 em anexo.

Através da estimativa realizada da radiação solar incidente sobre a superfície, constatou-se que nesse geoambiente, apenas uma área de 0,34 km² recebe valores de radiação solar de PCL durante o inverno para as vegetações de musgos. Já as áreas que recebem radiação solar incidente com valores que se configuram como PS são mais abrangentes. As maiores áreas de PS são para a classe de musgo durante as estações do verão e primavera, com área de 0,6 km², perfazendo cerca de 93% da superfície desse geoambiente. As demais informações referentes às áreas de PCL e PS desse geoambiente são exibidas nas Tabelas A.9 e A.10 em anexo.



Figura 6. 2: Configuração característica dos terraços marinhos, com a presença de comunidades vegetais (Fotografia do autor obtida em fevereiro de 2012).

6.2.2. Cone de deposição de sedimento fluvial com vegetação esporádica

Este geoambiente possui uma área total de 0,48 km², com a geomorfologia marcada pelo predomínio de cones de deposição de sedimento fluvial e morainas basais recentes, abrangendo respectivamente 42,6 e 39,8% da área total desta unidade geoambiental. Uma característica da paisagem com cones de deposição de sedimento fluvial é o transporte do material detrítico por meio do escoamento através do canal, resultando na deposição desse material na superfície. A Figura 6.3 exibe uma parcela da superfície desse geoambiente, destacando as morainas recentes. Assim como no geoambiente do terraços marinhos, neste geoambiente é predominante a forma do terreno convergente e côncavo, abrangendo 47,5% da superfície total. A área abrangida por todas as feições geomorfológicas e as diferentes formas do terreno presentes nesse geoambiente estão contidas na Tabela A.5 e A.6 em anexo.

Este geoambiente não possui área pertencente a ASPA e é a única unidade geoambiental onde não se detectou a existência de vegetação classificada, sendo portanto existente apenas vegetações esporádicas, em estágio inicial de colonização.

Com relação à suscetibilidade à ação eólica, estima-se que aproximadamente 39% da superfície deste geoambiente recebe intensidade média dos ventos com origem de nordeste e sudeste; também é elevada a área superficial que recebe pouca ou nenhuma suscetibilidade à ação eólica. Dentre as intensidades elevadas de suscetibilidade à ação eólica, para este geoambiente, destacam-se os ventos com origem leste, abrangendo 13,9% da área superficial total. Na Tabela A.8 em anexo, estão reunidos os valores completos referentes à suscetibilidade à ação eólica na superfície da península Potter.

Nesse geoambiente foi constatada área de PCL apenas para a classe de musgos na estação do inverno, com área de 0,21 km², sendo este valor referente a 43,3% da área total deste geoambiente. Para as áreas de PS os valores obtidos foram superiores aos valores encontrados para o geoambiente de terraços marinhos, com destaque para a classe de musgos que durante as estações do verão e primavera obtiveram o mesmo valor de área, abrangendo uma área de 0,47 km², aproximadamente 99% da área total deste geoambiente. As informações referentes às áreas de PCL e PS desse geoambiente são exibidas nas Tabelas A.9 e A.10 em anexo.



Figura 6. 3: Parte da superfície desse geoambiente com destaque para as morainas recentes (Fotografia do autor obtida em fevereiro de 2012).

6.2.3. Terraços marinhos soerguidos com forte influência antrópica

A configuração geomorfológica predominante desse geoambiente é composta por terraços marinhos soerguidos, com área de 65,05% e por terraços marinhos, com área de 26,8%. Nesta unidade geoambiental está localizada a base científica Carlini, sendo, portanto o local com maior impacto e influência antrópica (Figura 6.4). A outra feição geomorfológica caracterizada neste geoambiente foram os aluviões, abrangendo 7,4% da área total desse geoambiente. Os aluviões são detritos extraídos da superfície e transportados por canais de drenagem, compostos por frações do solo e de rochas com granulometria variável. As formas do terreno predominantes são do tipo convergente e côncavo e planar e retilíneo, perfazendo respectivamente 40,7 e 31,5% da área total desse geoambiente. A área de cada classe de forma do terreno presente nessa unidade geoambiental é apresentada na Tabela A.6 em anexo.

Assim como no geoambiente de cone de deposição de sedimento fluvial com vegetação esporádica, esta unidade geoambiental não contém área da ASPA. A vegetação existente é composta por sub formação líquens e por sub formação líquens e musgos, com área de 0,01 e 0,02 km² respectivamente. A maior concentração das comunidades vegetais está localizada próxima ao heliponto, sendo possível visualizar parte desta área na Figura 6.4.

A suscetibilidade à ação eólica neste geoambiente é predominantemente do tipo pouca ou nenhuma, estando essa classe abrangendo 34,5% da superfície total deste geoambiente. Dentre as classes de maior intensidade, destacam-se as vertentes que são influenciadas pela força eólica proveniente do sentido oeste, perfazendo um total de 10,8% da superfície. A área abrangida por cada uma das classes de suscetibilidade à ação eólica nesse geoambiente é apresentada na Tabela A.8 em anexo.

As estimativas da incidência de radiação solar na superfície constataram que este geoambiente apresenta a menor área de PCL dentre todos os geoambientes, tendo sido obtido valores de PCL apenas para a classe de musgo e durante a estação do inverno, com área de 0,01 km², abrangendo apenas 4,16% da área total desse geoambiente. As áreas que se configuram como PS são maiores para os musgos durante as estações do verão e primavera, abrangendo 99,9% da área total do geoambiente. Pode-se destacar que nesse geoambiente, foi caracterizada a maior área de abrangência de PS para a associação de alga talosa e musgo durante o verão, com área de 71,2% da superfície total. As demais informações referentes às áreas de PCL e PS desse geoambiente são exibidas nas Tabelas A.9 e A.10 em anexo.



Figura 6. 4: Paisagem desse geoambiente apresentando parte da base Carlini (Fotografia do autor obtida em fevereiro de 2012).

6.2.4. Terraço marinho com alta biodiversidade de flora

A área abrangida por essa unidade geoambiental engloba a ponta Stranger, local onde está situada a maior diversidade em flora na península Potter. A classe de geomorfologia predominante neste local são os terraços marinhos, que envolvem 55,3% da área deste geoambiente. As outras duas configurações geomorfológicas com área considerável são a de afloramento rochoso e os terraços marinhos soerguidos, englobando respectivamente 20,4 e 11,6% da área total. A Figura 6.5 proporciona a visualização de uma parte da ponta Stranger vista de diferentes ângulos, sendo possível visualizar o acentuado recobrimento superficial por comunidades vegetais e também os afloramentos rochosos na superfície. As outras feições geomorfológicas existentes neste geoambiente são apresentadas na Tabela A.5 em anexo. A forma do terreno predominante é a do tipo convergente e côncavo, totalizando 41,6% dessa unidade geoambiental. Também é possível destacar as superfícies planares e retilíneas, somando 21,4% deste geoambiente. Nesta unidade

geoambiental se encontra as nove configurações referentes à forma do terreno, estando na Tabela A.6 em anexo, as informações referentes às áreas de cada classe.

A área da ASPA localizada no interior desse geoambiente é de 0,41 km², valor que se refere a 28,4% da área total dessa ASPA. Essa área é essencial em termos ambientais, por ser o segundo geoambiente com maior área de abrangência de vegetação, com área de 0,37 km², e principalmente por ser o único geoambiente em que são encontrados os cinco tipos de classes de vegetação identificadas no mapeamento feito por Poelking (2011). As classes de vegetação com maior abrangência são a sub formação líquens e musgos e a sub formação Algas Talosas, com recobrimento superficial de 38,7 e 32,6% respectivamente. A área de cobertura de cada classe é apresentada na Tabela A.7 em anexo.

A suscetibilidade à ação eólica predominante neste geoambiente possui intensidade média com os ventos de origem nordeste e sudeste. As vertentes com esta suscetibilidade à ação eólica abarcam uma área de 35,5% da área desse geoambiente. Outra classe que apresenta grande área é a de pouca ou nenhuma suscetibilidade à ação eólica, perfazendo 25,6% da área total. Na Tabela A.8 em anexo são apresentados os valores referentes a todas as classes de suscetibilidade à ação eólica dessa unidade geoambiental.

As superfícies dessa unidade geoambiental que apresentaram valores de radiação referentes às áreas de PCL são adequadas apenas para a classe de musgo, durante o inverno, com área de 0,28 km², valor referente à 49,2% de toda a área desse geoambiente. As áreas de PS mantêm o padrão dos geoambientes anteriores, com áreas acentuadas para musgo no verão e primavera, com área de 0,54 km² para as duas situações. Os outros valores encontrados de PS referentes às outras classes são apresentados na Tabela A.10 em anexo.

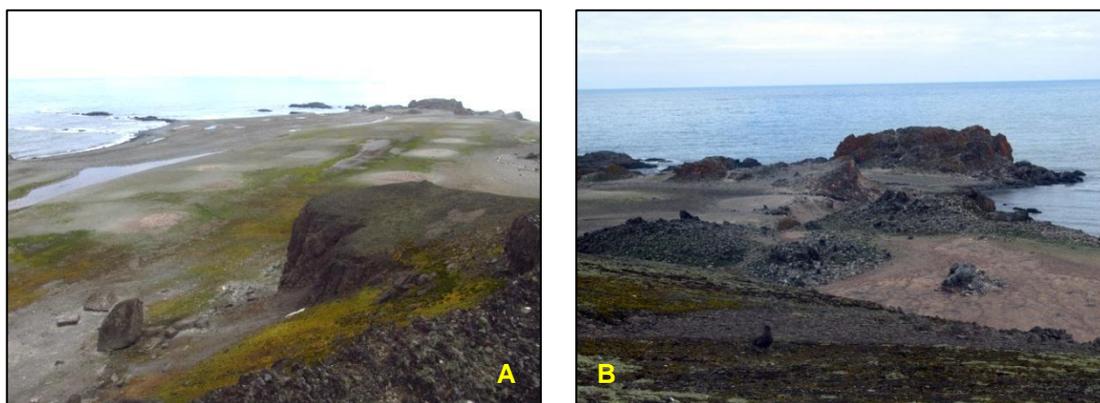


Figura 6. 5: Parte desse geoambiente onde está localizada a ponta Stranger. Em (A) é possível visualizar o acentuado recobrimento superficial por comunidades vegetais. Em (B) é

possível ver com maior detalhamento as superfícies com afloramento rochoso (Fotografias do autor obtidas em fevereiro de 2012).

6.2.5. Morainas basais com áreas livres de gelo recente

Esse geoambiente possui a maior extensão territorial dentre todos, com uma área de 3,32 km². A feição geomorfológica predominante nessa unidade geoambiental são as morainas basais recentes, compreendendo 44,7% da área total. Outras classes representativas são os cones de deposição de sedimentos fluviais e as morainas marginais recentes, abrangendo respectivamente 23,5 e 22,4% da área desse geoambiente. A forma do terreno convergente e côncavo representa 39,4% da área total do geoambiente, sendo, portanto a forma com maior extensão superficial. As superfícies planares e retilíneas também ocupam área expressiva, abrangendo cerca de 22% da área desse geoambiente. A Figura 6.6 exibe dois locais que apresentam a configuração dos elementos da paisagem característicos desse geoambiente. A área de cada feição geomorfológica e das formas do terreno existentes nessa unidade geoambiental é exibida nas Tabelas A.5 e A.6 em anexo.

Dentre os geoambientes que incluem em seus limites alguma fração da ASPA, esse possui a menor área, com uma área de 0,06 km² de área da ASPA, representando 3,97% da área total da ASPA.

A vegetação localizada no interior desse geoambiente é expressiva, englobando uma área de 0,3 km². Dentre as classes de vegetação existentes, a sub formação líquens e musgos é a mais expressiva, contendo 76,2% da área ocupada pela vegetação nesse geoambiente. As outras duas classes de vegetação presentes são a sub formação líquens e sub formação musgos, abrangendo uma área do total de 19,5 e 4,26% respectivamente.

A suscetibilidade à ação eólica nessa paisagem é de intensidade média, com ventos provenientes do sentido noroeste e sudoeste, sendo a área das vertentes que sofrem essa influência de 0,93 km², totalizando 28,1% da área total desse geoambiente. Todavia, as superfícies que sofrem pouca ou nenhuma intensidade possuem área de 0,88 km², totalizando 26,4% da superfície. A área abrangida pela classe intensa com ventos oriundos do sentido oeste é a maior dentre todos os geoambientes, totalizando 18,4% da superfície. A área de todas as classes de suscetibilidade à ação eólica são apresentadas na Tabela A.8 em anexo.

As áreas de PCL nesse geoambiente ocorrem para as algas talosas e musgo no inverno e para líquens no verão. A área PCL para musgo abrange 16,4% e a área de alga talosa e líquen abrange aproximadamente 0,3% da superfície total desse

geoambiente. As áreas de PS seguem o padrão observado para as outras unidades geoambientais, com maiores áreas para os musgos durante as estações do verão e primavera, abrangendo aproximadamente 95% da área total do geoambiente. A área de PS para as algas talosas durante o verão e primavera são exibidas na Tabela A.10 em anexo.

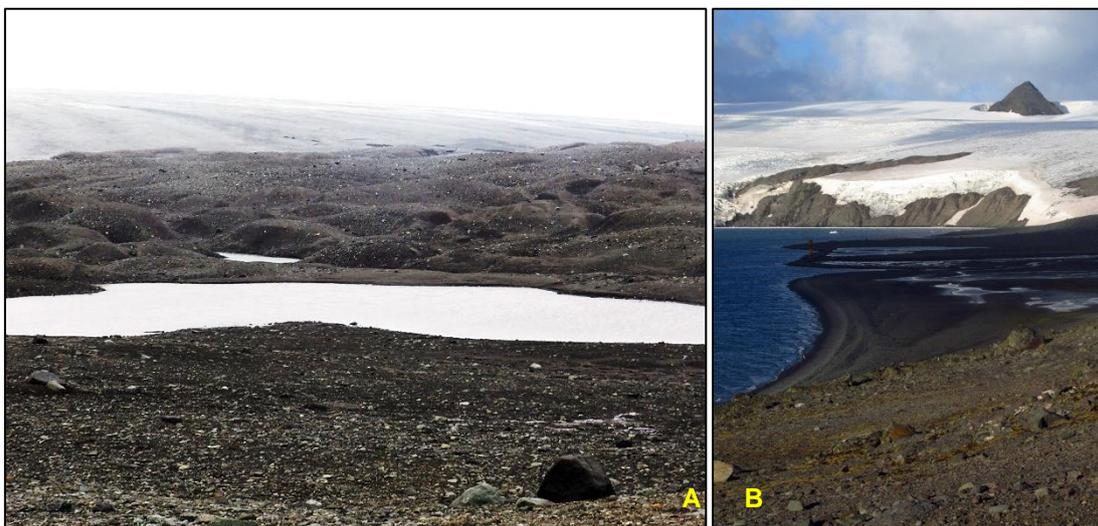


Figura 6. 6: Paisagem característica desse geoambiente no interior da península Potter. Em (A) é possível visualizar as morainas e em (B) é exibida uma superfície com predomínio de cones de deposição de sedimento fluvial (Fotografias do autor obtidas em fevereiro de 2012).

6.2.6. Superfície com predominância de afloramento rochosos

A classe de geomorfologia predominante neste local são os afloramentos rochosos, que envolvem 48,5% da área deste geoambiente. As outras duas configurações geomorfológicas com área considerável são de tálus com fragmentos de rochas em cone e os terraços marinhos soerguidos, englobando respectivamente 20,2 e 13,7% da área total. As feições geomorfológicas de tálus são superfícies inclinadas, localizadas na base de uma encosta onde ocorre a deposição de detritos. As outras feições geomorfológicas existentes neste geoambiente são apresentadas na Tabela A.5 em anexo. A classe referente à forma do terreno predominante é do tipo convergente e côncavo, abarcando 39,1% da área total desse geoambiente. As superfícies com forma divergente e convexa também possuem área expressiva, com 19,1% da área total. A Figura 6.7 exhibe uma paisagem típica de afloramento rochoso, sendo possível visualizar parte do cone vulcânico Three Brothers e a superfície de tálus com blocos e fragmentos de rochas. A área das demais formas do terreno presentes nesse geoambiente é exibida na Tabela A.6.

A área da ASPA no interior dessa unidade geoambiental é de 0,35 km², valor que representa 24,1% da área total da ASPA. Através da classificação da vegetação, constatou-se que apenas duas classes estão no interior desse geoambiente, sendo elas a sub formação líquens e sub formação líquens e musgos, com área de 0,36 e 0,33 km² respectivamente.

A suscetibilidade à ação eólica nesse geoambiente é maior para a classe de pouca ou nenhuma, possuindo uma área de 30,9% do total. As superfícies que sofrem influência de intensidade média também apresentam áreas extensas, tanto para os ventos de origem nordeste e sudeste, quanto para os ventos de origem noroeste e sudoeste, com área que engloba respectivamente 20,8 e 28,1% da área total dessa unidade geoambiental. A área de cada classe é exibida na Tabela A.8 em anexo.

Através da estimativa da radiação solar incidente, constatou-se que ocorrem áreas de PCL nesse geoambiente para as algas talosas e musgos durante o inverno e para os líquens durante o verão. A área de PCL dos musgos representa 50,6% da área total do geoambiente, enquanto a área de PCL das algas talosas e líquens representam aproximadamente 1,9% da área total. As áreas com radiação incidente que geram PS são maiores para os musgos durante o verão e primavera, abrangendo aproximadamente 91% da superfície total desse geoambiente. As áreas de cada classe de PCL e PS são exibidas nas Tabelas A.9 e A.10.



Figura 6. 7: Ambiente característico desse geoambiente com superfície de afloramento rochoso e com a imagem do cone vulcânico Three Brothers e as superfícies de tálus com blocos e fragmentos de rochas (Fotografia do autor obtida em fevereiro de 2012).

6.2.7. Geleira Polar Club

Esse geoambiente é compreendido pela geleira Polar Club, um sistema glacial que apresenta franco retrocesso durante os últimos 50 anos (DEL VALLE *et al*, 2004). Dentre as feições visíveis na geleira, pode-se destacar o nunatak Florence, localizado a uma altitude de aproximadamente 280 m (Figura 6.8).

A superfície dessa unidade geoambiental é altamente variável, conforme mostrado nos resultados obtidos no zoneamento das superfícies por meio dos dados COSMO-SkyMed. A superfície da geleira abrangida pela área de estudo é composta predominantemente pelas zonas de neve úmida e de gelo exposto. Estas classes apresentam variação sazonal e forte correlação com as condições meteorológicas.

Nesta unidade geoambiental não ocorre o desenvolvimento de formações vegetais e os procedimentos de caracterização da morfometria superficial não foram desenvolvidos em decorrência da inexistência de dados altimétricos de qualidade para este local.



Figura 6. 8: Parte da geleira Polar Club, sendo possível visualizar o nunatak Florence, localizado a 280 metros de altitude (Fotografia do autor obtida em fevereiro de 2012).

CAPÍTULO 7: Considerações finais

7.1. Conclusões

O objetivo desse estudo foi alcançado, tendo sido obtidos novos dados e interpretações referentes aos elementos superficiais da península Potter, estando estes resumidos nos parágrafos abaixo.

Os valores de retroespalhamento extraídos das imagens COSMO-SkyMed resultaram em uma abordagem na utilização desses dados extraídos da banda X para estudos em ambientes glaciais. Através da caracterização do retroespalhamento de nove classes superficiais da península Potter, constatou-se que as classes de neve e gelo apresentaram a maior variabilidade temporal e espacial. Os valores de retroespalhamento extraídos da superfície da geleira obtiveram valores médios semelhantes aos obtidos por outros autores que utilizaram a banda C.

A partir dos valores de retroespalhamento e da interpretação visual das imagens COSMO-SkyMed, foram delimitadas seis classes de zonas superficiais da península Potter. Nos pares de imagens com polarização distintas, obtidas na mesma data ou em datas próximas, se constatou elevada similaridade nos valores de retroespalhamento das seis classes de zonas superficiais. As variações das zonas superficiais foram mais intensas na geleira Polar Club, com a variação mais intensa entre as altitudes de 50 e 200 metros e com forte dependência das condições meteorológicas.

Na península Potter, a forma do terreno de maior abrangência superficial é a convergente e côncavo, cobrindo 2,96 km². A partir da orientação das vertentes foi possível estimar o sentido da origem dos ventos e a suscetibilidade à ação eólica sobre essas vertentes, sendo que para a península Potter, a classe de suscetibilidade à ação eólica de pouca ou nenhuma intensidade é predominante, abrangendo 31,3% da superfície. As vertentes voltadas para leste e oeste ocupam respectivamente 8,2 e 13,6% da superfície livre de gelo, sendo estas vertentes as que sofrem maior suscetibilidade à ação eólica.

A radiação solar, apontada por Pereira e Putzke (1994) como um dos principais elementos para o desenvolvimento de comunidades vegetais na região da Antártica, não se mostrou como um elemento determinístico na distribuição espacial da vegetação na península Potter. Nesse local, a distribuição da vegetação é fortemente influenciada pela configuração do micro relevo, podendo ter sido estimada uma área de correlação entre a radiação solar e a distribuição da vegetação inferior à área que

seria gerada através de uma estimativa que fosse feita utilizando modelos digitais de elevação com maior resolução espacial.

O zoneamento da superfície da península Potter foi desenvolvido utilizando a abordagem das unidades geoambientais, tendo sido delimitado um conjunto de sete geoambientes. A delimitação dos geoambientes foi feita através de uma análise multicritério, considerando para tal os dados de geomorfologia, forma do terreno, vegetação, suscetibilidade à ação eólica e radiação solar incidente.

7.2. Recomendações para futuros trabalhos

Para ampliar este estudo, recomenda-se que para trabalhos futuros fossem incluídos os valores de retroespalhamento adquiridos a partir de imagens SAR obtidas durante o inverno, o que viabilizaria a análise completa do ciclo anual da dinâmica das zonas superficiais delimitadas através de dados SAR.

Para a certificação da acurácia da metodologia utilizada na modelagem espacial da morfometria e elementos da superfície, se faz necessário a validação dos dados em campo com a finalidade de verificar a precisão dos dados gerados neste estudo.

A análise dos parâmetros que influenciam na distribuição da vegetação da península Potter pode ser melhorada com a incorporação da quantificação da dinâmica dos fluxos eólicos, possibilitando averiguar a correlação existente entre a ação eólica com a área abrangida pela vegetação. Essa informação, somando-se com as informações de radiação solar incidente sobre a superfície, será essencial para o entendimento dos padrões espaciais de cobertura da flora.

Para os estudos voltados para a classificação superficial de geleiras seria importante a incorporação de uma nova classe referente à zona de radar de gelo sujo. Na geleira da península Potter e em outras geleiras existentes na Ilha Rei George é notável o acentuado recobrimento de material sedimentar sobre a geleira.

Outra importante contribuição seria analisar as variações que ocorrem em cada faixa de altimetria na geleira Polar Club. Esse monitoramento temporal possibilitaria a inferência de hipóteses referentes à dinâmica da geleira.

Referências bibliográficas

- ALBRIGHT, T.P.; PAINTER, T.H.; ROBERTS, D.A.; SHI, J. (1998): Classification of surface types using SIR-C/X-SAR, Mount Everest Area, Tibet. **Journal of Geophysical Research**. v.103, n.11. p.25,823-25,837.
- ANDRADE, A.M. de; FERNANDES-FILHO, E.I.; POELKING, E.L.; SCHAEFER, C.E.R.; PEREIRA, L.G. (2009): **Caracterização e mapeamento ambiental da península Potter, Antártica Marítima**: solos, geomorfologia, cobertura vegetal frente ao efeito de mudanças climáticas regionais. Relatório (Iniciação Científica/PIBIC-CNPq). 41 p.
- ANDRADE, A.M.de; POELKING, E.L.; ARIGONY-NETO, J.; SCOTTA, F.C.; BERRA, E.F.; SCHAEFER, C.E. (2012): Variações na temperatura do ar da península Potter, Ilha Rei George (Antártica Marítima), entre 1986 e 2011. In: **XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Gramado, Brasil.
- ANDRADE, A.M.de; POELKING, E.L.; SCHAEFER, C.E.R.; FILHO FERNANDES, E.I.; JUSTINO, F.B. (2011): Mudanças climáticas regionais e seus reflexos nas variações da frente da geleira Polar Club, península Potter, Ilha Rei George, entre 1986 e 2009. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba, Brasil. p.5624-5631.
- ARIGONY-NETO, J. (2001): **Determinação e interpretação de características glaciológicas e geográficas com sistemas de informações geográficas na Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ARIGONY-NETO, J. (2006): **Monitoring glacier parameters on th Antarctic Peninsula** - a centerline approach combining satellite and GIS data. 159 f. Tese (Doctoral at Forest and Environmental Sciences) - Albert-Ludwigs-Universität.
- ARIGONY-NETO, J.; JAÑA, R.; BORGES FERNANDEZ, G.; VIEIRA, R.; MEDEIROS, C.; RIVERA, A.; SIMÕES, J.C. (2012): Union Glacier (Ellsworth Mountains) remote sensing studies during the 2011/2012 austral summer. In: **XXXII SCAR**. Portland, USA.
- ARIGONY-NETO, J.; RAU, F.; SAURER, H.; JAÑA, R.; SIMÕES, J. C.; VOGT, S. (2007): A times series of SAR data for monitoring changes in boundaries of glacier zones on the Antarctic Peninsula. **Annals of Glaciology**. 46. p.55-60.
- ARIGONY-NETO, J.; SAURER, H.; SIMÕES, J.C.; RAU, F.; JAÑA, R.; VOGT, S.; GOßMANN, H. (2009): Spatial and temporal changes in dry-snow line altitude on the Antarctic Peninsula. **Climatic Change**. 94. p.19-33.

- ASI (Agenzia Spaziale Italiana). (2007): **Cosmo-SkyMed SAR Products Handbook**. Roma, Itália. Disponível em: <<https://eopi.asi.it/asi/asi>>. 105 p.
- BATTAZZA, F.; CIAPPA, A.; COLETTA, A.; COVELLO, F.; MANONI, G.; PIETRANERA, L.; VALENTINI, G. (2009): COSMO-SkyMed Mission: a set of X-band SAR Applications conducted during 2008. **Rivista Italiana di Telerilevamento**. 41 (3). p.7-21.
- BENSON, C.S. (1962): Stratigraphic studies in the snow and firn of the Greenland ice sheet. Snow, Ice and Permafrost Establishment. **Research Report 70**.
- BOCKHEIM, J.G.; HALL, K.J. (2002): Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica. **South African Journal of Science**. n.98. p. 82-90.
- BRAUN, M. (2001): **Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctica)** - an approach from field measurements, modeling and remote sensing. 191 f. Tese (Doctoral at the Faculty of Earth Sciences) – Universität Freiburg i. Br.
- BRAUN, M., GOßMANN, H. (2002): Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King Geoge Island, maritime Antarctica. In: Beyer, L.; Bölter, M. (Ed). **Geocology of Antarctic ice-free coastal landscapes**. Berlin: Springer-Verlag. p.75-89.
- BREMER, U.F. (2008): **Solos e geomorfologia da borda leste da península Warszawa, Ilha Rei George, Antártica Marítima**. 136 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.
- BREMER, U.F. (2011): O permafrost, os criossolos e as mudanças climáticas. In: SIMÕES, J.C. *et al.* **Antártica e as mudanças globais: um desafio para a humanidade**. São Paulo: Blucher. p.103-120.
- BREMER, U.F.; ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J.C. (2004): Teledetecção de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetland do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000. **Pesquisa Antártica Brasileira**, n. 4, p. 37-48.
- BROWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRIK, D.L.; JONES, W.J. (1985): **Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies**. NASA. 184 p.
- CELESTINO, V.S. (2007): **Padrão de exatidão de mapeamento por imagens do sensor QuickBird**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- COOK, A.J.; FOX, A.J.; VAUGHAN, D.G.; FERRIGNO, J.G. (2005): Retreating Glacier Fronts on the Antarctic Peninsula over the Past Half-Century. **Science**. v.308. n.5721. p. 541-544.

- COOPER, A.; MURRAY, R. (1992): A structured method of landscape assessment and countryside management. **Applied Geography**. 12. p. 319-338.
- DEL VALLE, R.A.; TATUR, A.; LUSKY, J.C.; GOMEZ IZQUIERDO, D.R. (2004): Cambios morfológicos recientes en lagos de la península Potter, islã 25 de Mayo, islas Shetland del Sur, Antártida. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**. 59 (3). p. 443-450.
- DIAS, H.C.T.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, L.E.F.; VENTORIM, L.B. (2002): Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.777-786.
- DIGITALGLOBE. (2007): **QuickBird Imagery Products: Product Guide**. Colorado, EUA. Disponível em: <http://glcf.umiacs.umd.edu/library/guide/QuickBird_Product_Guide.pdf>. 78 p.
- FERNANDES FILHO, E.I.; SÁ, M.M.F. (2007): Influência das variáveis do terreno na radiação solar. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil. p.5751-5753.
- FERREIRA, A.B. (1991): Os ambientes periglaciários e o significado das manifestações periglaciárias herdadas. **Finisterra Revista Portuguesa de Geografia**. v.XXVI, n.51, p. 84-105. Disponível em: <http://www.ceg.ul.pt/finisterra/numeros/1991-51/51_04.pdf>. Acesso em: 12 dez 2011.
- FERRON, F.A.; SIMÕES, J.C.; AQUINO, F.E.; SETZER, A.W. (2004): Air temperature time series for King George Island, Antarctica. **Pesquisa Antártica Brasileira**. 4. p. 155-169.
- FISCHER, L.; EISENBEISS, H.; KÄÄB, A.; HUGGEL, C.; HAEBERLI, W. (2011): Monitoring Topographic Changes in a Periglacial High-mountain Face High-resolution DTMs, Monte Rosa East Face, Italian Alps. **Permafrost and Periglacial Processes**. 22. p.140-152.
- FRANCELINO, M.R.; PEREIRA, A.B.; SÁ, M.M.F.; SPIELMANN, A.A.; BREMER, U.L.; TONIN, A.; SCHAEFER, 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. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis. p.2637-2642.
- 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). **Ecosistemas costeiros e**

monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George. Viçosa: NEPUT. p. 16-25.

FREEMAN, A. (1992): Radiometric calibration of SAR image data. **International archives of photogrammetry and remote sensing.** Washington, D.C. p.212-222.

FRENCH, H.M. (2007): **The Periglacial Environment.** 3ª ed. Ottawa: John Wiley & Sons Ltd.

FRICKER, H.A.; SCAMBOS, T.; CARTER, S.; DAVIS, C.; HARAN, T.; JOUGHIN, I. (2010): Synthesizing multiple remote-sensing techniques for subglacial hydrologic mapping: application to a lake system beneath MacAyeal Ice Stream, West Antarctica. **Journal of Glaciology.** v.56, 196. p. 187-199.

FU, P.; RICH, P.M. (1999): Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. In: **Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference.** San Diego, USA. Disponível em: <
www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>

GROSSE, G.; SCHIRRMEISTER, L.; KUNITSKY, V.V.; HUBBERTEN, H.W. (2005): The use of CORONA images in remote sensing of periglacial geomorphology: an illustration from the NE Siberian coast. **Permafrost and Periglacial Processes.** 16. p.163-172.

GUGLIELMIN, M. (2012): Advances in permafrost and periglacial research in Antarctica: A review. **Geomorphology.** 155:156. p.1-6.

HALL, K. (2002): Review of present and quaternary periglacial processes and landforms of the maritime and sub-Antarctic region. **South African Journal of Science.** 98. p.71-81.

HARRIS, C.; ARENSON, L.U.; CHRISTIANSEN, H.H.; ETZELMULLER, B.; FRAUENFELDER, R.; GRUBER, S.; HAEBERLI, W.; HAUCK, C.; HOLZLE, M.; HUMLUM, O.; ISAKSEN, K.; KÄÄB, A.; KERN-LUTSCHG, M.A.; LEHNING, M.; MATSUOKA, N.; MURTON, J.B.; NOTZLI, J.; PHILLIPS, M.; ROSS, N.; SEPPALA, M.; SPRINGMAN, S.M.; MUHLL, D.V. (2009): Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modeling thermal, geomorphological and geotechnical responses. **Earth-Science Reviews.** n. 92. p.117-171.

JENSEN, J.R. (2009): Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Editora Parêntese. 672 p.

KÄÄB, A. (2008): Remote Sensing of Permafrost-related Problems and Hazards. **Global and Planetary Change.** 29, p. 257-292.

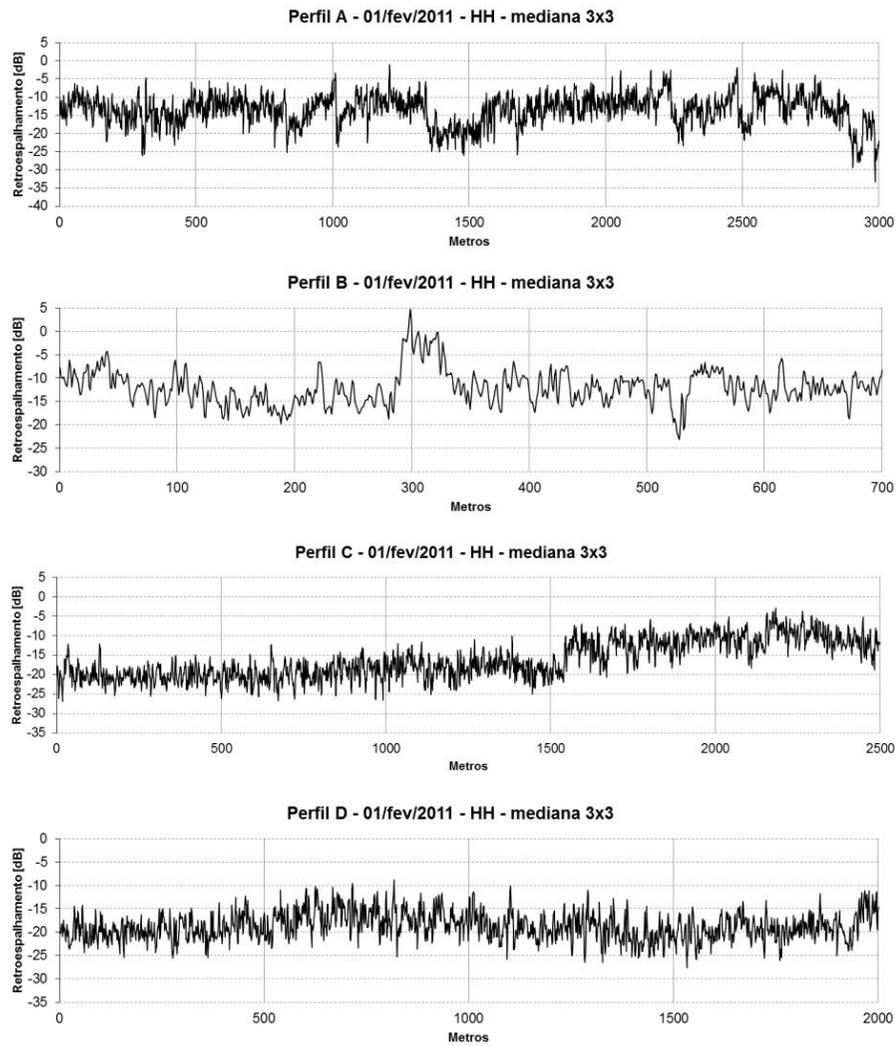
- KOCH, M.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; SCHMID, T.; SERRANO, E.; GUMUZZIO, J. (2008): Application of ALOS PALSAR and Landsat ETM+ data for the study of periglacial features and permafrost within the South Shetland Islands, western Antarctica. In: **International Geoscience e Remote Sensing Symposium**. Boston, USA. p.343-346.
- LARCHER, W. (2000): **Ecofisiologia vegetal**. RiMa Artes e Textos: São Carlos. 531 p.
- LIU, H.; WANG, L.; JEZEK, K. (2006): Automated Delineation of Dry and Melt Snow Zones in Antarctica Using Active and Passive Microwave Observations From Space. **IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.44, n.8. p.2152-2163.
- LUBIN, D.; MASSOM, R. (2006): **Polar Remote Sensing Volume 1: Atmosphere and Oceans**. Springer: Germany. 867 p.
- LUSKY, J.C.; VALLVERDÚ, R.A.; GOMEZ IZQUIERDO, D.R.; DEL VALLE, R.A.; FELSKÉ, H. (2001): **Topographic Map**. Dirección Nacional del Antártico – Instituto Antártico Argentino, División Geología – Institut für Allgemeine und Angewandte, Geologie München.
- MASSOM, R.A. (1991): **Satellite Remote Sensing of Polar Regions**. Londres: Belhaven Press.
- MATHER, P.M. (2004): **Computer Processing of Remotely-Sensed Images An Introduction**. 3ª ed. John Wiley & Sons, Ltd: England. 350 p.
- MICHEL, R.F.M. (2011): **Classificação, cobertura vegetal e monitoramento térmico da camada ativa de solos da península Fildes, Ilha Rei George e Ilha Ardley, Antártica Marítima**. 251 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.
- MOREIRA, M.A. (2005): **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed. UFV: Viçosa. 320 p.
- OLECH, M. (2002): Plant communities on King George Island. In: BEYER, L.; BÖLTER, M. (Eds) **Geocology of Antarctic Ice-free coastal landscapes**. Ecological Studies 154: p. 215-231.
- ØVSTEDAL, D.O.; SMITH, R.I.L. (2001): **Lichens of Antarctica and South Georgia: A guide to their Identification and Ecology**. Cambridge: Cambridge University Press. 453 p.
- PANDA, S.K.; PRAKASH, A.; SOLIE, D.N.; ROMANOVSKY, V.E.; JORGENSON, M.T. (2010): Remote Sensing and Field-based Mapping of Permafrost Distribution along the Alaska Highway Corridor, Interior Alaska. **Permafrost and Periglacial Processes**. 21. p.271-281.

- PARMIGGIANI, F.; MOCTEZUMA, M.; MORALES, D. (2009): Iceberg detection using COSMO-SkyMed satellite constellation images. In: **XV Image and Signal Processing for Remote Sensing**. Berlin, Germany.
- PARTINGTON, K.C. (1998): Discrimination of glacier facies using multi-temporal SAR data. **Journal of Glaciology**. 44 (146). p.42-53.
- PATERSON, W.S.B. (1994): **The physics of glaciers**. Pergamon Press.
- PEREIRA, A.B.; PUTZKE, J. (1994): Floristic Composition of Stinker Point, Elephant Island, Antarctica. **Korian Journal of Polar Research**. 5. p.37-47.
- POELKING, E.L. (2011): **Criossolos e monitoramento climático da península Potter, Antártica Marítima**. 119 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.
- RAU, F.; BRAUN, M.; FRIEDRICH, M.; WEBER, F.; GOßMANN, H. (2000): Radar glacier zones and their boundaries as indicators of glacier mass balance and climatic variability. In: **Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow**. Dresden, Alemanha. p.317-327.
- RAU, F.; BRAUN, M.; SAURER, H.; GOßMANN, H.; KOTHE, G.; WEBER, F.; EBEL, M.; BEPLER, D. (2000): Monitoring Multi-Year Snow Cover Dynamics on the Antarctic Peninsula Using SAR Imagery. **Polarforschung**. 67 (1/2). p.27-40.
- RICHARDS, J.A.; JIA, X. (2006): **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. 4ª ed. Berlin. 454 p.
- SANTANA, R.M. (2006): **Mapeamento de geounidades do meio físico e biótico em área da Antártica Marítima**. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; SANTANA, R.M.; SIMAS, F.N.B.; FRANCELINO, M.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; ALBUQUERQUE, M.A.; CALIJURI, M.L. (2007): Geoenvironments from the vicinity of Arctowski Station, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica: vulnerability and valuation assessment. In: **10th International Symposium on Antarctic Earth Sciences**. Santa Barbara, EUA.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; PEREIRA, A.B.; FRANCELINO, M.R.; FERNANDES-FILHO, E.I.; SIMAS, F.N.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, A.C. (2004) Comunidades vegetais na península Keller: ecologia e padrões de distribuição. In: SCHAEFER, C.E.G.R.; FRANCELINO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R. (Ed). **Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT. p. 65-72.
- SCHLOSS, I.; FERREYRA, G.; KLÖSER, H. (1998): Seasonal Variation of the Conditions for Phytoplankton Growth in Potter Cove. **The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica: synopsis of research performed within the frame of the**

- Argentinean - German cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station. p.59-66.
- SCHOWENGERDT, R.A. (2007): **Remote Sensing Models and Methods for Image Processing**. 3ª ed. Arizona. 558 p.
- SIMÕES, J.C. (2004): Glossário da língua portuguesa da neve, do gelo e termos correlatos. **Pesquisa Antártica Brasileira**. n.4. p.119-154.
- TURNER, J.; COLWELL, S.R.; MARSHALL, G.J.; LACHLAN-COPE, T.A.; CARLETON, A.M.; JONES, P.D.; LAGUN, V.; REID, P.A.; IAGOVKINA, S. (2005): Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**. n.25. p.279-294.
- ULRICH, M.; GROSSE, G.; CHABRILLAT, S.; SCHIRRMESTER, L. (2009): Spectral characterization of periglacial surfaces and geomorphological units in the Arctic Lena Delta using field spectrometry and remote sensing. **Remote Sensing of Environment**. 113, 6. p.1220-1235.
- VALERIANO, M.M. (2008a): Dados topográficos. In: FLORENZANO, T.G. (Org). **Geomorfologia Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos. p.72-104.
- VALERIANO, M.M. (2008b): **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE: São José dos Campos. 75 p.
- VARELA, L. (1998): Hidrology of Matias and Potter Creeks. **The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica**: synopsis of research performed within the frame of the Argentinean - German cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station. p.33-39.
- VIEIRA, G.; BOCKHEIM, J.; GUGLIELMIN, M.; BALKS, M.; ABRAMOV, A.A.; BOELHOUWERS, J.; CANNONE, N.; GANZERT, L.; GILICHINSKY, D.A.; GORYACHKIN, S.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; MEIKLEJOHN, I.; RAFFI, R.; RAMOS, M.; SCHAEFER, C.; SERRANO, E.; SIMAS, F.; SLETTEN, R.; WAGNER, D. (2010): Thermal State of Permafrost and Active-layer Monitoring in the Antarctic: Advances During the International Polar Year 2007-2009. **Permafrost and Periglacial Processes**. 21. p.182-197.
- WUNDERLE, S.; SAURER, H.; GOßMANN, H. (1998): Meteorological conditions and snow cover dynamics on the Potter Peninsula, King George Island, Antarctica. **The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica**: synopsis of research performed within the frame of the Argentinean - German cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station. p.15-27.

ANEXOS

Valores de retroespalhamento com filtragem



Valores de retroespalhamento sem filtragem

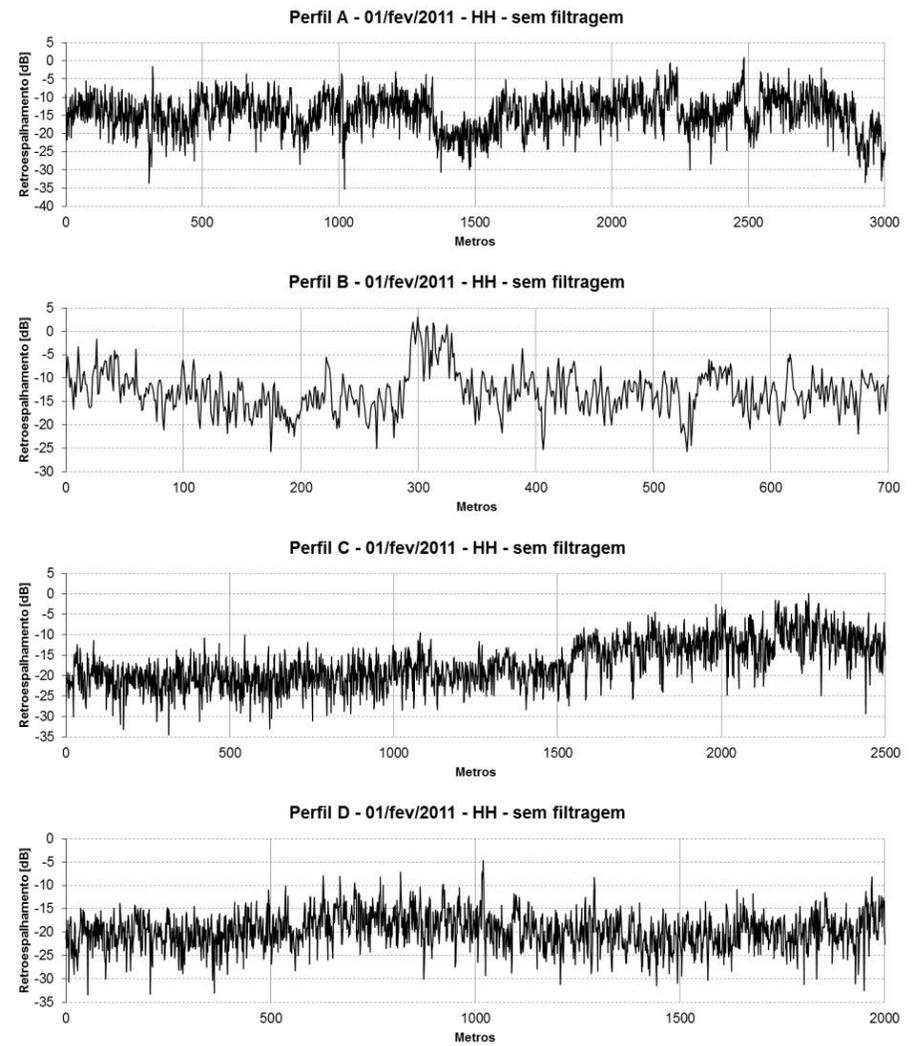
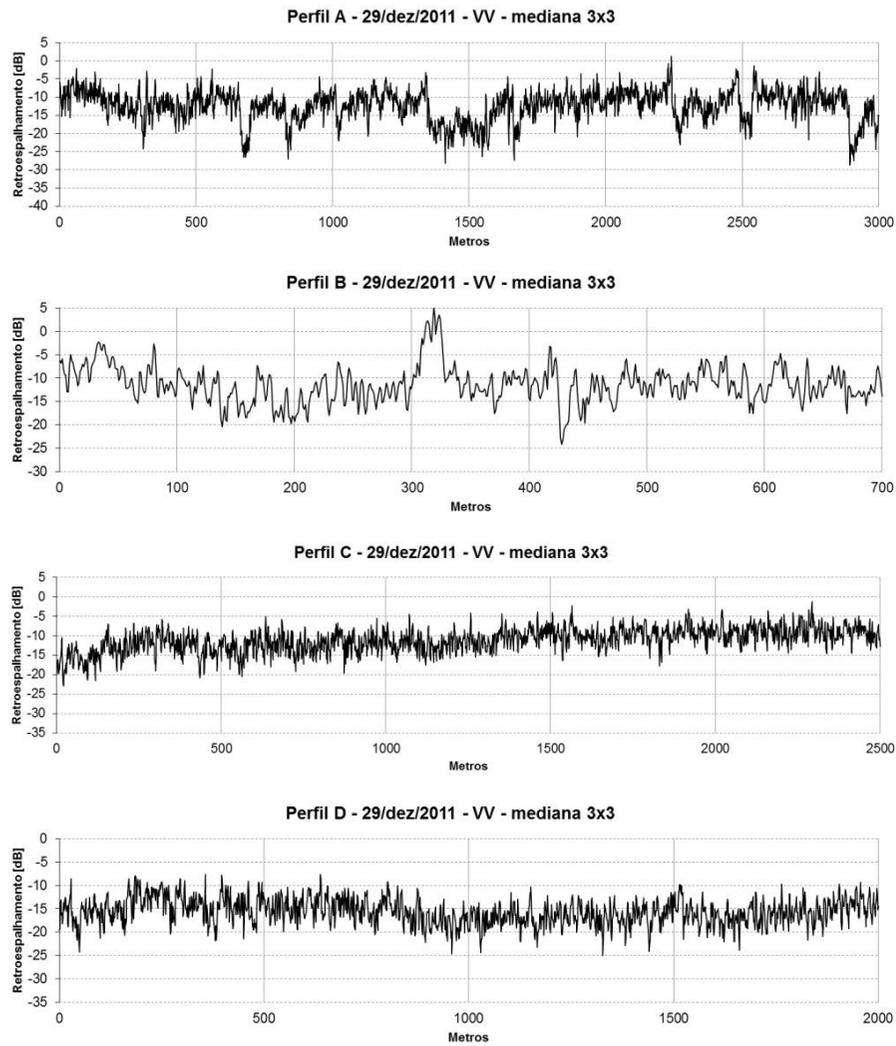


Figura A. 1: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 01/fev/2011-HH.

Valores de retroespalhamento com filtragem



Valores de retroespalhamento sem filtragem

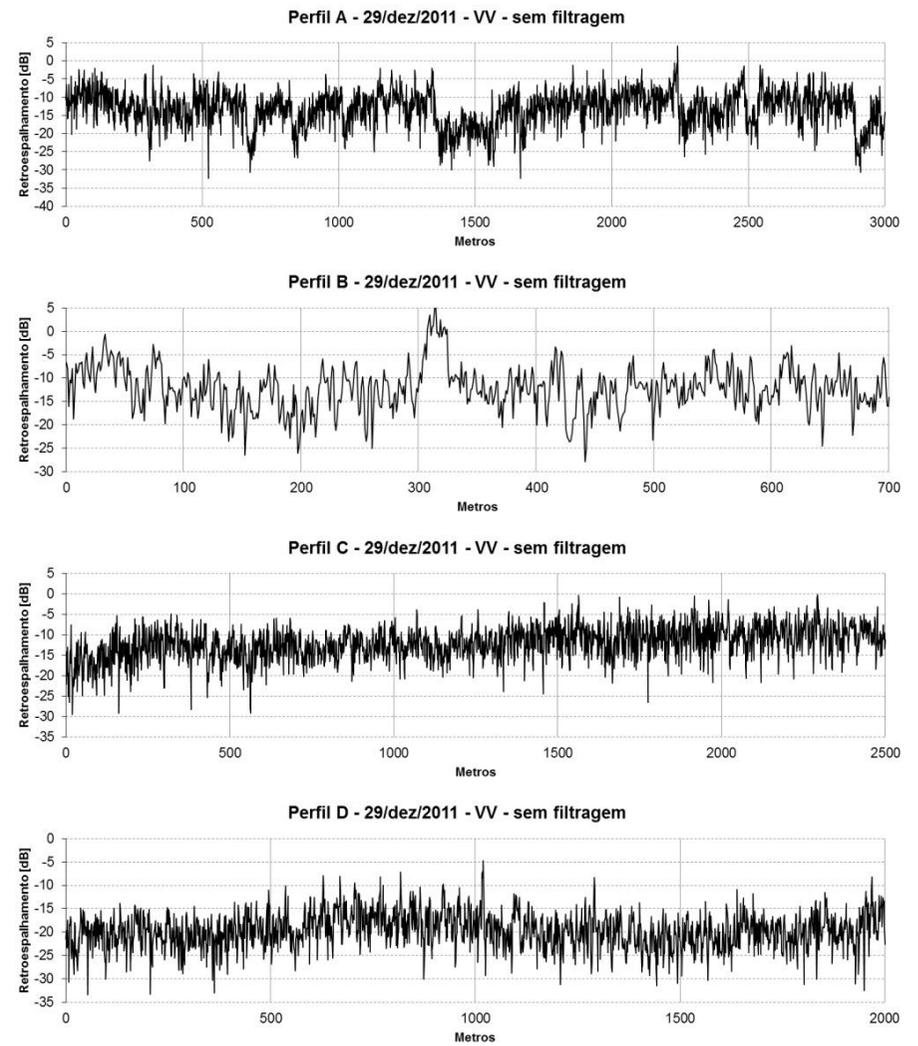
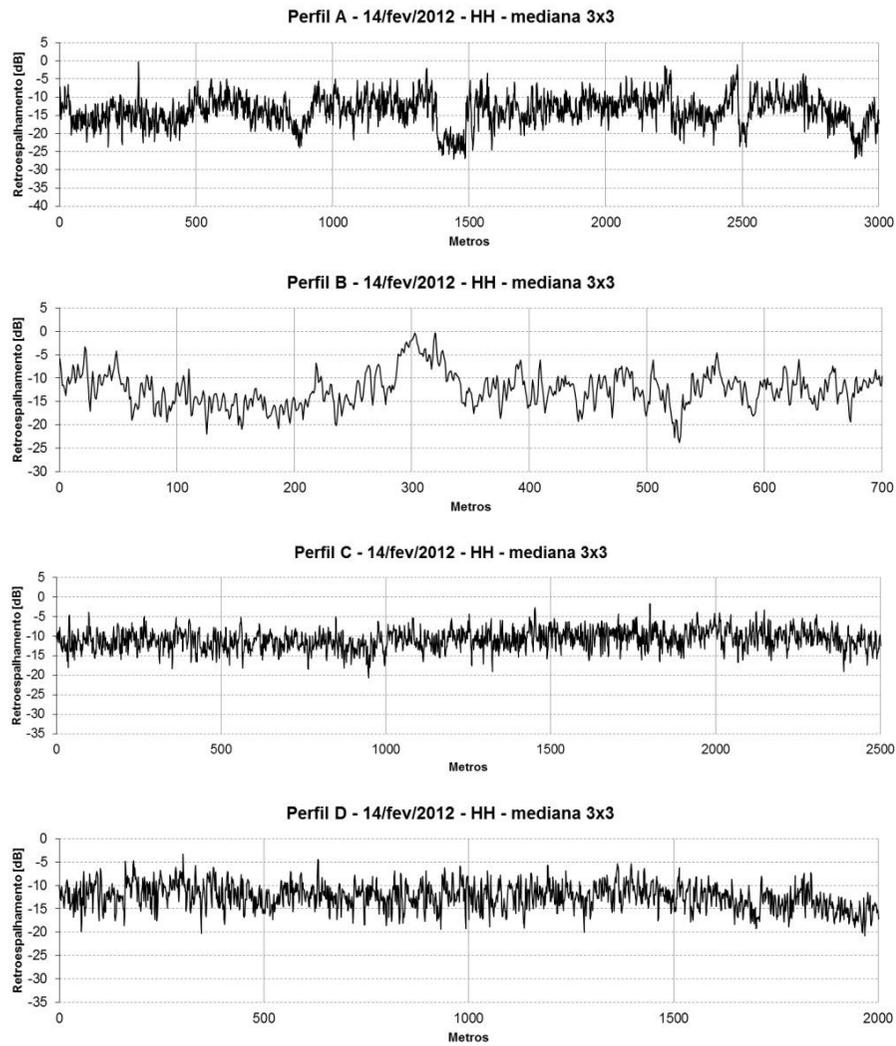


Figura A. 2: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 29/dez/2011-VV.

Valores de retroespalhamento com filtragem



Valores de retroespalhamento sem filtragem

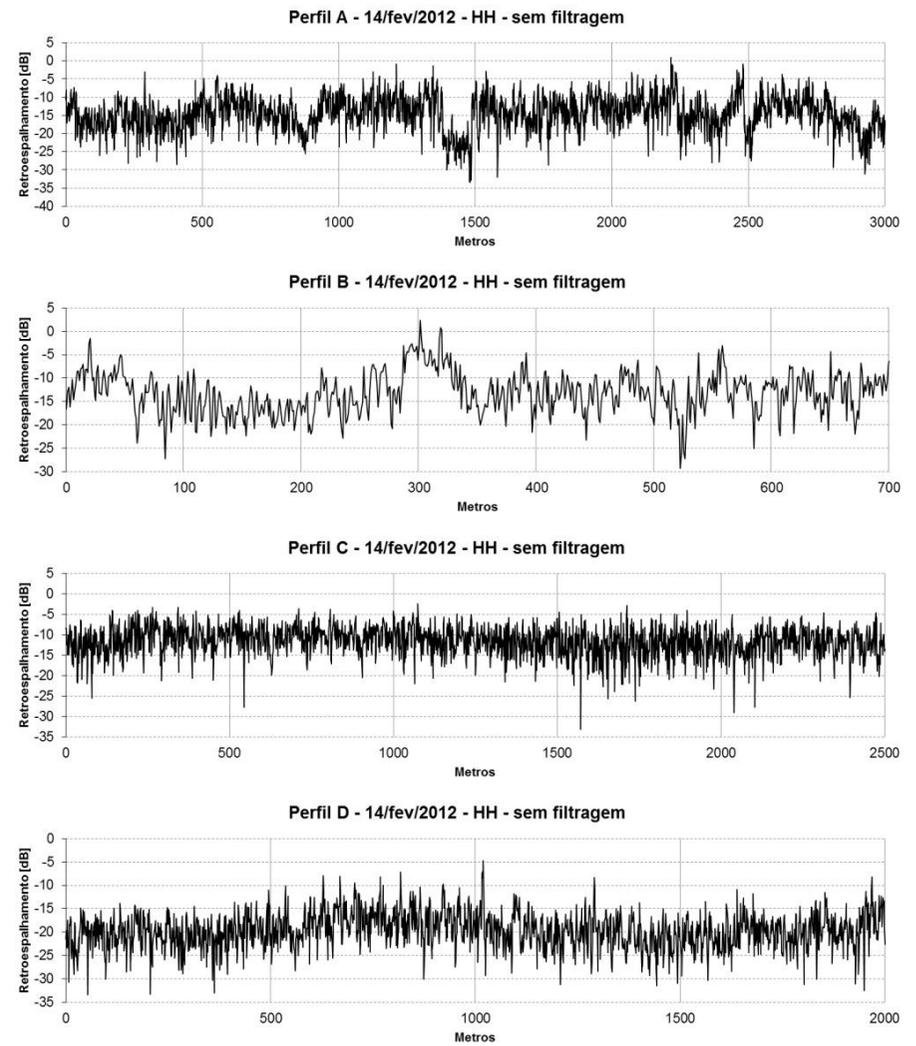
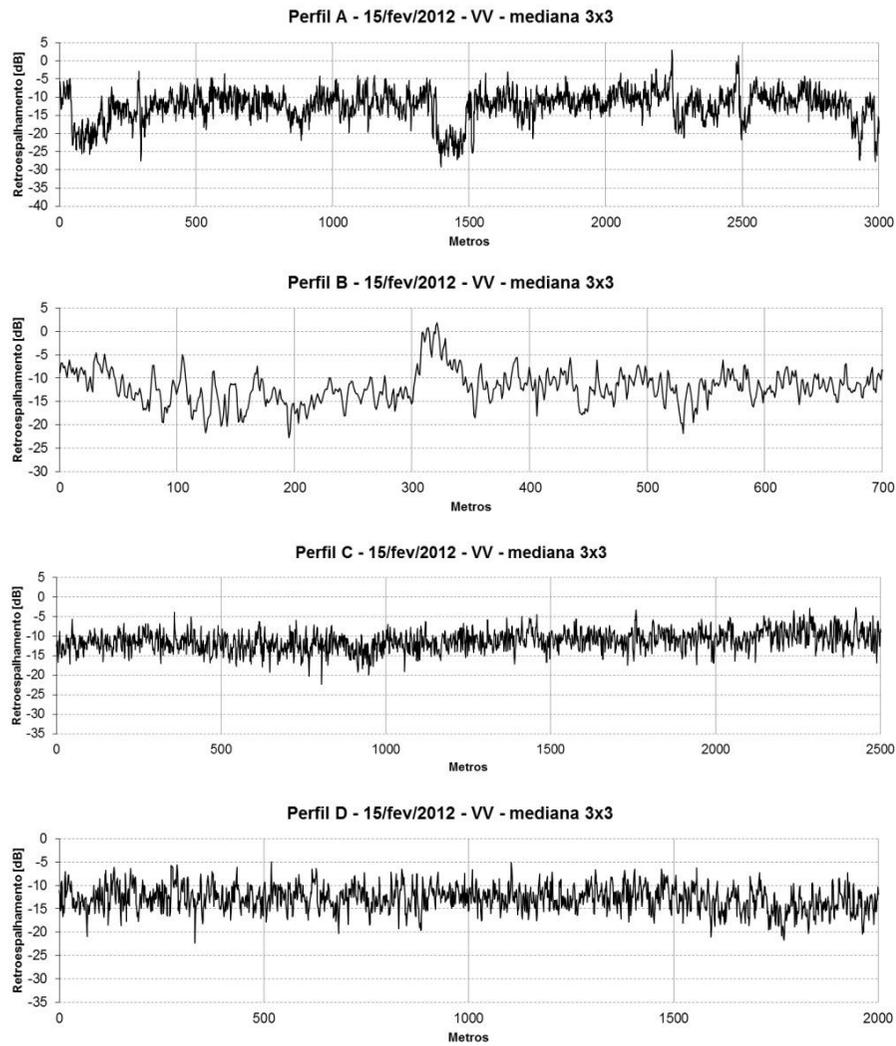


Figura A. 3: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 14/fev/2012-HH.

Valores de retroespalhamento com filtragem



Valores de retroespalhamento sem filtragem

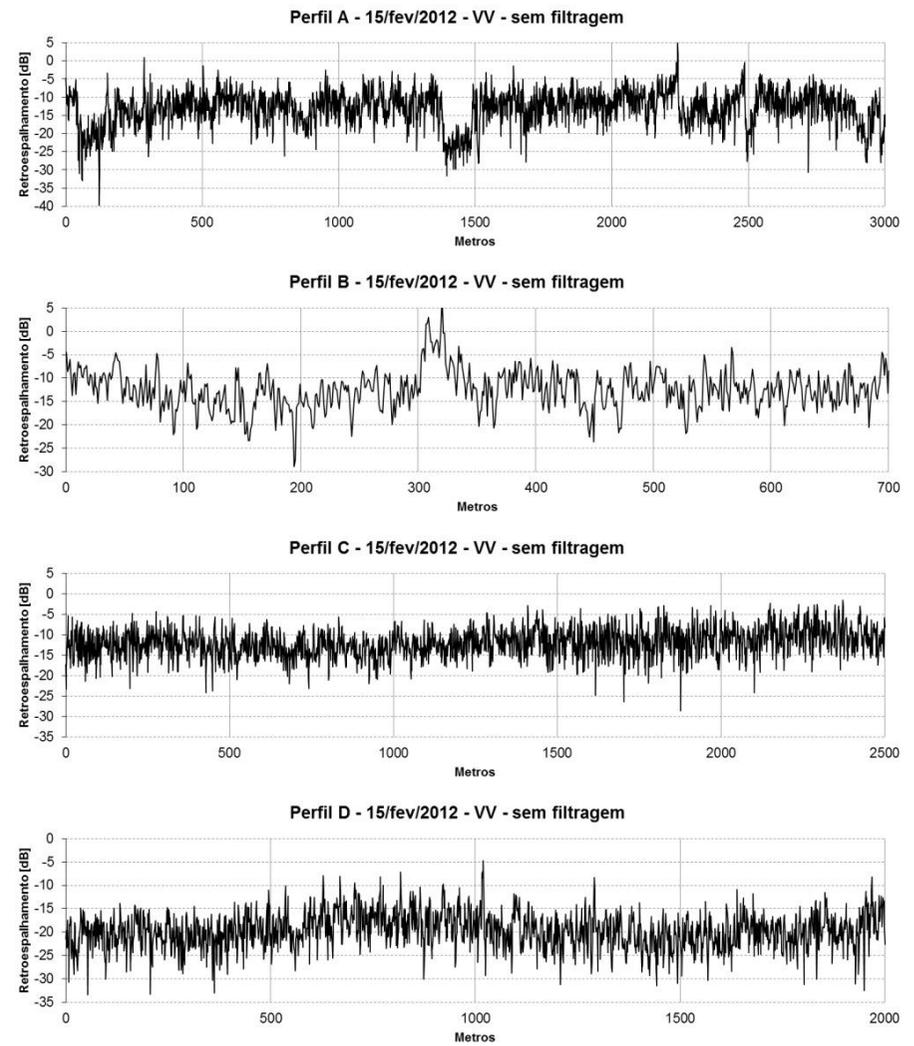


Figura A. 4: Valores de retroespalhamento com filtragem e sem filtragem dos quatro perfis da península Potter na imagem de 15/fev/2012-VV.

Tabela A. 1: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil A.

PERFIL A	01/fev/2011 - HH				01/fev/2011 - VV				29/dez/2011 - VV				14/fev/2012 - HH				15/fev/2012 - VV			
	CF		SF		CF		SF		CF		SF		CF		SF		CF		SF	
Classe	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP																
Alta umidade	-20,9	3,89	-23,9	5,78	-17,7	3,68	-18,2	4,27	-15,4	3,07	-17,2	4,34	-16,8	3,28	-18,8	2,64	N	N	N	N
Corpo de água	N	N	N	N	N	N	N	N	-21,1	2,73	-21,8	3,21	-19,4	3,76	-19,9	4,54	-18,3	4,77	-18,7	5,86
Encosta	-23,3	3,01	-23,8	4,51	-18,6	2,71	-20,2	5,08	-22,2	4,79	-22,9	4,53	N	N	N	N	-13,3	2,25	-15,0	4,01
Neve	-18,8	2,87	-19,5	3,73	-16,8	2,46	-18,0	3,38	-18,5	3,57	-19,2	4,21	-18,2	2,78	-19,1	4,12	-10,0	2,59	-11,1	3,85
Superfície livre de gelo	-12,5	3,35	-13,3	4,25	-12,2	3,13	-13,1	3,88	-11,1	3,12	-12,0	3,98	-12,9	3,48	-13,7	4,25	-11,8	3,76	-12,6	4,40

CF= Com filtragem (mediana 3x3); SF= Sem filtragem; \bar{X} = Média; DP= Desvio-padrão; N= Ausência da classe.

Tabela A. 2: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil B.

PERFIL B	01/fev/2011 - HH		01/fev/2011 - VV		29/dez/2011 - VV		14/fev/2012 - HH		15/fev/2012 - VV											
	CF	SF																		
Classe	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP												
Áreas úmidas	-17,9	3,41	-18,2	4,72	-14,6	2,58	-18,4	2,44	N	N	N	N	-18,2	3,32	-19,4	5,26	-14,9	3,32	-14,9	3,54
Corpo de água	N	N	N	N	N	N	N	N	-17,0	5,89	-17,3	6,11	N	N	N	N	N	N	N	N
Deslocamento topográfico	-13,5	3,28	-14,7	3,84	-10,9	4,13	-11,2	5,02	-12,6	2,59	-12,7	4,13	-12,7	3,09	-13,7	3,88	-13,5	2,00	-13,2	3,12
Encosta	-2,8	2,63	-2,6	3,84	-3,7	2,03	-5,6	3,25	-1,0	4,03	-1,1	4,36	-5,3	3,08	-6,2	3,74	-6,8	5,40	-6,6	5,67
Superfície livre de gelo	-11,3	2,70	-12,4	3,63	-12,1	2,55	-13,6	3,88	-10,8	3,04	-11,8	4,12	-11,8	3,01	-12,7	4,01	-11,1	2,70	-11,9	3,32
Superfície livre de gelo com vegetação	-13,3	3,53	-14,0	4,45	-13,7	3,50	-14,7	3,93	-14,0	3,29	-14,8	4,26	-14,1	3,04	-15,0	3,57	-13,3	3,47	-14,1	4,17

CF= Com filtragem (mediana 3x3); SF= Sem filtragem; \bar{X} = Média; DP= Desvio-padrão; N= Ausência da classe.

Tabela A. 3: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil C.

PERFIL C	01/fev/2011 - HH				01/fev/2011 - VV				29/dez/2011 - VV				14/fev/2012 - HH				15/fev/2012 - VV			
	CF		SF		CF		SF		CF		SF		CF		SF		CF		SF	
Classe	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP																
Geleira: gelo exposto	-11,2	2,93	-12,2	4,15	-10,8	2,91	-11,3	4,07	-10,8	2,81	-11,8	3,76	-10,9	2,54	-11,6	3,52	-11,2	2,52	-12,0	3,45
Geleira: neve úmida	-19,3	2,64	-20,2	3,47	-17,5	2,40	-18,4	3,42	-15,4	2,93	-16,3	4,27	N	N	N	N	N	N	N	N

CF= Com filtragem (mediana 3x3); SF= Sem filtragem; \bar{X} = Média; DP= Desvio-padrão; N= Ausência da classe.

Tabela A. 4: Média e desvio-padrão do retroespalhamento de todas as classes superficiais nas imagens filtradas e não filtradas obtidas a partir do perfil D.

PERFIL D	01/fev/2011 - HH				01/fev/2011 - VV				29/dez/2011 - VV				14/fev/2012 - HH				15/fev/2012 - VV			
	CF		SF		CF		SF		CF		SF		CF		SF		CF		SF	
Classe	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP																
Geleira: gelo exposto	-16,8	2,92	-17,2	3,59	-15,9	2,76	-16,6	3,79	-14,1	2,66	-15,0	3,66	-12,7	2,87	-13,1	3,65	-12,5	2,54	-13,4	3,52
Geleira: neve úmida	-19,4	2,60	-20,3	3,55	-17,4	2,43	-18,7	3,44	-16,3	2,56	-17,1	3,48	N	N	N	N	-14,8	2,60	-15,3	3,28

CF= Com filtragem (mediana 3x3); SF= Sem filtragem; \bar{X} = Média; DP= Desvio-padrão; N= Ausência da classe.

Tabela A. 5: Feições geomorfológicas presentes na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.

Geomorfologia	Geoambientes											
	A		B		C		D		E		F	
	Km ²	%										
Afloramento rochoso	0,01	1,59	0	0	0	0	0,11	20,42	0,06	1,81	0,76	48,54
Aluviões	0	0	0,01	2,75	0,01	7,4	0	0	0,07	2,21	0,01	0,68
Cone de deposição de sedimento fluvial	0,05	9,49	0,20	42,61	0	0	0	0	0,78	23,54	0,05	2,92
Morainas basais antigas	0	0	0	0	0	0	0,03	5,75	0	0	0,08	4,95
Morainas basais recentes	0	0	0,19	39,88	0	0	0	0	1,49	44,79	0	0
Morainas marginais recentes	0,03	4,9	0,02	4,76	0	0	0	0	0,74	22,43	0,01	0,45
Tálus com blocos de pedra	0,02	2,38	0	0	0	0	0,01	2,3	0,04	1,31	0,13	8,37
Tálus com fragmentos de rochas em cone	0	0	0	0	0	0	0,03	4,48	0	0	0,32	20,29
Terraços marinhos	0,52	81,64	0,05	9,65	0,05	26,84	0,31	55,36	0,06	1,68	0	0
Terraços marinhos soerguidos	0	0	0	0	0,11	65,05	0,07	11,68	0,07	2,25	0,22	13,79
Total	0,63	100	0,48	100	0,17	100	0,56	100	3,32	100	0,76	48,54

Tabela A. 6: Diferentes configurações da forma do terreno presentes na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.

Forma do terreno	Geoambiente											
	A		B		C		D		E		F	
	Km ²	%										
Convergente e côncavo	0,26	41,01	0,22	47,49	0,07	40,78	0,23	41,66	1,31	39,41	0,61	39,1
Convergente e retilíneo	0,04	7,02	0,03	5,31	0,01	5,85	0,03	5,63	0,23	7,02	0,08	5,04
Convergente e convexo	0,01	1,31	0	0	0	0	0,01	2,05	0,08	2,36	0,06	4,0
Divergente e côncavo	0,01	1,46	0	0	0	0	0,01	1,99	0,03	0,96	0,04	2,74
Divergente e retilíneo	0	0	0	0	0	0	0,01	1,33	0,04	1,11	0,03	2,03
Divergente e convexo	0,04	6,78	0,01	2,42	0,01	6,3	0,07	12,11	0,30	9,12	0,30	19,13
Planar e côncavo	0,07	10,76	0,07	15,22	0,02	11,57	0,05	8,46	0,38	11,41	0,13	8,57
Planar e retilíneo	0,18	28,3	0,01	2,83	0,05	31,53	0,12	21,48	0,73	22,04	0,18	11,62
Planar e convexo	0,02	3,36	0,13	26,73	0,01	3,97	0,03	5,28	0,22	6,56	0,12	7,78
Total	0,63	100	0,48	100	0,17	100	0,56	100	3,32	100	0,76	48,54

Tabela A. 7: Comunidades vegetais presentes na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.

Vegetação	Geoambiente											
	A		B		C		D		E		F	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Sub Formação Algas Talosas	0	0	0	0	0	0	0,12	32,64	0	0	0	0
Sub Formação Líquens	0,01	8,83	0	0	0,01	37,65	0,05	12,22	0,06	19,52	0,36	52,63
Sub Formação Líquens e Musgos	0,10	71,3	0	0	0,02	62,35	0,14	38,7	0,23	76,22	0,33	47,37
Sub Formação Musgos	0,02	13,23	0	0	0	0	0,02	4,94	0,01	4,26	0	0
Sub Formação Musgos e Gramíneas	0,01	6,63	0	0	0	0	0,04	11,5	0	0	0	0
Total	0,14	100	0	0	0,03	100	0,37	100	0,30	100	0,70	100

Tabela A. 8: Intensidade e direção dos ventos na península Potter e a área e a porcentagem de cada classe nos geoambientes.

Suscetibilidade à ação eólica	Geoambiente											
	A		B		C		D		E		F	
	Km ²	%										
Intenso - Leste	0,02	3,11	0,07	13,99	0,01	5,72	0,06	11,7	0,26	7,98	0,13	8,52
Intenso - Oeste	0,08	11,83	0,01	2,37	0,02	10,8	0,04	7,25	0,61	18,43	0,18	11,53
Intensidade media - Nordeste/Sudeste	0,08	12,12	0,19	39,95	0,03	19,18	0,20	35,51	0,63	18,94	0,33	20,88
Intensidade media - Noroeste/Sudoeste	0,17	27,2	0,05	10,52	0,05	29,75	0,11	19,87	0,93	28,17	0,44	28,16
Pouca ou nenhuma intensidade	0,29	45,74	0,16	33,16	0,06	34,55	0,14	25,67	0,88	26,48	0,48	30,91
Total	0,63	100	0,48	100	0,17	100	0,56	100	3,32	100	0,76	48,54

Tabela A. 9: Área superficial que apresenta valores de radiação solar incidente referente às áreas de pontos de compensação à luz. Também são apresentados os valores percentuais de cada classe em relação a área da unidade geoambiental.

Áreas de ponto de compensação à luz em cada geoambiente						
Geoambiente	Alga Talosa - Inverno		Musgo - Inverno		Líquen - Verão	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
A	0	0	0,34	52,82	0	0
B	0	0	0,21	43,32	0	0
C	0	0	0,01	4,16	0	0
D	0	0	0,28	49,21	0	0
E	0,01	0,28	0,55	16,47	0,01	0,3
F	0,03	1,96	0,79	50,65	0,03	1,95

Tabela A. 10: Área superficial que apresenta valores de radiação solar incidente referente às áreas de pontos de saturação à luz. Também são apresentados os valores percentuais de cada classe em relação a área da unidade geoambiental.

Áreas de ponto de saturação à luz em cada geoambiente								
Geoambiente	Alga Talosa e Musgo - Verão		Musgo - Verão		Alga Talosa e Musgo- Primavera		Musgo - Primavera	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
A	0,06	9,33	0,60	93,32	0,14	21,61	0,60	93,47
B	0,07	14,13	0,47	99,72	0,12	24,87	0,47	99,72
C	0,12	71,2	0,17	99,91	0,14	85,24	0,17	99,91
D	0,06	10,73	0,54	95,47	0,10	18,54	0,54	95,61
E	2,12	63,83	3,28	98,81	2,38	71,67	3,28	98,84
F	0,57	36,69	1,43	91,72	0,65	41,59	1,44	91,89