

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

**Determinação e interpretação de características
glaciológicas e geográficas com sistema de informações
geográficas na Área Antártica Especialmente
Gerenciada Baía do Almirantado,
Ilha Rei George, Antártica**

Jorge Arigony Neto

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões

COMISSÃO EXAMINADORA:

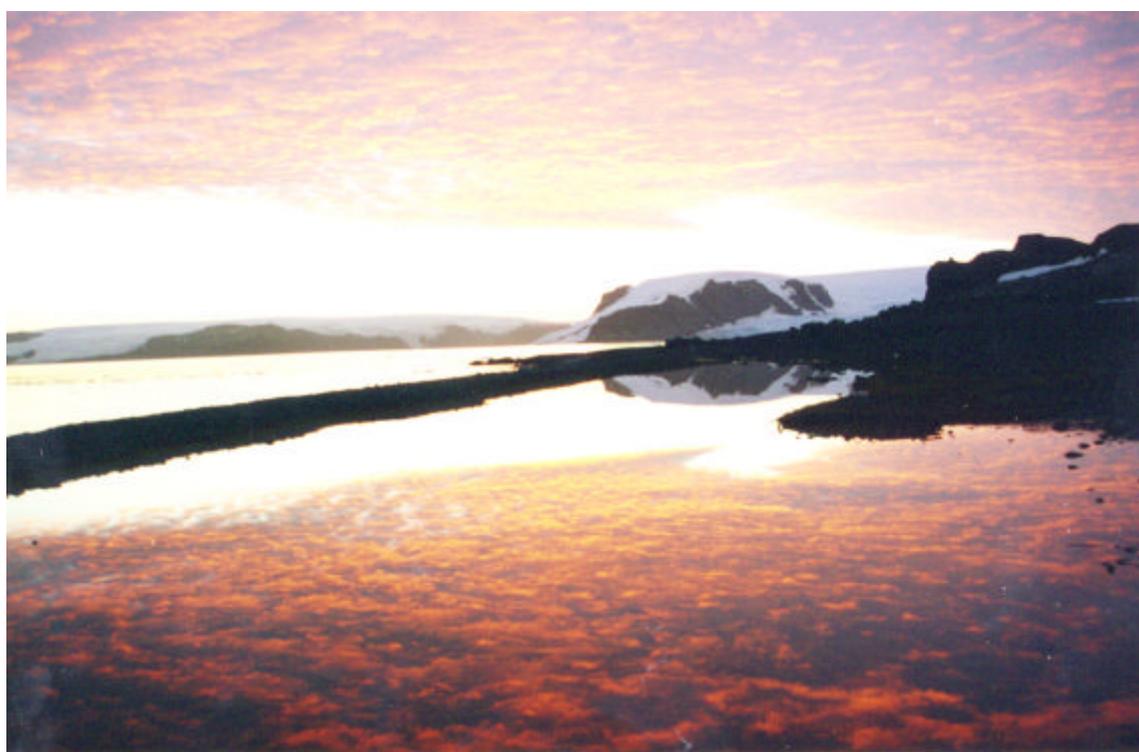
Prof. Dr. Alberto Waingort Setzer (INPE)

Prof. Dr. Norberto Dani (UFRGS)

Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup Zouain (UFRGS)

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

2001



Pôr-do-sol na Baía do Almirantado
(fevereiro de 2000)

Dedico esta dissertação...

À minha família, pela dedicação, apoio e incentivo.

À Mix, com amor e carinho.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões agradeço pela dedicação na supervisão e sucessivas sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho, e por sua exemplar postura como pesquisador e coordenador do Laboratório de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas (LAPAG). E também por ter colocado a disposição toda a infra-estrutura disponível nesse laboratório.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida no período de 24 meses e à Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) pelo apoio prestado no âmbito do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) ao trabalho de campo na Ilha Rei George.

Ao *Institut Für Physische Geographie* – IPG (Universidade de Freiburg, Alemanha), pela disponibilização dos dados da IRG, e em especial ao Matthias Braun por seu inestimável auxílio na utilização do ARC/INFO.

À Academia Polonesa de Ciências pelo apoio, através da sua estação antártica Henryk Arctowski, o trabalho de campo desenvolvido na Península Warszawa. Em especial, agradeço o Prof. Dr. Stanislaw Rakusa-Suszczewski pelas informações a respeito dos parâmetros cartográficos da Carta Polonesa da Baía do Almirantado e instalações polonesas nessa área.

Ao Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (CPGSR) desta Universidade, pela oportunidade concedida, e aos colegas pós-graduandos pelo companheirismo durante o período das disciplinas.

À engenheira cartógrafa Andréa L. Iescheck, professora no Instituto de Geociências da UFRGS, pelas discussões sobre cartografia.

Ao pessoal do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), pelo ambiente descontraído, e em especial ao Prof. Nelson S. Gruber, pelo constante incentivo.

Ao Prof. Ulisses F. Bremer, colega de trabalho no LAPAG, e ao Martin Pichlmaier (IPG), pelo companheirismo e disposição durante as longas caminhadas nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, e aos demais colegas do LAPAG (Prof. Dr. Norberto Dani, Prof. Francisco E. Aquino, Charlotte S. da Silva, Ronaldo T. Bernardo, Dakir L. da Silva, Heloisa H. C. Barboza e Francisco A. Ferron) pelo apoio, incentivo e encorajamento ao longo do trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo determinar e interpretar características glaciológicas e geográficas da Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG) Baía do Almirantado, Ilha Rei George (Antártica), através de um sistema de informações geográficas (SIG). O trabalho incluiu a definição de equipamentos e do SIG necessários para operação e integração dos dados em diferentes formatos. Os planos de informação concluídos para este SIG são sete: altimetria; batimetria; zona de referência costeira; glaciologia; áreas livres de gelo; ocupação humana (feições antropogênicas); e toponímias. Os resultados são apresentados em quatro estudos, exemplificando aplicações no gerenciamento da área. 1) Inicialmente realizou-se a revisão dos limites da AAEG, conforme sugestões do Protocolo ao Tratado Antártico sobre Proteção ao Meio Ambiente (Protocolo de Madri), e a área total foi recalculada em 362 km² (anteriormente era 370 km²). 2) A partir da geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) obteve-se a representação tridimensional da área, que possibilitou a descrição de algumas de suas características geomorfológicas e a revisão de cálculos morfométricos. As águas da AAEG possuem um volume de 24,1 km³, sendo 22,7 km³ na Baía do Almirantado e 1,4 km³ no Estreito de Bransfield. 3) Com a integração de dados multitemporais, quantificou-se a retração das frentes de gelo da Baía do Almirantado, constatando-se a perda de 22,5 km² de gelo (12% da cobertura atual) entre 1956 e 2000. 4) E, finalmente, a Península Keller serviu como área teste para um pequeno estudo de impacto ambiental, sendo identificado conflito da ocupação humana com áreas de reprodução animal, constatando-se a ocorrência de impacto superior à classe menor ou transitório, segundo as definições do Protocolo de Madri. A implementação do sistema seguiu os padrões do *Working Group of Geodesy and Geographic Information* (WG-GGI) do *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR), permitindo a compatibilidade com projetos internacionais. O trabalho gerou novos dados e o SIG servirá como importante ferramenta em estudos científicos e de apoio ao gerenciamento da AAEG.

ABSTRACT

The objectives of this master of science thesis are to describe and interpret glaciological and geographical characteristics of the Admiralty Bay Antarctic Specially Managed Area (ASMA), King George Island, South Shetlands (Antarctica), with a Geographical Information System (GIS). Initially, the work defines the hardware and GIS needed for the operation and data integration in different formats. Seven data layers were prepared: Altimetry; Bathymetry; Cost line; Glaciology; Ice-free areas; Human presence (anthropogenic features); and Geographical names. Four case studies are used to discuss applications to the management of the area. 1) The ASMA limits were revised as recommended by the Environmental Protection Protocol to the Antarctic Treaty (Madrid Protocol); the re-calculated area is 362 km² (formerly 370 km²). 2) A three-dimensional representation of the area was obtained from a Digital Elevation Model (DEM), allowing the description of geomorphological characteristics and revision of the morphometric calculations. The ASMA waters comprise 24.1 km³, with great part of this volume (22.7 km³) in the Admiralty Bay and the rest (1.4 km³) as part of the Bransfield Strait. 3) The integration of time-spaced imagery allowed the measurement of the retreat of glacier fronts in the area, with an ice loss of 22.5 km² (12 % the ice covered area) recorded for the period 1956-2000. 4) Finally, a brief environmental assessment was carried out in the Keller Peninsula where an overlap was verified between the human presence and breeding areas. An environmental impact greater than a small or transitory impact, as defined by the Madrid Protocol, was identified. The system implementation followed the standards of the Working Group of Geodesy and Geographic Information (WG-GGI) of the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), allowing compatibility with international projects. The new data and GIS finished in this work constitute an important base to support the ASMA management plan and can be used for planning scientific and logistic activities, also for monitoring and environmental impact assessment.

Sumário

	Pág.
Capa	
Frontispício.....	ii
Dedicatória.....	iii
Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Sumário.....	vii
Lista de figuras.....	x
Lista de tabelas.....	xii
Lista de abreviaturas.....	xiii

Capítulo 1. Introdução

1.1. Introdução.....	01
1.2. Objetivos.....	02
1.3. Definição e objetivos de uma Área Antártica Especialmente Gerenciada.....	03
1.4. Designação da AAEG Baía do Almirantado.....	04
1.5. Localização da AAEG Baía do Almirantado.....	04
1.6. Limites da AAEG Baía do Almirantado.....	05
1.7. Áreas protegidas.....	06
1.8. Características Geográficas.....	07
1.8.1. Geologia.....	07
1.8.2. Glaciologia.....	09
1.8.3. Climatologia.....	12
1.9. Histórico da Ocupação.....	14

Capítulo 2. Sistemas de informação geográfica aplicados a Antártica

2.1. Introdução.....	24
2.2. Sistemas de informação geográfica (SIG).....	24
2.2.1. Definições básicas.....	24
2.2.2. Representação da informação espacial em um SIG.....	25
2.2.2.1. Representação matricial.....	26
2.2.2.2. Representação vetorial.....	27
2.2.2.3. Comparação entre os métodos vetorial e matricial.....	28
2.2.2.4. Atributos não-espaciais.....	29
2.2.3. SIG aplicado à Antártica.....	29
2.2.3.1. Mapeamento.....	30
2.2.3.2. Gerenciamento e monitoramento ambiental.....	32

Capítulo 3. Materiais e Métodos

3.1. Introdução.....	35
3.2. Materiais.....	35
3.2.1. Equipamento computacional.....	35
3.2.2. Programas.....	36
3.2.3. Equipamentos de campo.....	37
3.2.4. Base de dados.....	37
3.3. Métodos.....	39
3.3.1. Definição dos planos de informação.....	39
3.3.2. Definição da escala e projeção cartográfica.....	39
3.3.3. Trabalho de Campo.....	42
3.3.4. Elaboração dos diferentes planos de informação.....	42
3.3.4.1. Altimetria.....	42
3.3.4.2. Zona de referência costeira.....	44
3.3.4.3. Batimetria.....	45
3.3.4.4. Glaciologia.....	48

3.3.4.5. Áreas livres de gelo.....	49
3.3.4.6. Feições antropogênicas.....	49
3.3.4.7. Colônias e áreas de reprodução.....	51
3.3.4.8. Toponímia.....	51

Capítulo 4. Resultados e Discussões

4.1. Introdução.....	55
4.2. Revisão dos limites e principais características geográficas da AAEG.....	55
4.3. Geração de um MDE para a AAEG.....	60
4.4. Retração das frentes de geleiras.....	64
4.5. Ocupação humana permanente e turismo, conflitos com áreas de reprodução da fauna na Península Keller.....	70

Capítulo 5. Conclusões

5.1. Conclusões.....	75
5.2. Recomendações para futuros trabalhos.....	77
<i>Referências Bibliográficas</i>.....	78

Lista de Figuras

Frontispício – Pôr-do-sol na Baía do Almirantado.....	ii
Figura 1.1 – Localização do Arquipélago das Shetland do Sul.....	05
Figura 1.2 – Delimitação da Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG) Baía do Almirantado. O mapa também mostra os principais topônimos da área.....	06
Figura 1.3 – Mapa geológico da Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado (AAEG).....	08
Figura 1.4 – Mapa estrutural da Ilha Rei George.....	09
Figura 1.5 – Delimitação das bacias de drenagem glacial do campo de gelo da IRG.	10
Figura 1.6 – Isotermas de temperatura média anual da Península Antártica.....	13
Figura 1.7 – Localização das Estações e refúgios da AAEG.....	17
Figura 1.8 – Estação Henryk Arctowski.....	18
Figura 1.9 – Refúgio Pietr J. Lenie.....	19
Figura 1.10 – Vista da Estação Antártica Comandante Ferraz, a partir do Morro Flagstaff.....	20
Figura 1.11 – Refúgio Equatoriano.....	21
Figura 1.12 – Estação Antártica Peruana Machu Picchu.....	21
Figura 1.13 – Refúgio Polonês em Angra Paradise.....	22
Figura 1.14 – Visitantes na Baía do Almirantado entre os verões 1989/1990 e 1999/2000.....	23
Figura 2.1 – Representação matricial.....	27
Figura 2.2 – Representação vetorial.....	28
Figura 3.1 – Distribuição dos dados utilizados na elaboração da batimetria da Baía do Almirantado.....	46
Figura 3.2 – Visualização tridimensional da batimetria da Baía do Almirantado.....	47
Figura 3.3 – Dados utilizados na delimitação das bacias de drenagem glacial da AAEG Baía do Almirantado.....	48
Figura 3.4 – Mapa das toponímias selecionadas para a AAEG Baía do Almirantado.....	54
Figura 4.1 – Mapa com a nova delimitação da AAEG Baía do Almirantado. As letras A-E marcam os principais domos da calota de gelo da IRG.....	56

Figura 4.2 – Mapa de declividade da AAEG Baía do Almirantado.....	58
Figura 4.3 – Delimitação das geleiras da AAEG.....	59
Figura 4.4a e 4.4b – Visualização tridimensional da AAEG.....	60
Figura 4.5 – Perfis topográficos da AAEG, com exagero vertical de 2 vezes. O mapa apresenta a localização de cada perfil.....	61
Figura 4.6 – Mapa hipsométrico da AAEG.....	63
Figura 4.7 – Indicadores de mudanças climáticas na Península Antártica.....	64
Figura 4.8 – Variações relativas nas frentes das geleiras da Baía do Almirantado entre 1956 e 2000.....	66
Figura 4.9 – Retrações relativas na frente da Geleira Lange.....	68
Figura 4.10 – Retrações relativas na frente da Geleira Dobrowolski.....	69
Figura 4.11 – Gráfico da visitação turística na Península Keller entre os verões 1989/1990 e 1999/2000.	71
Figura 4.12 – Mapa com a localização das colônias de animais na Península Keller, EACF, módulos, refúgios e caminhos utilizados por pesquisadores.....	74

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Estações, refúgios e monumentos históricos na AAEG.....	16
Tabela 3.1 – Dados utilizados na implementação do SIG da AAEG Baía do Almirantado.....	38
Tabela 3.2 – Erros estimados para cada conjunto de dados.....	41
Tabela 3.3 – Dados utilizados na elaboração do MDE da IRG.....	43
Tabela 3.4 – Equivalentes em português para os termos genéricos das toponímias.....	53
Tabela 4.1 – Valores de áreas (km ²) da AAEG Baía do Almirantado apresentados no plano de gerenciamento e calculados no SIG da AAEG.....	57
Tabela 4.2 – Medidas batimétricas da AAEG.....	62
Tabela 4.3 – Retrações relativas nas geleiras da AAEG Baía do Almirantado.....	67

Lista de abreviaturas

AAEG	Área Antártica Especialmente Gerenciada
AAEP	Área Antártica Especialmente Protegida
ADD	<i>Antarctic Digital Database</i>
AEP	Área Especialmente Protegida
AICE	Área de Interesse Científico Especial
AGCCP	<i>Antarctic Glaciology and Coastal Change Project</i>
AGDI	<i>Antarctic Geographic Data Integration Project</i>
ASMA	<i>Antarctic Specially Managed Area</i> (AAEG em português)
ASPA	<i>Antarctic Specially Protected Area</i> (AAEP em português)
ATCM	<i>Antarctic Treaty Consultative Meeting</i>
ATCPs	<i>Antarctic Treaty Consultative Parties</i>
BAS	<i>British Antarctic Survey</i>
BEDMAP	<i>Antarctic Ice Bed Mapping Project</i>
CECO	Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
CEPSRM	Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
CIRM	Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DGPS	<i>Differential GPS</i>
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
ENVI	<i>The Environment for Visualizing Images</i>
SPA	<i>Specially Protected Area</i> (AEP em português)
ERS-1	<i>European Remote Sensing Satellite</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FIDASE	<i>Falkland Islands Dependency Survey Expeditions</i>
FIDS	<i>Falkland Islands Dependencies Survey</i> (atual BAS)
GAAm	Grupo de Avaliação Ambiental
GEBCO	<i>General Bathymetric Chart of the Ocean</i>

GIS	<i>Geographic Information System (SIG em português)</i>
GLIMS	<i>Global Land Ice Measurements from Space</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAATO	<i>International Association of Antarctic Tour Operators</i>
IAC	<i>International Antarctic Centre</i>
ICAIR	<i>International Centre for Antarctic Information and Research</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPG	<i>Institut für Physische Geographie</i>
IRG	Ilha Rei George
KGI	<i>King George Island</i>
KGIS	<i>King George Island Geographic Information System</i>
LANDSAT	<i>Land Satellites</i>
LAPAG	Laboratório de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas
LTER	<i>Long-Term Ecological Research</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MSS	<i>Multispectral Scanner</i>
PIXEL(s)	<i>Picture Element(s)</i>
PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
RAMP	<i>Radarsat Antarctic Mapping Project</i>
RES	Rádio-ecossondagem
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SCAR	<i>Scientific Committee on Antarctic Research</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPOT	<i>Système Probatoire pour l'Observation de la Terre</i>
SSSI	<i>Sites of Special Scientific Interest (AICE em português)</i>
TIFF	<i>Tag Image File Format</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
WG-GGI	<i>Working Group of Geodesy and Geographic Information</i>
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A década de 1990 foi marcada pelo aumento da visita turística à Antártica (IAATO, 2000). Devido à curta distância (aproximadamente 1000 km) do extremo sul da América do Sul, a Península Antártica é o local visitado por 90% dos turistas. As Ilhas Shetlands do Sul, particularmente, em função de sua beleza paisagística, abundante vida selvagem e diversas enseadas e baías protegidas para ancoragem, recebem todos os anos a maioria desses turistas.

Na Ilha Rei George, a atividade humana tem gerado considerável impacto ao ecossistema local (Harris, 1991a). Além dos turistas, na ilha são realizadas atividades de pesquisadores distribuídos em nove estações científicas permanentes e diversos refúgios e estações de verão. Somente na área da Baía do Almirantado existem três estações científicas (duas que operam durante o ano inteiro) e seis refúgios, com uma população estimada em 100 pessoas durante o verão austral e 20 no inverno, além dos visitantes que totalizaram 2327 no verão de 1999/2000.

O *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR) tem gerado mecanismos para promover o gerenciamento ambiental e das atividades humanas na Antártica (*e.g.*, Protocolo de Madri). Baseados nesse protocolo, e com o objetivo de evitar e minimizar o risco de impactos cumulativos no meio ambiente, intensificar a assistência e cooperação entre os países que operam na Baía do Almirantado e proteger importantes características ambientais e históricas, Brasil e Polônia, propuseram a criação da primeira Área Antártica Especialmente Gerenciada¹ (AAEG) [ATCPs, 1996].

¹ As categorias de áreas protegidas e gerenciadas na Antártica foram traduzidas para o português. A lista de abreviaturas apresenta as siglas das categorias em ambos os idiomas (português e inglês).

É crescente a utilização de sistemas de informação geográfica na Antártica. Diversos autores destacam a utilidade desses sistemas no monitoramento ambiental e gerenciamento das atividades humanas (Smith, 1993; Cooper e Thomson, 1995; Hastings, 1995; Ward *et al.*, 1996; Li e Li, 1997; Braun *et al.*, 2001a). Atualmente estão consagradas suas utilizações na integração, gerenciamento, atualização e apresentação de informação espacial, bem como na geração de modelos e prognósticos ambientais.

Devido às características de múltipla utilização (científica, logística e turística) da Baía do Almirantado, Simões *et al.* (2001) propuseram a utilização de SIG para administrar os conflitos de uso e monitorar mudanças ambientais e o impacto humano na área, servindo de apoio ao Plano de Gerenciamento da AAEG.

Esta dissertação descreve o estudo de caso da implementação de SIG para a AAEG Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. Para isso, foram integrados dados de diversas fontes e formatos, com a utilização do SIG ARC/INFO. Este capítulo apresenta os objetivos deste trabalho e as principais características geográficas da área.

1.2. Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é determinar e interpretar características glaciológicas e geográficas da Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG) Baía do Almirantado, Ilha Rei George (Antártica), através de um sistema de informações geográficas (SIG).

As etapas necessárias à execução do trabalho incluem: (1) integração das informações espaciais disponíveis da AAEG Baía do Almirantado, formando uma base cartográfica (*e.g.*, altimetria, batimetria, zona de referência costeira²); (2) padronização dos formatos desses dados; (3) revisão dos limites da AAEG; (4) verificação dos conflitos da ocupação humana (*e.g.*, ocupação permanente e turismo, áreas de reprodução animal) em uma área teste naquela baía.

² O termo “zona de referência costeira” refere-se à linha de costa, e é adotado nesta dissertação devido à precisão dos dados utilizados não permitirem definição de uma linha.

1.3. Definição e objetivos de uma Área Antártica Especialmente Gerenciada

Desde a criação do Tratado Antártico em 1959, o gerenciamento ambiental tem estado na pauta de discussões (Hansom e Gordon, 1998). Embora o texto do tratado não incorpore medidas específicas de conservação e gerenciamento, esses temas são desenvolvidos através de uma série de instrumentos legais e recomendações.

O Protocolo do Tratado Antártico sobre Proteção ao Meio Ambiente (Protocolo de Madri) é um desses instrumentos, e foi adotado pelas Partes Consultivas (ATCPs) do regime jurídico antártico em 1991 (ATCPs, 1993; Harris, 1994b). O Anexo V deste protocolo, que discorre sobre “Proteção e Gerenciamento de Áreas”, propõe que qualquer região, incluindo área marinha, onde atividades são conduzidas, ou poderão ser conduzidas, pode ser designada uma “Área Antártica Especialmente Gerenciada”. O objetivo específico é auxiliar no planejamento e coordenação das atividades científicas e logísticas, evitar possíveis conflitos, melhorar a cooperação entre os países que atuam na mesma área geográfica e minimizar os impactos ambientais. A designação de qualquer área como AAEG, requer a apresentação de um plano de gerenciamento, o qual deve ser revisado a cada cinco anos (ATCPs, 1993).

As AAEGs podem portanto incluir áreas onde as atividades oferecem riscos de interferência mútua ou impacto ambiental cumulativo, além de locais ou monumentos de reconhecido valor histórico (ATCPs, 1993). Para entrar em uma AAEG não é necessário requerer autorização, exceto nas partes que forem designados como Área Antártica Especialmente Protegida (AAEP)³.

³ O sistema de áreas protegidas e gerenciadas na Antártica é regulamentado pelo Anexo V do Protocolo de Madrid (ATCPs, 1993), onde é proposta a criação de dois tipos de áreas: (1) Área Antártica Especialmente Protegida (AAEP), criada para proteger valores ambientais, científicos, históricos, estéticos e selvagens, englobando as áreas designadas anteriormente como Áreas Especialmente Protegidas (AEP) e Área de Interesse Científico Especial (AICE) pelas Reuniões Consultivas do Tratado Antártico (ATCMs). Permissões são necessárias para o ingresso nessa área; e (2) Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG), criada para auxiliar no planejamento e coordenação de atividades, evitar possíveis conflitos, melhorar a cooperação entre partes ou minimizar o impacto ambiental.

1.4. Designação da AAEG Baía do Almirantado

Na Ilha Rei George, a necessidade de gerenciamento do meio ambiente e das atividades humanas é bastante presente (Harris, 1991a). Nessa ilha nove países mantêm operações antárticas, sejam elas durante todo o ano, ou somente no verão. Na última década, expedições não-governamentais (turísticas) tornaram-se mais freqüentes, visitando a ilha todos verões. A tendência de aumento das atividades científicas e turísticas na Baía do Almirantado ao longo da década de 1990 chamou a atenção dos dois principais países (Brasil e Polônia) atuantes na área (ATCPs, 1996).

Então, levando em consideração os Artigos 2 e 4-6 do Anexo V do Protocolo de Madrid (ATCPs, 1993), Brasil e Polônia, em coordenação com Equador e Peru, propuseram a designação da área da Baía do Almirantado (Ilha Rei George, Antártica), sua bacia de drenagem glacial e a Área de Interesse Científico Especial N.º 8 (AICE N.º 8) como uma AAEG (ATCPs, 1996). Um plano de gerenciamento foi proposto para a área.

Esse plano de gerenciamento inclui código de conduta para regulamentar a pesquisa, operações logísticas e turísticas de todos os grupos atuantes dentro daquela área. Ele ainda provê mecanismos para intensificar a assistência e cooperação entre os países que operam na área, evitar ou minimizar o risco de impactos cumulativos no meio ambiente marinho e terrestre, aumentar a compreensão dos processos naturais que ocorrem na área, proteger importantes características fisiográficas e valores biológicos, ecológicos, históricos e estéticos da área, e salvaguardar o futuro da pesquisa científica na área (ATCPs, 1996).

1.5. Localização da AAEG Baía do Almirantado

A Baía do Almirantado localiza-se na parte central da Ilha Rei George. Essa ilha faz parte do Arquipélago das Shetland do Sul, situado 130 km a noroeste da Península Antártica, entre as latitudes 61° e 63° 30' S e longitudes 53° 55' e 62° 50' W (Figura 1.1), e estendendo-se aproximadamente por 510 km no sentido sudoeste-nordeste. O arquipélago, composto por 29 ilhas, possui uma área de 3740 km² (Orheim e Govorukha, 1982). Dessas, somente nove excedem 100 km².

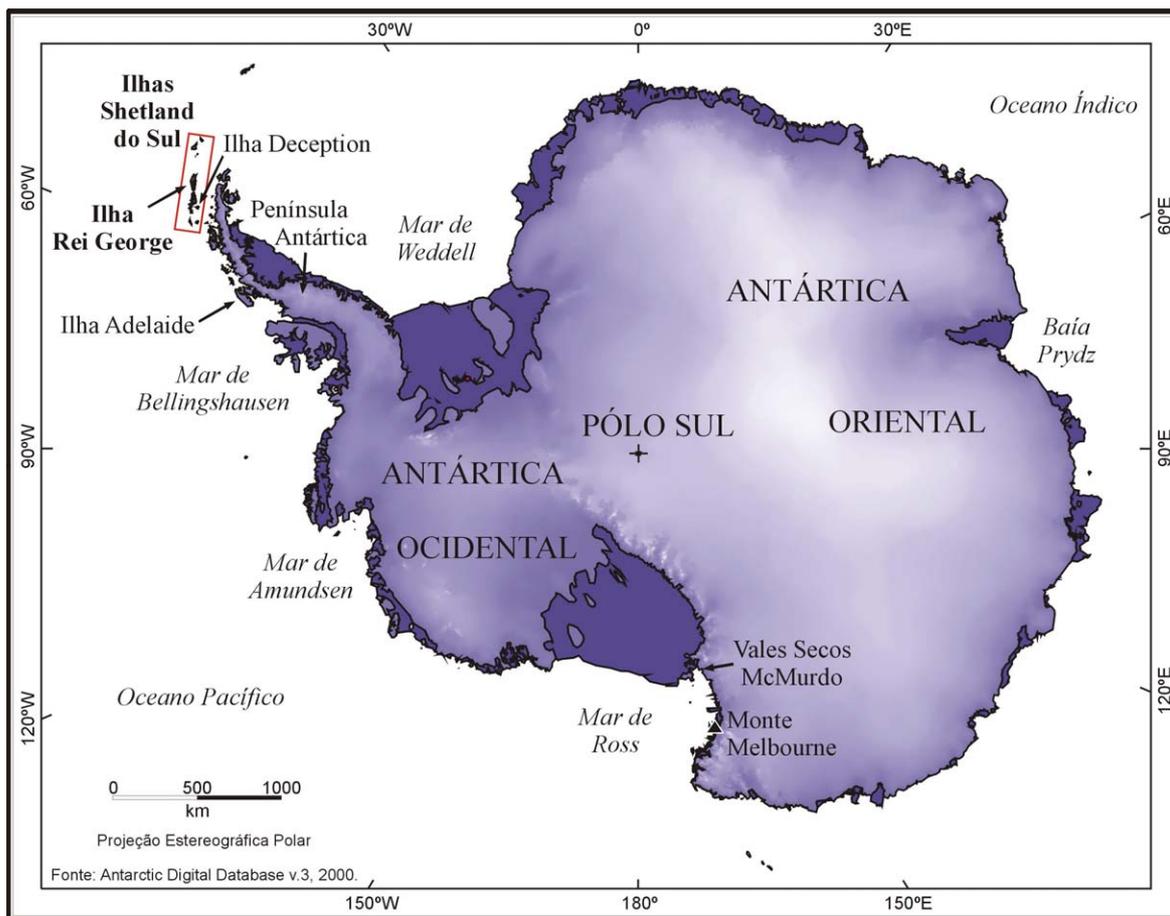


Figura 1.1 – Localização do Arquipélago das Shetland do Sul.

A Ilha Rei George, a maior das Shetlands do Sul em área com 1250 km² (Bremer, 1998), situa-se entre as coordenadas 61° 50' e 62° 15' S e 57° 30' e 59° 00' W. Possui comprimento de 80 km em seu eixo maior de orientação sudoeste-nordeste, e 15 km de largura média.

1.6. Limites da AAEG Baía do Almirantado

A AAEG Baía do Almirantado compreende a área imediatamente dentro da bacia de drenagem glacial da Baía do Almirantado, incluindo a porção da AICE N.º 8, que se localiza fora dessa bacia de drenagem (Figura 1.2). Desta forma, a área é delimitada por uma linha que se estende da Ponta Telefon no sul, até a Tower e daí na direção do Pico Jardine. Ao interceptar o divisor do campo de gelo Warszawa, o limite segue para oeste da Enseada Ezcurra, envolvendo a nordeste as Enseadas Mackellar e Martel, e então

tumba de Włodzimierz Puchalski, fotógrafo naturalista e diretor de filmes sobre a natureza polar, que morreu nessa estação (uma cruz marca o local).

1.8. Características Geográficas

1.8.1. Geologia

O primeiro mapeamento geológico coerente da IRG é creditado ao trabalho desenvolvido por Ferguson em 1921 (Barton, 1965), quando descreveu a geologia da ilha como uma sequência mesojurássica de lavas com intercalações sedimentares, separadas por um grupo de lavas (basalto e andesitos) cenozóicas, com intrusões de quartzo-mica-diorito e andesito (Aquino, 1999). Barton (1965) estabeleceu uma síntese estratigráfica e geológica da Baía do Almirantado, classificando as rochas entre o Promontório Negro Notable, passando pela Península Keller até a costa norte da Enseada Ezcurra, como Rochas Vulcânicas Jurássicas (piroxeno-andesito) com intrusões de quartzo-diorito (Pacote Intrusivo Andino). Ao sul dessa divisão, na Península Warsawa, o autor observou a ocorrência de lavas cenozóicas (andesitos), classificando como Grupo Enseada Ezcurra. A Ponta Hennequin e as áreas a sudeste da Enseada Martel, com a ocorrência de lavas cenozóicas (andesitos), formam o Grupo Ponta Hennequin. E, finalmente, as áreas a sudeste da AAEG, com rochas do tipo olivina-basalto, fazem parte do Grupo Ilha Penguin. A Figura 1.3 apresenta o mapa geológico da baía, com a localização dos grupos apresentados acima.

A partir de trabalhos de campo realizados entre 1977-1979, Birkenmajer (1980b) redefiniu a síntese estratigráfica elaborada por Barton (1965). A análise do padrão estrutural da IRG permitiu a constatação da ocorrência de duas importantes linhas de falhas com orientação ENE-WSW, a Falha Ezcurra e Falha Collins (Birkenmajer, 1983). Como podemos observar na Figura 1.4, essas falhas dividem a AAEG em três domínios denominados pelo autor, de sul para norte, como Bloco Kraków, Bloco Warszawa e Horst Barton.

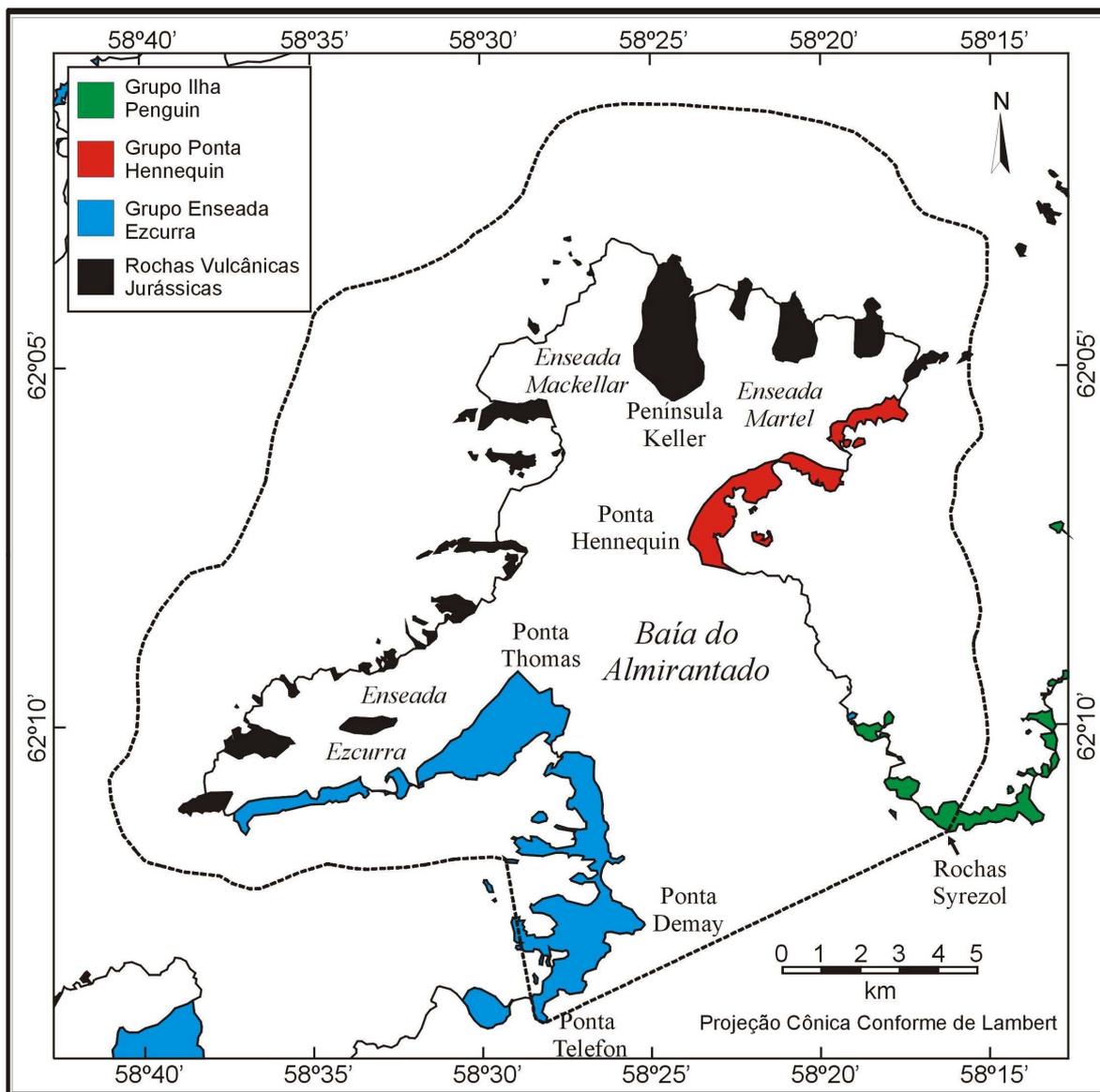


Figura 1.3 – Mapa geológico da Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado. Conforme Barton (1965) e Birkenmajer (1980b).

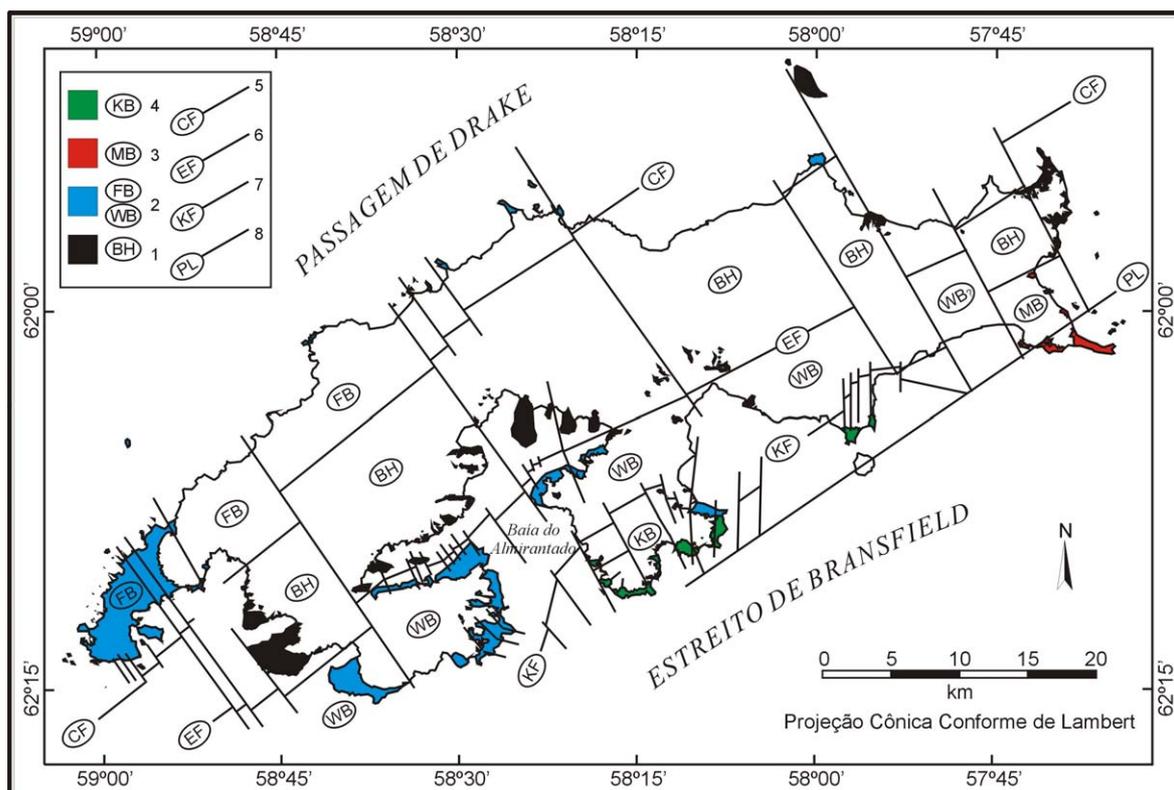


Figura 1.4 – Mapa estrutural da Ilha Rei George. Modificado de Birkenmajer (1983), onde: 1 – Horst Barton (BH); 2 – Bloco Warszawa (WB) e Bloco Fildes (FB); 3 – Bloco Melville (MB); 4 – Bloco Kraków (KB); 5 – Falha Collins (CF); 6 – Falha Ezcurra (EF); 7 – Falha Kraków (KF); 8 – Linha Penguin (PL).

A Baía do Almirantado é caracterizada morfologicamente como um fiorde (Aquino, 1999). Segundo esse autor, a baía consiste de uma depressão com um alto grau de erosão glacial e aprofundamento a partir de sua cabeceira, atinge profundidades superiores a 500 m e possui sua desembocadura marcada por um *sill*⁴.

1.8.2. Glaciologia

A cobertura de gelo da IRG é caracterizada como uma calota de gelo (*ice cap*) [Braun *et al.*, 2001a] formado por três domos assimétricos, interligados (Simões e Bremer, 1995), com uma altitude máxima de 706 m acima do nível do mar. Esta massa de gelo

⁴ Hambrey (1994) descreve *sill* como uma barreira rochosa submarina ou uma moraina, presente no fundo da desembocadura de um fiorde.

contígua ocupava uma área de 1157 km² em 1995 e, juntamente com a área de pequenas geleiras de anfiteatro com 0,5 km², cobre 92,7 % da área total da ilha (Bremer, 1998).

Bremer (1998) propõe a delimitação dos divisores de gelo da ilha e suas bacias de drenagem glacial. Foram definidas 70 bacias de drenagem, 29 (cf. seção 4.2) das quais drenam para a Baía do Almirantado (Figura 1.5).

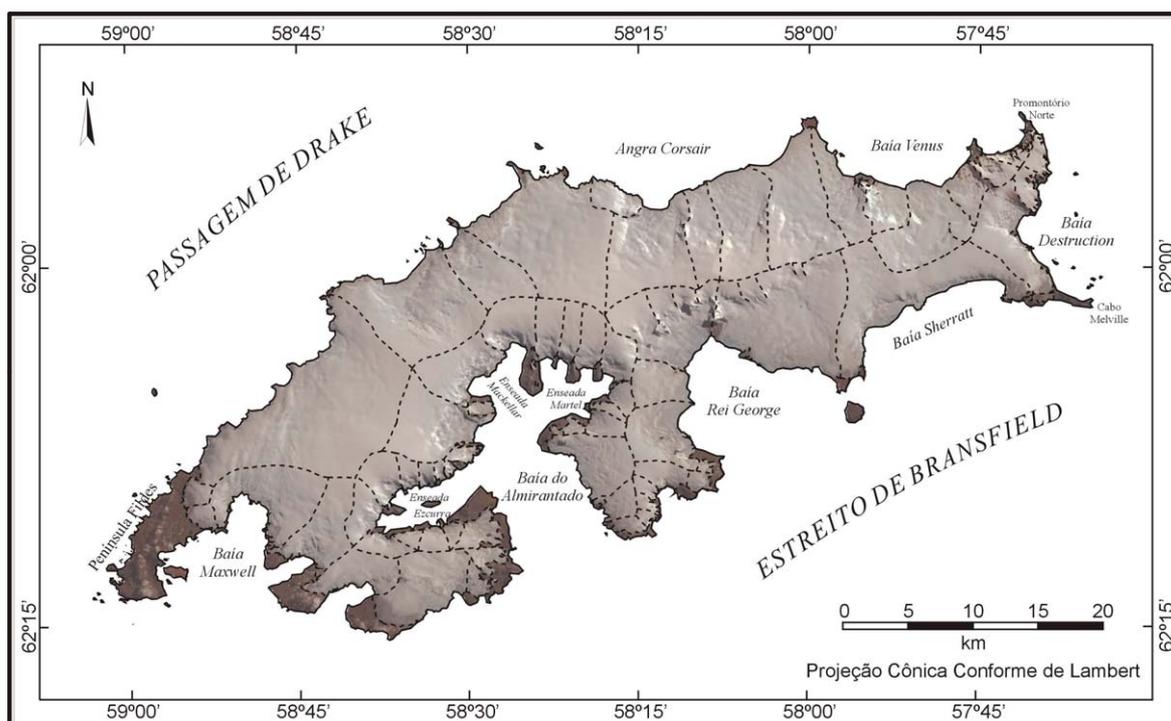


Figura 1.5 – Delimitação das bacias de drenagem glacial da calota de gelo da IRG. Note as 29 bacias que fluem para a Baía do Almirantado (Fonte: Bremer, 1998).

Simões e Bremer (1995) observaram um controle estrutural da calota de gelo, seguindo alinhamento subglacial SW-NE. As bacias de drenagem fluem a partir desse alinhamento, apresentando disposição paralela nos divisores das bacias de drenagem voltados para a Passagem de Drake. Essas são controladas por blocos no sentido SE-NW nos setores ocidental e noroeste da costa, e por blocos S-N no setor setentrional dessa costa (Bremer, 1998).

As bacias que drenam a calota de gelo da IRG podem ser divididas em dois tipos: (1) geleiras que fluem por encostas suaves e descarregam suas massas através de falésias de gelo; (2) geleiras de descarga encaixadas em vales curtos, estreitos e de declividade acentuada, apresentando cascatas de gelo (Bremer, 1998). Algumas geleiras possuem suas

terminações em terra, tendo em suas frentes basicamente depósitos de morainas, retrabalhadas pelo mar formando praias compostas por seixos (Bremer, 1998). Porém, a maioria das geleiras da IRG tem caracteristicamente terminação em falésias sujeitas a ação das marés (*i.e.*, geleiras de maré), com alturas acima de 20 metros.

A cobertura de gelo dentro da AAEG Baía do Almirantado é constituída por geleiras com gradiente superficial bastante acentuado, que ocupam depressões bem definidas e possuem fluxo rápido e intenso fraturamento. Segundo Simões *et al.* (1999), isso ocorre em função do comportamento estrutural da IRG e da natureza do fiorde da Baía do Almirantado. Desta forma, encontram-se geleiras que apresentam cascatas de gelo (como as geleiras Stenhouse, Ajax e Polar Committee), geleiras suspensas (Gdansk, Emerald), geleiras de descarga com terminações em terra (Dragon, Sphinx), geleiras de descarga com terminações na água (*i.e.*, geleiras de maré), podendo ter sua frente flutuando ou não (Lange, Domeyko, Blue e Vieville), além de pequenas geleiras de anfiteatro.

A espessura média dessa calota de gelo ao longo do principal divisor de drenagem glacial foi obtida a partir de um levantamento de rádio-ecossondagem (RES), realizado durante a Expedição Glaciológica Internacional de 1995/96 (Macheret *et al.*, 1997), quando foram percorridos 55 km da ilha. A espessura média nesse divisor é em torno de 180–230 m. A espessura máxima da calota de gelo, 395 m, foi obtida a partir do levantamento de RES realizado durante expedição germano-brasileira realizada no verão de 1997-98 (J.C. Simões, comunicação oral).

As zonas superficiais de neve e gelo foram descritas por Simões *et al.* (1995), sendo divididas em: zona de percolação, localizada acima da altitude de 500 m, onde a água derretida percola através das camadas superficiais de neve e recongela formando lentes e camadas de gelo; zona de neve úmida, entre 300 e 500 m, onde todo o pacote de neve superficial está saturado de água no final do verão. Mais abaixo, entre 250 e 300 m, ocorre a zona de gelo sobreposto onde toda a neve precipitada é transformada em gelo em menos de um ano. Essas zonas marcam a área de acumulação, com balanço de massa positivo. Abaixo de 250 m aproximadamente, encontra-se a área de ablação, caracterizada por balanço de massa anual negativo. A linha de neve transiente no final do verão, em fevereiro e março, encontra-se a 350 m, mas no verão de 1994/1995 ela foi observada entre 400 a 450 m (Simões *et al.*, 1999).

Diversos autores registraram recuo das frentes das geleiras da baía entre as décadas de 1950 e 1990 (Rakusa-Suszczewki *et al.*; 1993; Bintanja, 1995; Bremer, 1998; Simões *et al.*, 1999). Rakusa-Suszczewki *et al.* (1993) observaram que a costa da Baía do Almirantado é caracterizada por pequenas enseadas formadas em locais onde as geleiras recuaram, estando estas separadas do mar por morainas terminais e barras de areia. Bremer (1998), constatou recuo de todas as 29 geleiras dentro da AAEG através da comparação de fotografias aéreas de 1956 e imagens SPOT de 1988 e 1995.

1.8.3. Climatologia

A Península Antártica apresenta divisão climática bem definida, com clima marítimo nas regiões oeste e central, e um clima pseudo-continental na região leste (Martin e Peel, 1978). Segundo Reynolds (1981), isso ocorre porque a península é uma barreira física para a circulação troposférica. A costa oeste e áreas centrais são afetadas por centros de baixa pressão do Mar de Bellingshausen, enquanto que as regiões a leste sofrem influência de massas de ar frio que se movem para oeste. Essas diferenças resultam em temperaturas médias 7 °C mais baixas na costa leste do que em locais na mesma latitude e altitude na costa oeste (Martin e Peel, 1978). Podemos observar essas variações na Figura 1.6, que apresenta as isotermas de temperatura média anual da Península Antártica (Reynolds, 1981).

Na IRG, assim como nas demais ilhas das Shetlands do Sul, as condições de tempo são controladas por uma rápida sucessão de sistemas de baixa pressão (Knap *et al.*, 1996; Braun e Schneider, 2000), que movem-se do Mar de Bellingshausen na direção leste, transportando quantidades relativamente altas de calor e umidade em direção à costa da Antártica (Knap *et al.*, 1996). Desta forma, o clima na IRG pode ser caracterizado como subpolar marítimo (Setzer e Hungria, 1994; Wunderle *et al.*, 1995).

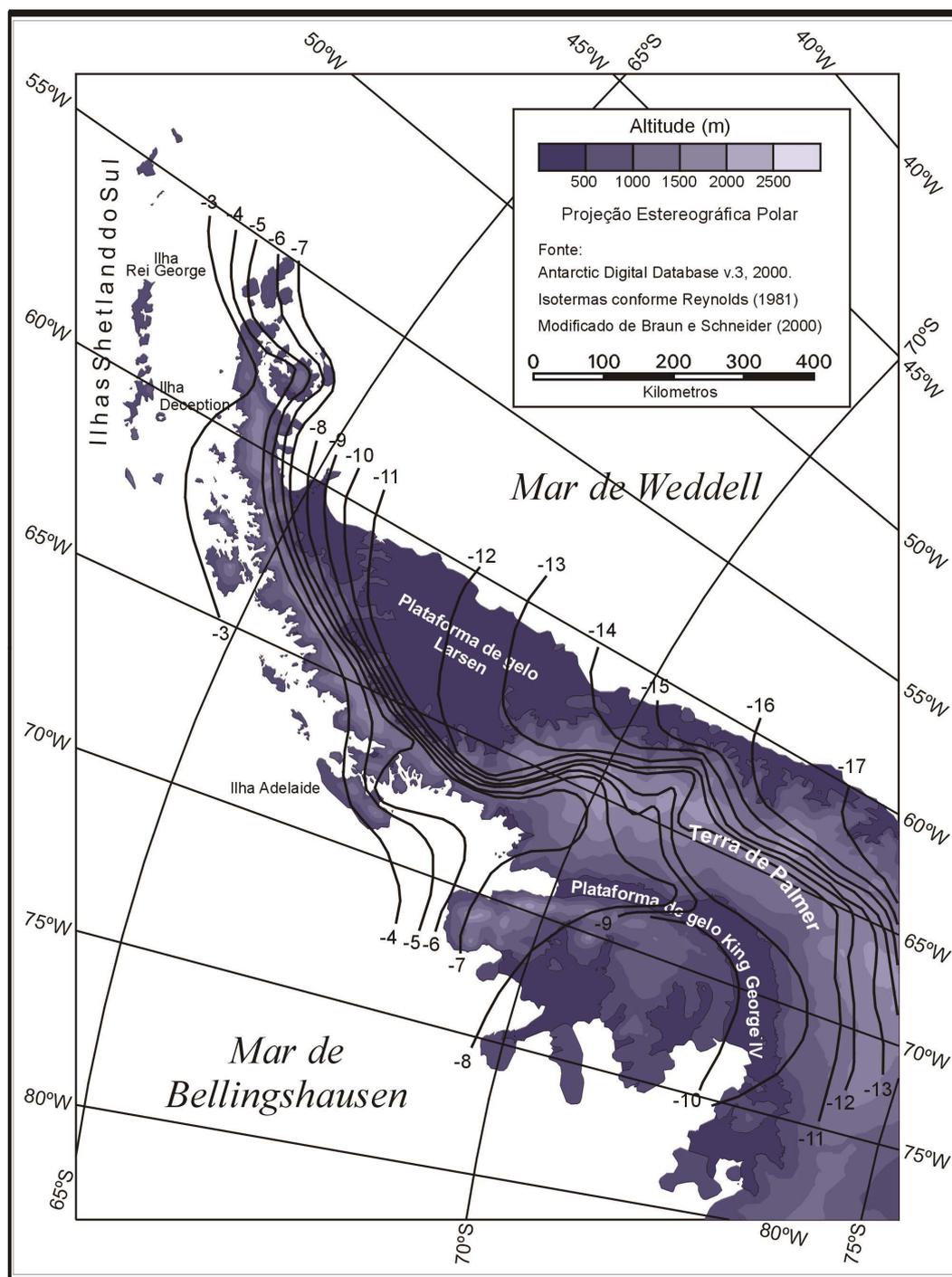


Figura 1.6 – Isotermas de temperatura média anual da Península Antártica. Conforme Reynolds (1981). Modificado de Braun e Schneider (2000).

Como podemos observar na Figura 1.6, a temperatura média anual nas Shetlands do Sul é a mais elevada da Península Antártica. Na IRG a temperatura atmosférica média anual é $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante o verão a média da temperatura é $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ e no inverno é $-7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, segundo os valores obtidos através da série temporal do período 1947-1995 (Aquino, 1999;

Ferron, 1999). A umidade relativa do ar aproximada, obtida na Estação Arctowski (Ponta Thomas), é 82 % (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993). No verão, a umidade relativa é maior devido a constante passagem de ciclones que chegam de noroeste (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993; Setzer e Hungria, 1994).

A precipitação ao nível do mar é 500 mm a^{-1} , podendo ultrapassar 1000 mm a^{-1} no topo da calota de gelo da IRG (Rakusa-Suszczewski, *et al.*, 1993; Jefferson C. Simões, comunicação oral). No entanto, estudos de testemunhos de gelo evidenciam uma acumulação de neve média entre 500 e 600 mm a^{-1} em equivalente água, indicando forte derretimento superficial no verão (Aquino, 1999; Jefferson C. Simões, comunicação oral).

Ferron *et al.* (2001), através da montagem de uma série temporal de temperaturas médias anuais registram tendência de aquecimento para a região. Para o período de estudo (1947-1995), ocorreu aumento de $1,08 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, $0,022 \text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$. Entre 1960-1985 o aquecimento foi mais pronunciado, $0,037 \text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$.

1.9. Histórico da Ocupação

A descoberta da IRG ocorreu em outubro de 1819, quando o Capitão William Smith aportou próximo ao Promontório Norte, tomando posse da ilha em nome do Rei George III e batizando-a com o nome deste soberano (Hattersley-Smith, 1951; Headland e Keage, 1985). Já no ano seguinte a descoberta de Smith, caçadores de focas ingleses, norte-americanos e noruegueses começaram as suas atividades no arquipélago. No verão austral de 1820/1821, ocorreram diversas expedições de caça a focas, principalmente de lobos marinhos, para a extração de pele (Headland e Keage, 1985). Uma expedição naval russa, sob o comando de Thaddeus Thaddevich Bellingshausen, navegou ao longo da costa da IRG em janeiro 1821, conferindo a ilha o nome de "Waterloo Island" (*ibidem*). Entre os anos 1820-1822, aproveitando intervalos entre os períodos de caça a focas, George Powell mapeou pela primeira vez a Baía do Almirantado (*ibidem*; Hattersley-Smith, 1991), denominando-a Board of Admiralty.

A partir do verão 1823/1824, ocorreu rápido declínio nas atividades de caça devido ao temporário desaparecimento das focas, decorrência da exploração intensa. Nos anos

seguintes, o número de navios em busca de focas no arquipélago foi bastante reduzido, mas houve um breve restabelecimento nas décadas de 1840 e 1870 (Headland e Keage, 1985).

O começo do século XX foi marcado pela introdução da caça à baleia na Antártica. A exploração baleeira na IRG foi pioneira para as Shetlands do Sul, e suas enseadas serviram de abrigos naturais aos navios. A chegada na IRG do navio-indústria baleeiro *Admiralen* (janeiro de 1906), acompanhado por dois navios baleeiros marca o início da exploração. A partir de 1907, a indústria baleeira passou a utilizar outras ilhas da região para seus navios-indústria, mas a Baía do Almirantado permaneceu como importante ancoradouro para esse tipo de caça até 1931 (*ibidem*). Ainda hoje encontramos ossos de baleia e pedaços de madeira daquela época pelas praias da região.

Diversas expedições científicas realizaram observações na área no início do século. Entre tantas, merece destaque a expedição do oceanógrafo francês Jean-Baptiste Charcot (1908-1910), a bordo do navio “Pourquoi Pas?”, por ter elaborado o primeiro mapa da Baía do Almirantado (Hattersley-Smith, 1991).

Em janeiro de 1947, com a construção de um pequeno refúgio na Península Keller (Figura 1.7), pelo *Falkland Islands Dependencies Survey* (FIDS) atual BAS [Hattersley-Smith, 1951], iniciaram-se atividades modernas de exploração científica na área. Entre os anos 1947-1948, o refúgio foi ampliado e originou a primeira estação científica da ilha, a Base G (Tabela 1.1). Até janeiro de 1961, data em que foi abandonada, a Base G apoiou diversos levantamentos geológicos e glaciológicos, investigações biológicas, além de observações meteorológicas (Hattersley-Smith, 1951; Noble, 1959; Stansbury, 1961). Foi um dos centros britânicos das pesquisas realizadas durante o Ano Geofísico Internacional (1957-1958). No verão 1947/1948, um pequeno refúgio foi construído pela Marinha Argentina, próximo a Base G. Esse refúgio foi ocupado somente durante aquela estação. Em meados da década de 1990, com o objetivo de manter o local limpo, a Marinha do Brasil removeu todas essas construções.

Tabela 1.1 – Estações, refúgios e monumentos históricos na AAEG.

Estação	Localização	Abertura	Fechamento	Observações
Base G (Inglaterra)	62° 05' S 58° 24' W	1947	1961	Removida no início da década de 1990
Refúgio Argentino	62° 05' S 58° 24' W	1947	1948	Funcionou somente durante o verão 1947/1948
Campo Bove (Itália)	62° 10' S 58° 31' W	1976	1977	Construída antes da Itália fazer parte do Tratado Antártico
Henryk Arctowski	62° 10' S 58° 28' W	1977	-	Mantém atividades durante todo o ano
Refúgio Polonês	62° 13' S 58° 27' W	1978	-	Uso regular, acomodações para duas pessoas
Refúgio Polonês	62° 10' S 58° 31' W	1978	-	Uso regular, acomodações para duas pessoas
Refúgio Pietr J. Lenie (EUA)	62° 11' S 58° 27' W	1978	-	Apoia pesquisas ornitológicas na AICE N.º 8, nos verões
Estação Antártica Comandante Ferraz	62° 05' S 58° 24' W	1984	-	Mantém atividades durante todo o ano
Sítio Histórico N.º 51	62° 09' S 58° 28' W	1985	-	Cruz marcando a tumba de W. Puchalski, fotógrafo naturalista
Refúgio 1 (Brasil)	62° 05' S 58° 24' W	1986	-	Uso regular
Refúgio 2 (Brasil)	62° 04' S 58° 25' W	1986	-	Uso para trabalhos científicos, acomodações para duas pessoas
Refúgio Equatoriano	62° 07' S 58° 24' W	1988	-	Sem condições de habitação
Estação Peruana Machu Picchu	62° 05' S 58° 28' W	1989	-	Atualmente encontra-se em reformas para ampliação

Nos anos seguintes, o número de expedições científicas na área aumentou bastante, mas nenhuma outra estação ou refúgio foi construído antes da vigência do Tratado Antártico em junho de 1961. A segunda fase de instalação de estações científicas iniciou em 1976, quando os italianos construíram o Refúgio Campo Bove, na Enseada Ezcurra (Figura 1.7). O refúgio foi ocupado em janeiro e fevereiro, mas sob fortes protestos da Argentina, pois a Itália não fazia parte do Tratado Antártico naquela época e assinou o tratado somente em março de 1981, ele foi destruído no verão seguinte (Headland e Keage, 1985).

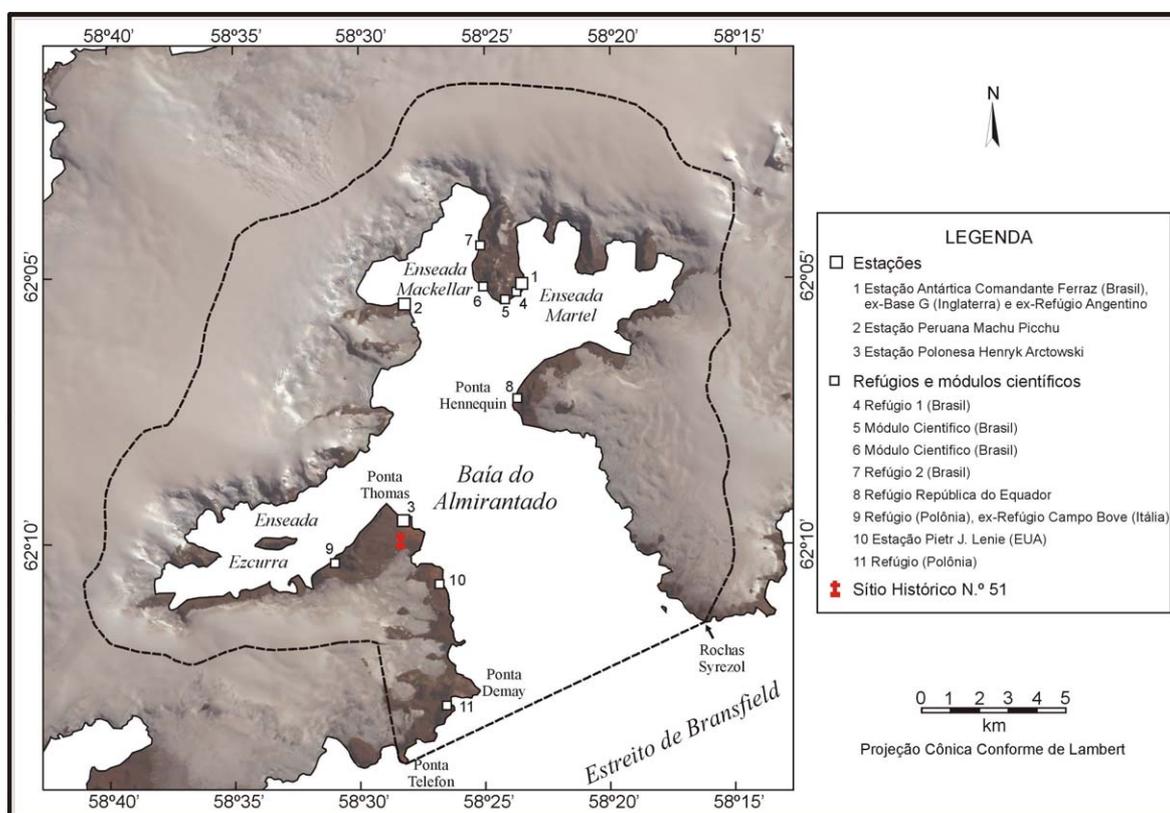


Figura 1.7 – Localização das Estações e refúgios da AAEG.

Em fevereiro de 1977, os poloneses construíram a Estação Henryk Arctowski, próximo a Ponta Thomas (Figuras 1.7 e 1.8), que funcionou continuamente desde então. Arctowski possui atualmente acomodações para 70 pessoas no verão e 20 no inverno, laboratórios de biologia, meteorologia e geofísica, depósitos, uma pequena unidade hospitalar, tanques de combustível revestidos duplamente com capacidade total de

1000 toneladas, garagens para botes e veículos terrestres, totalizando uma área ocupada de aproximadamente 100.000 m² (ATCPs, 1996).



Figura 1.8 – Estação Henryk Arctowski. Foto do autor (fevereiro de 2000).

Para apoiar a pesquisa biológica desenvolvida desde 1976, principalmente sobre ecologia de colônias de pingüins, foi construído em 1978 na Ponta Llano, margem oeste da Baía do Almirantado, o Refúgio Norte-americano Pietr J. Lenie, chamado coloquialmente de “Copacabana” (Figuras 1.7 e 1.9). Ele é utilizado somente nos períodos de verão.



Figura 1.9 – Refúgio Pietr J. Lenie. Foto do autor (fevereiro de 2000).

A Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) do Brasil foi instalada na área em 1984, na costa leste da Península Keller (Figuras 1.7 e 1.10), estando em funcionamento contínuo desde 1986. A EACF consiste de diversos “containers” modificados, incluindo laboratórios de biologia (seco e molhado), laboratório de múltiplo uso, pequena unidade médica, depósitos para equipamentos, garagem para botes e veículos terrestres, geradores a diesel, módulos de meteorologia, química, ionosfera, etc. Possibilita a acomodação de 44 pessoas no verão e 13 no inverno. O combustível é armazenado em tanques duplos de aço com uma capacidade de 316.000 litros de diesel e 3.000 litros de gás (ATCPs, 1996). A EACF possui uma área construída de aproximadamente 2.250 m².



Figura 1.10 – Vista da Estação Antártica Comandante Ferraz, a partir do Morro Flagstaff. Foto do autor (fevereiro de 2000).

Em janeiro de 1988 foi construído um refúgio equatoriano na Ponta Hennequin (Figura 1.11). Seguiu-se a construção da Estação Antártica Peruana Machu Picchu (Figura 1.12) em 1989, na Ponta Crépin, Enseada Mackellar. Atualmente, essa estação possui uma área construída de 204 m², e consiste de três módulos metálicos, incluindo laboratórios e dormitórios. É utilizada somente durante o verão austral. Existem ainda dois refúgios poloneses, em Angra Paradise, próximo à Ponta Demay (Figura 1.13) e no Vale Itália, Enseada Ezcurra, além de dois refúgios e dois módulos de pesquisa brasileiros na Península Keller. A população estimada na área da AAEG é de cerca de 100 pessoas durante o verão e 20 pessoas durante o inverno.



Figura 1.11 – Refúgio Equatoriano. Foto do autor (fevereiro de 2000).



Figura 1.12 – Estação Antártica Peruana Machu Picchu. Foto do autor (fevereiro de 2000).



Figura 1.13 – Refúgio Polonês em Angra Paradise. Notar os ossos de baleia, do período da caça a esses animais na região. Foto do autor (fevereiro de 2000).

Além da população composta por pesquisadores e técnicos de operação e manutenção das estações, todos os anos durante o verão a Baía do Almirantado é visitada por expedições de turismo. Isso ocorre, principalmente, devido a impressionante paisagem característica da antártica, diversidade de vida selvagem, além da baía ser um ancoradouro bastante protegido. Nos últimos verões, até 1998/1999, o número de visitantes na Baía do Almirantado diminuiu, aumentando novamente em 1999/2000 (Figura 1.14). No verão 1993/1994 desembarcaram nas praias da AAEG, o número recorde de 4280 turistas (IAATO, 2000).

Em 1999/2000 ocorreu o desembarque de 2327 turistas na AAEG. Vinte e duas expedições com 1901 turistas visitaram a Estação Polonesa Henryk Arctowski, 5 expedições com 387 turistas desembarcaram na Estação Antártica Comandante Ferraz e uma expedição desembarcou o restante nas praias da Enseada Ezcurra. O mesmo padrão de concentração de visitantes nas duas estações foi observado para todo o período entre 1989/1990 e 1999/2000 (IAATO, 2000).

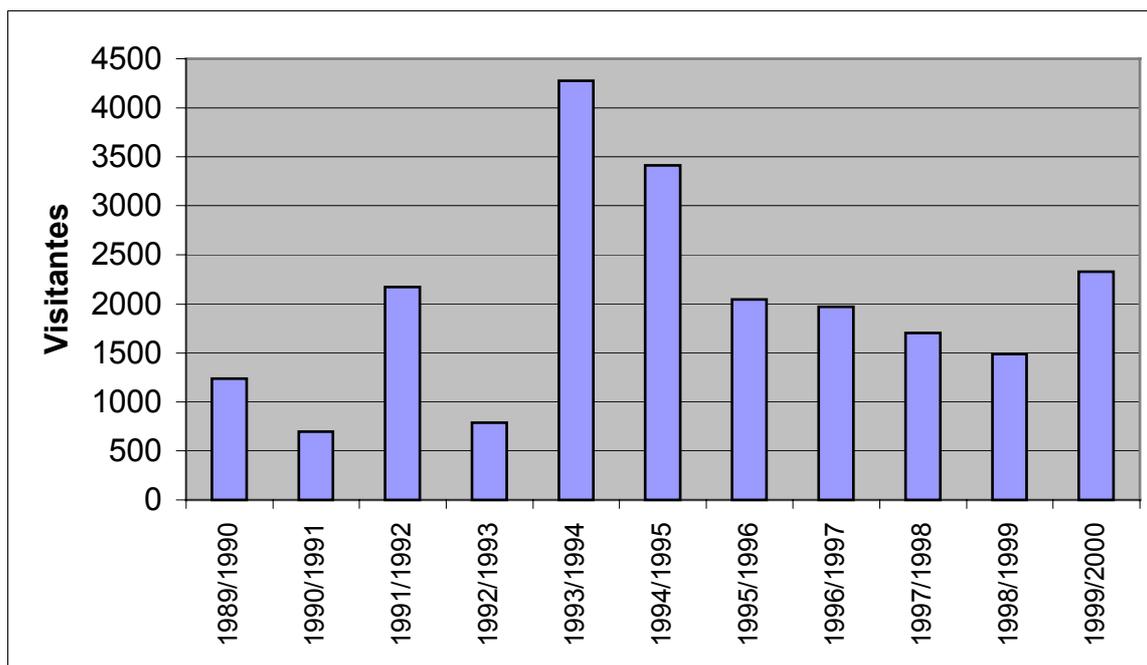


Figura 1.14 – Visitantes na Baía do Almirantado entre os verões 1989/1990 e 1999/2000.
Fonte: IAATO, 2000.

Capítulo 2

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADOS A ANTÁRTICA

2.1. Introdução

É crescente a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Antártica. Atualmente está consagrada sua utilização na integração, gerenciamento, atualização e apresentação de informação espacial, bem como na geração de modelos e prognósticos ambientais.

O *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR), através do *Working Group of Geodesy and Geographic Information* (WG-GGI), tem realizado esforços para integrar e coordenar as atividades de mapeamento e aplicações de SIG nessa região (WGGGI, 2000). Uma das propostas é um SIG para a Ilha Rei George (seção 2.2.3.2). A seguir, são apresentados alguns conceitos básicos de SIG e suas aplicações na Antártica, especificamente no mapeamento e gerenciamento ambiental.

2.2. Sistemas de informação geográfica (SIG)

2.2.1. Definições básicas

Um SIG pode ser considerado um sistema baseado em computador, que é utilizado para armazenar e manipular informação geográfica (Aronoff, 1991). O termo "Sistema de Informação Geográfica" é, também, aplicado sobre os dados espaciais no formato digital e seus métodos de aquisição sistemática, atualização, processamento e conversão dos dados (Sievers e Bennat, 1989). Para Burrough (1994), SIG é um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados do mundo

real. Segundo este autor, a capacidade de acessar, transformar e manipular interativamente os dados espaciais possibilita a realização de simulações no estudo de processos ambientais, gerando uma ferramenta na análise de resultados de tendências.

Câmara e Medeiros (1996) apresentam definição simples de SIG: “sistema que realiza o tratamento computacional de dados geográficos”. Enquanto o ESRI (1997) descreve-o como um conjunto organizado de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal treinado para uma eficiente captura, armazenamento, atualização, manipulação, análise e apresentação de todas as formas de informação referenciada geograficamente.

ESRI (1997) sugere que um SIG pode ser descrito de duas formas: (1) através de definições formais, como as apresentadas acima; e (2) pela habilidade para realizar operações de análise espacial, baseando-se na localização espacial para o correto cruzamento de todo o conjunto de dados. A partir desta segunda abordagem, um SIG pode responder a questões como as exemplificadas abaixo:

- Localização: Onde está...? (Onde estão as áreas livres de gelo na Ilha Rei George?)
- Condição: O que está...? (Qual posição das frentes de geleiras?)
- Tendência: O que mudou...? (Qual a posição das frentes das geleiras da Ilha Rei George 40 anos atrás?)
- Roteamento: Por onde ir...? (Qual o caminho de menor impacto ao meio ambiente para visitação turística na Península Keller, Baía do Almirantado?)
- Padrões: Qual o padrão...? (Qual a distribui o das fei es antrópicas na AAEG Baía do Almirantado?)
- Modelos: O que acontece se...? (Qual o impacto nas geleiras da Ilha Rei George se a temperatura média anual da ilha aumentar 1  C?)

2.2.2. Representa o da informa o espacial em um SIG

Em um SIG, objetos geográficos são descritos por dois atributos parciais: um de posi o que indica a localiza o espacial dentro de um sistema de coordenadas (*e.g.*, um ponto com coordenadas X e Y, representando a localiza o da EACF com a utiliza o da Proje o Universal Transversa de Mercator), e outro temático que descreve as

características não-espaciais do objeto, tais como forma, cor, tamanho, idade, formação, etc. (e.g., informações referentes ao tipo de construção da EACF, data de instalação, período de funcionamento) [Sievers e Bennat, 1989].

Os atributos de posição (dados espaciais) podem ser representados, basicamente, por dois modelos diferentes: matricial e vetorial (Aronoff, 1991; Burrough, 1994). A representação matricial consiste em um conjunto de células localizadas por coordenadas. É atribuído a cada célula um valor referente ao atributo representado, de forma que o computador saiba a que feição geográfica pertence determinada célula (Câmara e Medeiros, 1996). Na representação vetorial, três principais elementos gráficos são utilizados para representar as entidades geográficas: pontos, linhas e áreas (ou polígonos). Pontos são similares a células, exceto por não cobrir áreas, enquanto linhas e áreas são conjuntos de coordenadas interconectadas (Burrough, 1994). Estes elementos gráficos podem ser associados a determinados atributos que representam as informações descritivas. No formato vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível (Câmara e Medeiros, 1996).

2.2.2.1. Representação matricial

Esta estrutura de dados consiste de uma matriz regular de células quadradas ou retangulares (Aronoff, 1991). Estas células muitas vezes são chamadas de *pixels* (ou *picture elements*) [Burrough, 1994]. Para Câmara e Medeiros (1996), na representação matricial, o espaço é representado por uma matriz $P(m, n)$. Cada célula nesta matriz possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao tipo ou valor do atributo que está sendo mapeado (Burrough, 1994), além das coordenadas individuais (Câmara e Medeiros, 1996). Exemplos de representação matricial, são as imagens de satélite e os modelos digitais de elevação utilizados no trabalho.

Em estruturas matriciais, um ponto é representado por uma simples célula da matriz, uma linha por um número de células vizinhas apresentando uma direção e áreas (ou polígonos) por uma aglomeração de células vizinhas (Burrough, 1994), como mostra a Figura 2.1.

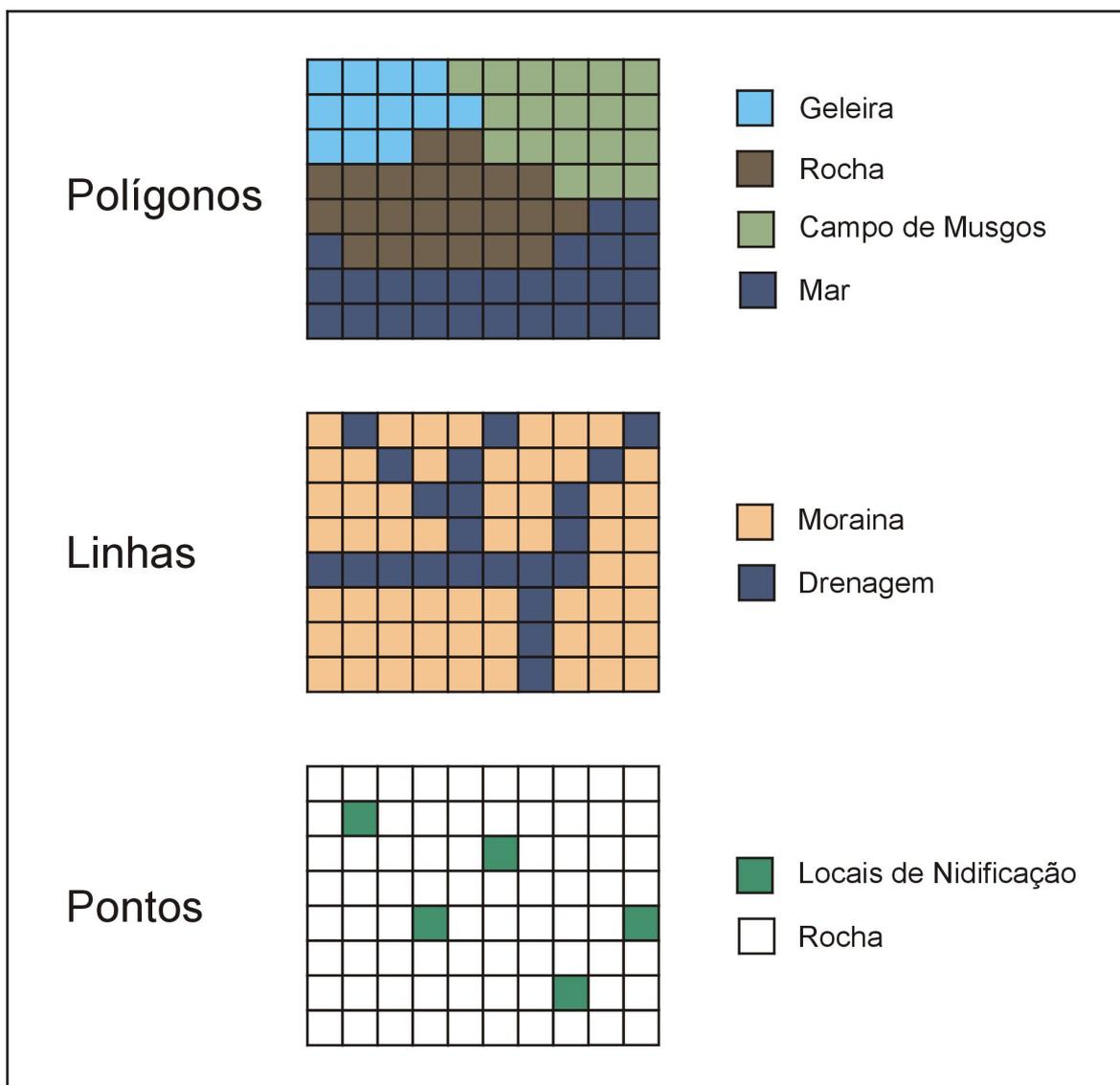


Figura 2.1 – Representação matricial. Modificada de ESRI (1997).

Utilizando a estrutura de matriz, supõe-se que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está representando uma porção do terreno. A resolução deste modelo de dados é dada pela relação entre o tamanho da célula na imagem e a área por ela coberta no terreno (Câmara e Medeiros, 1996).

2.2.2.2. Representação vetorial

A representação de elementos, ou feições, tende a ser mais precisa com a estrutura vetorial (Aronoff, 1991; Câmara e Medeiros, 1996), pois essa localiza com maior exatidão

a posição e forma de pontos, linhas e polígonos usados para representar feições de interesse (Aronoff, 1991).

Os pontos, ou elementos pontuais, abrangem as feições geográficas que podem ser posicionadas dentro de uma determinada precisão, por um único par de coordenadas X e Y (e.g., os refúgios da AAEG, na escala 1:50.000) [Figura 2.2]. Entretanto, além das coordenadas, outros dados não-espaciais, ou atributos, podem ser arquivados para indicar o tipo de ponto representado (Câmara e Medeiros, 1996).

As linhas e arcos são um conjunto de pontos conectados, representando feições como caminhos percorridos por turistas (Figura 2.2). Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, deve-se armazenar informação que indique a que atributo ela está associada. As áreas ou polígonos são representados pela lista de linhas (Câmara e Medeiros, 1996).

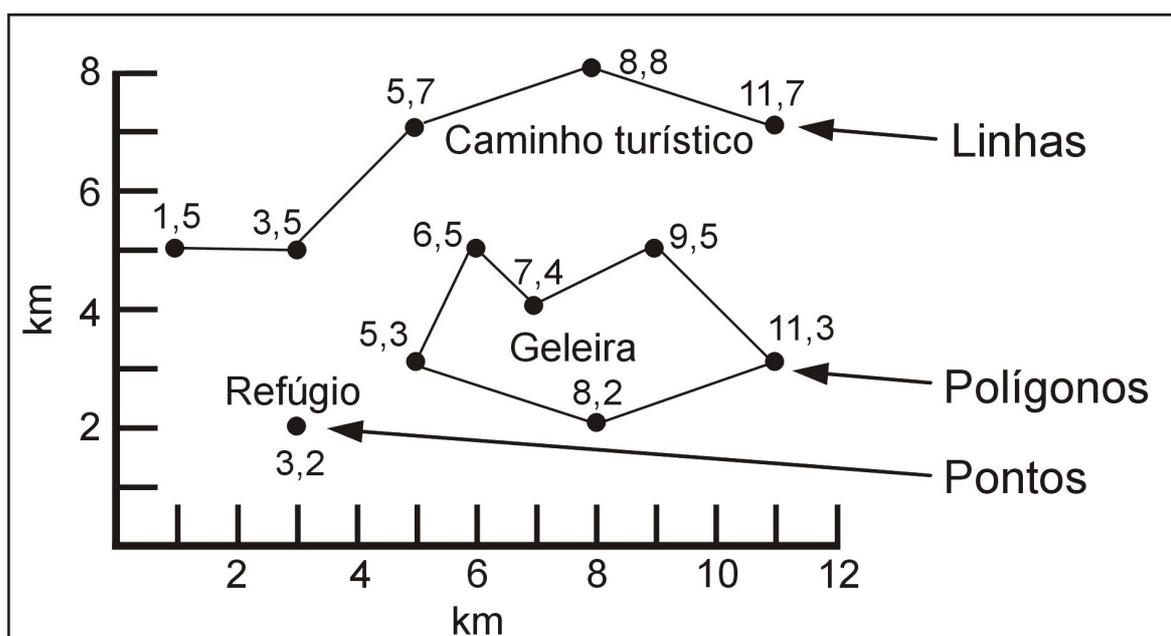


Figura 2.2 – Representação vetorial. Modificada de ESRI (1997).

2.2.2.3. Comparação entre os métodos vetorial e matricial

Câmara (1995) sugere a comparação entre os métodos de representação. Este autor afirma que para a produção de cartas e em operações onde se requer maior precisão, a representação vetorial é mais adequada. Mas, operações de álgebra de mapas são mais

fáceis de realizar no formato matricial. No entanto, para um mesmo grau de precisão, o espaço de armazenamento requerido por uma representação matricial é substancialmente maior.

2.2.2.4. Atributos não-espaciais

Câmara e Medeiros (1996) consideram atributos qualquer informação descritiva (alfa-numérica) relacionada com um único objeto ou feição geográfica. Aronoff (1991) refere-se ao termo "atributos não-espaciais", em função destes não representarem informação de localização. Segundo Câmara e Medeiros (1996), a função destes atributos é fornecer uma informação descritiva, qualitativa e/ou quantitativa, das características de um objeto gráfico. Esta informação descritiva é apresentada através de nomes, números, tabelas e textos. Cada atributo em um SIG estará sempre associado a uma entidade gráfica que por sua vez está vinculada a um sistema de coordenadas. Por exemplo, informações referentes ao tipo de ocupação das construções na AAEG (*e.g.*, estações científicas, refúgios, módulos científicos) estão associadas a feições pontuais, as quais possuem coordenadas que as localizam espacialmente.

Além dos atributos que são armazenados em sistemas próprios de arquivos internos (Câmara e Medeiros, 1996), podem ser utilizadas bases de dados externas, ou Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGDB). Os SGBD são programas que manipulam e mantêm a informação em um banco de dados (Aronoff, 1991). Esses SGBD funcionam de forma independente ao SIG, mas permitem a associação entre a feição geográfica e seus atributos.

2.2.3. SIG aplicado à Antártica

Na Antártica, a informação geográfica é indispensável em todas as esferas de atividades humanas (Harris, 1991a), devido a sua contribuição ao planejamento das atividades científicas, logísticas, turísticas e gerenciamento dos recursos naturais e históricos. Sievers *et al.* (1993) referem-se à necessidade de precisão dessa informação geográfica, de acordo com cada tipo de aplicação (*e.g.*, monitoramento de mudanças

ambientais, gerenciamento de atividades humanas). A seguir, são apresentados alguns casos de aplicações de SIG na otimização do processo de geração e utilização de informação geográfica em projetos desenvolvidos em ambientes glaciais e periglaciais.

2.2.3.1. Mapeamento

A referência principal de SIG para o continente é o *Antarctic Digital Database* (ADD) [Cooper *et al.*, 1993; BAS *et al.*, 1993; Thomson e Cooper, 1993], o qual foi elaborado através de um esforço internacional sob a coordenação do SCAR. O ADD é o padrão antártico para a confecção de base cartográfica de diversos projetos (Fox e Cooper, 1994; Fox, 1995; Liu *et al.*, 2000; Braun *et al.*, 2001b).

A elaboração do ADD ocorreu a partir da compilação de mapas de diversos países, permitindo a produção de mapas da área de interesse de cada usuário. A grande limitação desse banco de dados está relacionada à escala utilizada na sua compilação. Com poucas exceções, a maior escala obtida é 1:250.000 (BAS, 1998), impossibilitando a geração de mapas mais detalhados. Todos os dados encontram-se na Projeção Estereográfica Polar, com o paralelo padrão 71° S e o meridiano central 0°. As coordenadas estão em metros, com a origem no Pólo Sul geográfico; o esferóide usado é WGS84. Atualmente o ADD encontra-se na sua versão 3.0 (BAS, 2000), tendo como principal diferença entre a primeira versão e as posteriores, a mudança do ambiente operacional do PC ARC/INFO para o ARC/INFO Workstation na versão 2.0 (BAS, 1998).

As técnicas fotogramétricas convencionais são de difícil aplicação na Península Antártica, devido a características tais como a falta de pontos de controle confiáveis e cobertura insuficiente. Baseado nesse fato, Fox (1995) desenvolveu metodologia apoiada na utilização de SIG para a elaboração de um mapa topográfico, na escala 1:50.000, da Península Wright (67°28' S, 68°07' W), Ilha Adelaide, a partir de fotografias aéreas de três fontes diferentes, nas escalas 1:70.000 e 1:25.000. Pontos de controle foram extraídos de um Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado com base na carta topográfica do BAS, na escala 1:250.000.

Com o objetivo de integrar e coordenar os programas de mapeamento e aplicação de SIG na Antártica, o *Working Group of Geodesy and Geographic Information* (WG-

GGI) do SCAR desenvolve atualmente nove projetos, estando estes inseridos no seu Programa de Informação Geográfica para o período 2000-2002 (WGGGI, 2000): (1) Banco de Dados Topográficos, o qual objetiva prover o SCAR com informação topográfica em escalas menores que 1:250.000. A sua principal atividade é a atualização e aprimoramento do ADD; (2) Toponímia, busca prover um banco de dados de todos os nomes de lugares e feições reconhecidas internacionalmente; (3) Padrões de Dados Espaciais, baseado nas normas internacionais, para ser utilizado nos projetos relacionados com SIGs gerenciados pelo SCAR e por programas nacionais; (4) Catálogo de mapas, que procura atualizar e desenvolver uma versão *on-line* desse documento elaborado pelo SCAR; (5) Catálogo de imagens, registrando imagens de satélite e fotografias aéreas; (6) SIG da Ilha Rei George; (7) SIG para locais no leste da Antártica; (8) Banco de dados batimétricos; e (9) Atlas *on-line* da Antártica.

O *Antarctic Geographic Data Integration Project* (AGDI), também do WG-GGI, facilitará a disponibilidade de dados de SIGs da Antártica (WGGGI, 2000). O AGDI integrará com seus respectivos projetos, diversos projetos do WG-GGI, constituídos pelos seguintes planos de informação: (1) Batimetria (*General Bathymetric Chart of the Ocean - GEBCO*); (2) Topografia (*Radarsat Antarctic Mapping Project - RAMP*) [Liu *et al.*, 2000]; (3) Topografia subglacial (*Antarctic Ice Bed Mapping Project - BEDMAP*); (4) Linha de costa (*Antarctic Glaciology and Coastal Change Project - AGCCP*), e ADD (Cooper *et al.*, 1993; BAS *et al.*, 1993; Thomson e Cooper, 1993); (5) Tipos de feições, ADD; (6) Toponímias (*Composite Gazetteer of Antarctica, Working Group of Geodesy And Geographic Information*, 1999); e (7) Sensoriamento Remoto (*Radarsat Antarctic Mapping Project - RAMP*).

Por meio de um esforço internacional envolvendo o *Institut für Physische Geographie* (IPG) - *Universität Freiburg* e o LAPAG - UFRGS, Braun *et al.* (2001a) elaboraram uma base topográfica para a IRG. Essa base, elaborada com dados de sete fontes diferentes, foi integrada ao mosaico de imagens do satélite SPOT para gerar a Carta Imagem da ilha na escala 1:100.000 (Braun *et al.*, 2001b). Os autores discutem a utilização de SIG na integração desses dados, bem como a possibilidade de fácil atualização em função do armazenamento da informação no formato digital. A seção 3.3.3.1 apresenta os dados utilizados para a elaboração da base topográfica.

2.2.3.2. Gerenciamento e monitoramento ambiental

Investigações na variabilidade temporal e espacial do ecossistema do Mar de Scotia tem sido realizadas com a utilização de SIG. Trathan *et al.* (1993) destacam a eficiência da utilização dessa ferramenta na integração dos diferentes conjuntos de dados (linha de costa, batimetria, imagens de satélite e dados biológicos na forma espacial ou descritiva) necessários para a compreensão da associação entre componentes físicos e biológicos dessa região do oceano.

Devido à necessidade de maior eficiência na integração e disponibilização da informação científica (espacial e descritiva), o *International Centre for Antarctic Information and Research* (ICAIR) foi estabelecido no *International Antarctic Centre* (IAC) em Christchurch, Nova Zelândia (Smith, 1993), para apoiar as atividades dos programas antárticos da Nova Zelândia, Estados Unidos e Itália. Para auxiliar as atividades de gerenciamento ambiental na Região do Mar de Ross, onde localizam-se as estações desses países, o ICAIR desenvolveu um banco de dados ambiental com base em SIG. Smith (*ibidem*) destaca a habilidade do SIG para integrar dados de diversas fontes, bem como suprir os gerentes dos programas antárticos da informação geográfica mais atualizada disponível.

Em 1993 foi iniciada a implementação do SIG para o projeto de Pesquisa Ecológica de Longo Tempo (LTER) nos Vales Secos McMurdo (77°30'S, 162°00'E) [Hastings, 1995]. Inicialmente, foi escolhido o Vale Taylor (77°37'S, 163°00'E) como área teste. O autor descreve as dificuldades de integração dos dados, geradas pela deficiência da base topográfica utilizada. A partir dessa experiência, foi realizado novo mapeamento topográfico para a implementação do SIG em toda a área dos Vales Secos.

Cooper e Thomson (1995) elaboraram um SIG da área da Estação Científica Britânica Rothera (67°34'S, 68°08'W) [Ilha Adelaide] e adjacências, para servir de apoio ao gerenciamento das atividades humanas na área e ampliação da pista de pouso. A partir do monitoramento e interpretação de dados ambientais, foram mapeadas informações como: campos de nidificação, lagos, construções, vegetação, linha de costa, etc. Essas informações foram utilizadas na elaboração de um mapa de sensibilidade ambiental da área à presença humana.

Ward *et al.* (1996) descrevem a implementação de SIG para o gerenciamento das três estações de pesquisa Australianas no continente antártico e uma na Ilha Macquarie (54°30'S, 158°57'E). Os autores destacam a grande funcionalidade do sistema para armazenar, manipular e analisar os dados dessas estações, suprimindo as necessidades distintas entre a comunidade de usuários. Atualmente, além do gerenciamento e atualização dos mapas digitais das estações científicas, a Divisão Antártica Australiana conta com 08 projetos que utilizam SIG (Australian Antarctic Data Centre, 2000).

Para modernizar a administração da pesquisa científica na área da Estação China Great Wall (62°13'S, 58°58'W) [Ilha Rei George] e auxiliar na avaliação do impacto ambiental, foi desenvolvido um SIG (Li e Li, 1997). Os autores destacaram a funcionalidade do sistema para a profissionalização dessas atividades.

Cooper *et al.* (1998) utilizaram SIG para estudar a ocorrência de processos vulcânicos e vulcano-tectônicos no Porto Foster (62°57'S, 60°39'W), Ilha Deception. Estes autores geraram modelos digitais de elevação para cinco datas diferentes (entre 1949 e 1993), e constataram que a bacia norte dessa baía, formada por imensa cratera inundada, torna-se mais rasa a uma taxa média de 0,07 m a⁻¹, chegando a taxas entre 0,3 e 0,5 m a⁻¹ em alguns locais. A utilização de SIG permitiu a integração dos dados de diversas fontes, e o cruzamento dessas informações para a geração de um mapa com as taxas da diminuição da profundidade para a área em estudo.

Com o objetivo de estabelecer um inventário das massas de gelo do planeta, está sendo implementado o *Global Land Ice Measurements from Space* (GLIMS) [United States Geological Survey, 2000]. O produto a ser gerado por esse projeto consiste de um banco de dados, com base em SIG, das geleiras do planeta. Possibilitando o monitoramento e avaliação de mudanças na extensão.

Através de iniciativa do WG-GGI do SCAR, foi realizado no mês de julho de 2000, em Wuhan (China), o *International GIS Workshop on Antarctic King George Island* (WGGGI, 2000). Os participantes do *workshop* reconheceram que em alguns casos existem esforços duplicados de coleta de dados, recomendando a consolidação desses trabalhos em um SIG para toda a Ilha Rei George (KGIS), inserido no Programa de Informação Geográfica do WG-GGI.

Atualmente o KGIS, sob a coordenação do *Institut für Physische Geographie* (IPG) - *Universität Freiburg*, encontra-se na fase de integração das informações. Posteriormente serão definidos padrões de qualidade para os dados e elaborada uma biblioteca digital, para a disponibilização dos dados através da internet (IPG, 2001).

Dentro dos objetivos do GLIMS, foi realizado por Braun *et al.* (2001c) um inventário das massas de gelo da Ilha Rei George, como área teste para posterior implementação na Península Antártica. Foram apresentados três estudos de caso, exemplificando a ligação entre estudos glaciológicos e outros estudos ambientais (*e.g.*, retração glacial e ecologia de áreas livre de gelo). Através desses exemplos, sugere-se que o banco de dados do GLIMS não contenha somente informações de interesse para estudos glaciológicos, mas também outras informações ambientais, beneficiando-se dos dados satelitais disponíveis para este projeto.

Simões *et al.* (2001) apresentaram proposta de implementação de SIG para a Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado. Os autores salientam a necessidade de uma base de dados padronizada para servir de apoio ao plano de gerenciamento da área. Esta dissertação apresenta os resultados do trabalho proposto.

Através dos casos apresentados acima, é possível perceber que em atividades de gerenciamento ambiental na Antártica, reunir dados no formato digital em SIG e utilizar as ferramentas de análise disponíveis nestes sistemas, facilita comparações entre parâmetros ambientais (Harris, 1994a). Além de possibilitar a rápida atualização e integração de dados de diversas fontes.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Introdução

A metodologia utilizada para a implementação de um SIG depende basicamente das necessidades do projeto (*e.g.*, planos de informação) e material disponível (*e.g.*, bases de dados, equipamentos). Baseado nos objetivos do Plano de Gerenciamento da AAEG Baía do Almirantado (seção 1.4) foram definidos os planos de informações necessários ao gerenciamento e monitoramento da área (seção 3.3.1).

Neste capítulo estão apresentados inicialmente os equipamentos utilizados para a aquisição da informação geográfica e implementação desses planos de informações, seguidos dos métodos utilizados para a integração dos dados.

3.2. Materiais

3.2.1. Equipamento computacional

Em um SIG, o equipamento computacional corresponde à parte material, ou seja, os componentes físicos do sistema. Pode ser dividido em sistema central e periféricos. A Unidade de Processamento Central (CPU), responsável pelo gerenciamento de todas as funções do sistema e armazenamento das informações. Os periféricos destinam-se a realização da comunicação entre as pessoas e a máquina (*e.g.*, *scanner*, mesa de digitalização).

Encontramos atualmente diversas alternativas de CPU, entre as quais destacam-se para a utilização em SIG: estações de trabalho (*workstation*) e computadores de pequeno porte (*desktop*). A escolha da CPU para este trabalho foi baseada nos recursos disponíveis e

na relação custo-benefício. Desta forma, optou-se por um computador *desktop*, com total compatibilidade com os programas a serem usados, montado por empresa de credibilidade no mercado.

Foi escolhido o Personal Computer 300PL da IBM, com a seguinte configuração: Processador Pentium III 550 Mhz, 256 MB de memória RAM, 27 GB de disco rígido, placa aceleradora gráfica de 32 MB, *drives* de CD-ROM, disco ZIP de 100 MB e disquete de 1,44 MB. O monitor escolhido, um SyncMaster 950p de 19” da Samsung, forneceu uma ampla área de trabalho. Para a impressão de mapas até o formato A3, foi adquirida a impressora Epson Photo EX.

Além dos equipamentos já citados, foram utilizados também: *scanner* de mesa, impressora e computadores Macintosh (disponíveis no LAPAG); e *scanner* para grandes formatos (disponibilizado através de prestação de serviço da empresa Lemhap).

3.2.2. Programas

Entre as diversas opções de SIG disponíveis no mercado internacional, o ARC/INFO é atualmente padrão em pesquisa antártica. Diversos centros polares utilizam esse programa em seus projetos e disponibilizam os dados em seus formatos de arquivo. O próprio *Antarctic Digital Database* (ADD) foi desenvolvido com a utilização do ARC/INFO, e disponibiliza seus dados no formato de exportação desse programa (BAS *et al.*, 1993).

Além disso, o ARC/INFO possui ferramentas que permitem a total edição de dados, realização de inúmeras rotinas de análise (em ambos os formatos de representação da informação: matricial e vetorial), e diversas formas de saída e apresentação dos resultados (e.g., visualizações tridimensionais, mapas e tabelas), que o caracterizam como um dos mais completos SIGs. Sendo assim, para a integração dos dados da AAEG Baía do Almirantado, optou-se por esse sistema.

A licença do ARC/INFO, e todas as suas extensões foram disponibilizadas gratuitamente através de contrato entre o *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), desenvolvedor do programa, e o LAPAG. Para o geo-referenciamento de imagens

de satélite foi utilizado o software ENVI (*The Environment for Visualizing Images*, desenvolvido pela *Research Systems Inc.*), o qual está disponível no CEPSRM.

3.2.3. Equipamentos de campo

Durante a realização do trabalho de campo, utilizou-se os seguintes equipamentos: um par de receptores GPS (*Global Positioning System*) Magellan ProMARK X-CM, com antena geodésica e baterias recarregáveis (pertencentes ao *Institut für Physische Geographie - IPG, Universität Freiburg*); um receptor GPS Garmin 12 XL (pertencente ao LAPAG); rádios comunicadores (pertencentes ao LAPAG); e toda a logística para atividades na Antártica (*e.g.*, roupas, transporte, alimentação), fornecida pelo Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).

3.2.4. Base de dados

No trabalho foram utilizados dados de diversas fontes (*e.g.*, IPG; cartas topográficas; dados de sensoriamento remoto) nos formatos digital e analógico. A Tabela 3.1 apresenta as principais características desses dados, e relaciona as informações que foram extraídas e integradas ao SIG.

O mosaico de imagens SPOT (*Système Probatoire pour l'Observation de la Terre*) e o modelo digital de elevação (MDE) da Ilha Rei George (IRG) foram disponibilizados no formato digital (formato de exportação do ARC/INFO) pelo IPG. As imagens SPOT (1988 e 1995), fotografias aéreas (1975), Carta Batimétrica da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), Carta do *Antarctic Place Names Committee (Foreign and Commonwealth Office)* e Carta Polonesa da Baía do Almirantado fazem parte do acervo de imagens e mapas do LAPAG. O *Composite Gazetteer of Antarctica* (WGGGI, 1999) encontra-se disponível na *internet*. E, finalmente, os demais dados fazem parte da biblioteca do LAPAG (Plano de Gerenciamento da AAEG e dissertações de mestrado) e do Instituto de Geociências/UFRGS (dissertações de mestrado).

Tabela 3.1 – Dados utilizados na implementação do SIG da AAEG Baía do Almirantado.

Título	Data	Escala/ Resolução	Fonte	Projeção e Datum	Origem dos dados	Dados integrados ao SIG
Admiralty Bay	1990	1:65.000	<i>Polskiej Akademii Nauk</i> , Polônia	Sistema de Coordenadas de Gauss-Krüger e coordenadas geográficas, elipsóide Krassowski, 1942	Levantamento de campo com teodolito e fotografias aéreas de 1978 e 1979	Sítio Histórico N.º 51, posição das frentes de gelo em 1979 e refúgios
<i>Antarctic Place Names Committee, Foreign and Commonwealth Office</i>	1986	1:100.000	<i>Antarctic Place Names Committee, Foreign and Commonwealth Office</i> , Reino Unido	Projeção Cônica Ortomórfica de Lambert, latitude de referência 70° S, elipsóide Internacional	Mapas do <i>British Antarctic Survey</i> (BAS) de 1968	Zona de referência costeira em 1956
Baía do Almirantado	1992	1:40.000	Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), Brasil	Projeção de Mercator, WGS84	Levantamentos da DHN e cartas batimétricas existentes	Batimetria
Levantamento com GPS	2000	15 m	LAPAG; <i>Institut für Physische Geographie</i> (IPG), <i>Universität Freiburg</i> , Alemanha	UTM, WGS84	Levantamento com GPS em 2000 pela Expedição Brasileiro-Germânica	Estações, refúgios, locais históricos e fauna
MDE da Ilha Rei George	2000	100 m	<i>Institut für Physische Geographie</i> (IPG), <i>Universität Freiburg</i> , Alemanha	UTM, WGS84	Dados apresentados na Tabela 3.2	Topografia
Imagem do satélite SPOT-1 XS	19/fev/1988	20 m	SPOT IMAGE Cena 725-478			Posição das frentes de gelo
Imagem do satélite SPOT-3 XS	29/mar/1995	20 m	SPOT IMAGE Cena 725-477			Posição das frentes de gelo
Mosaico de imagens SPOT XS	2000	20 m	<i>Institut für Physische Geographie</i> (IPG), <i>Universität Freiburg</i> , Alemanha e LAPAG	UTM, WGS84	Imagens SPOT XS, cenas 725-478 de 26/nov/1994, 725-477 de 29/mar/1995 e 725-477 de 23/fev/2000	Posição das frentes de gelo
<i>Composite Gazetteer of Antarctica</i>	2000		<i>SCAR Working Group Of Geodesy And Geographic Information</i>			Toponímias
Divisores de drenagem glacial da IRG	1998		Bremer (1998)		Interpretação de imagens SPOT	Bacias de drenagem glacial
<i>List of Protected Areas in Antarctica</i>	1997		<i>Foreign & Commonwealth Office</i> (1997)			Limites da AICE N.º 8
Plano de Gerenciamento da AAEG Baía do Almirantado	1996		<i>Twentieth Antarctic Treaty Consultative Meeting</i> , Utrecht, ATCPs (1996)			Limites da AAEG Baía do Almirantado
Pontos de profundidade Na Baía do Almirantado	1989		Gruber (1989)	Coordenadas geográficas, WGS84	Coleta de sedimentos de fundo	Batimetria
Pontos de profundidade em frente a Geleira Lange	1999		Aquino (1999)	Coordenadas geográficas, WGS84	Coleta de sedimentos de fundo	Batimetria

3.3. Métodos

3.3.1. Definição dos planos de informação

Para a definição das informações iniciais do SIG da AAEG, considerou-se os objetivos do Plano de Gerenciamento da área (seção 1.4), a necessidade de uma base cartográfica e a disponibilidade de dados previamente coletados. Foram escolhidos os seguintes planos de informação: altimetria, zona de referência costeira, batimetria, glaciologia, áreas livres de gelo, feições antropogênicas (limites de áreas e ocupação humana), colônias de aves e toponímias (nomes geográficos).

Definiu-se inicialmente a altimetria, batimetria e zona de referência costeira em 2000, para constituir a base cartográfica da AAEG, devido a sua importância para a própria delimitação da AAEG (Simões *et al.*, 2001). As informações de glaciologia, áreas livres de gelo e histórico da zona de referência costeira estavam disponíveis através de trabalhos desenvolvidos pelo LAPAG (Bremer, 1998; Simões *et al.*, 1999) e acervo de cartas topográficas e imagens de satélite desse laboratório, contribuindo para a compreensão dos processos naturais que ocorrem na área (*e.g.*, retração glacial) [seção 4.4]. Informações referentes à ocupação humana e limites de áreas procuram auxiliar na regulamentação de operações logísticas e turísticas na área (seção 1.4). O plano das colônias de aves auxilia na proteção de valores biológicos e ecológicos locais (seções 1.4 e 4.5). Finalmente, o plano de informações das toponímias é necessário para padronizar os nomes geográficos, conforme recomendação do SCAR *Working Group on Geodesy and Geographic Information* (SCAR WG-GGI) [Sievers e Thomson, 1995].

3.3.2. Definição da escala e projeção cartográfica

A escolha da escala e projeção cartográfica a serem adotadas é essencial para a implementação de um projeto de SIG. Em função da resolução e escala dos dados de entrada (Tabela 3.1), definiu-se 1:50.000 como padrão para o SIG da AAEG. Porém, para a utilização das informações deverá ser verificada a compatibilidade das características (*e.g.*,

escala original, resolução, precisão estimada) de cada conjunto de dados (Tabela 3.2), com a precisão necessária para a análise a ser realizada.

A projeção cartográfica adotada é a Projeção Cônica Conforme de Lambert, com o elipsóide de referência WGS84 (*World Geodetic System 1984*), conforme sugestão de Sievers e Bennat (1989). Os autores baseiam-se em recomendação do SCAR WG-GGI para a utilização das especificações da Carta do Mundo ao Milionésimo, no mapeamento em escalas maiores que 1:1.000.000.

De acordo com essas especificações, entre 84° N e 80° S o globo pode ser dividido em zonas paralelas de 4° de latitude usando a Projeção Cônica Conforme de Lambert, com dois paralelos padrão. A Ilha Rei George localiza-se na folha SP 21-22, a qual possui os seguintes paralelos padrão: (1) 60° 40' S e (2) 63° 20' S. O meridiano central adotado foi 58° 15' W (utilizado na Carta Imagem da IRG), para a padronização com os dados do KGIS.

Tabela 3.2 – Erros estimados para cada conjunto de dados.

Título	Plano de Informações gerado	Escala original/resolução	Erro horizontal estimado *	Obs.:
MDE da IRG	Base topográfica	100 m	100 m	Resolução do MDE
<i>Antarctic Place Names Committee Foreign and Commonwealth Office</i>	Zona de referência costeira em 1956	1:100.000	144 m	RMS do geo-referenciamento + 0,3 mm na escala de suposto erro médio de digitalização
Admiralty Bay	Zona de referência costeira em 1979	1:65.000	84,5 m	01 mm na escala + 0,3 mm na escala de suposto erro médio de digitalização
Imagem do satélite SPOT-1 XS	Zona de referência costeira em 1988	20 m	22,8 m	RMS do geo-referenciamento da imagem
Imagem do satélite SPOT-3 XS	Zona de referência costeira em 1995	20 m	21,6 m	RMS do geo-referenciamento da imagem
Mosaico de imagens SPOT XS	Zona de referência costeira em 2000	20 m	40 m	RMS máximo do geo-referenciamento das imagens
Baía do Almirantado	Base batimétrica	1:40.000	52 m	01 mm na escala + 0,3 mm na escala de suposto erro médio de digitalização
Mosaico de imagens SPOT XS	Glaciologia (área coberta por gelo)	20 m	40 m	RMS máximo do geo-referenciamento das imagens
Mosaico de imagens SPOT XS	Áreas livre de gelo	20 m	40 m	RMS máximo do geo-referenciamento das imagens
Levantamento com GPS	Feições antropogênicas	15 m	15 m	RMS
Levantamento com GPS	Colônias e áreas de reprodução	15 m	15 m	RMS

* Observação: A estimativa dos erros horizontais foi realizada tendo como base o erro médio quadrático (RMS) do geo-referenciamento das imagens de satélite e constantes no manual do GPS (seção 3.3.4.6), para esses conjuntos de dados. No caso das cartas topográficas, seguindo recomendações da Eng. Cart. Andréia L. Ieschek (comunicação pessoal), foi estimado o erro original de cada carta através da utilização do Padrão de Qualificação das Cartas (Brasil, 1984) adotado no Brasil. Tendo como base esse padrão, todas as cartas foram atribuídas a Classe C (classe inferior da classificação) onde 90 % dos pontos representados devem possuir erro máximo de 1,0 mm na escala da carta. Para a estimativa, o erro atribuído à carta foi somado a 0,3 mm na escala, como suposto erro médio de digitalização, exceto na carta do *Antarctic Place Names*

Committee, Foreign and Commonwealth Office, onde o RMS obtido com o geo-referenciamento foi atribuído como erro da carta, por resultar em valor maior.

3.3.3. Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado no verão austral de 1999/2000 e teve como objetivo principal a realização de levantamento com GPS. Com a utilização do GPS Magellan, foram obtidos pontos para representar as localizações das estações científicas, refúgios, locais históricos e fauna na Península Keller (a seção 3.3.4.6 descreve o procedimento adotado para o levantamento). Durante os levantamentos, foram realizadas observações sobre a dinâmica do ambiente e comportamento dos turistas e pesquisadores no local, levando em consideração o Protocolo de Madri (ATCPs, 1993).

3.3.4. Elaboração dos diferentes planos de informação

3.3.4.1. Altimetria

O plano de informação referente a altimetria baseia-se no trabalho desenvolvido por Braun *et al.* (2001a), os quais elaboraram um MDE da IRG. Os autores utilizaram dados derivados do ADD (BAS, 1998), Carta Polonesa da Baía do Almirantado (Polskiej Akademii Nauk, 1990), Carta Chilena da Península Fildes (Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile, 1993), MDE da Península Potter e levantamentos por DGPS da porção sudoeste da ilha (1997/1998 e 1999/2000). A Tabela 3.3 apresenta detalhes das fontes de dados utilizadas na elaboração do MDE.

O MDE foi disponibilizado no formato digital, tendo sua inserção no sistema ocorrido a partir da conversão do formato de exportação de dados do ARC/INFO (.E00) para o próprio formato de dados matriciais desse programa (*GRID*). Para a representação da topografia em mapas, foram geradas curvas de nível com 50 metros de equidistância.

Tabela 3.3 – Dados utilizados na elaboração do MDE da IRG. (Modificada de Braun *et al.*, 2001a e Simões *et al.*, 2001).

Título	Data	Escala/ Resolução	Acurácia vertical estimada	Fonte	Projeção e Datum	Origem dos dados
Admiralty Bay	1990	1:65.000	30 m	<i>Polskiej Akademii Nauk</i> , Polônia	Sistema de Coordenadas de Gauss-Krüger e coordenadas geográficas, elipsóide Krassowski, 1942	Levantamento de campo com teodolito e fotografias aéreas de 1978 e 1979
<i>Antarctic Digital Database (ADD)</i> , v.2	1998	1:200.000	100 m	Homepage do SCAR	Projeção Estereográfica Polar	Mapas do <i>British Antarctic Survey (BAS)</i> de 1968
<i>Fildes Bay</i>	1993	1:50.000	30 m	<i>Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile</i> em cooperação com o <i>Centro de Percepción Remota y Sig de la Universidad Católica</i>	Projeção Cônica Conforme de Lambert, latitude de referência 68° S, elipsóide International 1924	Imagem SPOT de 31/03/1991
Levantamento com DGPS	1997/ 1998	1 m	2 m	<i>Institut für Geophysik, Universität Münster; Institut für Physische Geographie (IPG), Universität Freiburg, Alemanha</i>	UTM, WGS84	Levantamento com DGPS móvel em 1997/1998 pela Expedição Brasileiro-Germânica
Levantamento com DGPS	1999/ 2000	1 m	2 m	<i>Institut für Physische Geographie (IPG), Universität Freiburg, Alemanha; LAPAG</i>	UTM, WGS84	Levantamento com DGPS móvel em 1999/2000 pela Expedição Brasileiro-Germânica
MDE da Península Potter	1996	10 m	5 m	<i>Fachbereich Kartographie und Vermessungswesen, Fachhochschule Karlsruhe</i>		Restituição de fotografias aéreas da FIDASE, 1956

3.3.4.2. Zona de referência costeira

Diversos autores têm detectado rápidas mudanças na linha que representa a zona de referência costeira da Baía do Almirantado devido à retração das frentes das geleiras (Simões *et al.*, 1999; Braun *et al.*, 2001a). Para possibilitar a comparação e quantificação dessas mudanças, foram criados planos de informação contendo a posição da zona de referência costeira em datas diferentes (1956, 1979, 1988, 1995 e 2000), abrangendo todo o período para o qual existem dados. Basicamente, esses planos foram criados a partir do arquivo de cartas topográficas e imagens de satélite do LAPAG.

Para a delimitação da zona de referência costeira multitemporal, duas imagens SPOT (SPOT-1 XS 725-478 e SPOT-3 XS 725-477) foram geo-referenciadas ao mosaico de imagens SPOT elaborado por Braun *et al.* (2001b). O processo baseou-se na obtenção de pontos de controle na imagem a ser geo-referenciada, que correspondem a pontos no mosaico inicial. Para encontrar os valores de coordenadas correspondentes a todos os *pixels* (*picture elements*) foi necessário estabelecer a relação entre os dois sistemas de coordenadas cartesianas. Um descrevendo a localização dos pixels no mosaico e outro definindo a localização dos mesmos na imagem. O método que relacionou estes dois sistemas de coordenadas baseou-se na utilização de transformação polinomial de primeiro grau.

Os centros dos pixels da imagem original não correspondem aos centros daqueles pixels na nova imagem. Desta maneira, foi necessário realizar reamostragem dos pixels por interpolação. Esse processo pode ser realizado de três maneiras: interpolação pelo vizinho mais próximo, interpolação bilinear ou convolução cúbica (Richards, 1993). Nesse trabalho usou-se a interpolação pelo vizinho mais próximo, o qual apenas transfere o valor do contador digital para o novo pixel. Esse valor é obtido no pixel da imagem antiga e ao qual corresponde a maior área no pixel da nova imagem. Essa é a técnica preferida quando se pretende realizar uma classificação na nova imagem, pois preserva o brilho original do pixel.

A zona de referência costeira em 1956 foi obtida através da digitalização da carta da Ilha Rei George, na escala 1:100.000, elaborada em 1986 pelo *Antarctic Place Names Committee* do *Foreign and Commonwealth Office* através de compilação das cartas do BAS (1968). Com utilização de *scanner*, essa carta foi digitalizada com 300 pontos-por-

polegada (formato TIFF) e geo-referenciada no ARC/INFO, com erro médio quadrático (RMS) de 114 m, e posteriormente convertidos os parâmetros de projeção.

A mesma metodologia foi utilizada para a obtenção da zona de referência costeira em 1979. A Carta Polonesa da Baía do Almirantado (1:65.000) foi geo-referenciada para a Projeção Gauss-Krüger (RMS de 14m) e convertida para a projeção utilizada neste trabalho.

Para a obtenção da zona de referência costeira em 1988 e 1995, as imagens do satélite SPOT (SPOT-1 XS 725-478 e SPOT-3 XS 725-477 para 1988 e 1995, respectivamente) foram geo-referenciadas no ENVI e digitalizadas no ARC/INFO. No geo-referenciamento da imagem de 1988 foi obtido um RMS de 22,8 m (1,14 pixel) com a utilização de 13 pontos de controle, enquanto para a imagem de 1995 esse erro é de 21,6 m (1,08 pixel) com 20 pontos de controle. A zona de referência costeira no ano 2000 foi digitalizada a partir do mosaico de imagens SPOT, elaborado por Braun *et al.* (2001b).

3.3.4.3. Batimetria

Esse plano foi gerado a partir da Carta Batimétrica da Baía do Almirantado, (Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1992), dados de profundidade obtidos por amostragem de fundo (Gruber, 1989 e Aquino, 1999) e a linha que representa a zona de referência costeira (exceto em frentes das geleiras flutuantes, ou seja, falésias de gelo). A Figura 3.1 mostra a distribuição dos 635 pontos (540 gerados a partir da Carta da DHN e 95 provenientes de amostragens de fundo) e a linha da zona de referência costeira utilizada para interpolar o MDE da Baía do Almirantado.

Devido à falta de dados de marés da época dos levantamentos, não foi realizada a redução dos valores para estabelecer o nível médio dos mares. Os valores de batimetria foram utilizados sem avaliação da referência de profundidade e condições de posicionamento.

Inicialmente foram integrados ao sistema os dados da Carta Batimétrica, digitalizados através de um *scanner* de grande formato (com 300 pontos-por-polegada de resolução). No formato digital (TIFF) a carta foi geo-referenciada no ARC/INFO para a Projeção de Mercator (aquela em que foi elaborada a carta), com RMS de 32 m, depois convertida para a Projeção Cônica Conforme de Lambert. Foram, então, digitalizados os

pontos de batimetria. Para cada ponto digitalizado, foi atribuído o valor de sua profundidade.

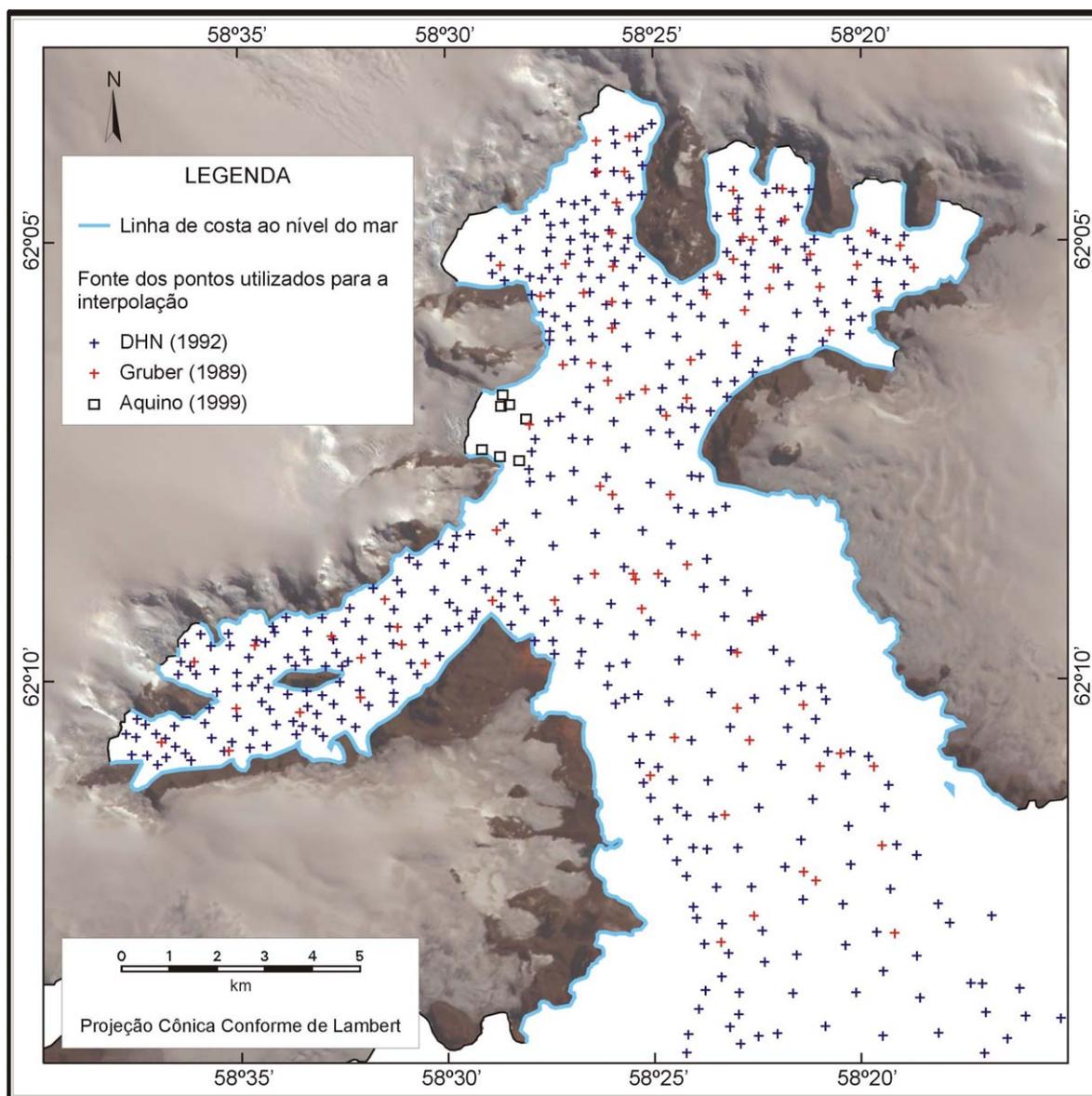


Figura 3.1 – Distribuição dos dados utilizados na elaboração da batimetria da Baía do Almirantado.

Os dados provenientes dos trabalhos desenvolvidos por Gruber (1989) e Aquino (1999) encontravam-se na forma de tabelas impressas, com as coordenadas geográficas e os valores de profundidade. Foram inseridos no sistema através do teclado, pela simples digitação das coordenadas e profundidade de cada ponto. No ARC/INFO, os pontos também foram convertidos para a Projeção Cônica Conforme de Lambert.

A linha representando a zona de referência costeira foi utilizada somente nos locais que não possuem frentes das geleiras flutuando, para os quais foi atribuído o valor “0” de profundidade (correspondente ao nível do mar). Nos locais onde as frentes flutuam, não foi utilizado o valor “0” para permitir a influência dos pontos de profundidade conhecida próximos a essas frentes.

O ARC/INFO possui um módulo (TOPOGRID) especialmente desenvolvido para integrar diferentes tipos de dados em um mesmo MDE, permitindo a interpolação nos formatos de linhas e pontos. Esse módulo é otimizado para possuir a eficiência computacional de métodos interpoladores locais tais como “inverso da distância euclidiana”, sem perder a continuidade da superfície dos interpoladores globais como *kriging* e *spline* (ESRI, 2000). Com o TOPOGRID, foram interpolados os pontos de batimetria e a zona de referência costeira, usando-se a resolução de 100 m para o MDE⁵. A Figura 3.2 apresenta uma visualização tridimensional do MDE gerado. Para a representação da batimetria em mapas, foram geradas curvas de nível com 50 metros de equidistância.

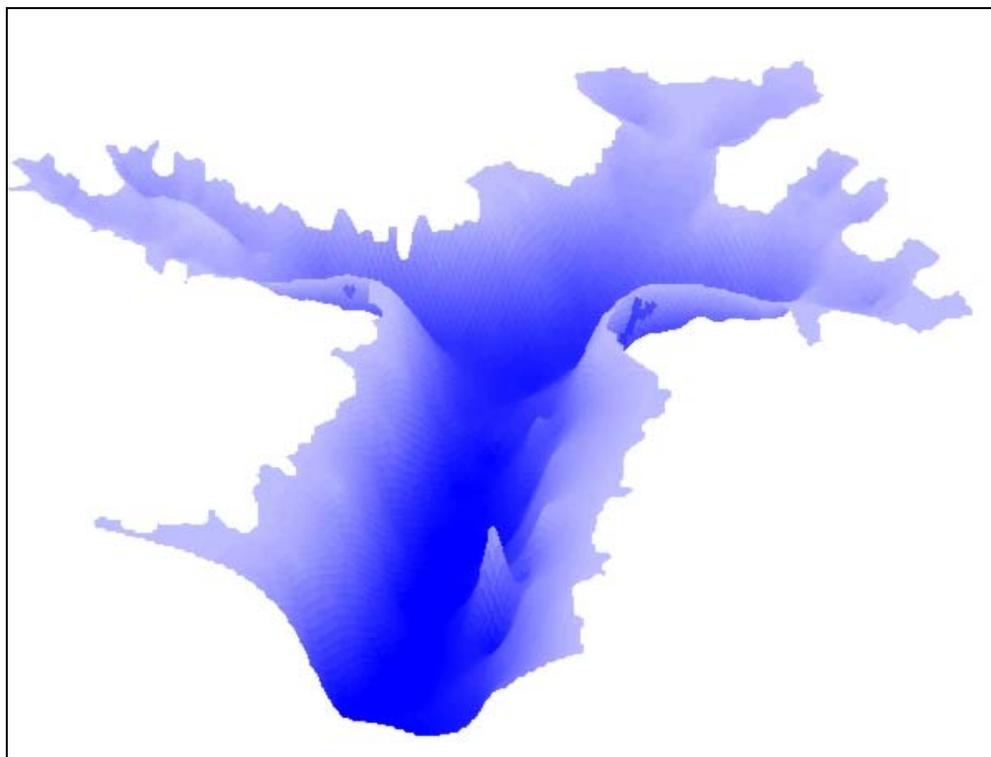


Figura 3.2 – Visualização tridimensional, a partir de sudeste, da batimetria da Baía do Almirantado. Exagero vertical de 3 vezes.

⁵ Optou-se por 100 m de resolução de saída para o MDE da batimetria, para facilitar a integração com o MDE da topografia, que foi gerado com essa resolução.

3.3.4.4. Glaciologia

Este plano corresponde à delimitação das bacias de drenagem glacial da AAEG Baía do Almirantado. A partir dessa delimitação foi gerado, também, o plano de informação da cobertura de gelo da área de estudo no ano 2000.

Tendo como base os trabalhos desenvolvidos por Bremer (1998) e Simões *et al.* (1999) e com a utilização do ARC/INFO, as bacias de drenagem foram delimitadas sobre o mosaico de imagens SPOT com as curvas de nível sobrepostas (Figura 3.3).

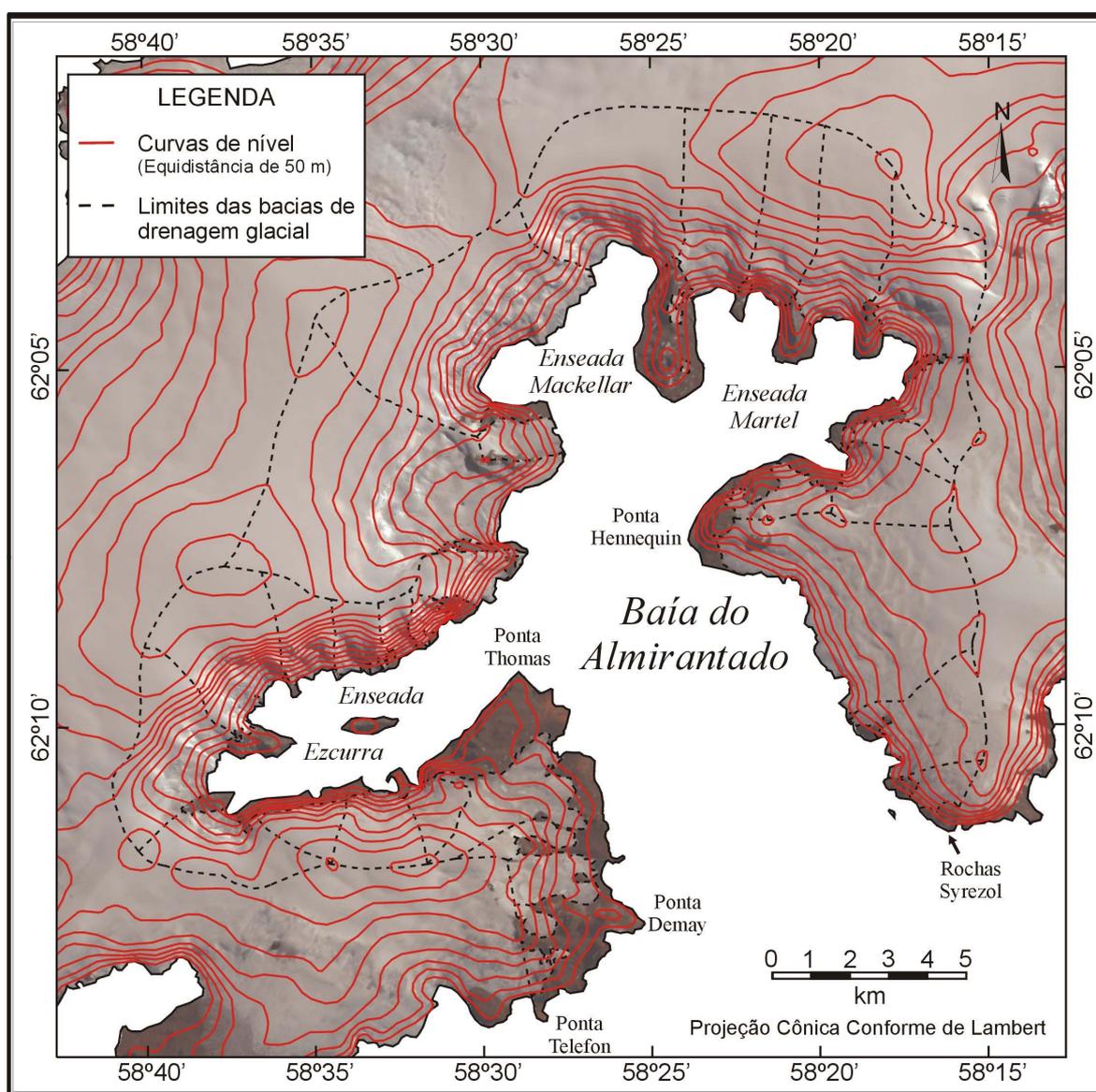


Figura 3.3 – Dados utilizados na delimitação das bacias de drenagem glacial da AAEG Baía do Almirantado.

A utilização das curvas de nível aumentou a precisão da delimitação dessas bacias, realizadas anteriormente por Bremer (1998). Essas curvas demarcaram mais precisamente os limites onde as mudanças de declividade são suaves e não permitem a precisa distinção no mosaico (*e.g.*, limite noroeste da Geleira Domeyko). Porém, em alguns locais as curvas de nível não correspondem aos verdadeiros divisores interpretados com segurança no mosaico (*e.g.*, o divisor entre a Geleira Krak e a Geleira Professor). Isso ocorre em locais onde faltaram dados atualizados para a elaboração do MDE, a partir do qual foram geradas as curvas de nível. Para a delimitação, foram considerados os melhores conjuntos de evidências em ambos os dados (mosaico e curvas de nível).

3.3.4.5. Áreas livres de gelo

Somente 8,8 % da AAEG está livre de gelo. Possuem, no entanto, uma importância muito grande, pois esse ambiente é o habitat de quase todas as espécies animais e vegetais das terras emersas locais. Aí, ocorrem também os maiores impactos antrópicos ao ecossistema local (Harris, 1991a). O plano de informação dessas áreas foi gerado pela subtração do plano da cobertura de gelo e aquele da linha de costa (operação realizada no ARC/INFO).

3.3.4.6. Feições antropogênicas

Foram integradas ao SIG as estações científicas, refúgios, monumentos históricos (reconhecidos ou não), principais caminhos na Península Keller, delimitação da AICE N.º 8, e a delimitação da própria AAEG. Essas feições estão representadas por três tipos de entidades geográficas: pontos, linhas e polígonos. Pontos representam aquelas feições que não possuem área suficiente para serem representados como polígonos na escala 1:50.000, tais como estações científicas, refúgios e monumentos históricos. Linhas representam os principais caminhos na Península Keller, e polígonos representam os limites da AICE N.º 8 e da própria AAEG.

Esses planos de informação foram obtidos pelo levantamento de campo, ou de mapas ou utilizando-se dados gerados por este trabalho. O levantamento de campo foi realizado com a utilização do GPS Magellan. As coordenadas de cada feição foram obtidas através da média de 1500 pontos coletados em cada tomada, permitindo uma precisão de 15 m RMS (Magellan Corporation, 1999).

Para testar a precisão do equipamento na região em estudo, foi realizada medição da estação de triangulação da DHN, próxima a EACF, a qual possui coordenadas conhecidas. Foi obtido um erro de 12,2 m, a partir de uma média de 1000 pontos, compatível com o previsto no manual do GPS para este tipo de levantamento.

As coordenadas das estações científicas, refúgios (com exceção do refúgio polonês próximo a Ponta Uchatka e do refúgio norte-americano Pietr J Lenie, na Ponta Llano) e monumentos históricos não-oficiais (cruzes de madeira em homenagem a quatro ingleses e um brasileiro que faleceram na região, e o esqueleto de baleia montado pelo explorador francês Jacques Cousteau), foram levantados através do procedimento descrito acima. No levantamento das estações (EACF, Estação Henryk Arctowski e Estação Machu Picchu), a antena do GPS foi posicionada em frente à porta principal. Já os refúgios tiveram a sua localização medida em um dos cantos da construção, tendo sido escolhida posição onde obstáculos (*e.g.*, elevações próximas ao refúgio) não interferissem na recepção do sinal dos satélites. Os pontos dos monumentos históricos foram coletados no seus centros (cruz central, do conjunto de cinco cruzes de madeira; e vértebra aproximadamente na metade do comprimento do esqueleto da baleia). A inserção no sistema ocorreu com a digitação dos valores dessas coordenadas através do módulo de edição do ARC/INFO, que permite a entrada de dados com a utilização do teclado.

Os refúgios polonês e norte-americano e o Sítio Histórico N.º 51, foram integrados ao sistema através da digitalização da Carta Polonesa, no ARC/INFO (a seção 3.3.3.2 descreve o geo-referenciamento dessa carta).

Os principais caminhos percorridos por turistas e pesquisadores na Península Keller foram digitalizados diretamente sobre o mosaico de imagens SPOT, tendo como base os mapas do plano de gerenciamento da AAEG Baía do Almirantado (ATCPs, 1996). Feições como a EACF, os pontos históricos não-oficiais, os refúgios e a linha de costa, serviram de apoio para a localização dos caminhos.

A delimitação da AICE N.º 8, ocorreu através da digitalização sobre o mosaico SPOT, utilizando a descrição dos limites da área (Foreign & Commonwealth Office, 1997), com exceção do limite leste, que corresponde à linha que representa a zona de referência costeira e foi adquirido deste plano de informação. Os limites da AAEG Baía do Almirantado foram baseados na descrição da área apresentada no plano de gerenciamento (ATCPs, 1996). A nova delimitação das bacias de drenagem glacial da Baía do Almirantado permitiu aperfeiçoar esses limites. Este plano de informação foi inserido com a digitalização do limite da AAEG no Estreito de Bransfield e sobreposição dos divisores da bacia de drenagem da Baía do Almirantado e limites da AICE N.º 8.

3.3.4.7. Colônias e áreas de reprodução

Duas colônias de Gaivotões (*Larus dominicanus*) e um campo de nidificação de Skuas (*Catharacta sp.*), localizados na Península Keller, formaram o primeiro plano de informações referente a biologia da AAEG. Essas colônias foram escolhidas em função de estarem localizadas na mesma península onde encontra-se instalada a EACF, estando suscetíveis a interferência humana devido a falta de obstáculos naturais (*e.g.*, geleiras) que as separem da estação. As coordenadas de localização dessas colônias foram obtidas no levantamento de campo, com a utilização do GPS Magellan, usando a metodologia descrita na seção 3.3.4.2.

3.3.4.8. Toponímia

Em função do grande número de países que realizaram atividades na Baía do Almirantado, é comum o uso de vários nomes para a mesma feição. Como exemplo temos a própria IRG, além de seu nome mais conhecido (*King George Island*), são encontrados três outros nomes (*Isla Rey Jorge, Isla 25 de Mayo e Waterloo Island*) [Braun *et al.*, 2001a]. Nesse trabalho e nesta dissertação a seleção das toponímias utilizou a regra proposta por Sievers e Thomson (1995). Esses autores sugerem a adoção de um nome por feição, dando prioridade para o primeiro nome que se tem registro, porém, com as seguintes exceções:

- (a) O nome original publicado em mapas e gazetas foi omitido em publicações mais recentes ou falta aprovação formal pelas autoridades nacionais;
- (b) Para evitar confusões, no caso de uma feição mais conhecida possuir nome similar ou idêntico;
- (c) Quando levantamentos mais detalhados confirmarem uma descrição equivocada da feição geográfica;
- (d) Quando o nome de uma pessoa homenageada estiver escrito de forma incorreta;
- (e) Um nome mais recente é amplamente utilizado na literatura científica;
- (f) O nome histórico possui muitos componentes específicos.

As toponímias e localizações das feições foram extraídas das seguintes fontes: Birkenmajer (1980a); Carta Polonesa da Baía do Almirantado (Polskiej Akademii Nauk, 1990); e *Composite Gazetteer of Antarctica* (WGGGI, 1999). Histórico dos registros das feições foi obtida em Hattersley-Smith (1991).

As toponímias selecionadas (Figura 3.4) possuem, em sua maioria, partes de seu nome que referem-se a própria feição (*e.g.*, Thomas **Point**). Para permitir melhor compreensão das feições, os termos genéricos foram traduzidos para o português. A Tabela 3.4 apresenta os equivalentes em português para os nomes encontrados em seu idioma original.

As toponímias foram inseridas no sistema, através da digitalização de um ponto sobre o local central. Foi então criada uma tabela de atributos para a inserção do nome da feição referente a cada ponto. A Figura 3.4 mostra as toponímias selecionadas.

Tabela 3.4 – Equivalentes em português para os termos genéricos das toponímias. As iniciais indicam o idioma de origem (*i.e.*, In – inglês, Es – espanhol, Fr – Francês).

Nome genérico	Equivalência em Português
Anchorage (In)	Ancoradouro
Bank (In)	Banco
Bay (In)	Baía
Bluff (In)	Costão
Cordillera (Es)	Cordilheira
Cove (In)	Angra
Crag (In)	Escarpa
Dike (In)	Dique
Fondeadero (Es)	Ancoradouro
Glaciar (Fr)	Geleira
Glacier (In)	Geleira
Hill (In)	Morro
Icefall (In)	Cascata de gelo
Ice field (In)	Campo de gelo
Inlet (In)	Enseada
Moraine (In)	Moraina
Mount (In)	Monte
Needle (In)	Agulha
Peak (In)	Pico
Point (In)	Ponta
Promontorio (Es)	Promontório
Punta (Es)	Ponta
Rock(s) [In]	Rocha(s)
Slope (In)	Declive
Valley (In)	Vale

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Introdução

Este capítulo apresenta os resultados da implementação do SIG da AAEG. Quatro estudos de caso, desenvolvidos com os dados integrados neste sistema, são discutidos para exemplificar algumas de suas aplicações no gerenciamento da área. Os dois primeiros utilizam técnicas de representação da informação espacial para a revisão e descrição das características de feições que compõe e limitam a área, enquanto os estudos restantes constituem aplicações do SIG no monitoramento ambiental e estudos de impacto ambiental.

Inicialmente realizou-se a revisão dos limites da AAEG, conforme sugestões do Protocolo ao Tratado Antártico sobre Proteção ao Meio Ambiente - Protocolo de Madri (ATCPs, 1993), além da descrição das principais características geográficas. A geração de um MDE permitiu cálculos batimétricos da baía e elaboração de visualizações tridimensionais e perfis topográficos que auxiliaram na descrição de sua morfologia.

Com a integração de dados multitemporais, quantificou-se a retração das frentes de gelo da Baía do Almirantado, fato este que coincide com outras evidências de mudança climática na Península Antártica, descritas por diversos autores (Calvet e Corbera, 1993; King e Harangozo, 1998; Simões *et al.*, 1999; Braun *et al.*, 2001c) e que merecem estudos mais detalhados. E, finalmente, a Península Keller serviu como área teste para um pequeno estudo de impacto ambiental.

4.2. Revisão dos limites e principais características geográficas da AAEG

De acordo com o Anexo V do Protocolo de Madri (ATCPs, 1993), os planos de gerenciamento para áreas protegidas devem incluir mapas e fotografias que mostrem claramente os limites da área em relação a feições de destaque.

Tabela 4.1 – Valores de áreas (km²) da AAEG Baía do Almirantado apresentados no plano de gerenciamento e calculados no SIG da AAEG.

Áreas AAEG	Plano de Gerenciamento	SIG AAEG
Áreas cobertas por gelo	203	194
Áreas livres de gelo	37	30
Baía do Almirantado	122	131
Estreito de Bransfield	8	7
Área Total	370	362

As diferenças entre os valores apresentados na Tabela 4.1, em geral refletem as variações glaciais ocorridas na área entre 1956 e 2000 (*cf.* seção 4.4). Por outro lado, as diferenças encontradas nos valores das áreas livres de gelo representam estimativas equivocadas geradas pela falta de dados cartográficos ou satelitais precisos durante a primeira delimitação da área.

Representando aproximadamente 53,6 % da AAEG, a calota de gelo da IRG possui dois de seus três principais domos de gelo (A-C na Figura 4.1) delimitando essa área a norte e noroeste. Esses domos estão conectados um ao outro e ao terceiro (domo A) na principal direção da ilha, SW-NE (Simões *et al.*, 1999). A maior altitude é encontrada no domo C, com 706 m.

A leste e sudoeste, a AAEG tem como limite os pequenos platôs dos campos de gelo que levam o nome das respectivas penínsulas onde estão localizados. Na Figura 4.1, estes platôs estão representados pelas letras D (Campo de Gelo Kraków) e E (Campo de Gelo Warsawa).

Em todo o platô da calota de gelo da IRG ocorrem mudanças muito suaves na declividade (Figura 4.2), não sendo visíveis no local variações abruptas na superfície que indiquem os divisores de drenagem glacial (Simões *et al.*, 1999). Entretanto, aparecem bem marcados em imagens de satélite ótico (SPOT) [Figura 4.3] e radar (ERS-1) [Simões e Bremer, 1995], reforçando a validade da integração de dados diversos para a delimitação da AAEG.

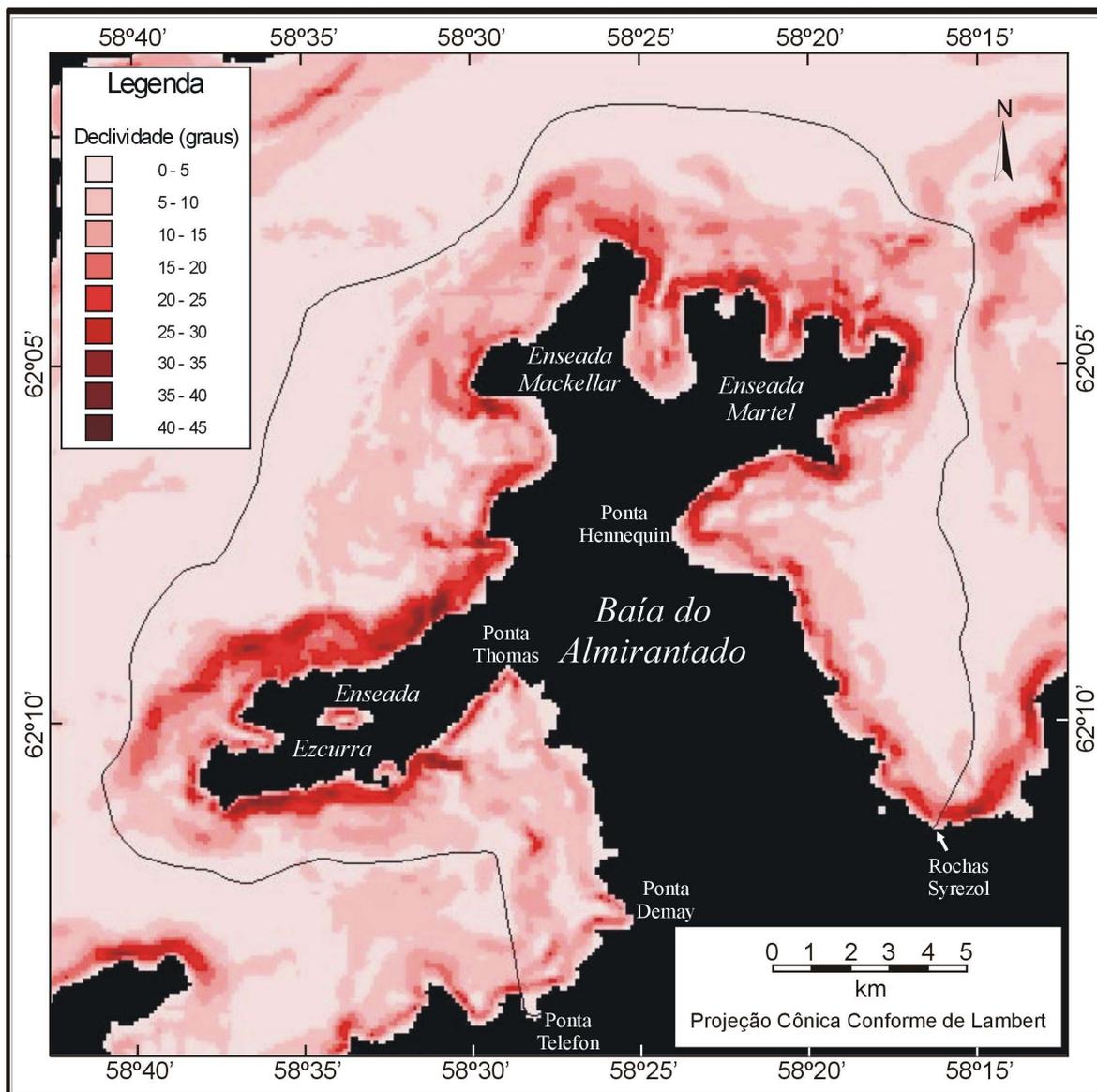


Figura 4.2 – Mapa de declividade da AAEG Baía do Almirantado.

No setor da Baía do Almirantado, a calota de gelo da ilha apresenta várias geleiras de descarga que drenam o platô através de depressões bem definidas, como a Geleira Lange (Figura 4.3), com rápido fluxo e muitas vezes terminando em cascatas de gelo (*e.g.*, geleiras Stenhouse, Ajax e Polar Committee). A Figura 4.3 apresenta as 35 bacias de drenagem glacial⁷ que estão dentro da AAEG. Desse total, 32 drenam o campo de gelo, as

⁷ O número de bacias de drenagem glacial apresentado neste trabalho corresponde ao número de geleiras possíveis de delimitar com o método utilizado (note a diferença no número de geleiras apresentado na seção 1.8.2). Apenas entre as geleiras Rybak e Nature Conservation não foi possível traçar um divisor de drenagem. Observou-se, também, que algumas “geleiras” possuem mais de uma bacia de drenagem (*e.g.*, geleiras Domeyko e Dobrowolski).

restantes são pequenas geleiras de anfiteatro da Península Keller (geleiras Flagstaff, Noble e Babilon). A Tabela 4.3 (seção 4.4) apresenta as áreas das bacias que drenam a calota de gelo da IRG.

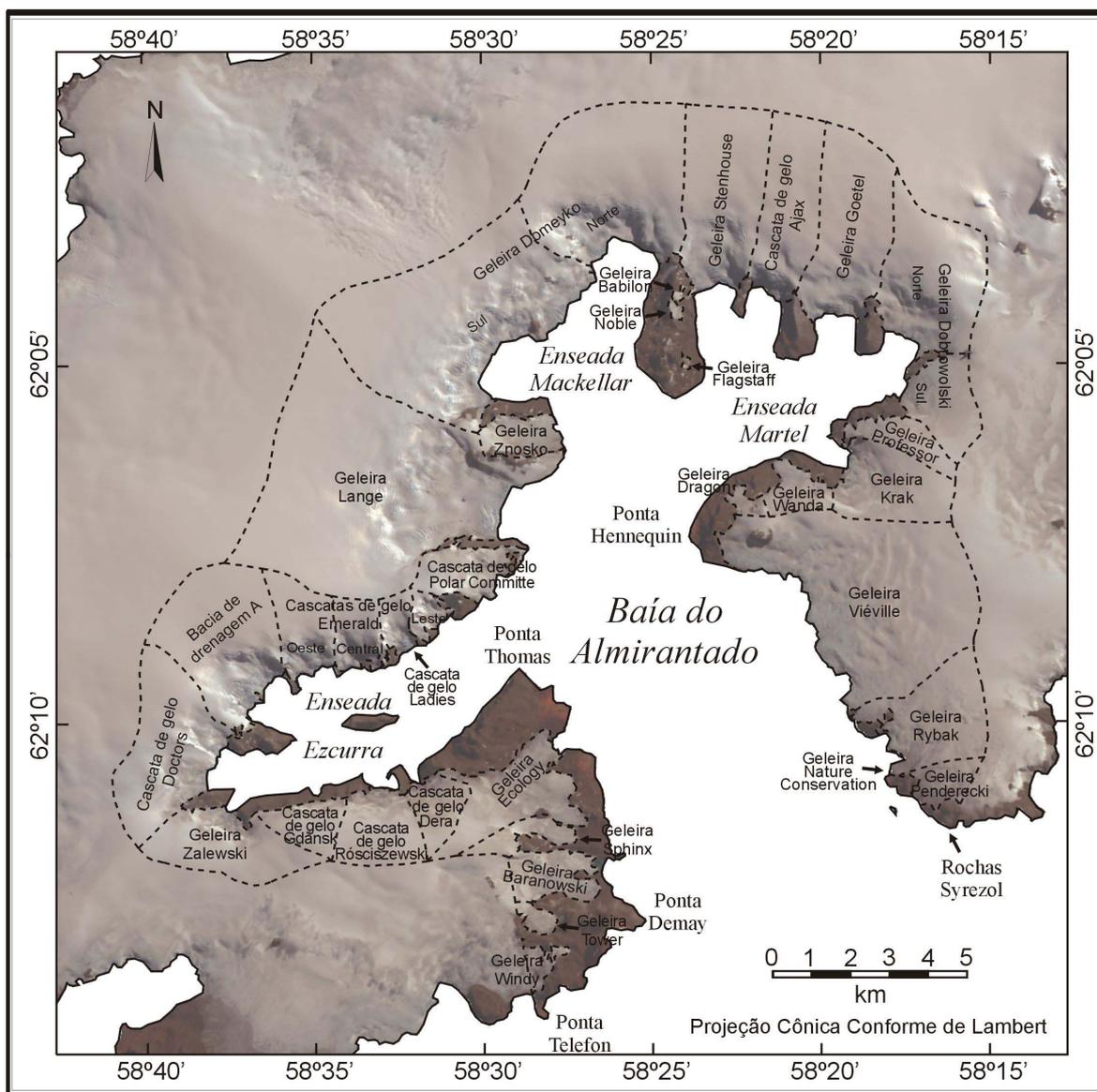


Figura 4.3 – Delimitação das geleiras da AAEG.

Na Figura 4.3 observa-se que as três principais enseadas (Ezcurra, Mackellar e Martel) da Baía do Almirantado recebem o aporte de gelo, água e sedimentos de 25 geleiras. As 10 geleiras restantes drenam diretamente para o corpo principal da Baía do Almirantado e estreito de Bransfield. As enseadas Ezcurra e Martel, possuem respectivamente 11 e 12 geleiras tributárias, já a Enseada Mackellar apenas 2.

Os 30 km² de áreas livres de gelo (8,3 % da AAEG) são formados por “oásis” e *nunataks* (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993). Segundo Marsz e Rakusa-Suszczewski (1987) *apud* Rakusa-Suszczewski *et al.* (1993), o termo “oásis” refere-se a áreas de terra separadas por massas de gelo de diferentes dimensões. Devido a sua localização costeira na Baía do Almirantado, esses “oásis” abrigam a maioria das espécies animais e vegetais terrestres do local.

4.3. Geração de um MDE para a AAEG

A união da batimetria e altimetria da AAEG em um mesmo MDE possibilitou a visualização tridimensional da área e descrição/revisão de algumas de suas características geomorfológicas e morfométricas. Para a visualização, foram configurados o exagero vertical, a sobreposição do mosaico de imagens satelitais (Braun *et al.*, 2001b), a localização do observador e o horizonte artificial (Figuras 4.4a e 4.4b). Foram, também, gerados dois perfis topográficos (Figura 4.5). O primeiro, no sentido longitudinal a baía, a partir do divisor da Geleira Domeyko até o limite da AAEG no Estreito de Bransfield. O segundo, transversal, do divisor da Geleira Lange até o divisor da Geleira Viéville, passando pelo centro da baía e Ponta Hennequin.

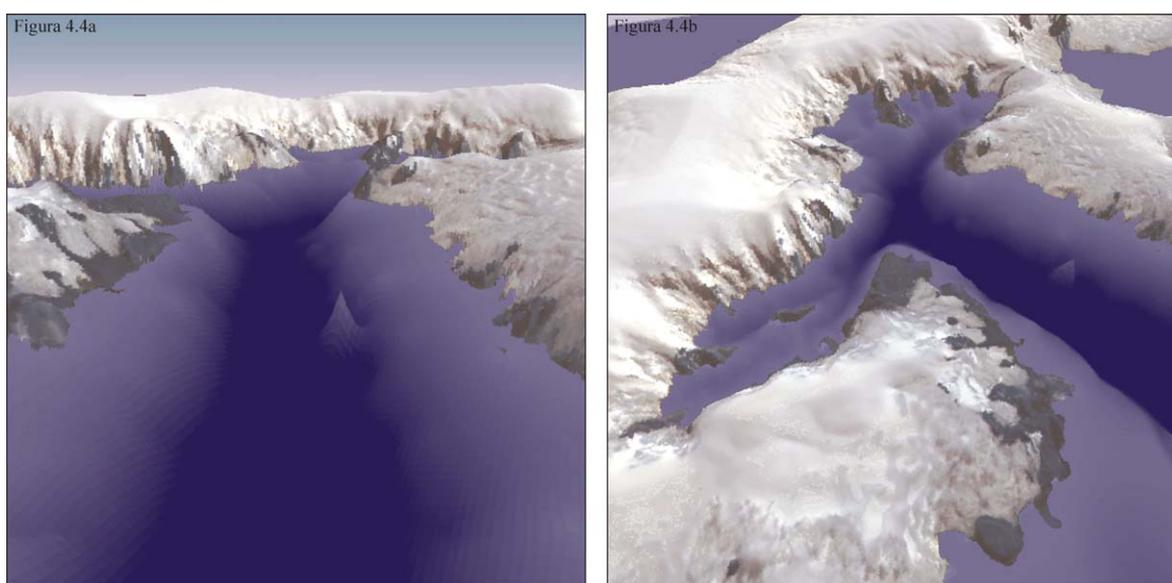


Figura 4.4a e 4.4b – Visualização tridimensional da AAEG. Ambas as visualizações apresentam um exagero vertical de 2 vezes, a Figura 4.4a apresenta uma vista de sudeste, a

uma altitude de aproximadamente 700 m, enquanto a Figura 4.4b apresenta uma vista de sudoeste a aproximadamente 1.200 m de altitude.

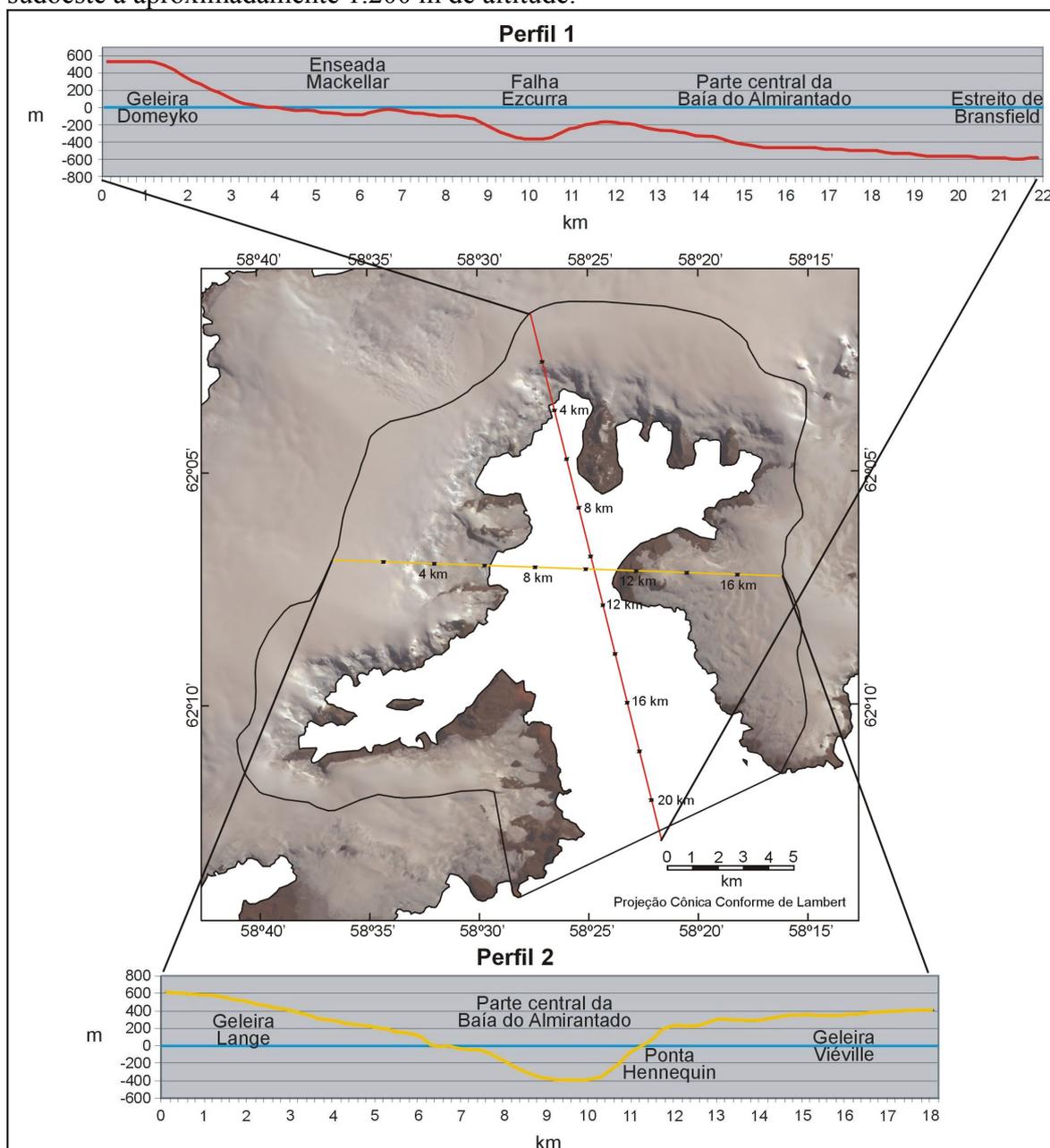


Figura 4.5 – Perfis topográficos da AAEG. O mapa apresenta a localização de cada perfil.

A Baía do Almirantado caracteriza-se como um fiorde, aberto amplamente para o Estreito de Bransfield ao sul (Figuras 4.4a e 4.4b) possuindo diversas morainas laterais e cristas (Figura 4.4a) em sua parte central em forma de “U” (Figuras 4.4a e 4.5, Perfil 2), que correspondem ao período do máximo glacial (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993). Na Figura 4.4a observa-se a simetria dos lados do fiorde, os quais se assemelham às formas de parábolas. Segundo Sugden e John (1991), essa forma é causada pela erosão glacial, pois a

velocidade do fluxo de gelo no centro de uma geleira é maior, favorecendo a erosão e transporte de material nesse ponto. O Perfil 1 (Figura 4.5) apresenta o gradiente de declividade do fiorde, o qual é interrompido por uma depressão bem marcada que corresponde a Falha Ezcurra (ver seção 1.8.1 para mais detalhes sobre a falha).

As enseadas Mackellar e Martel ao norte (Figura 4.1), constituem geomorfológicamente vales suspensos em relação a parte central da baía (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993). As águas da AAEG possuem um volume de 24,1 km³, sendo 22,8km³ da Baía do Almirantado e 1,4 km³ do Estreito de Bransfield. A Tabela 4.2 apresenta alguns valores médios.

Tabela 4.2 – Medidas batimétricas da AAEG.

	Área (km ²)	Profundidade média (m)	Volume de água (km ³)
Enseada Ezcurra	21	83	1,7
Enseada Mackellar	13	38	0,5
Enseada Martel	17	61	1,1
Parte central	80	242	19,4
Estreito de Bransfield	7	203	1,4
Total	138	176	24,1

Aproximadamente 50 % (69 km²) das águas da AAEG possuem profundidade até 100 m, sendo que entre o nível do mar e 50 m são encontradas 48 km². Essas áreas estão localizadas nas pequenas enseadas e praias da baía. As maiores profundidades, abaixo de 500 m, são registradas na porção central ao sul (Figura 4.6).

As terras emersas da AAEG constituem-se de gelo, rocha e *permafrost*, estando dispostas no sentido SE-NW devido ao controle estrutural originado pelas linhas de falha Ezcurra e Collins (seção 1.8.1) [Birkenmajer, 1983]. Na Figura 4.4b é possível observar claramente o acentuado gradiente vertical encontrado na Enseada Ezcurra devido a ocorrência da falha. A morfologia resultante é de uma enseada estreita, profunda e com a predominância de geleiras do tipo cascatas de gelo.

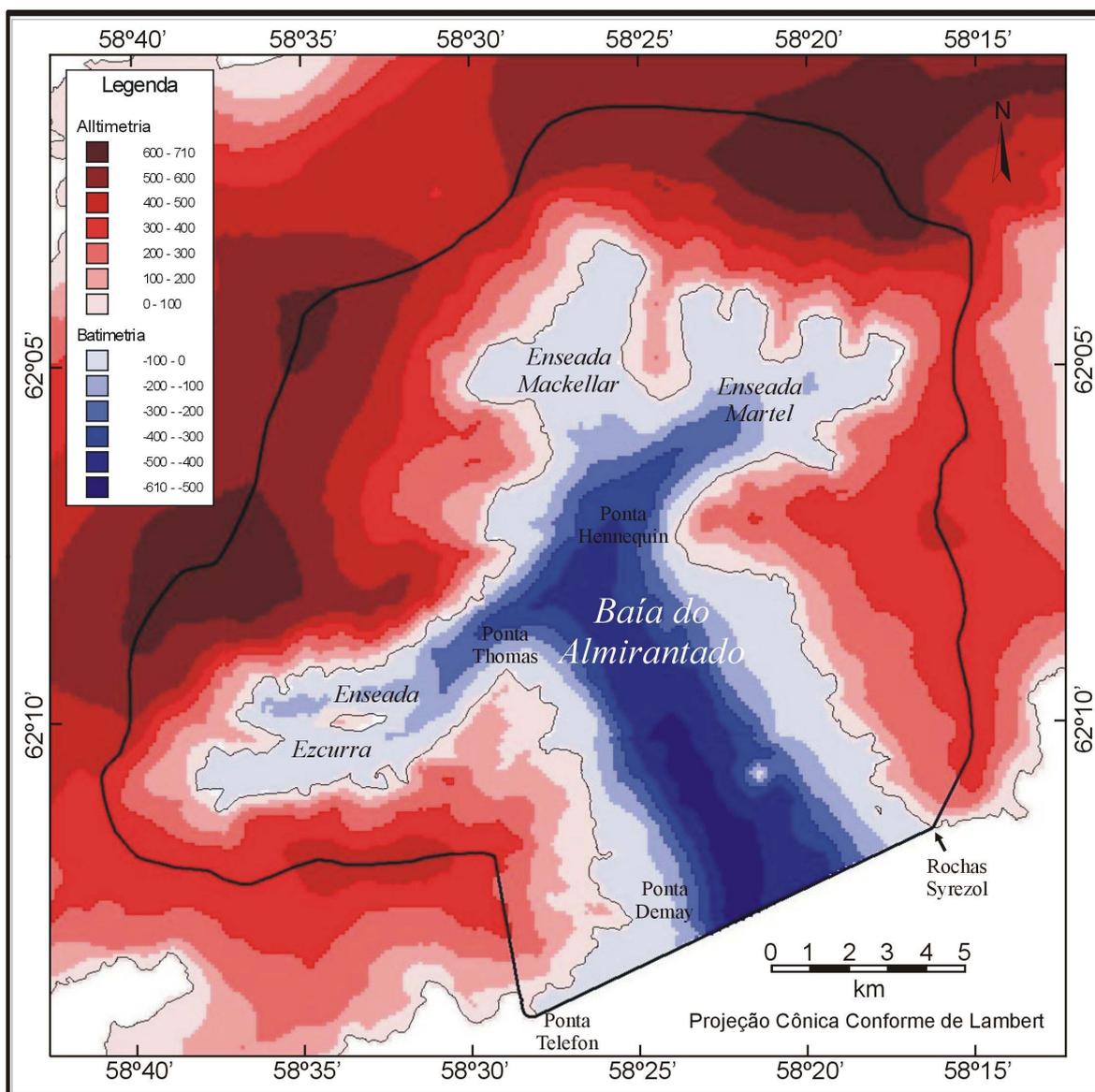


Figura 4.6 – Mapa hipsométrico da AAEG.

A porção da calota de gelo da IRG situada dentro da AAEG possui uma altitude média de 365 m, com 143,5 km² (74 %) de sua área superficial na zona de acumulação e 50 km² (26 %) na zona de ablação. A altitude da linha de equilíbrio desse campo de gelo encontra-se a aproximadamente 250 m, segundo Simões (comunicação pessoal). Futuramente, a integração de dados da topografia subglacial (Macheret *et al.*, 1997; Simões *et al.*, 1999) permitirá cálculos do volume de gelo de algumas geleiras da área, servindo para estudos de mudanças climáticas e balanço de massa.

4.4. Retração das frentes de geleiras

Baseado em registros de temperatura reunidos de milhares de estações meteorológicas foi constatado aumento na temperatura média global de $0,6^{\circ}\text{C}$ nos últimos 100 anos (IPCC, 1996); mais da metade do aquecimento ocorreu a partir da década de 70. No entanto, esse aumento não foi homogêneo no planeta. Na Península Antártica a temperatura média anual entre as latitudes 65° e 70°S aumentou aproximadamente 2°C durante os últimos 50 anos (King e Harangozo, 1998). Braun *et al.* (2001c) descrevem vários indícios de mudanças climáticas nessa região (Figura 4.7).

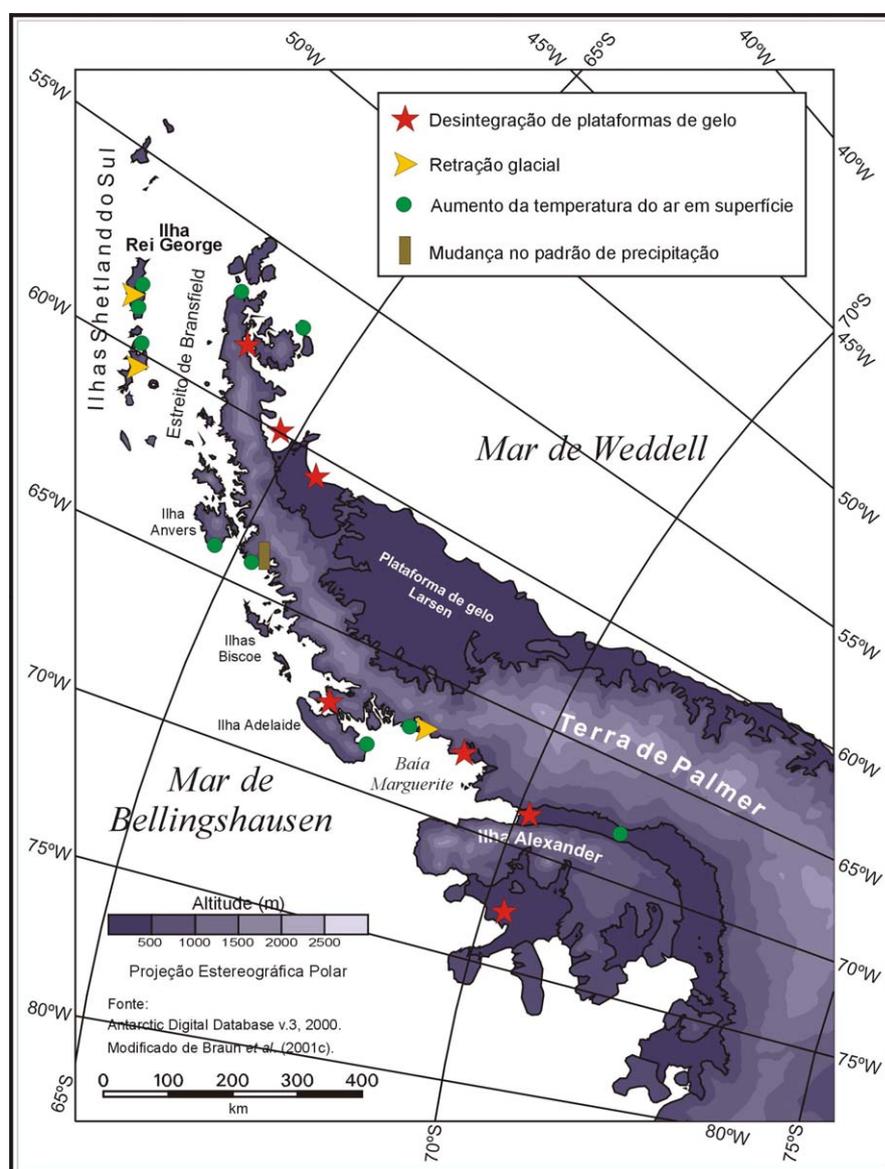


Figura 4.7 – Indicadores de mudanças climáticas na Península Antártica. (Modificado de Braun *et al.*, 2001c).

As massas de gelo das Shetlands do Sul, particularmente, são sensíveis às mudanças climáticas, em função da própria posição geográfica, da pequena espessura do gelo e por estarem muito próximas ao ponto de fusão sob pressão, ou mesmo coincidentes com ele (Simões *et al.*, 1999).

A implementação do SIG possibilitou a integração e cruzamento de dados de diversas fontes, correspondentes a posição das frentes de gelo da AAEG nos anos de 1956, 1979, 1988, 1995 e 2000. A partir da quantificação das diferenças entre as posições das frentes de geleiras, foi detectada significativa retração glacial na área a partir da década de 50 (Figura 4.8). As retrações inferiores aos valores dos erros apresentados por cada conjuntos de dados (Tabela 3.2) foram desconsideradas (*e.g.*, para o período 1995-2000, foram observados erros de geo-referenciamento das imagens, 40 m, e retrações inferiores a essas não foram consideradas no cálculo das variações).

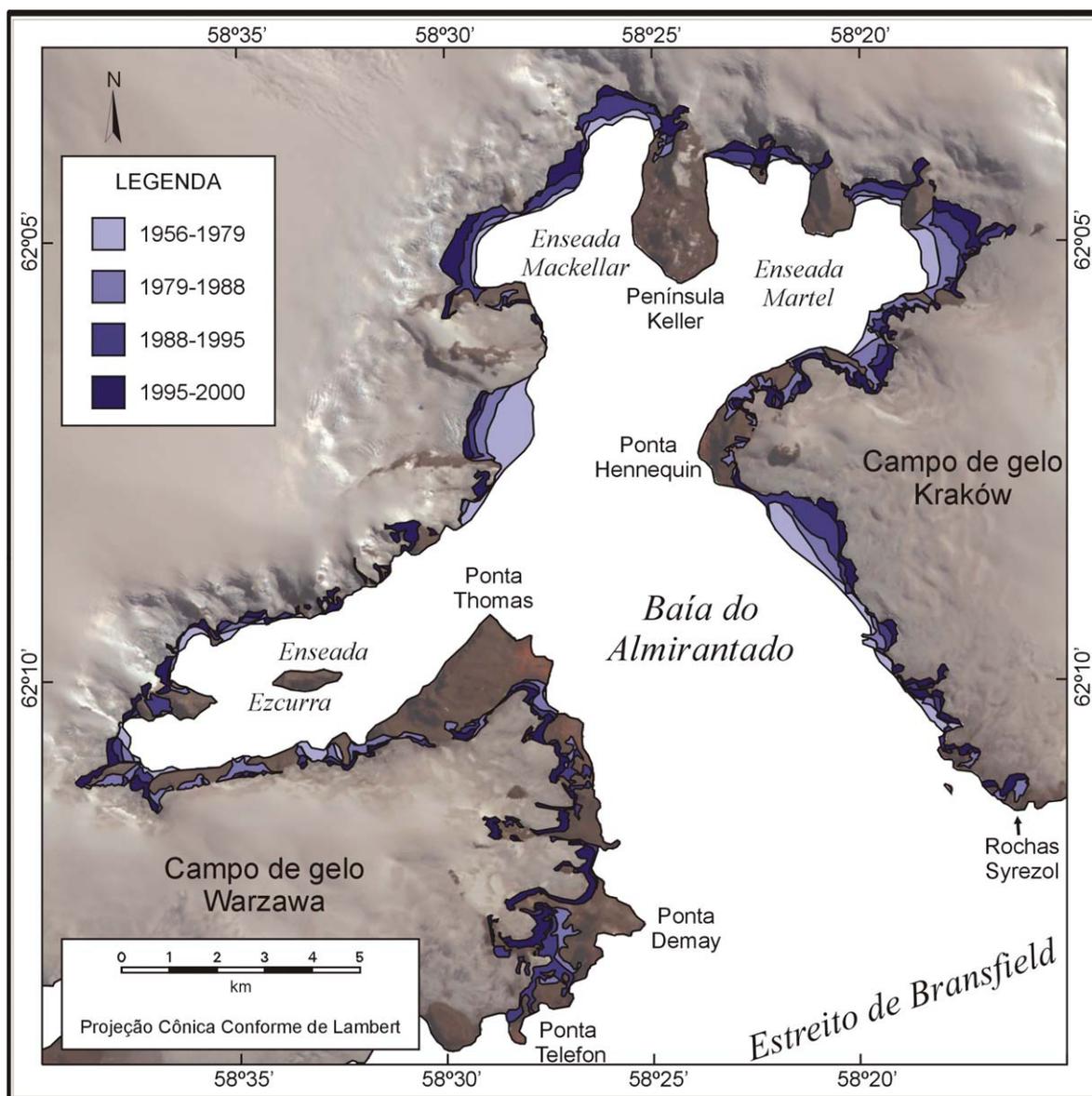


Figura 4.8 – Variações relativas nas frentes das geleiras da Baía do Almirantado entre 1956 e 2000.

No período 1956-1979, a AAEG perdeu $4,28 \text{ km}^2$ de gelo em suas frentes. Durante 1979-1988 houve perda adicional de $4,87 \text{ km}^2$ da frente das geleiras, e entre 1988-1995 e 1995-2000 a retração foi de $6,24 \text{ km}^2$ e $7,06 \text{ km}^2$, respectivamente, totalizando $22,45 \text{ km}^2$ entre 1956 e 2000. A Tabela 4.3 apresenta as retrações das geleiras da AAEG. As maiores retrações de geleiras ocorridas durante período em estudo foram observadas nas geleiras Lange (Figura 4.9) e Dobrowolski (Figura 4.10). A Geleira Lange, com área de $29,57 \text{ km}^2$, retraiu 1437 m ($\pm 40 \text{ m}$), perdendo aproximadamente 2 km^2 de gelo. Com uma área menor ($12,4 \text{ km}^2$), a Geleira Dobrowolski perdeu $2,09 \text{ km}^2$ de gelo, apresentando uma retração de

Tabela 4.3 – Retrações relativas nas geleiras da AAEG Baía do Almirantado.

Nome da bacia	Comprimento (m)	Largura (m)	Área em 2000 (km ²)	Retrações (km ²)			
				1956-1979	1979-1988	1988-1995	1995-2000
Geleira Penderecki	2030	1120	1,55	-	0,17	0,01	0,22
Geleiras Rybak e Nature Conservation	2810	2320	6,24	0,18	0,04	0,13	0,30
Geleira Viéville	4480	4950	20,59	0,85	0,59	1,00	0,46
Geleira Dragon	1240	480	0,49	-	0,27	0,10	0,15
Geleira Wanda	1500	1100	1,63	-	0,25	0,09	0,30
Geleira Krak	2840	1900	5,12	0,12	0,29	0,11	0,21
Geleira Professor	2630	860	1,97	-	0,23	0,08	0,13
Geleira Sul	1750	2210	3,69	0,42	0,54	0,57	0,56
Dobrowolski ⁷ Norte	3250	2680	8,71				
Geleira Goetel	4660	1940	8,80	0,10	0,06	0,26	0,18
Cascata de gelo Ajax	4690	1420	6,65	0,03	0,01	0,16	0,12
Geleira Stenhouse	4570	2100	9,30	0,04	-	0,20	0,20
Geleira Norte	3530	4120	14,44	0,53	0,25	1,32	1,16
Domeyko ⁸ Sul	3340	5740	20,56				
Geleira Znosko	1960	950	1,95	-	0,07	0,03	0,05
Geleira Lange	6070	4820	29,57	1,27	0,42	0,17	0,14
Cascata de gelo Polar Committe	1990	1180	2,80	0,14	0,03	-	0,16
Cascata de gelo Ladies	1470	830	1,15	-	-	-	0,06
Cascatas de gelo Emerald	Leste	1200	0,88	-	-	0,01	0,23
	Central	1610	2,22	0,02	-	0,03	0,10
	Oeste	2210	3,42	0,08	0,07	0,09	0,07
Bacia de drenagem A ⁹	3510	2700	9,67	0,11	0,07	0,02	0,23
Cascata de gelo Doctors	2180	3720	8,69	0,11	0,06	0,26	0,23
Geleira Zalewski	1490	3290	5,65	0,07	0,22	0,09	0,15
Cascata de gelo Gdansk	1630	1400	2,10	0,02	0,29	0,04	0,02
Cascata de gelo Rósciszewski	2010	2060	3,82	0,18	0,08	0,05	0,03
Cascata de gelo Dera	1340	1470	2,09	-	0,14	0,03	0,06
Geleira Ecology	3930	1510	5,55	0,01	0,38	0,48	0,48
Geleira Sphinx	2350	420	1,42	-	-	0,03	0,23
Geleira Baranowski ¹⁰	2320	1070	2,51	-	-	0,11	0,46
Geleira Tower ¹⁰	1200	600	0,57	-	0,21	0,20	0,37
Geleira Wind ¹⁰	1190	400	0,68	-	0,13	0,57	-

⁸ Devido a falta de parâmetros para a definição dos divisores do gelo flutuante (entre 1956 e 1995) nas geleiras Dobrowolski e Domeyko, cada uma dessas geleiras foi considerada uma única bacia de drenagem para o cálculo de suas retrações, apesar de apresentarem divisores bem definidos.

⁹ A geleira em questão foi denominada Bacia de drenagem A, em função de não ter sido encontrada nenhuma referência a essa feição no *Composite Gazetteer of Antarctica* (Working Group of Geodesy and Geographic Information, 1999). Futuramente será discutido, segundo os critérios do SCAR WG-GGI, um nome a ser atribuído.

¹⁰ Para este estudo, foi considerada somente a área dentro dos limites da AAEG, no caso das geleiras Baranowski, Tower e Windy.

1400 m (± 40 m) no sentido SW-NE. Considerando perdas em área, as geleiras que apresentam os maiores valores são a Geleira Domeyko, com 3,26 km² de gelo perdido e a Geleira Viéville, com 2,9 km².

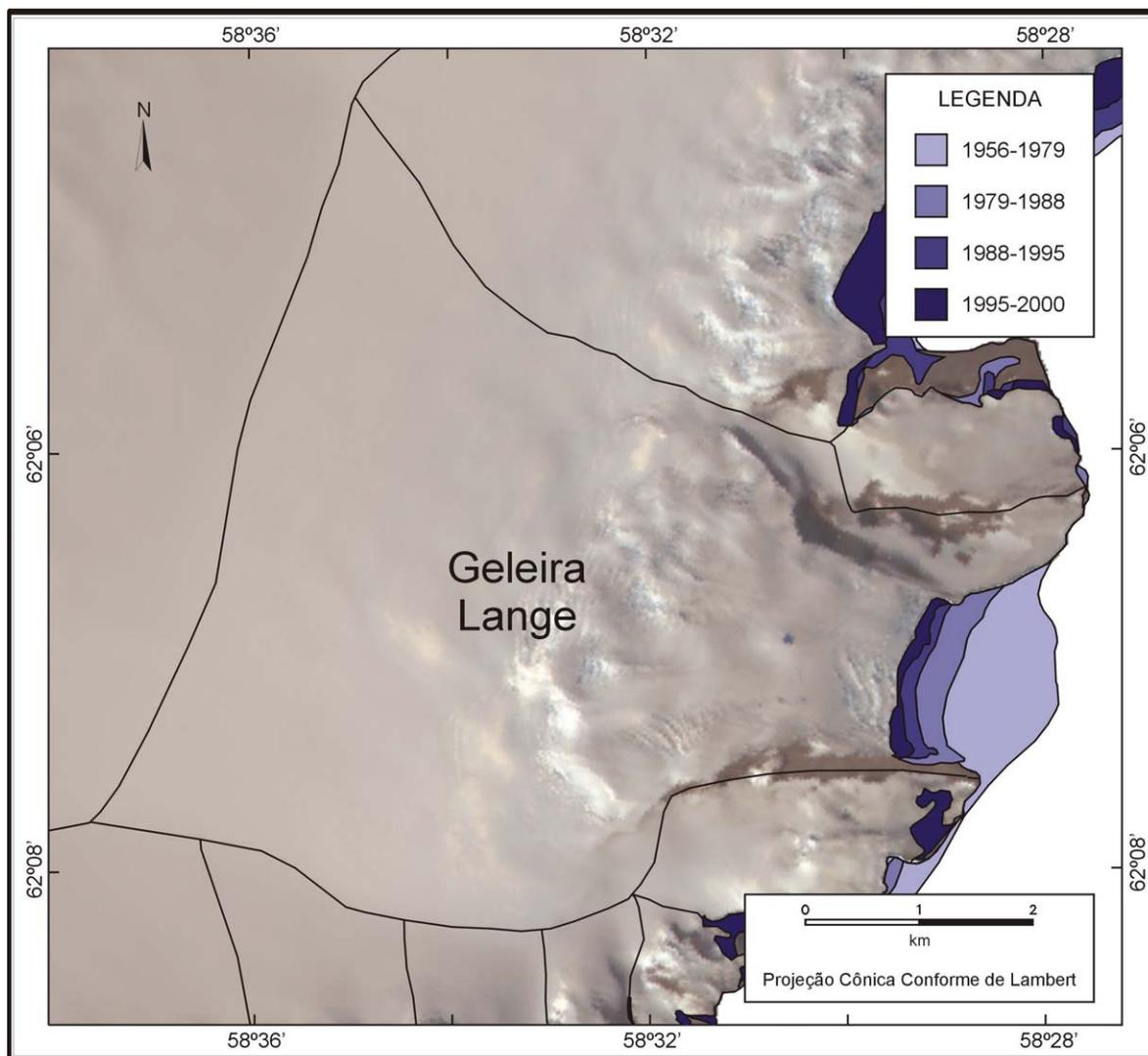


Figura 4.9 – Retrações relativas na frente da Geleira Lange.

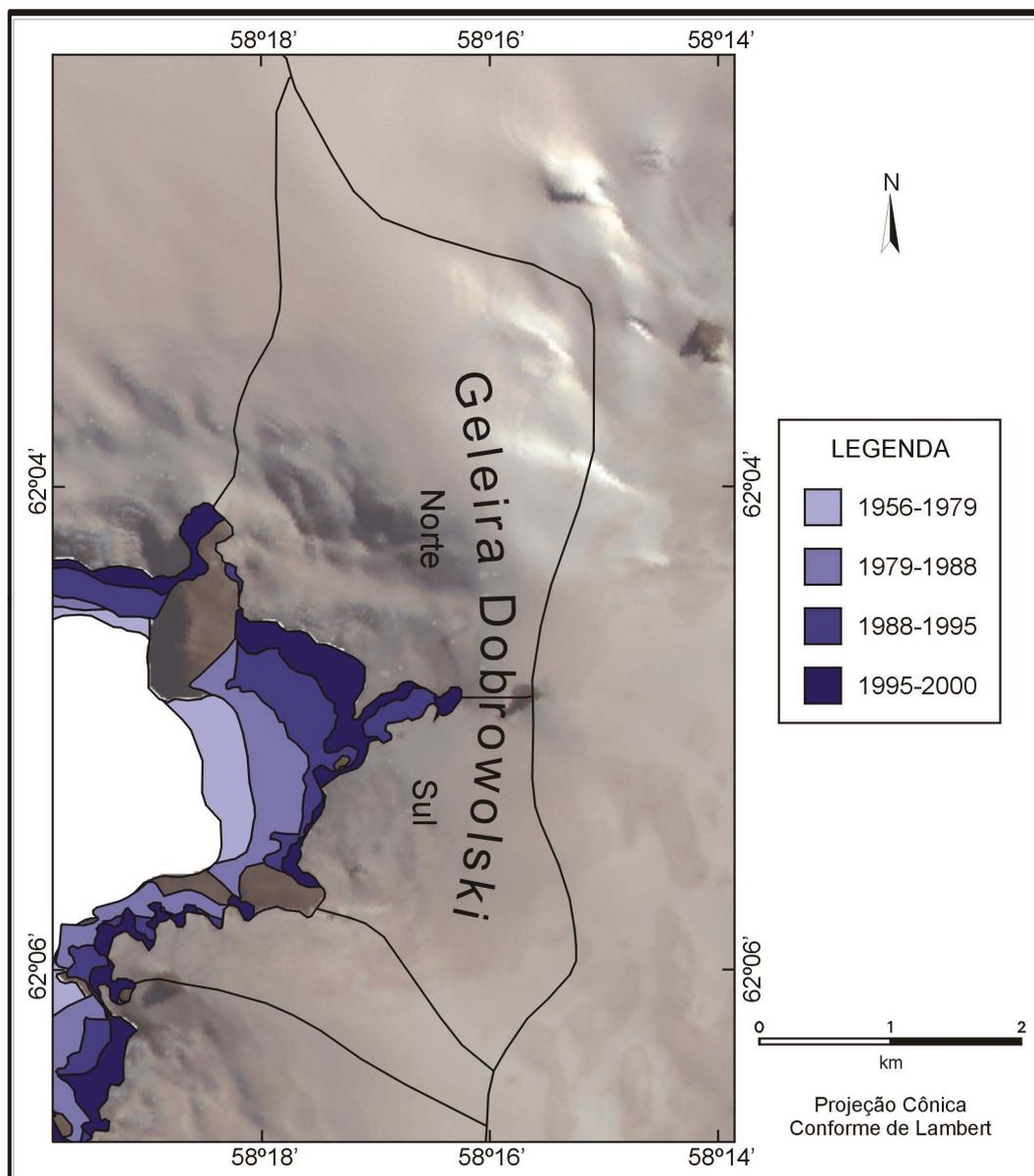


Figura 4.10 – Retrações relativas na frente da Geleira Dobrowolski.

A magnitude da retração glacial na AAEG indica que o processo não faz parte da dinâmica de avanços e retrações de geleiras. Surge então o problema de estabelecer a causa dessa retração. As geleiras que possuem a frente no mar (geleiras de maré) têm a dinâmica associada à ação marinha. Este estudo não possui dados que indiquem a modificação da ação do mar sobre as frentes das geleiras durante o período de estudo. Pode-se, no entanto, afirmar que a retração glacial não está associada somente a esse mecanismo, pois através

de observações de campo foi constatada também diminuição na espessura de algumas geleiras (*e.g.*, Geleira Wanda) [Ulisses. F. Bremer, comunicação pessoal].

Com relação a variações de temperatura, Ferron *et al.* (2001) detectaram aquecimento de 1,08° C na Ilha Rei George, no período 1947-1995. Além dessa constatação, será necessário agregar outros parâmetros para afirmar se a retração glacial observada ocorreu em função do aumento de temperatura nos últimos anos, ou se ela está ainda respondendo a mudanças climáticas anteriores, devido ao tempo de resposta da dinâmica glacial às variações climáticas (Paterson, 1994).

A utilização de um SIG na integração de informações multitemporais (*e.g.*, mapas históricos e imagens de satélite) apresenta resultados satisfatórios no monitoramento de geleiras onde, em função das limitações do ambiente, torna-se difícil a utilização de levantamentos topográficos convencionais. Os resultados aqui obtidos, associados a variações similares constatadas na própria IRG e em outras ilhas das Shetlands do Sul (Calvet e Corbera, 1993; Park *et al.*, 1998; Simões *et al.*, 1999; Braun *et al.*, 2001a), levam a considerar que as massas de gelo estão provavelmente respondendo a um aquecimento regional. Futuros estudos, tomando em consideração outros parâmetros, como o congelamento do mar será necessário para confirmar esta hipótese.

4.5. Ocupação humana permanente e turismo, conflitos com áreas de reprodução da fauna na Península Keller

Impactos decorrentes da presença humana na Antártica têm sido registrados por diversos autores (Greenpeace, 1990; Harris, 1991a; Hanson e Gordon, 1998). Na AAEG em particular, Harris (1991a) descreveu os impactos ambientais em campos de musgos e locais de nidificação de aves, causados pela presença de pesquisadores que permanecem nas estações científicas e refúgios, e turistas que anualmente visitam as praias da região.

A Península Keller foi escolhida para este estudo devido à presença da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e seus dois módulos científicos afastados e dois refúgios (seção 1.9) distribuídos nos dois lados da península, o que garante uma movimentação humana permanente, sendo bastante acentuada no verão. A população fixa é estimada em 44 pessoas no período de verão (de dezembro e março) e 13 pessoas no inverno. Turistas desembarcam em suas praias todos os anos (Figura 4.11), sendo que 387

deles visitaram a Península Keller no verão de 1999/2000, sem considerar os turistas que chegam nos navios de apoio logístico.

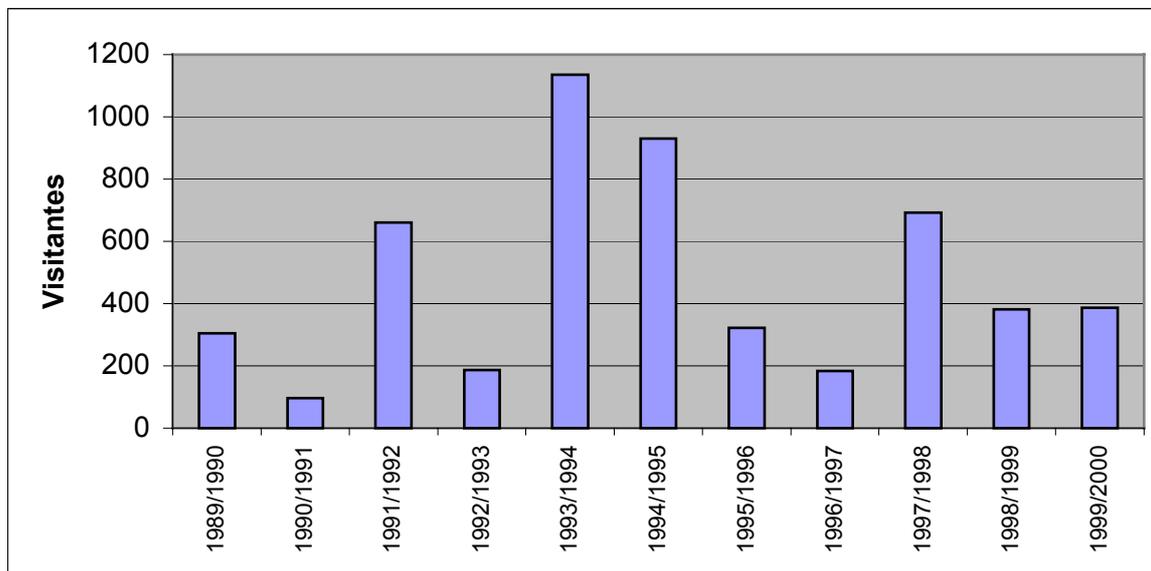


Figura 4.11 – Gráfico da visitação turística na Península Keller entre os verões 1989/1990 e 1999/2000. Fonte: IAATO, 2000.

Impactos relacionados a atividades da EACF foram apresentados pelo Greenpeace (1990), que durante expedição a Antártica em 1989 visitou a estação brasileira e observou possível distúrbio a ninhos de Trinta-réis do Ártico (*Sterna Vittata*) nas suas proximidades. Harris (1991a) observou que os mesmos ninhos de Trinta-réis do Ártico, sofrem interferências de pesquisadores curiosos e turistas. E, no trabalho de campo, foi verificado que o campo de musgos situado ao redor do esqueleto de baleia montado pelo explorador francês Jacques Cousteau apresenta marcas de rodas ocasionadas provavelmente por quadriciclos.

Para a definição de impacto ambiental, foi utilizado o conceito do Grupo de Avaliação Ambiental (GAAM) do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR, 2000), o qual baseia-se na Resolução 01/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Segundo essa definição, “um impacto ambiental corresponde a quaisquer alterações das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades que, direta ou indiretamente afetem: a) a saúde, a segurança e o bem estar da população; b) as atividades sociais e econômicas; c) a

biota; d) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e e) a qualidade dos recursos naturais”.

Com relação a graduações do impacto ambiental, são utilizados os níveis propostos pelo Protocolo de Madri (ATCPs, 1993): a) um impacto menor ou transitório; b) superior a um impacto menor ou transitório e c) inferior a um impacto menor ou transitório. Em função do Protocolo não definir o que corresponde a “um impacto menor ou transitório”, são novamente utilizadas as definições do GAAM. Segundo essas definições:

“a) Será considerado **impacto menor ou transitório**, aquele que for observável durante apenas um curto de período de tempo, que não ultrapasse a capacidade assimiladora natural local de seus efeitos, e que, em particular, não introduza espécies exóticas na região, modifique de forma claramente visível os habitats naturais e turísticos, a fisiografia local, os valores estéticos, históricos, naturais e turísticos, introduza contaminantes em níveis superiores aos padrões internacionais, gere ruídos e odores que possam perturbar o comportamento normal das espécies da região, perturbe outras atividades e a segurança humana e que, conseqüentemente, ainda que possa requerer algumas medidas de mitigação, não exige medidas de recuperação, nem de avaliação de alternativas locacionais e tecnológicas.

b) Será considerado impacto **superior a um impacto menor ou transitório**, todo aquele cujos efeitos sejam de curta ou longa duração, que ultrapasse a capacidade assimiladora natural local de seus efeitos, que viole acordos internacionais sobre a proteção dos ecossistemas antárticos e de seus recursos naturais, bem como provoque riscos à segurança humana, e que, em particular, reduza a diversidade específica, e que, conseqüentemente, requeira medidas efetivas de mitigação/eliminação, através inclusive, da avaliação de alternativas locacionais e tecnológicas, bem como, de recuperação de ambientes atingidos.

c) Será considerado **inferior a um impacto menor ou transitório**, aquele que seja de muito curta duração, que não induza qualquer efeito mencionado no primeiro item, em qualquer grau, nível e extensão, intensidade, etc., que não requeira qualquer medida de mitigação e, em especial, que possa ser repetido sem atingir o limite da capacidade assimiladora de seus efeitos, e que, estritamente, se caracterize como uma pequena atividade resultante ou necessária a uma pesquisa científica/tecnológica, bem como, as que forem ser realizadas em estações permanentes ou estacionais de pesquisa”.

A partir da sobreposição dos planos de informação contendo duas colônias de gaivotões (*Larus dominicanus*), um campo de nidificação de skuas (*Catharacta sp*) e o principal caminho percorrido na península por pesquisadores, pessoal de apoio da EACF e do Navio de Apoio Oceanográfico Ary Rongel (Figura 4.12), foi identificado um local onde está ocorrendo um impacto superior a um impacto menor ou transitório. A época de maior visitação turística e maior número de pesquisadores na EACF, embora restrita a poucos meses por ano (no verão), coincide com o período de reprodução das aves. O trecho do caminho localizado entre o módulo Ipanema e o Refúgio 2, que na maioria das ocasiões é então percorrido com veículo a motor (quadriciclo), passa exatamente ao lado de uma colônia de gaivotões e próximo da metade sul do campo de nidificação de skuas (Figura 4.12), gerando ruídos que perturbam o comportamento normal das aves adultas (as aves adultas deixam os filhotes desprotegidos e mais vulneráveis a ação dos predadores).

Como medida mitigadora ao impacto, e na falta de dados a respeito do comportamento animal (*e.g.*, tolerância a aproximações), sugere-se que o trânsito nesse local seja restrito a deslocamento a pé, evitando a utilização de quadriciclos. Para a definição de um novo caminho a ser percorrido na península, seria necessário a delimitação dos principais campos de musgos, de forma a não sofrerem futuros impactos.

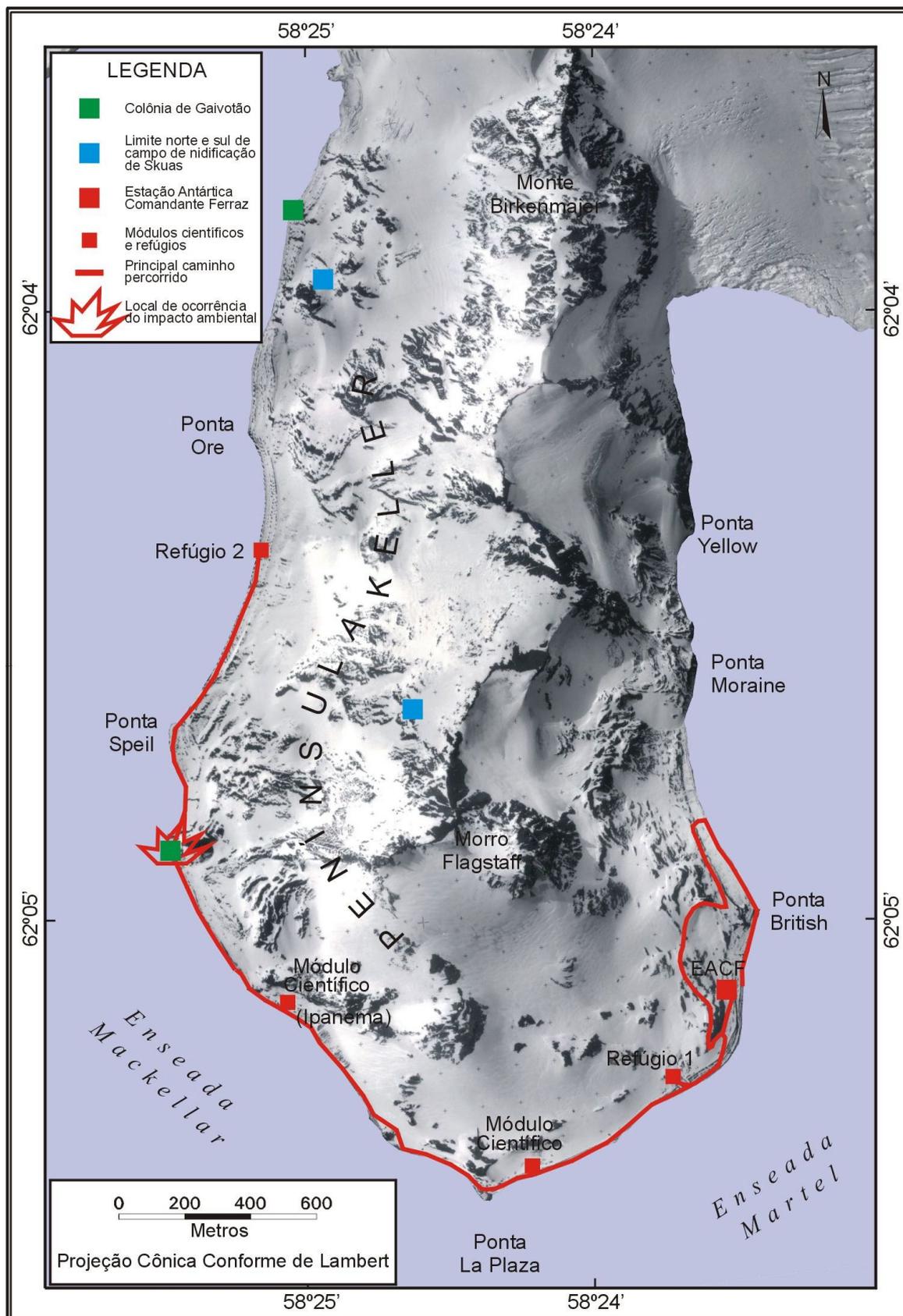


Figura 4.12 – Mapa com a localização das colônias na Península Keller, EACF, módulos, refúgios e caminhos utilizados por pesquisadores.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

5.1. Conclusões

Novos dados e interpretações de levantamentos prévios foram obtidos para a AAEG por meio de SIG, e estão resumidos nos parágrafos abaixo.

1) Os limites da AAEG foram revistos, sua área foi recalculada em 362 km² (anteriormente calculada em 370 km²), sendo 194 km² cobertos pela calota de gelo da IRG e pequenas geleiras de anfiteatro e 30 km² de áreas livres de gelo. Os 138 km² restantes correspondem a águas da Baía do Almirantado (131 km²) e Estreito de Bransfield (7 km²).

2) Com a união da batimetria e altimetria obteve-se a visualização tridimensional da área, que possibilitou a descrição de algumas de suas características geomorfológicas e revisão de cálculos morfométricos. As águas da AAEG possuem um volume de 24,1 km³, sendo 22,7 km³ pertencentes a Baía do Almirantado e 1,4 km³ ao Estreito de Bransfield.

3) A retração glacial detectada por diversos autores (Bremer, 1998; Simões *et al.*, 1999; Braun *et al.*, 2001a) foi quantificada para cada bacia de drenagem da AAEG (a delimitação das bacias de drenagem glacial foi aprimorada), constatando-se uma perda de 22,5 km² de gelo (12% da cobertura atual) entre 1956 e 2000. Dados aerofotogramétricos e de sensoriamento remoto permitiram registrar o aumento da taxa de perda desse gelo: 4,3 km² no período 1956–1976, 4,9 km² entre 1979 e 1988, 6,2 km² entre 1988 e 1995 e, finalmente, 7,1 km² entre 1995 e 2000.

4) Esses resultados, associados a variações similares constatadas na própria IRG e em outras ilhas das Shetland do Sul (Calvet e Corbera, 1993; Park *et al.*, 1998; Simões *et al.*, 1999; Braun *et al.*, 2001a), provavelmente indicam uma resposta dessas massas de gelo ao aquecimento regional constatado por Ferron *et al.* (2001). Futuros estudos, tomando em consideração outros parâmetros, como congelamento do mar, serão necessários para confirmar esta hipótese.

5) Na identificação de conflitos da ocupação humana com áreas de reprodução, realizado na Península Keller, foi constatado impacto superior a um impacto menor ou transitório, segundo as definições do Protocolo de Madri (ATCPs, 1993). É proposto, então, o deslocamento apenas a pé entre o módulo Ipanema e o refúgio 2 (Figura 4.12), como medida para a mitigação do impacto. A partir da entrada de outros dados (*e.g.*, campos de musgos, colônias de aves e mamíferos), poderão ser avaliados outros locais e propostos novos caminhos que causem um impacto menor.

Por último, algumas restrições devem ser mencionadas. Apesar das iniciativas do SCAR WG-GGI (*e.g.*, *Antarctic Geographic Data Integration Project* - AGDI), quando se trata de dados antárticos, a integração da informação geográfica encontra como maior empecilho a falta de padronização para a representação da informação e edição dos mapas. Cada país utiliza a projeção e o elipsóide de referência com os quais está acostumado a trabalhar, e muitas vezes editam seus mapas sem informar parâmetros de projeção cartográfica, dificultando a conversão para a projeção desejada. O SIG ARC/INFO prestou-se plenamente para a conversão dos dados entre as projeções de origem e a Projeção Cônica Conforme de Lambert, possibilitando a correta definição dos paralelos padrão, meridiano central e elipsóide de referência.

Em decorrência do trabalho cabe destacar que os seguintes planos de informação para o SIG da Área Antártica Especialmente Gerenciada da Baía do Almirantado (AAEG) estão disponíveis: (1) altimetria; (2) batimetria; (3) zona de referência costeira; (4) glaciologia; (5) áreas livres de gelo; (6) ocupação humana (feições antropogênicas); e (7) toponímias. A implementação do sistema seguiu os padrões do SCAR WG-GGI, permitindo a compatibilidade com o projeto KGIS (WGGGI, 2000; IPG, 2001). O SIG implementado servirá como importante ferramenta de apoio ao gerenciamento da AAEG, podendo ser utilizado no planejamento de atividades científicas e logísticas, monitoramento e avaliações de impacto ambiental.

5.2. Recomendações para futuros trabalhos

Para a continuidade do SIG da AAEG, permitindo a elaboração de uma carta topográfica atualizada da Baía do Almirantado e apoiando futuras contribuições brasileiras ao projeto internacional KGIS, deve-se gerar novos planos de informação, tais como: flora (delimitação e identificação de espécies dos principais campos de musgos, líquens e vegetais superiores); fauna (locais de nidificação de aves e colônias de mamíferos); hidrologia (córregos e lagos nas áreas livres de gelo); topografia subglacial; geologia; e geomorfologia.

As áreas das estações científicas e suas redondezas devem ser mapeadas em escala melhor que 1:5.000, para subsidiarem o planejamento de atividades científicas, logísticas e turísticas, além dos estudos de impacto ambiental. Na Península Keller, devem ser levantadas as principais feições antrópicas (módulos científicos, refúgios, rede de iluminação, cabos de comunicação e energia elétrica, sistema de esgoto e transporte de combustível), fauna, flora e pontos de controle para restituição aerofotogramétrica e elaboração de carta topográfica.

Finalmente, sugere-se a elaboração de um CD-ROM com manual descrevendo a metodologia utilizada na geração dos dados do SIG da AAEG, instruções para utilização dos mesmos e software visualizador gratuito (*e.g.*, ArcExplorer), que possibilita a geração de mapas de acordo com a necessidade de cada usuário seguindo as recomendações do WG-GGI do SCAR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APC - ANTARCTIC PLACE NAMES COMMITTEE FOREIGN AND COMMONWEALTH. 1986. *APC Misc 64, South Shetlands Islands, Sheet 1 King George Island*, 1: 100.000, 10 edição.
- AQUINO, F. E. 1999. *Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange*. Dissertação de Mestrado em Geociências. UFRGS - Instituto de Geociências, Porto Alegre. 106p.
- ARONOFF, S. 1991. *Geographic information systems: a management perspective*. WDL Publications, Ottawa. 294p.
- ATCPs. 1993. Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty, with Annexes. *Polar Record* **29** (170): 256-275; SCAR Bulletin 110, julho 1993.
- ATCPs. 1996. A proposal prepared by Brazil and Poland, in co-ordination with Ecuador and Peru, that Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Island) be designated as an Antarctic Specially Managed Area (ASMA). *Twentieth Antarctic Treaty Consultative Meeting*, Utrecht, Netherlands, 29 April – 10 May 1996.
- AUSTRALIAN ANTARCTIC DATA CENTER. 2000. http://www-aadc.antdiv.gov.au/gis/current_projects.html.
- BARTON, C. M. 1965. The geology of South Shetland Islands. III. The stratigraphy of King George Island. *British Antarctic Survey Report* **44**: 1-33
- BAS - BRITISH ANTARCTIC SURVEY. 1998. *Antarctic digital database, Version 2.0. Manual and bibliography*. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge. 74p.
- BAS - BRITISH ANTARCTIC SURVEY. 2000. <http://www.nerc-bas.ac.uk>.
- BAS; SPRI e WCMC. 1993. *Antarctic digital database user's guide and reference manual*. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge. 156p. [Esse manual acompanha um CD-ROM].
- BINTANJA, R. 1995. Local surface energy balance of the Ecology Glacier, King George Island, Antarctica: measurements and modelling. *Antarctic Science*, **7** (3): 315-325.
- BIRKENMAJER, K. 1980a. New place names introduced to the area of Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica* **66**: 67-88.

- BIRKENMAJER, K. 1980b. Report on geological investigations of King George Island, South Shetland Islands (west Antarctica), in 1978/79. *Studia Geologica Polonica* **66**: 89-105.
- BIRKENMAJER, K. 1983. Late Cenozoic phases of block-faulting on King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences* **30** (1/2): 21-32.
- BRASIL. 1984. Decreto N.º 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 jun. 1984. Seção 1. p. 8884.
- BRAUN, M. e SCHNEIDER, C. 2000. Characteristics of summer time energy balance along the west coast of the Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology* **31**: 179-183.
- BRAUN, M.; SIMÕES, J. C.; VOGT, S.; BREMER, U. F.; BLINDOW, N.; PFENDER, M.; SAURER, H.; AQUINO, F. E. e FERRON, F. A. 2001a. An improved topographic database for King George Island - compilation, application and outlook. *Antarctic Science* **13** (1): 41-52.
- BRAUN, M.; SIMÕES, J. C.; VOGT, S. BREMER, U. F.; BLINDOW, N.; PFENDER, M.; SAURER, H.; AQUINO, F. E.; FERRON, F. A. 2001b. The compilation of a DTM and a new satellite image map for King Georg Island (Antarctica). *Proceedings of the SCAR-WGGGI Workshop: "International GIS Workshop on Antarctic King George Island"*, 6-7 de julho de 2000, Wuhan, China.
- BRAUN, M.; RAU, F. e SIMÕES, J. C. 2001c. A GIS-based glacier inventory for the Antarctic Peninsula and the South Shetland Islands – a first case study on King George Island. *Proceedings of the SCAR-WGGGI Workshop: "International GIS Workshop on Antarctic King George Island"*, 6-7 de julho de 2000, Wuhan, China.
- BREMER, U. F. 1998. *Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da Ilha Rei George, Antártica*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. UFRGS-CEPSRM, Porto Alegre. 119 p.
- BURROUGH P.A. 1994. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Clarendon Press, Oxford. 194p.
- CALVET, J. e CORBERA, J. 1993. Fluctuations of the ice cap on Livingston Island - South Shetland. *Selper* **9** (1/2): 31-35.
- CÂMARA, G. 1995. *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 264p.
- CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. 1996. *Geoprocessamento para projetos ambientais*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 143p.

- COOPER, A. P. R.; THOMSON, J. W. e EDWARDS, E. M. 1993. An Antarctic GIS: the first step. *GIS Europe* **2** (6): 26-28.
- COOPER, A. P. R. e THOMSON, J. W. 1995. Environmental monitoring using GIS at a scientific base in Antarctica.. Association for Geographic Information, London. *AGI '95 Conference Proceedings*: 5.4.1-5.4.5.
- COOPER, A. P. R.; SMELLIE, J. L. & MAYLIN, J. 1998. Evidence for shallowing and uplift from bathymetric records of Deception Island, Antarctica. *Antarctic Science* **10** (4): 455-461.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1992. *Baía do Almirantado - Ilha Rei George*. Rio de Janeiro, DHN, Marinha do Brasil. (1: 40 000).
- ESRI. 1997. *Understanding GIS: The ARC/INFO method*. ESRI Press, Redlands. 533p.
- ESRI. 2000. *ARC/INFO Online Help*, Versão 8.0.2.
- FERNÁNDEZ, M. A.; ARCOS, F. e ARROYO, B. F. 1993. Sistema de información geográfica Antártico-Ecuatoriano: definición de la base cartográfica. *Revista SELPER* **9** (1/2): 95-99.
- FERRON, F. A. 1999. *Variações nas razões de isótopos estáveis na neve e no gelo da Ilha Rei George, Antártica*. Dissertação de Mestrado em Geociências. UFRGS - Instituto de Geociências, Porto Alegre. 125p.
- FERRON, F. A.; SIMÕES, J. C. e AQUINO, F. E. 2001. Série temporal de temperatura atmosférica para a Ilha Rei George, Antártica. *Boletim de Geografia da USP*.
- FOREIGN & COMMONWEALTH OFFICE. 1997. *List of Protected Areas in Antarctica*. London, U.K. In collaboration with the British Antarctic Survey.
- FOX, A. J. 1995. Using multiple data sources to enhance photogrammetry for mapping antarctic terrain. *Polar Research* **14** (3): 317-327.
- FOX, A. J. e COOPER, A. P. R. 1994. Measure properties of the Antarctic ice sheet derived from the SCAR Antarctic Digital Database. *Polar Record* **30** (174): 201-206.
- GREENPEACE. 1990. *Expedition Report, Greenpeace Antarctic Expedition 1989-90*. Stichting Greenpeace Council, Amsterdam. 54p.
- GRUBER, N. L. S. 1989. *Contribuição ao estudo da sedimentação glacio-marinha da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica*. Dissertação de Mestrado em Geociências. UFRGS - Instituto de Geociências, Porto Alegre. 174p.
- HAMBREY, M. 1994. *Glacial Environments*. UCL Press, London. 296p.

- HANSOM, J. D. e GORDON, J. E. 1998. *Antarctic environments and resources: a geographical perspective*. Addison Wesley Longman, New York. 402p.
- HARRIS, C. M. 1991a. Environmental effects of human activities on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Record* **27** (162): 193-204.
- HARRIS, C. M. 1991b. Environmental management on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Record* **27** (163): 313-324.
- HARRIS, C. M. 1994a. Protected areas review: McMurdo Sound, Ross Sea. *Polar Record* **30** (174): 189-192.
- HARRIS, C. M. 1994b. Standardisation of zones within specially protected and managed areas under the Antarctic Environmental Protocol. *Polar Record* **30** (175): 283-286.
- HASTINGS, J. T. 1995. McMurdo LTER: Progress with the Taylor Valley geographic information system. *Antarctic Journal of the U. S.* **30** (5): 297-299.
- HATTERSLEY-SMITH, G. 1951. King George Island. *The Alpine Journal* **58** (282): 67-75.
- HATTERSLEY-SMITH, G. 1991. The history of place-names in the British Antarctic Territory. *British Antarctic Survey Scientific Reports No. 113, Vol. I e II*. Cambridge, British Antarctic Survey, Natural Environmental Research Council.
- HEADLAND, R. K. e KEAGE, P. L. 1985. Activities on the King George Island Group, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Record* **22** (140): 475-484.
- IAATO - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ANTARCTIC TOUR OPERATORS. 2000. <http://www.iaato.org/>.
- IPCC. 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. *Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.J., L.G. Meiro Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K.Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and New York. 572 p.
- IPG - INSTITUT FÜR PHYSISCHE GEOGRAPHIE. 2001. <http://www.ipg.uni-freiburg.de/forschung/projekte/kgis>.
- JIAHONG, W.; JIANCHENG, K.; ZICHU, X.; JIANKANG, H. e LLUBERAS, A. 1994. Climate, mass balance and glacial changes on small dome of Collins Ice Cap, King George Island, Antarctica. *Antarctic Research* **5** (1): 52-61.

- KING, J. C. e HARANGOZO, S. A. 1998. Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes. *Annals of Glaciology* **27**: 571-575.
- KNAP, W. H.; OERLEMANS, J. e CADÉE, M. 1996. Climate sensitivity of the ice cap of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Annals of Glaciology* **23**: 154-159.
- LI, J. X. e LI, T. J. 1997. Design of GIS-based environmental impact assessment and scientific sampling administration system in Great Wall Station area, Antarctica. *Chinese Journal of Polar Research* **9** (4): 319-324.
- LIU, H.; JEZEK, K. e LI, B. 2000. *Radarsat Antarctic mapping project digital elevation model users guide*. Boulder, Colorado: National Snow and Ice Data Center. 11p.
- MACHERET, YU.YA.; MOSKALEVSKY, M.YU.; SIMÕES, J.C. e LADOUCH, L. 1997. Radio-echo sounding of King George Island ice cap, South Shetland Islands, Antarctica. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy* (83): 121-128.
- MAGELLAN CORPORATION. 1999. *User guide for the Magellan GPS ProMARK X and the Magellan GPS ProMARK X-CM*. <ftp://ftp.ashtech.com/Reference%20Manuals/>.
- MARTIN, P. J. e PEEL, D. A. 1978. The spatial distribution of 10 m temperatures in the Antarctic Peninsula. *Journal of Glaciology* **20**: 311-317.
- NOBLE, H. M. 1959. *Report on glaciological observations at Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Island, 1957-1958*. Falkland Islands Dependencies Survey Report. 22p.
- ORHEIN, O. e GOVORUKHA, L. S. 1982. Present-day glaciation in the South Shetland Islands. *Journal of Glaciology* **3**: 233-238.
- PARK, B.-K.; CHANG, S.-K.; YOON, H. I.; CHUNG, H. 1998. Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology* **27**: 633-635.
- PATERSON, W. S. B. 1994. *The Physics of Glaciers*. Pergamon/Elsevier Science, Oxford. 480p.
- POLSKIEJ AKADEMII NAUK. 1990. *Admiralty Bay, King George Island*. Warsaw.
- PROANTAR - PROGRAMA ANTÁRTICO BRASILEIRO. 2000. <http://secirm.mar.mil.br/gaam.htm>.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S.; MIETUS, M. e PIASECKI, J. 1993. Weather and Climate. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (ed.). *The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*. Polskiej Akademii Nauk, 19-25.

- REYNOLDS, J. M. 1981. The distribution of mean annual temperatures in the Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Bulletin* **54**: 123-133.
- RICHARDS, J. 1993. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag, Berlin. 340p.
- SERVICIO AEROFOTOGRAFÉMICO DE LA FUERZA AÉREA DE CHILE. 1993. *Fildes Bay*. 1ª Edição. Fevereiro 1993, Chile.
- SETZER, A. W. e HUNGRIA, C. S. 1994. *Meteorologia na Península Antártica – Alguns aspectos práticos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. 101p. (INPE-5612-RPQ/668).
- SIEVERS, J. e BENNAT, H. 1989. Reference systems of maps and geographic information systems of Antarctica. *Antarctic Science* **1** (4): 351-362.
- SIEVERS, J.; BENNAT, H. e HEIDRICH, B. 1993. Topographic-glaciological features rendered in ERS-1 SAR and optical image data. *Revista SELPER* **9** (1/2): 17-22.
- SIEVERS, J. e THOMSON, W. 1995. Adopting one name per feature on maps of Antarctica: an experimental application - Topographic Map (Satellite Image Map) 1:250 000 Trinity Peninsula SP21-22/13. *Polarforschung* **65** (3): 123-131. (publicado em 1998)
- SIMÕES, J. C. e BREMER, U. F. 1995. Investigations of King George Island ice cover using ERS-1 SAR and SPOT imagery. *Revista Selper* **11** (1/2): 56-60
- SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F.; DANI, N.; AQUINO, F. E.; GRUBER, N. L. S. e PIRES, K. C. de J. 1995. Resultados preliminares do programa glaciológico brasileiro. In: Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, VI, 1995. Goiânia. *Anais...Goiânia, AGB* **2**: 244-249.
- SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F.; AQUINO, F. A. e FERRON, F. A. 1999. Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice field, Antarctica. *Annals of Glaciology* **29**: 220-224.
- SIMÕES, J. C.; FERRON, F. A.; BRAUN, M.; ARIGONY NETO, J. e AQUINO, F. E. 2001. A GIS for the Antarctic Specially Managed Area (ASMA) of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Proceeding of the SCAR-WGGGI Workshop: "International GIS Workshop on Antarctic King George Island"*, 6-7 de julho de 2000, Wuhan, China.
- SMITH, S. M. 1993. Understanding the Antarctic. *GIS Europe* **2** (6): 38-40.
- STANSBURY, M. J. 1961. *Glaciological observations at Admiralty Bay, King George Island, 1959-1960*. Falkland Island Dependencies Survey (Preliminary Glaciological Report N° 451). 43p.

- SUGDEN, D. E. e JOHN, B. S. 1991. *Glaciers and landscape: a geomorphological approach*. London, Edward Arnold. 376p.
- THOMSON, J. W. e COOPER A. P. R. 1993. The SCAR Antarctic digital topographic database. *Antarctic Science* **5** (3): 239-244.
- TRATHAN, P.; MURPHY, E.; SYMON, C. e RODHOUSE, P. 1993. Ecological and oceanographic relationships in the Southern Ocean. *GIS Europe* **2** (6): 34-36.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2000. <http://wwwflag.wr.usgs.gov/GLIMS>.
- WARD, N. O.; SUMMERSON, R. M. & BELBIN, L. 1996. Development of a spatial information system for the management of australian antarctic research stations. <http://www-aadc2.antdiv.gov.au>.
- WGGGI - WORKING GROUP OF GEODESY AND GEOGRAPHIC INFORMATION. 1999. *Composite Gazetteer of Antarctica*. Ver. 02/1999. http://www.pnra.it/SCAR_GAZE.
- WGGGI - WORKING GROUP OF GEODESY AND GEOGRAPHIC INFORMATION. 2000. <http://www.scar-ggi.org.au>.
- WUNDERLE, S.; GOSSMANN, H.; SAURER, H. e NARASIMHARAO, J. K. 1995. Investigations into glacier retreat of the Antarctic Peninsula. *Proc. Conference of Internat. Geographical Union "Global Changes and Geography"*, Moscow, Aug 14-18, 1995.