

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS



Variabilidade da cobertura de gelo marinho e as colônias de  
*Pygoscelidae* na costa oeste da baía do Almirantado,  
ilha Rei George, Antártica

Ricardo Burgobraga

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões

Banca examinadora: Prof. Dr. Elírio Toldo Júnior (UFRGS)  
Profa. Dr. Larissa de Oliveira Rosa (UNISINOS)  
Prof. Dr. Jean Carlos Budke (URI)

**Porto Alegre, janeiro de 2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
Programa de Pós-Graduação em Geociências

Variabilidade da cobertura de gelo marinho e as colônias de  
*Pygoscelidae* na costa oeste da baía do Almirantado,  
ilha Rei George, Antártica

Ricardo Burgobraga

**Orientador: Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões**

Banca examinadora: Prof. Dr. Elírio Toldo Júnior (UFRGS)  
Profa. Dra. Larissa de Oliveira Rosa (UNISINOS)  
Prof. Dr. Jean Carlos Budke (URI)

**Dissertação de Mestrado submetida  
como requisito para obtenção do  
título de Mestre em Geociências.**

**Porto Alegre, janeiro de 2010**

**Foto da capa:** Anne Frolich (novembro de 2004)  
Um *Pygoscelis antarctica* descansando sobre um grunhão encalhado na ponta Demay, costa oeste da baía do Almirantado - ASPA 128.

Dedico este trabalho à minha esposa *Eloísa*, que faz tudo isso ter mais sentido; aos meus pais, *Rebeca* e *José* e ao meu irmão, *Regis*. *Todos* ofertaram todo o amor, paciência e apoio durante esse projeto. ***Estes são os meus esteios.***

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço muitíssimo ao meu orientador, o Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões, por ter me delegado toda a liberdade de conduzir este projeto, além das inúmeras oportunidades de treinamento e colaboração no *Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas – NUPAC*. Ao Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer, pelas oportunidades de trabalho e ensinamentos valiosos que permitiram a minha permanência nos estudos polares; e ao Prof. Dr. Norberto Dani que possibilitou a minha etapa de campo junto a OPERANTAR 23. Em especial, ao Prof. Dr. Jean Carlos Budke pelo seu bom humor inabalável, e mate, durante toda a orientação e apoio em bioestatística e ecologia. Lembro, também, da competência e o atendimento excepcional das equipes da Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geociências e do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO, em particular, ao Gilberto Silveira dos Santos – professor de todos nos.

Sempre serei grato aos amigos e membros da minha equipe: o Eng. Cartógrafo Ildo Parnow, muitíssimo obrigado pelo constante suporte técnico e aprendizado; aos Geógrafos Denilson Ribeiro Viana e Camila Bertoletti Carpenedo; ao Prof. Stefan Rout e também aos Professores de Climatologia Gilberto Lazari da Rocha e Fernando Pohlmann Livi. Agradeço a todos por todo o apoio técnico e moral, paciência, constante bom humor e solidariedade - as bases para cada tarefa que cumprimos juntos no NOTOS - Laboratório de Climatologia.

Em especial, muitíssimo obrigado ao Geógrafo Climatologista e Velho Amigo, o Prof. Francisco Eliseu Aquino, por continuar a mostrar-me as pérolas de sua persistência, coerência e humildade - incansavelmente generoso quanto ao meu aprendizado. Valeu toda a fé, cada “puxão de orelha” e cada momento de inspiração que me ajudou a *aprender a construir as minhas próprias pontes*, e daí, avançar.

Então, como os constantes pedaços de gelo flutuando pelo fiorde, ao final do inverno polar, devo toda a gratidão aos muitos companheiros e companheiras de jornadas – todos me estimulam a acreditar no valor de ser curioso e compreender as coisas a minha volta, constantemente contribuindo para a minha formação e informação. Embora quase incontáveis, como o krill, serão sempre memoráveis. Eu sou responsável por tudo que toda essa gente me oferece.

***Estes são o meu chão.***

## APRESENTAÇÃO

---

A produção desta dissertação de mestrado representa a etapa final do curso de Pós-Graduação em Geociências, do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A estrutura do texto foi organizada em seis capítulos. O **primeiro** capítulo apresenta a motivação para a escolha do tema, localiza a área de estudo e traça os objetivos para realizar a investigação. O **segundo** capítulo delinea a escala geográfica das variáveis ambientais e biológicas, contextualizando os elementos ecossistêmicos da baía do Almirantado. O **terceiro** capítulo fornece os elementos metodológicos e os conceitos que estruturam este trabalho. O **quarto** capítulo descreve e analisa os resultados obtidos da relação entre o conjunto de variáveis ambientais e as populações das três espécies de pingüins do gênero *Pygoscelidae*, que nidificam na costa oeste da baía do Almirantado. O **quinto** capítulo é conclusivo das análises realizadas, oferecendo, ainda, por compulsão de questões posteriores aos objetivos desta pesquisa, temas para trabalhos futuros.

Duas sessões finais são somadas a essa escrita: as **Referências Bibliográficas**, prestando a relação da bibliografia que sustenta teoricamente os argumentos apresentados, e os **Anexos**, oferecendo a sistemática zoológica para a Família *Spheniscidae*, o conjunto dos resultados estatísticos da variável biológica e as variáveis ambientais empregadas nesta dissertação.

## RESUMO

---

Esta dissertação examinou a influência das variações sazonais e interanuais da temperatura do ar em superfície da baía do Almirantado (BA) e da cobertura do gelo marinho (em diversas escalas de tempo e área geográfica), como fenômenos controladores da demografia das três espécies simpátricas de pinguins (*Pygoscelis adeliae*, *P. antarctica* e *P. papua*), que nidificaram na costa oeste da BA, ilha Rei George, Península Antártica, entre 1979 e 2004. Sete classes de variáveis (temperatura média do ar em superfície na BA, qualidade do gelo marinho na BA, Índice Oceânico Niño e as médias da área, anomalia da área, extensão e anomalia da extensão de gelo marinho) estruturaram sessenta e duas séries históricas de variáveis independentes (VI). O Coeficiente de Determinação ( $r^2 > 0,1$ ) e a ANOVA ( $p < 0,05$  e  $< 0,1$ ) determinaram os valores de significância para o modelo estatístico. A variável biológica número de pares de pinguins, de cada espécie, foi extraída de Hinke *et al.* (2007), oferecendo a variável dependente do modelo. Área média e a anomalia da área média de gelo marinho compõem quatorze VIs (53%) do total de VIs significativas. As áreas de abrangência do fenômeno mais representadas nas VIs foram o total de gelo antártico (quatorze, 53%) e no setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (oito, 31%). O trimestre agosto-setembro-outubro (ASO) detêm oito VIs ( $p < 0,1$ ). *P. adeliae* e *P. papua* detêm todas as VIs mais significativas ( $p < 0,05$ ). O total de VIs por espécie foi doze para *P. papua* (46%), oito para *P. adeliae* (30%) e seis para *P. antarctica* (23%). *P. adeliae* demonstra correlações significativas inversamente proporcionais com a anomalia da área média anual ( $p = 0,02$ ); área média anual, extensão média anual e a anomalia da extensão média de gelo marinho para o total antártico ( $p < 0,05$ ). *P. antarctica* mostra correlações diretas com a área média; anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell ( $p = 0,06$ ). *P. papua* apresentou correlações significativas diretas com a área e anomalia da área média anual de gelo marinho ( $p = 0,02$ ); a extensão média anual de gelo marinho e ASO no setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen ( $p = 0,04$ ). O conjunto dos resultados corrobora com a literatura corrente para a Península Antártica, que caracteriza dois setores ecossistêmicos distintos do Oceano Austral: a costa oeste (incluindo as áreas marinhas e costeiras, produtivas do setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen) e a costa leste, onde a produtividade biológica é associada à extensão do gelo marinho e as plataformas de gelo do mar de Weddell. Contudo, as duas áreas marinhas são condicionadas pela variabilidade da mistura das camadas superficiais da massa d'água e pelo regime sazonal marcado dos extremos da radiação solar incidente. Conclui-se que o período de inverno (estritamente associado com a disponibilidade de krill antártico) exerce um controle determinante sobre as histórias demográficas das três espécies de *Pygoscelidae*, na baía do Almirantado. Sugerindo, por sua vez, que os pinguins na região das ilhas Shetland do Sul podem estar sob pressão crescente da limitação na disponibilidade de krill antártico, devido ao quadro de mudanças ambientais observados na região da Península Antártica. Neste sentido, na BA, os números de pares decrescentes de *P. adeliae* e *P. antarctica* demonstram dependência com a variabilidade das médias anual e ASO do gelo marinho observado ao redor da Antártica. Já, os números crescentes de *P. papua* apresentam dependência com a variabilidade da média anual do gelo marinho, observado no setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen.



## ABSTRACT

---

This work examines the seasonal and interannual influences of surface air temperature over Admiralty Bay (AD) and sea ice (at different time scales and geographic ranges) as agents controlling the demography of three sympatric species of breeding penguins (*Pygoscelis adeliae*, *P. antarctica* e *P. papua*), on the Western Shore of Admiralty Bay, King George island, between 1979 and 2004. Seven classes of variables (average surface temperature and quality of sea ice in Admiralty Bay, Oceanic Niño Index, sea ice area, area anomaly, extension and extension anomaly) were used to produce sixty-two independent variables (IV). the Determination Coefficient ( $r^2 > 0.1$ ) and ANOVA ( $p < 0.05$  and  $< 0.1$ ) determined the significance for the statistical model. The dependant variable for the model: number of breeding pairs, for each species was extracted from Hinke *et al.* (2007). Sea ice average area and its anomaly accounted for fourteen significant IVs (53%). The most represented ranges for the phenomena were fourteen IVs (53%) for the total of sea ice around Antarctica and eight IVs (31%) for the Bellingshausen and Amundsen seas sector. The trimester August-September-October (ASO) offered eight IVs ( $p < 0.1$ ). *P. adeliae* and *P. papua* sustained all the most significant IVs ( $p < 0.05$ ). The Total IVs per species offered twelve for *P. papua* (46%), eight for *P. adeliae* (30%) and six for *P. antarctica* (23%). *P. adeliae* presented inversely proportional correlations with average area anomaly ( $p = 0.02$ ); average area, average extension and average extension anomaly for the annual Total sea ice around Antarctica ( $p < 0.05$ ). *P. antarctica* presented direct correlations with area and area anomaly of ASO sea ice averages for the Weddell Sea sector ( $p = 0.06$ ). *P. papua* presented direct significant correlations with area and area anomaly ( $p = 0.02$ ) and extension ( $p = 0.04$ ) annual and ASO averages for sea ice in the Bellingshausen and Amundsen seas sector. These results agree with the current literature for the Antarctic Peninsula, that characterizes two distinct Southern Ocean ecosystems: the Western Coast (including the rich marine and coastal areas of Bellingshausen and Amundsen Seas sector) and the East Coast, where the biological productivity is associated to sea ice extension and Weddell Sea and ice shelf sector. The marine areas of both are conditioned by the variability of the upper layer water mass mixture and the extremes of the solar radiation seasonal regime. The conclusion is that the winter period (closely associated to the availability of Antarctic krill) determines a control on the demographic histories of all three Pygoscelidae species, in Admiralty Bay. In turn, suggesting that these birds could be under a growing pressure in the South Shetland Island region, due to the limitation in krill availability, related to environmental change that has been observed in the Antarctic Peninsula. In Admiralty Bay, the decreasing numbers of *P. adeliae* and *P. antartica* show to be dependent on the annual and ASO averages of sea ice observed around Antarctica. Conversely, the increasing numbers of *P. papua* correlate with annual averages of sea ice variability observed in the Bellingshausen e Amundsen seas sector.

## SUMÁRIO

---

	<i>página</i>
<i>Folha de rosto</i> .....	<i>i</i>
<i>Frontispício</i> .....	<i>ii</i>
<i>Agradecimentos</i> .....	<i>iii</i>
<i>Apresentação</i> .....	<i>iv</i>
<i>Resumo</i> .....	<i>v</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>vi</i>
<i>Sumário</i> .....	<i>vii</i>
<i>Lista de figuras</i> .....	<i>ix</i>
<i>Lista de tabelas</i> .....	<i>xi</i>
<i>Lista de abreviaturas</i> .....	<i>xii</i>
<b>1 - Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 - Objetivos .....	2
1.2 - Área geográfica de estudo .....	3
1.3 - Variabilidade da temperatura e as mudanças climáticas .....	7
1.4 - Impacto da variabilidade climática sobre os ecossistemas .....	11
1.5 - Variabilidade ambiental e os impactos na região antártica .....	15
1.6 - A atividade humana na região antártica .....	18
1.7 - Os Spheniscidae e a variabilidade ambiental .....	20
<b>2 - Ecossistema e a dinâmica costeira da baía do Almirantado</b> .....	<b>23</b>
2.1 - Definições do ecossistema costeiro antártico .....	23
2.2 - A dinâmica costeira da baía do Almirantado .....	28
2.3 - Climatologia da baía do Almirantado .....	31
2.4 - Gelo marinho .....	37
2.4.1 - Gelo marinho na baía do Almirantado .....	40
2.5 - Bacia de drenagem de gelo da baía do Almirantado .....	43
2.6 - O sistema marinho da baía do Almirantado.....	45
2.7 - Variabilidade e mudanças no ecossistema costeiro antártico .....	49
2.8 - Pygoscelidae na costa oeste da baía do Almirantado .....	52
<b>3 - Fontes dos dados e metodologia</b> .....	<b>58</b>
3.1 - Número de pares de pinguins na costa oeste da baía do Almirantado ..	61
3.2 - As variáveis ambientais .....	64
3.2.1 - Temperatura do ar na superfície para a baía do Almirantado .....	65
3.2.2 - Índice de Oscilação Niño .....	66
3.2.3 - Gelo marinho .....	67
3.2.3.1 - Categoria de gelo marinho na baía do Almirantado .....	69
3.3 - A resolução espacial das variáveis ambientais.....	70
3.4 - A resolução gráfica .....	70
<b>4 - Resultados e discussão</b> .....	<b>72</b>
4.1 - A variável biológica <i>Número de pinguins</i> .....	72
4.2 - As variáveis ambientais significativas .....	76
4.3 - Resultados para <i>Pygoscelis adeliae</i> e as variáveis ambientais .....	80
4.4 - Resultados para <i>Pygoscelis antarctica</i> e as variáveis ambientais .....	86
4.5 - Resultados para <i>Pygoscelis papua</i> e as variáveis ambientais .....	90



*continuação*

*Página*

<b>5 - Conclusões .....</b>	<b>95</b>
<b>Referências .....</b>	<b>98</b>

**Anexo 1** - Sistemática de classificação para a ordem Spheniscidae

**Anexo 2** - Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para a variável dependente *número de pares* (três espécies de Pygoscelidae) com as sessenta e duas variáveis independentes

## LISTA DE FIGURAS

	<i>página</i>	
FIGURA 1	A região antártica, subdivisões Oeste e Leste e o setor da Península Antártica	4
FIGURA 2	Área de estudo: baía do Almirantado, ilha Rei George, ilhas Shetland do Sul e sua localização na Antártica	6
FIGURA 3	Mapa global das anomalias médias anuais da temperatura de superfície, entre 1977-2007, relativo ao período base de 1951-1980	9
FIGURA 4	Distribuição global do Gênero <i>Pygoscelidae</i>	22
FIGURA 5	Oceano Austral: limites e setores oceanográficos	24
FIGURA 6	Modelo de circulação de matéria e fluxo energético do ecossistema costeiro da baía do Almirantado e estreito de Bransfield	26
FIGURA 7	Processos ambientais entre o ecossistema costeiro da costa oeste da baía do Almirantado e estreito de Bransfield	29
FIGURA 8	Isotermas de temperatura média anual para a Península Antártica	32
FIGURA 9	Modelo da dinâmica dos ventos de barreira na Península Antártica	33
FIGURA 10	Nuvens <i>altocumulus lenticulares</i> sobre a baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica, em março de 2000	35
FIGURA 11	Gelo marinho antártico: extensões médias mínimas (fevereiro) e máximas (setembro) aproximadas, para o período de 1978-2002	37
FIGURA 12	Modelo cartográfico ilustrando as categorias da presença de gelo marinho, dentro da baía do Almirantado, segundo Kruszewski (2000 e 2002)	41
FIGURA 13	Categorias da presença de gelo marinho na baía do Almirantado, entre 1979 e 2003, segundo Kruszewski (2000; 2002) e Dewes (2004)	42
FIGURA 14	Bacia de drenagem de gelo da baía do Almirantado, feições costeiras e as áreas de preservação demarcadas	44
FIGURA 15	Modelo tridimensional da batimetria da baía do Almirantado e fluxo hidrográfico das enseadas Ezcurra, Mackeller e Martel	47
FIGURA 16	Modelo da cronologia de nidificação para as colônias de <i>Pygoscelis adeliae</i> , <i>P. papua</i> e <i>P. antarctica</i> , na baía do Almirantado, referente às observações feitas no verão de 1981/1982, segundo Trivelpiece, Trivelpiece e Volkman (1987)	55
FIGURA 17	Distribuição das colônias de <i>Pygoscelis adeliae</i> , <i>P. papua</i> e <i>P. antarctica</i> na costa oeste da baía do Almirantado, ilha Rei George	56
FIGURA 18	Modelos dos gráficos de dispersão (a e b), o gráfico da séries temporais da variável dependente com a variável independente (c) e as respectivas retas de regressão linear	71

continuação

	<u>página</u>	
FIGURA 19	Número de pares de <i>Pygoscelis adeliae</i> , <i>P. antarctica</i> e <i>P. papua</i> , na baía do Almirantado, entre 1979 e 2004	73
FIGURA 20	Gráficos de dispersão das análises de correlação significativas entre N pares de <i>Pygoscelis adeliae</i> e cinco variáveis independentes	81
FIGURA 21	Séries históricas de Número de pares de <i>Pygoscelis adeliae</i> com as cinco variáveis independentes significativas	83
FIGURA 22	Gráficos de dispersão das análises de correlação significativas entre N pares de <i>Pygoscelis antarctica</i> e quatro variáveis independentes	86
FIGURA 23	Número de pares de <i>Pygoscelis antarctica</i> com quatro variáveis independentes significativas	88
FIGURA 24	Gráficos de dispersão das análises de correlação significativas entre N pares de <i>Pygoscelis papua</i> e quatro variáveis independentes	91
FIGURA 25	Número de pares de <i>Pygoscelis papua</i> com quatro variáveis independentes significativas	93

## LISTA DE TABELAS

---

	<i>página</i>	
TABELA 1	Coeficiente de Correlação de Pearson: avaliação do grau, sentido e força da correlação para duas variáveis, segundo Barbeta (2001) e Callegari-Jaques (2003)	60
TABELA 2	Matriz de vinte e seis anos de observações de número de pares reprodutivos de <i>Pygoscelis adeliae</i> , <i>P. antarctica</i> e <i>P. papua</i> na baía do Almirantado, de 1977 a 2004	62
TABELA 3	Coeficientes de correlação ( <i>r</i> ) extraídas das séries históricas do número de pares de <i>Pygoscelis adeliae</i> e <i>P. antarctica</i> , oferecidos por Trivelpiece <i>et al.</i> (1990) e os dados inferidos de Hinke <i>et al.</i> (2007)	63
TABELA 4	Relação das variáveis independentes, derivadas da série histórica da temperatura do ar em superfície, na Estação Meteorológica de Ferraz	65
TABELA 5	Relação das variáveis independentes, derivadas do Índice Oceânico Niño, para os períodos trimestrais	67
TABELA 6	Relação das variáveis independentes, derivadas de gelo marinho para o Total Antártico, o setor do mar de Weddell e o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen	68
TABELA 7	Número de pares de Pygoscelidae na baía do Almirantado.e as respectivas participações percentuais anuais, de 1979 a 2004	74
TABELA 8	Número de pares reprodutivos de <i>Pygoscelis adeliae</i> , subdivididos em três períodos: 1979-1989; 1990-1998 e 1999-2004	75
TABELA 9	Resultados significativos da regressão linear entre as variáveis ambientais com o número de pares de <i>Pygoscelidae</i> , na baía do Almirantado (1979-2004)	78
TABELA 10	Análise qualitativa da distribuição do número de variáveis independentes significativas por classe, área de abrangência, extrato de tempo e espécie de Pygoscelidae, na baía do Almirantado, entre 1979 e 2004	79

## LISTA DE ABREVIATURAS

---

AAManoGMBA	42. Anomalia da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen
AAManoGMTA	36. Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico
AAMasoGMBA	43. Anomalia da área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen
AAMasoGMTA	37. Anomalia da área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o Total Antártico
AAMasoGMW	40. Anomalia da área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor do mar de Weddell
AAMinvGMTA	38. Anomalia da área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o Total Antártico
AManoGMBA	33. Área média anual de gelo marinho setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen
AManoGMTA	27. Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico
AMasoGMBA	34. Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen
AMasoGMTA	28. Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o Total Antártico
AMasoGMW	31. Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor do mar de Weddell
AMinvGMTA	29. Área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o Total Antártico
a.n.m.m.	Acima do nível médio do mar
ASO	Média trimestral de agosto, setembro e outubro
ASMA1	Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado No.1 ( <i>Antarctic Specially Managed Area Admiralty Bay No. 1</i> )
ASPA128	Área Antártica Especialmente Protegida Costa Oeste da Baía do Almirantado No.128 ( <i>Antarctic Specially Protected Area Western Shore of Admiralty Bay No. 128</i> )
AXManoGMBA	60. Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen
AXManoGMTA	54. Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico
AXMasoGMBA	61. Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen
AXMasoGMTA	55. Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o Total Antártico

BA	Baía do Almirantado
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
ENOS	Fenômeno <i>El Niño-La Niña</i> Oscilação Sul
F	Teste F – análise da variância do modelo estatístico
GISS	<i>Goddard Institute for Space Studies</i>
H <sub>0</sub>	Hipótese nula
H <sub>1</sub>	Hipótese alternativa
ION	Índice Oceânico Niño
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i>
IRG	Ilha Rei George
MJJAS	Média de inverno (maio, junho, julho, agosto e setembro)
N pares	Número de pares
OA	Oceano Austral
$\rho$	Significância do coeficiente de correlação
PA	Península Antártica
PAOC	Península Antártica Ocidental
PAOR	Península Antártica Oriental
$r$	Coeficiente de correlação de Pearson
$r^2$	Coeficiente de determinação
RL	Regressão Linear
TMagosto	6. Temperatura média do ar em superfície para agosto na baía do Almirantado
TMASO	11. Temperatura média do ar em superfície para agosto, setembro e outubro na baía do Almirantado
VD	Variável Dependente
VI	Variável Independente
XManoGMBA	51. Extensão média anual de gelo marinho para setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen
XManoGMTA	45. Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico
XMasoGMTA	46. Extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o Total Antártico
XMasoGMBA	52. Extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen



***A cultivated man, wise to know and bold to perform,  
is the end to which nature works, and the education of the will  
is the flowering and result of all this geology and astronomy.***  
Ralph Waldo Emerson (~1844)

## 1 - INTRODUÇÃO

---

Este capítulo apresenta o contexto da dinâmica física da região de estudo, para estabelecer os fundamentos da investigação sobre a variabilidade climática e as populações de *Pygoscelis adeliae*, *P. papua* e *P. antarctica*, na costa oeste da baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica. Em seguida, passa-se a descrever os objetivos da investigação e a área de estudo. A sessão seguinte oferece diversos conceitos básicos sobre a variabilidade e as mudanças ambientais globais, conduzindo o texto para a questão do impacto dessa variabilidade sobre os ecossistemas antárticos. Por fim, é apresentada uma síntese biológica e fenológica para as populações das três espécies do Gênero *Pygoscelis*, na baía do Almirantado.

A motivação para esta investigação tem referência na observação de que a atual aceleração nas mudanças ambientais da Terra é maior que em qualquer outro período da história do nosso planeta (IPCC, 2007a). A resolução crescente de dados ambientais, explicitando as mudanças em curso, promoveu o consenso científico de que, somado à variabilidade natural do sistema climático, existe influência discernível das ações humanas sobre o estado do clima, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas. Contudo, para identificar o sinal do componente antrópico nessas mudanças, muito ainda deve ser investigado sobre a qualidade do padrão e estrutura espacial e temporal da variabilidade natural do clima (HEGERL *et al.*, 2006; SANTER *et al.*, 2007).

De qualquer maneira, mesmo que encontremo-nos em um estágio inicial das projeções das mudanças climáticas, já existem sinais descrevendo um padrão global de alterações nos processos ecológicos atuais, e mesmo que o tempo de resposta desses processos ainda seja incerto, é evidente que tais mudanças são dependentes da evolução observada nas variações de parâmetros climáticos (VAUGHAN *et al.*, 2003). Tais respostas ecológicas já são claras e discerníveis em nível global. Desta maneira, com resolução ampla, se revelam os impactos sobre os ecossistemas e hierarquias organizacionais da biosfera (WALTHER *et al.*, 2002).

Sinteticamente, o grau de presença da vida, em qualquer lugar, é indicativo da qualidade ambiental e sua evolução (BONAN, 2002; MACDONALD, 2003). Em especial, as regiões polares mostram-se muito mais sensíveis às mudanças climáticas que outras regiões do planeta.

Nessa perspectiva, a investigação das mudanças e da variabilidade natural do clima na região polar austral – a Antártica - não é importante somente para as ciências atmosféricas, oceanográficas e glaciológicas, mas também para os estudos ecológicos. No entanto, uma análise ecossistêmica, refinada na escala mais ampla e integradora, ainda é rara, especialmente sobre as relações entre os elementos bióticos e abióticos (BEYER, BÖELTER e STONEHOUSE, 2002).

## 1.1 - Objetivos

Esta dissertação examina o papel de variáveis climáticas como controladoras ambientais das colônias de três espécies simpátricas<sup>1</sup> de pinguins (*Pygoscelis adeliae*, *P. antarctica* e *P. papua*) que nidificam na costa oeste da baía do Almirantado, ilha Rei George, ilhas Shetland do Sul, Antártica.

Para tanto, o trabalho explora as relações existentes entre sessenta e duas variáveis ambientais, extraídas de séries históricas

---

<sup>1</sup> Espécies simpátricas são aquelas que ocupam ou ocorrem na mesma área geográfica, sem perder a sua identidade por cruzamento (AMBIENTE BRASIL, 2008).

[temperatura atmosférica superficial; Índice Niño Oceânico (ONI) e cobertura de gelo marinho] com a variável: **número de pares de pinguins** (*i.e.*, casais em atividade de nidificação), das as três espécies de *Pygoscelis* (Pygoscelidae), monitoradas na baía do Almirantado (BA), entre 1979 e 2004.

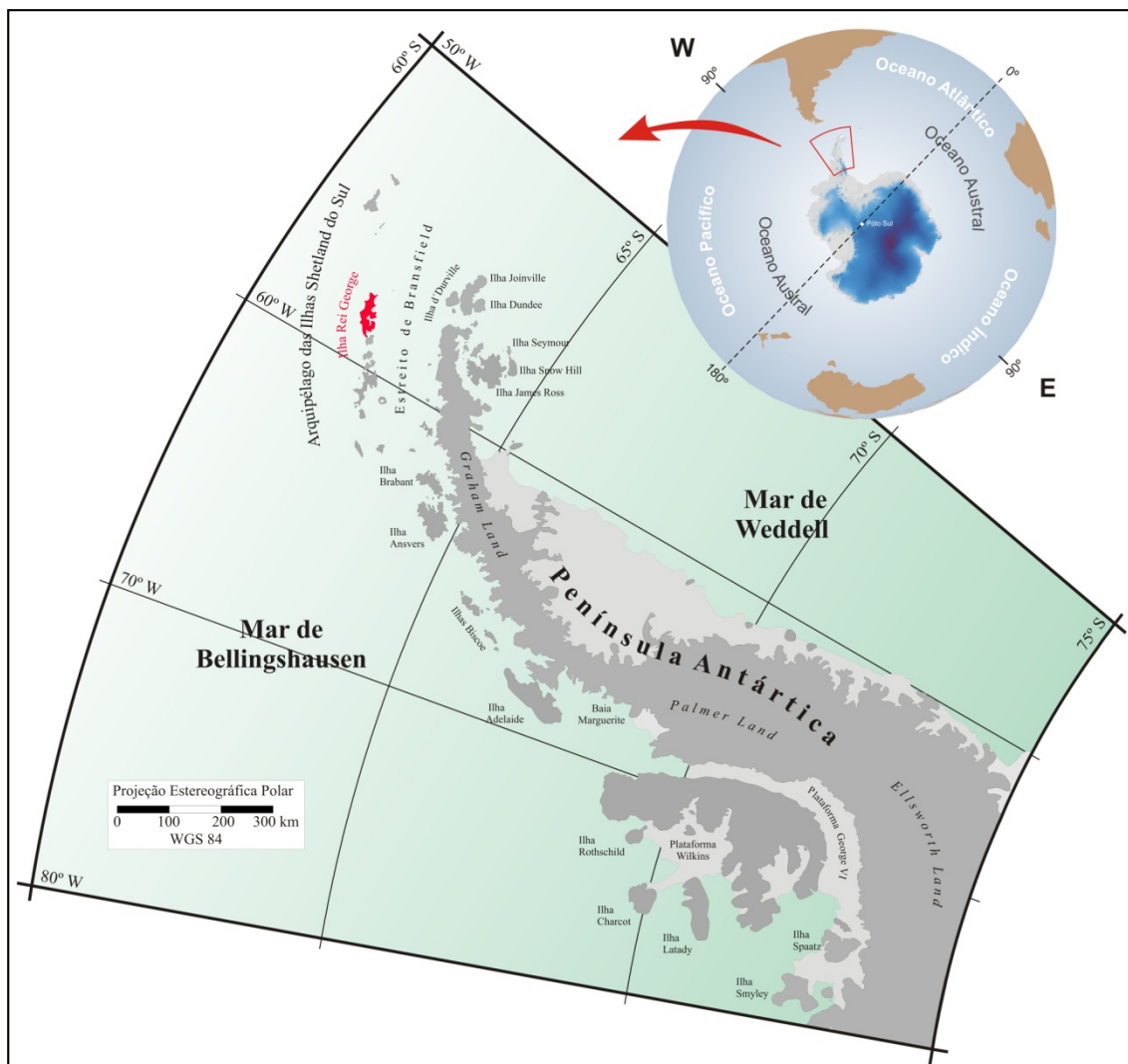
Para realizar este estudo, as seguintes metas são propostas:

- a) Organizar as séries históricas das variáveis ambientais e biológica, supracitadas;
- b) Descrever as variáveis ambientais, a variabilidade inerente e a ecologia das colônias reprodutivas de Pygoscelidae existentes na costa oeste da BA;
- c) Analisar as relações entre a variável biológica (dependente), para cada uma das três espécies, em função das variáveis ambientais (independentes); e
- d) Identificar as variáveis independentes com maior poder de controle ambiental sobre essas espécies no período, 1977-2004.

## 1.2 - Área geográfica de estudo

A região polar austral, ou Região Antártica, formada pelo continente antártico e o Oceano Austral circundante (FIG. 1), representa um dos principais componentes do sistema climático da Terra. Sua influência preponderante sobre a circulação global da atmosfera e dos oceanos promove o transporte do calor latente da zona intertropical (baixas e médias latitudes) para a calota polar sul (altas latitudes). O continente antártico, circunscrevendo o pólo sul geográfico, tem uma média orográfica de 2.000 m acima do nível médio do mar (a.n.m.m.).

Consolidando-se como o continente mais alto do planeta, as massas de ar frias e descendentes, originárias da circulação geral da atmosfera, organizam sobre a Antártica um dos principais centros de alta pressão do sistema atmosférico global.



**FIGURA 1** – A região antártica, subdivisões Oeste e Leste e o setor da Península Antártica. Adaptado de Parnow *et al.* (2007).

Conseqüentemente, formando as massas de ar mais frias do planeta, que drenam sobre o vasto manto de gelo da Antártica, em direção à costa. Esse manto de gelo cobre 99,6% do continente antártico, atinge mais de 4.500 m de espessura e contém cerca de 70% do volume de água doce da Terra (GSFC, 2008).

As águas costeiras do continente são rodeadas por uma zona de gelo marinho, que no alto do inverno pode cobrir uma área de  $20 \times 10^6 \text{ km}^2$ , facilmente avançando até os limites do paralelo  $60^\circ \text{ S}$  (*i.e.*, dobrando a extensão da área coberta de gelo da região). Durante o curto verão polar austral, esse gelo marinho derrete, cobrindo menos que  $2 \times 10^6 \text{ km}^2$ .

A Península Antártica (PA) define uma estreita área de terras emersas (uma cadeia montanhosa de 70 a 130 km de largura média, prolonga-se por 1.300 km). Com a altitude média de 1.500 m, a PA estende-se por 520.000 km<sup>2</sup>, da sua junção com a Antártica ocidental (Lat. 74°S) (FIG. 1). Em toda essa extensão, é margeada por um complexo de feições rochosas, periglaciais e glaciais, associadas às ilhas costeiras e marinhas do Oceano Austral (OA). A Fig. 2a apresenta as principais características da área de estudo deste trabalho. O arquipélago das Shetland do Sul, ao norte do mar de Bellingshausen, na costa oeste da PA, é composto por 29 ilhas (área total de 3.740 km<sup>2</sup>, estendendo-se por mais de 510 km, aproximadamente). Somente nove dessas ilhas excedem 100 km<sup>2</sup> (ORHEIM e GOVORUKHA, 1982).

O ambiente do arquipélago é fortemente influenciado pelos limites e variações sazonais da extensão do gelo marinho e da posição setorizada da Corrente Circumpolar Antártica (ORSI, WHITWORTH III e NOWLIN, 1995). Este ambiente insular é, portanto, representativo de um ambiente ecológico distinto, uma biota. Mais especificamente, a ilha em estudo, a Rei George (IRG), Lat. 61° 50' e 62° 15' S e Long. 57° 30' e 59° 00' W, é a maior do arquipélago, com 80 km de extensão e 15 km de largura média (1.250 km<sup>2</sup>), aproximadamente (BREMER, 1998).

Situada na parte central da IRG, a BA é o maior sistema de fiorde de todo o arquipélago, cobrindo 131 km<sup>2</sup> de área, aproximadamente. A FIG. 2b também identifica a Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado No. 1, ou *Antarctic Specially Managed Area Admiralty Bay No. 1* (ASMA1) e a Área Antártica Especialmente Protegida Costa Oeste da baía do Almirantado No. 128 ou *Antarctic Specialty Protected Area Western Shore of Admiralty Bay No. 128* (ASPA 128), antigamente denominado SSSI No. 8. Nesta ASPA, o *United States Antarctic Program* mantém o refugio de pesquisa *Peter J. Lenie*, sede de um projeto de monitoramento de longo prazo das espécies predadoras de topo da cadeia trófica. A série histórica resultante desses esforços iniciou em 1977 e compõem um dos acervos científicos mais representativos para esse setor da PA (MYRCHA, 1993)

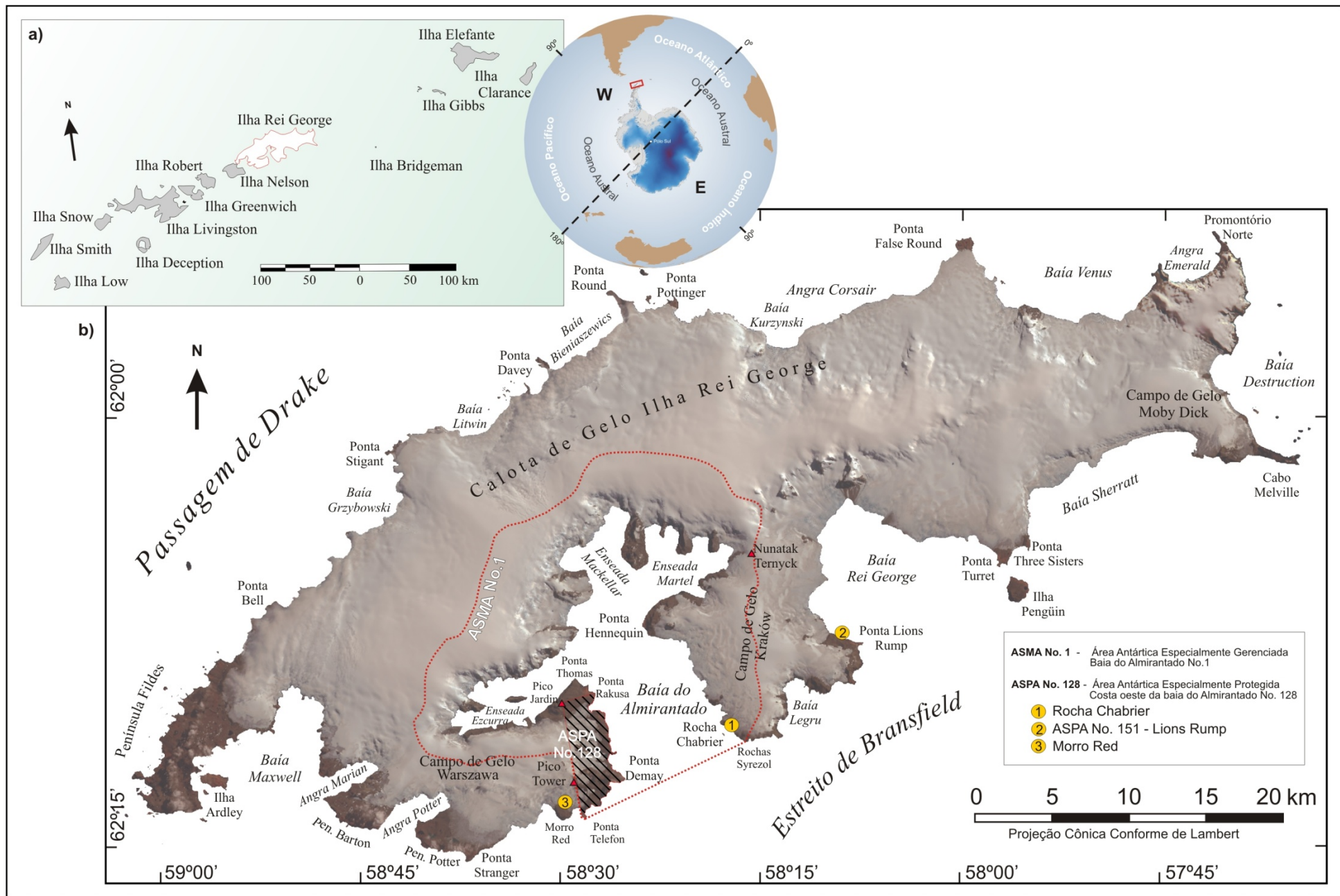


FIGURA 2 - Área de estudo: baía do Almirantado, ilha Rei George, ilhas Shetland do Sul e sua localização na Antártica. Adaptado de Arigony-Neto (2001).



As variáveis ambientais e biológicas dessa baía, associadas à dinâmica marinha oferecida pelo estreito de Bransfield (FIG. 1 e 2b), tipificam o sistema geoecológico da PA. No sentido mais amplo dos estudos ecológicos, a geoecologia investiga o papel determinante do solo como substrato para o desenvolvimento dos organismos e das comunidades um sistema aberto, integrando os conhecimentos sobre os domínios morfoclimáticos, geológicos, fitogeográficos e biogeográficos aos estudos pedológicos (COLEMAN, ODUM e CROSSLEY, 1992; BEYER, BÖELTER e STONEHOUSE, 2002). Dessa maneira, apontando para a importância de se investigar a sensibilidade ambiental, o impacto da variabilidade ambiental e a respostas da distribuição da vida na BA. A descrição mais detalhada desse ambiente é apresentada nos capítulos dois e três.

### **1.3 - Variabilidade da temperatura e as mudanças climáticas**

As interações entre a atmosfera, o oceano e a criosfera expressam a variabilidade dos componentes do sistema climático da Terra. Enquanto a temperatura é uma das propriedades físicas da matéria mais significativas para as variáveis ambientais do planeta, tanto em termos climatológicos como em termos ecológicos, a expressão “variabilidade natural da temperatura” caracteriza a amplitude possível e regular dos valores médios desta propriedade física básica. Contudo, a amplitude é inexpressiva para o conceito de mudança do estado médio (HASSELMANN, 1997), mais comumente conhecido por “mudanças climáticas”. Um dos exemplos mais significativos deste fato é a investigação da temperatura atmosférica superficial; sua variabilidade; e a contribuição antropogênica para as mudanças do clima, concentrando-se nas tendências estatísticas nas escalas global e/ou de longo prazo (HEGERL *et al.*, 2006; IPCC, 2007b).

Quatro componentes principais contribuem simultaneamente (e variavelmente), no espaço e no tempo, para definir as mudanças nas médias climatológicas das temperaturas observadas na superfície da Terra, principalmente nas últimas décadas:

- I) o aporte de radiação solar;
- II) os aerossóis de origem vulcânica;
- III) os aerossóis de sulfato; e
- IV) os gases-estufa.

Segundo Barry e Chorley (2003), os dois primeiros componentes (o aporte de radiação solar e os aerossóis de origem vulcânica) variam naturalmente na atmosfera. As elevadas concentrações atuais dos dois últimos componentes (III e IV) são de origem antrópica. Se considerarmos que as flutuações dos estados médios da atmosfera, em grande parte, originárias das mudanças nos padrões físicos das massas de ar, então, esses quatro componentes podem ser considerados agentes forçantes do sistema climático.

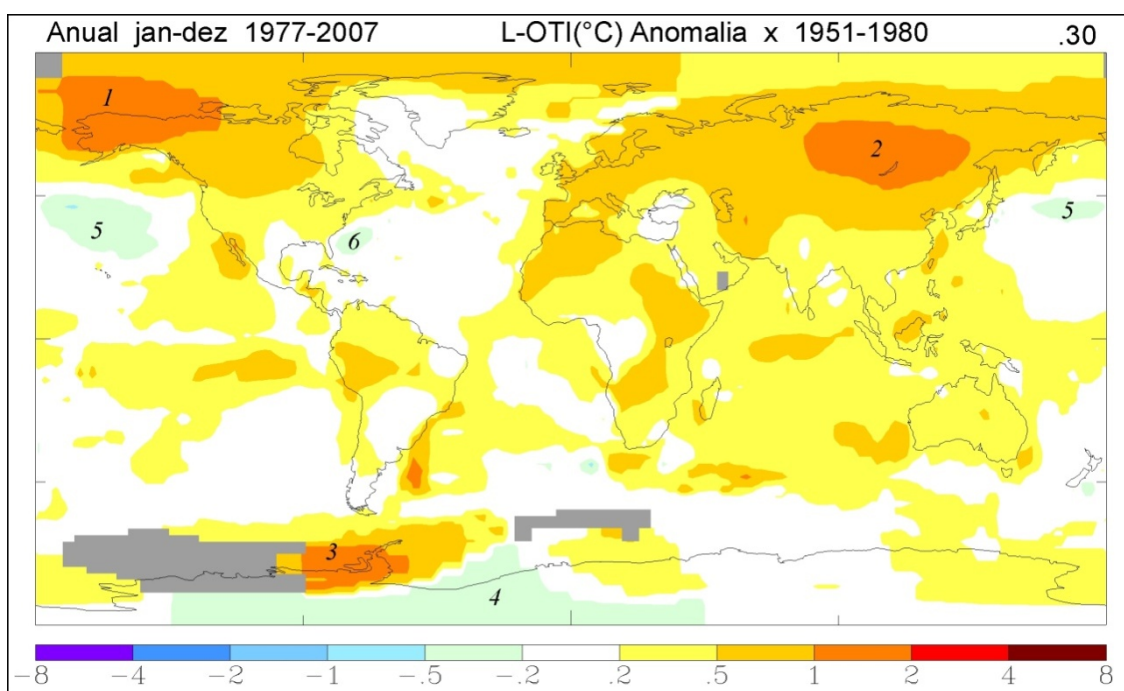
Esses componentes, junto com o vapor d'água, contribuem preponderantemente para a dinâmica atmosférica e a inerente variabilidade deste sistema. Hegerl *et al.* (2006) afirmam que para identificar o sinal antropogênico das mudanças climáticas é necessário distinguir o ruído da variabilidade natural, demandando não somente a investigação do grau, mas a estrutura da variabilidade natural inserida no sistema climático. Esses autores afirmam que a escala decenal de análise pode oferecer uma resolução maior para os dois componentes do sistema climático - o sinal antropogênico e a variabilidade natural do sistema.

Os registros de observação instrumentais da temperatura da superfície da Terra compõem uma série histórica de um pouco mais de 100 anos. Este conjunto de dados observacionais é insuficiente para produzir estimativas mais precisas da variabilidade climática de longo prazo, mas serve de marcador para as análises na escala decenal (HASSELMANN, 1997).

Para ampliar a resolução temporal da variabilidade climática (na escala de centenas a milhares de anos), os estudos paleoclimáticos, empregando outras séries históricas mais longas, produzidas de fontes paleoindicativas, oferecem meios sofisticados para reconstruir as climatologias pretéritas. Esses históricos ambientais podem vir de testemunhos de gelo, sedimentos de fundo lacustre ou marinho, palinocronologia, rochas

sedimentares, corais, espeleocronologia, e dendrocronológica (TETT *et al.*, 1999; NRC, 2000; GILLETT e THOMPSON, 2003; HEGERL *et al.*, 2006).

Com base nos trabalhos e análises do *Goddard Institute for Space Studies* (GISS) da *National Aeronautics and Space Administration*, a FIG. 3 exemplifica a variabilidade do estado médio da temperatura da superfície do planeta (GISS, 2008). A FIG. 3 demonstra a mudança e variabilidade, no espaço e no tempo, dos desvios das médias anuais de 1951 a 1980, em relação às anomalias de temperatura da superfície da Terra para a média de trinta anos (1977-2007). Esta análise da temperatura de superfície dos últimos trinta anos apresenta uma anomalia da temperatura média global  $0,3^{\circ}\text{C}$  (amarelo) maior que a média 1951-1980.



**FIGURA 3** – Mapa global das anomalias médias anuais da temperatura de superfície, entre 1977-2007, relativo ao período base 1951-1980. Fonte: GISS (2008).

A FIG.3 demonstra a persistência estatística e a distribuição da tendência de aquecimento da superfície do planeta. Neste mapa global, as maiores anomalias positivas, entre  $0,5$  e  $2,0^{\circ}\text{C}$  (laranja a laranja escuro) descrevem a maior parte da zona temperada e polar do Hemisfério Norte, destacando as regiões do Alaska/ mar de Bering (1) e a Rússia central (2).

Para o Hemisfério Sul, a região da Península Antártica/mares de Weddell e Bellingshausen/Amundsen (3) mostra as anomalias mais altas de temperatura de superfície.

Hansen *et al.* (2007), afirmam que atualmente o elevado grau de confiança estatística permite concluir que a tendência de aquecimento, descrito nas análises dos últimos trinta anos, é atribuído ao aumento dos gases estufa de origem antrópica.

A série histórica da temperatura de superfície do GISS também demonstra que, de 1990 até o presente, ocorreram os 14 anos mais quentes do planeta. Mais precisamente, os oito anos mais quentes, ocorreram entre 1998 e 2007. Contudo, a FIG. 3 também acusa o resfriamento significativo (anomalia positiva de -0,2 a -0,5) nos últimos trinta anos, em três áreas do planeta: o continente antártico (4); o Pacífico norte (5) e o setor oeste do Atlântico norte (6).

Segundo Turner *et al.* (2008), as condições ambientais da criosfera não respondem linearmente às mudanças nas condições atmosféricas e oceânicas observadas nas zonas de latitudes inter-tropicais e médias, principalmente na região Antártica. Esta não linearidade pode ser confirmada pelos seguintes exemplos:

- a) Os sinais da ENOS identificados nos testemunhos de gelo da Antártica, que não corroboram necessariamente com os sinais encontrados nos dados climáticos (instrumentalmente observados) naquela região;
- b) A crescente evidência de que os sinais da ENOS podem ser transmitidos em direções opostas (das altas para as baixas latitudes). Essa não-linearidade também pode ser vista pelas mudanças geradas nas regiões extrapolares, com impactos profundos no ambiente Antártico;
- c) A degradação da camada de ozônio sobre a Antártica, lembrando que as emissões de cloro-fluorcarbono, ou gases CFC, são principalmente produzidos no Hemisfério Norte; e, simultaneamente
- d) A grande sensibilidade da Antártica às mudanças do balanço de radiação da Terra, que em grande parte, resultam do constante aumento das emissões gases estufa, também preponderantemente gerados no Hemisfério Norte.

#### 1.4- Impacto da variabilidade climática sobre os ecossistemas

Os diversos biomas são, de fato, as expressões materiais das fronteiras da distribuição (no espaço e no tempo) dos distintos conjuntos da flora e fauna, definindo seus modos de tolerância, vulnerabilidade e adaptação aos elementos do meio físico, ou variáveis ambientais, de seus habitats (BONAN, 2002; WALTHER *et al.*, 2002; MACDOANALD, 2003).

Assim, devemos lembrar que, genericamente, o esforço de coleta das observações instrumentalmente medidas (dados), produzido pelas ciências físicas, forma um corpo de informações ambientais (séries históricas), de resolução temporal e espacial, muito maior que as observações produzidas pelas ciências biológicas, nas mesmas escalas de tempo e espaço.

De outra maneira, o desafio é compreender melhor os elementos particulares, que compõem os diferentes arranjos biológicos da Terra (uma resolução de variáveis dependentes (VD), de séries históricas geralmente menores) em função dos elementos físicos, que determinam os ambientes bióticos, representados por um conjunto de variáveis independentes (VI), de séries históricas geralmente bem maiores (BONAN, 2002; SYMSTAD *et al.*, 2003).

Embora relativamente mais recente, a resolução crescente de informações (em escalas e categorias de análise) sobre a diversidade e variabilidade da sucessão biológica (populações - comunidades - ecossistemas) oferece inúmeras possibilidades para compreender quais são as estratégias e comportamentos de sobrevivência: predação, competição e/ou colaboração, que moldaram e moldam as espécies, e, por conseqüência, as desenvolvem em comunidades e nichos ecológicos distintos.

A estrutura e dinâmica das populações dos ecossistemas variam em muitas escalas espaciais e temporais. As escalas espaciais são muito mais evidentes que as dimensões temporais, onde os padrões dos ciclos, a variabilidade inerente e as mudanças dos estados médios, variam de instantes até milhares de anos (ODUM e BARRET, 2004). Assim, as respostas estruturais dos ecossistemas às mudanças ambientais são definidas pelos agentes forçantes. A variabilidade da temperatura atmosférica e a temperatura

da superfície do oceano são algumas das expressões mensuráveis, fundamentais, das forças que agem sobre os sistemas ecológicos.

Sinteticamente, a temperatura é uma variável determinante entre as propriedades físicas, instrumentalmente mensuráveis, para qualquer ensaio sobre os impactos das mudanças ambientais nos ecossistemas (BONAN, 2002).

Atualmente, o IPCC afirma que, se a temperatura global aumentar mais de 1,5 a 2,5 °C, 20 a 30% das espécies de flora e fauna, avaliadas até o momento, provavelmente aumentarão os seus riscos de extinção (IPCC, 2007a). Essas projeções são particularmente dramáticas para a composição sistêmica dos oceanos. Nos últimos dez a quinze anos, inúmeros trabalhos científicos documentam evidências das alterações no ambiente marinho, que podem ser associadas diretamente com mudanças nos padrões das forças físicas (os agentes forçantes), que definem a dinâmica, os estados e a ciclicidade de forças do sistema Terra (CLARKE e HARRIS, 2003; TURNER, OVERLAND e WALSH, 2007).

Os oceanos compõem o ambiente para mais de 90% da biomassa viva da Terra. A nossa habilidade de precisar as mudanças significativas nos oceanos resulta diretamente no avanço do conhecimento da diversidade biológica e da complexidade da cadeia trófica dos ambientes marinhos – questões, ainda pouco conhecidas (UNEP, 2006). Contudo, é certo que as mudanças ambientais incluirão alterações pontuais e medianas em diversos padrões climáticos da atmosfera e dos oceanos, tais como: as temperaturas, níveis dos mares, extensão do gelo marinho, acidificação e salinidade das águas, padrões da precipitação, frequência das tempestades, velocidade e direção dos ventos e condições das ondas (IPCC, 2001; SIMMONDS e ISAAC, 2007).

As interações e retroalimentação envolvendo esses componentes naturais do sistema, assim como as forçantes antrópicas, são particularmente intensas nas altas latitudes (TURNER, OVERLAND e WALSH, 2007). Essas projeções, de fato, já envolvem as duas regiões polares, que juntas, formam quase a totalidade das áreas glaciadas do planeta, a criosfera - um dos principais ambientes controladores dos padrões de circulação atmosférica e



oceânica do planeta (KING e TURNER, 1997; BARRY e CHORLEY, 2003), promovendo processos importantes como: as ciclagens biológica e química na atmosfera e oceanos, a formação e distribuição do gelo marinho, a dinâmica sazonal das áreas de *permafrost*, o transporte de *vapor d'água* e o volume e estabilidade dos *mantos* de gelo.

Outra vez, considerando os modelos de circulação geral da atmosfera, as regiões polares registram tendências positivas nos índices de Oscilação do Ártico (*Arctic Oscillation – AO*), Oscilação da Antártica (*Antarctic Oscillation - AAO*) e o padrão Pacífico/Norte-americano (*Pacific-North American Pattern - PNA*), desde a década de 1950, contribuindo significativamente para a tendência crescente da temperatura média global, de longo prazo. A persistência no comportamento de muitos dos componentes ambientais das regiões polares, bem como a influência da retroalimentação desses mesmos componentes, serão agentes forçantes significativos para as tendências climáticas das próximas décadas. No entanto, podem ser esperadas grandes diferenças espaciais e temporais de contribuições relativas da variabilidade, forçantes externas e retroalimentação/amplificação dos mesmos. Portanto, é particularmente importante compreender os processos regionais de realimentação para projeções futuras com base no modelamento de cenários (TURNER, OVERLAND e WALSH, 2007).

Vale observar que, embora as duas regiões polares tenham grandes similaridades físicas (e.g., fotoperíodos extremos, regimes térmicos mais baixos do planeta e sob forte influência de gelo e neve durante o ano inteiro), elas são distintas, uma da outra, em quase todos os demais aspectos.

O Oceano Ártico é uma bacia cercada por duas massas continentais. Em contraste, o OA é contíguo aos três outros oceanos e circunda uma única massa continental: o continente antártico. As pressões globais e locais continuam a crescer para ambas as regiões.

Mas, para o Ártico, os cenários projetados para os próximos vinte anos devem levar em conta que essa região também está próxima de áreas populosas, logo, fortemente influenciada pelas atividades humanas. Assim, as preocupações são com as implicações ecológicas relacionadas às aceleradas mudanças ambientais em curso tais como a existência, extensão e duração do

gelo marinho; o aumento da temperatura de superfície; o aquecimento do permafrost em grandes extensões da região e a redução da área de tundra (TURNER, OVERLAND e WALSH, 2007).

Na Antártica, os impactos ambientais são relacionados ao potencial de exploração dos recursos naturais, que ameaçam os ecossistemas da região, incorporando questões de sustentabilidade e gestão multilateral dos recursos vivos do OA.

De qualquer maneira, nas duas regiões polares, a capacidade dos ecossistemas, principalmente do ecossistema marinho, de absorver o acúmulo de uma quantidade crescente de impactos (a resiliência) ainda é desconhecida (CLARKE e HARRIS, 2003; TURNER, OVERLAND e WALSH, 2007).

A ocorrência de terreno exposto na Antártica (área livre de gelo) compõe do que 0,5% de todas as terras emersas da região (DREWRY, JORDAN e JANKOWSKI, 1982; CLARIDGE, CAMPBELL e SHEPPARD, 2000). Segundo Hansom e Gordon (1998), estas áreas podem ser descritos por dois padrões de distribuição.

O primeiro define as áreas *continentais* livre de gelo, que são associados às cordilheiras montanhosas; afloramentos rochosos e os diversos vales secos, adjacentes a costa (os desertos polares). Este padrão é associado a fatores físico-ambientais como: latitudes maiores; altitudes médias e maiores, com forte influência continental (temperaturas polares menores e umidade relativa muito baixa).

O segundo padrão descreve as áreas *costeiras* livre de gelo, que são situadas nas margens do continente; da Península Antártica; das ilhas costeiras e oceânicas do OA (subantárticas e antárticas). Este padrão associa-se a um conjunto de fatores físico-ambientais distintos: latitudes polares menores; baixas altitudes, com forte influência marítima (temperaturas polares mais elevadas e umidade relativa mais alta). Estas áreas costeiras geralmente ocorrem nas penínsulas, projetadas para dentro do oceano (margeando/delimitando as áreas terminais das geleiras e plataformas de gelo ou, então, as margens das ilhas e rochedos). Proporcionalmente, as ilhas subantárticas concentram a maioria destas áreas livre de gelo, mas é no continente (ilhas antárticas incluídas) que estes terrenos têm grande

relevância, pois concentram os afloramentos de registros geológicos importantes, além de oferecerem o substrato para a grande maioria da vida terrestre antártica. Conclusivamente, evolução dos impactos, a colonização e o desenvolvimento de novos habitats terrestres podem ser observados somente em algumas áreas favorecidas da Antártica (HANSOM e GORDON, 1998).

### **1.5- Variabilidade ambiental e os impactos na região antártica**

A região polar sul, formada pelo continente antártico, as ilhas na periferia desse continente e o OA circundante reforçam a importância da capacidade de controle das variáveis físicas e químicas que essa região tem sobre a estrutura da biosfera. Já em 2001, o relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças do Clima, ou *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), afirmava que as mudanças climáticas, provavelmente, produziram mudanças de longo prazo – talvez irreversíveis – na estrutura física e ecológica do OA e, também, que as reduções projetadas para a extensão do gelo marinho alterariam a biota. Conseqüentemente, a explosão sazonal de vida na periferia e sob o gelo marinho, seriam impactadas em todos os níveis da cadeia trófica: das algas aos grandes cetáceos (IPCC, 2001). O OA sustenta mais de 50% da biomassa dos mamíferos marinhos do mundo, incluindo aproximadamente 1/5 das espécies de cetáceos (BOYD, 2002; ELLIOT e SIMMONDS, 2007) e 26 espécies de aves marinhas (CROXALL, 1992; WOEHLER e CROXALL, 1997; CROXALL, TRATHAN e MURPHY, 2002). Dentre os cetáceos, as espécies com cerdas, se alimentam, quase que exclusivamente, do krill antártico (*Euphausia superba*) (EVERSON, 2000). Em especial, o krill antártico, considerado por muitos como uma das espécies multicelulares de maior biomassa da Terra, ocupando a base da cadeia alimentar de toda a região polar sul, é uma espécie particularmente vulnerável a qualquer mudança em seu ambiente (PARFENOVICH, 1982; EVERSON, 2000). Recentes estudos revelaram que as populações de krill antártico, dependentes da presença de gelo marinho, têm decaído em algumas

áreas mais sensíveis ao aquecimento regional, uma queda de até 80% em alguns setores (ATKINSON *et al.*, 2004; IPCC, 2007b; SPIRIDONOV, 2007).

Atualmente, os impactos das mudanças ambientais na periferia da Antártica estão mais acelerados que as médias globais (FIG. 1) (IPCC 2007a), tornando-se uma das regiões primordiais para compreender e, particularmente, sinalizar para as mudanças ambientais globais (MAYEWSKI e GOODWIN, 1996) ou mesmo sobre conseqüências para outras regiões do planeta [e.g., já existem evidências claras de que a variabilidade climática no extremo sul do Brasil é fortemente controlada por processos que ocorrem na periferia da Antártica (TURNER *et al.*, 2005; AQUINO *et al.*, 2006), promovendo outra motivação para investigação científica: os fenômenos associados as alterações dos padrões de freqüência e intensidade de eventos meteorológicos extremos.

A temperatura do ar na superfície da Terra aumentou 0,06 °C por década, durante o século XX (IPCC, 2007b). Porém, a região Antártica não tem respondido linearmente a essas mudanças. Muito ainda precisa ser investigado sobre a dinâmica ambiental da região, mas cinco processos corroboram significativamente para essa não-linearidade do sistema na região:

- i) A degradação da camada de ozônio sobre a Antártica (um filtro contra a intensidade da radiação UV-B) que afeta o crescimento de fitoplâncton no OA, impactando sensivelmente a cadeia alimentar do ecossistema antártico;
- ii) O aquecimento na troposfera média, sobre a PA, a camada da atmosfera 5 km acima da superfície é uma das variações regionais de aquecimento troposféricos mais fortes da Terra. Não é bem compreendido se existe alguma associação (resposta) direta, (linear) com o resfriamento troposférico sobre do manto de gelo da Antártica (TURNER *et al.*, 2006);
- iii) Os resultados de modelos climáticos, de maneira geral, indicam um aquecimento amplificado nas regiões polares (CHEN, DRAKE, 1986; CATTLE e CROSSLEY, 1995). Particularmente, a região da Península Antártica (FIG.1) registrou um aumento da temperatura do ar superficial maior que 2°C, nos últimos cinquenta anos (VAUGHAN e DOAKE, 1996; WELLER, 1998; SMITH *et al.*, 1999; COMISO, 2000; VAUGHAN *et al.*, 2001; VAUGHN *et al.*, 2003), aproximadamente cinco vezes maior que a média anual global;

- iv) A fragmentação de grandes extensões da plataforma gelo<sup>2</sup> nos últimos anos modificou as condições oceanográficas e climáticas regionais, conseqüentemente, alterando, pela sua complexidade sistêmica, o habitat da fauna e flora da região, como um todo (SMITH *et al.*, 1999; REID e CROXALL, 2001; SMITH *et al.*, 2003);
- v) Um resfriamento da Antártica continental, entre 1966 e 2000, particularmente durante os meses de verão e outono (novembro a fevereiro), conforme o estudo de Doran *et al.* (2002), empregando dados meteorológicos para a região continental. A FIG.3 incorpora resultados similares a esses estudos. Também, existem evidências de impacto sobre os raros ecossistemas terrestres continentais (SYMSTAD *et al.*, 2003), que respondem rapidamente ao resfriamento, na escala sub-regional.

Somando a esses fenômenos e seus contrastes, diversos trabalhos relatam indícios do aquecimento recente da periferia do continente antártico (JACKA; BUDD, 1998; VAUGHN *et al.*, 2001; DORAN *et al.*, 2002).

Contudo, uma lógica linear, de causa e efeito na complexidade da dinâmica do ambiente e (as conexões entre os diversos sistemas que formam a Terra) é possível: o gelo marinho do OA e o manto de gelo do continente antártico contribuem preponderantemente para o conjunto de indicadores ambientais, traduzidos na variabilidade climática. Logo, os impactos sobre a formação do gelo marinho e a estabilidade do manto de gelo conduzem diretamente, e paulatinamente, para a mudança (evolução) da biogeografia e biodiversidade da região polar sul (STUART *et al.*, 2000; PECK, 2005; CLARKE JOHNSTON e MURPHY, 2007).

Coincidente ao aquecimento observado na PA, o setor oeste dessa região demonstra uma tendência, estatisticamente significativa, na diminuição da extensão do gelo marinho de inverno, desde 1978 (JACKA e BUDD, 1998; COMISO, 2000). Dessa maneira, sendo identificada como uma das regiões mais sensíveis às variações climáticas do planeta (FIG. 3).

---

<sup>2</sup> Plataforma de gelo (*ice shelf*) é a parte flutuante de um manto de gelo. Sua espessura varia entre 200 a 2.000 m, é fixa à costa e geralmente tem grande extensão horizontal e superfície plana ou suavemente ondulada. Aproximadamente 42% da costa da Antártica é coberto por plataformas de gelo (SIMÕES, 2004).

## 1.6 – A atividade humana na região antártica

Periférica à abordagem dos elementos físico-ambientais, a intensificação dos impactos antrópicos é outro aspecto importante na investigação da Antártica, pois essa região ainda é a maior área preservada do planeta. O Protocolo de Proteção ao Ambiente Antártico, ou Protocolo de Madri, em 1991, expressa essa preocupação, estabelecendo diretrizes e procedimentos que devem ser adotados na execução das atividades de pesquisa e de apoio logístico na Antártica (ATCM XXIV, 2001). Resumidamente, as atividades de todos os estados nacionais, integrantes do Tratado Antártico, ratificam esse protocolo. Portanto, as atividades brasileiras na Antártica são também orientadas por esse compromisso. Entre esses procedimentos, registra-se a importância do monitoramento do impacto ambiental. De fato, as ilhas Shetland do Sul localizam-se dentro do setor antártico que recebe o maior volume de trânsito e atividade humana (FIG. 2a). Até o presente, ainda não se tem uma avaliação real do impacto da atividade humana, no presente e no passado, dessa região da Antártica (HARRIS, 1991; WALL, 2005), justificando a necessidade de investigar a natureza da variabilidade natural inerente a esse espaço. Somando a todos esses esforços, a presença humana na região antártica tem produzido alguns eventos significativos no campo das relações internacionais relativos a questões de conservação ambiental.

Em 1991, na tentativa de controlar e mitigar o conjunto dos riscos e impactos ambientais em curso na região, o Anexo V - Proteção de Área e Manejo, do Protocolo de Proteção Ambiental, do Tratado Antártico, estabeleceu as bases de um sistema de áreas antárticas protegidas, assim promovendo a coordenação de múltiplas atividades nos diversos sítios antárticos para garantir a proteção especial dos sítios de interesse científico, ecológico e histórico (ATCM XVII, 1993).

Um fato particularmente grave de todo o trânsito humano na região é o constante risco de acidentes. Se tais desastres implicarem em contaminação química, biológica, ou mesmo a destruição física dos sistemas naturais da região, desdobramentos de emergência e resgate são

potencialmente desastrosos para os sistemas ecológicos. Os inúmeros registros das atividades científicas, da indústria do turismo e do pessoal de apoio às operações logísticas na região atestam pelos impactos crescentes. Tais eventos tornam a estabilidade ecológica dos ambientes antárticos ainda mais complexas, principalmente nas áreas livre de gelo e águas costeiras da região da PA, se considerarmos que tanto os ciclos de vida na antártica como o tempo de recuperação dos impactos sofridos pelas espécies antárticas são longos.

Esses fatores, somados a outros elementos e relações sistêmicas da biodiversidade antártica marítima (muitas ainda pouco conhecidas e/ou ainda não-relatadas pela ciência), coexistindo com as mudanças ambientais aceleradas na PA, contribuem para a necessidade do monitoramento da região, que é potencialmente uma sentinela para as mudanças ambientais globais. Neste sentido, a IRG (FIG. 2) é a mais emblemática do arquipélago, pois a sua proximidade geográfica com o extremo sul do continente sul americano e o estabelecimento de uma pista de pouso para aeronaves, na extremidade oeste da ilha, promove a facilidade de acesso para a PA.

Assim, a IRG tornou-se a ilha de maior densidade de ocupação e trânsito humano na Antártica. Nessa ilha, existem nove estações de pesquisa, de ocupação permanente (~25% de todas as estações de pesquisa na região polar sul), onde o trânsito de pesquisadores e de pessoal de apoio cresce em todos os verões austrais. Regularmente, um grande número de navios de turismo opera na região da PA. No verão de 2006, somente na IRG, o número de turistas ultrapassou 14.800 (IAATO, 2007).

Em 1996, a reunião dos estados membros do Tratado Antártico recomendou a proposta coordenada pelo Brasil e Polônia para a criação da ASMA 1 (ATCM XX, 1996). Em 1999, surgiram as primeiras iniciativas para propor uma estrutura de integração dos dados ambientais e biológicos, de diversos esforços de pesquisa desenvolvidos na BA (ARIGONY-NETO *et al.*, 2003) que, embora de formas, conteúdos, volumes e metodologias variadas, o conjunto dessas informações remonta a 60 anos de dados científicos e históricos.

## 1.7– Os Spheniscidae e a variabilidade ambiental

Pinguins (Spheniscidae), descrevendo dezessete espécies<sup>3</sup> de aves marinhas (ANEXO 1), de longe, são as aves marinhas mais resistentes e mais competentes para sobreviver às condições ambientais extremas do OA. Sua grande distribuição regional é diretamente associada aos limites setentrionais do OA, ou então, são influenciadas pela dinâmica da circulação oceânica gerada na Antártica.

Mesmo assim, segundo Williams (1995) e Woehler (1997), somente sete dessas espécies são consideradas os “pinguins antárticos” reproduzindo nas áreas costeiras do continente e ilhas antárticas e subantárticas (*i.e.* que tem os seus centros de distribuição-abundância<sup>4</sup> ao sul do paralelo 60° S): 1) pinguim-imperador (*Aptenodytes forsteri*); 2) pinguim-rei (*Aptenodytes patagonicus*); 3) pinguim-de-penacho-amarelo, ou *macaroni* (*Eudyptes chrysolophus*); 4) pinguim-rockhopper (*Eudyptes chrysocome*); 5) pinguim-adélia (*Pygoscelis adeliae*); 6) pinguim-antártico, ou *chinstrap* (*P. antarctica*) e 7) pinguim-papua, ou *gentoo* (*P. papua*).

Estas aves compõem, aproximadamente, 90% do total da biomassa de avifauna para toda a região antártica (CROXALL, TRATHAN e MURPHY, 2002). Assim, por serem predadoras de topo da cadeia trófica da região polar sul, os Spheniscidae têm grande representatividade ecológica.

Segundo Boersma (2008), a maioria destas populações é descrita em quarenta e três sub-regiões, virtualmente, todas no Hemisfério Sul. Contudo, para a maioria dessas colônias<sup>5</sup>, o conhecimento científico é tão

---

<sup>3</sup> Taxonomicamente, o total de espécies permanece em aberto (16-20). Mas, 17 espécies são amplamente aceitas. As ferramentas de análise por DNA têm ampliado o debate sobre a especiação e subespécies identificáveis (BAKER *et al.*, 2006).

<sup>4</sup> Um conceito, amplamente aceito, nos estudos biogeográficos define que os centros de distribuição-abundância de uma espécie qualquer é dado pela área de máxima abundância, ou densidade, de indivíduos, que declina gradualmente para as bordas, ou limites externos, definindo a área de ocorrência geográfica, ou dispersão da espécie (MACDONALD, 2003).

<sup>5</sup> Ainley (2002) define “colônia” como um grande grupo de pinguins (distribuição microrregional, raio de 8 km) e as repartições contíguas são “subcolônias”. O sítio de reprodução é variavelmente conhecido como pinguineira (*rookery*). Eventualmente, as três expressões descrevem um grupo de pinguins em terra. A convenção mais recente também sugere “*raff*” (balsa) para um coletivo na água, e “*waddle*” (bando) para um coletivo em terra.



reduzido, que até a dinâmica demográfica é um mistério. Como resultado, até pouco tempo, sequer era reconhecido que essas espécies têm, globalmente, sofrido quedas brutais em seus números.

Segundo os critérios do *International Union for the Conservation of Nature* - IUCN, pelo menos algumas dessas espécies já se encontram sob pressão: *P. papua* é avaliado como “globalmente, próximo de ser ameaçado” (*globally near threatened*); o *P. antarctica* é classificado como “regionalmente quase ameaçado” (*regionally threatened*) e o *E. chrysolophus* como “globalmente vulnerável” (*globally vulnerable*). Especificamente, o tamanho das populações de *P. adeliae* e *P. antarctica* no setor da PA diminuiu em 50%, desde a década de 1970 (CROXALL e KIRKWOOD, 1979; CROXALL, 1992; SMITH *et al.*, 2003; WOEHLER, 2004).

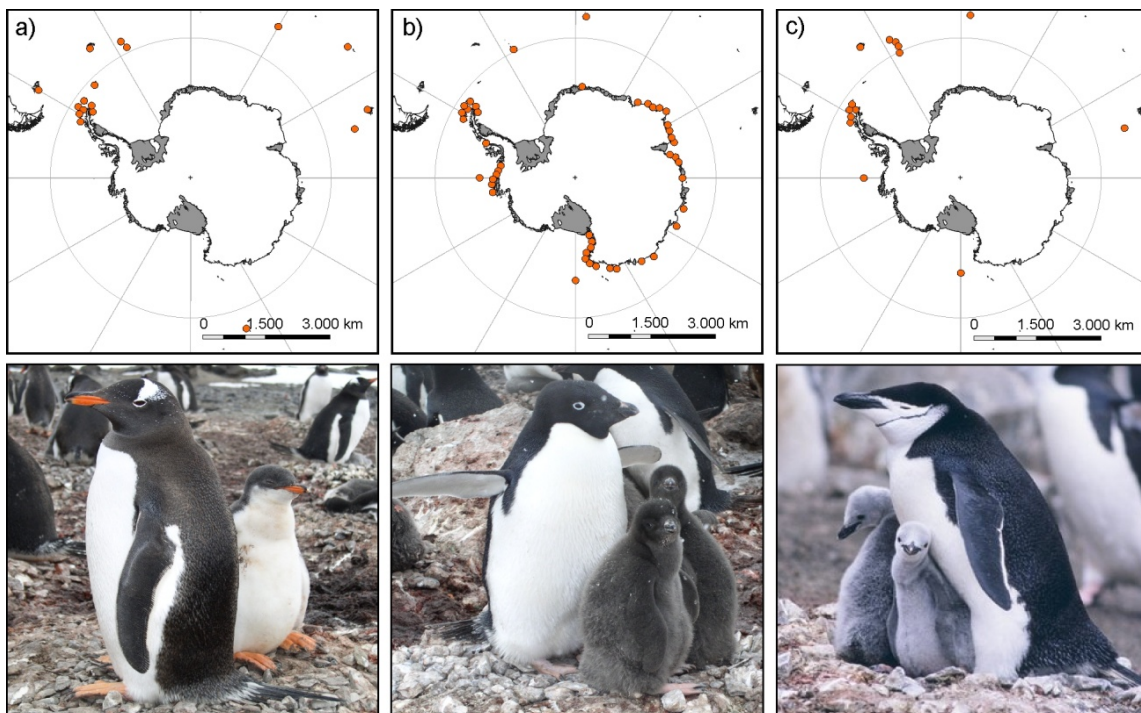
A adaptabilidade ou falência (regulação dos ciclos de vida e dinâmica demográfica) destas populações descrevem padrões de distribuição, sucesso reprodutivo, dieta e outros parâmetros demográficos, biométricos e/ou fenológicos. Por sua vez, estes parâmetros são diretamente e indiretamente dependentes de fatores geográficos, meteorológicos e oceanográficos - forçantes significativas para identificar e medir os impactos sobre cada uma destas espécies predadoras, que respondem rapidamente e visivelmente às forçantes físicas do seu ambiente (CROXALL, 1992; FRASER *et al.*, 1992; LOEB *et al.*, 1997; WILSON *et al.*, 2001; AINLEY, 2002). Assim, os predadores de topo de cadeia tornam-se excelentes indicadores precoces (sentinelas) das mudanças ambientais globais.

A BA conjuga todos os elementos necessários para sustentar as investigações das relações entre a variabilidade ambiental e a história de vida de três espécies de pinguins, neste setor da Antártica. Mais precisamente, a costa oeste da Baía do Almirantado serve de substrato para um importante ecossistema livre de gelo (FIG. 2b). Nesta margem da BA, encontram-se as três espécies de pinguins do Gênero *Pygoscelis*: os pinguins adélia (*P. adeliae*); o chinstrap, ou antártico, (*P. antarctica*); e o gentoo (*P. papua*) (TRIVELPIECE, TRIVELPIECE e VOLKMAN, 1987; MYRCHA, 1993).

Os Spheniscidae são comumente identificados como algumas das espécies sentinelas para as mudanças ambientais. Com um grau de certeza

mais que satisfatório estas aves sinalizam, precocemente, para o potencial de catástrofe nos ecossistemas marinhos e terrestres do mundo (TRIVELPIECE *et al.*, 1990; AINLEY, 2002).

O setor norte da PA é importante para os estudos ecológicos dessas aves marinhas, pois combina os limites de distribuição para as três espécies de *Pygoscelis*. Essas três espécies ocorrem relativamente juntas em somente cinco sítios documentados do setor norte da PA (FIG. 4).



**FIGURA 4** – Distribuição global do gênero *Pygoscelidae*. Os pontos vermelhos localizam as colônias mais representativas de *Pygoscelis papua* (a); *P. adeliae* (b); e *P. antarctica* (c). Fonte: AVIBASE (2006) e HARRIS (2006).

*Nature knows no pause in progress and development,  
and attaches her curse on all inaction.*  
Johann Wolfgang von Goethe (~1780)

## **2 - ECOSSISTEMA E A DINÂMICA COSTEIRA DA BAÍA DO ALMIRANTADO**

---

Este capítulo descreve os componentes ecossistêmicos que definem o raro e pouco conhecido bioma<sup>6</sup> polar da Antártica marítima, em função das espécies do Gênero *Pygoscelidae*. Em seguida, apresenta os processos naturais que compõem a dinâmica ambiental da área terrestre livre de gelo e área marinha da plataforma continental associada. Passa, então, a descrever a climatologia do setor da PA e da baía do Almirantado. Em seguida, aborda a dinâmica e ocorrência o gelo marinho; a estrutura da bacia de drenagem de gelo e o respectivo sistema marinho da BA. Por fim, apresenta a discussão sobre as mudanças ambientais e o ecossistema costeiro da Antártica marítima, para estabelecer, a dinâmica da sazonalidade e a influência da variabilidade climática sobre os *Pygoscelidae* na BA.

### **2.1- Definições do ecossistema costeiro antártico**

O Oceano Austral não é uma unidade espacial única, geograficamente e climaticamente definida pela existência de comunidades semelhantes de plantas, animais e micróbios (NICOL, WORBY e LEAPER, 2008). Desta maneira, a Antártica pode ser descrita como um conjunto de

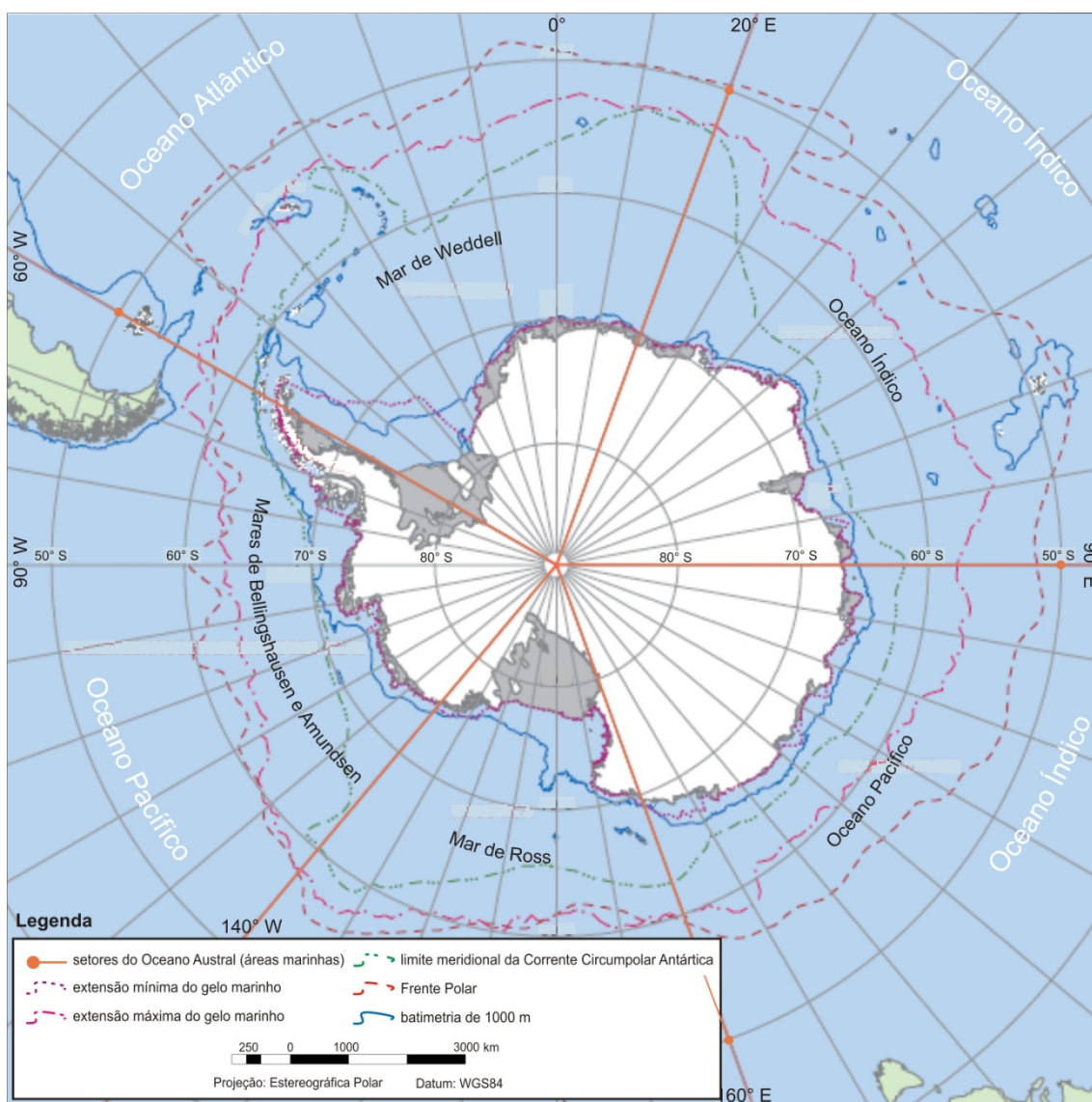
---

<sup>6</sup> Na escala de análise biogeográfica mais ampla, a biosfera pode ser subdividida em regiões supercontinentais de flora e fauna. Assim, a representatividade geográfica do bioma é geralmente avaliada a partir da predominância das relações entre as comunidades vegetais e o clima de uma determinada região, indicativas da estabilidade e similaridade na estrutura ecológica. Um determinado bioma descreve padrões e limites físicos comuns da distribuição espacial de um conjunto de espécies (MACDONALD, 2003).

ecossistemas regionais, definindo gradientes de comunidades biológicas que se estendem do continente, passando pelas áreas costeiras até o mar aberto.

Contudo, nesse contexto, diversos estudos propõem regionalizar os ecossistemas antárticos, tanto do OA (GRANT *et al.*, 2006; PECK, CONVEY e BARNES, 2006) como para as áreas terrestres livres de gelo (HANSOM e GORDON, 1998; BEYER, BÖELTER e STONEHOUSE, 2002). Assim, o complexo ecossistêmico formado pelo meio marinho e as áreas costeiras formam os espaços biologicamente mais produtivos da região polar austral (PECK, 2005; GRANT *et al.*, 2006; HARRIS, 2006; CLARKE *et al.*, 2007).

O limite setentrional do grande ecossistema polar sul reconhecidamente, coincide com o as extensões máximas e mínimas de



**FIGURA 5** - Oceano Austral: limites e setores oceanográficos. Adaptado de Nicol, Worby e Leaper (2008).

parâmetros oceanográficos. Tais variáveis descrevem e delimitam geograficamente as características físicas e químicas do OA. Distintas das outras massas d'água adjacentes, esses limites, assim como as suas sazonalidades e variações, condicionam dramaticamente a sobrevivência e a diversidade da vida na região polar sul (PECK, 2005). A FIG. 5 apresenta as posições médias desses parâmetros: a extensão do gelo marinho, a Corrente Circumpolar Antártica, a Zona Frontal Polar, além da cota batimétrica de 1.000 m.

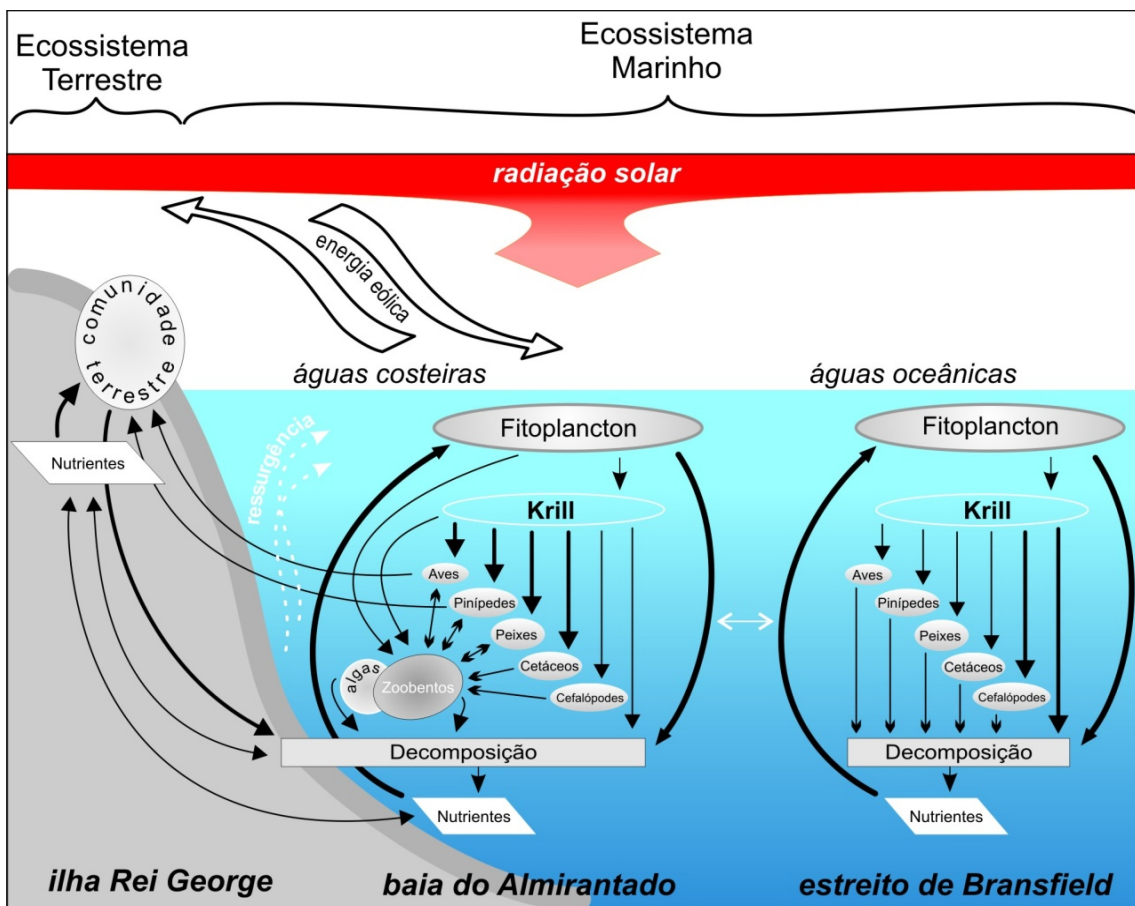
Em particular, a PA serve de divisor para dois setores ecossistêmicos distintos do OA: a costa oeste (incluindo a área marinha e áreas costeiras muito produtivas do setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen) e a costa leste, onde a produtividade biológica é associada à extensão do gelo marinho e da plataforma de gelo do mar de Weddell (HANSOM e GORDON, 1998; PECK, CONVEY e BARNES, 2006) (FIG. 5).

Mas, embora diferentes, as duas áreas marinhas são condicionadas pela variabilidade da mistura das camadas superficiais da massa d'água do OA e o regime marcado dos extremos da radiação solar incidente (CLARKE, 1988).

O ecossistema costeiro das ilhas Shetland do Sul resulta da produção e troca de matéria orgânica (biomassa) entre os ecossistemas marinhos (sustentando elevadas massas de produção biológicas em todos os níveis da cadeia trófica) e os ecossistemas terrestres, que são geograficamente restritos e, por isso, biologicamente menos produtivos. Neste setor, a partir de um ambiente com muita energia física e grande variabilidade sazonal e interanual, desenvolve-se um mosaico de habitats (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993b; CROXALL e KIRKWOOD, 1997; BEYER, BÖELTER e STONEHOUSE, 2002; PECK, 2005; WALL, 2005).

A FIG. 6 apresenta um modelo sistêmico para os principais controles da produtividade biológica, que influenciam diretamente diversos outros processos secundários de desenvolvimento das espécies, comunidades e a distribuição espacial das relações ecológicas da região. Mais precisamente, caracterizando o setor oeste da PA – os mares de Bellingshausen e Amundsen (FIG.5).





**FIGURA 6** - Modelo de circulação de matéria e fluxo energético do ecossistema costeiro da baía do Almirantado e estreito de Bransfield. Modificado de Rakusa-Suszewski (1993a).

Mesmo assim, essas áreas livres de gelo são vitais como substrato para flora, sítios de descanso e reprodução para aves, pinípedes e, também, como áreas-fonte de nutrientes para todo o ecossistema da PA (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993a; BEYER, BÖELTER e STONEHOUSE, 2002).

Aves e pinípedes (predadores de topo da cadeia alimentar, que utilizam sazonalmente as áreas costeiras) alimentam-se nos ambientes marinhos relativamente próximos aos seus sítios terrestres. Assim, a biomassa resultante dessa alimentação é transportada e, eventualmente, depositada nos sítios terrestres desses animais. A variação do aporte da biomassa que é transportada entre os dois sistemas contribui significativamente para a flutuação anual do sucesso reprodutivo das espécies predadoras de topo da cadeia trófica, particularmente para as três espécies de Pygoscelidae observados na BA (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993a; MYRCHA, 1993).

Segundo Croxall, Reid e Prince (1999), a quantidade de biomassa (principalmente de zooplâncton) transportada por aves marinhas pode variar de ano para ano, dependendo das condições sinópticas e da direção dos ventos e correntes na região das ilhas Shetland do Sul. Tatur (1997) afirma que essa biomassa também é a principal fonte de matéria inorgânica acumulada no ecossistema costeiro e plataforma continental adjacente.

Durante as últimas décadas, as geleiras da BA sofreram um recuo significativo (SIMÕES *et al.*, 1999; BREMER *et al.*, 2004), expondo novas áreas livres de gelo e promovendo novos sítios para a atividade biológica e a aceleração dos processos de transporte e troca da biomassa entre os dois sistemas. Esse recuo implica, potencialmente, em mudanças diretas no regime e na variabilidade da troca de energia do ecossistema costeiro da BA. O espaço descrito como área livre de gelo na IRG, até o ano de 2000, era menor que 99 km<sup>2</sup> (8,58%) do total da ilha (BREMER *et al.*, 2004).

Segundo Walker *et al.* (1997), as baixas taxas de fluxo de energia e ciclagem de nutrientes, associado ao lento desenvolvimento das comunidades vegetais, demonstram que os ecossistemas terrestres no setor oeste da PA possuem uma grande sensibilidade à perturbação ambiental.

Na BA, a flora é constituída por vegetais inferiores, como cianobactérias, algas verdes, fungos, líquens, musgos e somente duas espécies de vegetais superiores, a gramínea *Deschampsia antarctica* e a cariofilácea *Colobanthus quitescis* (ZARZYCKI, 1983; FABISZEWSKI e WOJTUŃ, 1993; OLECH, 1993; FRANCELINO *et al.*, 2007).

O tipo de substrato, a presença de atividade animal (principalmente avifauna) e a declividade do terreno, acentuada pelos aportes biogênicos de carbono e nutrientes, promovem a formação dos criosolos, onde as comunidades vegetais têm maior população e diversidade (FRANCELINO *et al.*, 2007).

A própria distribuição da flora na faixa periglacial da BA produz diferentes condições microclimáticas, por exemplo, terrenos mais densamente vegetados absorvem mais radiação solar incidente. Assim, as temperaturas do ar e do solo acentuam a evapotranspiração, aceleram os padrões do derretimento da neve, disponibilizando mais umidade no solo e por mais tempo

(ZARZYCKI, 1983; FABISZEWSKI e WOJTUŃ, 1993; OLECH, 1993; FRANCELINO *et al.*, 2007).

Os limites funcionais para a região do ecossistema costeiro, conduzindo para a heterogeneidade espacial e temporal da distribuição da flora e da fauna, podem ser descritos pela combinação das seguintes áreas de troca de matéria e energia entre o sistema terrestre e o marinho:

- a) A área e a dinâmica descritas pela morfologia da bacia de drenagem da cobertura de gelo da IRG até a margem externa da plataforma continental (BREMER, 1998; DOMACK, BURNETT e LAVENTER, 2003; PICHLMAIER, 2004);
- b) A área e a dinâmicas descritas pela hidrografia e erosão glaciofluvial nas áreas livre de gelo: lagos, lagoas e canais de drenagem das margens (VOGT e BRAUN, 2004; VIEIRA *et al.*, 2006), bem como as relações oceanográficas e glaciomarinhas entre a BA e do estreito de Bransfield (DOMACK e ISHMAN, 1993; AQUINO, 1999);
- c) A área e a dinâmica descritas pelos parâmetros climatológicos da região da BA, principalmente o gelo marinho (JACKA e BUDD, 1998; DEWES, 2004), a temperatura do ar e o vento em superfície (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993b; COMISO, 2000; KEJNA, 2003; HALLET *et al.*, 2004); e
- d) A área e a dinâmica descritas pelas relações tróficas associadas aos regimes sazonais e intensidade dos processos físicos e químicos que caracterizam o ecossistema, determinante para a dinâmica das populações de todas as espécies que se desenvolvem na BA (FABISZEWSKI e WOJTUŃ, 1993; CROXALL e KIRKWOOD, 1997; AINLEY, 2003b; CLARKE *et al.*, 2007). Nesse contexto, menção deve ser dada à dinâmica da presença humana constante na BA, oferecendo uma fonte adicional de matéria orgânica e inorgânica, impactando significativamente o sistema (HARRIS, 1991; HANSOM e GORDON, 1998; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 2002).

## 2.2- A dinâmica costeira da baía do Almirantado

Na BA, as forçantes<sup>7</sup> são definidas pelos fenômenos atmosféricos, oceanográficos, glaciológicos e hidrológicos que determinam a entrada e saída de energia do sistema, promovendo os processos bióticos que determinam a distribuição das espécies (CLARKE, 1988; RAKUSA-

---

<sup>7</sup> A expressão *agente forçante*, ou *forçante*, refere-se a todo e qualquer fenômeno natural ou antrópico que exerce alguma ação sobre um determinado sistema aberto (ARAÚJO, SILVA e MUEHE, 2000; BRASIL, 2002).



SUSZCZEWSKI, 2002; QUALE *et al.*, 2003; PECK, CONVEY e BARNES, 2006).

Similarmente, a geomorfologia local (determinante para a natureza e a densidade das comunidades biológicas presentes nas áreas livres de gelo) pode servir para descrever a produtividade e sensibilidade biológica desses habitats costeiros (TATUR, 2002; WALL, 2005).

O resultado desse conjunto de forças produz feições distintas pela linha de costa da BA. Os macroprocessos encontrados no ambiente livre de gelo da BA podem ser observados na FIG. 7, onde o funcionamento do ecossistema subpolar costeiro é influenciado pela presença da terra (CLARKE, 1988; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993a).

Embora, ainda pouco estudado, é uma observação corrente que a diversidade biológica dessas áreas não se encontra igualmente distribuída ao longo dos diversos trechos da costa da BA (CLARKE, 1988; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 2002; QUALE *et al.*, 2003; WALLER, BARNES e CONVEY, 2006; WALLER, 2008).



**FIGURA 7** - Processos ambientais entre o ecossistema costeiro da costa oeste da baía do Almirantado e estreito de Bransfield (ao fundo). Diagrama adaptado de Rakusa-Suszewski (1993a) e imagem do Projeto Criosolos/UFV/2004.

Tatur (2002) afirma que, para o ecossistema terrestre, o vento tem papel fundamental na dispersão das espécies de flora e fauna terrestre, acelerando os processos de colonização e ocupação de novas áreas (FIG. 6 e 7). Segundo Rakusa-Suszczewski (1993a), as macroalgas cobrem mais de 30% do fundo da BA e, ao decompor, depositam-se no fundo marinho. Assim, toneladas dessas algas são regularmente transportadas e depositadas, pela ação dos ventos e ondas, nas praias da BA, enriquecendo a costa com componentes inorgânicos, orgânicos e metais como cobre, zinco e ferro. As ondas também depositam quantidade substancial de krill e salpas nas praias, que junto com a biomassa das macroalgas, oferecem mais nutrientes ao ecossistema terrestre do litoral.

Os ventos fortes ainda transportam água marinha para a terra, aumentando a salinidade dos ambientes lacustres e terrestres na zona litorâneas. Em sentido oposto, os ventos transportam uma fração significativa da biomassa do ecossistema terrestre para dentro da BA, oferecendo ao ecossistema marinho material inorgânico, matéria orgânica e os produtos da decomposição, principalmente amônia (TATUR, 1997; 2002).

Nas margens da BA existe um complexo de geleiras intercaladas por penínsulas menores, que drenam para dentro da baía (FIG. 7). A retração de várias dessas geleiras expõe uma paisagem de feições sedimentares periglaciais, retrabalhados pelo conjunto dos processos físicos da dinâmica costeira, glaciais, fluviais e eólicos (AQUINO, 1999; VIEIRA *et al.*, 2005). O derretimento na IRG pode ocorrer durante todo o ano, mas a duração do principal período de ablação (a 100 m de altitude) é de, aproximadamente, 2,5 meses (BINTANJA, 1992). Uma estimativa bruta do total de ablação é de 1,5 - 2,0 m de equivalente de água (BINTANJA, 1992; SIMÕES *et al.*, 1999).

A FIG. 7, a área em frente da geleira Baronowski, também ilustra a complexidade do ambiente da maior área periglacial da BA. As geleiras Baronowski e Ecology, ambas na costa oeste da BA, são particularmente testemunhais dessa dinâmica, onde, ao longo dos últimos quarenta e cinco anos, as frentes destas geleiras têm retraído significativamente, aproximadamente 600 m (BIRKENMAJER, 2002; SIMÕES *et al.*, 1999; BREMER *et al.*, 2004). Como resultado, o substrato dessas áreas é formado

por clastos subglaciais, descrevendo formas erosivas e depósitos sucessivos, como cordões morânicos, *eskers* e *flutes* (BIRKENMAJER, 2002; VIEIRA *et al.*, 2005). As áreas terminais dessas duas geleiras comunicam-se diretamente com a BA. Por sua vez, o regime de marés promove uma dinâmica de deposição e transporte. Em quatro décadas de retração, feições lagunares relativamente estáveis foram estabelecidas em frente às áreas terminais das duas geleiras. A progradação desses terrenos periglaciais recentes favorece processos ecológicos incipientes, vitais para a colonização e sucessão ecológica (FABISZEWSKI e WOJTUŃ, 1993; ZARZYCKI, 1993; TATUR, 1997 e 2002; WALL, 2005).

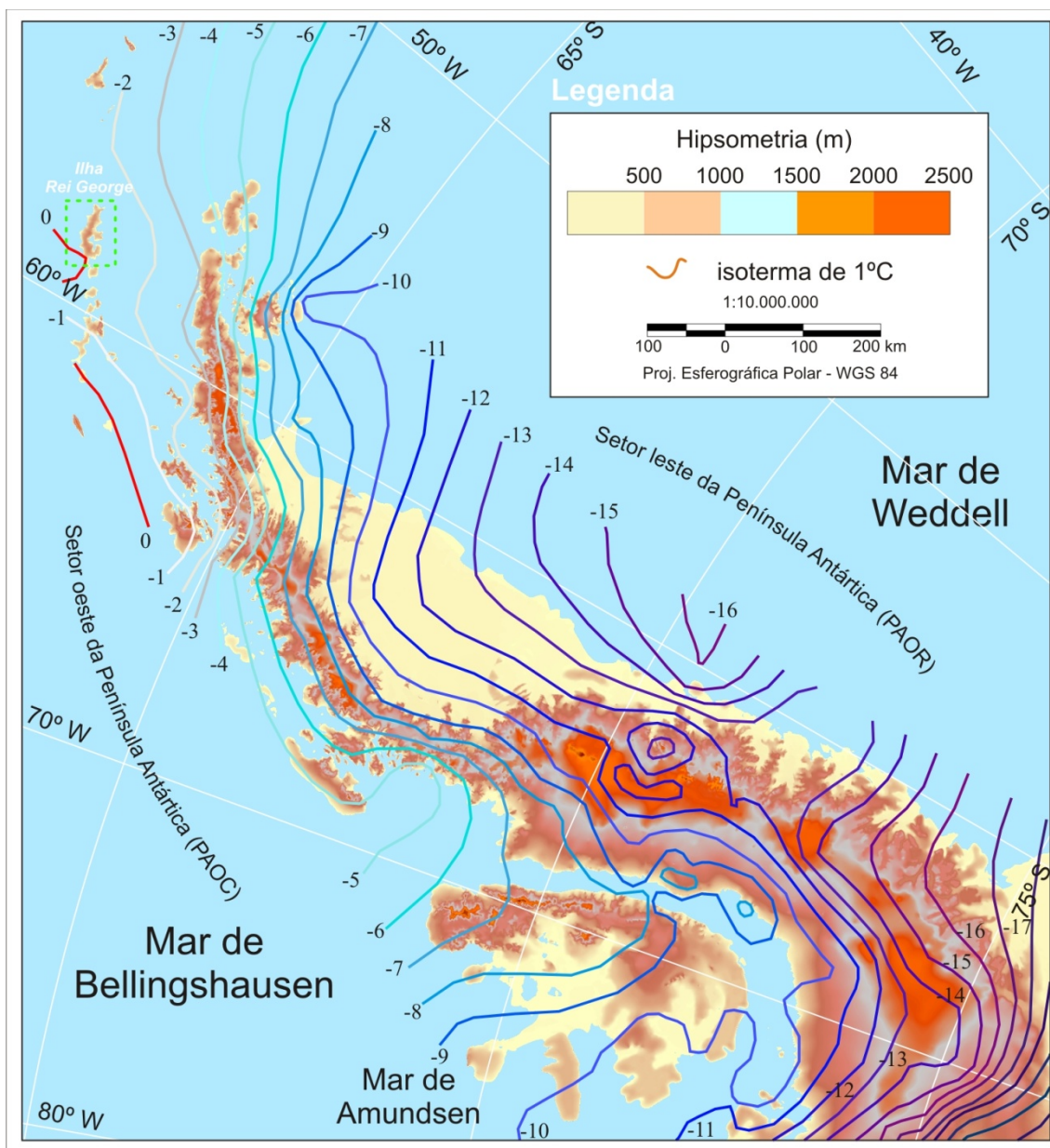
### 2.3- Climatologia da baía do Almirantado

Reynolds (1981), afirma que a PA, situada nas latitudes relativamente baixas para a região polar sul, é a barreira física que define a circulação troposférica para todo o quadrante, definindo duas áreas climáticas:

- O clima polar, no setor oeste da PA, a península antártica ocidental (PAOC), onde a variabilidade das condições de gelo marinho, a forte influência moderadora da circulação do OA e um padrão marcado da circulação atmosférica descrevem a subárea antártica mais temperada e úmida (marítima) de toda a Antártica (FERRON *et al.*, 2004);
- O clima polar, no setor leste da PA, a península antártica oriental (PAOR), tem a influência constante das massas de ar frio que drenam do platô antártico para oeste. A PAOR apresenta temperaturas médias menores (até 7°C mais frio) que locais de mesma latitude e altitude na PAOC (MARTIN e PEEL, 1978), derrubando as temperaturas desse setor para -40°C no meio do inverno (KING e TURNER, 1997).

O gradiente das isotermas de temperatura média anual demonstra o comportamento termal nas duas margens dessa estreita barreira de montanhas, gelo e ilhas costeiras, compondo a PA. A IRG encontra-se entre as

isotermas de  $-1$  e  $-2^{\circ}\text{C}$  (FIG. 8). Ventos fortes das latitudes médias transportam para a zona circumpolar, quantidades relativamente altas de calor e umidade (KNAP, OERLEMANS e CADÉE, 1996). Os registros de temperaturas acima de  $0^{\circ}\text{C}$  na PAOC podem ser associados com esse tipo de transporte.

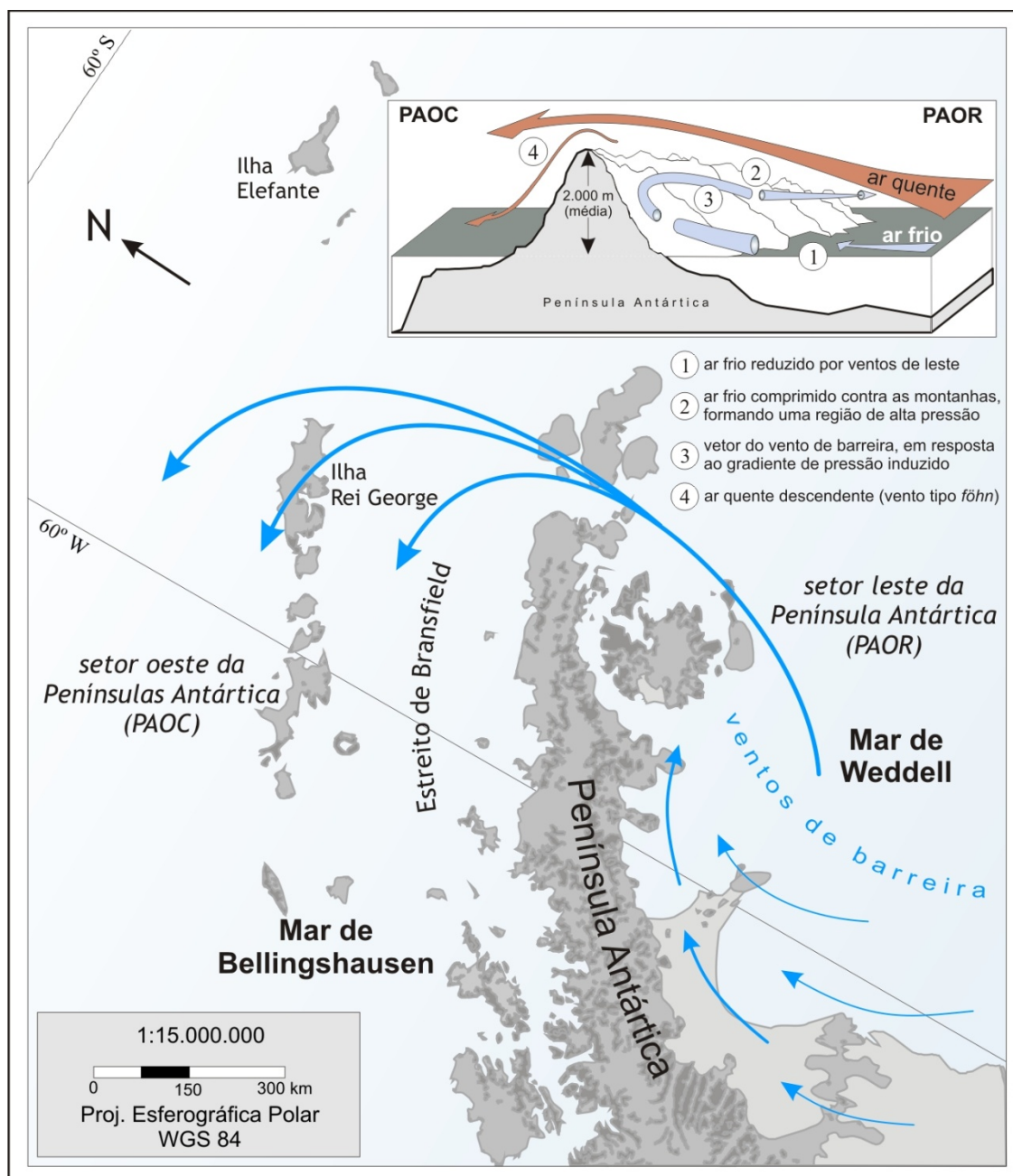


**FIGURA 8** - Isotermas de temperatura média anual para a Península Antártica. Destaca-se a ilha Rei George (retângulo pontilhado verde). Adaptado de Reynolds (1981).

A região do Arquipélago é frequentemente influenciada pelos centros de baixa pressão sobre a PAOR. Os primeiros 500 a 1.000 m da massa de ar sobre o mar de Weddell são condicionados pela superfície de gelo do



interior da Antártica, constantemente drenando ar frio para oeste (FIG. 9). Um segundo estrato, com massas de ar relativamente mais quentes, promove uma forte inversão térmica sobre a PA. Na PAOC, comparativamente (considerando a situação geográfica similar e os mesmos parâmetros físicos) as massas de ar apresentam temperaturas de 5 a 10°C mais altas no verão e, no inverno, de 10 a 20°C mais altas.



**FIGURA 9** – Modelo da dinâmica dos ventos de barreira na Península Antártica. Adaptado de King e Turner (1997).

Dessa maneira, a massa de ar frio, que não consegue ascender, é canalizada pelos ventos, defletindo para norte/nordeste da barreira montanhosa da península, caracterizando o vento de barreira.

Nessa trajetória, em paralelo à cordilheira, quando a barreira montanhosa termina, as massas de ar encontram um gradiente de pressão horizontal mínimo. Sem resistência do estado existente da pressão atmosférica na PAOC, essas massas de ar (com temperaturas até 10°C menores e pressões atmosféricas até 5 mb maiores), facilmente contornam o espaço atmosférico ocidental da península (SCHWERDTFEGER, 1975 e 1984; SCHWERDTFEGER e AMATURO, 1979).

Assim, esses fluxos inerciais de ar frio são comuns no estreito de Bransfield, influenciando a região da IRG. Os sistemas de baixa pressão deslocam-se do mar de Bellingshausen para o leste da PA. As condições meteorológicas do Arquipélago são controladas pela sucessão rápida desses sistemas, durante todo o ano (KNAP, OERLEMANS e CADÉE, 1996; BRAUN e SCHNEIDER, 2000).

Antes de atingir a margem oeste da PA, as massas de ar úmido e relativamente quentes atingem a costa externa da IRG - setor da passagem de Drake (FIG. 9). O domo de gelo da ilha (600 a 700 m de altitude) representa um obstáculo à passagem do ar, assim forçando a subida. Esse ar resfria, formando uma densa camada de nuvens sobre a calota da IRG.

Na seqüência, as massas de ar são canalizadas pelas vertentes para o interior da BA, aquecendo-se novamente e acelerando sobre a lâmina d'água. Se comparado com os setores a barlavento da calota de gelo, como a península Fildes, no segmento ocidental da ilha (FIG. 2), sítio para as observações meteorológicas das Estações Frei e Bellingshausen, esta transformação adiabática, condicionada pela topografia do segmento médio da IRG, confere um regime de temperaturas médias maiores e cobertura de nuvens, umidade e precipitação menores para a BA, a sotavento (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, MIETUS e PIASECKI, 1993; KEJNA, 1999).

Segundo Dewes (2004), as variações na velocidade e na temperatura do ar são melhor explicadas como distúrbios exclusivamente orográficos, embora Martianov e Rakusa-Suszczewski (1990), Kejna (1999),

Braun, Saurer e Goßmann (2004) e outros consideram esse tipo de vento (descendente e de grande velocidade) como sendo um vento catabático do tipo *föhn* (FIG. 9). Nesse sentido, a presença regular de nuvens *altocumulus lenticulares*, tipicamente formadas nas cristas de massas orográficas, reforçam as evidências da presença do efeito orográfico sobre a BA (FIG.10).



**FIGURA 10** - Nuvens *altocumulus lenticulares* sobre a baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica, em março de 2000. Fonte: INPE (2008)

Outra referência para esses argumento é o fato de que a IRG encontra-se dentro da área de influência da zona de Baixa Pressão Circumpolar, determinando a passagem sucessiva de sistemas ciclônicos. Entrando pelo setor sudeste do Oceano Pacífico, esses ventos fortes transportam ar relativamente quente e úmido para a IRG. Assim, caracterizando o clima da ilha como subpolar marítimo (SETZER e HUNGRIA, 1994; WUNDERLE e SAURER, 1995; FERRON *et al.*, 2004).

Similarmente, Ferron *et al.* (2004) determinam o clima como *Etf* (Polar Marítimo do Hemisfério Sul), segundo a classificação de Köppen. De acordo com Smith, Stammerjohn e Baker (1996), o predomínio da influência da maritimidade na IRG também pode ser observado na variabilidade interanual nos meses de inverno na IRG. Esses autores observam que a presença de

gelo marinho (máximo dois meses) na região do Arquipélago é menor que em outras áreas situadas mais ao sul, ao longo da PAOC.

O regime de grande variabilidade ambiental para a IRG pode ser sintetizado pela dinâmica dos ventos predominantes dos setores norte/noroeste/oeste, com advecção de ar quente (BRAUN *et al.*, 2001) e da PAOR (sudeste), transporte de ar frio do mar de Weddell (KEJNA, 1999).

Ferron *et al.* (2004), utilizando as séries históricas de dados meteorológicos (1947–1995) para a IRG, encontraram uma temperatura média anual do ar de  $-2,8^{\circ}\text{C}$ , com uma tendência de aumento anual de  $0,022^{\circ}\text{C}$ . Esses autores também encontraram um aquecimento mais marcado no inverno, uma tendência de  $0,038^{\circ}\text{C}$  por ano.

A climatologia da IRG apresenta pequenas variações na temperatura atmosférica ao longo do ano, alta umidade relativa e uma constante cobertura de nuvens (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, MIETUS e PIASECKI, 1993).

Para a BA, as séries históricas de temperatura do ar em superfície e no interior da BA (desde 1986) apresentam médias mensais positivas para dezembro, janeiro, fevereiro e março (BRASIL, 2004). Dewes (2004), empregando esses resultados com os dados observacionais da presença sazonal do gelo marinho e a classificação de definida por Syvitski, Burrell e Skei (1987), considera a BA como um fiorde com microclima subpolar.

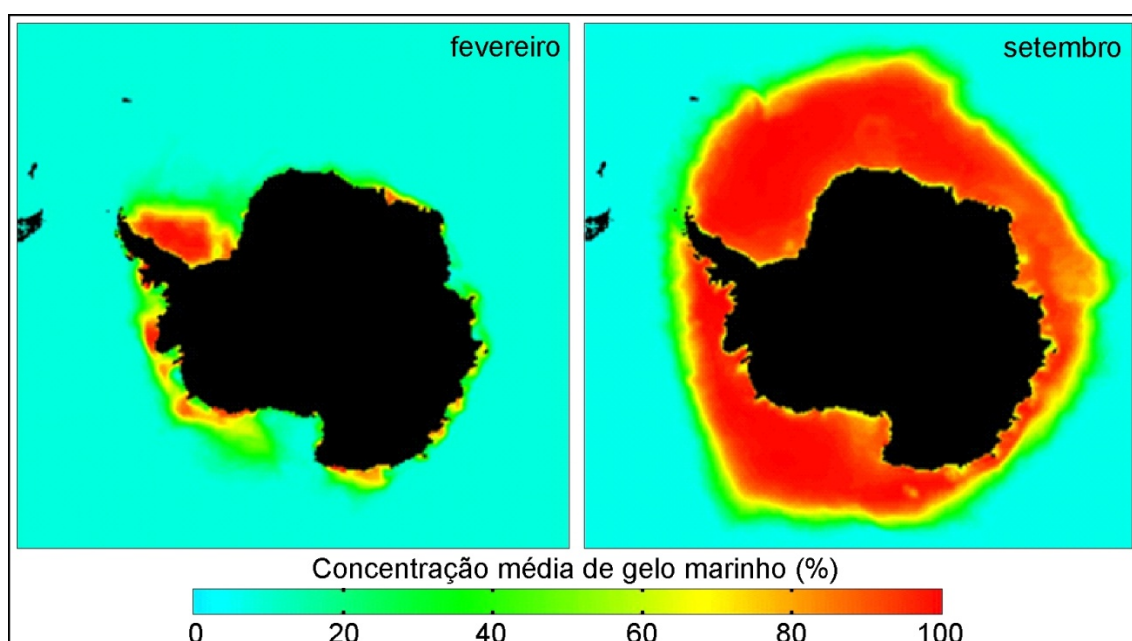
Similarmente, o regime de ventos fortes encontrados dentro da BA, condicionada pela topografia, causa a dispersão e/ou redistribuição da precipitação, tanto da neve como da chuva. As áreas com menos chuva, assim como àquelas com rápida ablação da neve, são facilmente descobertas no verão, permanecendo secas e quentes por mais tempo.

Em contrapartida, aquelas áreas cobertas por uma camada mais espessa de neve são mais úmidas e frias. Essa dinâmica sazonal do aporte de água, relevo e radiação solar influencia diretamente a presença e qualidade da produção biológica das áreas livre de gelo da BA (TATUR, 2002).



## 2.4- Gelo marinho

O gelo marinho é um dos parâmetros mais sensíveis e variáveis do sistema climático. A presença de gelo marinho ao redor da Antártica marca uma dinâmica sazonal de extensões máximas e mínimas de gelo marinho (JACKA e BUDD, 1998; WADHAMS, 1980 e 2000) (FIG.11), servindo como um dos controles principais das interações entre o oceano e a atmosfera, em altas latitudes. Desta maneira, o gelo marinho interfere significativamente na troca de calor e transferência de vapor d'água para a atmosfera.



**FIGURA 11** – Gelo marinho antártico: extensões médias mínimas (fevereiro) e máximas (setembro) aproximadas para o período 1978-2002. Adaptado de NSIDC (2004).

Sua extensão máxima determina o maior aporte de radiação solar que é refletido da superfície da massa d'água, isolando significativamente o ambiente marinho da atmosfera. Inversamente, a diminuição dessa cobertura isolante tem o efeito contrário - aumenta a absorção de calor pelo OA, afetando diretamente, não só a explosão de vida no oceano, mas, também, o balanço de radiação solar recebida e refletida do sistema Terra (DOMACK e ISHMAN, 1993; JACKA e BUDD, 1998; SMITH e STAMMERJOHN, 2001; JUSTINO e PELTIER, 2007).

Considerando as escalas de grandeza da área potencialmente coberta por gelo marinho e o aporte de radiação envolvido nesse ciclo sazonal da formação e ablação, o gelo marinho afeta aproximadamente 60% do total de área superficial do OA. Dessa maneira, a variabilidade da extensão zonal do gelo marinho, ao redor do continente, exerce um impacto ainda mais significativo para o desenvolvimento da vida no OA, principalmente nas áreas costeiras da Antártica.

A FIG. 11 também mostra a concentração média mensal do gelo marinho entre 1978-2002, para os meses de extensão mínima (fevereiro) e máxima (setembro), com base em dados de satélite de microondas passivas do *National Snow and Ice Data Center* (NSIDC, 2004).

Wadhams (2000) determinou que a extensão máxima do gelo marinho, no OA, para um período de 30 dias, ocorre em setembro (18,8 milhões de km<sup>2</sup>) e a mínima em fevereiro (3,6 milhões de km<sup>2</sup>), aproximadamente. Essa dinâmica anual resulta numa variação de 15,2 milhões de km<sup>2</sup>, superando a área do continente, em si (13,6 milhões de km<sup>2</sup>).

Regionalmente, o clima da PA é influenciado pela variação nas extensões médias de gelo marinho dos mares de Weddell e Bellingshausen. Para tanto, observa-se que a formação do gelo marinho é influenciada diretamente pelos padrões de circulação dos ventos dominantes na região da PA, preponderantemente condicionados pela feição montanhosa da península (SETZER e HUNGRIA, 1994). Assim, a advecção dos ventos de barreira (ar frio de sul/sudoeste) contribui para a contínua formação de gelo marinho na PAOR (FIG. 9 e 11).

Para a PAOC, uma maior advecção de massas de ar mais aquecido, de norte/noroeste, tem ocorrido nos invernos das últimas décadas. Diversos trabalhos apontam que a extensão do gelo marinho, a oeste da Península Antártica, possui forte correlação negativa com a temperatura do ar de superfície, logo a extensão do gelo marinho aumenta enquanto a temperatura do ar diminui, e vice-versa. Outros trabalhos, como Aquino *et al.* (2006), Turner, Overland e Walsh (2007) e Turner *et al.* (2008) encontram relações entre a retração do gelo marinho e a mudança nos padrões dos ventos no setor da PA. Esses processos ainda não são bem compreendidos,

mas, possivelmente, a maior advecção seja um dos fatores controladores da retração do gelo marinho no setor leste do mar de Bellingshausen (SCHWERDTFEGER, 1976; JACOBS e COMISO, 1993, 1997; KING e HARANGOZO, 1998; SMITH e STAMMERJOHN, 2001).

King (1994) identificou uma maior variabilidade interanual e tendência de aumento na temperatura média do ar para os meses de inverno, implicando na diminuição da amplitude térmica anual. O estudo, também, aponta para uma tendência de atraso na resposta das anomalias de gelo marinho com relação a anomalias de temperatura do ar, sugerindo uma dependência da primeira variável com relação à segunda, e não ao contrário.

Smith e Stammerjohn (2001) atestam que, tanto para o gelo marinho como para a temperatura, o gradiente norte-sul ao longo da PA seria conseqüência de um balanço entre influências climáticas marítimas (norte) e continentais (sul). Dessa maneira, a existência da cobertura de gelo marinho (no inverno) apresenta uma variabilidade alta de temperatura, correspondendo ao aumento da influência continental. Por outro lado, a ausência de gelo marinho (no verão) tem influência marítima predominante, portanto a variabilidade da temperatura é menor.

Embora a concentração do degelo marinho na Antártica tenha aumentado em área total, entre 1979 e 2005 as projeções climáticas futuras baseadas em modelos numéricos não corroboram com esse cenário (IPCC, 2007b). Esses autores, ainda, projetam uma redução de até 50% na área de gelo marinho para o verão e até 30% para o inverno, até o final do século XXI. Contudo, as relações diretas do gelo marinho com as dinâmicas da atmosfera (temperatura, vento) e do oceano (transporte de calor e correntes oceânicas) tornaram mais complexas a compreensão do fenômeno e sua variabilidade, tornando a validade dos modelos numéricos um desafio para a ciência das mudanças ambientais.

A ocorrência (formação e duração) do gelo marinho em áreas menores e isoladas (como a BA - uma baía de fiorde de altas latitudes) é diretamente dependente das características microclimáticas, definindo os padrões locais da circulação oceânica, vento, temperatura do ar e da água.

Wadhams (1980 e 2000) e Squire (1984) sugerem um modelo para o processo de formação do gelo marinho, que obedece uma seqüência de fases. A primeira é a ocorrência local de formas iniciais de gelo marinho em enseadas e covas, um processo lento que pode ser interrompido e reiniciado várias vezes. A segunda é o recobrimento pela banquisa. A fase seguinte é a consolidação dessa massa de gelo concentrado. Essa última fase é bastante rápida e pode ter subfases, ou etapas, onde a banquisa deriva (desarticula-se) com o padrão dos ventos e correntes oceânicas locais, antes de consolidar novamente. Com o avanço e intensificação das baixas temperaturas de inverno, o gelo torna-se mais espesso pelo contínuo congelamento e acumulação de neve.

A desintegração da cobertura de gelo da baía também se divide em fases, revertendo o processo de formação. A primeira fase constitui um rápido e violento transporte de gelo dos setores central e sul para fora da baía. A segunda compreende a lenta fragmentação e derretimento do gelo fixo formado localmente nas enseadas

#### **2.4.1 - Gelo marinho na baía do Almirantado**

Com exceção das enseadas mais internas da BA, a energia da circulação marinha dentro dessa baía é muito intensa, não permitindo uma regularidade de formação de gelo marinho (KRUSZEWSKI, 2000).

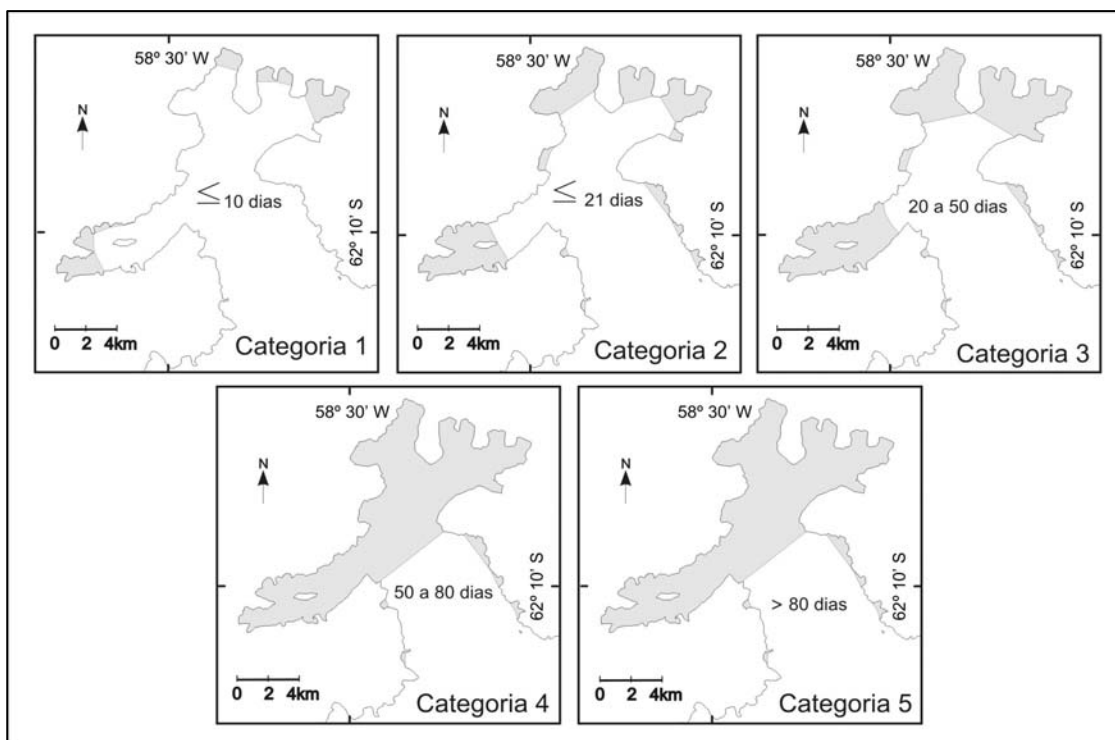
Segundo Kruszewski (2000, 2002) e Dewes (2004) a ocorrência e caracterização do gelo marinho na BA são influenciadas pelas feições geográficas locais, assim como, pela variabilidade ambiental que promove a formação e deslocamento das banquisas<sup>8</sup>. Estas concentrações de placas de gelo, regularmente transportadas através do estreito de Bransfield, geralmente atingem a BA conduzidas por ventos de sul-sudeste e acompanhados de

---

<sup>8</sup> Banquisa (banco de gelo) é qualquer área superficial coberta por placas de gelo marinho. A concentração de placas de gelo marinho de uma determinada banquisa é relatada em décimos de sua concentração. Assim, uma banquisa muito aberta (1/10 – 3/10) tem uma concentração muito espaçada de placas de gelo sobre a superfície do mar; numa banquisa aberta (4/10 – 7/10) as placas estão mais próximas e ainda separadas, já a banquisa fechada (8/10-10/10) apresenta um grande adensamento de placas de gelo marinho, soltas. Não deve ser confundido com *gelo fixo* (gelo marinho consolidado) nem *plataforma de gelo* (SIMÕES, 2004).

quedas significativas na temperatura do ar. A persistência desses ventos é que permite a consolidação da banquisa em gelo fixo.

Kruszewski (2000 e 2002) oferece uma categorização para o conjunto de condições sinópticas favoráveis à formação e qualidade da presença do gelo marinho dentro do fiorde (FIG. 12).



**FIGURA 12** – Modelo cartográfico ilustrando as categorias da presença de gelo marinho, dentro da baía do Almirantado, segundo Kruszewski (2000 e 2002)

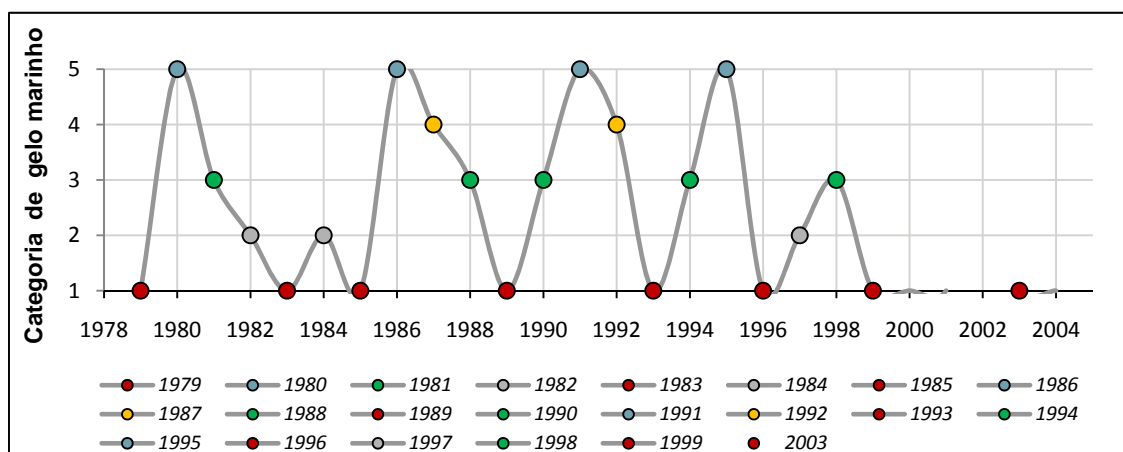
De acordo com a intensidade e duração do gelo marinho (observações do congelamento e descongelamento em setores específicos, a cada inverno), o autor propõe cinco categorias para eventos de congelamento, entre 1977 e 1999, que são:

- **Categoria 1** – Os anos de 1979, 1983, 1985, 1989, 1993, 1996, 1999 e 2003 apresentaram banquisas fechadas (7/10 a 9/10) na baía, com duração de até 10 dias, podendo apresentar a formação de gelo jovem costeiro no interior das enseadas.
- **Categoria 2** – Os anos de 1982, 1984 e 1997 apresentaram gelo fixo em parte das enseadas. Nas áreas abertas da baía, ocorreram banquisas fechadas ou muito fechadas (10/10, não consolidadas), durante até três semanas.
- **Categoria 3** – Os anos de 1981, 1988, 1990, 1994 e 1998 apresentaram gelo fixo nas enseadas. O setor sul da baía fica coberto por gelo fixo ou banquisa consolidada durante 20-50 dias.

- **Categoria 4** – Os anos de 1977, 1978, 1987 e 1992 apresentaram gelo fixo nas enseadas. O setor sul da baía permaneceu coberto por gelo fixo consolidado durante 50-80 dias.
- **Categoria 5** – Os anos de 1980, 1986, 1991 e 1995 apresentaram gelo fixo nas enseadas. O setor sul da baía permaneceu coberto por gelo fixo consolidado durante mais de 80 dias.

Cabe ressaltar que, durante este período, os anos de 2000, 2001 e 2002 não foram categorizados por falta de observação direta.

Styszynska (2004) investigou a origem de invernos com ausência de um núcleo frio na região das ilhas Shetland do Sul (*i.e.*, quando a variação da temperatura do ar é bastante pequena ao longo do inverno, depois da queda mais significativa ocorrida no outono). Este autor afirma que, em invernos com um núcleo frio bem marcado, a temperatura apresenta queda mais ou menos contínua, onde a mínima ocorre em julho ou agosto. Com base na temperatura média do mês de julho, registrada na estação meteorológica de Arctowski, Styszynska detectou três grupos distintos no período 1982-1997: anos em que não ocorreu um núcleo frio (1984, 1985, 1989, 1993, 1996), anos em que ele é pouco marcado (1982, 1983, 1988, 1991, 1992, 1997) e anos em que ele é evidente (1986, 1987, 1990, 1994, 1995). Dewes (2004), empregando este conjunto de observações quantitativas e qualitativas da cobertura de gelo marinho sobre a BA, analisou variabilidade da cobertura de gelo marinho para a BA – um fiorde do extremo norte antártico. A FIG. 13 oferece o gráfico das categorias de gelo marinho entre 1979 e 2003, empregados nos trabalhos de Kruszewski (2000 e 2002) e Dewes (2004).



**FIGURA 13** - Categorias da presença de gelo marinho na baía do Almirantado, entre 1979 e 2003, segundo Kruszewski (2000 e 2002) e Dewes (2004)

Embora não existem observações para os anos de 2000, 2001 e 2002, o último ano da série (2004, com categoria 1) sugere a continuação do padrão encontrado por Kruszewski (2002). Este tema será novamente abordado na sessão 3.2.1, do Capítulo 3.

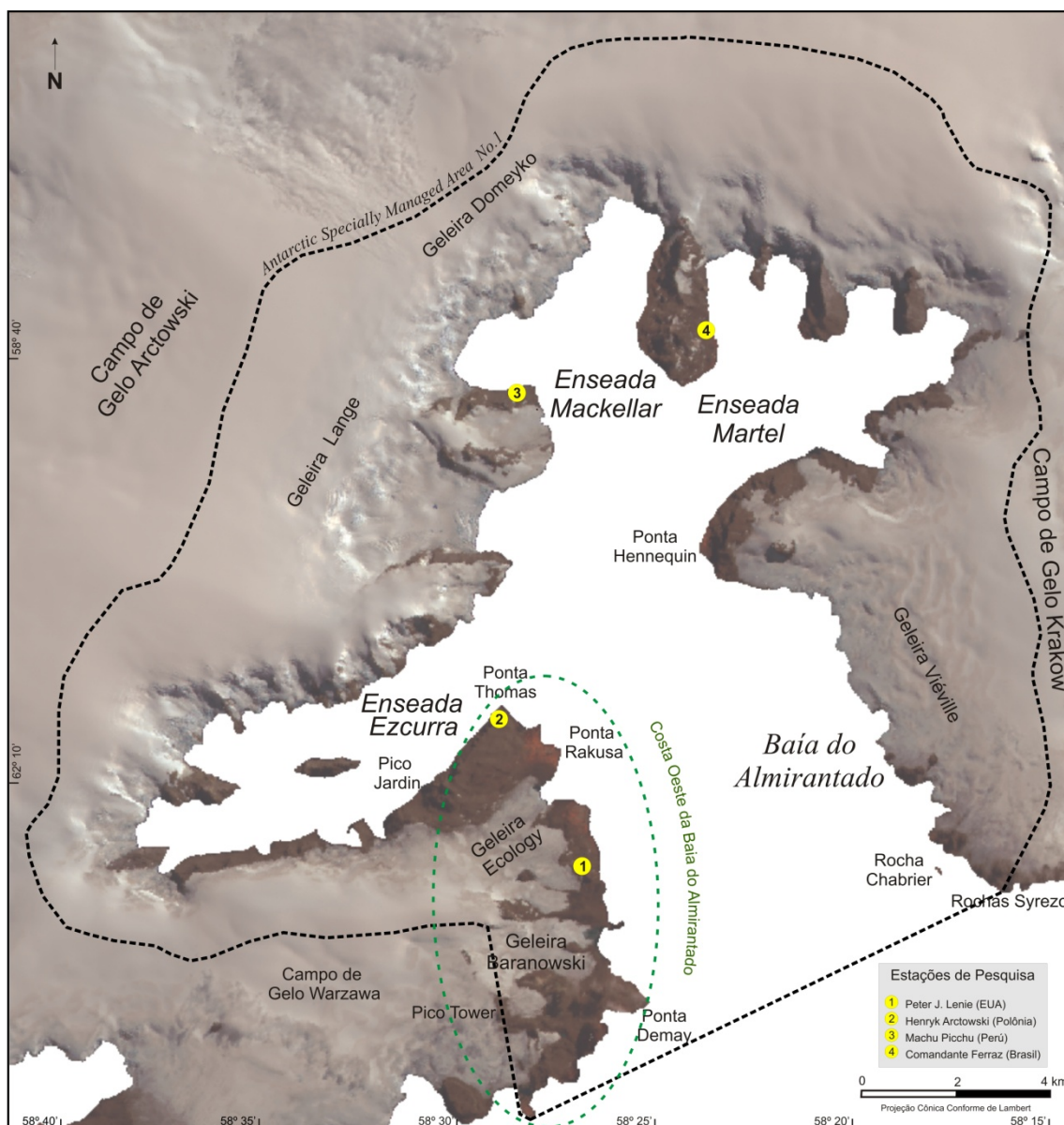
Concorrente à formação do gelo marinho dentro do fiorde, inúmeras banquisas e icebergs são transportados pelo estreito de Bransfield. Dessa maneira, grandes massas de gelo são constantemente trocados entre o estreito de Bransfield e a BA. Esse transporte, produzindo muita energia física sobre o ambiente marinho, influencia a comunidade planctônica nas camadas superficiais da coluna d'água do estreito, conseqüentemente impactando, não somente, a comunidade bentônica nas linhas da costa da BA, como também, indiretamente, os outros agentes da cadeia trófica (RAKUSA-SUSZCZEWKI, 1993b; CONVEY, 2003; PECK, 2006).

## **2.5 - Bacia de drenagem de gelo da baía do Almirantado**

Segundo Braun *et al.* (2001), a cobertura de gelo da IRG é formado por três domos assimétricos e interligados, caracterizando uma calota de gelo com uma altitude máxima de 706 m a.n.m.m. O principal divisor de drenagem glacial da calota, tem uma espessura média de 180–230 m e espessura máxima de 395 m (SIMÕES e BREMER, 1995; MACHERET *et al.*, 1998).

Simões *et al.* (1999) propõe a delimitação dos divisores de gelo da ilha, definindo 70 bacias de drenagem de gelo. Desse total, a BA é formada por 29 destas bacias de drenagem (FIG. 14).

As bacias que drenam a calota de gelo da IRG também podem ser caracterizadas pela morfologia da sua drenagem. A maioria das geleiras da ilha é tipificada como geleira de descarga. Essas são geleiras encaixadas em vales curtos, estreitos e com declividades acentuadas que levam às falésias (terminações) com mais de 20 m de altura (BREMER, 1998). As bases dessas falésias de gelo estão abaixo da linha d'água, logo estão sujeitas à ação das marés e, por isso, são denominadas geleiras de maré.



**FIGURA 14** – Bacia de drenagem de gelo da baía do Almirantado, feições costeiras e as áreas de preservação demarcadas. Adaptado de Arigony-Neto (2003).

Outras geleiras fluem por encostas suaves e descarregam suas massas através de falésias de gelo menores. Esta categoria inclui também aquelas geleiras com frentes terminais em terra, típico de geleiras em processo de deglaciação. A cobertura de gelo dentro da BA é constituída por geleiras com gradiente superficial bastante acentuado, ocupando depressões bem definidas; fluxos rápidos e fraturamento intenso. A FIG. 14 também mostra as principais feições morfológicas das bacias de drenagem que formam a BA: geleiras com cascatas de gelo nas suas frentes terminais (*Stenhouse*, *Ajax* e *Polar Committee*); geleiras suspensas (*Gdansk* e *Emerald*); geleiras de



descarga, com as frentes terminações em terra (*Dragon* e *Sphinx*); geleiras de maré, com a frente terminal flutuando ou não (*Lange*, *Domeyko*, *Blue* e *Vieville*) e, por fim, as pequenas geleiras de anfiteatro.

Entre as décadas de 1950 e 1990, Rakusa-Suszczewki *et al.* (1993), Bintanja (1995) e outros registraram recuo das frentes das geleiras da BA. Rakusa-Suszczewki, Mietus e Piasecki (1993) também observaram que o litoral da BA é marcado por pequenas enseadas, divididas por morainas terminais e barras de areia, que resultaram do recuo das geleiras circundantes. Bremer (1998) e Simões *et al.* (1999), ao comparar as fotografias aéreas de 1956 e imagens de satélites de 1988 e 1995, constataram o recuo das vinte e nove geleiras existentes na BA.

Na costa oeste da BA, as geleiras, *Baranowski* e *Ecology* marcam dois ambientes similares de deglaciação. A geleira *Ecology*, a mais estudada das duas geleiras, retrocedeu 400 m nos últimos 25 anos, aproximadamente (BINTANJA, 1995; BIRKENMAJER, 2002), gerando um complexo de processos deposicionais modernos: glaciomarinhos, glaciofluviais, subglaciais e morainicos. Vieira *et al.* (2005) identificaram quatro zonas geomorfológicas para esse ambiente: cordões morainicos, zona subglacial, zona glaciofluvial e zona de influência marinha. Em particular, a zona de influência marinha descreve uma dinâmica costeira onde os depósitos subglaciais, na frente terminal da geleira, são continuamente remobilizados pelos processos terrestres e glaciomarinhos.

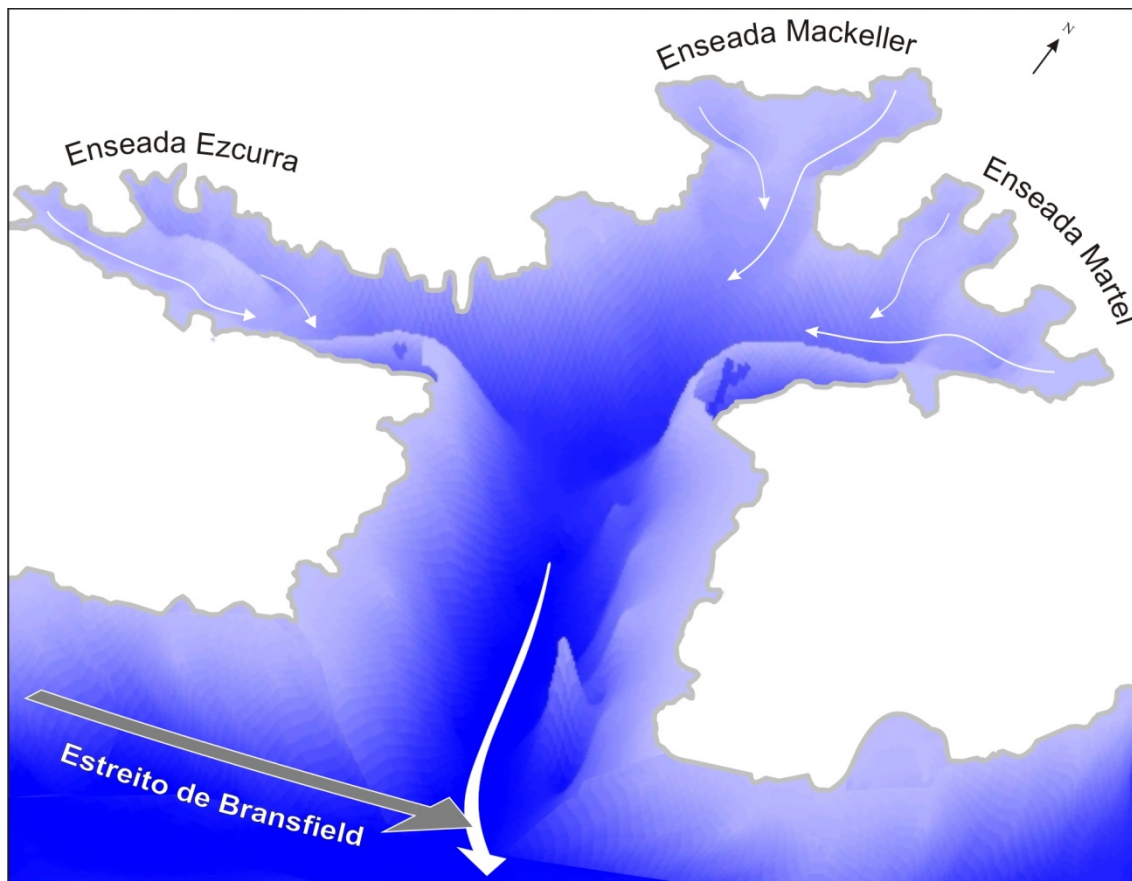
## **2.6 - O sistema marinho da baía do Almirantado**

Situada ao largo da costa oeste da PA, as ilhas Shetland do Sul formam um conjunto de ambientes regido pelos limites das variações sazonais da extensão do gelo marinho e da posição sazonal relativa da Corrente Circumpolar Antártica (ORSI, WHITWORTH III e NOWLIN, 1995). A corrente que flui do mar de Bellingshausen (de oeste para leste) divide-se em dois fluxos, contornando as ilhas Shetland do Sul; o maior deles segue a passagem de Drake e o menor é condicionado pelo estreito de Bransfield. Em particular, as águas que seguem pela corrente no estreito de Bransfield, ao atingir o setor

extremo norte da PA, misturam-se com os giros formados pela corrente inercial do mar de Weddell, de sentido oposto (leste-oeste) à corrente principal da PAOC. Essa circulação marinha (de leste) tem relações diretas com os ventos de barreira, formados na PAOR (FIG. 9), conseqüentemente, as baixas temperaturas da massa d'água superficial desses giros promovem o resfriamento do ar na região da IRG (GORDON e NOWLIN, 1978; SZAFRANSKI e LIPSKI, 1982; GARCIA et al. 2002).

A esses fenômenos soma-se o efeito da maré, associado às correntes do estreito de Bransfield e do mar de Weddell, bem como a ação de ventos fortes, promovendo uma intensa mistura em praticamente toda a coluna d'água. Por isso, não existem grandes diferenças de temperatura e a termoclina praticamente inexistente. Mesmo assim, variações sazonais de temperatura, não excedendo 5°C, ocorrem nos primeiros 100 m. Em profundidades maiores, a diferenciação de temperatura depende da origem da massa d'água, que aporta na baía. Nos dias menos ventosos de verão, a água nas margens da baía pode chegar a 5,3°C, no entanto, a temperatura da água permanece negativa (cerca de -1,6°C) nas proximidades das geleiras. A forte influência glacial da BA também pode ser comprovada pela sua morfologia de fundo. Como resultado de muitos episódios transgressivos, regressivos e, conseqüentemente, dos depósitos marinhos e glaciais, a ilha desenvolveu feições morfológicas bastante complexas (MARTINEZ-MACCHIAVELLO *et al.*, 1996).

A BA, particularmente, demonstra um alto grau de erosão glacial, configurando uma depressão que é escavada por uma geleira pretérita, no Último Máximo Glacial. O sentido geral da BA é norte-sul. O modelo do terreno descreve a morfologia de um vale subaéreo, em forma de "U" (FIG. 15). Essa forma é característica de vales escavados por geleiras (RAKUSA-SUSZCZEWKI, BATTKE e CISAK, 1993; AQUINO, 1999). Nesse sentido, Syvitski, Burrell e Skei (1987) definem um fiorde como um estuário localizado em região de alta latitude e que foi, ou ainda é, profundamente escavado ou modificado por uma geleira ancorada em terra. O extrato mais alto da bacia de drenagem da BA é composto por calotas de gelo e pequenas geleiras de vale. Estas descarregam as suas massas de gelo e neve através de complexo de



**FIGURA 15** – Modelo tridimensional da batimetria da baía do Almirantado e fluxo hidrográfico das enseadas Ezcurra, Mackeller e Martel (exagero vertical 3x). Adaptado de Arigony-Neto (2001).

geleiras de maré que compõe, aproximadamente, um quarto das feições costeiras da BA (DOMACK e ISHMAN, 1993).

O segmento terminal (o fundo da BA, ao norte) define a inclinação do fiorde em direção ao estreito de Bransfield (ao sul), formando as três maiores enseadas da BA: *Ezcurra* (a oeste), *Mackeller* (ao norte) e *Martel* (à leste). Nessas enseadas encontram-se diversas frentes de geleiras de maré, lateralmente ancoradas em rochedos íngremes. As morfologias de fundo dessas enseadas caracterizam vales suspensos, de 2 a 270 m de profundidade. Essas calhas quebram repentinamente para profundidades maiores, levando ao canal principal do fiorde. O segmento principal (médio) da BA atinge uma profundidade aproximada de 505 m, na saída da baía, coincidente com o limite da plataforma continental da IRG. Desse limite, já caracterizando a morfologia e dinâmica oceanográfica das águas do estreito de Bransfield, a plataforma continental afunda 1.000 m em 5 km, até a quebra da

plataforma continental, onde a talude<sup>9</sup> forma o limite externo do canal do estreito de Bransfield (RAKUSA-SUSZCZEWKI, BATTKE e CISAK, 1993).

O ecossistema costeiro marinho da BA difere das águas pelágicas que circundam as ilhas Shetland do Sul. A grande biomassa de macroalgas bénticas e de zoobentos<sup>10</sup> (principalmente, seston e detritófagos)<sup>11</sup> são fontes estáveis de matéria orgânica na baía. A biomassa do fitoplâncton, algas de gelo e zooplâncton nas águas da locais dependem da flutuação sazonal (troca) entre a BA e a zona pelágica do estreito de Bransfield. Os consumidores dessa matéria orgânica, no litoral da BA, incluem, desde as espécies alóctones, como peixes e moluscos, até as espécies de ocorrência sazonal, como aves marinhas e pinípedes.

De maneira geral, a cadeia trófica dos sistemas ecológicos das altas latitudes é menos complexa do que nas regiões marinhas de médias e baixas latitudes. Assim, a grande biomassa dos produtores primários nas altas latitudes, que tem uma biodiversidade muito menor, se encontra relativamente próximo ao topo da cadeia alimentar.

Para a IRG, particularmente evidente e significativo para a BA, a terra modifica as condições hidrodinâmicas das águas costeiras adjacentes, afetando a formação de correntes de ressurgência e giros nas águas costeiras rasas, além da estabilidade da coluna d'água e circulação na baía, em si.

A terra também influencia as condições ópticas e químicas das águas circundantes - resultado da água de degelo e o transporte de milhares de toneladas de suspensões inorgânicas (principalmente de origem vulcânica) das encostas da ilha. Sais nutrientes formados pela decomposição de matéria orgânica (principalmente fezes) e por bactérias, algumas das quais podem

---

<sup>9</sup> Iniciando na linha de praia da costa, o declive suave do fundo marinho (a plataforma continental) descende até a quebra da plataforma (a margem superior do talude continental), onde o gradiente topográfico é muito mais pronunciado, mergulhando para as regiões pelágicas e abissais (THE OPEN UNIVERSITY, 1989/1991).

<sup>10</sup> As macroalgas bénticas são plantas observáveis a olho nu, que são fixas em substrato sólido, consolidado ou não, no fundo marinho. Zoobentos são animais que se desenvolvem dependentes do fundo marinho (*zona béntica*) (ODUM e BARRETT, 2004 e NOAA, 2008).

<sup>11</sup> Seston é o conjunto de partículas, orgânicas e inorgânicas, dispersas na coluna d'água. Serve de alimento para outros organismos (*e.g.*, plancton) e é importante na difusão da luz na água, portanto, é um controle da produção primária. Detritófagos são os organismos que alimentam-se de matéria orgânica em decomposição (ODUM e BARRETT, 2004 e NWS, 2007).

sobreviver em água de mar, fluem da terra e enriquecem o volume e composição de nutrientes na região costeira marinha (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993a e 1993b e PECK, 2005). As correntes de maré promovem a troca de água e nutrientes entre o estreito de Bransfield e a BA. Dessa maneira, espécies de nécton e zoôplancton (*Euphausia superba* e *E. crystallographias*), nadando contra as correntes para explorar as condições locais da BA, são mobilizados entre as duas massas d'água. Segundo Skóra (1993), para uma mesma espécie, os indivíduos que são residentes na BA desenvolvem-se diferentemente daqueles que utilizam a BA como berçário e, posteriormente, são mobilizados pela corrente para o ambiente do estreito de Bransfield. Esses, por sua vez, e considerando as mesmas relações, também são distintos daqueles encontrados em mar aberto.

## 2.7 – Variabilidade e mudanças no ecossistema costeiro antártico

Segundo Peck (2005), controlado por uma gama de fatores (geológicos, climáticos, geográficos e oceanográficos), o bioma antártico evoluiu a partir de: a) o seu isolamento de outras áreas continentais; b) um regime de temperaturas baixas extremas; e c) uma intensa sazonalidade. Notoriamente, o contraste da variabilidade ambiental, descrito em terra, contra aquele descrito para o ambiente marinho, conduziu às pressões evolutivas distintas para os organismos de ambos os ecossistemas. Esses fatores parecem mais dramáticos e restritivos nas áreas costeiras (CLARK e HARRIS, 2003; CONVEY, 2006; CLARKE *et al.*, 2007). São eles:

- a) Na maioria das áreas marinhas do OA, a estabilidade termal pode ter uma variação anual de menos de 0,5 até 1,5°C (HUNT, HOEFLING e CHENG, 2003). De outro modo, organismos terrestres podem ser expostos às flutuações de temperatura diárias de 20 a 40°C (CONVEY, 1996, 2003 e 2006). Já a sazonalidade no sistema marinho é extrema. A floração do fitoplâncton perdura menos de oito a dez semanas, em algumas localidades. No período de inverno, os níveis de produção do fitoplâncton são mais lentos que qualquer outra grande região marinha, persistindo por até sete a oito meses (CLARKE, 1988; CLARKE e LEAKEY, 1996; BARNES e CONLAN, 2006; WALLER, 2008);

- b) Espécies marinhas de águas rasas enfrentam problemas adicionais relacionados a perturbações físicas, intensas e freqüentes, de impactos com o gelo flutuante (BROWN *et al.*, 2004, PECK, 2005, BARNES e CONLAN, 2006);
- c) As áreas livres de gelo na PA são local de procriação para uma boa parte de diversos predadores de topo da cadeia trófica antártica. Como consequência, pêlos, plumagem e outros tecidos orgânicos, cascas de ovos, ossos, conchas e guano são depositados em terra periodicamente. Essa matéria orgânica sofre mineralização, desmineralização ou decomposição bacteriana, enriquecendo as terras e águas continentais. O krill antártico é particularmente importante nesse ciclo porque representa a fonte básica de alimento para a cadeia trófica, particularmente para as aves marinhas e pinípedes da Antártica. Desta maneira, a insuficiência de krill nos oceanos, nas áreas de alimentação destas espécies, fatalmente afetará o sucesso reprodutivo destas espécies; e
- d) A vida marinha e terrestre é condicionada pelo acesso e a distribuição das áreas livre de gelo quando, o gelo marinho se dispersa (HANSOME e GORDON, 1998).

Mesmo sabendo que os ecossistemas costeiros da Antártica marítima ainda são pouco conhecidos, um corpo crescente de observações científicas tem oferecido evidências sobre a complexidade das mudanças ambientais na região. Algumas destas observações são:

- e) Embora, ainda não se tenha comprovado um aquecimento significativo das águas rasas do OA, já existem evidências robustas de que a temperatura média das águas intermediárias (0-700 m) aumentaram duas vezes mais que a média global (0,12°C), nesse mesmo extrato. Também, é significativo que, desde 1972, as águas profundas do mar de Weddell aqueceram 0,32°C (GILLE, 2002; ROBERSTON *et al.*, 2002; LEVITUS, ANTONOV e BOYER, 2005);
- f) Aproximadamente a metade das emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> é dissolvido nos oceanos, acidificando-os. Segundo Orr *et al.* (2005), o meio marinho mais frio tem maior capacidade de absorção do CO<sub>2</sub>, então, as águas frias do OA absorvem mais dióxido de carbono que os demais oceanos, de águas mornas. Esses autores sugerem que o OA já está mais ácido, podendo afetar processos metabólicos importantes para peixes e organismos bentônicos. Tal acidificação reduziria a eficiência na respiração dos peixes e, também, comprometeria a capacidade das diatomáceas - organismos fitoplanctônicos basilares da cadeia alimentar do OA (*e.g.*, alimento necessário ao krill antártico) - de fabricarem suas carapaças de carbonato de cálcio. As diatomáceas são também as maiores responsáveis pela liberação de oxigênio para a atmosfera e também, paradoxalmente,

pela absorção de carbono das águas de superfície - “seqüestrando” grandes volumes de CO<sub>2</sub>, que com o final do ciclo fenológico, é depositado nos fundos abissais;

- g) Algumas das mudanças ambientais mais rápidas já registradas ocorrem em habitats lacustres na Antártica marítima – na ilha de Signy, ilhas Orcadas do Sul, o monitoramento de corpos lacustres registrou um aumento da temperatura média d’água, no inverno, de 0,9° C, entre 1980 e 1995, demonstrando um aumento de três a quatro vezes mais rápido que a média global (QUAYLE *et al.*, 2002). Conseqüentemente, a cobertura de gelo permanente sobre esses corpos lacustres reduziu em 45%, dobrando as concentrações de clorofila no inverno (QUAYLE *et al.*, 2002 e 2003); e
- h) Embora as áreas periglaciais variam de sítios continentais (de latitudes e altitudes maiores) até àqueles na Antártica marítima, algumas espécies pioneiras têm produzido colonizações relativamente rápidas nas áreas periglaciais recentemente expostas - de meses a cinco ou dez anos (SMITH *et al.*, 1999). Segundo Fowbert e Smith (1994), Walther *et al.* (2002), Convey (2003) e Bokhorst *et al.* (2007), o aumento da temperatura na região da PA tem relação direta com as mudanças observadas nas áreas de degelo recente, oferecendo *habitats* para a colonização das duas únicas espécies vegetais superiores, plantas vasculares, dessa região (*Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis*) bem como os invertebrados que são associados a estas gramíneas;
- i) Espécies terrestres também experimentam períodos longos de restrição, ou mesmo disponibilidade zero, de nutrientes por causa do ambiente congelado, até mesmo no verão (CONVEY, 2003; WALL, 2005). Segundo Convey *et al.* (2003), as comunidades terrestres já experimentam grandes variações de temperatura sazonais e anuais, caracterizando uma biota altamente eutérmica<sup>12</sup>. Assim, isoladamente, as espécies terrestres da Antártica marítima têm maior probabilidade de tolerar um aumento na média regional de temperatura do ar, sem alcançar limites críticos (CONVEY, 2003; PECK, 2005 e 2006).

Contudo, é importante lembrar que a complexidade do ecossistema costeiro da PA, integrando os ambientes terrestres e marinhos, será invariavelmente impactada pelas mudanças do estado médio da temperatura, além de outras variáveis subseqüentes. Desta maneira, espécies que são predadoras de topo da cadeia trófica, diretamente dependentes da terra e do mar, como as aves marinhas, são elementos bioindicadores da saúde do ecossistema sistema costeiro, da interdependência dos sistemas e da complexidade dos impactos projetados (AINLEY, 2004; CONVEY, 2006). Para

---

<sup>12</sup> Eutermia refere-se à característica dos organismos, ou de uma comunidade, em tolerar uma ampla variação de temperatura (ODUM e BARRETT, 2004; AMBIENTE BRASIL, 2007).

tanto, observa-se que a pressão sobre a predação para os competidores do topo da cadeia trófica propaga para os estratos inferiores dessa cadeia tróficas por um mecanismo ecológico, notoriamente, conhecido como cascata trófica<sup>13</sup>.

Para Peck, Convey e Barnes (2006) e Ainley *et al.* (2008), os processos que controlam os ciclos anuais de produção do fitoplâncton, a biomassa e a composição das espécies no ambiente marinho, ainda são pouco conhecidos. Assim, a compreensão mecanicista da estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, circunscritos a Antártica, é uma condição básica para poder prever o desempenho e as repostas às mudanças ambientais globais. Nesse sentido, embora a extremidade norte da PAOC seja uma região relativamente pequena, ela consolida o melhor exemplo da cadeia trófica modelo para o OA (baleia - krill - diatomácea).

Ao enfrentar as mudanças ambientais, os organismos vivos optam por migrar; adaptar-se (*i.e.*, desenvolver mecanismos fisiológicos para tolerar o estado médio das temperaturas mais elevadas), de acordo com a capacidade fisiológica já existente; ou perecer (CLARKE e LEAKY, 1996; PECK, 2005). Considerando a iminência das mudanças de temperatura das águas na Antártica marítima, é provável que todos esses mecanismos sejam disparados, até certo grau. Porém, de acordo com a velocidade da resposta de cada espécie, as opções ficam mais limitadas (PECK, 2005).

## 2.8– Pygoscelidae na costa oeste da baía do Almirantado

Embora as três pequenas colônias situadas dentro ASPA 128 formem um conjunto inexpressivo para a demografia universal de Pygoscelidae, elas fazem parte de uma plataforma de monitoramento de longo prazo, bem mais abrangente, desde 1977 (MYRCHA, 1993; SMITH *et al.*, 2003).

O *P. papua* é a maior espécie do Gênero (75-80 cm de altura e 4,9-8,5 kg de peso médio, para adultos). A ocorrência desta espécie é

---

<sup>13</sup> Cascata trófica é o mecanismo ecológico pelo qual predadores suprimem a abundância da espécie predada, aliviando a pressão sobre as espécies do estágio inferior seguinte, que por sua vez, aumentam a pressão sobre as espécies do estágio seguinte (SHURIN *et al.*, 2002).



circumpolar, onde o limite setentrional de sua distribuição é definido pelas ilhas subantárticas e limite meridional é o setor norte da PA (FIG. 4a). Sua população é a menor dentre as três espécies do Gênero. O total mínimo de sua população é estimado em cerca de trezentos e quatorze mil pares/ano, dos quais 25% estão na região da PA. Estudos recentes indicam que as populações de *P. papua* estão aumentando na PA e decrescendo nos demais sítios subantárticos (WOEHLER e CROXALL, 1997; CROXALL *et. al.* 2002). Sua dinâmica demográfica provavelmente reflete o volume relativamente grande de alimento que estas aves necessitam para criar os seus filhotes. Como estratégia competitiva, o *P. papua* explora áreas de alimentação próximas a costa, onde mergulha a profundidades muito maiores que as outras duas espécies.

Assim como as duas outras espécies do Gênero Pygoscelidae, a postura é de dois ovos, com intervalo de aproximadamente sete dias entre eles. Durante todo o período de nidificação o casal compartilha a guarda do ninho ocupado, revezando em curtos períodos de no máximo doze horas, aproximadamente, para atividades de alimentação. Durante o inverno, essa espécie permanece próximo das áreas de nidificação (TRIVELPIECE, TRIVELPIECE e VOLKMAN, 1987; MYRCHA, 1993).

O *P. adeliae* é a menor espécie do Gênero (46-70 cm de altura e 3,9-5,8 kg de peso médio, para adultos). Sua ocorrência é circumpolar e continental, com uma distribuição mais meridional que as outras duas espécies do Gênero (FIG. 4b). O setor norte da PA define o limite setentrional de sua distribuição. Sua população é a maior dentre as três espécies do Gênero. O total mínimo de sua população é estimado em dois milhões e quatrocentos mil pares/ano, aproximadamente.

Como estratégia competitiva, o *P. adeliae* é um mergulhador raso que explora áreas de alimentação mais distantes das costas. Embora necessitando de mar aberto, próximo aos sítios de nidificação, o *P. adeliae* é reconhecidamente uma espécie favorecida pela presença de gelo marinho. Portanto, nidifica com sucesso em locais onde o gelo fixo permanece durante o verão ou quebra no final do verão (TRIVELPIECE *et al.*, 1990; CROXALL,

1992; FRASER *et al.*, 1992; LOEB *et al.*, 1997; SMITH *et al.*, 1999; WILSON *et al.*, 2001; AINLEY, 2002).

Durante o inverno, essas aves ocupam exclusivamente o gelo marinho e icebergs, como plataforma de descanso e pesca. O período de internada dessas aves marinhas é seguramente a fase do seu ciclo de vida menos conhecido para a ciência. O *P. adeliae* demonstra ser menos adaptável às mudanças ambientais que as outras duas espécies (TRIVELPIECE *et al.*, 1990; AINLEY, 2002; SMITH *et al.*, 2003).

O *P. antarctica*, não só tem um porte intermediário (68-75 cm de altura e 4,1-6,2 kg de peso médio, para adultos) para o Gênero como, também, tem uma distribuição intermediária às outras duas espécies, que, em grande parte, é circunscrita à PA e algumas ilhas subantárticas (FIG. 4c). O total mínimo de sua população é estimado em sete milhões pares/ano, aproximadamente.

Como estratégia competitiva, esses mergulhadores rasos alimentam-se em águas marinhas relativamente mais distantes das costas e seus sítios de nidificação estão sempre localizados em áreas livres de gelo. Durante o inverno, estas aves vivem em bandos menores sobre os costões da região próxima. Seu sucesso reprodutivo é diretamente associado à ausência de gelo marinho. Eventualmente, ao enfrentar a quebra tardia do gelo marinho, tende a reproduzir-se com muito menos sucesso. Desta maneira, o *P. antarctica* demonstra ser mais adaptável às mudanças ambientais que o *P. adeliae*. (CROXALL, 1992; FRASER *et al.*, 1992; LOEB *et al.*, 1997).

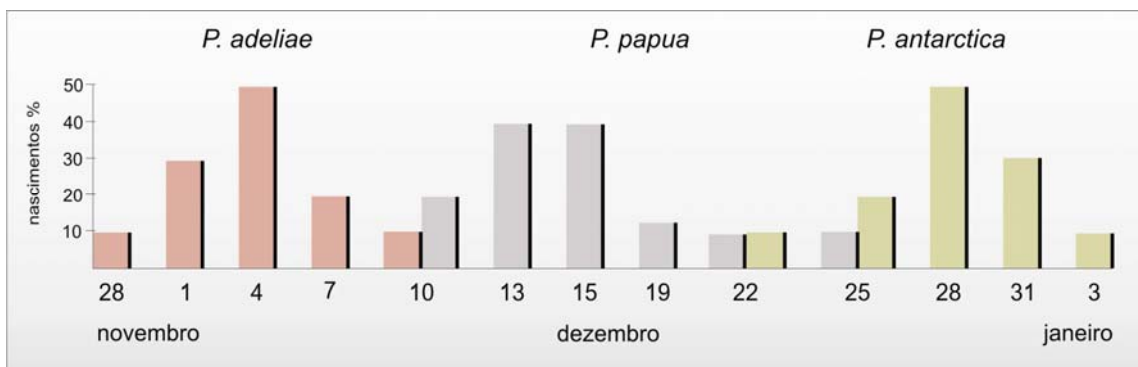
Marcadamente, a segregação ecológica entre as três espécies ocorre durante o período de verão - o período reprodutivo. Essas aves evitam a competição ao desenvolver estratégias diferentes de cronologias reprodutivas, comportamento pré-reprodutivo e áreas para muda de penas, assim reduzindo a sobreposição de seus nichos de alimentação.

Mesmo com a proximidade, essas aves exploram áreas de alimentação alopátricas<sup>14</sup> (WILLIAMS, 1990; WILLIAMS e ROTHERY, 1990).

---

<sup>14</sup> Alopatria é uma das condições biogeográficas que promove a especiação. Uma espécie que explora um nicho ecológico distinto dos seus "vizinhos". Esta condição desenvolve a especialização e pode superpor-se parcialmente a outros nichos/áreas. Trata-se de uma estratégia para evitar a competição (AMBIENTE BRASIL, 2008).

Os *Pygoscelidae* têm nidificação sincrônica, mas cada espécie é bastante assincrônica (FIG.16), estabelecendo uma ordem de chegada no sítio, para a nidificação em si.



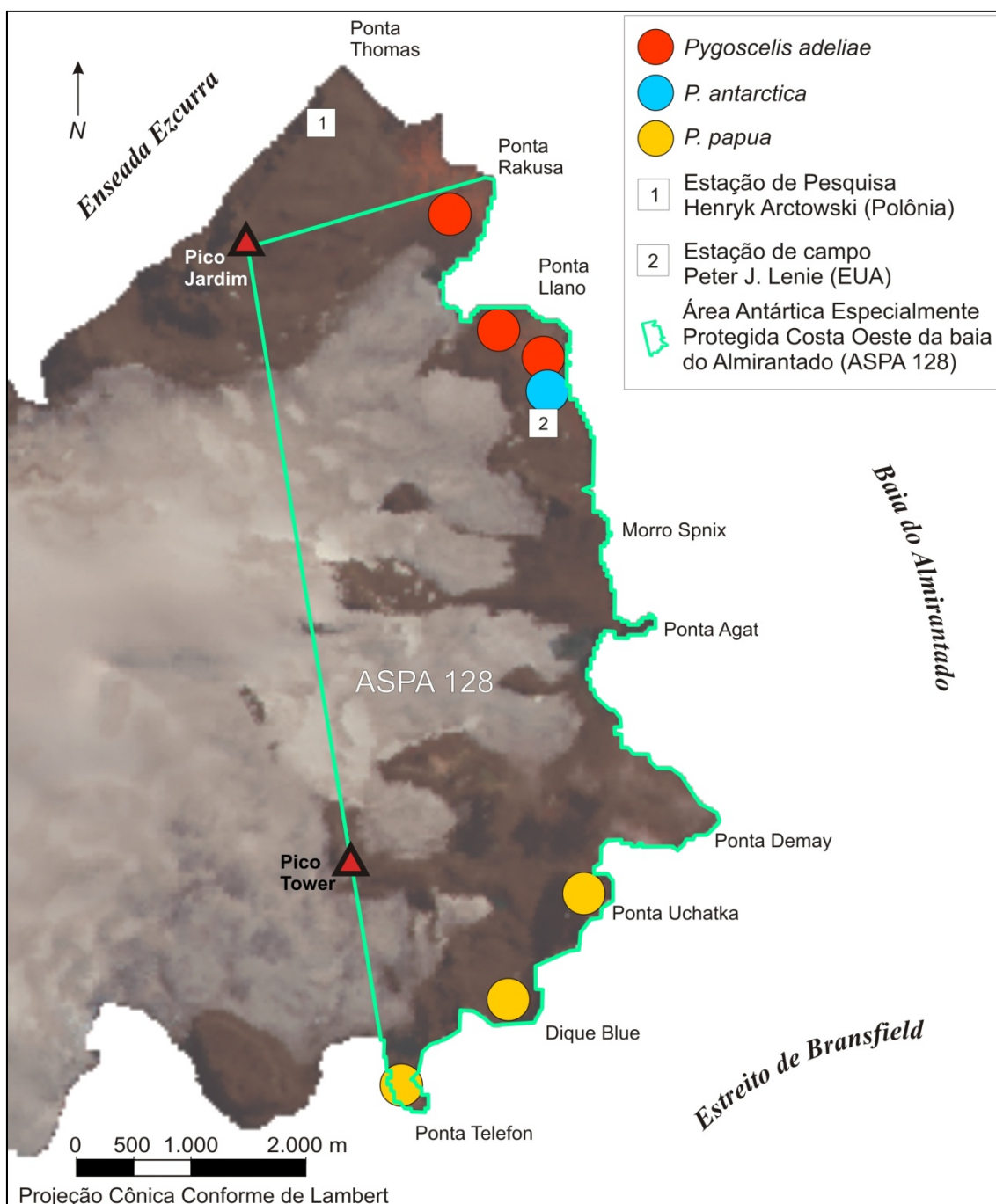
**FIGURA 16** - Modelo da cronologia de nidificação para as colônias de *Pygoscelis adeliae*, *P. papua* e *P. antarctica*, na baía do Almirantado, referente às observações feitas no verão de 1981/1982, segundo Trivelpiece, Trivelpiece e Volkman (1987)

O *P. adeliae* sendo a primeira espécie a iniciar o seu ciclo; duas semanas depois, chegam os *P. papua*, em mais duas semanas, finalmente, os *P. Antarctica*. Para as três espécies, cada par de aves, tem a postura de dois ovos (VOLKMAN, PRESLER e TRIVELPIECE, 1980; JABLONSKI, 1984; TRIVELPIECE, TRIVELPIECE e VOLKMAN, 1987; MYRCHA, 1993).

Por toda a costa da IRG existem dezenas de colônias de pinguins. Com exceção da costa sudoeste (da península Fields até a BA), a totalidade das colônias de pinguins ao redor da IRG é praticamente desconhecida. Salvo os esforços de programas de monitoramento - o caso para a ASPA 128, dentro da BA (FIG 17), alguns projetos de pesquisa e recenseamentos esporádicos ou oportunistas. Isto também é verídico para as colônias de pinguins nas outras ilhas do arquipélago.

Mesmo assim, a partir de resultados do monitoramento em andamento, é possível inferir resultados estatísticos e qualitativos. Dois exemplos destas práticas são: 1) a estimativa da população de pares reprodutivos, no lado sul da IRG (margem com estreito de Bransfield) era de 491.280, em 1983, sendo 11.630 de *P. papua* (2,4%); 625.800 de *P. antarctica* (84,3%) e 65.300 de *P. adeliae* (13,3%) (JABLONSKI, 1984); e 2) A região das ilhas Shetland do Sul, as três espécies dependem primordialmente de krill

(*Euphausia superba*) - *P. adeliae* (99%), *P. antarctica* (99%) e *P. papua* (86,5%) (VOLKMAN, PRESLER e TRIVELPIECE, 1980).



**FIGURA 17** – Distribuição das colônias de *Pygoscelis adeliae*, *P. papua* e *P. antarctica* na costa oeste da baía do Almirantado, ilha Rei George

Já existem resultados científicos mínimos para compreender os padrões mais amplos da dinâmica de alimentação nos períodos reprodutivos, assim como de outros componentes biogeográficos e ecológicos dos

Pygoscelidae. Mesmo assim, pouco se investigou sobre a ecologia e distribuição destas aves ao dispersarem-se pelo OA, depois do período de nidificação (SMETACEK e NICOL, 2005; FORCADA, 2006; CLARKE *et al.*, 2007), de março a outubro, aproximadamente.

Embora consideradas simpátricas para o período de nidificação, cada uma destas espécies ocupa um habitat de inverno distinto. Logo, as condições ambientais enfrentadas por cada uma delas também são diferentes: o *P. adeliae*, notoriamente, ocupa as banquisas de gelo marinho (FRASER *et al.*, 1992; WILSON *et al.*, 1998; TRIVELPIECE *et al.*, 2007), o *P. antarctica* habita as águas abertas - livre de gelo marinho (TRIVELPIECE *et al.*, 2007) e *P. papua*, não migrando, permanece próximo as áreas de nidificação (TANTON *et al.*, 2004). Contudo, ocupando sítios de reprodução adjacentes no verão, na costa oeste da BA (FIG. 17), as condições ambientais são similares para as três espécies. Esse pulso combinado das três espécies encerra um potencial de comparação das observações concomitantes e instrumentalmente medidas dos parâmetros biológicos e ambientais entre as três espécies.

Nesse sentido, é muito provável que todas as outras espécies de aves marinhas, que dependem do ambiente antártico, estão sendo impactadas, ou serão, pelas mudanças na temperatura (SMITH *et al.*, 1999 e 2003; CROXALL, TRATHAN e MURPHY, 2002; VAUGHN *et al.*, 2003; TURNER *et al.*, 2008); pela mudança na cobertura de gelo marinho; e pela dinâmica do ecossistema marinho, induzido pelas mudanças ambientais (GASTON, 2005; PECK, CONVEY e BARNES, 2006; AINLEY *et al.*, 2008; NICOL, WORBY e LEAPER, 2008).

*As in nature, things move violently  
to their place, and calmly in their pace.*  
Francis Bacon (~1597)

### 3 - FONTES DOS DADOS E METODOLOGIA

---

Esse capítulo apresenta a natureza dos dados, os conceitos e a metodologia empregado nesta dissertação. A proposta básica desse trabalho consiste em analisar *como as variações de temperatura do ambiente*<sup>15</sup> (*temperatura do ar e do gelo marinho*) influenciaram a *dinâmica das populações de Pygoscelidae na BA, entre 1979 e 2004*. Desta maneira, quer-se associar relações entre o ambiente antártico e a ecologia, descritas para a região, particularmente no que se refere ao ambiente costeiro, onde as mudanças ambientais estão sendo observadas.

A escolha das classes de variáveis ambientais, assim como a subdivisão dessas em VIs para esse trabalho, são provenientes de séries históricas robustas e publicamente disponíveis (de dados de origem secundária). As VIs selecionadas para o modelo estatístico concentraram-se nos extratos que oferecem alguma relação mensurável da variabilidade ambiental do inverno, na PA. Essa seleção partiu da assertiva de que os meses de inverno influenciam o N pares (assim como o sucesso reprodutivo) no verão, de cada uma das três espécies de Pygoscelidae na BA (FRASER *et al.*, 1992; TRATHAN *et al.*, 1996 e LYNNEs *et al.*, 2004). Ver sessão 2.8, Capítulo 2.

---

<sup>15</sup> A temperatura (energia cinética) é uma variável da termodinâmica que descreve uma das funções mais evidentes do estado do sistema ambiental. Desta maneira, a expressão “temperatura do ambiente” - um dos componentes climatológicos mais importantes para o ciclo da vida nas regiões polares, particularmente para aves marinhas - refere-se à expressão instrumentalmente observada e calculada para os sessenta e dois parâmetros climatológicos e oceanográficos, utilizados como variáveis independentes nesta dissertação.

Dois conjuntos de variáveis, conhecidas e regularmente observadas, tanto para BA como para o setor da PA, ofereceram a base de dados necessária para explorar estatisticamente as relações de variabilidade entre a demografia dessas colônias de aves com as variações sazonais e interanuais do ambiente antártico marítimo da PA, para um período de vinte e seis anos.

Dado este problema de pesquisa, a hipótese de trabalho para o modelo, ou hipótese nula ( $H_0$ ) é de que cada VI não tem poder explicativo sobre a variável dependente ( $H_0=0$ ), portanto as diferenças observadas nos dados são casuais. Mas, se os dados mostrarem evidências suficientes de que as duas variáveis estão relacionadas ( $H_0 \neq 0$ ), pois o conhecimento de uma altera a probabilidade de algum resultado da outra, então a hipótese alternativa ( $H_1$ ) é verdadeira para o modelo.

Além do pressuposto de que o tamanho da série histórica indica a força da relação (neste caso, vinte e seis anos consecutivos de observações), para analisar as relações individuais entre as variáveis dependentes  $X$  e as independentes  $Y$ , as seguintes hipóteses foram consideradas: i) A relação entre  $X$  e  $Y$  é linear; ii) Tanto  $X$  como  $Y$  são variáveis aleatórias; iii) A homocedasticidade<sup>16</sup> das séries históricas é preservada; iv) As distribuições condicionais de  $Y$ , dado  $X$ , têm distribuição Normal; e v) As variáveis  $X$  e  $Y$  têm distribuição Normal nas respectivas séries históricas.

A análise da correlação<sup>17</sup>, definida pelo Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), foi utilizada para medir o grau/intensidade da relação (avaliação qualitativa das variáveis<sup>18</sup>) entre cada uma das sessenta e duas VIs, derivadas

---

<sup>16</sup> Homocedasticidade é a variância constante dos resíduos. Esta é uma propriedade fundamental, que deve ser garantida para as séries históricas, sob pena de invalidar toda a análise estatística. Deseja-se que os erros sejam aleatórios (BARBETTA, 2001).

<sup>17</sup> O conceito de correlação faz referência a associação numérica entre as variáveis, não implicando, necessariamente, em uma relação de causa e efeito.

<sup>18</sup> O valor de  $r$  pode assumir uma de três condições básicas ( $|r|$ ): onde o sinal indica a direção da correlação:  $r = 1$ , a correlação é perfeita e positiva (mesma direção, relação direta);  $r = -1$ , a correlação é perfeita e negativa entre as duas variáveis (uma variável aumenta enquanto a outra diminui - relação inversa); ou,  $r = 0$ , as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra, devendo ser investigado por outros exercícios estatísticos. Assim, para qualquer conjunto de dados, o valor de  $r$  será tão mais próximo de 1 ou -1 quanto mais forte for a correlação nos dados observados (BARBETTA, 2001).

das observações da temperatura do ar em superfície, da presença do gelo marinho (área, extensão e as respectivas anomalias) VD *número de pares* (N pares) de *P. adeliae*, *P. antarctica* e *P. papua*). A TAB. 1 define cinco classes da força e sentido dessa correlação, segundo Callegari-Jaques (2003).

**TABELA 1** – Coeficiente de Correlação de Pearson: avaliação do grau, sentido e força da correlação para duas variáveis, segundo Barbetta (2001) e Callegari-Jaques (2003)

$ r $	força da correlação	Sentido
0	Nula	Ausência
0 — 0,3	Fraca	positivo ou negativo
0,3 — 0,6	Regular	positivo ou negativo
0,6 — 0,9	Forte	positivo ou negativo
0,9	Muito Forte	positivo ou negativo

A partir dessa classificação, foi possível avaliar a relevância da correlação de cada VI com a VD. Essa avaliação preliminar definiu que vinte e duas VIs demonstraram correlações, de força regular (entre 0,3 e 0,4) com, no mínimo uma das três espécies de Pygoscelidae estudadas.

Para testar o poder preditivo de cada VI em função da VD, a regressão linear simples (RL)<sup>19</sup> foi empregado para estabelecer o **Coeficiente de Determinação ( $r^2$ )**. Como produto do quadrado do coeficiente de correlação de Pearson,  $r^2$  demonstra que, aproximadamente, a metade da variação temporal pode ser explicada pelo modelo. O ANEXO 2 apresenta os valores de  $r$  e  $r^2$  para todas as variáveis independentes empregadas nesta dissertação.

Esse trabalho segue parâmetros bioestatísticos, onde  $r^2 > 0,1$  é o limiar do poder preditivo do modelo, medindo a proporção da variabilidade de uma variável que é explicada pela variabilidade da outra<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> Como premissa, a RL é normalmente aplicada àquelas situações em que há razões para supor que existe uma relação de causa e efeito entre duas variáveis quantitativas (X, como variável independente e Y, enquanto variável dependente) e, também, que se deseja expressar matematicamente essa relação (CALLEGARI-JAQUES, 2003).

<sup>20</sup> Como exemplo, digamos que  $r = 0,79$ , logo  $r^2 = 0,62$  (i.e. 62% da variabilidade da variável X descreve a variabilidade da variável Y, e vice-versa). Deste mesmo exemplo, restam 38% da variabilidade da variável X que não pode ser explicado pela variabilidade da variável Y. Esta fração menor deixa claro que existem outros fatores que podem contribuir na análise dos respectivos fenômenos.



A análise da variância, ou ANOVA, permitiu, então, estabelecer a força da relação entre o modelo e a VD, ao oferecer os valores estatísticos para o nível de **Significância do Coeficiente da Correlação ( $p$ )**, determinando o valor para a significância da VI em função da VD e que tem referência na Hipótese nula ( $H_0$ ) para o modelo<sup>21</sup>. Assim, foram adotados dois valores mínimos (limiar) de Significância do Coeficiente de Correlação:  $p < 0,05$  (5%) e  $p < 0,1$  (10%). Os resultados estatísticos para o conjunto das sessenta e duas VIs encontram-se no ANEXO 2. Oportunamente, a TAB. 10, do Capítulo 4 apresenta o conjunto dos resultados significativos para o modelo, definindo, assim, as VIs preditoras do modelo.

O modelo estatístico foi operado com o aplicativo SPSS 16.0 e tratados graficamente com o MS-Excel.

### 3.1 – Número de pares de pinguins na costa oeste da baía do Almirantado

A variável biológica: “N pares de pinguins adultos”, mede a representatividade da ocorrência das populações de pinguins, das três espécies de Pygoscelidae, nas subcolônias na costa oeste da BA, de novembro e janeiro (ver Cap. 2, sessão 2.8). Os valores que compõem essa série de vinte e seis anos foram extraídos de um dos gráficos (Figura 1) de Hinke *et al.* (2007)<sup>22</sup>.

Na tentativa de minimizar o erro de leitura, inferido pela distorção da figura, assim como pela imprecisão na definição visual das observações, uma cópia digital (imagem *raster*) serviu de fonte para extração das observações extraídas de Hinke *et al.* (2007). Em seguida, utilizando o

---

<sup>21</sup> Normalmente, o limiar para avaliar a  $H_0$  indica um valor de  $p = 0,05$ . Então, rejeita-se a  $H_0$  se o valor de  $p$  for inferior a 0,05 (e.g., se para um determinado modelo estístico obtêm-se um  $p = 1,52E-76$  (ou  $1,52 \cdot 10^{-76}$ ), então o valor de  $p$  menor que 0,05 indica que existe uma probabilidade de 5% para que a variação não seja explicada pelo modelo - não é simplesmente ao acaso, logo  $H_0$  é falsa. É significativo para explicar a VD. Em caso contrário, se o valor de  $p$  é próximo de 1, então não há evidência suficiente para rejeitar  $H_0$ .

<sup>22</sup> Referência para *Fig.1 Number of breeding pairs of Adélie, Gentoo and Chinstrap penguins at Admiralty Bay, King George Island and Cape Sheriff, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica from 1977 to 2004* encontra-se em Hinke *et al.* (2007).

aplicativo CorelDRAW X3, v. 13, usou-se uma grade vetorizada sobre os eixos do gráfico imageado, possibilitando uma leitura mais precisa dos pontos. A TAB. 2 apresenta a série resultante desses procedimentos.

**TABELA 2** - Matriz de vinte e seis anos (1979 a 2004) de observações de número de pares reprodutivos de *Pygoscelis adeliae*, *P. antarctica* e *P. papua* na baía do Almirantado (Fonte: HINKE *et al.*, 2007)

Ano	Pygoscelidae		
	<i>P. adeliae</i>	<i>P. antarctica</i>	<i>P. papua</i>
1979	6.731	5.338	3.728
1980	7.098	4.021	2.138
1981	9.257	4.405	2.082
1982	7.092	3.580	1.848
1983	6.945	-	-
1984	7.810	3.630	2.355
1985	6.867	3.981	2.740
1986	8.370	3.000	2.610
1987	8.410	3.289	2.648
1988	9.665	3.865	2.389
1989	7.258	3.080	2.285
1990	4.880	2.630	2.225
1991	5.098	2.979	2.263
1992	6.414	3.095	2.380
1993	5.690	2.845	2.500
1994	5.419	2.591	2.165
1995	6.249	2.595	1.805
1996	5.034	2.330	1.600
1997	4.990	2.130	1.690
1998	6.600	2.320	1.620
1999	4.780	1.818	1.912
2000	4.479	2.055	2.266
2001	3.785	1.656	2.165
2002	3.084	1.729	2.515
2003	2.195	1.587	2.445
2004	-	1.529	2.749
Máximo	9.665	5.338	3.728
Mínimo	2.195	1.529	1.600

Para testar a precisão deste método de inferência, portanto, a qualidade das observações extraídas do gráfico de Hinke *et al.* (2007), seis anos desta série: 1979, 1981, 1982, 1984, 1985 e 1986 (TAB. 2) foram comparados com a série de seis anos, oferecida por Trivelpiece *et al.* (1990), para *P. adeliae* e *P. antarctica*, destas mesmas colônias (TAB. 3).

**TABELA 3** – Coeficientes de correlação (*r*) extraídas das séries históricas do número de pares de *Pygoscelis adeliae* e *P. antarctica*, oferecidos por Trivelpiece *et al.* (1990) e os dados inferidos de Hinke *et al.* (2007)

Ano	Número de pares			
	<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>	
	TRIVELPIECE <i>et al.</i> , 1990	HINKE <i>et al.</i> , 2007	TRIVELPIECE <i>et al.</i> , 1990	HINKE <i>et al.</i> , 2007
1979	6.728	6.731	349	5.338
1981	9.272	9.257	240	4.405
1982	7.316	7.092	280	3.580
1984	7.673	7.810	259	3.630
1985	6.870	6.867	282	3.981
1986	7.844	8.370	218	3.000
<i>r</i>	0,967		0,795	

Assim, os resultados dos coeficientes de correlação entre as duas séries, e para cada espécie, são 0,967 e 0,795, respectivamente. O primeiro valor indica um alto grau de correlação entre as séries de *P. adeliae*. Já o segundo, determina que quase 20% da variabilidade não explica a correlação. Essa discrepância entre as duas séries históricas de *P. antártica* pode estar associado ao fato de que a série observada por Trivelpiece *et al.* (1990), relata as observações somente para uma das três subcolônias da ASPA 123 (*Sphinx*) - a menor subcolônia para essa espécie. Esse exercício busca demonstrar que os dados inferidos a partir da metodologia de extração dos dados do gráfico da figura de Hinke *et al.* (2007) são muito similares àqueles oferecidos por Trivelpiece *et al.* (1990). Assim, um  $r^2 = 0,632$ , entre as duas séries, foi considerado proporcionalmente representativa do fenômeno de N Pares de *P. antarctica*, na BA, para o período. Complementarmente, observa-se que, embora Jablonski (1984), Shuford e Spear (1988), Trivelpiece, Trivelpiece e Volkman (1987) e outros oferecem resultados científicos e/ou censos demográficos para as mesmas populações de Pygoscelidae na BA, Trivelpiece

*et al.* (1990) e Myrcha (1993) são os únicos trabalhos publicados que apresentam algum extrato de dados observacionais para essas populações de Pygoscelidae, além de outras observações sistemáticas da demografia, fenologia e alimentação das colônias de Pygoscelidae na BA. Atualmente, a série histórica produzido pelo programa de monitoramento de longo prazo, desenvolvido pela equipe norte-americana na Estação Peter J. Lenie (Copacabana) é considerada a mais longa série histórica contínua de monitoramento de pinguins na Antártica (CROXALL, TRATHAN e MURPHY, 2002). Contudo, a série histórica, em si, é informação reservada. Nunca foi publicada.

### **3.2 – As variáveis ambientais**

A categoria *variável ambiental* expressa o controle físico, complexo e prolongado, dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos do ambiente. Levando em conta que essas variáveis não são imediatamente e relativamente influenciadas pela variável biológica, então as variáveis ambientais são consideradas as variáveis independentes (VIs) do modelo estatístico. Assim, consolidando vinte e seis anos de séries históricas completas e disponíveis para a região, sessenta e duas VIs foram geradas a partir dos sete conjuntos de dados (classes), abaixo:

- Temperatura do ar na superfície para a baía do Almirantado;
- Índice Oceânico Niño;
- Categoria de gelo marinho na baía do Almirantado;
- Área coberta por gelo marinho;
- Anomalia da área coberta de gelo marinho;
- Extensão da cobertura de gelo marinho; e
- Anomalia da extensão da cobertura de gelo marinho.

### 3.2.1 - Temperatura do ar na superfície para a baía do Almirantado

As médias de temperatura do ar na superfície (observadas em °C) para a BA foram obtidas do banco de dados meteorológicos da Estação Meteorológica da Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF. Mantidos e disponibilizados pelo projeto Meteorologia na EACF, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE (BRASIL, 2008). Essa série de dados observacionais (junto com a variável qualitativa “Categoria de gelo marinho na baía do Almirantado”) serve para estabelecer o parâmetro ambiental, dentro da BA.

Os extratos das temperaturas em superfície na BA foram organizados nas variáveis apresentadas na TAB. 4. Algumas lacunas da série nos anos de 1986-89 e 1993 foram preenchidas com dados da estação meteorológica de Arctowski.

**TABELA 4** - Relação das variáveis independentes, derivadas da série histórica da temperatura do ar em superfície, na Estação Meteorológica de Ferraz

Variáveis derivadas da Temperatura Média da superfície	Sigla
1. Temperatura média anual da superfície	1. TMano
2. Temperatura média da superfície para o inverno (maio a setembro)	2. TMinv(mjjas)
3. Anomalia da temperatura média da sup. para o inverno (maio a setembro)	3. ATMinv(mjjas)
4. Anomalia da temperatura média anual da superfície	4. ATMano
5. Temperatura média da superfície para julho	5. TMjulho
6. Temperatura média da superfície para agosto	6. TMagosto
7. Temperatura média da superfície para setembro	7. TMsetembro
8. Temperatura média da superfície para outubro	8. TMoutubro
9. Temperatura média da superfície para novembro	9. TMnovembro
10. Temperatura média da superfície para julho, agosto e setembro	10. TMJAS
11. Temperatura média da superfície para agosto, setembro e outubro	11. TMASO
12. Temperatura média da superfície para setembro, outubro e novembro	12. TMSON

As variáveis dessa classe foram escolhidas para explorar as possíveis relações que a temperatura do ar em superfície, na região da BA, tem com as colônias locais de Pygoscelidae, a partir da assertiva de que, no inverno, as águas de superfície da BA são mais quentes do que a atmosfera na superfície d'água. Isso sugere que a massa d'água na BA responde muito lentamente às variações da temperatura do ar (SZAFRANSKI e LIPSKI, 1982).

Assim, os ciclos fonológicos de outras espécies associadas à ecologia da BA, podem ser impactados por esse aspecto da variabilidade e diferença de temperatura do ar para a água, possivelmente, influenciando na presença dos Pygoscelidae no inverno na BA.

Neste sentido, sabe-se que, no inverno, tanto *P. antártica* como *P. papua* são associados às áreas costeiras livre de gelo para alimentarem-se e também realizar a troca de suas plumagens. Assim, espera-se que as variáveis selecionadas da temperatura do ar em superfície na BA podem expressar alguma relação de controle sobre a alimentação dessas aves, em diferentes extratos de tempo.

### 3.2.2 - Índice Oceânico Niño

O Índice Oceânico Niño (ION), ou *Oceanic Niño Index* – ONI, é a média móvel trimestral da anomalia da temperatura da superfície do mar, da região denominada Niño 3.4 v - o quadrante entre as Latitudes 5 N e 5 S e Longitude 120 e 170 W. A série histórica deste índice compõem o banco de dados *Reconstructed Sea Surface Temperature*, ou ERSST.v3b, do *National Climatic Data Center* – NCDC (NOAA, 2006). Também conhecido por *Southern Oscillation Index* – SOI, ou Índice Oceânico Niño (ION), representa a componente atmosférica do ENOS, ao passo que o ION representa a componente oceânica do ENOS.

A escolha desse parâmetro testa a influência das anomalias de temperatura da superfície marinha do quadrante onde é medido o ENOS (na porção central do Oceano Pacífico equatorial) enquanto forçante da VD, pois a IRG encontra-se dentro da área de influência da zona de Baixa Pressão Circumpolar.

Essa condicionante determina a passagem sucessiva de sistemas ciclônicos, que sistematicamente entram pelo setor sudeste do Oceano Pacífico. Assim, ventos fortes transportam ar relativamente quente e úmido para a IRG (SETZER e HUNGRIA, 1994; WUNDERLE e SAURER, 1995; FERRON *et al.*, 2004), potencialmente influenciando a variável N pares de

pinguins. A sessão 2.3, Capítulo 2, descreve esses elementos com mais detalhe. A TAB. 5 lista as doze médias móveis trimestrais e o sinal médio da ION, enquanto VDs para esse trabalho.

**TABELA 5** – Relação das variáveis independentes, derivadas do Índice Oceânico Niño, para os períodos trimestrais

Variáveis derivadas do Índice de Oscilação Niño	sigla
Índice Oceânico Niño para dezembro, janeiro e fevereiro	13. ionDJF
Índice Oceânico Niño para janeiro, fevereiro e março	14. ionJFM
Índice Oceânico Niño para fevereiro, março e abril	15. ionFMA
Índice Oceânico Niño para março, abril e maio	16. ionMAM
Índice Oceânico Niño para abril, maio e junho	17. ionAMJ
Índice Oceânico Niño para maio, junho e julho	18. ionMJJ
Índice Oceânico Niño para junho, julho e agosto	19. ionJJA
Índice Oceânico Niño para julho, agosto e setembro	20. ionJAS
Índice Oceânico Niño para agosto, setembro e outubro	21. ionASO
Índice Oceânico Niño para setembro, outubro e novembro	22. ionSON
Índice Oceânico Niño para outubro, novembro e dezembro	23. ionOND
Índice Oceânico Niño para novembro, dezembro e janeiro	24. ionNDJ
Sinal médio do Índice Oceânico Niño	25. SMion

### 3.2.3 - Gelo marinho

A climatologia do gelo marinho antártico, para o período 1979 - 2004 foi extraído do banco de dados do *National Snow and Ice Data Center* – NSIDC. Composto trinta e seis VIs, essas médias anuais da extensão (km), área (km<sup>2</sup>) e anomalias (desvio de cada média) de gelo marinho, foram definidas para três áreas distintas: o total de gelo marinho circundante à Antártica (Total Antártico); o setor do mar de Weddell; e o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen. Esses dados são derivados dos sensores *Scanning Multichannel Microwave Radiometer* - SMMR a bordo do satélite *Nimbus-7* e do *Special Sensor Microwave/Imager* - SSM/I a bordo do *Defense Meteorological Satellite Program* - DMSP. As séries temporais representam uma estimativa média da observação da presença da cobertura de gelo marinho, através uma grade (quadrícula de 25x25 km), com cobertura superior

a 15% da área da quadrícula. O parâmetro gelo marinho foi decomposto nas séries parciais apresentados na TAB. 6.

**TABELA 6 – Relação das variáveis independentes, derivadas de gelo marinho para o Total Antártico, o setor do mar de Weddell e o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen**

<b>Variáveis derivadas das observações do gelo marinho</b>
Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (27.AManoGMTA)
Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o Total Antártico (28.AMasoGMTA)
Área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o Total Antártico (29.AMinvGMTA)
Área média anual de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (30.AManoGMW)
Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (31.AMasoGMW)
Área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (32.AMinvGMW)
Área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (33.AManoGMBA)
Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (34.AMasoGMB)
Área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (35.AMinvGMBA)
Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (36.AAManoGMTA)
Anomalia da área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o Total Antártico (37.AAMasoGMTA)
Anomalia da área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o Total Antártico (38.AAMinvGMTA)
Anomalia da área média anual de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (39.AAManoGMW)
Anomalia da área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (40.AAMasoGMW)
Anomalia da área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (41.AAMinvGMW)
Anomalia da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (42.AAManoGMBA)
Anom. área med. agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (43.AAMasoGMBA)
Anomalia da área med. inv. (maio a setembro) de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (44.AAMinvGMBA)
Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (45.XManoGMTA)
Extensão média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (46.XMasoGMTA)
Extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o Total Antártico (47.XMinvGMTA)
Extensão média anual de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (48.XManoGMW)
Extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (49.XMasoGMW)
Extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (50.XMinvGMW)
Extensão média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (51.XManoGMBA)
Extensão média anual de agosto, setembro e outubro de gelo marinho p. Bellingshausen/Amundsen (52.XMasoGMBA)
Extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (53.XMinvGMBA)
Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (54.AXManoGMTA)
Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o Total Antártico (55.AXMasoGMTA)
Anomalia da extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o Total Antártico (56.AXMinvGMTA)
Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (57.AXManoGMW)
Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (58.AXMasoGMW)
Anomalia da extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (59.AXMinvGMW)
Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (60.AXManoGMBA)
Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (61.XMasoGMBA)
Anomalia da extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (62.AXMinvGMBA)



A partir dessa concentração, é calculada a extensão de gelo marinho para cada um dos setores marinhos (área total coberta pela banquisa), com concentração média maior que 15% - número de pixels com concentração superior a 15% vezes a área dos pixels (NSIDC, 2009a).

### 3.2.3.1 Categoria de gelo marinho na baía do Almirantado

A classificação dos eventos de gelo marinho na BA originou dos trabalhos de Kruszewski (2000 e 2002), que estabeleceram uma escala crescente (de 1 a 5) para as observações da presença, intensidade e duração do gelo marinho, de 1977 a 1999, e Dewes (2004), que ao estudar a variabilidade do gelo marinho na BA, empregou esta mesma metodologia para classificar o ano de 2003 como Categoria 1 (ver sessão 2.4.1, Capítulo 2).

As séries originais foram ajustadas para o período de estudo desta dissertação (1979 a 2004). Assim, os dois primeiros anos (1977 e 1978) foram excluídos e o ano de 2003 foi incluído na série histórica da variável Categoria de gelo marinho da baía do Almirantado (CGMba).

A ausência de dados para os anos de 2000, 2001 e 2002 foram preenchidas a partir da avaliação simples de melhor correlação entre a CGMba e a VI *Temperatura média do ar em superfície para o inverno (maio-setembro)*, ou 2.TMinv(mjjas) com um índice de correlação de -0,923.

A explicação para essa correlação forte reside no fato de que, embora as duas VIs foram geradas de séries históricas com metodologias distintas - uma por observação qualitativa e temporal da presença do gelo marinho na BA (CGMba) e a outra [(2.TMinv(mjjas))] gerada através da observação instrumentalmente medida – as duas VIs são diretamente associada com os períodos mais frios do ano e na mesma área – a BA

Lembrando que essa variável é uma quantificação da qualidade e presença de gelo na baía do Almirantado, mas que também é diretamente associada com as condições sinóticas da região, espera-se que essa variável apresente alguma correlação com a VD para pelos menos uma das três espécies.

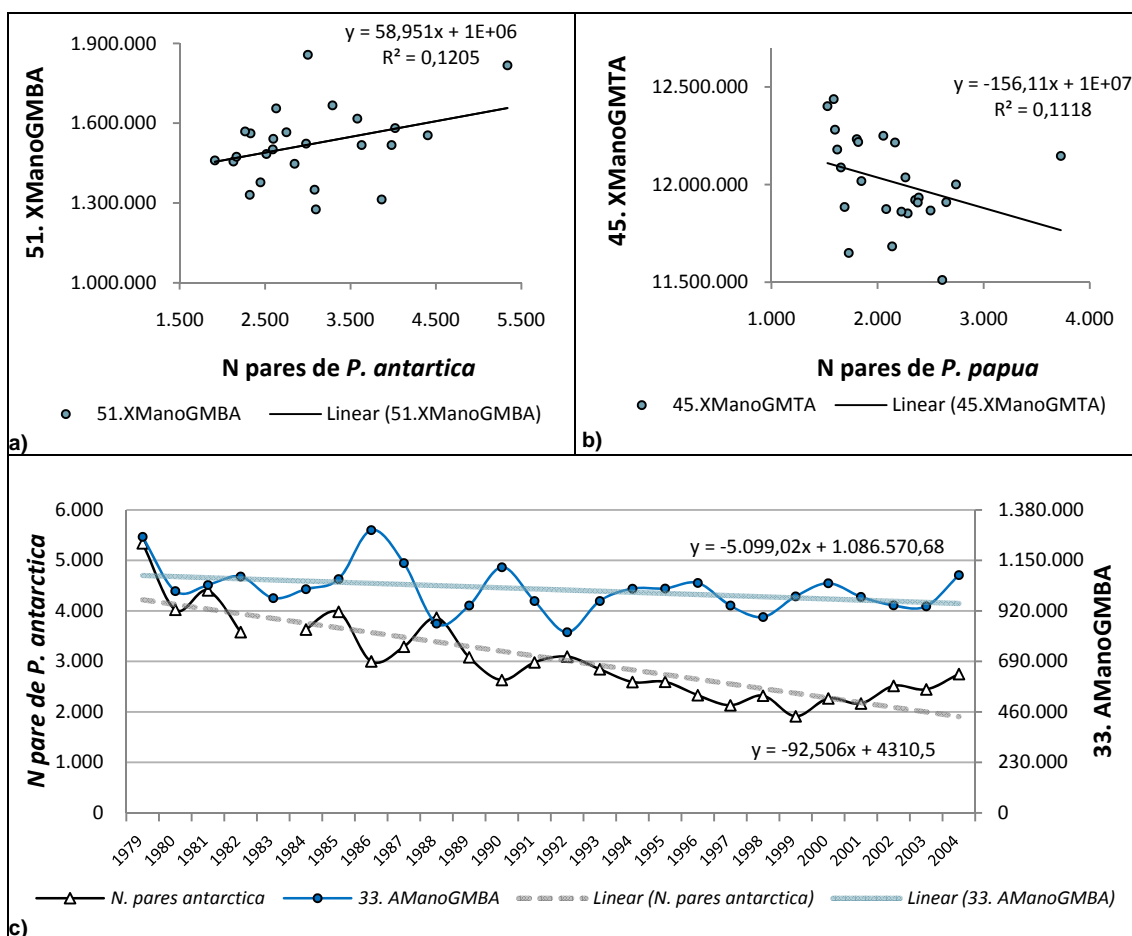
### 3.3 - A resolução espacial das variáveis ambientais

As variáveis ambientais empregadas nesta dissertação, mensuram tanto a variabilidade como a dinâmica ambiental da região antártica. Assim, para avaliar a abrangência espacial dos fenômenos *temperatura* e *gelo marinho*, que potencialmente influenciaram nos resultados de N pares de *Pygoscelidae* nos sítios reprodutivos da BA, no período, foram utilizados:

- Dois extratos locais para a baía do Almirantado (Temperatura média do ar em superfície e Categoria de Gelo marinho);
- Três extratos sub-regionais: setor sudeste do Oceano Pacífico (relativo ao ION), o setor do mar de Weddell e o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; e
- Um extrato em grande escala: o total do gelo marinho circunscrito ao continente antártico.

### 3.4 - A resolução gráfica

A FIG. 18 demonstra o padrão do gráfico da dispersão dos valores do modelo estatístico. Representados por um sistema cartesiano, cada ponto sobre o gráfico representa um par de valores  $(x,y)$ . A FIG. 18a apresenta os resultados de duas variáveis, proporcionalmente crescentes, caracterizando uma correlação positiva. A FIG. 18b mostra os resultados de uma correlação negativa, onde a variável  $x$  é inversamente proporcional a variável  $y$ . Desta maneira, a relação linear entre  $x$  e  $y$  permite o melhor ajuste para o conjunto de valores pontuais uma. Os valores atípicos (resíduos discrepantes) foram mantidos no modelo por serem considerados decorrentes de características inerentes às variáveis. A FIG 18c espacializa as duas séries históricas, aplicadas ao modelo estatístico, as retas da RL e as respectivas equações das retas e Coeficientes de Determinação, permitindo a visualização do comportamento das variáveis e a suas relações.



**FIGURA 18** – Modelos dos gráficos de dispersão (a e b), o gráfico da séries temporais da variável dependente com a variável independente (c) e as respectivas retas de regressão linear

A localização precisa da reta de regressão linear confere o sentido da relação assim como as tendências demonstradas pelas séries, foram determinadas pelo Método dos Mínimos Quadrados. A equação da reta é dada por:

$$y = A + Bx$$

Onde

- y = variável dependente (e.g., N pares de pinguins);
- A = coeficiente linear (valor de y quando x = 0);
- B = coeficiente angular (inclinação da reta), acréscimo ou decréscimo em y para cada acréscimo de uma unidade em x)
- x = variável independente (e.g., Área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen).

*For the natural inhabitants of this place,  
death is the only alternative to health.  
They win their right to life through strength and endurance.  
The human is never more than a privileged, protected visitor.  
Peter Boyer (~2003)*

## **4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

---

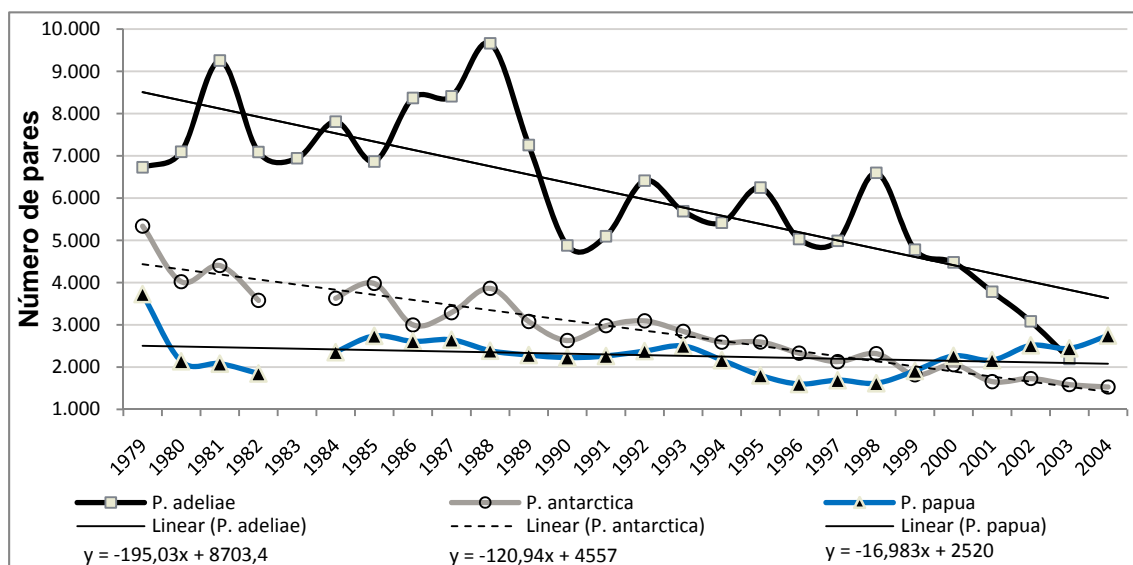
Este capítulo apresenta os resultados dos modelos estatísticos, construídos para o número de pares de pinguins com as variáveis ambientais, que se mostraram significantes.

Para facilitar a discussão desse conjunto de resultados, primeiramente, faz-se a descrição e análise da representatividade das séries que compõem a variável biológica *N* pares. Em seguida, as variáveis ambientais significativas são analisadas quanto à representatividade da distribuição da significância com cada espécie, por classe, área de abrangência, extrato de tempo, e sentido da correlação. Por fim, a discussão da correlação e significância da VD em função das respectivas VIs é apresentada para cada espécie.

### **4.1 – A variável biológica *Número de pinguins***

Além de identificar a demografia das populações reprodutivas de Pygoscelidae nas colônias da BA, o parâmetro *N* pares é indicativo da evolução da estabilidade dessas espécies no tempo e no espaço. Assim, investigar as respostas ecológicas desses predadores do topo da cadeia trófica às variações do seu ambiente encerra um potencial de análise dessas aves enquanto sentinelas das mudanças ambientais globais (AINELY, 2002).

A FIG. 19 apresenta as séries históricas de *N* pares para as três espécies de Pygoscelidae, observados na costa oeste da BA, entre 1979 e 2004. As três espécies demonstram curvas de regressão negativas (*i.e.*, as



**FIGURA 19** - Número de pares de *Pygoscelis adeliae*, *P. antarctica* e *P. papua*, na baía do Almirantado, entre 1979 e 2004, segundo Hinke *et al.* (2007)

populações de Pygoscelidae na BA têm decrescido durante o período observado). Para *P. adeliae*, a reta de regressão, mais acentuada, acusa uma mudança dramática durante os vinte e seis anos observados. A população de *P. antarctica*, com uma reta menos inclinada, assumindo uma posição intermediária de tendência da queda. A espécie *P. papua* apresentou um decréscimo até 1998, assumindo uma tendência de crescimento de N pares, a partir desta data. De maneira geral, as observações demográficas dessas três espécies simpátricas originam das relações ecológicas locais das colônias de Pygoscelidae na BA. Contudo, o declínio de *P. adeliae* e *P. antártica* e o aumento da participação de *P. papua* confirmam as conclusões já obtidas para a PA por Croxall e Kirkwood (1979), Woehler e Croxall (1997), Naveen *et al.* (2000); Wilson *et al.* (2001) e Woehler (2004), entre outros.

Para auxiliar a análise desta demografia, a TAB. 7 demonstra a participação percentual anual de N pares de cada espécie observada no gráfico. Os valores marcados em negrito são os valores máximos e mínimos de N pares (preto), os percentuais máximos (azul) e mínimos (vermelho) para cada espécie.

**TABELA 7** – Número de pares de Pygoscelidae na baía do Almirantado e as respectivas participações percentuais anuais, de 1979 a 2004

Ano	<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>		<i>P. papua</i>	
	N pares	%	N pares	%	N pares	%
1979	6.731	42,61	<b>5.338</b>	<b>33,79</b>	<b>3.728</b>	23,60
1980	7.098	53,54	4.021	30,33	2.138	16,13
1981	9.257	58,80	4.405	27,98	2.082	<b>13,22</b>
1982	7.092	56,65	3.580	28,59	1.848	14,76
1983	6.945	-	-	-	-	-
1984	7.810	56,61	3.630	26,31	2.355	17,07
1985	6.867	50,54	3.981	29,30	2.740	20,16
1986	8.370	59,87	3.000	21,46	2.610	18,67
1987	8.410	58,62	3.289	22,92	2.648	18,46
1988	<b>9.665</b>	60,71	3.865	24,28	2.389	15,01
1989	7.258	57,50	3.080	24,40	2.285	18,10
1990	4.880	50,13	2.630	27,02	2.225	22,86
1991	5.098	49,30	2.979	28,81	2.263	21,89
1992	6.414	53,95	3.095	26,03	2.380	20,02
1993	5.690	51,56	2.845	25,78	2.500	22,66
1994	5.419	53,26	2.591	25,46	2.165	21,28
1995	6.249	58,68	2.595	24,37	1.805	16,95
1996	5.034	56,16	2.330	25,99	<b>1.600</b>	17,85
1997	4.990	56,64	2.130	24,18	1.690	19,18
1998	6.600	<b>62,62</b>	2.320	22,01	1.620	15,37
1999	4.780	56,17	1.818	<b>21,36</b>	1.912	22,47
2000	4.479	50,90	2.055	23,35	2.266	25,75
2001	3.785	49,76	1.656	21,77	2.165	28,46
2002	3.084	<b>42,09</b>	1.729	23,59	2.515	34,32
2003	<b>2.195</b>	35,25	1.587	25,49	2.445	<b>39,26</b>
2004	-	-	<b>1.529</b>	-	2.749	-
<i>Participação média anual (100%)*</i>		53,41		25,61		20,98

\*O percentual médio anual é resultado de vinte e quatro anos. Os anos de 1983 e 2004 foram excluídos por não representarem a participação das três espécies de Pygoscelidae na baía do Almirantado, para o período.

Tanto a FIG. 19 como a TAB. 7 deixam evidente que a espécie *P. adeliae*, historicamente, compõem a maior parte da população de Pygoscelidae na BA. Também, embora identificados em patamares distintos, os N pares de *P. adeliae* e *P. antarctica* eram proporcionalmente maiores até o ano de 1988. A partir de então, os valores para *P. papua* começam a subir, superando os N pares de *P. adeliae* e *P. antarctica* em 2003.

Nos últimos seis anos, o N pares de *P. papua* aumentou. Além de apresentar menor participação demográfica, entre as três espécies, *P. papua* tem menor variabilidade ao longo do tempo, sugerindo uma resposta menos acentuada da colônia às variabilidades do ambiente e, possivelmente, indicando a estabilidade dessa colônia.

Para melhor ilustrar a intensidade da queda histórica da colônia de *P. adeliae* na BA, a mesma foi subdividida em três sequências distintas (TAB. 8), destacando os valores anuais, máximos, medianos e mínimos da espécie.

**TABELA 8** - Número de pares reprodutivos de *Pygoscelis adeliae*, subdivididos em três períodos: 1979-1989; 1990-1998 e 1999-2004

<b><i>Pygoscelis adeliae</i></b>					
Período I		Período II		Período III	
Ano	N pares	Ano	N pares	Ano	N pares
1979	6.731	1990	4.880	1999	4.780
1980	7.098	1991	5.098	2000	4.479
1981	9.257	1992	6.414	2001	3.785
1982	7.092	1993	5.690	2002	3.084
1983	6.945	1994	5.419	2003	<b>2.195</b>
1984	7.810	1995	<b>6.249</b>	2004	-
1985	6.867	1996	5.034	Máximo N pares	4.780
1986	8.370	1997	4.990	Mínimo N pares	2.195
1987	8.410	1998	6.600	Média N pares para período III	3.054*
1988	<b>9.665</b>	Máximo N pares	6.600		
1989	7.258	Mínimo N pares	4.880		
Máximo N pares	9.665	Média N pares para período II	5.597		
Mínimo N pares	6.731				
Média N pares para período I	7.773				

\*A média N pares para o Período III foi calculada para cinco anos (1999-2003)

No Período I (1979 a 1989), predomina *P. adeliae*, com uma média de 7.773 pares. O Período II (1990 a 1998) a média foi de 5.597 pares. Entre o Período I e o Período II (vinte anos), essa espécie reduziu para 2.176 pares, em média. O Período III (1999-2004) apresenta os menores valores da série e tem uma tendência de queda mais acentuada (FIG 19), incluindo o ano de 2004 - sem observação.

O valor máximo de N pares de *P. adeliae* para os vinte e seis anos foi de 9.665 (1988); e o valor mínimo foi 2.195 pares em 2003. Desta maneira, em vinte e seis anos, N pares de *P. adeliae* passou de 9.665 para 2.195 pares e, embora a população média histórica de *P. adeliae* representasse 53,41% dos Pygoscelidae na BA - um valor duas vezes maior que as outras duas espécies, os últimos dois anos completos da série (2002 e 2003) marcam a inversão na ordem de participação de N pares, entre as três espécies (FIG. 19 e TAB. 7).

## 4.2 – As variáveis ambientais significativas

A TAB. 9 apresenta as cinco classes de variáveis, assim como as vinte e duas VIs respectivas, que ofereceram resultados satisfatórios ( $r^2 > 0,1$  e  $p < 0,1$ ) para o modelo estatístico:

- Duas VIs extraídas de **Temperatura do ar em superfície da baía do Almirantado**: Temperatura média do ar em superfície para agosto (6.TMagosto) e Temperatura média da superfície para agosto, setembro e outubro (ASO) (11.TMASO):
- Três VIs vieram da **Área coberta por gelo marinho**: Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (27.AManoGMTA); Área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (28.AMasoGMTA); Área média de inverno: maio, junho, julho, agosto e setembro (MJJAS) de gelo marinho para o Total Antártico (29.AMinvGMTA); Área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (31.AMasoGMW); Área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (33.AManoGMBA); e Área média de ASO de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (34.AMasoGMBA);
- Três VIs originaram da **Anomalia da área coberta de gelo marinho**: Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (36.AAManoGMTA); Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (37.AAMasoGMTA); Anomalia área média de inverno (MJJS) de gelo marinho para o Total Antártico (38.AAMinvGMTA); Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (40.AAMasoGMW) e Anomalia da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (42.AAManoGMBA); e Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (43.AAMasoGMBA);



- Duas VIs geradas da **Extensão da cobertura de gelo marinho**: Extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (45.XManoGMTA); Extensão da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (51.XManoGMBA); Extensão da área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (46.XMasoGMTA); e Extensão da área média anual de ASO de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (52.XMasoGMBA);
- Duas VIs extraídas da **Anomalia da extensão da cobertura de gelo marinho**: Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (54.AXManoGMTA), Anomalia da extensão da área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (55.AXMasoGMTA); Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (60.AXManoGMBA); e Anomalia da extensão da área média de ASO de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (61.AXMasoGMBA).

A TAB. 9 apresenta o conjunto desses resultados para o modelo estatístico. Destacando, em negrito, os resultados mais significativos para a RL: Coeficiente de Correlação de Pearson (**r**), o Coeficiente de Determinação (**r<sup>2</sup>**) e os valores da significância do Coeficiente de Determinação (**p**). Os resultados apresentaram sete VIs muito significativas (**p** < 0,05) (*i.e.*, existe 5% de chances de que a variável ambiental não seja preditora da variável biológica).

As dezenove VIs restantes apresentaram valores de **p** menor que 10%. Quatro VIs (27.AManoGMTA, 36.AAManoGMTA, 45.XManoGMTA e 54.AXManoGMTA) apresentam resultados significativos para duas espécies, *P. adeliae* e *P. antarctica*. Para o nível de significância de **p** < 0,05, a espécie *P. adeliae* concentra quatro, *P. antarctica* nenhuma e *P. papua* três VIs preditoras. Contudo, ao considerar o universo de VIs (vinte e seis), a distribuição mais regular do conjunto ficou para aquelas classes de variáveis com significância menor que 10% (dezenove VIs).

**TABELA 9** - Resultados estatisticamente significativos da regressão linear entre as variáveis ambientais com o número de pares de *Pygoscelidae*, na baía do Almirantado (1979-2004)

Variáveis Independentes	<i>P. adeliae</i>			<i>P. antarctica</i>			<i>P. papua</i>		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
Temperatura média da superfície para agosto (6.TMagosto)	-,360	,129	,077						
Temperatura média da superfície para ASO (11.TMASO)	-,350	,122	,087						
<b>Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (27.AManoGMTA)</b>	<b>-,415<sup>*</sup></b>	<b>,173</b>	<b>,039</b>	-,362	,131	,076			
Área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (28.AMasoGMTA)							-,339	,115	,098
Área média de inverno (MJJAS) de gelo marinho para o Total Antártico (29.AMinvGMTA)	-,356	,126	,081						
Área média de ASO de gelo marinho para o Setor do mar de Weddell (31.AMasoGMW)				,379	,144	,061			
<b>Área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (33.AManoGMBA)</b>							<b>,469</b>	<b>,220</b>	<b>,018</b>
Área média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (34.AMasoGMBA)							,359	,129	,078
<b>Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (36.AAManoGMTA)</b>	<b>-,455<sup>*</sup></b>	<b>,207</b>	<b>,022</b>	-,372	,138	,067			
Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (37.AAMasoGMTA)							-,339	,115	,098
Anomalia área média de inverno (MJJAS) de gelo marinho para o Total Antártico (38.AAMinvGMTA)	-,356	,126	,081						
Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o Setor do mar de Weddell (40.AAMasoGMW)				,379	,144	,061			
<b>Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (42.AAManoGMBA)</b>							<b>,467</b>	<b>,218</b>	<b>,019</b>
Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (43.AAMasoGMBA)							,359	,129	,078
<b>Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (45.XManoGMTA)</b>	<b>-,434</b>	<b>,188</b>	<b>,030</b>	-,363	,132	,075			
Extensão média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (46.XMasoGMTA)							-,370	,137	,069
<b>Extensão média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (51.XManoGMBA)</b>							<b>,405</b>	<b>,164</b>	<b>,044</b>
Extensão média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (52.XMasoGMBA)							,360	,130	,077
<b>Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (54.AXManoGMTA)</b>	<b>-,443</b>	<b>,196</b>	<b>,026</b>	-,365	,133	,073			
Anomalia da extensão da área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico (55.AXMasoGMTA)							-,370	,137	,069
Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (60.AXManoGMBA)							,381	,145	,060
Anomalia da extensão da área média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (61.AXMasoGMBA)							,360	,130	,077

A TAB. 10 oferece uma análise qualitativa dos resultados significativos, a partir dos três componentes, que estruturam cada variável ambiental. O primeiro (TAB. 10a), a trata do fenômeno, em si, e define as classes de variáveis. Duas classes (em negrito) apresentaram as distribuições mais equilibradas entre as três espécies observadas (Área média da cobertura de gelo marinho e Anomalia da área média de gelo marinho), sete VIs para cada classe.

**TABELA 10** – Análise qualitativa da distribuição do número de variáveis independentes significativas por classe, área de abrangência, extrato de tempo, sentido da correlação e espécie de Pygoscelidae, na baía do Almirantado, entre 1979 e 2004

a. Classe de VIs significativas	Espécie e limiares de <i>p</i>						Total de VIs (classe)
	<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>		<i>P. papua</i>		
	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	
Temperatura média do ar em superfície na baía do Almirantado	-	2	-	-	-	-	2
Área média coberta por gelo marinho	1	1	-	2	1	2	7
Anomalia da área média coberta por gelo marinho	1	1	-	2	1	2	7
Extensão média da cobertura de gelo marinho	1	-	-	1	1	2	5
Anomalia da extensão média da cobertura de gelo marinho	1	-	-	1	-	3	5
b. Área de abrangência das VIs significativas	<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>		<i>P. papua</i>		Total de VIs (área)
	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	
	Baía do Almirantado	-	2	-	-	-	
<b>Total Antártico</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	-	<b>4</b>	-	<b>4</b>	<b>14</b>
Setor do mar de Weddell	-	-	-	2	-	-	2
<b>Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen</b>	-	-	-	-	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
c. Extrato de tempo das VIs significativas	<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>		<i>P. papua</i>		Total de VIs (extr. tempo)
	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	
	Média de agosto	-	1	-	-	-	
<b>Média de agosto, setembro, outubro (ASO)</b>	-	<b>1</b>	-	<b>2</b>	-	<b>8</b>	<b>11</b>
<b>Média anual</b>	<b>4</b>	-	-	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>12</b>
Média de inverno: maio junho, julho, agosto e setembro (MJJAS)	-	2	-	-	-	-	2
d. Sentido do coeficiente de correlação de Pearson das VIs significativas	<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>		<i>P. papua</i>		Total de VIs sentido de <i>r</i>
	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	<0,05	<0,10	
	Positivo ( <i>relação direta</i> )	-	-	-	2	3	
<b>Negativo (<i>relação inversa</i>)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	-	<b>4</b>	-	<b>4</b>	<b>16</b>
<b>Total de VIs por espécie</b>	<b>8</b>		<b>6</b>		<b>12</b>		<b>26*</b>

\* quatro variáveis são simultaneamente representadas por duas espécies, definindo um universo de vinte e seis resultados significativos para as vinte e duas VIs significativas, para o modelo.

O segundo componente (TAB. 10b) avalia a representatividade das VIs significativas em função da área de abrangência do fenômeno incorporada em cada variável. Essa distribuição, representando as três espécies, mostra que o Total Antártico é o extrato com maior número de VIs/área (quatorze), mas, também, que o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen é muito representativo para a espécie *P. papua*, descrevendo oito VIs. O terceiro componente (TAB. 10c) analisa a distribuição dos extratos de

tempo, onde a Média anual, com doze VIs e Média de ASO, com onze VIs são as mais representativas. Em particular, para o nível de significância em 5%, *P. adeliae* concentra quatro, *P. antarctica* tem nenhuma e *P. papua* concentra quatro VIs preditoras.

O quatro componente (TAB. 10d) contabiliza as VIs conforme o sentido da correlação de Pearson ( $|r|$ ). Por este componente, fica claro que *P. adeliae* e *P. papua* dividem 100% das VIS mais significativas ( $p < 5\%$ ), com três e quatro VIs, respectivamente. Também, das vinte e seis VIs, dezesseis variáveis (63,53%) têm correlações negativas com os Pygoscelidae (*i.e.*, mais da metade das correlações significativas entre as respectivas variáveis ambientais e a variável biológica são inversamente proporcionais).

Globalmente, a análise sugere que *P. papua* representa doze destas variáveis, *P. adeliae* tem oito e *P. antarctica* detém seis VIs - a menor parcela das variáveis. Em particular, a melhor representação qualitativa para o modelo são aquelas que descrevem correlações negativas, provenientes dos extratos que definem a *área média da cobertura de gelo marinho* e a *anomalia da área média da cobertura de gelo marinho*, combinados com as áreas de abrangência *Total Antártica* e o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen, mais os extratos de tempo da temperatura média do trimestre agosto, setembro e outubro (ASO) e média anual. Essas variáveis serão descritas e discutidas nas próximas sessões.

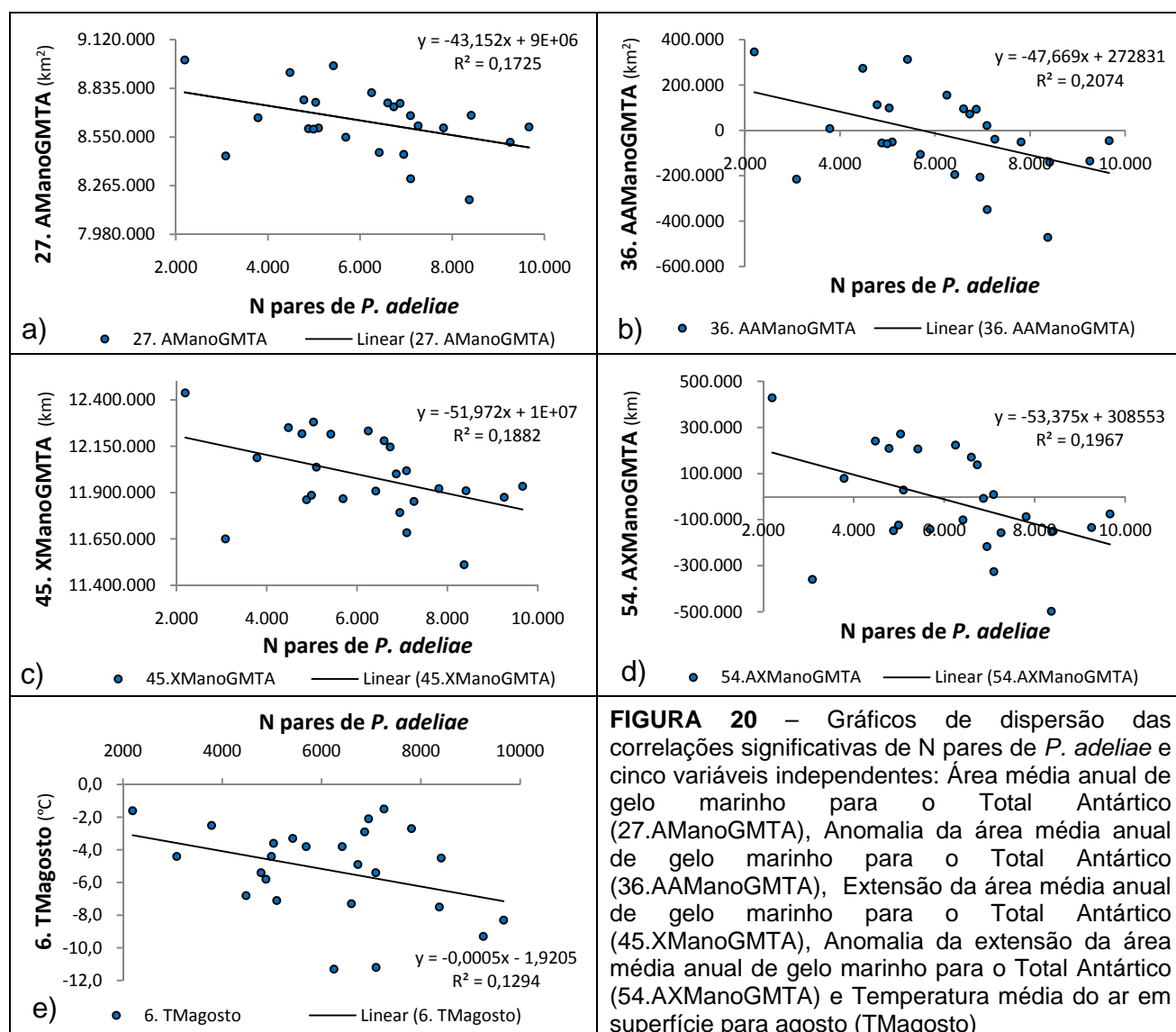
#### **4.3- Resultados para *Pygoscelis adeliae* e as variáveis ambientais**

Para *P. adeliae*, o modelo apresentou relação significativa com quatro VIs ( $p < 0,05$ ): Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (27.AManoGMTA), Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (AAManoGMTA), Extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (XManoGMTA) e Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (AXManoGMTA).

As VIs Temperatura média da superfície para agosto (TMagosto), Temperatura média da superfície para ASO (TMAso), Área média de inverno (MJJAS) de gelo marinho para o Total Antártico (AMInvGMTA) e Anomalia área

média de inverno (MJJAS) de gelo marinho para o Total Antártico (AAMinvGMTA) demonstraram níveis de significância entre 7 e 8 %.

A FIG. 20 oferece o conjunto dos gráficos de dispersão das análises de correlação entre N pares de *P. adeliae* e as respectivas VIs de melhor significância ( $p < 0,05$ ). Todas as VIs desse conjunto demonstram retas de regressão negativas, ou seja: as VIs são inversamente proporcionais ao comportamento, já descrito na (FIG. 19 e TAB. 7) - declínio de N pares de *P. adeliae*, para o período, na BA.



**FIGURA 20** – Gráficos de dispersão das correlações significativas de N pares de *P. adeliae* e cinco variáveis independentes: Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (27.AManoGMTA), Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (36.AAManoGMTA), Extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (45.XManoGMTA), Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (54.AXManoGMTA) e Temperatura média do ar em superfície para agosto (TMagosto)

Complementarmente, a FIG. 21 apresenta os gráficos de dispersão das séries históricas destas cinco VIs significativas com N pares de *P. adeliae* (valor de  $p$  entre 2 e 4%) e mais a TMagosto ( $p = 8\%$ ), destacando

uma VI para BA (observado no sítio dessas aves). Desta maneira, rejeita-se a  $H_0$  para o conjunto das VIs com a VD N pares de *P. adeliae*.

As variáveis ambientais são observações para o período de inverno das médias e anomalias das médias da área total da cobertura de gelo marinho circunscritas ao continente Antártico (Total Antártico). Essas VIs demonstram potencial preditivo para a variabilidade de N pares de *P. adeliae* na BA (observados no período de verão, do mesmo ano).

A FIG. 21 apresenta o conjunto dessas séries históricas, onde duas características são marcantes para as correlações. A primeira observação é sobre o comportamento decrescente da VD N pares de *P. adeliae* e as retas crescentes (positivas) de cada VI. A segunda observação estabelece o comportamento combinado de cada VI significativa com N pares de *P. adeliae*, onde dois períodos distintos e, um ou dois segmentos mais curtos, possivelmente de transição, são observados.

Mais especificamente, a FIG. 21a descreve o comportamento da série histórica da VI Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico e sua significância com a VD N pares de *P. adeliae*. As retas de RL atestam pelo crescimento da área média anual da cobertura de gelo marinho ao redor da Antártica, ao passo que o número de pares de *P. adeliae* decresce. Neste sentido, o gráfico caracteriza dois segmentos distintos de comportamento entre as variáveis. De 1979 a 1993 (*i*), as séries apresentam um comportamento de fase (*i.e.*, quando N pares de *P. adeliae* cresce, a área média de gelo marinho para o Total Antártica decresce e *vice versa*). De 1994 a 2002 (*ii*) as séries correm em paralelo, evoluindo para um afastamento crescente nos últimos dois anos da composição histórica.

A FIG. 21b tipifica o desempenho similar às variáveis da FIG. 21a, tanto para as retas de RL como para o comportamento combinado das séries, em si. Assim, N pares de *P. adeliae* e a VI Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico destacam dois comportamentos distintos. De 1979 até 1993 (*i*), a combinação dessas séries tem um comportamento de fase, onde um período curto de seis anos, de 1988 a 1994 (*ii*), apresenta períodos de amplitudes curtas e muito próximas entre as variáveis de ambas as séries, sugerindo um período de transição no comportamento das variáveis. Neste trecho, as retas da RL têm sua interseção. Para o segundo período, de 1994 a 2002 (*iii*), as variáveis se encontram em

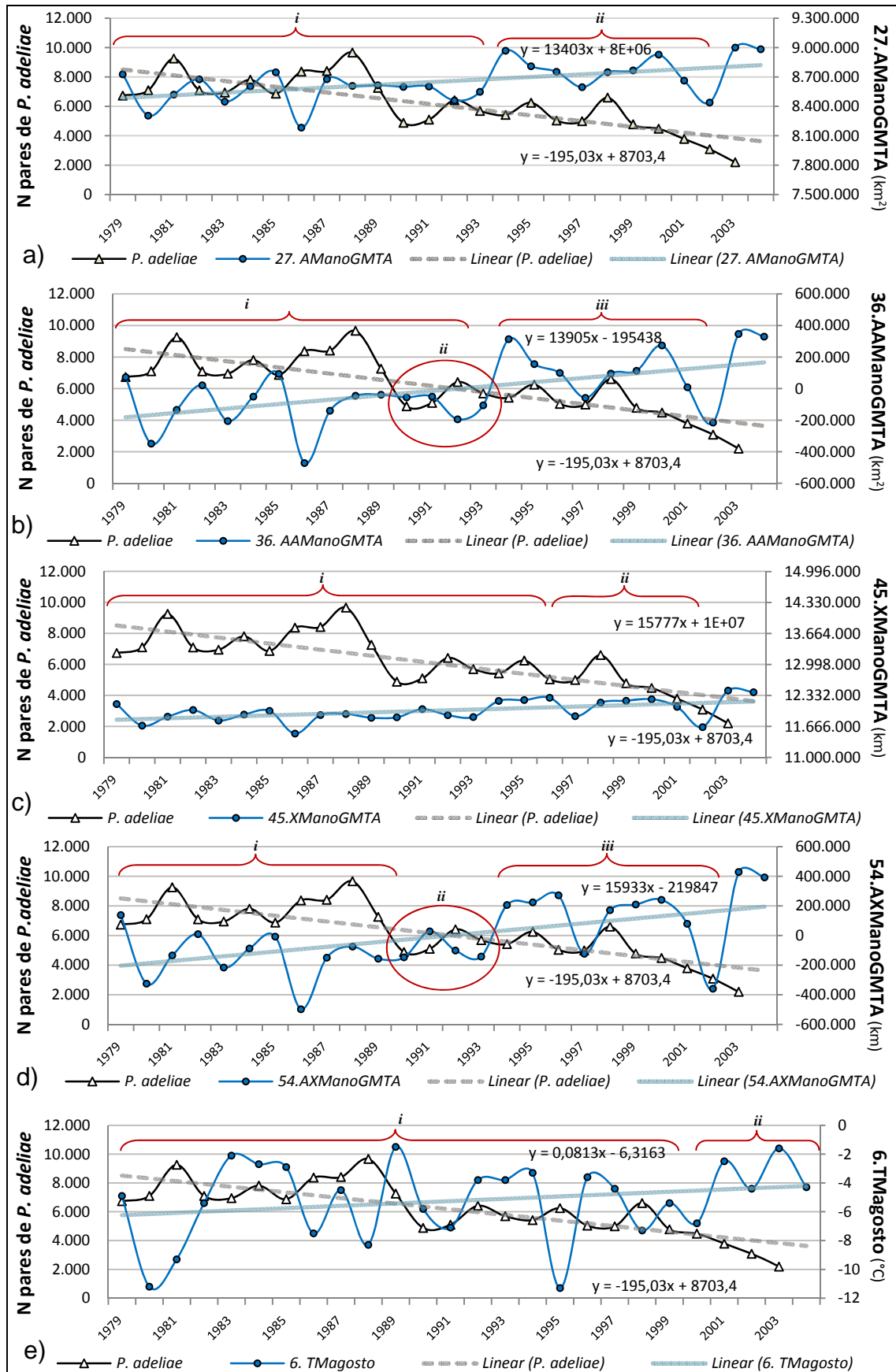


FIGURA 21 – Séries históricas de Número de pares de *Pygoscelis adeliae* com as cinco variáveis independentes significativas

paralelo, evoluindo para um afastamento crescente das duas séries, nos últimos dois anos do gráfico.

As FIG. 21a e 21b descrevem duas VI correlatas: área média observada e a anomalia (desvio positivo ou negativo dessa mesma área média) da cobertura de gelo marinho ao redor da Antártica. O poder preditivo de Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico sobre *P. adeliae* ( $p = 0.04$ ) determina que tenha 4% de chances de que dessa VI não tenha relação preditiva sobre a população de *P. adeliae*, na BA. Um coeficiente de significância da correlação de 2% para a Anomalia da área média da cobertura de gelo marinho ao redor da Antártica confere um poder de predição ainda mais elevado (*i.e.* existe 2% de chances que essa Anomalia da área média da cobertura de gelo marinho ao redor da Antártica não tenha influencia sobre o número de pares de *P. adeliae* na BA, para o período). De fato, essa VI representou o melhor coeficiente de significância do conjunto ( $p = 0,02$ ).

A FIG. 21c apresenta a Extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico e sua significância com *P. adeliae*. Para esse par de variáveis, as retas de RL convergem ao final das series. Contudo, esse par descreve o mesmo comportamento das demais VIs desse conjunto (*i.e.*, a extensão média de gelo marinho ao redor da Antártica aumentou com o passar dos anos, ao mesmo tempo que o número pares de *P. adeliae*, na BA, diminuiu). Embora a relação entre essas variáveis também sugira o comportamento de fase para o primeiro segmento (*i*), a Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico apresenta uma serie com valores de menor variabilidade, deixando menos marcado o limite entre os dois segmentos característicos. O segundo segmento (*ii*) entre 1979 e 1996, denota uma sincronia entre os valores e, finalmente, nos últimos anos, as séries estabelecem uma divergência entre as variáveis.

A FIG. 21d mostra a relação entre a Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico e N pares de *P. adeliae*. Em particular, essa variável tem forte semelhança com o comportamento das variáveis: Área média e a anomalia área média da cobertura de gelo marinho ao redor da Antártica (FIG. 21a e 21b). O poder preditivo de Anomalia da extensão média da cobertura de gelo marinho para o Total da Antártica sobre *P. adeliae* determina que existam 2% de chances que essa VI não tem relação preditiva sobre a população de *P. adeliae*, na BA, para

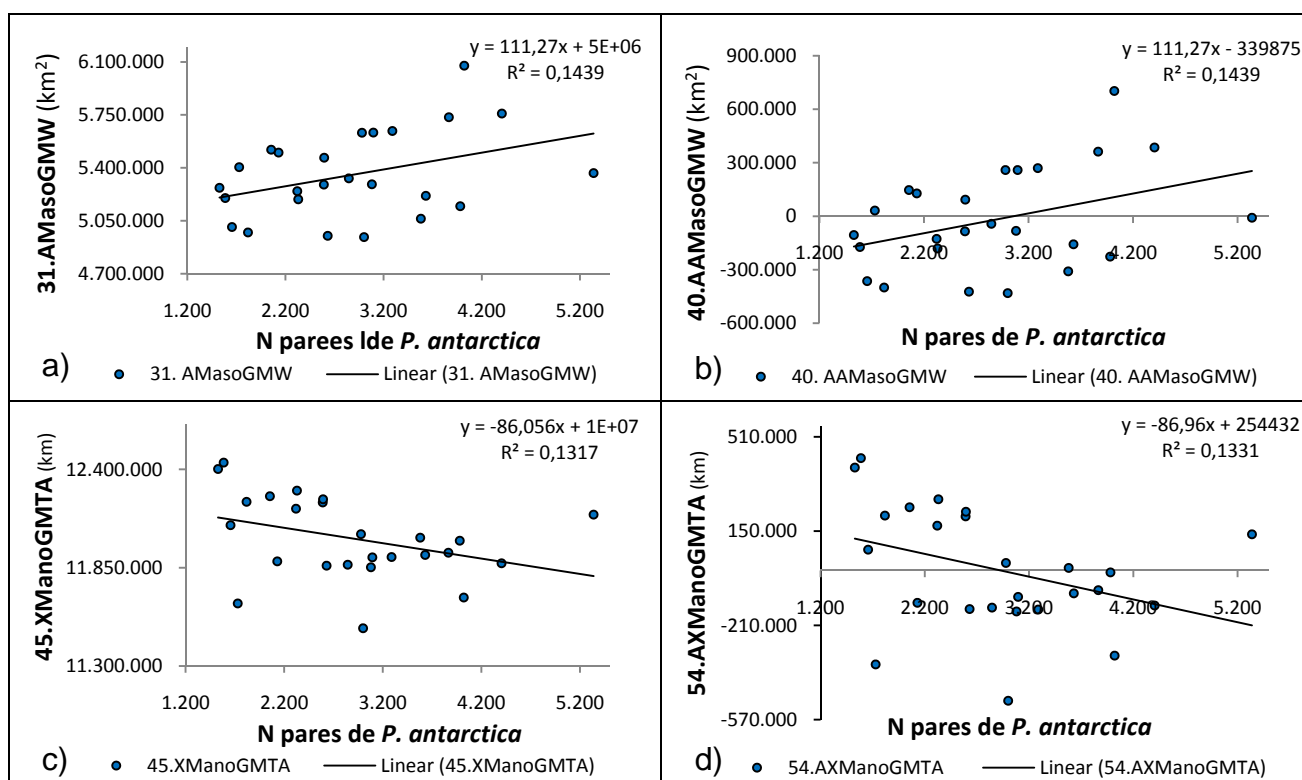


o período. Indiretamente, essas relações refletem a dependência dessa espécie à presença e variação do gelo marinho para o seu ciclo de vida. Pois ao contrário do aumento da presença e extensão do gelo marinho ao redor da Antártica, na PA (sítio da colônia observada), o fenômeno da diminuição do gelo marinho é associado ao aumento das médias da temperatura do ar em superfície, conseqüentemente impactando as massas d'água na região da PA (VAUGHAN e DOAKE, 1996; WELLER, 1998; SMITH *et al.*, 1999; COMISO, 2000; VAUGHAN *et al.*, 2001; VAUGHN *et al.*, 2003), que desta maneira implica na fenologia e demografia das populações de *P. adeliae* na região (CROXALL, 1992; FRASER *et al.*, 1992; LOEB *et al.*, 1997; WILSON *et al.*, 2001; AINLEY, 2002; HINKE *et al.* 2007). A classe de variável ambiental *Temperatura média do ar em superfície na BA* - a única classe observada na mesma área de abrangência que a variável N pares de *P. adeliae* - ofereceu duas VIs com correlação significativa: Temperatura média do ar em superfície para o mês de agosto na baía do Almirantado (TMagosto) e Temperatura média do ar em superfície para agosto, setembro e outubro (TMASO). Contudo, somente TMagosto ( $p = 0,09$ ) foi escolhido para esse conjunto descritivo.

A FIG. 21e apresenta a VI Temperatura média do ar em superfície para o mês de agosto na baía do Almirantado e sua significância com N pares de *P. adeliae*. As retas da RL descrevem tendências similares aos demais pares do conjunto. A composição dessas duas variáveis apresenta um comportamento de fase, muito pronunciado, para um período longo da série, de 1997 até 2001 (*i*). O segundo segmento destaca os últimos quatro anos da série (*ii*), que assim como os demais pares do conjunto, apresentam um afastamento crescente. Dessa maneira, Temperatura média do ar em superfície para o mês de agosto na baía do Almirantado e N pares de *P. adeliae* são inversamente associados, pois os meses de transição sazonal para o ambiente polar marinho são notoriamente agosto setembro e outubro. Possivelmente essa espécie responde à variabilidade inerente do ambiente, onde à temperatura do ar, no final do inverno, influencia na variação do gelo marinho, determinando o momento da “explosão de vida” no verão do Oceano Austral (CROXALL, 1992; FRASER *et al.*, 1992, 1997; WILSON *et al.*, 2001; AINLEY, 2002).

#### 4.4 - Resultados para *Pygoscelis antarctica* e as variáveis ambientais

Para *P. antarctica*, o modelo oferece correlação significativa ( $p < 0,1$ ) para seis VIs, de três classes: Área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (AManoGMTA), Área média ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (AMasoGMW), Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (AAManoGMTA), Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (AAMasoGMW), Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (XManoGMTA) e Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (AXManoGMTA). A FIG. 22 apresenta os gráficos de dispersão de quatro das seis análises de correlação significativas desse conjunto.



**FIGURA 22** – Gráficos de dispersão das análises de correlação significativas entre N pares de *Pygoscelis antarctica* e quatro variáveis independentes: Área média de agosto, setembro e outubro (ASO) de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (31.AMasoGMW), Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (40.AAMasoGMW), Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (45.XManoGMTA) e Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (54.AXManoGMTA).

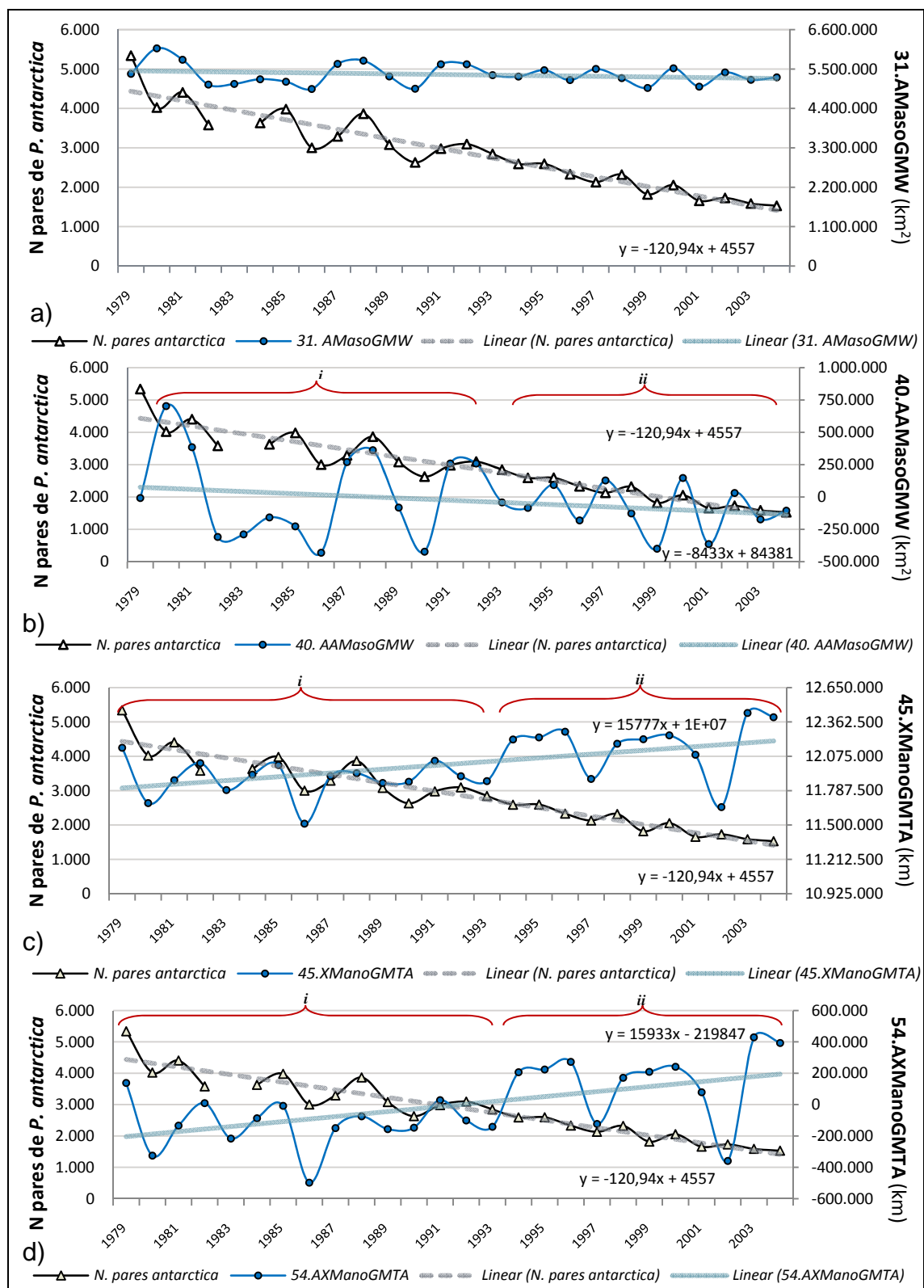
Os gráficos de dispersão da FIG. 22 apresentam quatro variáveis para esse conjunto ( $p$  entre 6 e 7 %): Área média ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell, Anomalia da área média de ASO de gelo marinho

para o setor do mar de Weddell, Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico e Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico.

Duas VIs desse conjunto, Área média ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell e Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (FIG. 22a e 22b), apresentam retas de regressão positivas com N pares de *P. antarctica* (i.e., ambos os pares relacionados descrevem correlações diretas com N pares de *P. antarctica*). As duas outras VIs: Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico e Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Total Antártico (FIG. 22c e 22d) descrevem correlações negativas (i.e, com o avanço dos anos, essas variáveis descrevem relações inversas com N pares de *P. antarctica*).

A FIG. 23 apresenta o conjunto dessas séries históricas, onde três características são marcantes para as correlações. A primeira observação é sobre o comportamento decrescente da VD N pares de *P. antarctica*, combinadas com as retas para Área média ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell e Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (FIG 23a e 23b), onde as retas da RL negativas apresentam gradientes muito baixos. A segunda observação aponta para o comportamento crescente das retas da regressão para Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico e Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico. A terceira característica destaca o comportamento combinado da serie de N pares de *P. antarctica* com essas duas últimas VIs, descrevendo dois períodos distintos para as combinações, também denotando um segmento intermediário curto, que é associado ao ponto de interseção das séries/retas.

Em particular, a FIG. 23a descreve o comportamento da série histórica da VI Área média ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell e sua significância com a VD N pares de *P. antarctica*, na BA. Embora as retas de RL acusem um afastamento entre as duas séries, a variação dos seus valores apresenta um comportamento em paralelo. Também, observa-se que as duas séries deste par têm variabilidades estreitas, e relativamente



**FIGURA 23** – Número de pares de *Pygoscelis antarctica* com quatro variáveis independentes significativas: Área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar e Weddell (31.AMasoGMW), Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell (40.AAMasoGMW), Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (XManoGMTA) e Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico (AXManoGMTA) (45.XManoGMTA) e (54.AXManoGMTA).

similares. Assim, o poder preditivo dessa VI sobre N pares de *P. antarctica* ( $p = 0,06$ ) determina que existe 6% de chances de que a área média de ASO da cobertura de gelo marinho para o setor do mar de Weddell tem relação preditiva sobre a população de *P. antarctica*, na BA.

A FIG. 23b, apresenta a Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell. Este par descreve dois segmentos distintos para o comportamento entre as variáveis. De 1979 a 1993 (i), embora essa VI apresenta uma amplitude relativamente maior nos seus valores, as séries denotam valores em paralelo (i.e., quando N pares de *P. antarctica* cresce, a Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell acompanha o comportamento e vice versa). De 1994 a 2002 (ii), essa VI expressa uma amplitude muito menor ao acompanhar o comportamento de série de N pares. Os últimos três anos desse par sugerem um estreitamento ainda maior entre as variabilidades dos valores do par. Para Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o setor do mar de Weddell, o poder preditivo de  $p = 0,06$  sobre N pares de *P. antarctica* determina que existe entre 6% de chances de que essa VI não têm relação preditiva sobre a população de *P. antarctica*, na BA.

Neste sentido, a variabilidade da presença e área coberta por gelo marinho (e a sua anomalia) no setor do mar de Weddell, nos meses de agosto setembro outubro (os meses de transição entre inverno e verão) sugere a participação dos ventos de barreira gerados sobre setor do mar de Weddell e que influenciam a região da IRG durante o ano todo (KNAP, OERLEMANS e CADÉE, 1996; BRAUN e SCHNEIDER, 2000).

As FIG. 23c e 23d apresentam as séries de N pares de *P. antarctica* com as VIs Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico e Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico, respectivamente. Os dois gráficos demonstram desempenhos similares, tanto para as retas de RL como para o comportamento combinado entre as séries, destacando duas variantes do mesmo comportamento básico entre as séries pareadas. De 1979 até 1993 (i), a combinação dessas séries demonstra um comportamento em paralelo, onde os pares de valores/ano são muito próximos entre si. O segundo segmento, de 1994 a 2004 (ii), apresentam amplitudes maiores e crescentes, que se afastam dos valores de N pares de *P. antarctica*. As duas figuras descrevem duas VIs correlatas: extensão média

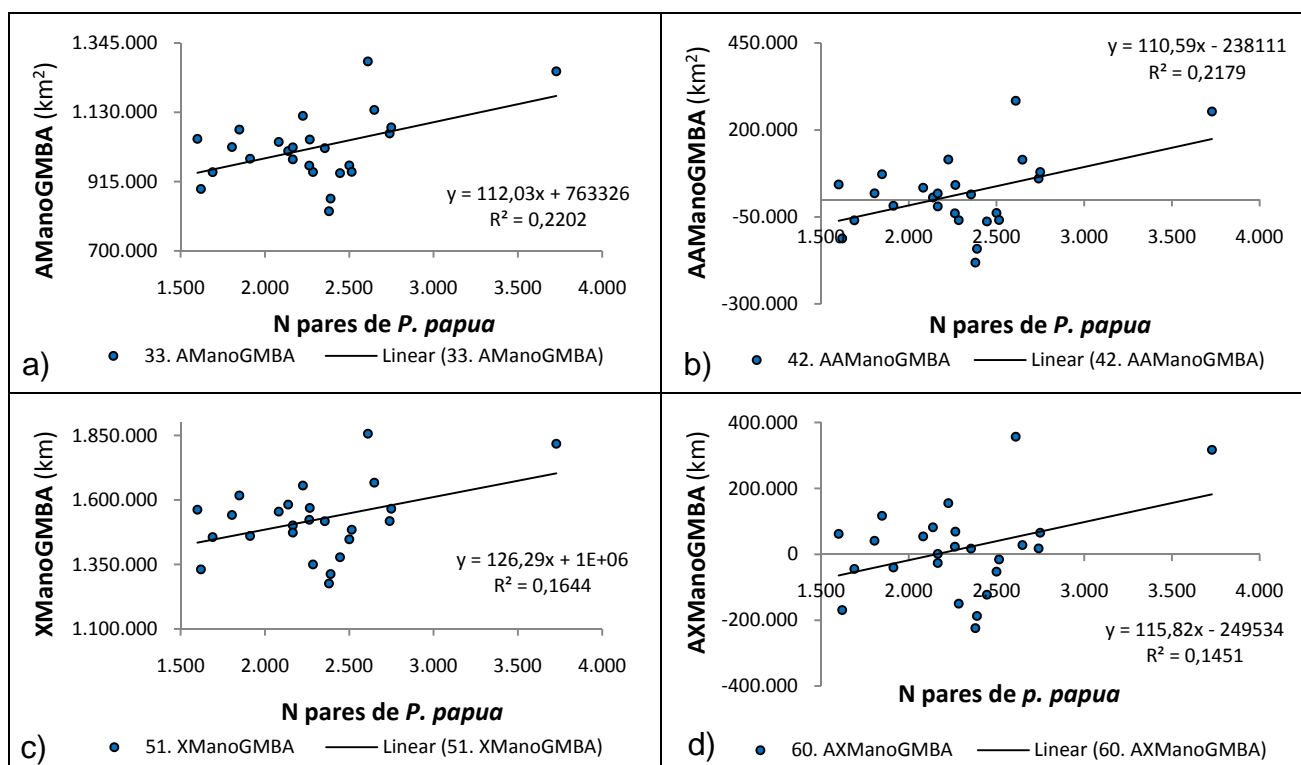
e anomalia da extensão média da cobertura de gelo marinho ao redor da Antártica. O poder preditivo de  $p = 0,07$  para a Extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico e  $p = 0,07$  para Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Total Antártico e sobre N pares de *P. antarctica* determina que existe entre 7,5 e 7,3% de chances de que tanto a extensão média anual da cobertura de gelo marinho para o Total da Antártico como a Anomalia da extensão média anual da cobertura de gelo marinho para o Total da Antártico não têm relação preditiva sobre a população de *P. antarctica*, na BA.

*P. antarctica* é reconhecidamente uma espécie associada às áreas (e águas) livre de gelo, durante o ano todo. De fato, a ocorrência dessa espécie tem sua área de dispersão no setor norte da PA e às ilhas sub-antárticas (ver Capítulo 1, FIG. 4c). Contudo, seu alimento principal (krill) é diretamente dependente do gelo marinho, sugerindo que a ausência, ou mesmo a diminuição, da extensão do gelo marinho, impacta diretamente os seus predadores. Na PA, o fenômeno da diminuição do gelo marinho é associado ao aumento das médias da temperatura do ar em superfície, consequentemente impactando as massas d'água na região da PA (VAUGHAN e DOAKE, 1996; WELLER, 1998; SMITH *et al.*, 1999; COMISO, 2000; VAUGHAN *et al.*, 2001; VAUGHN *et al.*, 2003), que desta maneira implica na fenologia e demografia das populações de *P. antarctica* (CROXALL, 1992; FRASER *et al.*, 1992; LOEB *et al.*, 1997; WILSON *et al.*, 2001; AINLEY, 2002; HINKE *et al.* 2007). Por fim, ressalta-se que, embora *P. antarctica* e *P. adeliae* ocupam nichos de alimentação distintos, estas espécies apresentam relações ecológicas similares, ou mesmo complementares (TRIVELPIECE, TRIVELPIECE e VOLKMAN, 1987; TRIVELPIECE *et al.*, 1990; TRATHAN, CROXALL e MURPHY, 1996), sugerindo, por sua vez, respostas similares às variáveis ambientais e suas variabilidades inerentes.

#### **4.5- Resultados para *Pygoscelis papua* e as variáveis ambientais**

Para *P. papua*, o modelo resultou em doze VIs, de quatro classes de variáveis ambientais ( $p < 0,1$ ), composta pelas VIs: Área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico; Área média anual de gelo marinho para o

Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; Área média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico; Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; Anomalia da área média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; Extensão média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico; Extensão média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; Extensão média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; Anomalia da extensão da área média de ASO de gelo marinho para o Total Antártico; Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen; Anomalia da extensão da área média de ASO de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen.



**FIGURA 24** – Gráficos de dispersão das análises de correlação significativas entre N pares de *Pygoscelis papua* e quatro variáveis independentes: a) Área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen, b) Anomalia da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen, c) Extensão da área média anual de gelo marinho para os mares de Bellingshausen e Amundsen e d) Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen

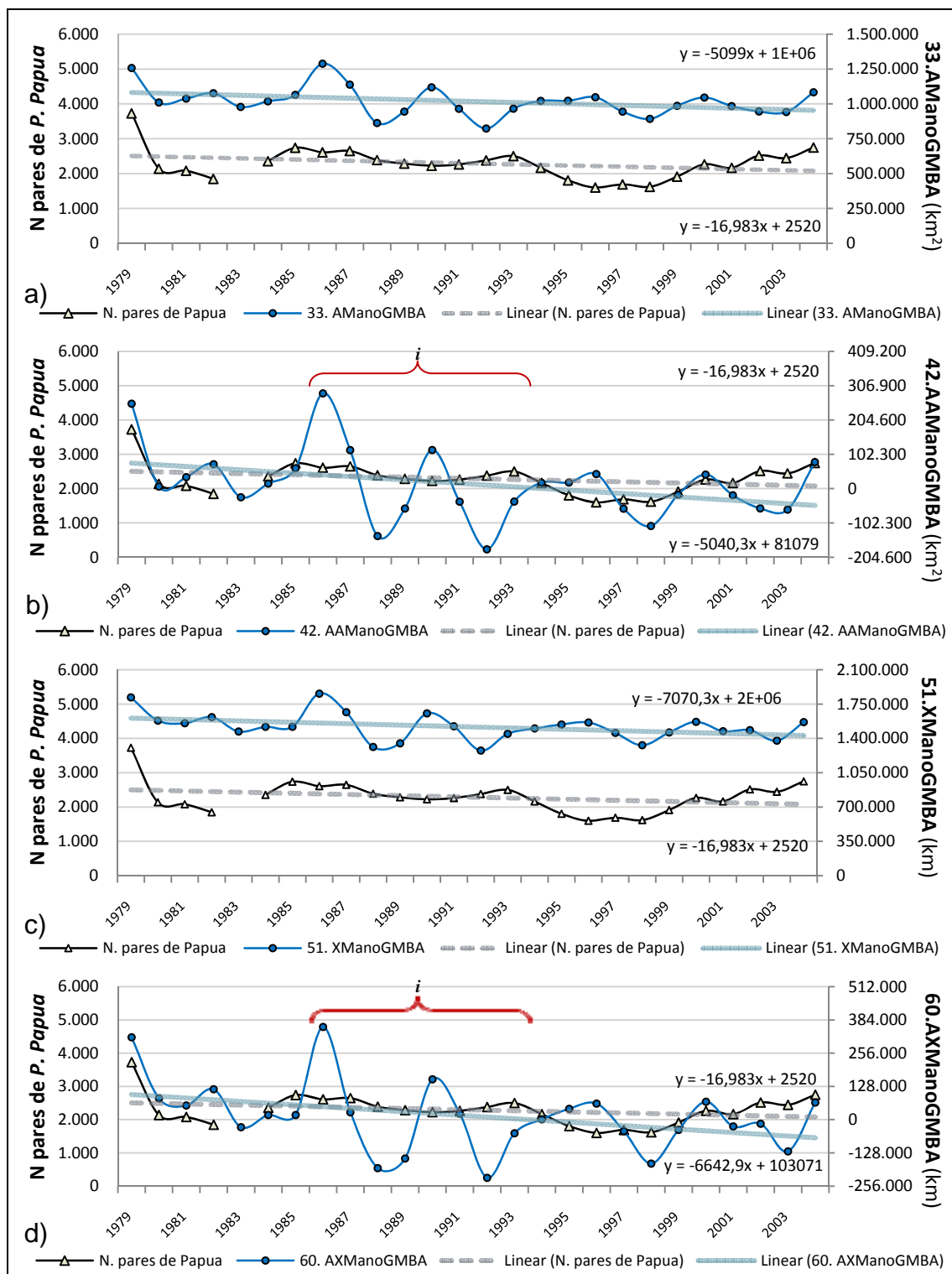
A FIG. 24 oferece o conjunto dos gráficos de dispersão das análises de correlação entre N pares de *P. adeliae*, três VIs de alta significância ( $p < 0,05$ ) três classes de variáveis ambientais distintas, mais uma VI, com 6% significância - representativa da quarta classe, que oferece variáveis significativas para o modelo estatístico. Todas as VIs desse conjunto demonstram retas de regressão positivas, ou seja: as VIs são diretamente proporcionais à evolução de N pares de *P. papua*.

A FIG. 25 apresenta o conjunto dessas séries históricas, onde três características são marcantes para o conjunto pares analisados. A primeira observação é sobre o comportamento das retas de RL da VD N pares de *P. papua* e cada VI, que embora ligeiramente decrescentes, sugerem variabilidades relativamente menores. A segunda observação salienta o comportamento análogo entre N pares de *P. papua* e as VIs Área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (FIG. 25a) e a Extensão média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (25c). Similarmente, a terceira observação denota outro comportamento correlato entre as VIs: Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (FIG. 25b) e a Extensão média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (FIG. 25d).

FIG. 25a apresenta a VI Área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen. Essa variável tem o melhor nível significância de todas as VIs deste estudo ( $p = 0,018$ ). Assim, determinando que existe 1% de chance de que a VI Área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen não é preditor para o N pares de *P. papua*, na BA, para o período. A associação destas duas séries sugere uma regularidade muito grande entre os valores dessa VI e a VD N pares de *P. papua*.

FIG. 25b apresenta a variável Anomalia da área média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen. Com o segundo melhor nível de significância deste estudo ( $p = 0,019$ ), essa VI define que existe 1,9% de probabilidade de que N pares de *P. papua* não pode ser explicado por essa VI. Neste sentido, um segmento intermediário, de maior amplitude, de 1986 a 1993 (*i*), coincide de maneira difusa com a intersecção das retas de RL, sugerindo que os fenômenos são estreitamente associados.





**FIGURA 25** – Número de pares de *Pygoscelis papua* com quatro variáveis independentes significativas: a) Área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen, b) Anomalia da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen, c) Extensão da área média anual de gelo marinho para os mares de Bellingshausen e Amundsen e d) Anomalia da extensão da área média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen

A FIG. 25c apresenta a variável Extensão média anual de gelo marinho para o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen comparada com N pares de *P. papua*. O nível de significância dessa correlação é de 4%. Assim, sugerindo que essa VI tem 4% de chances de não ser preditor para N pares de *P. papua*, na BA.

FIG. 25d apresenta a variável Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o Setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen combinada com N pares de *P. papua*. A um nível de significância de 6%, determinando que essa VI tem 6% de chances de que não explica a variação de N pares de *P. papua*, na BA, para o período. Contudo, a combinação dessas séries é análoga ao comportamento do par descrito pela para a FIG. 25a, onde a baixa inclinação das retas RL sugere um comportamento em paralelo. Também, observa-se a presença do mesmo período intermediário difuso (*i*), associado à intersecção das retas de RL.

Em termos gerais, os fenômenos da diminuição do gelo marinho e o aumento das temperaturas médias do ar em superfície fazem parte do quadro de mudanças ambientais observadas na PA, diretamente envolvendo as massas d'água do setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (COMISO, 2000; VAUGHAN *et al.*, 2001; VAUGHN *et al.*, 2003). Esses fenômenos são diretamente relacionados com N pares de *P. papua* na BA, refletindo a dependência dessa espécie com as áreas marinhas livre de gelo (CROXALL, 1992; FRASER *et al.*, 1992; WILSON *et al.*, 2001; HINKE *et al.* 2007). De maneira mais ampla, a PA serve de divisor para dois setores ecossistêmicos distintos do OA: a costa oeste (incluindo a área marinha e áreas costeiras muito produtivas do setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen) e a costa leste, onde a produtividade biológica é associada à extensão do gelo marinho e da plataforma de gelo do mar de Weddell (HANSOM e GORDON, 1998; PECK, CONVEY e BARNES, 2006). Mesmo descrevendo duas áreas marinhas distintas, ambas são condicionadas pela variabilidade da mistura das camadas superficiais da massa d'água do OA e o regime marcado dos extremos da radiação solar incidente (CLARKE, 1988).

***The Continent has become a symbol of our time. The test of man's willingness to pull back from the destruction of the Antarctic wilderness is the test also of his willingness to avert destruction globally. If he cannot succeed in Antarctica he has little chance of success elsewhere.***

Edwin Mickleburgh (~1988)

## 5. CONCLUSÕES

---

Esta dissertação examinou a influência da temperatura do ar em superfície da baía do Almirantado e do gelo marinho (em diversos extratos de tempo e área geográfica) como controladores da demografia das três espécies simpátricas de pinguins (*Pygoscelis adeliae*, *P. antarctica* e *P. papua*), que nidificaram na costa oeste da baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica, entre 1979 e 2004. Sete classes de variáveis ambientais compuseram as séries históricas de temperatura média do ar em superfície na baía do Almirantado; da qualidade do gelo marinho dessa baía; o Índice Oceânico Niño; da área, anomalia da área, extensão e anomalia da extensão da cobertura média de gelo marinho, estruturando um conjunto de sessenta e duas variáveis independentes.

Quatorze variáveis das classes área média de gelo marinho e anomalia da área média de gelo marinho compõem 53% do total de variáveis significativas. As áreas de abrangência do fenômeno mais representadas nessas variáveis foram o total de gelo antártico (quatorze) e o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen (oito), 53% e 31%, respectivamente. Em particular, esse trimestre detêm oito variáveis significativas ( $p < 0,1$ ). Quanto ao sentido da correlação de Pearson, a distribuição das variáveis determina que *P. adeliae* e *P. papua* dividem 100% das variáveis ( $p < 0,05$ ), três e quatro variáveis, respectivamente. Dezesesseis variáveis (63,5%) apresentam correlações, inversamente proporcionais aos números de pares dos *Pygoscelidae*. O total de variáveis independentes controladoras por espécie foi

doze (46%) para *P. papua*, oito (30%) para *P. adeliae* e seis (23%) para *P. antarctica*.

A partir de análises da regressão linear das variáveis independentes com o número de pares de cada espécie de Pygoscelidae na baía do Almirantado para o período, conclui-se que sete variáveis apresentaram correlações significativas (*i.e.*, menores que 5%,  $p < 0,05$ ). Em particular, as quatro variáveis: área média, anomalia da área média, extensão média e anomalia da extensão média anual de gelo marinho para o total antártico apresentaram resultados significativos, simultaneamente, para *P. adeliae* e *P. antarctica*, definindo um universo de vinte e seis resultados significativos para as vinte e duas variáveis independentes preditoras para o conjunto de *Pygoscelidae*.

As principais conclusões para *P. adeliae* demonstram correlações significativas, inversamente proporcionais com a anomalia da área média anual ( $p = 0,02$ ); Área média anual, Extensão média anual, Anomalia da extensão média de gelo marinho para o Total Antártico ( $p < 0,05$ ). Neste sentido, o conjunto de resultados sugere que o número de pares de *P. adeliae* na baía do Almirantado seja controlado pela área e extensão do gelo marinho, diretamente associado à disponibilidade de alimento (krill antártico), particularmente impactando a demografia e a distribuição dessa espécie na Península Antártica.

O *P. antarctica* mostra correlações diretas com as variáveis área média; Anomalia da área média do gelo marinho no trimestre agosto-setembro-outubro para o setor do mar de Weddell ( $p < 0,06$ ). Esses resultados sugerem que a variabilidade da presença e área coberta por gelo marinho (e a sua anomalia), no setor do mar de Weddell, são influenciadas pela variabilidade dos ventos de barreira, gerados sobre setor do mar de Weddell que, por sua vez, influenciam a região da ilha Rei George durante o ano todo, particularmente nos meses de transição entre inverno e verão.

Para o *P. papua* existem correlações significativas diretas com as variáveis: área média e anomalia da área média anual de gelo marinho ( $p = 0,02$ ), a extensão média anual de gelo marinho ( $p = 0,04$ ) para trimestre agosto-setembro-outubro no setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen.

Esses resultados sugerem que o sucesso demográfico de *P. papua* na baía do Almirantado é diretamente associado à diminuição da área e extensão do gelo marinho no setor ocidental da Península Antártica, refletindo a dependência direta dessa espécie às áreas marinhas e costeiras livre de gelo associados com o setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen.

O conjunto desses resultados corrobora com a literatura já conhecida para a Península Antártica, que caracteriza dois setores ecossistêmicos distintos do Oceano Austral: a costa oeste (incluindo as áreas marinhas e costeiras, produtivas do setor dos mares de Bellingshausen e Amundsen) e a costa leste, onde a produtividade biológica é associada à extensão do gelo marinho e plataforma de gelo do mar de Weddell. Contudo, as duas áreas marinhas são condicionadas pela variabilidade da mistura das camadas superficiais da massa d'água e o regime sazonal marcado dos extremos da radiação solar incidente. Neste sentido, conclui-se que o período de inverno (estritamente associado com a disponibilidade de krill antártico) exerce um controle determinante sobre as histórias demográficas das três espécies de *Pygoscelidae*, na baía do Almirantado. Sugerindo, por sua vez, que os pinguins na região das ilhas Shetland do Sul podem estar sob pressão crescente da limitação na disponibilidade de krill antártico, devido ao quadro de mudanças ambientais observados na região da PA.

## REFERÊNCIAS

---

AAD – AUSTRALIAN ANTARCTIC DIVISION. 2004. **Antarctic CRC and Australian Antarctic Division Climate Data Sets**. Dados meteorológicos para algumas estações antárticas e dados de extensão do gelo marinho no Oceano Austral. Disponível em <[www.antcrc.utas.edu.au](http://www.antcrc.utas.edu.au)>. Acessado em 2004.

AINLEY, D.G. **The Adélie penguin, bellweather of climate change**. New York:Columbia University Press. 2002.

AINLEY, D.G. **Spatial and temporal variation of diet within a presumed metapopulation of Adélie penguins**. The Condor, v. 105, n. 1, p. 95–106. 2003b.

AINLEY, D.G.; BALLARD, G.; ACKLEY, S.; BLIGHT, L.K.; EASTMAN, J.T.; EMSLIE, S.D.; LESCROËL, A.; OLMASTRONI, S.; TOWNSEND, S.E.; TYNAN, C.T.; WILSON, P.; WOEHLER, E.; **Paradigm lost, or is top-down forcing no longer significant in the Antarctic marine ecosystem?** Antarctic Science, v. 19, n. 3, p. 283-290. 2008.

AINLEY, D.; RUSSELL, J.; JENOUVRIER, S.; WOEHLER, E.; LYVERS, P.; FRASER, W.; KOOYMAN, G. **Antarctic penguin response to habitat change as Earth's troposphere nears 2 degrees Celsius above pre-industrial levels**. Ecological Monographs, 2009. *in press*.

AMBIENTE BRASIL. **Glossário**. Página eletrônica apresentando textos, imagens e dados sobre meio ambiente. Disponível em <[www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)>. Acesso em março de 2007.

AQUINO, F.E. **Sedimentação moderna associada a geleira de maré Lange, ilha Rei George, Antártica**. 1999. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

AQUINO, F.E.; SETZER, A.W.; SIMÕES, J.C.; VIANA, D.R.; ROMÃO, M. Climatological links between the Antarctic Peninsula and South America. In: **SCAR - Standing Scientific Group in Physical Sciences and joint AGCS/ACE/EBA Workshop on Atmospheric, Oceanic, Cryospheric and Biological Variability Over Decadal to Millennial Timescales**. Hobart, 2006.

ARAÚJO, S.I.; SILVA, G.H; MUEHE, D. **Minuta do Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade no Sistema Petrobrás**. Rio de Janeiro, 2000.

ARIGONY-NETO, J. **Implantação e uso do sistema de informações geográficas da área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica.** 2001. 98 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J.C.; VOGT, S.; BREMER, U.F.; **Antarctic Specially Managed Area of Admiralty Bay (King George Island, Antarctica): Perspectives to environmental management with GIS.** Terra Nostra - Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung, v. 1, p. 63. 2003.

**ATCMXVII. Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty with Annexes.** (SCAR Bulletin 110). *Polar Record*, v. 29, n.170, p. 256-275. 1993.

**ATCMXX. A proposal prepared by Brazil and Poland, in co-ordination with Ecuador and Peru, that Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands) be designated as an Antarctic Specially Managed Area (ASMA).** Utrecht: Antarctic Treaty Consultative Meeting XX. 1996.

**ATCMXXIV. Systematic environmental-geographic framework for protected areas under Annex V of the Environmental Protocol.** (Working Paper n. 12). Madrid: Antarctic Treaty Consultative Meeting XXIV. 2001.

ATKINSON, A.; SIEGEL, V.; PAKHOMOV, E.; ROTHERY, P. **Long term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean.** *Nature*, v. 432, p.100-103. 2004.

AVIBASE. Página eletrônica apresentando textos, imagens e banco de dados sobre ornitologia. Disponível em <[www.bsc-eoc.org](http://www.bsc-eoc.org)>. Acesso em julho de 2008.

BAKER, A.J.; PEREIRA, S.L.; HADDRATH, O.P.; EDGE, K. **Multiple gene evidence for expansion of extant penguins out of Antarctica due to global cooling.** *Proceedings of the Royal Society B*, v. 273, n. 1582, p. 11–17. 2006.

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais.** 4. Ed. Florianópolis: Editora da UFSC. 338 p. 2001.

BARNES, D.K. A.; CONLAN, Kathleen E. **Disturbance, colonization and development of Antarctic benthic communities.** *Philosophical Transactions B of the Royal Society*, v. 362, n. 1477, p.11–38. 2007.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. **Atmosphere, weather and climate.** (8 ed.) New York: Routledge. 437 p. 2003.

BEYER, L.; BÖELTER, M.; STONEHOUSE, B. Antarctic coastal landscapes: characteristics, ecology and research. In: BEYER, L.; BÖELTER, M. (Ed.). **Geocology of Antarctic ice-free landscapes**. Hidelberg: Springer-Verlang. Ecological Studies, v. 154, p. 6-15. 2002.

BINTANJA, R. **The local surface energy balance of the Ecology Glacier, King George Island, Antarctica: measurements and modeling**. Antarctic Science, v. 7, p. 315-325. 1995.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. Página eletrônica apresentando textos e imagens sobre ornitologia. Disponível em <[www.bsc-eoc.org](http://www.bsc-eoc.org)>. Acesso em maio de 2009.

BIRKENMAJER, K. **Retreat of Ecology Glacier, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica), 1956-2001**. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Earth Sciences, v. 50, n.1, p. 5-19. 2002.

BOERSMA, P. D. **Penguins as Marine Sentinels**. BioScience, v. 58, n. 7 p. 597- 607. 2008.

BOKHORST, S.; HUISKES, A.; CONVEY, P.; AERTS, R. **The effect of environmental change on vascular plant and cryptogam communities from the Falkland Islands and the Maritime Antarctic**. BMC Ecology, v. 7, n. 15, 13 p. 2007.

BONAN, G. **Ecological climatology: concepts and aplications**. Cambridge:Cambridge University Press. 690 p. 2002.

BOYD, I.L. Antarctic Marine Mammals. In: PERRIN, W.F.; WURSIG, B.; THEWISSEN, J.G.M. (Ed.). **Encyclopedia of Marine Mammals**. San Diego: Academic Press. v. 1414, p. 2002.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais. Centro de Pesquisas do Tempo e Climatologia. **Projeto Meteorologia na Estação Antártica Comandante Ferraz**. Página eletrônica apresentando textos, imagens e dados de meteorologia e climatologia. Disponível em <[www.cptec.inpe.br/antartica](http://www.cptec.inpe.br/antartica)>. Acesso em setembro de 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de óleo**. 97p. 2002. Documento eletrônico. Disponível em <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>. Acesso em janeiro de 2007.

BRAUN, M.; SCHNEIDER, C. **Characteristics of summertime energy balance along the west coast of the Antarctic Peninsula**. Annals of Glaciology, v. 31, p. 179-183. 2000.



BRAUN, M.; SAURER, H.; VOGT, S.; SIMÕES, J.C.; GOßMANN, H. **The influence of large-scale atmospheric circulation on surface energy balance on the ice cap of King George Island.** International Journal of Climatology, v. 21, p. 21-36. 2001.

BRAUN, M.; SAURER, H.; GOßMANN, H. **Climate, energy fluxes and ablation rates on the ice cap of King George Island.** Pesquisa Antártica Brasileira, v.4, p.87-103. 2004.

BREMER, U.F. **Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo ilha Rei George, Antártica.** 1998. 133f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998.

BREMER, U.F.; ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J.C.; SETZER, A. **Teledeteção de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000.** Pesquisa Antártica Brasileira, v. 4, p.37-169. 2004.

BROWN, K.M.; FRASER, K.P.P.; BARNES, D.K.A.; PECK, L.S. **Links between the structure of an Antarctic shallow water community and ice-scour frequency.** Oecologia, v. 141, p. 121–129. 2004.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: ArtMed, 255 p. 2003.

CATTLE, H.; CROSSLEY, J. **Modeling Arctic climate change.** Philosophical Transactions A of the Royal Society. v. 352, p. 201- 213. 1995.

CHEN, C.T. A.; DRAKE, E.T. **Carbon dioxide increase in the atmosphere and oceans and possible effects on climate.** Annual Review of the Earth Planetary Sciences, v. 14, p. 201-235. 1986.

CLARIDGE, G. G. C.; CAMPBELL, I. B.; SHEPPARD, D.S. Carbon pools in Antarctica and their significance for global climate change. In. LAL, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Ed.). **Global climate change and cold regions ecosystems.** Boca Raton: Lewis Publishers, p. 59–78. 2000.

CLARKE, A. **Seasonality in the Antarctic marine environment.** Comparative Biochemistry and Physiology. Part B: Biochemistry & Molecular Biology, v. 90, n. 3, p. 461-473.1988.

CLARKE, A.; LEAKEY, R.J.G. **The seasonal cycle of phytoplankton, macronutrients and the microbial community in a near shore Antarctic marine ecosystem.** Limnological Oceanography, v. 41, n. 6, p. 1281-1294. 1996.

CLARKE, A.; HARRIS, C.M. **Polar marine ecosystems: major threats and future change.** Environmental Conservation, v. 30, p.1-25. 2003.

CLARKE, A.; JOHNSTON, N.M.; MURPHY, E.J.; ROGERS, A.D. Introduction. Antarctic ecology from genes to ecosystems: the impact of climate change and the importance of scale. In: ROGERS, A.D.; MURPHY, E.J.; CLARKE, A.; JOHNSTON, N.M. (Ed.). **Antarctic ecology: from genes to ecosystems. Part 1**, v. 362, n. 1477, 163 p. 2007.

COLEMAN, D. C.; ODUM, E. P.; CROSSLEY, D. A. **Soil biology, soil ecology, and global change**. *Biology and Fertility of Soils*, v. 14, n. 2, p. 104-111. 1992.

COMISO, J. C. **Variability and trends in Antarctica surface temperatures from in situ and satellite measurements**. *Journal of Climate*, v. 13, p. 1674-1696. 2000.

CONVEY, P. **The influence of environmental characteristics on life history attributes of Antarctic terrestrial biota**. *Biological Reviews*, v. 71, p. 191-225. 1996.

CONVEY, P. Maritime Antarctic climate change: signals from terrestrial biology. In: DOMACK, E.; LEVENTER, A.; BURNETT, A.; BINDSCHADLER, R.; CONVEY, P.; KIRBY, M. (Ed.). **Antarctic Peninsula climate variability: historical and paleoenvironmental perspectives**. Washington D.C.: American Geophysical Union, Antarctic Research Series, v. 79. p. 145-158. 2003.

CONVEY, P. **Antarctic Terrestrial Ecosystems: Responses to Environmental Change**. *Polarforschung*, v. 75, n. 2-3, p.101 – 111. 2006.

CROXALL, J.P.; KIRKWOOD, E.D. **The distribution of penguins on the Antarctic Peninsula and islands of the Scotia Sea**. Cambridge:British Antarctic Survey, 186 p. 1979.

CROXALL, J.P. **Southern ocean environmental changes: effects on sea birds, seal and whale population**. Royal Society of London, Philosophical Transactions, Series B, v. 338, p. 319-328. 1992.

CROXALL, J.P.; TRATHAN, P.N.; MURPHY, E.J. **Environmental change and Antarctic seabird populations**. *Science*, v. 297, p. 1510-1514. 2002.

DENTON, G.H.; PRENTICE, M.L.; BURCKLE, L.H. Cenozoic history of the Antarctic ice sheet. In. TINGEY, R. J. (Ed.). **Geology of Antarctica**. Oxford: Oxford University Press, p. 365-433. 1991.

DEWES, C.F. **Variabilidade do gelo marinho na baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica**. 2004. 85 f. Monografia (trabalho de graduação do curso de Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Inédito. 2004.

DOMACK, E.W.; ISHMAN, S.E., **Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within antarctic fjords**. Geological Society of America Bulletin, v. 105, n. 9, p. 1175-1189. 1993.

DORAN, P.T.; PRISCU, J.C.; LYONS, W.B.; WALSH, J.E.; FOUNTAIN, A.G.; MCKNIGHT, D.M.; MOORHEAD, D.L.; VIRGINIA, R.A.; WALL, D.H.; CLOW, G.D.; FRITSEN C.H.; MCKAY, C.P.; PARSONS, A.N. **Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response**. Nature, v. 415, p.517-520. 2002.

DREWRY, D. J.; JORDAN, S.R.; JANKOWSKI, E. **Measured properties of the Antarctic ice sheet: surface configuration, ice thickness, volume and bedrock characteristics**. Annals of Glaciology, v. 3, p. 83-91. 1982.

ELLIOTT, W.; SIMMONDS, M. **Whales in hot water? The impact of a changing climate on whales, dolphins and porpoises: a call for action**. World Wildlife Fund International/ Whale and Dolphin Conservation Society. Disponível em <[www.wdcs.org](http://www.wdcs.org)>. Acesso em maio de 2007.

ELLIS, S.; CROXALL, J.P.; COOPER, J. (Ed.). **Penguin Conservation and Assessment Plan**. Apple Valley: International Union for the Conservation of Nature/ Species Survival Commission/ Conservation/Breeding Specialist Group. 1998.

EVERSON, I. Role of krill in marine food webs, the Southern Ocean – krill: biology, ecology and fisheries. In: Everson, I (Ed.). **Fisheries and aquatic resources**, Oxford: Blackwell Science. Series 6, p. 194-201. 2000.

FABISZEWSKI, J.; WOJTUŃ, B. Peat forming vegetation. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay**. Warsaw: Polish Academy of Science. p.189-195. 1993.

FERRON, F.A.; SIMÕES, J.C.; AQUINO, F.E.; SETZER, A.W. **Air temperature time series for King George Island, Antarctica**. Pesquisa Antártica Brasileira, v. 4, p.155-169. 2004.

FORCADA, J. **Contrasting population changes in sympatric penguin species in association with climate warming**. Global Change Biology, v. 12, n. 3. 2006.

FOWBERT, J.A.; SMITH, R.I.L. **Rapid population increase in native vascular plants in the Argentine Islands, Antarctic Peninsula**. Arctic and Alpine Research, v. 26, p. 290-296. 1994.

FRANCELINO, M.R.; PEREIRA, A.B.; SÁ, M.M.F.; SPIELMANN, A.A.; BREMER, U.F.; TONIN, A.; SCHAEFER, C.E. Influência da radiação solar na distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 2637-2642. 2007.

FRASER, W.R.; TRIVELPIECE, W.Z.; AINLEY, D.G.; TRIVPIECE, S. **Increases in Antarctic penguin populations: reduced competition with whales or a loss of sea ice due to environmental warming?** *Polar Biology*, v. 11, p. 525-531. 1992.

GARCIA, M. A.; CASTRO, C. G.; RIOS, A. F.; DOVAL, M. D.; ROSON, G.; GOMIS, D.; LOPEZ, O. **Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96.** *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 49, n. 4-5, p. 585-602. 2002.

GASTON, A.J. **Variation in ice conditions has strong effects on the breeding of marine birds at Prince Leopold Island, Nunavut.** *Ecography*, v. 28, n.3. 2005.

GILLE, S. T. **Warming of the Southern Ocean since the 1950s.** *Science*, v. 295, p.1275-1277. 2002.

GILLET, N. P.; THOMPSON, D. W. J. **Simulation of recent Southern Hemisphere climate change.** *Science*, v. 302 n. 5643. p. 273-275. 2003.

GISS. Página eletrônica produzida pelo Goddard Institute for Space Studies – GISS e mantido pela National Aeronautics and Space Administration. Apresenta textos, imagens, banco de dados e servidor de mapas para análise espacial de variáveis ambientais da Terra. Disponível em <[www.giss.nasa.gov](http://www.giss.nasa.gov)>. Acesso em março de 2008.

GORDON, A. L.; NOWLIN, W.D. **The Basin Waters of the Bransfield Strait.** *Journal of Physical Oceanography*, v. 8, p. 258–264. 1978.

GRANT, S.; CONSTABLE, A.;RAYMOND, B; DOUST, S. **Bioregionalisation of the Southern Ocean: Report of Experts Workshop.** Hobart; World Wildlife Fund-Australia/ Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre, 2006.

HALLETT, T.B.; COULSON, T.; PILKINGTON, J.G.; CLUTTON-BROCK, T.H.; PEMBERTON, J.M.; GRENFELL, B.T. **Why large scale climate indices seem to predict ecological processes better than local weather.** *Nature*, v. 430, p. 71-75. 2004.

HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R.; KHARECHA, P.; LACIS, A.; MILLER, R.; NAZARENKO, L.; LO, K.; SCHMIDT, G. A.; RUSSELL, G.; ALEINOV, I.; BAUER, S.; BAUM, E.; CAIRNS, B.; CANUTO, V.; CHANDLER, M.; CHENG, Y.; COHEN, A.; DEL GENIO, A.; FALUVEGI, G.; FLEMING, E.; FRIEND, A.; HALL, T.; JACKMAN, C.; JONAS, J.; KELLEY, M.; KIANG, N. Y.; KOCH, D.; LABOW, G.; LERNER, J.; MENON, S.; NOVAKOV, T.; OINAS, V.; PERLWITZ, Ja.; PERLWITZ, Ju.; RIND, D.; ROMANOU, A.; SCHMUNK, R.; SHINDELL, D.; STONE, P.; SUN, S.; STREETS, D.; TAUSNEV, N.; THRESHER, D.; UNGER, N.; YAO, M.; ZHANG, S. **Dangerous human-made interference with climate: a GISS model E study.** Atmospheric Chemistry and Physics, v.7, p. 2287–2312. 2007.

HANSOM, J.; GORDON, J.E. **Antarctic Environments and resources: a geographical perspective.** New York:Longman, 416 p.1998.

HARRIS, C.M. **Environmental effects of human activities on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica.** Polar Records, v. 27, p.193-204. 1991.

HARRIS, C.M. (Ed.). **Wildlife awareness manual: Antarctic Peninsula, South Shetland Islands, South Orkney Islands.** Cambridge: Environmental Research & Assessment. Wildlife Information Publication No. 1, 136 p. 2006.

HARVEY, L.D.D. **Global Warming: the hard science.** Prentice Hall. 336 p. 2000.

HASSELMANN, K. **Climate change enhanced: Are we seeing Global Warming?** Science, v. 276, p. 914-915. 1997.

HEGERL, G.C.; CROWLEY, T.J.; HYDE, W.T.; FRAME, D.J. **Climate sensitivity constrained by temperature reconstructions over the past seven centuries.** Nature, v. 440, p. 1029-1032. 2006.

HINKE, J.T.; SALWICKA, K.; TRIVELPIECE, S.G.; WATTERS, G.M.; TRIVELPIECE, W.Z. **Divergent responses of *Pygoscelis* penguins reveal a common environmental driver.** Oecologia, v. 153, n. 4, p. 845-855. 2007.

HUNT, B.M.; HOEFLING, K.; CHENG, C.C. **Annual warming episodes in seawater temperatures in McMurdo Sound in relationship to endogenous ice in notothenioid fish.** Antarctic Science, v.15, p. 333-338. 2003.

IAATO. **Tourism Statistics: 2006-2007 Number of Tourists per Site per Vessel - Peninsula Sites.** International Association of Antarctic Tour Operators. Disponível em <[www.iaato.org](http://www.iaato.org)>. Acesso em setembro de 2007.

INPE. Página eletrônica desenvolvido pelo Projeto de Meteorologia Antártica, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC. Apresenta textos, imagens, banco de dados e servidor de imagens de satélite sobre meteorologia e climatologia na Antártica. Disponível em: <[www.cptec.inpe.br/prod\\_antartica](http://www.cptec.inpe.br/prod_antartica)>. Acesso em outubro de 2008.

IPCC. **Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers.** Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001.

IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers.** Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007a.

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policy makers.** Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007b.

JABLONSKI, B. **Distribution and numbers of penguins in the region of King George Island, South Shetland Islands, in the breeding season 1980/1981.** Polish Polar Research, v. 5, n. 1-2, p. 17-30. 1984.

JACKA, T. H.; BUDD, W. F. **Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean 1949-96.** Annals of Glaciology, v. 27, p. 553-559. 1998.

JACOBS, S.S.; COMISO, J.C. **A recent sea ice retreat west of the Antarctic Peninsula.** Geophysical Research Letters, v.20, n.12, p.1171-1174. 1993.

JACOBS, S.S.; COMISO, J.C. **Climate variability in the Amundsen and Bellingshausen Seas.** Journal of Climate, v.10, p.697-709. 1997.

JONES, P.D.; LIMBERT, D.W.S. **A data bank of Antarctic surface temperature and pressure data.** Washington: United States Department of Energy. 52 p. 1987.

JUSTINO, F.; HASTENREITER, F.; GRIMM, A.; SCHAEFER, C. **Impacto da concentração do dióxido de carbono atmosférico no gelo marinho antártico.** Oecologia Brasiliensis, v. 11, n.1, p. 69-77. 2007.

KEJNA, M. **Air temperature on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica.** Polish Polar Research, v. 20, n. 3, p.183-201. 1999.

KEJNA, M. **Trends of air temperature of the Antarctic during the period 1958–2000.** Polish Polar Research, v. 24, n. 2, p. 99–126. 2003.

KING, J.C. **Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula.** International Journal of Climatology, v.14, p.357-369. 1994.

KING, J.C.; HARANGOZO, S.A. **Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes.** Annals of Glaciology, v. 27, p. 571-575. 1998.

KING, J.C.; TURNER, J. **Antarctic meteorology and climatology.** Cambridge: Cambridge University Press, 409 p. 1997.

KNAP, W.H.; OERLEMANS, J.; CADÉE, M. **Climate sensitivity of the ice cap of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica.** *Annals of Glaciology*, v. 23, p. 154-159. 1996.

KRUSZEWSKI, G. **Ice cover in the Admiralty Bay – its course and conditions.** Gdynia: Akademia Morska. 123 p. 2002.

LEVITUS, S.; ANTONOV, J.; BOYER, T. **Warming of the world ocean, 1955–2003.** *Geophysical Research Letters*, v.32, L02604. 2005.

LINACRE, E.; GEERTS, B. **Climates & Weather Explained.** New York: Routledge. 432 p. 1997

LOEB, V. SIEGEL, V.; HOLM-HANSEN, O.; HEWITT, R.; FRASER, W.; TRIVELPIECE, W.; TRIVELPIECE, S. **Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web.** *Nature*, v. 387, p. 897-900. 1997.

LYNNES, A.S.; REID, K.; CROXALL, J.P. **Diet and reproductive success of Adélie and chinstrap penguins: linking response of predators to prey population dynamics.** *Polar Biology*, v. 27, n. 544–554. 2004.

MACDONALD, G. **Biogeography.** New York: John Wiley, 518 p. 2003.

MARCHERET, Y.Y.; MOSKALEVSKY, M.Y.; SIMÕES J.C.; LADOUCH, L.L. **Structure and regime of King George island ice sheet, South Shetland Islands, Antarctica, as a typical glacier in the south subpolar region.** *Salzburger Geographische Materialien*, v. 28, p. 73-80. 1998.

MARTIANOV, V.; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Ten years of climate observations at the Arctowski and Bellingshausen Stations (King George Island), South Shetlands, Antarctica. In: BREYMEYER, A. (Ed.). **Global Change, Regional Research Series, Seminar papers and International Geosphere-Biosphere Programme Working Group 2 Report**, p.80–87. 1990.

MARTIN, P.J.; PEEL, D.A. **Spatial distribution of 10 m temperatures in the Antarctic Peninsula.** *Journal of Glaciology*, v. 20, p. 311-317. 1978.

MARTINEZ-MACCHIAVELLO, J.C.; TATUR, A.; SERVANT-VILDARY, S.; DEL VALLE, R. **Holocene environmental change in a marine-estuarine-lacustrine sediment sequence, King George Island, South Shetland Islands.** *Antarctic Science*, v. 8. p. 313-322. 1996.

MAYEWSKI, P.A.; GOODWIN, I.D. Report from the ITASE Workshop. In: **Scientific implementation plan, International Trans-Antarctic Scientific Expedition.** Workshop Report, Series 97-1. Cambridge: Cambridge Press. 48 p. 1996.

MOCZYDŁOWSKI, E. **Microclimate of the nest-sites of pygoscelid penguins (Admiralty Bay, South Shetland Islands)**. Polish Polar Research, v. 7, n. 4, p.377-394. 1986.

MYRCHA, A. Birds. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay**. Warsaw:Polish Academy of Science. p.129-141. 1993.

NAVEEN, R.; FORREST, S.C.; DAGIT, R.G.; BLIGHT, L.K.; TRIVELPIECE, W.Z.; TRIVELPIECE, S. **Census of penguin, blue-eyed shag, and southern giant petrel populations in the Antarctic Peninsula region, 1994-2000**. Polar Record, v. 36, n. 199, p. 323-334. 2000.

NICOL, S.; WORBY, A.; LEAPER, R. **Changes in the Antarctic sea ice ecosystem: potential effects on krill and baleen whales**. *Marine and Freshwater Research*, v. 59, p. 361–382. 2008.

NOAA. Climate Prediction Center. **Cold and warm episodes by season**. Disponível em <[www.cpc.ncep.noaa.gov](http://www.cpc.ncep.noaa.gov)>. Acesso em março de 2006.

NRC. **Reconciling observations of global temperature change**. Washington D.C.: National Research Council National Academy Press. 104 p. 2000.

NSIDC – National Snow and Ice Data Center. Antarctic monthly mean sea ice extent. Mapas com climatologia da extensão média do gelo marinho antártico, para o período 1978-2002. Disponível em: <<http://nsidc.org>>. Acessado em agosto de 2008.

NWS. Glossary. In: **National Weather Service**. Portal eletrônico contendo textos, imagens e dados de meteorologia e climatologia, produzido pelo National Ocean and Atmosphere Administration – NOAA. Estados Unidos. Disponível em <<http://www.nws.noaa.gov/glossary>>. Acesso em novembro 2007.

ODUM, E.; BARRETT, G.W. **Fundamentals of Ecology**. Boston:Brooks Cole. 5th ed. 624 p. 2004.

ORHEIM, O.; GOVORUKHA, L.S. **Present-day glaciation in the South Shetland Islands**. Annals of Glaciology, v.3 p.233–238. 1982.

ORR, J.C.; FABRY, V.J.; AUMONT, O.; BOPP, L.; DONEY, S.C.; FEELY, R.A.; GNANADESIKAN, A.; GRUBER, N.; ISHIDA, A.; JOOS, F.; KEY, R.M.; LINDSAY, K.; MAIER-REIMER, E.; MATEAR, R.; MONFRAY, P.; MOUCHET, A.; NAJJAR, R.G.; PLATTNER, G.; RODGERS, K.B.; SABINE, C.L.; SARMIENTO, J.L.; SCHLITZER, R.; SLATER, R.D.; TOTTERDELL, I.J.; WEIRIG, M.; YAMANAKA, Y.; YOOL, A. **Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms**. Nature, v. 437, p. 681-686. 2005.



ORSI, A.H., WHITWORTH III, T.T., NOWLIN, W.D. **On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Research, Part I***, v. 42, p. 641-673. 1995.

PARFENOVICH, S.S. **Some peculiarities of distribution of Antarctic Krill aggregations.** *Oceanology*, v. 22, p. 480-485. 1982.

PARKINSON, C.L. **Trends in the length of the Southern Ocean sea-ice season, 1979-99.** *Annals of Glaciology*, v. 34, n.1, p.435-440. 2002.

PARNOW, I.; BURGOBRAGA, R.; AQUINO, F.E.; AHLERT, S.; BREMER, U.F. **Antártica e o Oceano Austral. In: ANTARCTIC AND SOUTHERN OCEAN COALITION. O krill conta: conservando a integridade do ecossistema antártico.** Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra/ASOC. p. 8. 2007.

PATERSON, W.S.B. **The physics of glaciers.** (3rd ed.) Oxford: Pergamon Press. 480 p. 1994.

PECK, L.S. **Prospects for survival in the southern ocean: vulnerability of benthic species to temperature change.** *Antarctic Science*, v. 17, n.4, p. 497-507. 2005.

PECK, L.S.; CONVEY, P.; BARNES, D.K. A. **Environmental constraints on life histories in Antarctic ecosystems: tempos, timings and predictability.** *Biology Review*, v. 81, p. 75-109. 2006.

PICHLMAIER, M.; AQUINO, F.E.; SILVA, C.S.; BRAUN, M. **Suspended sediments in Admiralty Bay, King George Island (Antarctica).** *Pesquisa Antártica Brasileira*, v. 4, p.77- 85. 2004.

QUAYLE, W.C.; CONVEY, P.; PECK, L.S.; ELLIS-EVANS, J.C.; BUTLER, H.G.; PEAT, H.J. **Ecological responses of maritime Antarctic lakes to regional climate change** In: DOMACK, E.; LEVENTER, A.; BURNETT, A.; BINDSCHADLER, R.; CONVEY, P.; KIRBY, M. (Ed.). **Antarctic Peninsula climate variability: historical and paleoenvironmental perspectives.** Washington D.C.: American Geophysical Union, Antarctic Research Series, v. 79. p. 159-170. 2003.

QUAYLE, W.C.; CONVEY, P.; PECK, L.S.; ELLIS-EVANS, J. C.; BUTLER, H. G.; PEAT, H.J. **Ecological responses of maritime Antarctic lakes to regional climate change.** *Antarctic Research Series*, v.79, p.159-170. 2003.

QUAYLE, W.C.; PECK, L.S.; PEAT, H.J.; ELLIS-EVANS, J.C.; HARRIGAN, P.R. **Extreme responses to climate change in Antarctic lakes.** *Science*, v. 295 n. 645. 2002.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. **Introduction: the structure and functioning of the nearshore ecosystem.** In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay.** Warsaw: Polish Academy of Science, p.7-14. 1993a.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Matter transport and budgets in Admiralty Bay. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay**. Warsaw: Polish Academy of Science, p. 199-212. 1993b.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S.; MIETUS, M.; PIASECKI, J. Weather and climate. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The maritime antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay**. Warszawa: Polish Academy of Sciences, p.19-25. 1993.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. King George Island – South Shetland Islands, Maritime Antarctic. In: BEYER, L.; BÖELTER, M. (Ed.). **Geocology of Antarctic ice-free landscapes**. Heidelberg: Springer-Verlag. Ecological Studies, v. 154, p. 23 -39. 2002.

REID, K.; CROXALL, J.P. **Environmental response of upper trophic-level predators reveals a system change in an Antarctic marine ecosystem**. Proceedings of the Royal Society of London, v. 268, p. 377-384. 2001.

REYNOLDS, J.M., **The distribution of mean annual temperatures in the Antarctic Peninsula**. British Antarctic Survey Bulletin, v. 54, p.23-133. 1981.

ROBERTSON, R.; VISBEK, M.; GORDON, A.; FAHRBACH, E. **Long term temperature trends in the deep waters of the Weddell**. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 49, p. 4791–4802. 2003.

SANTER, B. D.; MEARS, C.; WENTZ, F. J.; TAYLOR, K. E.; GLECKLER, P. J.; WIGLEY, T. M. L.; BARNETT, T. P.; BOYLE, J. S.; BRÜGGEMANN, W.; GILLETT, N. P.; KLEIN, S. A.; MEEHL, G. A.; NOZAWA, T.; PIERCE, D. W.; STOTT, P. A.; WASHINGTON, W. M.; WEHNER, M. F. **Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 104, n. 39, p.15248 –15253. 2007.

SCHWERDTFEGER, W. **The effect of the Antarctic Peninsula on the temperature regime of the Weddell Sea**. Monthly Weather Review, v.103, n.1, p.45-51. 1975.

SCHWERDTFEGER, W. **Annual temperature and ice condition changes in the Antarctic Peninsula area**. Antarctic Journal of the United States, v. 11, n. 5, p. 152. 1976.

SCHWERDTFEGER, W. **Weather and Climate of the Antarctic**. Developments in Atmospheric Sciences, v.15, p. 261. 1984.

SCHWERDTFEGER, W.; AMATURO, L.R. **Wind and weather around the Antarctic Peninsula**. Department of Meteorology. Madison: University of Wisconsin, 65 p. 1979.

SETZER, A.W.; HUNGRIA, C.S. **Meteorologia na Península Antártica: alguns aspectos práticos**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 101 p. 1994.

SHUFORD, D.W.; SPEAR, L.B. **Surveys of breeding penguins and other seabirds in the South Shetland Islands, Antarctica, January-February 1987**. National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/NEC-59. 34 p. 1988.

SHURIN, J. B.; BORER, E. T.; SEABLOOM, E. W.; ANDERSON, K.; BLANCHETTE, C. A.; BROITMAN, B.; COOPER, S. D.; HALPERN, B. S. **A cross-ecosystem comparison of the strength of trophic cascades**. *Ecological Letters*, v. 5, p. 785-791. 2002.

SIMMONDS, M.; ISAAC, S.J. **The impacts of climate change on marine mammals: early signs of significant problems**. *Oryx*, v. 41, n.1, p.19-26. 2007.

SIMÕES, J.C.; BREMER, U.F. **Investigations of King George Island ice cap using ERS-1 SAR and SPOT imagery**. *Revista SELPER*, Santiago, v. 11, n. 1, p. 56-60. 1995.

SIMÕES, J.C.; BREMER, U.F.; AQUINO, F.E.; FERRON, F.A.. **Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice field, Antarctica**. *Annals of Glaciology*, v. 29, p. 220-224. 1999.

SIMÕES, J.C. **Glossário da língua portuguesa da neve, do gelo e termos correlatos**. *Pesquisa Antártica Brasileira*, v. 4, p.119-154. 2004.

SKÓRA, K. Fish. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay**. Warsaw: Polish Academy of Sciences, p.123-128. 1993.

SMETACEK, V.; NICOL, S. **Polar ocean ecosystems in a changing world**. *Nature*, v. 437, p. 362-368. 2005.

SMITH, R.C.; STAMMERJOHN, S.E. **Variations of surface air temperature and sea ice extent in the western Antarctic Peninsula region**. *Annals of Glaciology*, v. 33, p.493-500. 2001.

SMITH, R.C.; STAMMERJOHN, S.E.; BAKER, K.S. **Surface air temperature variations in the western Antarctic Peninsula region**. *Antarctic Research Series*, v. 70, p.105-121. 1996.

SMITH, R.C.; AINELY, D.; BAKER, K.S.; DOMACK, E.; EMSLIE, S.; FRASER, W.R.; KENNETT, J.; LEVENTER, A.; MOSLEY-THOMPSON, E.; STAMMERJOHN, S.; VERNET, M. **Marine ecosystem sensitivity to climate change**. *BioScience*, v. 49, n.5, p.393-404. 1999.

SMITH, Raymond C; FRASER, William R.; STAMMERJOHN, Sharon E.; VERNET, Maria. Palmer long-term ecological research on the Antarctic marine ecosystem. In: DOMACK, Eugene; LEVENTER, Amy; BURNETT, Adam; BINDSCHADLER, Robert; CONVEY, Peter; KIRBY, Mathew (Ed.). **Antarctic Peninsula climate variability: historical and paleoenvironmental perspectives**. Washington D.C.: American Geophysical Union, Antarctic Research Series, v. 79. p. 131-144. 2003.

SPIRIDONOV, V. Small scale management units for Antarctic krill fishery: importance of inter-annual variability. In: **Lenfest Workshop: Identifying and resolving key uncertainties in management models for krill fisheries**. Santa Cruz: University of California at Santa Cruz. 2007.

SQUIRE, V.A. **Sea ice**. Science Progress, v. 69, p.19-43. 1984.

STYSZYNSKA, A. **The origin of coreless winters in the South Shetlands area (Antarctica)**. Polish Polar Research, v. 25, p. 45-66. 2004.

STUART CHAPIN III, F.; ZAVALETA, E.S.; EVINER, V.T.; NAYLOR, R.L.; VITOUSEK, P.M.; REYNOLDS, H.L.; HOOPER, D.U.; LAVOREL, S.; SALA, O.E.; HOBBIE, S.E.; MACK, M.C.; DÍAZ, S. **Consequences of changing biodiversity**. Nature, v. 405, p.234-242. 2000.

SYMSTAD, A.J.; CHAPIN III, F.; WALL, S.; DIANA H.; GROSS, K.L.; HUENNEKE, L.F.; MITTELBACH, G.G.; PETERS, D.P.C.; TILMAN, D. **Long-term and large-scale perspectives on the relationship between biodiversity and ecosystem functioning**. BioScience, v. 53, n.1, p. 89–98. 2003.

SYVITSKI, J.P.M.; BURRELL, D.C.; SKEI, J.M. **Fjords: processes and products**. New York: Springer-Verlag, 379 p. 1987.

SZAFRANSKI, Z.; LIPSKI, M. **Characteristics of water temperature and salinity at Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic) during austral summer 1978/1979**. Polish Polar Research, v. 3, n. 1-2, p. 7-24. 1982.

TANTON, J.L.; REID, K.; CROXALL, J.P.; TRATHAN, P.N. **Winter distribution and behaviour of gentoo penguins *Pygoscelis papua* at South Georgia**. Polar Biology, v. 27, p. 299–303. 2004.

TATUR, A. **Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic**. Polar Biology, v. 17, p. 405-417. 1997.

TATUR, A. Ornithogenic ecosystems in maritime antarctic – formation, development and disintegration. In: BEYER, L.; BÖELTER, M. (Ed.). **Geoecology of Antarctic ice-free landscapes**. Heidelberg: Springer-Verlang. Ecological Studies, v. 154, p. 161-184. 2002.

TETT, S.F.B.; STOTT, P.A.; ALLEN, M.R.; INGRAM, W.J.; MITCHELL, J.F.B. **Causes of twentieth-century temperature change near the Earth's surface.** *Nature*, v. 399, p. 569-572. 1999.

THE OPEN UNIVERSITY. Oceanography Course Team. Oxford:Pergamon. 5 v. (1989/1991).

TRATHAN, P.N.; CROXALL, J.P.; MURPHY, E.J. **Dynamics of Antarctic penguin populations in relation to inter-annual variability in sea ice distributions.** *Polar Biology*, v. 16, n. 321–330. 1996.

TRIVELPIECE, W.Z.; TRIVELPIECE, S.G.; VOLKMAN, N.J. **Ecoloical segregation of Adelie, Gentoo, and Chinstrap penguins at King George Island, Antarctica.** *Ecology*, v. 68, n. 2, p. 351-361. 1987.

TRIVELPIECE, W.Z.; TRIVELPIECE, S.G.; GEUPEL, G.R.; KJELMYR, J.; VOLKMAN, N.J. Adelie and chinstrap penguins: their potential as monitors of the Southern Ocean marine ecosystem. In: KERRY, K.R.; HEMPEL, G. (Eds.). **Antarctic Ecosystems.** Berlin: Springer-Verlag, p. 191-202. 1990.

TURNER, J.; AQUINO, F.E.; CONNOLLEY, W.M.; LACHLAN-COPE, T.A. Links Between ENSO and the climates of Antarctica and Southern South America. In: XIII Simpósio Brasileiro Sobre Pesquisa Antártica, 2005, São Paulo. **XIII Simpósio Brasileiro sobre Pesquisa Antártica - Programa e Resumos.** São Paulo: Universidade de São Paulo. p. 95-95. 2005.

TURNER, J.; LACHLAN-COPE, T.A.; COLWELL, S.R.; MARSHALL, G.J.; CONNALLEY, W.M. **Significant Warming of the Antarctic Winter Troposphere.** *Science*, v. 311, n. 5769, p.1914-1917. 2006.

TURNER, J.; OVERLAND, J.E.; WALSH, J.E. **An Arctic and Antarctic perspective on recent climate change.** *International Journal of Climatology*, v. 27, n. 3, p. 277-293. 2007.

TURNER, J.; CONVEY, P.; Di PRISCO, G.; MAYEWSKI, P.; HODGSON, D.; FAHRBACH, E.; BINDSCHADLER, R.; SUMMERHAYES, C. **Antarctic climate change and the environment** (draft of June, 2008). Cambridge: Scientific Committee on Antarctic Research. 495 p. 2008.

UNEP. **Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas.** Switzerland:UNEP/ IUCN. UNEP Regional Seas Reports and Studies, n. 178. 2006. Disponível em <[www.unep.org](http://www.unep.org)>. Acesso em agosto de 2008.

VAUGHAN, D.G.; DOAKE, C.S.M. **Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula.** *Nature*, v. 379, p.328 - 331. 1996.

VAUGHAN, D.G. **Bedmap subglacial and seabed topography for Antarctica** (2000). British Antarctic Survey. Disponível em <[www.antarctica.ac.uk](http://www.antarctica.ac.uk)>.. Acesso em 2007.

VAUGHN, D.G.; MARSHALL, G.J.; CONNALLY, W.M.; KING, J.C.; MULVANEY, R. **Devil in detail**. *Science*, v. 293. p. 1777-1779. 2001.

VAUGHN, D.G.; MARSHALL, G.J.; CONNALLY, W.M.; PARKINSON, C.; MULVANEY, R.; HODGSON, D.A.; KING, J.C.; PUDSEY, C.J.; TURNER, J. **Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula**. *Climate Change*, v. 60, p. 243-274. 2003.

VIEIRA, R.; ROSSATO, M.S.; AQUINO, F.E.; SIMÕES, J.C. **Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.6, n.2. p.51-64. 2005.

VOGT, S.; BRAUN, M. **Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data**. *Pesquisa Antártica Brasileira*, v. 4, p.105-117. 2004.

VOLKMAN, N.J.; PRESLER, P.; TRIVELPIECE, W.Z. **Diets of Pygoscelid Penguins at King George Island, Antarctica**. *The Condor*, v. 82, n. 4, p.373-378. 1980.

WADHAMS, P. 1980. **Ice characteristics in the seasonal sea ice zone**. *Cold Regions Science and Technology*, v. 2, p. 37-87. 1980.

WADHAMS, P. **Ice in the ocean**. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers. 351 p. 2000.

WALL, D.H. **Biodiversity and ecosystem functioning in terrestrial habitats of Antarctica**. *Antarctic Science*, v. 17, n. 4, p. 523-531. 2005.

WALLER, C.L.; BARNES, D.K.A.; CONVEY, P. **Ecological contrasts across an Antarctic land-sea interface**. *Austral Ecology*, v. 31, n. 5, p. 656-666. 2006.

WALLER, C.L. **Variability in intertidal communities along a latitudinal gradient of the Southern ocean**. *Polar Biology*, v. 31, n. 7, p. 809-816. 2008.

WALTHER, G.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T.J.C.; FROMENTIN, J.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. **Ecological responses to recent climate change**. *Nature*, v. 416, p. 389-395. 2002.

WELLER, G. **Regional impacts of climate change in the Arctic and Antarctic**. *Annals of Glaciology*, v. 27, p. 543-552.1998.

WILLIAMS, T.D.; ROTHERY, P. **Factors affecting variation in foraging and activity patterns of Gentoo Penguins (*Pygoscelia papua*) during the breeding seson at bird island, South Georgia**. *Journal of Applied Ecology*, v. 27, p.1042-1054. 1990.

WILLIAMS, T.D. **Annual variation in breeding biology of Gentoo Penguins, *Pygoscelis paupua*, at Bird Island, South Georgia.** Journal of Zoology, v. 222, p. 247-258. 1990.

WILLIAMS, T.D. **The penguins.** Oxford: Oxford University Press. 295 p.1995.

WILSON, P.R.; AINLEY, D.G.; NUR, N.; JACOBS, S.S.; BARTON, K.J.; BALLARD, G.; COMISO, J.C. **Adélie penguin population change in the passive sector of Antarctica: relation to sea ice extent and the Antarctic circumpolar current.** Marine Ecology Progress Series, v. 213, p.301-309. 2001.

WOEHLER, E.J. **The distribution and abundance of Antarctic and Subantarctic penguins.** [Updated]. SCAR, Cambridge. 2004.

WOEHLER, E.J.; CROXALL, J.P. **The status and trends of Antarctic and Sub-Antarctic seabirds.** Marine Ornithology, v. 25, p. 43-66. 1997.

WUNDERLE S.; SAURER H. Snow properties of the Antarctic Peninsula derived from ERS-1 SAR images. In. **Annals of the Conference of the Remote Sensing Society v. 21.** Southampton: University of Southampton. p.1232-1237. 1995.

ZARZYCKI, K. Vascular plants and terrestrial biotopes. In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (Ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay.** Warsaw: Polish Academy of Science. p.181-187. 1993.

## ANEXO 1 - Sistemática de classificação para a ordem Spheniscidae

Ordem	Família	Gênero	Espécie (sp)	Subespécie (ssp)
<b>SPHENISCIFORMES</b> <small>Sharpe, 1891 (Sibley-Monroe, 1996)</small>	<b>Spheniscidae</b> <small>Bonaparte, 1831</small>	<b>Aptenodytes</b> <small>Miller, 1778</small>	King Penguin ( <i>Aptenodytes patagonicus</i> ) Miller, 1778	<b>King Penguin</b> ( <i>Aptenodytes patagonicus patagonicus</i> ) Miller, 1778 <hr/> <b>Allied King Penguin</b> ( <i>Aptenodytes patagonicus halli</i> ) Mathews, 1911
			Emperor Penguin ( <i>Aptenodytes forsteri</i> ) Gray, 1844	
			<b>Pygoscelis</b> <small>Wagler, 1832</small>	Gentoo Penguin ( <i>Pygoscelis papua</i> ) Forster, 1781
		Adélie Penguin ( <i>Pygoscelis adeliae</i> ) Hombron e Jacquinot, 1841		
		Chinstrap Penguin ( <i>Pygoscelis antarcticus</i> ) Forster, 1781		
		<b>Eudyptes</b> <small>Vieillot, 1816</small>	Rockhopper Penguin ( <i>Eudyptes chrysocome</i> ) Forster, 1781	<b>Western Rockhopper Penguin</b> ( <i>Eudyptes chrysocome</i> ) Forster, 1781 <hr/> <b>Northern Rockhopper Penguin</b> ( <i>Eudyptes moseleyi</i> ) Mathews e Iredale, 1921 <hr/> <b>Southern Rockhopper Penguin</b> ( <i>Eudyptes filholi</i> ) Hutton, 1879
			Fiordland Penguin ( <i>Eudyptes pachyrhynchus</i> ) Gray, 1845	
			Snares Penguin ( <i>Eudyptes robustus</i> ) Oliver, 1953	
			Erect-crested Penguin ( <i>Eudyptes sclateri</i> ) Buller, 1888	
			Macaroni Penguin ( <i>Eudyptes chrysolophus</i> ) Brandt, 1837	
			Royal Penguin ( <i>Eudyptes schlegeli</i> ) Finsch, 1876	
			<b>Megadyptes</b> <small>Milne-Edwards, 1880</small>	<b>Yellow-eyed Penguin</b> ( <i>Megadyptes antipodes</i> ) Hombron & Jacquinot, 1841
		<b>Eudyptula</b> <small>Bonaparte, 1856</small>	<i>Eudyptula minor</i> Forster, 1781	<b>Northern Little Penguin</b> ( <i>Eudyptula albosignata</i> ) Forster, 1781 <hr/> <b>White-flippered Penguin</b> ( <i>Eudyptula albosignata albosignata</i> )*
		<b>Spheniscus</b> <small>Brisson, 1760</small>	<b>Magellanic Penguin</b> ( <i>Spheniscus magellanicus</i> ) Forster, 1781 <b>Humboldt Penguin</b> ( <i>Spheniscus humboldti</i> ) Meyen, 1834 <b>Galápagos Penguin</b> ( <i>Spheniscus mendiculus</i> ) Sundevall, 1871 <b>African Penguin</b> ( <i>Spheniscus demersus</i> ) Linnaeus, 1758	

Observações:



Espécies de pingüins antárticos

\* Ver referência Banks *et al.* (2002)



**ANEXO 2 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) e os coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) para a variável dependente *número de pares* (três espécies de Pygoscelidae) com as sessenta e duas variáveis independentes**

Variáveis independentes		Variável dependente					
		<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>		<i>P. papua</i>	
		r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>
<b>Temperatura do ar em superfície</b>							
1. TMano	Temperatura média anual da superfície	-0,232	0,054	-0,141	0,020	-0,082	0,007
2. TMinv(mjjas)	Temperatura média da superfície para o inverno (maio a setembro)	-0,241	0,058	-0,100	0,010	-0,078	0,006
3. ATMinv(mjjas)	Anomalia da temperatura média da sup. para o inverno (maio a setembro)	-0,241	0,058	-0,100	0,010	-0,078	0,006
4. ATMano	Anomalia da temperatura média anual da superfície	-0,232	0,054	-0,141	0,020	-0,082	0,007
5. TMjulho	Temperatura média da superfície para julho	-0,057	0,003	0,057	0,003	0,069	0,005
6. TMagosto	Temperatura média da superfície para agosto	<b>-0,360</b>	<b>0,129</b>	-0,217	0,047	0,009	0,000
7. TMsetembro	Temperatura média da superfície para setembro	-0,170	0,029	0,195	0,038	0,186	0,035
8. TMoutubro	Temperatura média da superfície para outubro	0,002	0,000	-0,071	0,005	0,035	0,001
9. TMnovembro	Temperatura média da superfície para novembro	0,077	0,006	-0,040	0,002	0,124	0,015
10. TMJAS	Temperatura média da superfície para julho, agosto e setembro	-0,227	0,052	0,005	0,000	0,097	0,009
11. TMASO	Temperatura média da superfície para agosto, setembro e outubro	<b>-0,350</b>	<b>0,122</b>	-0,131	0,017	0,054	0,003
12. TMSON	Temperatura média da superfície para setembro, outubro e novembro	-0,089	0,008	0,091	0,008	0,190	0,036
<b>Índice Oceânico Niño</b>							
13. ionDJF	Índice Oceânico Niño para dezembro, janeiro e fevereiro	0,147	0,021	0,052	0,003	-0,054	0,003
14. ionJFM	Índice Oceânico Niño para janeiro, fevereiro e março	0,115	0,013	-0,015	0,000	-0,026	0,001
15. ionFMA	Índice Oceânico Niño para fevereiro, março e abril	0,044	0,002	-0,015	0,000	-0,014	0,000
16. ionMAM	Índice Oceânico Niño para março, abril e maio	-0,010	0,000	-0,063	0,004	-0,012	0,000
17. ionAMJ	Índice Oceânico Niño para abril, maio e junho	-0,128	0,016	-0,117	0,014	-0,043	0,002
18. ionMJJ	Índice Oceânico Niño para maio, junho e julho	-0,230	0,053	-0,167	0,028	-0,083	0,007
19. ionJJA	Índice Oceânico Niño para junho, julho e agosto	-0,274	0,075	-0,159	0,025	-0,072	0,005
20. ionJAS	Índice Oceânico Niño para julho, agosto e setembro	-0,232	0,054	-0,105	0,011	-0,015	0,000
21. ionASO	Índice Oceânico Niño para agosto, setembro e outubro	-0,219	0,048	-0,076	0,006	-0,031	0,001
22. ionSON	Índice Oceânico Niño para setembro, outubro e novembro	-0,218	0,047	-0,041	0,002	-0,020	0,000
23. ionOND	Índice Oceânico Niño para outubro, novembro e dezembro	-0,233	0,054	-0,023	0,001	-0,006	0,000
24. ionNDJ	Índice Oceânico Niño para novembro, dezembro e janeiro	-0,214	0,046	-0,009	0,000	0,018	0,000
25. SMion	Sinal médio do Índice Oceânico Niño	-0,174	0,030	-0,080	0,006	-0,037	0,001
<b>Categoria de gelo marinho na baía do Almirantado</b>							
26. CGMba	Categoria de gelo marinho na baía do Almirantado	<b>0,320</b>	<b>0,103</b>	0,115	0,013	0,088	0,008
<b>Área média de gelo marinho</b>							
27. AManoGMTA	Área média anual de gelo marinho para total Antártica	<b>-0,415</b>	<b>0,173</b>	-0,281	0,079	-0,276	0,076
28. AMasoGMTA	Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para total Antártica	0,069	0,005	-0,031	0,001	-0,185	0,034
29. AMinvGMTA	Área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para total Antártica	<b>-0,356</b>	<b>0,126</b>	-0,227	0,052	-0,185	0,034
30. AManoGMW	Área média anual de gelo marinho para Weddell	-0,216	0,047	0,156	0,024	0,012	0,000
31. AMasoGMW	Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para Weddell	0,308	0,095	<b>0,383</b>	<b>0,147</b>	0,133	0,018
32. AMinvGMW	Área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para Weddell	-0,006	0,000	0,264	0,070	0,019	0,000
33. AManoGMBA	Área média anual de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	0,212	0,045	<b>0,350</b>	<b>0,122</b>	<b>0,475</b>	<b>0,226</b>
34. AMasoGMB	Área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	-0,136	0,019	0,074	0,005	0,266	0,071
35. AMinvGMBA	Área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	-0,111	0,012	-0,005	0,000	0,235	0,055

continuação

Variáveis independentes		Variável dependente					
		<i>P. adeliae</i>		<i>P. antarctica</i>		<i>P. papua</i>	
		r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>
<b>Anomalia da área média de gelo marinho</b>							
36. AAManoGMTA	Anomalia da área média anual de gelo marinho para total Antártica	<b>-0,455</b>	<b>0,207</b>	-0,289	0,083	-0,308	0,095
37. AAMasoGMTA	Anomalia da área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para total Antártica	0,069	0,005	-0,031	0,001	-0,208	0,043
38. AAMinvGMTA	Anomalia da área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para total Antártica	<b>-0,356</b>	<b>0,126</b>	-0,227	0,052	-0,185	0,034
39. AAManoGMW	Anomalia da área média anual de gelo marinho para Weddell	-0,226	0,051	0,152	0,023	0,005	0,000
40. AAMasoGMW	Anomalia da área média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para Weddell	0,308	0,095	<b>0,383</b>	<b>0,147</b>	0,133	0,018
41. AAMinvGMW	Anomalia da área média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para Weddell	-0,015	0,000	0,279	0,078	-0,01	0,00
42. AAManoGMBA	Anomalia da área média anual de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	0,204	0,042	<b>0,350</b>	<b>0,122</b>	<b>0,471</b>	<b>0,222</b>
43. AAMasoGMBA	Anom. área med. agosto, setembro e outubro de gelo marinho p. Bellingshausen/Amundsen	-0,136	0,019	0,074	0,005	0,266	0,071
44. AAMinvGMBA	Anomalia da área med. inv. (maio a setembro) de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	-0,111	0,012	-0,005	0,000	0,235	0,055
<b>Extensão da área média de gelo marinho</b>							
45. XManoGMTA	Extensão média anual de gelo marinho para total Antártica	<b>-0,434</b>	<b>0,188</b>	-0,286	0,082	<b>-0,334</b>	<b>0,112</b>
46. XMasoGMTA	Extensão média de ASO de gelo marinho para total Antártica	-0,061	0,004	-0,152	0,023	<b>-0,349</b>	<b>0,122</b>
47. XMinvGMTA	Extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para total Antártica	-0,304	0,093	-0,171	0,029	-0,183	0,034
48. XManoGMW	Extensão média anual de gelo marinho para Weddell	-0,173	0,030	0,147	0,022	-0,056	0,003
49. XMasoGMW	Extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para Weddell	0,234	0,055	0,288	0,083	0,025	0,001
50. XMinvGMW	Extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para Weddell	0,034	0,001	0,242	0,059	-0,040	0,002
51. XManoGMBA	Extensão média anual de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	0,176	0,031	<b>0,347</b>	<b>0,120</b>	<b>0,438</b>	<b>0,191</b>
52. XMasoGMBA	Extensão média anual de agosto, setembro e outubro de gelo marinho p. Bellingshausen/Amundsen	-0,171	0,029	0,058	0,003	0,225	0,051
53. XMinvGMBA	Extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	-0,063	0,004	0,049	0,002	0,239	0,057
<b>Anomalia da extensão da área média de gelo marinho</b>							
54. AXManoGMTA	Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para total Antártica	<b>-0,443</b>	<b>0,197</b>	-0,287	0,083	<b>-0,342</b>	<b>0,117</b>
55. AXMasoGMTA	Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para total Antártica	-0,061	0,004	-0,152	0,023	<b>-0,349</b>	<b>0,122</b>
56. AXMinvGMTA	Anomalia da extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para total Antártica	-0,304	0,093	-0,171	0,029	-0,183	0,034
57. AXManoGMW	Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para Weddell	-0,237	0,056	0,123	0,015	-0,112	0,013
58. AXMasoGMW	Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para Weddell	0,234	0,055	0,288	0,083	0,025	0,001
59. AXMinvGMW	Anomalia da extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho para Weddell	0,034	0,001	0,242	0,059	-0,040	0,002
60. AXManoGMBA	Anomalia da extensão média anual de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	0,129	0,017	<b>0,342</b>	<b>0,117</b>	<b>0,404</b>	<b>0,164</b>
61. AXMasoGMBA	Anomalia da extensão média de agosto, setembro e outubro de gelo marinho para Bellingshausen/Amundsen	-0,171	0,029	0,058	0,003	0,225	0,051
62. AXMinvGMBA	Anomalia da extensão média de inverno (maio a setembro) de gelo marinho p. Bellingshausen/Amundsen	-0,063	0,004	0,049	0,002	0,239	0,057