

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
NÍVEL DOUTORADO

ROBERTA DA CRUZ PIUCO

FLUTUAÇÃO POPULACIONAL, VARIAÇÃO MORFOMÉTRICA E ASSIMETRIA
FLUTUANTE EM *Pygoscelis papua*, NO ARQUIPÉLAGO DAS SHETLANDS DO SUL,
ANTÁRTICA

SÃO LEOPOLDO, RS

2013

ROBERTA DA CRUZ PIUCO

FLUTUAÇÃO POPULACIONAL, VARIAÇÃO MORFOMÉTRICA E ASSIMETRIA
FLUTUANTE EM *Pygoscelis papua*, NO ARQUIPÉLAGO DAS SHETLANDS DO SUL,
ANTÁRTICA

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS.

Área da Concentração: Ecologia de Populações e de Comunidades.

Orientadora: Dra. Maria Virginia Petry

São Leopoldo, RS

2013

P693f

Piuco, Roberta da Cruz.

Flutuação populacional, variação morfométrica e assimetria flutuante em *pygoscelis papua*, no Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica / Roberta da Cruz Piuco. – 2013.

105 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2013.

"Orientadora: Dra. Maria Virginia Petry."

1. Dimorfismo sexual. 2. Distribuição. 3. Flutuação populacional. 4. Medidas morfológicas. 5. Simetria bilateral. 6. Variações climáticas. I. Título.

CDU 57

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

ROBERTA DA CRUZ PIUCO

FLUTUAÇÃO POPULACIONAL, VARIAÇÃO MORFOMÉTRICA E ASSIMETRIA
FLUTUANTE EM *Pygoscelis papua*, NO ARQUIPÉLAGO DAS SHETLANDS DO SUL,
ANTÁRTICA

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do
título de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em
Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos,
UNISINOS.

21 de novembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA:

Presidente da Banca e Orientadora: Prof. Dra. Maria Virginia Petry – UNISINOS

Membro Prof. Dr. Victor Hugo Valiati – UNISINOS

Membro Prof. Dr. João Paulo Machado Torres – UFRJ

Membro Prof. Dr. Ricardo José Grunski – UNIPAMPA

Membro Dra. Vanda Simone da Silva Fonseca – BIOIMAGENS CONSULTORIA

Dedico esta tese com muito amor e carinho aos meus pais Eldjar Piuco e Lúcia de Fátima da Cruz Piuco, pelo apoio, encorajamento, incentivo e pelos ensinamentos que formaram os alicerces da minha vida. Vocês são meus tesouros!

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é aos meus pais, Eldjar e Lúcia, por todo o amor e apoio constante ao longo dessa trajetória, o incentivo e encorajamento de vocês foram essenciais. Agradeço demais por sempre apoiarem minhas decisões e me auxiliarem de inúmeras formas para que elas se concretizassem não só nesta etapa, mas durante a vida.

A minha irmã Renata da Cruz Piuco pelo companheirismo, por ter participado de muitas das boas experiências que tive em minha vida.

A toda minha família por toda a torcida, apoio e por todos os momentos de descontração.

A minha comadre, amiga, parceira e colega Jaqueline Brummelhaus, obrigada por ser tão especial e ter tornado esse caminho mais leve e estarmos juntas até o final! Por todos os momentos de alegria, desespero, parceria e apoio divididos de uma forma tão especial. Agradeço as alegrias que o Marquinhos tem nos proporcionado e ao Germano Weber, meu compadre que muito nos ajudou a desestressar. Agora podemos ser escandalosamente felizes Jaque!

Aos amigos e colegas Scherer, Ângelo e Janete pelos inúmeros momentos de descontração, desabafo, saberes acadêmicos e alegrias compartilhados, regados a boas risadas. Muito obrigada Ângelo pelas inúmeras sugestões do manuscrito, a tua ajuda fez toda a diferença!

Ao amigo e colega Lucas Krüger-Garcia por ser mais uma vez a minha salvação em estatísticas, mapas, gráficos e por inúmeras discussões e sugestões que enriqueceram meu conhecimento e a construção da tese. O teu auxílio foi fundamental!

Ao colega Gustavo Francisco Aver que foi muito prestativo na confecção do mapa e em ajusta-lo até o último detalhe.

Agradeço a Irmã Diretora Maria Madalena Uliana, professores, funcionários, pais e alunos do Colégio Maria Auxiliadora por todo o apoio e por sempre me receberem com todo carinho para as realizações das Semanas Polares. Em especial a minha eterna professora Sueli Schabbach Matos da Silva pelo seu exemplo de dedicação e sabedoria, fazendo tudo se tornar possível, por me incentivar a sonhar alto sempre e me fazer acreditar que sonhos são para se tornarem realidade.

A Irmã Adelia Dannus pelo carinho, apoio e seus sábios conselhos.

A amiga Erli Schneider Costa por ser uma grande motivadora e ter sempre uma palavra amiga de incentivo.

Ao meu querido Renato Dias de Souza por todo carinho e apoio, obrigada pelas nossas conversas diárias via Skype que muito me ajudaram a descontrair. Mesmo distante se fez tão presente me escutando, consolando e alegrando.

Ao amigo Antônio de Oliveira por todos os seus conselhos sábios e espirituais que foram fundamentais para o meu equilíbrio.

Aos amigos que de alguma forma conseguiram me tirar de casa em algum momento para descontrair e estão na torcida que eu termine logo o doutorado para voltar à vida social. Estou com saudades de vocês!

A orientadora Maria Virginia Petry obrigada por despertar o meu interesse em conhecer o mundo das aves, aos valores pessoais e profissionais passados que levarei como lição para a vida. Pela oportunidade maravilhosa de conhecer a Antártica e por ter me apresentado os pinguins-papua.

Ao Victor Hugo Valiati pela sua preocupação com os alunos, paciência, sabedoria, seus valiosos conselhos foram fundamentais. Carrego comigo teu exemplo de profissionalismo, respeito e seriedade com os alunos.

A Associação de Pesquisadores e Educadores em Início de Carreira sobre o Mar e os Polos – APECS-Brasil pela oportunidade e por estar ampliando meu horizonte.

Aos colegas do Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos pelas coletas realizadas para concretização deste trabalho e pelos bons momentos convividos em campo e no laboratório.

A todos os amigos “Antárticos” que proporcionaram momentos especiais e de alegria durante o período na Antártica.

Aos financiadores deste trabalho: Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais - INCT-APA, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Programa Antártico Brasileiro, Secretaria Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM e Ministério do meio Ambiente – MMA.

Agradeço aos membros avaliadores da tese.

Ao corpo docente e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Biologia da Unisinos pelo auxílio. Em especial a Fernanda Fraga, que estava sempre disposta e prestativa a resolver as questões burocráticas.

Agradeço a todas as pessoas que das mais variadas formas colaboraram para realização desta etapa.

RESUMO

O pinguim-papua (*Pygoscelis papua*) reproduz a partir de 46°S a 65°S. Apesar de sua ampla distribuição são consumidores costeiros e não migratórios, possuem um alto nível de filopatria e as populações estão restritas a ilhas de reprodução e faixas de forrageamento e apresentam variações contrastantes entre populações. Esta tese tem como objetivos: 1) avaliar as respostas do tamanho da população reprodutiva de pinguim-papua de acordo com fatores climáticos em Stinker Point, Ilha Elefante; 2) identificar o dimorfismo sexual de tamanho em caracteres morfométricos em adultos reprodutores de pinguins-papua em Stinker Point, Ilha Elefante, comparando-se com a técnica de sexagem molecular. Além disso, verificar a variação morfométrica da espécie em três locais do Arquipélago das Shetlands do Sul e comparar com dados da literatura e 3) quantificar um tipo potencial de assimetria em pinguins-papua nas ilhas Elefante e Rei George, caracterizando seus níveis assimétricos como uma forma de avaliar a qualidade do ambiente. A população reprodutiva de pinguim-papua respondeu significativamente ao Índice de Oscilação Antártica e à anomalia de temperatura durante o início do período reprodutivo. Provavelmente pelas variações climáticas extremas interferirem na decisão dos indivíduos de reproduzir ou não em um determinado ano. Na avaliação do dimorfismo sexual, através de medidas morfométricas, o comprimento do bico foi a medida de maior dimorfismo sexual (5,3%) e classificou corretamente 76,7% das aves, sendo em média as fêmeas maiores que os machos. Dentre as medidas morfométricas analisadas, todas apresentaram diferenças entre os locais do Arquipélago das Shetlands do Sul e Península Antártica. Dada a pouca acurácia das funções discriminantes na sexagem e as diferenças das medidas morfométricas conforme a área geográfica de pinguim-papua, é preciso ter cautela ao classificar indivíduos com base em uma única avaliação, de forma que a sexagem molecular apresentou melhor resultado. Quanto ao tipo de assimetria, os níveis observados refletem um padrão de assimetria flutuante (AF), porém sem diferença significativa. A ausência de altos níveis de AF indica que não há níveis cumulativos suficientes de estresses ambientais que pudesse causar distúrbios fisiológicos e alterar a homeostase do desenvolvimento normal nesta espécie na Antártica.

Palavras-chave: Dimorfismo sexual. Distribuição. Flutuação populacional. Medidas morfológicas. Simetria bilateral. Variações climáticas.

ABSTRACT

Gentoo penguin (*Pygoscelis papua*) breed from 46°S to 65°S. Despite its wide distribution are inshore consumers and non-migratory, have a high level of philopatry and populations are restricted to island breeding and foraging ranges and shown variations contrasting among populations. This thesis aims to: 1) to evaluate the breeding population size responses of the Gentoo penguin according to climate factor at Stinker Point, Elephant Island; 2) to identify the sexual dimorphism of size in the morphometric characteristics of male and female adult Gentoo penguins at Stinker Point, Elephant Island, compared with the technique of molecular sexing. Furthermore, to verify morphometric variation of the specie at three sites of the South Shetlands Archipelago and compare with literature data and 3) to quantify one kind of potential asymmetry in Gentoo penguins, breeding at Elephant and King George Islands and attempt to characterize their extremes of variation as a way of evaluating the current living quality of the environment. The breeding population size of Gentoo penguin responded significantly to the Antarctic Oscillation Index and the temperature anomaly during the early reproductive period. Probably by extreme climatic variations affecting the decision on breeding or skipping breeding in a given year. In the assessment of sexual dimorphism using morphometric characters, the bill length was the larger measure of sexual dimorphism (5.3%) and correctly classified 76.7% of the birds, were found females larger than males. Among the morphometric measurements analyzed, all showed differences among the sites of the South Shetlands Archipelago and Antarctic Peninsula. Given the limited accuracy of the discriminant function sexing and differences of these morphometric measurements according to the geographical area of Gentoo penguin, is necessary have caution to classify individuals based on a single assessment, so that the molecular sexing presented best result. For the type of asymmetry, the levels of asymmetry reflect a fluctuating asymmetry (FA) pattern, however no significant difference. Absence of high levels of observed FA in our study led us to think it indicates there are not sufficient cumulative levels of environmental stresses such that they might cause physiological disturbances and alter the homeostasis of normal development in this species in Antarctica.

Keywords: Bilateral symmetry. Climatic variations. Distribution. Morphological measurements. Population Fluctuation. Sexual dimorphism

APRESENTAÇÃO

Os capítulos da presente tese estão organizados em forma de artigos científicos, com base nas normas para publicação nos periódicos *Polar Biology* e *Waterbirds*, com o objetivo de sistematizá-los e minimizar o tempo para publicação dos resultados obtidos. Primeiramente, apresento uma introdução geral sobre o pinguim-papua (*Pygoscelis papua*) destacando informações sobre as características biológicas da espécie, distribuição, ciclo reprodutivo, flutuação populacional e principais ameaças. Em seguida, o desenvolvimento dos capítulos componentes da tese, e ao final, uma conclusão geral envolvendo a relação das principais ideias de cada um dos capítulos.

O primeiro capítulo “**Respostas da população reprodutiva de *Pygoscelis papua* aos efeitos da variação climática na Ilha Elefante, Antártica**”, tem como objetivos descrever a distribuição atual das áreas de reprodução de pinguim-papua em Stinker Point, Ilha Elefante. Além disso, comparar o perímetro, a área e a densidade de ninhos da espécie durante o período reprodutivo e avaliar as repostas do tamanho da população reprodutiva de acordo com fatores climáticos.

O segundo capítulo “**Dimorfismo sexual de tamanho e variação morfométrica de Pinguim-papua (*Pygoscelis papua*)**”, tem como objetivos identificar o sexo de adultos reprodutores de pinguim-papua em Stinker Point, Ilha Elefante, utilizando a técnica de sexagem molecular; verificar a presença de dimorfismo sexual de tamanho em cinco medidas morfométricas; desenvolver uma função discriminante para identificar o sexo de pinguim-papua a partir de medidas morfométricas; comparar os dados deste estudo com da literatura, a fim de avaliar o dimorfismo sexual entre os locais de reprodução e para testar o desempenho da função discriminante. Além disso, verificar a variação morfométrica de pinguim-papua em diferentes locais do Arquipélago das Shetlands do Sul e comparar com dados da literatura.

O terceiro capítulo “**Fluctuating asymmetry in Gentoo penguin *Pygoscelis papua* at Elephant and King George Islands, South Shetlands Archipelago, Antarctica**”, tem como objetivos verificar o tipo de assimetria presente nas populações de pinguim-papua, caracterizar seus níveis e avaliar as diferenças entre as características observadas em dois locais de ocorrência desta espécie na Antártica, como uma forma de avaliar a qualidade dos ambientes locais onde residem. Este artigo foi submetido para o periódico *Polar Biology*.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
APRESENTAÇÃO	10
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1. Referências bibliográficas	18
2. CAPÍTULO 1: RESPOSTAS DA POPULAÇÃO REPRODUTIVA DE <i>Pygoscelis papua</i> AOS EFEITOS DA VARIAÇÃO CLIMÁTICA NA ILHA ELEFANTE, ANTÁRTICA.	26
2.1. Resumo	27
2.2. Introdução	27
2.3. Métodos	30
2.3.1. Área de estudo	30
2.3.2. Amostragem e análises estatísticas.....	30
2.4. Resultados	31
2.5. Discussão	32
2.6. Agradecimentos	36
2.7. Referências	36
3. CAPÍTULO 2: DIMORFISMO SEXUAL DE TAMANHO E VARIAÇÃO MORFOMÉTRICA DE PINGUIM-PAPUA (<i>Pygoscelis papua</i>).	54
3.1. Resumo	55
3.2. Introdução	55
3.3. Materiais e Métodos	58
3.3.1. Captura e medições.....	58
3.3.2. Sexagem molecular	59
3.3.3. Análise estatística.....	59
3.4. Resultados	60
3.5. Discussão	62
3.6. Agradecimentos	65
3.7. Referências	65

4. CAPÍTULO 3: FLUCTUATING ASYMMETRY IN GENTOO PENGUIN <i>Pygoscelis papua</i> AT ELEPHANT AND KING GEORGE ISLANDS, SOUTH SHETLANDS ARCHIPELAGO, ANTARCTICA.....	81
4.1. Abstract	82
4.2. Introduction	82
4.3. Methods	84
4.3.1. Study area	84
4.3.2. Sampling and statistical analysis.....	85
4.4. Results	85
4.5. Discussion	86
4.6. Acknowledgements	88
4.7. References	88
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
5.1. Referências bibliográficas	103
6. ANEXO	105

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os pinguins pertencem à ordem Sphenisciformes, que contém apenas uma família: Spheniscidae. Há seis gêneros com diferenciado número de espécies: *Eudyptes* – seis; *Spheniscus* – quatro; *Pygoscelis* – três; *Aptenodytes* – duas; *Eudyptula* – duas; *Megadyptes* – apenas uma (STONEHOUSE, 1975; WILLIAMS, 1995). Das 18 espécies, sete compõem, aproximadamente, 90% da biomassa de aves nos oceanos do sul, especialmente na região Antártica (WOEHLER, 1993). As áreas de reprodução estão distribuídas nas ilhas Antárticas e Subantárticas bem como sobre o Continente Antártico (CROXALL, 1984; WILLIAMS, 1995). O gênero *Pygoscelis* é o mais amplamente distribuído e é composto por três espécies: *Pygoscelis adeliae*, *Pygoscelis antarcticus* e *Pygoscelis papua* (DEL HOYO et al., 1992; PREVOST, 1981). Dentre estas, o pinguim-papua (*P. papua*) apresenta maior área de distribuição, desde a latitude do Cabo Tuxon na Península Antártica (65°16'S) até as Ilhas Crozet (46°00'S) (LYNCH, 2011). As principais áreas de ocorrência, com 80% da população global, são as Ilhas Falklands, Ilha Geórgia do Sul e a Península Antártica (incluindo o Arquipélago das Shetlands do Sul) (CLAUSEN e HUIN, 2003; LYNCH et al., 2012; TRATHAN et al., 1996). Outros sítios reprodutivos incluem as Ilhas Kerguelen, Crozet, Heard, Orkney do Sul, Macquarie, Sandwich do Sul, Marion, Prince Edward, Martillo e Ilhas dos Estados na Argentina (IUCN, 2013).

Pinguim-papua é o maior pinguim em relação aos outros pigoscelídeos com 76-81 cm de altura e 5-8 kg de massa média (MARTÍNEZ, 1992), sendo facilmente reconhecido por causa de seu bico brilhante, que é vermelho-alaranjado nas laterais (WILLIAMS, 1995). Atinge a maturidade sexual aos dois anos, porém a maioria inicia a reprodução com três ou quatro anos. Assim como outras espécies de pinguins, não apresentam dimorfismo sexual de plumagem e possuem pouca diferença de tamanho entre os sexos, embora os machos sejam geralmente maiores que as fêmeas (POLITO et al., 2012; RENNER et al., 1998; VALENZUELA-GUERRA et al., 2013; WILLIAMS, 1990). No período reprodutivo organizam-se em grupos distintos chamados de colônias, que geralmente estão subdivididas por grupos de nidificação distantes entre si no mínimo 50 m (PENNEY, 1968). As colônias de papua não são numerosas como as colônias de outros pygoscelídeos, a maior é formada apenas por seis mil pares reprodutores e os grupos reprodutivos variam entre as localidades (JABLONSKI, 1984; LYNCH, 2011; MÜLLER-SCHWARZE e MÜLLER-SCHWARZE, 1975; TRIVELPIECE e VOLKMAN, 1979). Normalmente as colônias são encontradas ao longo da costa. Isso permite que os pinguins-papua acessem rapidamente os alimentos e se

mantenham próximos de seus ninhos. Preferem terrenos elevados, pois nesses locais a neve tende a derreter primeiro durante o verão. O terreno para construção do ninho é plano, o que ajuda a estabilizar seus ninhos que são construídos com pequenos seixos, geralmente menores que 5 cm de diâmetro para manter os ovos durante o período reprodutivo (AINLEY et al., 1995; JABLONSKI, 1984).

O ciclo reprodutivo de pinguim-papua varia conforme a latitude do local de reprodução. Possui um nível particular de reprodução assíncrona entre os locais onde nidifica, diferindo de todas as outras espécies de pinguins (WILLIAMS, 1981). Devido ao clima mais quente nas ilhas Subantárticas, o período reprodutivo de pinguim-papua inicia em junho-julho e geralmente termina em outubro-novembro. Na região da Península Antártica, Arquipélago das Shetlands do Sul e Ilha Geórgia do Sul o período reprodutivo inicia em outubro. Nestas, realizam a postura de dois ovos com intervalo de 3-4 dias no final de outubro e as trocas entre os indivíduos do par reprodutor durante a incubação ocorre diariamente. Os ovos eclodem no início de dezembro e os dois filhotes são alimentados frequentemente pelos adultos (CROXALL et al., 1988a). Durante o período de guarda um adulto permanece com os filhotes enquanto o outro forrageia no mar. No final de dezembro, os filhotes se reúnem em creches e, posteriormente, adultos fazem viagens diárias de forrageio para alimentá-los. Filhotes emplumam no final de fevereiro e durante este período os adultos forrageiam no mar por cerca de 10 dias, para a aquisição de reservas de gordura, antes de vir a terra para realizar a muda de penas, em meados de março e início de abril (DAVIS et al., 1989). A duração média de uma viagem varia entre 7-12 h (CROXALL et al., 1988b; MILLER et al., 2009; WILLIAMS et al., 1992) e geralmente forrageiam durante o dia (WILSON et al., 1996). A distância de forrageio do pinguim-papua é geralmente até 25 km das suas colônias de reprodução, e a espécie tende a forragear mais perto da costa do que outros pinguins. Mesmo no período não reprodutivo, eles permanecem principalmente próximos à costa, em águas com até 200 m de profundidade (KOKUBUN et al., 2010; MILLER et al., 2010; TRIVELPIECE et al., 1987; WILSON, 2010; WILSON et al., 1998).

A profundidade média de mergulho de pinguim-papua é de 30-50 m (KOKUBUN et al., 2010; MILLER et al., 2009; WILLIAMS et al., 1992). A duração, a frequência e a profundidade dos mergulhos estão relacionadas ao tipo de presa. Mergulham mais fundo para se alimentar de krill (*Euphasia superba*) do que os pinguins adélie, antártico (TRIVELPIECE et al., 1987) e macaroni (*Eudyptes chrysolophus*), podendo atingir profundidades de até 120 m (CROXALL et al., 1988a). Porém, a composição da dieta varia de acordo com a época do ano, fase de reprodução, localidade, disponibilidade de presas e com a chegada de

competidores em potencial, sendo os pinguins-papua consumidores oportunistas (BOST e JOUVENTIN, 1990; CROXALL e PRINCE, 1979; WILLIAMS, 1991). Em geral, os pinguins-papua nas ilhas Subantárticas consomem principalmente peixes, lulas e anfípodas (LESCROËL et al., 2004; PÜTZ et al., 2001; ROBINSON e HINDELL, 1996). Por outro lado, na região da Península Antártica, Ilha Geórgia do Sul e Arquipélago das Shetlands do Sul o krill antártico é o principal alimento e em muitos casos a presa dominante (CROXALL et al., 1999; CROXALL e PRINCE, 1980; VOLKMAN et al., 1980; WILLIAMS, 1991), podendo ainda conter quantidades variáveis de peixes (KOKUBUN et al., 2010; MILLER et al., 2010).

O tamanho e a distribuição das populações de pinguim-papua têm sido amplamente registrados com um alto grau de variação interanual do número de pares reprodutores (FORCADA et al., 2006; HINKE et al., 2007; LYNCH et al., 2008; SCHOFIELD et al., 2010; TRIVELPIECE et al., 2011). Estudos recentes indicam que as populações de pinguim-papua estão expandindo e aumentando na maioria dos locais monitorados na Península Antártica (incluindo o Arquipélago das Shetlands do Sul e as Ilhas Orkneys do Sul) (LYNCH et al., 2008; NAVEEN et al., 2011; TRIVELPIECE et al., 2011). Essa região é caracterizada pelo aumento da temperatura do ar e do mar (MEREDITH e KING, 2005; TURNER et al., 2005a), redução da cobertura de gelo marinho durante o inverno (STAMMERJOHN et al., 2008; TURNER et al., 2009) e pelo aumento da frequência de tempestades com grandes eventos de precipitação (TURNER et al., 2005b) e maiores taxas de acúmulo de neve (THOMAS et al., 2008). Nesta região, a espécie pode estar se beneficiando de um aumento de temperatura e da redução do gelo marinho (MILLER et al., 2009), pois a redução do gelo marinho poderia melhorar o seu hábitat de forrageio. Porém, variações climáticas extremas são conhecidas por ter um impacto negativo sobre as populações de pinguim-papua durante o período reprodutivo (COBLEY et al. 2000; COBLEY e SHEARS 1999; TRATHAN et al., 2008). Em ilhas Subantárticas atualmente as populações parecem estar estáveis, porém podem ter diminuído substancialmente no passado (BINGHAM 2002, CLAUSEN e HUIN 2003, CRAWFORD et al. 2009, FORCADA e TRATHAN 2009; TRATHAN et al. 1996). No Arquipélago Kerguelen, nos últimos 15 anos a população tem declinado aproximadamente 30% (LESCROËL e BOST, 2006). Nas Ilhas Falklands a população de pinguim-papua têm apresentado alta variação interanual de pares reprodutores indicando que a população pode variar mais de 60% de um ano para outro (CLAUSEN e HUIN, 2003; PISTORIUS et al., 2010; PÜTZ et al., 2001). Por exemplo, o número de pares reprodutores em locais monitorados diminuiu 30% entre 2008 e 2009, mas, em seguida, aumentou 67% entre 2009 e 2010 (BAYLIS et al., 2012; BAYLIS et al., 2013). Populações na Ilha Bird, Geórgia do Sul,

diminuíram 67% em 25 anos (REID e CROXALL, 2001), na Ilha Marion diminuiu 11% durante o período de 1994-1997 (BARNES, 2000). Em 1993 a população mundial de papua foi estimada em 314 mil pares reprodutores (WOEHLER, 1993) e uma estimativa mais recente de 387 mil pares sugere um aumento da população mundial (LYNCH, 2011). No entanto, desde 2000 seu *status* é considerado como quase ameaçado pela IUCN, devido ao declínio moderadamente rápido de algumas populações-chave das Ilhas Falklands, Geórgia do Sul e Kerguelen (BIRDLIFE-INTERNACIONAL, 2012; IUCN, 2013). A principal ameaça registrada para a espécie nos seus principais locais de reprodução é o aumento da exploração de petróleo em torno das Ilhas Falklands (LYNCH, 2011) causando a contaminação de indivíduos com óleo. Nas áreas de reprodução com perturbações causadas pelo turismo houve a diminuição do sucesso reprodutivo para a espécie (LYNCH et al., 2009; TRATHAN et al., 2008). Além disso, o tráfego marítimo e interações com a pesca têm sido associados ao provável impacto sobre o forrageio de pinguins em águas costeiras (ELLIS et al., 1998; LYNCH et al., 2010).

Apesar de sua ampla distribuição, os pinguins-papua são residentes costeiros e possuem um alto nível de filopatria e, portanto, as populações estão restritas a ilhas de reprodução e faixas de forrageamento. Devido à ampla variabilidade de tamanho entre as populações alguns autores sugerem a existência de algumas subespécies (BOST e JOUVENTIN, 1990). Porém, pinguins-papua são classificados como uma única espécie, e duas subespécies distintas morfologicamente (FORSTER, 1781; MURPHY, 1947). Mas através de marcadores mitocondriais há a suspeita de que existam três subespécies, pelas distintas estruturas genéticas encontradas nas populações do Oceano Índico, Oceano Atlântico e Oceano Austral (DINECHIN et al., 2012). Em geral, *P. p. papua* são maiores em tamanho ao norte em latitudes inferiores a 60°S nas ilhas Subantárticas, e *P. p. ellsworthii* menores ao sul nas Ilhas Orkney do Sul, no Arquipélago das Shetlands do Sul e na Península Antártica a partir de 60°S até 65°S (STONEHOUSE 1970). Além disso, tem sido identificadas variações nas medidas morfológicas de tamanho ao longo da distribuição da espécie em escalas microgeográficas, tanto nas populações do norte como nas populações do sul (BOST e JOUVENTIN, 1990; BOST et al., 1992; VALENZUELA-GUERRA et al., 2013).

Nos últimos anos, estudos sobre a Antártica têm se intensificado em virtude de sua grande fragilidade ambiental, por ser a região mais preservada do planeta torna-se uma das mais sensíveis às mudanças ambientais globais. Variações no ambiente antártico resultam principalmente das mudanças climáticas, além de outras variações como: aumento dos níveis de temperatura, aumento da acidificação dos oceanos, redução da salinidade oceânica,

aumento das radiações solares, aumento das concentrações de contaminantes no mundo e transporte global destes contaminantes e crescente turismo polar (SIMÕES et al., 2011). Mudanças nos ecossistemas podem afetar as diferentes dimensões do nicho ecológico da espécie e, por sua vez, a estrutura e a dinâmica da população. Entretanto, a detecção e a avaliação desses efeitos ainda é um desafio para as ciências ambientais (PRIMACK e RODRIGUES 2001).

Estudos relacionados às características morfológicas, com ênfase nas variações e flutuações em características simétricas reflete a incapacidade do organismo de desenvolver um caractere com precisão, e mede a habilidade de organismos confrontarem alterações ambientais e genéticas (MARINI e ANCIÃES, 1998; SOULÉ, 1967; WATSON e THORNHILL, 1994). Características morfológicas de ambos os lados de um organismo bilateralmente simétrico deveriam se desenvolver de forma similar, já que seriam expressões do mesmo genoma (HOGG et al., 2001). No entanto, alterações morfológicas podem comprometer a sobrevivência ou o sucesso reprodutivo dos indivíduos (RIBEIRO, 1999). A assimetria flutuante pode ser aumentada através de alterações genéticas ou ambientais, que elevam a instabilidade do desenvolvimento (CLARKE, 1992). HUTCHISON e CHEVERUD (1995) e WAYNE et al. (1986) evidenciam que a perda de variabilidade genética diminui a homeostase e aumenta a assimetria flutuante de organismos, enquanto PERZIGIAN (1977) e VALENTINE et al. (1973) demonstram que poluentes e o estresse nutricional também elevam a assimetria flutuante, havendo um efeito cumulativo entre o estresse genético e ambiental (PARSONS, 1992). Ao longo de sua extensa distribuição, pinguim-papua apresenta extrema variabilidade e uma alta plasticidade em muitos aspectos da sua ecologia, exibindo variações contrastantes entre populações. Esta plasticidade reflete duas características importantes de suas populações: reproduzem sobre uma ampla gama de habitats circumpolares (WOEHLER, 1993), porém, as populações estão restritas à ilhas de reprodução e faixas de forrageio (TRIVELPIECE et al., 1987, WILLIAMS et al., 1992). Por serem consumidores oportunistas são capazes de se alimentarem com êxito nos diferentes habitats que ocorrem e com uma variedade de presas (MILLER et al., 2009). No entanto, por ser um consumidor costeiro e permanecer próximo de suas colônias de reprodução durante todo o ano, o pinguim-papua é altamente dependente da disponibilidade de recursos locais e qualquer mudança regional tem um impacto maior sobre estes pinguins (BOST e JOUVENTIN, 1990; LESCROËL e BOST, 2006; TRIVELPIECE et al., 1987; WILSON et al., 1998), podendo responder às mudanças no ambiente marinho e a disponibilidade de presas (MILLER et al., 2010).

Informações sobre a ecologia reprodutiva de pinguim-papua são numerosas, mas difíceis de sintetizar, apesar de sua ampla distribuição circumpolar ele continua a ser o pinguim menos estudado e muita informação está faltando sobre a plasticidade observada nesta espécie. Portanto, estudos que visam contribuir na interpretação da grande variabilidade deste pinguim são fundamentais para complementar o conhecimento ao longo de sua distribuição. Desta forma há uma necessidade urgente de suplementar dados relativos a adaptações biológicas e ecológicas da população dos pinguins nas suas principais áreas de reprodução. Neste contexto, o objetivo desta tese é avaliar aspectos ecológicos de pinguim-papua no Arquipélago das Shetlands do Sul visando contribuir com o conhecimento espacial e temporal da espécie.

1.1. Referências bibliográficas

- AINLEY, D. G.; NUR, N.; WOEHLER, E. J. Factors affecting the distribution and size of pygoscelid penguin colonies in the Antarctic. **Auk**, v. 112, p. 171-182, 1995.
- BARNES, K. N. **The Eskom Red Data Book of birds of South Africa, Lesotho and Swaziland**. Johannesburg: BirdLife South Africa, 2000.
- BAYLIS, A. M. M.; CROFTS, S.; WOLFAARDT, A. C. Population trends of Gentoo Penguins *Pygoscelis papua* breeding at the Falkland Islands. **Marine Ornithology**, v. 41, p. 1-5. 2013.
- BAYLIS, A. M. M.; ZUUR, A. F.; BRICKLE, P.; PISTORIUS, P. A. Climate as a driver of population variability in breeding Gentoo Penguins *Pygoscelis papua* at the Falkland Islands. **Ibis**, v. 154, p. 30-41, 2012.
- BINGHAM, M. The decline of Falkland Islands penguins in the presence of a commercial fishing industry. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 75, p. 805-818, 2002.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL Species factsheet: *Pygoscelis papua*. 2012, download <http://www.birdlife.org> em 14 mai. 2013
- BOST, C. A.; JOUVENTIN, P. Evolutionary ecology of Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*). In: DAVIS, L. S.; DARBY, J. T. (Eds.). **Penguin biology**. London: Academic Press, 1990, p. 85-112.
- BOST, C. A.; JOUVENTIN, P.; PINCSON DU SEL, N. Morphometric variability on a microgeographical scale in two inshore seabirds. **Journal of Zoology**, v. 226, p. 135-149, 1992.

- CLARKE, G. M. Fluctuating asymmetry: a technique for measuring developmental stress of genetic and environmental origin. **Acta Zoologica Fennica**, v. 191, p. 31-35, 1992.
- CLAUSEN, A. P.; HUIN, N. Status and numerical trends of king, gentoo, and rockhopper penguins breeding in the Falkland Islands. **Waterbirds**, v. 26, n. 4, p. 389-402, 2003.
- COBLEY, N. D.; SHEARS, J. R. Breeding performance of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) at a colony exposed to high levels of human disturbance. **Polar Biology**, v. 21, p. 355-360, 1999.
- COBLEY, N. D.; SHEARS, J. R.; DOWNIE, R. H. The impacts of tourists on Gentoo penguins at Port Lockroy, Antarctic Peninsula. In: DAVISON, W.; HOWARD-WILLIAMS, C.; BROADY, P. (Eds.). **Antarctic Ecosystems: Models for Wider Ecological Understanding**. Christchurch: New Zealand Natural Sciences, 2000, p. 319-323.
- CRAWFORD, R. J. M.; WHITTINGTON, P. A.; UPFOLD, L.; RYAN, P. G.; PETERSEN, S. L.; DYER, B. M.; COOPER, J. Recent trends in numbers of four species of penguins at the Prince Edward Islands. **African Journal of Marine Science** v. 31, n. 3, p. 419-426, 2009.
- CROXALL, J. P. Seabirds. In: LAWS, R. M. (Ed.). **Antarctic Ecology**. London: Academic Press, 1984, p. 533-616.
- CROXALL, J. P.; DAVIS, R. W.; O'CONNELL, M. J. Diving patterns in relation to diet of gentoo and macaroni penguins at South Georgia. **Condor**, v. 90, p.157-167, 1988a.
- CROXALL, J. P.; MCCANN, T. S.; PRINCE, P. A.; ROTHERY, P. Reproductive performance of seabirds and seals at South Georgia and Signy Islands, South Orkney Islands, 1976–1987: implications for Southern Ocean monitoring studies. In: SAHRHAGE, D. (Ed.). **Antarctic Ocean and resources variability**. Berlin: Springer-Verlag, 1988b, p. 261-285.
- CROXALL, J. P.; PRINCE, P. A. Antarctic seabird and seal monitoring studies. **Polar Record**, v. 19, n. 123, p. 573-595, 1979.
- CROXALL, J. P.; PRINCE, P. A. Food, feeding ecology and ecological segregation of seabirds at South Georgia. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 14, p. 103-131, 1980.
- CROXALL, J. P.; REID, K.; PRINCE, P. A. Diet, provisioning and productivity responses of marine predators to differences in availability of Antarctic krill. **Marine Ecology Progress Series**, v. 177, p. 115-131, 1999.
- DAVIS, R. W.; CROXALL, J. P.; O'CONNELL, M. J. The reproductive energetics of Gentoo (*Pygoscelis papua*) and Macaroni (*Eudyptes chrysolophus*) penguins at South Georgia. **Journal of Animal Ecology**, v. 58, p. 59-74, 1989.

- DEL HOYO, J.; ELLIOTT, A.; SARGATAL, J. **Handbook of the birds of the World**. Barcelona: Lynx Edicions, 1992.
- DINECHIN, M.; DOBSON, F. S.; ZEHTINDJIEV, P.; METCHEVA, R.; COUCHOUX, C.; MARTIN, A.; QUILLFELDT, P.; JOUVENTIN, P. The biogeography of Gentoo Penguins (*Pygoscelis papua*). **Canadian Journal of Zoology**, v. 90, p. 352-360, 2012.
- ELLIS, S.; CROXALL, J. P.; COOPER, J. **Penguin conservation assessment and management plan: report from the workshop held 8-9 September 1996, Cape Town, South Africa**. Apple Valley: IUCN/SSC, 1998.
- Forcada, J.; Trathan, P. N. Penguin responses to climate change in the Southern Ocean. **Global Change Biology**, v. 15, p. 1618-1630, 2009.
- FORCADA, J.; TRATHAN, P. N.; REID, K.; MURPHY, E. J.; CROXALL, J. P. Contrasting population changes in sympatric penguin species in association with climate warming. **Global Change Biology**, v. 12, p. 1-13, 2006.
- FORSTER, J. R. **Indische Zoologie oder systematische Beschreibungen seltener und unbekannter Thiere aus Indien, mit 15 illuminirten Kupfertafeln erläutert Johann Jacob Gebauer, Halle**. 1781.
- HINKE, J. T.; SALWICKA, K.; TRIVELPIECE, S. G.; WATTERS, G. M.; TRIVELPIECE, W. Z. Divergent responses of *Pygoscelis* penguins reveal common environmental driver. **Oecologia**, v. 153, p.845-855, 2007.
- HOGG, I. D.; EADIE, J. M.; WILLIAMS, D. D.; TURNER, D. Evaluating fluctuating asymmetry in a stream-dwelling insect as an indicator of low-level thermal stress: a large-scale field experiment. **The Journal of Applied Ecology**, v. 38, n. 6, p. 1326-1339, 2001.
- HUTCHISON, D. W.; CHEVERUD, J. M. Fluctuating asymmetry in Tamarin (*Saguinus*) cranial morphology: intra- and inter-specific comparisons between taxa with varying levels of genetic heterozygosity. **Journal of Heredity**, v. 86, p. 280-288, 1995.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1**. Suíça: 2013. Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: 14 Mai. 2013.
- JABLÓNSKI, B. Distribution and numbers of penguins in the region of King George Island (South Shetlands Islands) in the breeding season 1980/1981. **Polish Polar Research**, v. 5, p. 17-29, 1984.
- KOKUBUN, N.; TAKAHASHI, A.; MORI, Y.; WATANABE, S.; SHIN, H. C. Comparison of diving behavior and foraging habitat use between Chinstrap and Gentoo Penguins breeding in the South Shetland Islands, Antarctica. **Marine Biology**, v. 157, p. 811-825, 2010.

- LESCROËL, A.; BOST, C. A. Recent decrease in Gentoo penguin populations at Iles Kerguelen. **Antarctic Science**, v. 18, p. 171-174, 2006.
- LESCROËL, A.; RIDOUX, V.; BOST, C. A. Spatial and temporal variation in the diet of the Gentoo penguin (*Pygoscelis papua*) at Kerguelen Islands. **Polar Biology**, v. 27, p. 206-216, 2004.
- LYNCH, H. L. The gentoo penguin (*Pygoscelis papua*). In: GARCÍA BORBOROGLU, P. G.; BOERSMA P. D. (Eds.). **Biology and Conservation of the World's penguins**, Seattle: University of Washington Press, 2011.
- LYNCH, H. J.; CROSBIE, K.; FAGAN, W. F.; NAVEEN, R. Spatial patterns of tour ship traffic in the Antarctic Peninsula region. **Antarctic Science**, v. 22, p. 123-130, 2010.
- LYNCH, H. J.; FAGAN, W. F.; NAVEEN, R.; TRIVELPIECE, S. G.; TRIVELPIECE, W. Z. Timing of clutch initiation in *Pygoscelis* penguins on the Antarctic Peninsula: Towards an improved understanding of off-peak census correction factors. **CCAMLR Science**, v. 16, p. 149-165, 2009.
- LYNCH, H. J.; NAVEEN, R.; FAGAN, W. F. Censuses of penguin, blue-eyed shag *Phalacrocorax atriceps* and southern giant petrel *Macronectes giganteus* populations in the Antarctic Peninsula, 2001–2007. **Marine Ornithology**, v. 36, p. 83-97, 2008.
- LYNCH, H. J.; NAVEEN, R.; TRATHAN, P. N.; FAGAN, W. F. Spatially integrated assessment reveals widespread changes in penguin populations on the Antarctic Peninsula. **Ecology**, v. 93, p. 1367-1377, 2012.
- MARINI, M. A.; ANCIÃES, M. Aplicações da assimetria flutuante para o biomonitoramento. **Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros**, v. 5, p.196-202, 1998.
- MEREDITH, M. P.; KING, J. C. Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century. **Geophysical Research Letters**, v. 32, p. L19604, 1998.
- MILLER, A. K.; KAPPES, M. A.; TRIVELPIECE, S. G.; TRIVELPIECE, W. Z. Foraging-niche separation of breeding Gentoo and Chinstrap penguins, South Shetland Islands, Antarctica. **Condor**, v. 112, n. 4, p. 683-695, 2010.
- MILLER, A. K.; KARNOVSKY, N. J.; TRIVELPIECE, W. Z. Flexible foraging strategies of Gentoo penguins *Pygoscelis papua* over 5 years in the South Shetland Islands, Antarctica. **Marine Biology**, v. 156, p. 2527-2537, 2009.
- MÜLLER-SCHWARZE, D. e MÜLLER-SCHWARZE, D. A survey of twenty-four rookeries of pygoscelid penguins in the Antarctic Peninsula. In: STONEHOUSE, B. (Ed.). **The biology of penguins**. London: Macmillan, 1975, p. 309-320.

- MURPHY, R. C. A new zonal race of the gentoo penguin. **Auk**, 64: 454-455, 1947.
- NAVEEN, R.; LYNCH, H. J. **Antarctic Peninsula Compendium**. Washington: Environmental Protection Agency, 2011.
- PARSONS, P.A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress. **Heredity**, v. 68, p. 361-364, 1992.
- PENNEY, R. L. Territorial and social behavior in the Adélie Penguin. In: AUSTIN, O. L. Jr. (Ed.). **Antarctic Research Series**. vol. 12. Washington: Antarctic Bird Studies, 1968.
- PERZIGIAN, A. J. Fluctuating dental asymmetry: variation among skeletal populations. **American Journal Physical Anthropology**, v. 47, p. 81-88, 1977.
- PISTORIUS, P. A.; HUIN, N.; CROFTS, S. Population change and resilience in Gentoo Penguins *Pygoscelis papua* at the Falkland Islands. **Marine Ornithology**, v. 38, p. 49-53, 2010.
- POLITO, M. J.; CLUCAS, G. V.; HART, T.; TRIVELPIECE, W. Z. A simplified method of determining the sex of *Pygoscelis* penguins using bill measurements. **Marine Ornithology**, v. 40, p. 89-94, 2012.
- PREVOST, J. **Population, biomass and energy requirements of Antarctic birds. BIOMASS 11-Biological Investigations of Marine Antarctic Systems and Stocks. Volume 11: Selected Contributions to the Woods Hole Conference on Living Resources of the Southern Ocean 1976**. Cambridge: SCARISCOR, 1981, p. 125-137.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: Planta, 2001.
- PÜTZ, K.; INGHAM, R. J.; SMITH, J. G.; CROXALL, J. P. Population trends, breeding success and diet composition of Gentoo *Pygoscelis papua*, Magellanic *Spheniscus magellanicus* and Rockhopper *Eudyptes chrysocome* Penguins in the Falkland Islands. **Polar Biology**, v. 24, p. 793-807, 2001.
- 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. Series B: Biological Sciences**, v. 268, p. 377-384, 2001.
- RENNER, M.; VALENCIA, J.; DAVIS, L. S.; SAEZ, D.; CIFUENTES, O. Sexing of adult Gentoo penguins in Antarctica using morphometrics. **Colonial Waterbirds**, v. 21, n. 3, p. 444-449, 1998.
- RIBEIRO, R. D. **Assimetria fluante e ectoparasitismo em passeriformes de fragmentos urbanos**. 1999. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ecologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

- ROBINSON, S. A.; HINDELL, M. A. Foraging ecology of Gentoo penguins *Pygoscelis papua* at Macquarie Island during the period of chick care. **Ibis**, v. 138, p. 722-731, 1996.
- SCHOFIELD, O.; DUCKLOW, H. W.; MARTINSON, D. G.; MEREDITH, M. P.; MOLINE, M. A.; FRASER, W. R. How do polar marine ecosystems respond to rapid climate change? **Science**, v. 328, p.1520-1523, 2010.
- SIMÕES, J. C.; GARCIA, C. A. E.; EVANGELISTA, H.; CAMPOS, L. de S.; MATA, M. M.; BREMER, U. F. **Antártica e as mudanças globais: um desafio para a humanidade**. São Paulo: Blucher, 2011.
- SOULÉ, M. Phenetics of natural populations. II Asymmetry and evolution in a lizard. **American Naturalist**, v. 101, p. 141-160, 1967.
- STAMMERJOHN, S. E.; MARTINSON, D. G.; SMITH, R. C.; IANNUZZI, R. A. Sea ice in the western Antarctic Peninsula region: Spatio-temporal variability from ecological and climate change perspectives. **Deep-Sea Research. Part. B. Oceanographic Literature Review**, v. 55, p.2041-2058, 2008
- STONEHOUSE, B. Geographic variation in gentoo penguins *Pygoscelis papua*. **Ibis**, v. 112, p. 52-57, 1970.
- STONEHOUSE, B. Introduction: The Spheniscidae. In: STONEHOUSE, B. (Ed.). **The Biology of Penguins**. Baltimore: University Park Press, 1975, p. 1-15.
- THOMAS, E. R.; MARSHALL, G. J.; MCCONNELL, R. A doubling of snow accumulation in the western Antarctic Peninsula since 1850. **Geophysical Research Letters**, v. 35, p. L01706, 2008.
- TRATHAN, P. N.; DAUNT, F. H. J.; MURPHY, E. J. (Eds.). **South Georgia: An Ecological Atlas**. Cambridge: British Antarctic Survey, 1996.
- TRATHAN, P. N.; FORCADA, J.; ATKINSON, R.; DOWNIE, R. H.; SHEARS, J. R. Population assessments of Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) breeding at an important Antarctic tourist site, Goudier Island, Port Lockroy, Palmer Archipelago, Antarctica. **Biology Conservation**, v. 141, p. 3019-3028, 2008.
- TRIVELPIECE, W. Z.; HINCKE, J. T.; MILLER, A. K.; REISS, C. S.; TRIVELPIECE, S. G.; WATTERS, G. M. Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica. **PNAS**, v. 108, p.7625-7628, 2011.
- TRIVELPIECE, W. Z.; TRIVELPIECE, S. G.; VOLKMAN, N. J. Ecological segregation of Adélie, Gentoo and Chinstrap Penguins at King George Island, Antarctica. **Ecology**, v. 68, p. 351-361, 1987.

TRIVELPIECE, W.; VOLKMAN, N.J. Nest-site competition between Adelie and Chinstrap Penguins: an ecological interpretation. **Auk**, v. 96, p. 675-681, 1979.

TURNER, J.; COLWELL, S. R.; MARSHALL, G. J.; LACHLAN-COPE, T. A.; CARLETON, A. M.; JONES, P. D.; LAGUN, V.; REID, P. A.; IAGOVKINA, S. Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 279-294, 2005a.

TURNER, J.; COMISO, J. C.; MARSHALL, G. J.; LACHLAN-COPE, T. A.; BRACEGIRDLE, T.; MAKSYM, T.; MEREDITH, M. P.; WANG, Z.; ORR, A. Non-annular atmospheric circulation change induced by stratospheric ozone depletion and its role in the recent increase of Antarctic sea ice extent. **Geophysical Research Letters**, v. 36, doi:10.1029/2009GL037524, 2009.

TURNER, J.; LACHLAN-COPE, T.; COLWELL, S.; MARSHALL, G. J. A positive trend in western Antarctic Peninsula precipitation over the last 50 years reflecting regional and Antarctic-wide atmospheric changes. **Annals Glaciology**, v. 41, p.85-91, 2005b.

VALENTINE, D. W.; SOULÉ, M. E.; SAMOLLO, P. Asymmetry analysis in fishes: a possible statistical indicator of environmental stress. **Fish Bulletin**, v. 71, p. 357-370, 1973.

VALENZUELA-GUERRA, P.; MORALES-MORAGA, D.; GONZÁLEZ-ACUÑA, D.; VIANNA, J. A. Geographic morphological variation of Gentoo penguin (*Pygoscelis papua*) and sex identification: using morphometric characters and molecular markers. **Polar Biology**, doi: 10.1007/s00300-013-1389-2, 2013.

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

WATSON, P. J.; THORNHILL, R. Fluctuating asymmetry and sexual selection. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 9, p. 21-25, 1994.

WAYNE, R. K.; MODI, W. S.; O'BRIEN, S. J. Morphological variability and asymmetry in the Cheetah (*Acinonyx jubatus*), a genetically uniform species. **Evolution**, v. 40, p. 78-85, 1986.

WILLIAMS, A. J. Factors affecting time of breeding of Gentoo penguins *Pygoscelis papua* at Marion Island. In: COOPER, J. (Ed.). **Proceedings of the Symposium on Birds of the Sea and Shore, 1979**. Cape Town: African Seabird Group, 1981, p. 451-459.

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

- WILLIAMS, T. D. Foraging ecology and diet of Gentoo penguins *Pygoscelis papua* at South Georgia during the winter and an assessment of their winter prey consumption. **Ibis**, v. 133, p. 3-13, 1991.
- WILLIAMS, T. D. **The penguins**. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- WILLIAMS, T. D.; BRIGGS, D. R.; CROXALL, J. P.; NAITO, A.; KATO, A. Diving pattern and performance in relation to foraging ecology in the Gentoo penguin, *Pygoscelis papua*. **Journal of Zoology**, v. 227, p. 211-230, 1992.
- WILSON, R. P. Resource partitioning and niche hyper-volume overlap in free-living pygoscelid penguins. **Functional Ecology**, v. 24, p. 646-657, 2010.
- WILSON, R. P.; ALVARREZ, B.; LATORRE, L.; ADELUNG, D.; CULIK, B.; BANNASCH, R. The movements of Gentoo penguins *Pygoscelis papua* from Ardley Island, Antarctica. **Polar Biology**, v. 19, p. 407-413, 1998.
- WILSON, R. P.; CULIK, B. M.; PETERS, G.; BANNASCH, R. Diving behavior of Gentoo Penguins, *Pygoscelis papua*; factors keeping dive profiles in shape. **Marine Biology**, v. 126, p. 153-162, 1996.
- WOEHLER, E. J. **The distribution and abundance of antarctic and subantarctic penguins**. Cambridge: Scientific Committee on Antarctic Research, 1993.

2. CAPÍTULO 1

RESPOSTAS DA POPULAÇÃO REPRODUTIVA DE *Pygoscelis papua* AOS EFEITOS DA VARIAÇÃO CLIMÁTICA NA ILHA ELEFANTE, ANTÁRTICA

2.1. Resumo

Ao longo das duas últimas décadas, os tamanhos populacionais de pinguim-papua vêm sendo caracterizado por grandes flutuações, em todos os locais de reprodução. Em Stinker Point, na Ilha Elefante, existem registros sobre o tamanho populacional da espécie e tais oscilações ao longo dos anos, porém as causas da variação do número de pares reprodutores não são bem compreendidas. Nesse estudo foram avaliadas as respostas do tamanho da população reprodutiva de pinguim-papua de acordo com fatores climáticos. Foi realizado o mapeamento da distribuição dos ninhos nos anos de 2010, 2011 e 2012. O número de pares reprodutores coletados em 2009 a 2012 e, de estudos pretéritos foram utilizados para detectar a variação do tamanho da população reprodutiva em resposta às condições meteorológicas. Foram utilizados o Índice de Oscilação Sul (SOI), o Índice de Oscilação Antártica (AOI), a temperatura média e mínima e a anomalia de temperatura. Foram registradas duas colônias de pinguim-papua organizadas em grupos reprodutivos ao longo da costa de Stinker Point que se mantiveram no mesmo local durante os anos de amostragem, porém com variações no perímetro, área e densidade dos ninhos. O número de pares reprodutores respondeu significativamente ao AOI e a anomalia de temperatura durante o início do período reprodutivo. Provavelmente pelas variações climáticas extremas interferirem na decisão dos indivíduos de reproduzir ou não em um determinado ano. Para papua que reproduz a partir de 46°S a 65°S, as mudanças ambientais diferem entre regiões e compreender as respostas populacionais que podem ser diversas em relação à posição geográfica, justifica as análises locais para que seja possível estabelecer um panorama global.

Palavras-chave: anomalia de temperatura, flutuações populacionais, Índice de Oscilação Antártica, mapeamento, pinguim-papua.

2.2. Introdução

As populações de pinguim-papua (*Pygoscelis papua* (Forster, 1781)) são encontradas desde a latitude do Cabo Tuxon na Península Antártica (65°16'S) até as Ilhas Crozet (46°00'S) (Lynch 2011). Ao longo de sua extensa distribuição, pinguim-papua apresenta extrema variabilidade e uma alta plasticidade em muitos aspectos da sua ecologia, exibindo variações contrastantes entre populações. Esta plasticidade reflete duas características importantes de suas populações: reproduzem sobre uma ampla gama de habitats circumpolares (Woehler 1993), porém, as populações estão restritas à ilhas de reprodução e faixas de forrageio

(Trivelpiece et al. 1987; Williams et al. 1992). Por serem consumidores oportunistas são capazes de se alimentarem com êxito nos diferentes habitats que ocorrem e com uma variedade de presas (Miller et al. 2009). No entanto, por ser um consumidor costeiro e permanecer próximo de suas colônias de reprodução durante todo o ano, o pinguim-papua é altamente dependente da disponibilidade de recursos locais. Portanto, qualquer mudança regional tem um impacto maior sobre estes pinguins (Trivelpiece et al. 1987; Bost e Jouventin 1990; Wilson et al. 1998; Lescroël e Bost 2006), podendo responder as mudanças no ambiente marinho e a disponibilidade de presas em escalas de tempo relativamente curtas (Miller et al. 2010). Ao longo das duas últimas décadas, as populações de pinguim-papua vêm sendo caracterizadas por grandes flutuações, em todos os locais de reprodução monitorados. O alto grau de variação interanual do número de pares reprodutores de pinguim-papua tem sido apontado como consequência, de diversos fatores, como as mudanças no clima, a disponibilidade de krill antártico (*Euphasia superba*), a disponibilidade de áreas livres de gelo para reprodução, e ao aumento nas atividades de turismo e pesca no ambiente antártico (Fraser et al. 1992; Woehler e Croxall 1997; Ellis et al. 1998; Smith et al. 1999; Croxall et al. 2002; Hinke et al. 2007). Apesar do pinguim-papua estar presente em muitas ilhas Subantárticas e na Península Antártica, ele continua a ser o pinguim menos estudado, além disso, muitos estudos são de curta duração ou multiespecífico (Bost e Jouventin 1990; Woehler e Croxall 1997; Woehler et al. 2001). Dificultando a formulação de hipóteses para explicar as variações demográficas observadas ao longo do tempo nesta espécie (Woehler et al. 2001), acentuando a necessidade de monitoramento constante no tamanho das populações e a busca de possíveis explicações para compreensão do fenômeno.

Estudos têm relatado efeitos importantes da recente mudança climática sobre as espécies da Antártica, porém as respostas demográficas de aves marinhas antárticas ao clima são desconhecidas para a maioria das espécies. Para pinguim-papua, existem dois estudos que investigaram a variação interanual do número de pares reprodutores com índices de oscilações climáticas um na Geórgia do Sul (Trathan et al. 2006) e outro nas Ilhas Falklands (Baylis et al. 2012). Estes estudos encontraram relações positivas destacando os pinguins-papua como indicadores sensíveis aos impactos das oscilações climáticas sobre a dinâmica populacional, mediadas através de alterações na cadeia alimentar e interações tróficas entre predador e presa. Em Stinker Point, na Ilha Elefante, poucas informações de tamanho populacional do pinguim-papua têm-se obtido ao longo dos anos (Furse e Bruce 1972; Petry 1994). Apesar dos registros do número de pares reprodutores ao longo de 40 anos, há longos períodos com ausência de informações, de forma que a dinâmica populacional nessa região é pouco

conhecida e as causas da variação do número de pares reprodutores não são bem compreendidas. Além disso, é difícil compreender como as populações reagem à variação ambiental em virtude dos amplos e complexos padrões regionais na mudança da população de pinguim-papua (Trathan et al. 2007).

Pinguins são adaptados a viver em condições ambientais extremas, tais como temperaturas médias de até 40 graus negativos, mas eles podem ser altamente sensíveis a perturbações climáticas, a exemplo de frequentes tempestades com grandes eventos de precipitação e maiores taxas de acúmulo de neve, e por sua vez responderem rapidamente a forçantes físicas do seu ambiente (Croxall 1992; Fraser et al. 1992; Loeb et al. 1997; Wilson et al. 2001; Ainley 2002). Eventos climáticos extremos exercem influência significativa na estrutura do ecossistema local que podem afetar também os recursos disponíveis para os predadores de topo da cadeia trófica como os pinguins (Reid e Croxall 2001; Stenseth et al. 2003; Montevecchi et al. 2006). Além disso, as variações climáticas anuais podem afetar o momento da postura, induzir adultos reprodutores a abandonar seus ninhos ou filhotes, como resposta a limitações climáticas, afetando o tamanho da população reprodutiva, influenciando os parâmetros populacionais e a dinâmica da colônia (Croxall et al. 2002; Barbraud e Weimerskirch 2006; Mallory et al. 2009; Rolland et al. 2010). As variações de fenômenos climáticos, como o El Niño – Oscilação Sul e a Oscilação Antártica influenciam as oscilações climáticas de temperatura, vento e pressão da Antártica (Kwok e Comiso 2002; Thompson e Solomon 2002; Schneider et al. 2004; Turner et al. 2005; Changzheng e Feng 2010). Além das mudanças climáticas, os índices de oscilação têm ajudado a explicar as grandes mudanças demográficas em populações de aves marinhas (Trillmich e Limberger 1985; Boersma 1998; Forcada et al. 2005; Ainley e Hyrenbach 2010; Rolland et al. 2010). Neste contexto, o presente estudo tem como objetivos: 1) descrever a distribuição atual das áreas de reprodução de pinguim-papua em Stinker Point, Ilha Elefante; 2) comparar o perímetro, a área e a densidade de ninhos da espécie durante o período reprodutivo de 2010-2012 e 3) avaliar as repostas do tamanho da população reprodutiva de pinguim-papua durante o período de 2009-2012 e de estudos pretéritos de acordo com fatores climáticos.

2.3. Material e Métodos

2.3.1. Área de estudo

A Ilha Elefante é a maior ilha do grupo norte do Arquipélago das Shetlands do Sul, situada a 153 km a nordeste da Ilha Rei George no Estreito de Bransfield, Antártica (Harris et al. 2011). Stinker Point está localizada a sudoeste da Ilha Elefante (61°13'S; 55°22'W) (Figura 1). Formado por um pequeno planalto com altitude atingido cerca de 100 m acima do nível do mar, apresenta 2,3 km de comprimento por 0,5 km de largura de extensão de terra livre de gelo (Petry 1994). Stinker Point é uma área importante para reprodução de aves marinhas (IBA nº 071) segundo o relatório “*Important Bird Areas in Antarctica*” (Harris et al. 2011). As primeiras informações sobre a ocorrência de aves neste local foi realizada por Furse e Bruce (1972), Conroy et al. (1975), Furse e Bruce (1975), Furse (1979), Croxall e Kirkwood (1979). A partir de 1985, outros estudos sobre aves foram realizados (Sander et al. 1988; Bastos e Sander 1989; Petry 1994; Patterson et al. 2008; Petry et al. 2013a; Petry et al. 2013b), e de acordo com Petry (1994) e Petry et al. (2013a) 13 espécies nidificam na região, entre elas o pinguim-papua.

2.3.2. Amostragem e análises estatísticas

O trabalho foi realizado nas áreas de reprodução de pinguim-papua durante o período reprodutivo de 2009 a 2012, em Stinker Point. O mapeamento da distribuição de pinguim-papua foi realizado nos anos de 2010, 2011 e 2012 utilizando um receptor GPS de mão (60CSx, Garmin) com precisão média de ± 5 m. Para a realização do mapeamento foram extraídos pontos geográficos, circundando a borda dos grupos reprodutivos. O mapa das áreas de reprodução foi elaborado através do Programa ArcGis 10.0. O perímetro, a área e a densidade de ninhos (razão do número total de pares reprodutores pela área total ocupada pelas colônias de reprodução) ocupados pelas colônias de reprodução foram calculados.

A contagem direta do número de ninhos de pinguim-papua foi realizada por três observadores, durante o período de incubação, para estimar o número de pares reprodutores. Os observadores realizaram contagens simultâneas por pontos fixos na borda de cada grupo reprodutivo com aproximadamente 100 ninhos (Jablónski 1984a). A população total foi determinada para área de Stinker Point pela média das contagens totais de cada observador para cada colônia de acordo com a metodologia sugerida pela Comissão para Conservação

dos Recursos Vivos Marinhos da Antártica (CCAMLR), através do Programa de Monitoramento de Ecossistemas (CEMP) (CCAMLR 2004).

O número de pares reprodutores coletados em 2009, 2010, 2011, 2012 e, de estudos pretéritos de 1970 (Furse e Bruce 1972), 1987, 1988 e 1991 (Petry 1994) foi utilizado para detectar a variação do tamanho da população reprodutiva em resposta às condições meteorológicas. Foram utilizados o Índice de Oscilação Sul (SOI – componente atmosférico do El-Niño) e o Índice de Oscilação Antártica (AOI - diferença da pressão atmosférica ao nível do mar média zonal normalizada entre as latitudes de 40° e 65° S) obtidos através do banco de dados do NOAA (www.noaa.gov). A temperatura média e mínima foram obtidas através do resumo de dados meteorológicos do INPE da Estação Antártica Comandante Ferraz (www.antartica.cptec.inpe.br). Os meses de amostragens analisados foram no início do período reprodutivo, ou seja, os meses de outubro, novembro e dezembro (O-N-D) do mesmo ano, o inverno nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro do mesmo ano e o verão anterior nos meses de outubro, novembro e dezembro do ano anterior e janeiro, fevereiro e março do mesmo ano. Foi calculada a anomalia de temperatura obtida a partir da diferença da média da temperatura de cada período (O-N-D, Inverno e Verão anterior) e em relação à média histórica de cada período entre 1970 e 2012, a partir dos dados fornecidos pelo INPE. Esperando respostas quadráticas do número de pares reprodutores à anomalia, ou seja, decréscimo no número de pares nos valores extremos, a anomalia foi padronizada extraíndo a raiz quadrada do valor da anomalia ao quadrado. Assim os valores negativos foram eliminados e apenas foi mantida a intensidade de variação como valor positivo. Para analisar as respostas dos pares reprodutores de pinguim-papua ao SOI, AOI, temperatura média, temperatura mínima e anomalia de temperatura o número de pares reprodutores foram transformados em logaritmos e foi aplicada a análise de Covariância (ANCOVA), testando a significância por Bootstrap utilizando-se o programa SPSS 18.0 (SPSS 2009). Para resultados significativos, considerou-se $P \leq 0,05$.

2.4. Resultados

Foram registradas duas colônias de pinguim-papua: uma nomeada como colônia A e outra nomeada como colônia B ao longo da linha da costa na região de Stinker Point, Ilha Elefante (Figura 2). O perímetro, o tamanho da área e a densidade de ninhos em ambas as colônias variaram entre os anos de 2010, 2011 e 2012 (Tabela 1). Estas colônias estão separadas por costões e apresentam mais de 500 m de distância entre si. A colônia A é

pequena possui forma alongada e composta por um grupo reprodutivo, localizada em terreno elevado em forma de pequena crista com o topo aplainado, entre a praia e a encosta até seis metros acima do nível do mar. A colônia B, apresenta maior tamanho e é composta por dois grupos reprodutivos. Os grupos reprodutivos possuem forma alongada localizados em terrenos elevados em forma de pequenas cristas com os topos aplainados e alguns levemente inclinados, entre a praia e a encosta a 10 m e 30 m acima do nível do mar.

Ao longo dos últimos 40 anos (1970 a 2012) o tamanho populacional de pinguim-papua têm apresentado flutuações sazonais em Stinker Point (Média = 1501, Máxima = 2192, Mínima = 915 e Desvio Padrão = 465) (Figura 3), com variações de 3% a 111%. Foram registrados 915 pares reprodutores em 2009, 941 pares em 2010, 1652 em 2011 e 1507 em 2012. Com relação a primeira contagem de pares reprodutores em 1970, quando foram registrados 1000 pares, com a contagem mais recente feita em 2012, com 1507 pares, houve um aumento de cerca de 51%. A maior contagem foi 2192 pares em 1988 e com relação à contagem mais recente, houve uma redução de 45% pares reprodutores. A população aumentou entre 1970-1987 e 1987-1988, em contraste com os períodos de 1988-1991 e 1991-2010, quando os pares reprodutores diminuíram e em 2011 e 2012 é observado novamente um aumento do número de pares reprodutores (Figura 3).

O número de pares reprodutores respondeu positivamente ao AOI (Figura 4) e negativamente a anomalia de temperatura (Figura 5), mas somente durante o início do período reprodutivo (O-N-D) e detectada uma resposta marginalmente significativa à anomalia de temperatura no verão anterior (Tabela 2). Os valores negativos do AOI e os extremos positivos e negativos da anomalia de temperatura tendem a causar a redução da população reprodutiva de pinguim-papua. A resposta dos pares reprodutores ao SOI (Figura 6), temperatura média (Figura 7) e mínima (Figura 8) não foram significativas (Tabela 2).

2.5. Discussão

As colônias de reprodução de pinguim-papua, organizadas em grupos reprodutivos ao longo da costa de Stinker Point, mantiveram-se no mesmo local durante os anos de amostragem de 2010, 2011 e 2012 (Figura 2), porém com variações no perímetro, área e densidade dos ninhos (Tabela 1). Em 1970, Furse e Bruce (1972) registraram para toda a área 1000 pares reprodutores localizados na colônia B. Nos anos de 1986 a 1993, Petry (1994) registrou o aumento de pares reprodutores, que duplicou e manteve-se na colônia B e sugeriu ainda a expansão da área de reprodução da espécie para a colônia A, não mencionada por

Furse e Bruce (1972). Neste sentido, observa-se que a área de nidificação de pinguim-papua permaneceu a mesma após a sua expansão em Stinker Point conforme registrado por Petry (1994). Porém, pequenas mudanças na distribuição em torno da área geográfica ocupada (expansão ou retração) pelos grupos reprodutivos ocorrem anualmente (Figura 2). Além disso, a densidade dos ninhos de pinguim-papua foi de 0,1-1,2 ninhos por metro quadrado, apresentando uma densidade relativamente baixa e com variação anual (Tabela 1). No entanto, a densidade dos ninhos dos pygoscelídeos são geralmente mais baixas do que de outras espécies de pinguins, com média de 0,3-1,4 ninhos por metro quadrado (Williams 1995). A densidade de ninhos de pinguim-papua registrada para a Península Antártica é em média de 0,2-0,4 por metro quadrado.

Dentre as condições naturais que regulam o tamanho das populações de aves, está a disponibilidade de locais de reprodução que pode ser afetada pelas mudanças de microclima nos locais para construção dos ninhos (Yeates 1975; Carlini et al. 2009). Nas estações reprodutivas de 2009 e 2012 houve a precipitação de uma grande quantidade de neve no início do período da incubação dos ovos, quando muitos pares reprodutores perderam seus ovos e abandonaram seus ninhos em ambas as colônias. Fato semelhante foi observado na estação reprodutiva de 2009 na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, e em Cape Shirreff, Ilha Livingston, devido a maior cobertura de neve no início do período reprodutivo afetando significativamente as três espécies de pygoscelídeos (Pietrzak et al. 2011; Trivelpiece et al. 2011a). Em Stinker Point, o pinguim-papua é encontrado em menor densidade do que o pinguim-antártico (*Pygoscelis antarcticus*) (Petry 1994) e foi observada uma maior redução de pares reprodutores em pinguim-antártico nesse período do que em pinguim-papua (Piuco et al. 2011). Indicando que em condições climáticas desfavoráveis a redução populacional é mais drástica em populações com densidades maiores do que em populações com densidades mais baixas (Barbraud e Weimerskirch 2003). Pinguim-papua, por ser uma espécie residente e permanecer próxima as suas colônias de reprodução ao longo do ano, são excelentes colonizadoras de áreas mais adequadas em terrenos mais elevados para reprodução. Nesses locais a neve tende a derreter primeiro durante o verão e, além disso, o terreno para construção do ninho é plano, o que ajuda a estabilizar seus ninhos (Jablònski 1984b). Esta é uma característica significativa para a espécie que, além disso, pode mudar a posição dos grupos reprodutivos a cada ano, conforme as condições ambientais locais como registrado neste estudo. Nas ilhas Subantárticas as colônias de papua se deslocam até centenas de metros anualmente (Bost e Jouventin 1990).

Comparando os resultados atuais com estudos de Furse e Bruce (1972) e Petry (1994), é possível verificar que a população de pinguim-papua, em Stinker Point é caracterizada por grandes flutuações populacionais anuais (Figura 3). Essas flutuações estão de acordo com as já registradas para o Arquipélago das Shetlands do Sul na Ilha Rei George: Baía do Almirantado (Jablónski 1984b; Sierakowski 1991; Ciaputa e Sierakowski 1999; Hinke et al. 2007), Península Potter (Aguirre 1995; Hahn et al. 1998; Carlini et al. 2009) e Ilha Ardley (Yañez et al. 1984; Peter et al. 2008), na Ilha Nelson (Silva et al. 1998) e para a Península Antártica: Port Lockroy (Cobley e Shears 1999), Cierva Point (Quintana et al. 2000; Quintana e Cirelli 2000) e Ilha Goudier (Trathan et al. 2008).

As variações do AOI e da anomalia de temperatura influenciaram as populações de pinguim-papua na área de Stinker Point. Estes resultados ajudam a explicar as flutuações sazonais no número de pares reprodutores de pinguim-papua. A definição de Gong e Wang (1999) de AOI é a diferença de pressão zonal média entre a zona subantártica e zona antártica ($AOI = P^*_{40^{\circ}S} - P^*_{65^{\circ}S}$, onde P^* é a pressão zonal média normalizada). Assim sendo, em períodos de AOI positivo, as pressões zonais atmosféricas na região da Península Antártica são baixas (Stammerjohn et al. 2008; Fogt et al. 2011; Turner et al. 2013), o que deve favorecer o deslocamento de frentes zonais quentes em direção à Península Antártica (Kwok e Comiso 2002) e está negativamente relacionado ao deslocamento de frentes frias à região (Changzheng e Feng 2010). Enquanto que, períodos de AOI negativo estão associados com maiores pressões nas latitudes acima de 65°S e indica deslocamento de frentes frias do Continente Antártico em direção ao Oceano Atlântico. Tal variação está associada à ventos mais fortes e tempestades severas que se deslocam em sentido oeste-leste na região da Península Antártica (Kwok e Comiso 2002; Thompson e Solomon 2002; Schneider et al. 2004). Isso poderia ser uma das justificativas do baixo número de pares reprodutores em resposta ao AOI e a anomalia de temperatura. A resposta ao AOI negativo estaria associada provavelmente à limitação imposta por um clima severo no início do período reprodutivo, e possivelmente a resposta ao aumento de temperatura (anomalia positiva) às alterações da teia trófica associadas ao aquecimento das águas superficiais (Trievpiece et al. 2011b), enquanto a resposta à anomalia negativa (redução de temperatura) estaria associada à menor disponibilidade de áreas livres de gelo no início do período reprodutivo (Cobley e Shears 1999; Cobley et al. 2000; Trathan et al. 2008; Pietrzak et al. 2011; Trivelpiece et al. 2011a). Associamos as variações do número de pares reprodutores no início do período reprodutivo ao efeito dos pinguins evitarem os custos da reprodução e/ou sua interrupção em um determinado ano em resposta a eventos climáticos extremos ou baixa produtividade e redução de suas

principais presas, para garantir sua sobrevivência e aumentar a chance de reprodução em anos favoráveis (Drent e Dann 1980; Erikstad et al. 1998). Conforme Hinke et al. (2007) nos anos em que a produtividade e/ou as principais presas são reduzidas durante o período não reprodutivo a condição corporal e a sobrevivência do indivíduo pode ficar comprometida durante o período reprodutivo. Os resultados desse estudo indicam que a influência climática à curto prazo parece ser mais predominante em determinar a reprodução do que à médio (Inverno) e longo prazo (Verão anterior). É provável que em condições climáticas extremas apenas adultos experientes efetivem a reprodução a fim do sucesso reprodutivo. Trathan et al. (2006) mostraram uma forte relação no desempenho da reprodução de pinguim-papua com a temperatura da superfície do mar na Geórgia do Sul no período que antecede a reprodução, sugerindo que níveis reduzidos de disponibilidade de presas estão ligadas a períodos anormalmente quentes, afetando a condição de reprodução dessa espécie.

Por outro lado, há diferenças evidentes no número de pares reprodutores de pinguim-papua entre os locais de reprodução e os anos que, potencialmente, refletem as complexas interações entre pinguins, suas presas e o meio ambiente em nível regional e até mesmo local (Forcada et al. 2006). Por exemplo, Forcada e Trathan (2009) demonstram que a variação no tamanho da população reprodutiva na Ilha Bird, Geórgia do Sul, responde negativamente à variação de AOI, enquanto uma população na Ilha Signy, Orkney do Sul (mais próxima da Ilha Elefante), apresenta uma resposta positiva, similar à encontrada nesse estudo. O comportamento oportunista desta espécie permite explorar distintas fontes alimentares. Essa característica permitiu a recente expansão e aumento da espécie na Península Antártica, principalmente em resposta ao aumento de temperatura e redução do gelo marinho na região (Forcada et al. 2006; Hinke et al. 2007; Lynch et al. 2008; Schofield et al. 2010; Naveen et al. 2011).

Embora as variações de anomalia de temperatura e extremos do AOI na Península Antártica possam ser relacionadas às variações do El-Niño Oscilação Sul (ENSO) (Kwok e Comiso 2002; Changzheng e Feng 2010; Turner et al. 2013), a relação de resposta temporal complexa do clima antártico à variação do ENSO parece não coincidir com a escala de resposta de pinguim-papua, pelos presentes resultados. Por outro lado, espera-se uma resposta climática na Antártica à variação do ENSO com um intervalo temporal médio de 13 meses, e tal resposta das aves não foi testada. Apesar de Baylis et al. (2012) terem encontrado uma correlação positiva entre o número de pares reprodutores e o SOI em larga escala nas Ilhas Flaklands do Sul, o SOI foi significativamente correlacionado as anomalias de temperatura do mar na primavera, indicando uma resposta atmosférica mais imediata para o ENSO no

Atlântico Sudoeste. Espécies de pinguins dependentes do gelo apresentam uma resposta clara à variação do El-Niño, quando as variações positivas de ENSO afetam à variação da extensão da camada de gelo (Ballerini et al. 2009; Forcada e Trathan 2009), em uma tendência oposta às populações de papua, espécie não dependente do gelo (Croxall 1992; Fraser et al. 1992; Wilson et al. 2001; Hinke et al. 2007). Isso reflete a complexidade das interações e para papua que reproduz a partir de 46°S a 65°S, as mudanças ambientais diferem entre regiões e compreender as respostas populacionais que podem ser diversas em relação à posição geográfica, justifica as análises locais para que seja possível estabelecer um panorama global.

2.6. Agradecimentos

Este trabalho integra o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT-APA), que recebe apoio científico e financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq processo: nº 574018/2008-5) e Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ processo: nº 26/170.023/2008). Os autores também agradecem o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

2.7. Referência

- Aguirre CA (1995) Distribution and abundance of birds in the region of Potter Cove and Stranger Point, King George Island, South Shetlands, Antarctica. *Mar Ornithol* 23:23–31
- Ainley DG (2002) *The Adélie penguin: bellwether of climate change*. Columbia Press, New York
- Ainley DG, Hyrenbach DK (2010) Top-down and bottom-up factors affecting seabird population trends in the California current system (1985–2006). *Prog Oceanogr* 84:242–254. doi: 10.1016/j.pocean.2009.10.001
- Ballerini T, Tavecchia G, Olmastroni S et al (2009) Nonlinear effects of winter sea ice on the survival probabilities of Adélie penguins. *Oecologia* 161:253–265. doi: 10.1007/s00442-009-1387-9
- Barbraud C, Weimerskirch H (2006) Antarctic birds breed later in response to climate change. *Proc Nat Acad Sci* 103(16):6248–6251. doi: 10.1073/pnas.0510397103

- Barbraud C, Weimerskirch H (2003) Climate and density shape populations dynamics of a marine top predator. *Proc R Soc Lond* 270:2111–2116. doi: 10.1098/rspb.2003.2488
- Bastos VL, Sander M (1989) Nota sobre o conteúdo estomacal de *Macronectes giganteus* (Gmelin, 1789) em Stinker Point (61° 21'S; 55° 20'W) na Ilha Elefante, Arquipélago da Shetland do Sul, Antártica. (Aves – Procellariidae). *Acta Biol Leopoldensia* 11:47–53
- Baylis AMM, Zuur AF, Brickle P, Pistorius PA (2012) Climate as a driver of population variability in breeding Gentoo Penguins *Pygoscelis papua* at the Falkland Islands. *Ibis* 154:30–41. doi: 10.1111/j.1474-919X.2011.01179.x
- Boersma PD (1998) Trends of the Galápagos Penguin: impacts of El Niño and La Niña. *Condor* 2:245–253.
- Bost CA, Jouventin P (1990) Evolutionary ecology of Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*). In: Davis LS, Darby JT (eds) *Penguin biology*. Academic Press, London pp 85–112
- Carlini AR, Coria NR, Santos MM et al (2009) Responses of *Pygoscelis adeliae* and *P. papua* populations to environmental changes at Isla 25 de Mayo (King George Island). *Polar Biol* 32:1427–1433. doi: 10.1007/s00300-009-0637-y
- CCAMLR (2004) Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. Tasmania, Australia. www.ccamlr.org. Acessado em 24 Maio de 2013
- Changzheng L, Feng X (2010) The relationship between the canonical ENSO and the phase transitions of the Antarctic oscillation at the quasi-quadrennial timescale. *Acta Oceanol* 29:26–34. doi: 10.1007/s13131-010-0073-4
- Ciaputa P, Sierakowski K (1999) Long-term population changes of adélie, chinstrap and gentoo penguins in the regions of SSSI No.8 and SSSI No. 34, King George Island, Antarctica. *Pol Polar Res* 20:355–365
- Cobley ND, Shears JR (1999) Breeding performance of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) at a colony exposed to high levels of human disturbance. *Polar Biol* 21:355–360. doi: 10.1007/s003000050373
- Cobley ND, Shears JR, Downie, RH (2000) The impacts of tourists on Gentoo penguins at Port Lockroy, Antarctic Peninsula. In: Davison W, Howard-Williams C, Broady P (eds) *Antarctic Ecosystems: Models for Wider Ecological Understanding*. New Zealand Natural Sciences, Christchurch, pp 319–323
- Conroy JWH (1975) Recent increases in penguin population in Antarctica and the Subantarctic. In: Stonehouse B (ed) *The biology of penguins*. The Macmillan Press Ltd, London 15:321–336

- Croxall JP (1992) Southern Ocean environmental changes: effects on seabird, seal and whale populations. *Philos Trans of the R Soc, Lond B* 338:319–328
- Croxall JP, Kirkwood ED (1979) The distribution of penguins on the Antarctic Peninsula and islands of the Scotia Sea. *BAS, Cambridge*
- Croxall JP, Trathan PN, Murphy EJ (2002) Environmental change and antarctic seabird populations. *Science* 297:1510–1514. doi: 10.1126/science.1071987
- Drent RH, Dann S (1980) The prudent parent: energetic adjustments in avian breeding. *Ardea* 68:225–252
- Ellis S, Croxall JP, Cooper J (1998) Penguin Conservation Assessment and Management Plan. Report. IUCN/SSC Conservation Breeding Specialist Group, Apple Valley, MN, USA
- Erikstad KE, Fauchald P, Tveraa T, Steen H (1998) On the cost of reproduction in long-lived birds: the influence of environmental variability. *Ecology* 79:1781–1788
- Fogt RL, Bromwich DH, Hines KM (2011) Understanding the SAM influence on the South Pacific ENSO teleconnection. *Clim Dynam* 36(7–8):1555–1576. doi: 10.1007/s00382-010-0905-0
- Forcada J, Trathan PN (2009) Penguin responses to climate change in the Southern Ocean. *Glob Change Biol* 15:1618–1630. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01909.x
- Forcada J, Trathan PN, Reid K, Murphy EJ (2005) The effects of global climate variability in pup production of Antarctic fur seals. *Ecology* 86:2408–2417. doi: 10.1890/04-1153
- Forcada J, Trathan PN, Reid K et al (2006) Contrasting population changes in sympatric penguin species in association with climate warming. *Glob Change Biol* 12:1–13. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01108.x
- Fraser W, Trivelpiece WZ, Ainley DG, Trivelpiece SG (1992) Increases in Antarctic penguin populations: reduced competition with whales or a loss of sea ice due to environmental warming? *Polar Biol* 11:525–531. doi: 10.1007/BF00237945
- Furse C (1979) *Elephant Island: an Antarctic expedition*. Anthony Nelson, Shrewsbury
- Furse JR, Bruce G (1975) Birds of the Elephant Island group. *Ibis* 117:529–531. doi: 10.1111/j.1474-919X.1975.tb04251.x
- Furse JR, Bruce G (1972) Ornithology Report. In: Burley MK (ed) *Joint service expedition: Elephant Island, 1970-1971, Annex F*. Ministry of Defense, London, pp F1–F11
- Gong D, Wang S (1999) Definition of Antarctic Oscillation index. *Geophys Res Lett* 26:459–462. doi: 10.1029/1999GL900003
- Hahn S, Peter H-U, Quillfeldt P, Reinhardt K (1998) The birds of the Potter Peninsula, King George Island, South Shetland Islands, Antarctica, 1965–1998. *Mar Ornithol* 26:1–6

- Harris CM, Carr R, Lorenz K, Jones S (2011) Important Bird Areas in Antarctica: Antarctic Peninsula, South Shetland Islands, South Orkney Islands – Final Report. Environmental Research & Assessment Ltd, Cambridge
- Hinke JT, Salwicka K, Trivelpiece SG et al (2007) Divergent responses of *Pygoscelis* penguins reveal common environmental driver. *Oecologia* 153:845–855. doi: 10.1007/s00442-007-0781-4
- Jablónski B (1984a) Distribution and numbers of penguins in the region of King George Island (South Shetlands Islands) in the breeding season 1980/1981. *Pol Polar Res* 5:17–29
- Jablónski B (1984b) Distribution, numbers and breeding preferences of penguins in the region of the Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands) in the season 1979/1980. *Pol Polar Res* 5:5–16
- Kwok R, Comiso JC (2002) Southern Ocean climate and sea ice anomalies associated with the Southern Oscillation. *J Climate* 15:487–501. doi: 10.1175/1520-0442(2002)015<0487:SOCASI>2.0.CO;2
- Lescroël A, Bost CA (2006) Recent decrease in gentoo penguin populations at Iles Kerguelen. *Antarct Sci* 18:171–174. doi: 10.1017/S0954102006000198
- Loeb V, Siegel V, Holm-Hansen O et al (1997) Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the antarctic food web. *Nature* 397:897–900
- Lynch HL (2011) The gentoo penguin (*Pygoscelis papua*). In: García Borboroglu PG, Boersma PD (eds) *Biology and Conservation of the World's penguins*. University of Washington Press, Seattle U.S.A.
- Lynch HJ, Naveen R, Fagan WF (2008) Censuses of penguin, blue-eyed shag *Phalacrocorax atriceps* and southern giant petrel *Macronectes giganteus* populations in the Antarctic Peninsula, 2001–2007. *Mar Ornithol* 36:83–97
- Mallory ML, Gaston AJ, Forbes MR, Gilchris HG (2009) Influence of weather on reproductive success of northern fulmars in the Canadian high Arctic. *Polar Biol* 32:529–538. doi: 10.1007/s00300-008-0547-4
- Miller AK, Kappes MA, Trivelpiece SG, Trivelpiece WZ (2010) Foraging niche separation of breeding gentoo and chinstrap penguins, South Shetland Islands, Antarctica. *Condor* 112:683–695. doi: 10.1525/cond.2010.090221
- Miller AK, Karnovsky NJ, Trivelpiece WZ (2009) Flexible foraging strategies of gentoo penguins *Pygoscelis papua* over 5 years in the South Shetland Islands, Antarctica. *Mar Biol* 156:2527–2537. doi: 10.1007/s00227-009-1277-z

- Montevecchi WA, Garthe S, Davoren GK (2006) Biophysical influences on seabird trophic assessments. In: Boyd IL, Wanless S, Camphuysen CJ (eds) Top Predators in Marine Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, pp 28–45
- Naveen R, Lynch HJ (2011) Antarctic Peninsula Compendium, 3rd edn. Environmental Protection Agency, Washington
- Patterson DL, Woehler EJ, Croxall JP et al (2008) Breeding distribution and population status of the Northern Giant Petrel *Macronectes halli* and the Southern Giant Petrel *M. giganteus*. Mar Ornithol 36:115–124
- Peter H-U, Buesser C, Mustafa O, Pfeiffer S (2008) Risk assessment for the Fildes Peninsula and Ardley Island and the development of management plans for designation as Antarctic Specially Protected or Managed Areas. Texte 20/08, Federal Environmental Agency, Dessau-Roßlau
- Petry MV (1994) Distribuição espacial e aspectos populacionais da avifauna de Sitnker Point – Ilha Elefante – Shetland do Sul – Antártica. Dissertação, Universidade do Vale do Rio dos Sinos
- Petry MV, Basler AB, Valls FCL, Krüger L (2013a) New southerly breeding location of king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) on Elephant Island (Maritime Antarctic). Polar Biol 36:603–606. doi: 10.1007/s00300-012-1277-1
- Petry MV, Rossi LC, Maciel FO, Petersen ES (2013b) First record of the rockhopper penguin *Eudyptes chrysocome* at Elephant Island, South Shetland Islands. Pan-Am J Aquat Sci 8(2):147–151
- Pietrzak KW, Mudge ML, Trivelpiece WZ (2011) Seabird Research at Cape Shirreff , Livingston Island, Antarctica. In: Cise AV (ed) AMLR 2009/2010 field season report: objectives, accomplishments and tentative conclusions. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-470, U.S. Department of Commerce, pp 24–27
- Piucó RC, Brummelhaus J, Petry MV, Sander M (2011) Population fluctuation of *Pygoscelis papua* and *Pygoscelis antarctica*, Elephant Island, South Shetlands, Antarctica. In: Valentin YY, Dalto AG, Lavrado HP (eds) Annual Activity Report 2011 (INCT-APA). Editora Cubo, São Carlos, pp 84–87
- Quintana RD, Cirelli V (2000) Breeding dynamics of a gentoo penguin *Pygoscelis papua* population at Cierva Point, Antarctic Peninsula. Mar Ornithol 28:29–35
- Quintana RD, Cirelli V, Orgeira JL (2000) Abundance and spatial distribution of bird populations at Cierva Point, Antarctic Peninsula. Mar Ornithol 28:21–27

- Reid K, Croxall JP (2001) Environmental response of upper trophic-level predators reveals a system change in an Antarctic marine ecosystem. *Proc R Soc Lond Ser B* 268:377–384. doi: 10.1098/rspb.2000.1371
- Rolland V, Weimerskirch H, Barbraud C (2010) Relative influence of fisheries and climate on the demography of four albatross species. *Glob Change Biol* 16:1910–1922
- Sander M, Strieder MN, Scherer Neto P (1988) Registro de *Calidris fuscicollis* (Vieillot, 1819) na Ilha Elefante, Shetland do Sul, Antártica. (Aves – Scolopacidae). *Acta Biol Leopoldensia* 10:37–40
- Schneider DP, Steig EJ, Comiso JC (2004) Recent Climate Variability in Antarctica from Satellite-Derived Temperature Data. *J Climate* 17:1569–1583. doi: 10.1175/1520-0442(2004)017<1569:RCVIAF>2.0.CO;2
- Schofield O, Ducklow HW, Martinson DG et al (2010) How do polar marine ecosystems respond to rapid climate change? *Science* 328:1520–1523
- Sierakowski K (1991) Birds and mammals in the region of SSSI No. 8 in the season 1988/89 (South Shetlands, King George Island, Admiralty Bay). *Pol Polar Res* 12:25–54
- Silva P, Favero M, Casaux R, Baroni A (1998) The status of breeding birds at Harmony Point, Nelson Island, South Shetland Islands, Antarctica in summer 1995/96. *Mar Ornithol* 26:75–78
- Smith RC, Ainley D, Baker K et al (1999) Marine ecosystem sensitivity to climate change. *Bioscience* 49:393–404
- SPSS (2009) SPSS Base 10.0 User's Guide. SPSS Inc., Chicago
- Stammerjohn S, Martinson DG, Smith RC et al (2008) Trends in Antarctic annual sea ice retreat and advance and their relation to El Niño-Southern Oscillation and Southern Annular Mode variability. *J Geophys Res* 113. doi: 10.1029/2007JC004269
- Stenseth NC, Ottersen G, Hurrell JW et al (2003) Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proc R Soc Lond B* 270: 2087–2096. doi:10.1098/rspb.2003.2415
- Thompson DWJ, Solomon S (2002) Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. *Science* 296:895–899. doi: 10.1126/science.1069270
- Trathan PN, Forcada J, Murphy EJ (2007) Environmental forcing and Southern Ocean marine predator populations: effects of climate change and variability. *Philos T Roy Soc B* 362:2351–2365. doi: 10.1098/rstb.2006.1953

- Trathan PN, Forcada J, Atkinson R et al (2008) Population assessments of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) breeding at an important Antarctic tourist site, Goudier Island, Port Lockroy, Palmer Archipelago, Antarctica. *Biol Conserv* 141:3019–3028
- Trathan PN, Murphy EJ, Forcada J et al (2006) Physical forcing in the southwest Atlantic: ecosystem control. In: Boyd IL, Wanless S, Camphuysen CJ (eds) *Top Predators in Marine Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 28–45
- Trillmich F, Limberger D (1985) Drastic effects of El Niño on Galapagos pinnipeds. *Oecologia* 67:19–22. doi: 10.1007/BF00378445
- Trivelpiece SG, Lindsley A, Will A et al (2011a) Seabird research at Admiralty Bay, King George Island, Antarctica, 2009/10. In: Cise AV (ed) *AMLR 2009/2010 field season report: objectives, accomplishments and tentative conclusions*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-470, U.S. Department of Commerce, pp 46–51
- Trivelpiece WZ, Hincke JT, Miller AK et al (2011b) Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica. *PNAS* 108:7625–7628. doi: 10.1073/pnas.1016560108
- Trivelpiece WZ, Trivelpiece SG, Volkman NJ (1987) Ecological segregation of adélie, gentoo and chinstrap penguins at King George Island, Antarctica. *Ecology* 58:351–361. doi:10.2307/1939266
- Turner J, Colwell SR, Marshall GJ et al (2005) Antarctic climate change during the last 50 years. *Int J Climatol* 25:279–294. doi: 10.1002/joc.1130
- Turner J, Phillips T, Hosking JS et al (2013) The Amundsen Sea low. *Int J Climatol* 33:1818–1829. doi: 10.1002/joc.3558
- Williams TD (1995) *The penguins*. Oxford University Press, Oxford
- Williams TD, Briggs DR, Croxall JP et al (1992) Diving pattern and performance in relation to foraging ecology in the gentoo penguin, *Pygoscelis papua*. *J Zool* 227:211–230. doi: 10.1111/j.1469-7998.1992.tb04818.x
- Wilson PR, Ainley DG, Nur N et al (2001) Adélie penguin population change in the pacific sector of Antarctica: relation to sea-ice extent and the Antarctic Circumpolar Current. *Mar Ecol Prog Ser* 213:301–309. doi:10.3354/meps213301
- Wilson RP, Alvarrez B, Latorre L et al (1998) The movements of gentoo penguins *Pygoscelis papua* from Ardley Island, Antarctica. *Polar Biol* 19:407–413. doi: 10.1007/s003000050266
- Woehler EJ (1993) *The distribution and abundance of antarctic and subantarctic penguins*. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge

Woehler EJ, Cooper J, Croxall JP et al (2001) A statistical assessment of the status and trends of Antarctic and Subantarctic seabirds. Scientific Committee on Antarctic Research. Cambridge, UK

Woehler EJ, Croxall JP (1997) The status and trends of antarctic and sub-antarctic seabirds. *Mar Ornithol* 25:43–66

Yañez J, Nuñez H, Valencia J, Schlatter RP (1984) Aumento de las poblaciones de pingüinos pigoscélidos en isla Ardley, Shetland del Sur. *Ser Cient INACH* 31:97–101

Yates GW (1975) Microclimate, climate and breeding success in Antarctic penguins. In: Stonehouse B (ed) *The Biology of penguins*. Macmillan Press, London Basingstoke, UK, pp 397–409

Tabela 1: Perímetro, área, número de pares reprodutores e densidade dos ninhos de *Pygoscelis papua* da colônia A, colônia B das colônias em Stinker Point, Ilha Elefante, no período de 2010, 2011 e 2012.

Período	Variáveis	Colônia A	Colônia B
2010	Perímetro (m)	109	1418
	Área (m ²)	341	5691
	Densidade (m ²)	0,10	0,16
2011	Perímetro (m)	65	1985
	Área (m ²)	129	4348
	Densidade (m ²)	0,31	0,36
2012	Perímetro (m)	27	2101
	Área (m ²)	23	7116
	Densidade (m ²)	1,18	0,21

Tabela 2: Resultados da ANCOVA das respostas dos pares reprodutores de *Pygoscelis papua* as variáveis climáticas, Stinker Point, Ilha Elefante. Valores em negrito representam os valores significativos ($P < 0,05$).

Parâmetro	Período	B	Bias	EP	P
SOI	Verão	0.002	-0.003	0.053	0.947
	O-N-D	-0.015	0.004	0.031	0.617
	Inverno	-0.044	-0.001	0.045	0.263
AOI	Verão	0.066	-0.031	0.101	0.208
	O-N-D	0.093	0.002	0.043	0.028
	Inverno	0.066	-0.056	0.433	0.843
Tmáxima (°C)	Verão	0.040	0.027	0.113	0.734
	O-N-D	-0.003	-0.074	0.176	0.982
	Inverno	-0.005	0.002	0.014	0.740
Tmínima (°C)	Verão	-0.037	0.003	0.037	0.295
	O-N-D	-0.072	0.006	0.059	0.178
	Inverno	-0.024	0.003	0.019	0.208
AT	Verão	-0.122	-0.003	0.063	0.074
	O-N-D	-0.338	0.011	0.164	0.008
	Inverno	-0.098	-0.021	0.216	0.204

O-N-D: Outubro, Novembro e Dezembro; SOI: Índice de Oscilação Sul; AOI: Índice de Oscilação Antártica; Tmáxima: Temperatura Máxima; Tmínima: Temperatura mínima; AT: Anomalia de Temperatura; EP: Erro Padrão; P: Probabilidade de Significância.

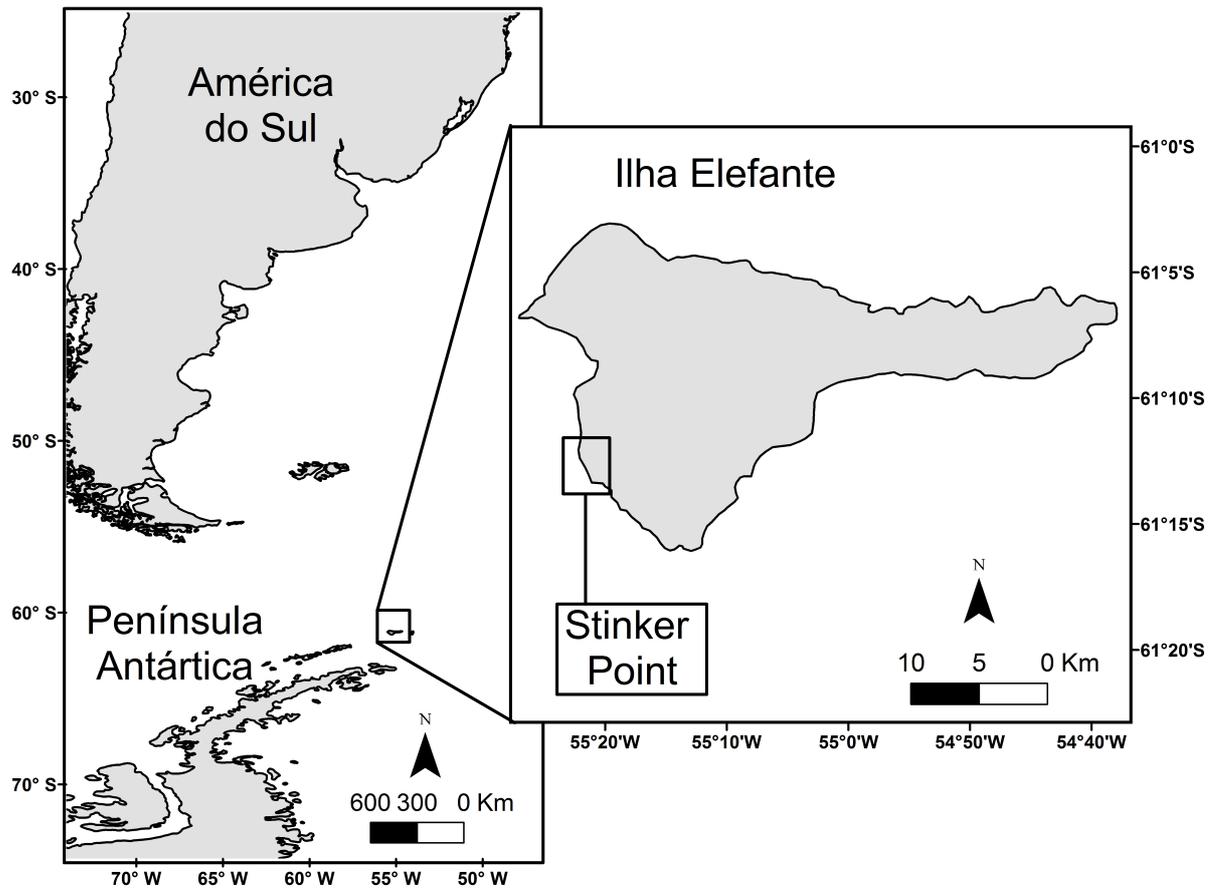


Figura 1: Localização de Stinker Point, Ilha Elefante, Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica.

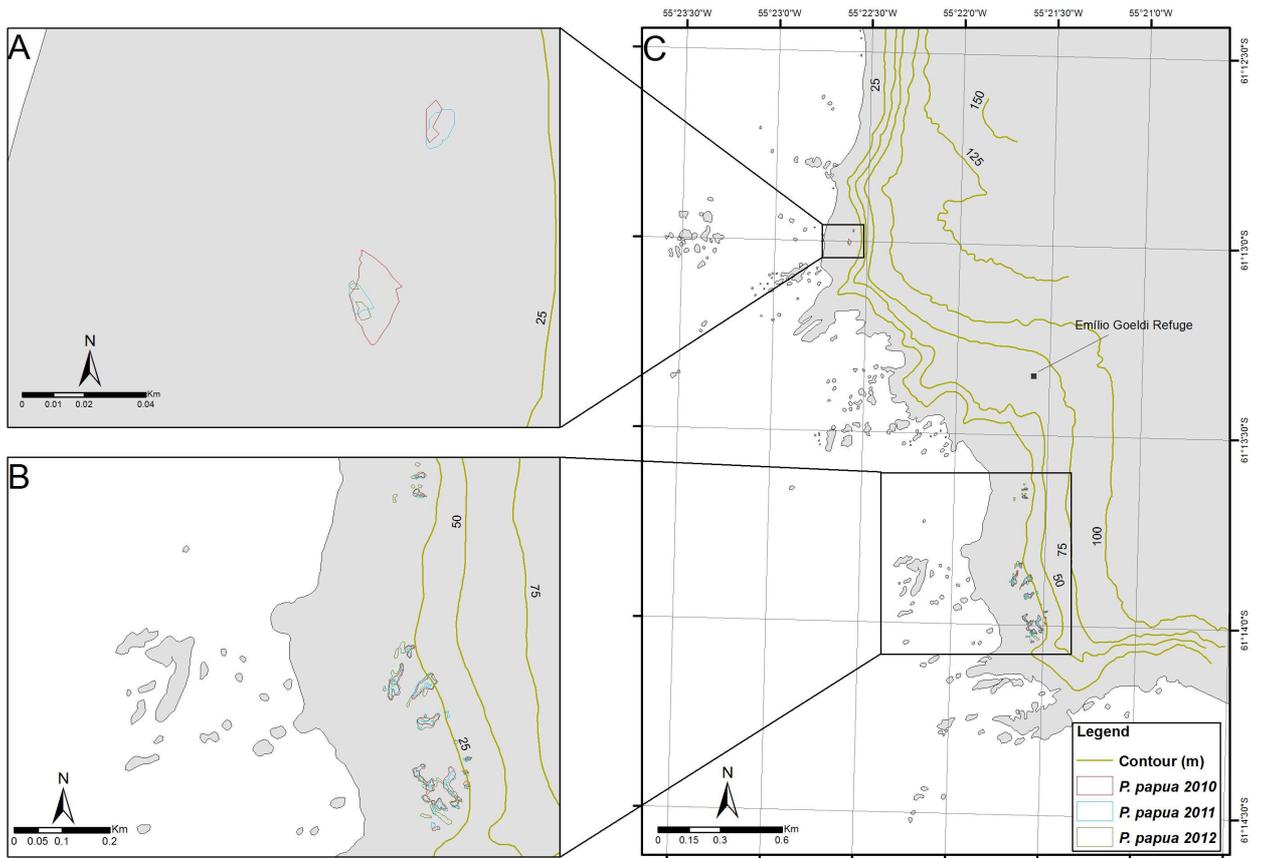


Figura 2: Distribuição das colônias de *Pygoscelis papua* em Stinker Point, Ilha Elefante, no período de 2010, 2011 e 2012. Denominação “A” significa a colônia A e “B” a colônia B.

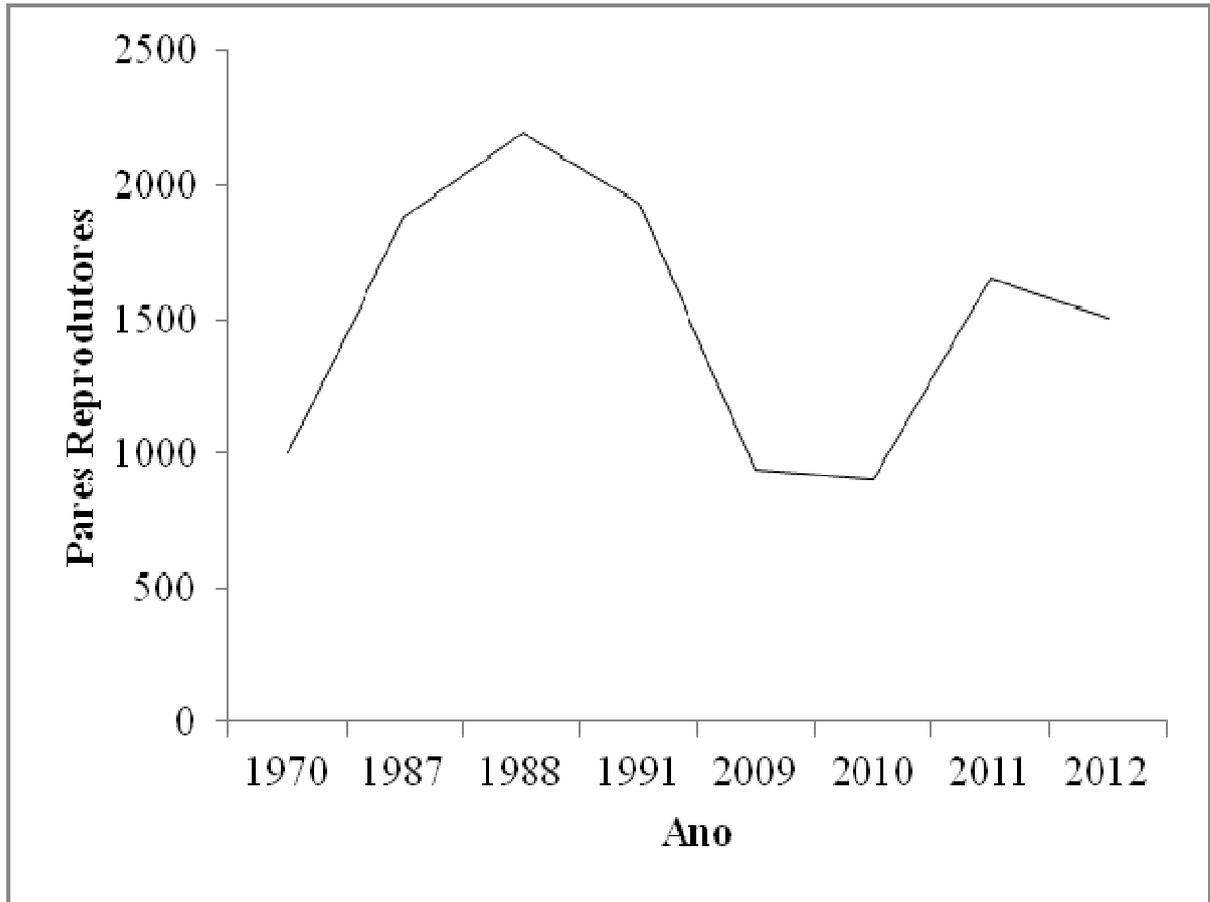


Figura 3: Número de pares reprodutores de *Pygoscelis papua*, entre os anos de 1970-2012 em Stinker Point, na Ilha Elefante.

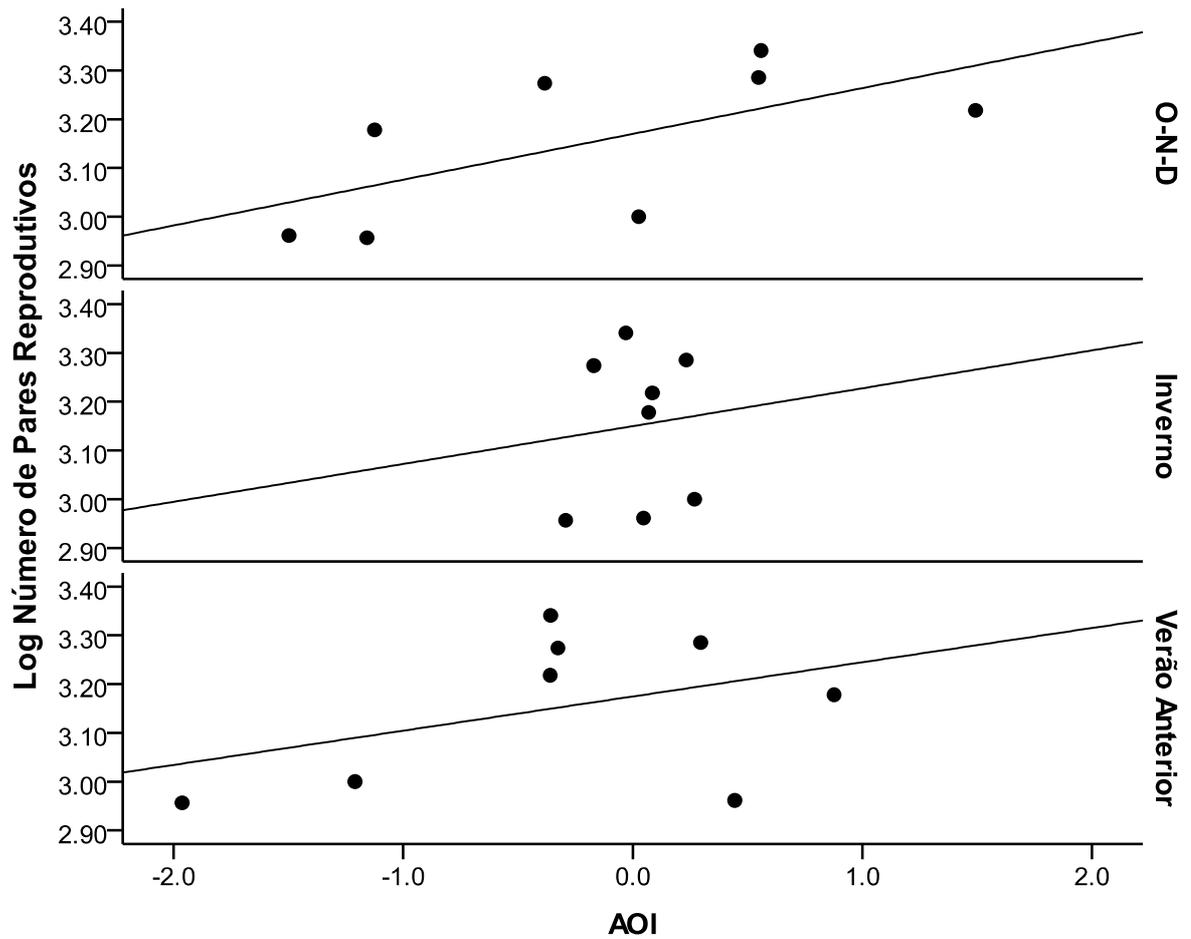


Figura 4: Variação do número de pares reprodutores de *Pygoscelis papua* em resposta ao Índice de Oscilação Antártica (AOI), no início do período reprodutivo (outubro, novembro e dezembro – O-N-D) e antes do período reprodutivo de inverno e verão, entre os anos 1970-2012.

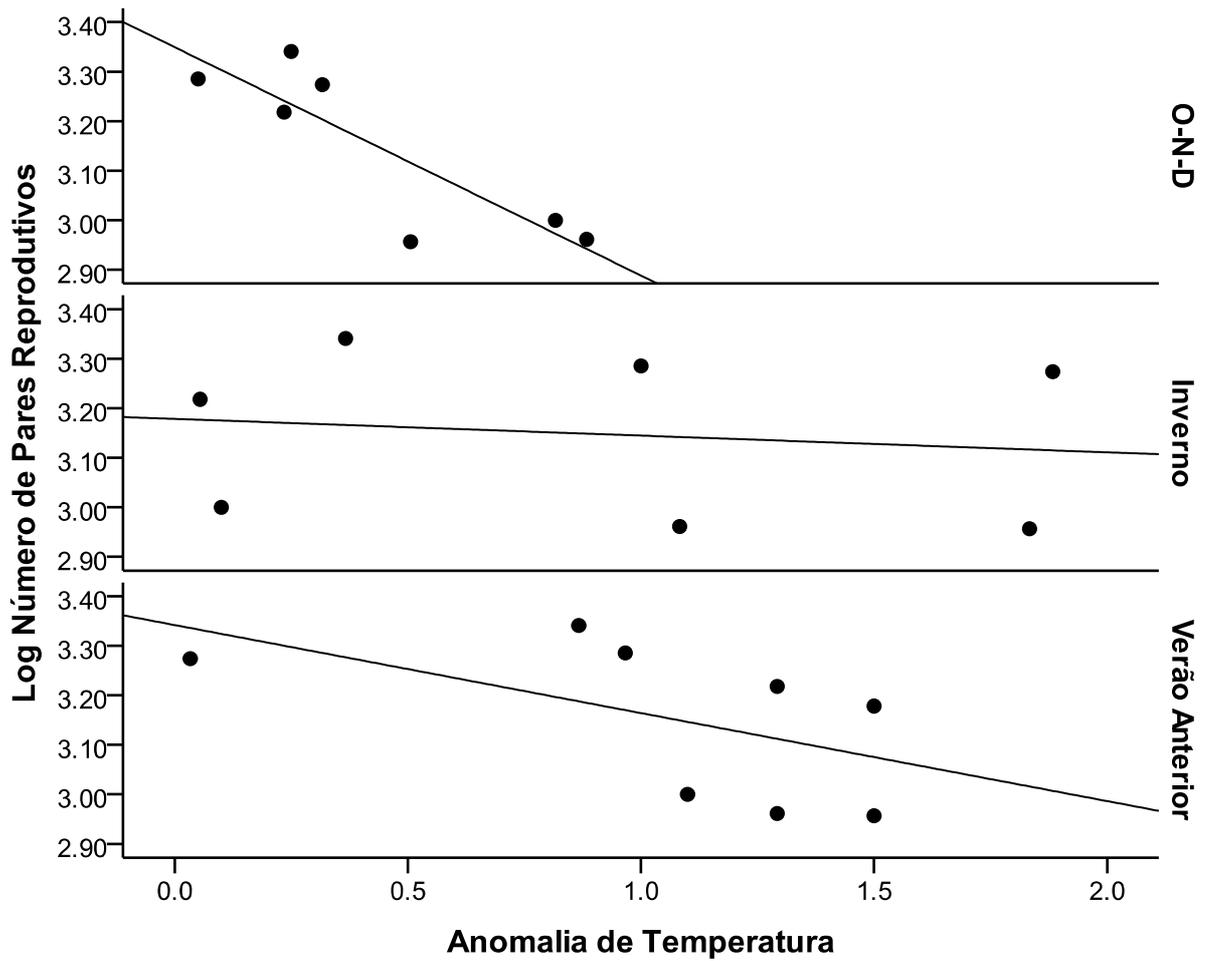


Figura 5: Variação do número de pares reprodutores de *Pygoscelis papua* em resposta a anomalia de temperatura, no início do período reprodutivo (outubro, novembro e dezembro – O-N-D) e antes do período reprodutivo de inverno e verão, entre os anos de 1970-2012.

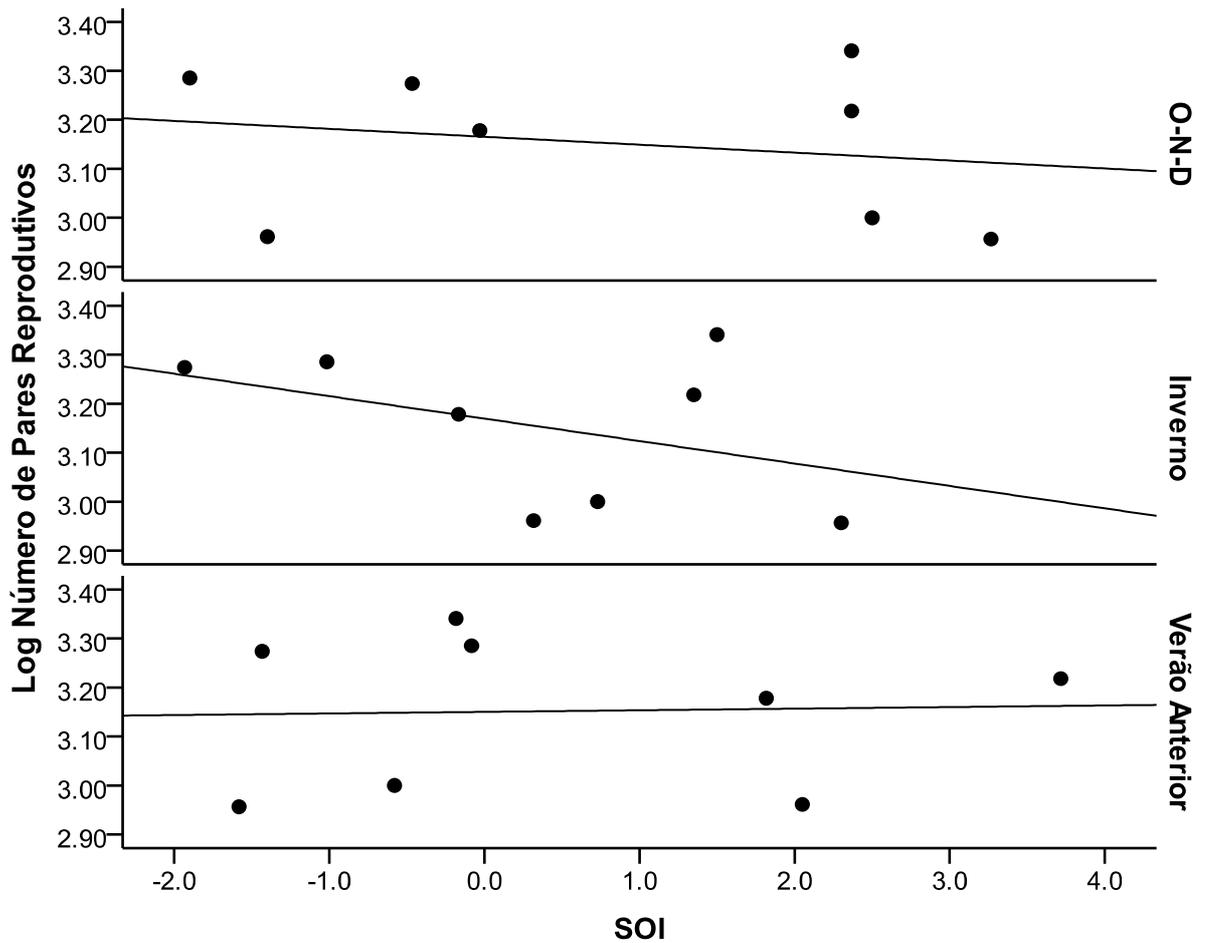


Figura 6: Variação do número de pares reprodutores de *Pygoscelis papua* em resposta ao Índice de Oscilação Sul, no início do período reprodutivo (outubro, novembro e dezembro – O-N-D) e antes do período reprodutivo de inverno e verão, entre os anos de 1970-2012.

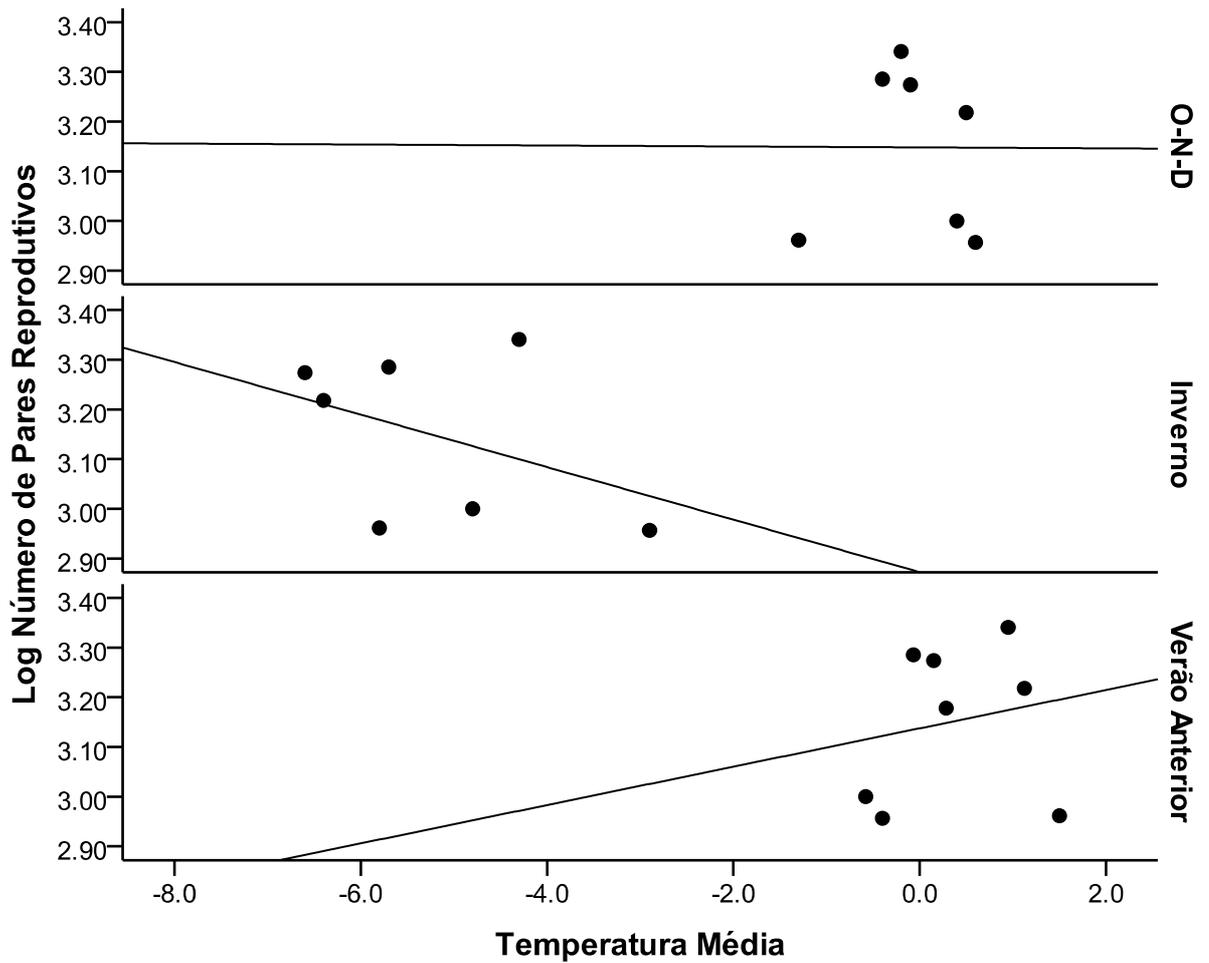


Figura 7: Variação do número de pares reprodutores de *Pygoscelis papua* em resposta a temperatura média, no início do período reprodutivo (outubro, novembro e dezembro – O-N-D) e antes do período reprodutivo de inverno e verão, entre os anos de 1970-2012.

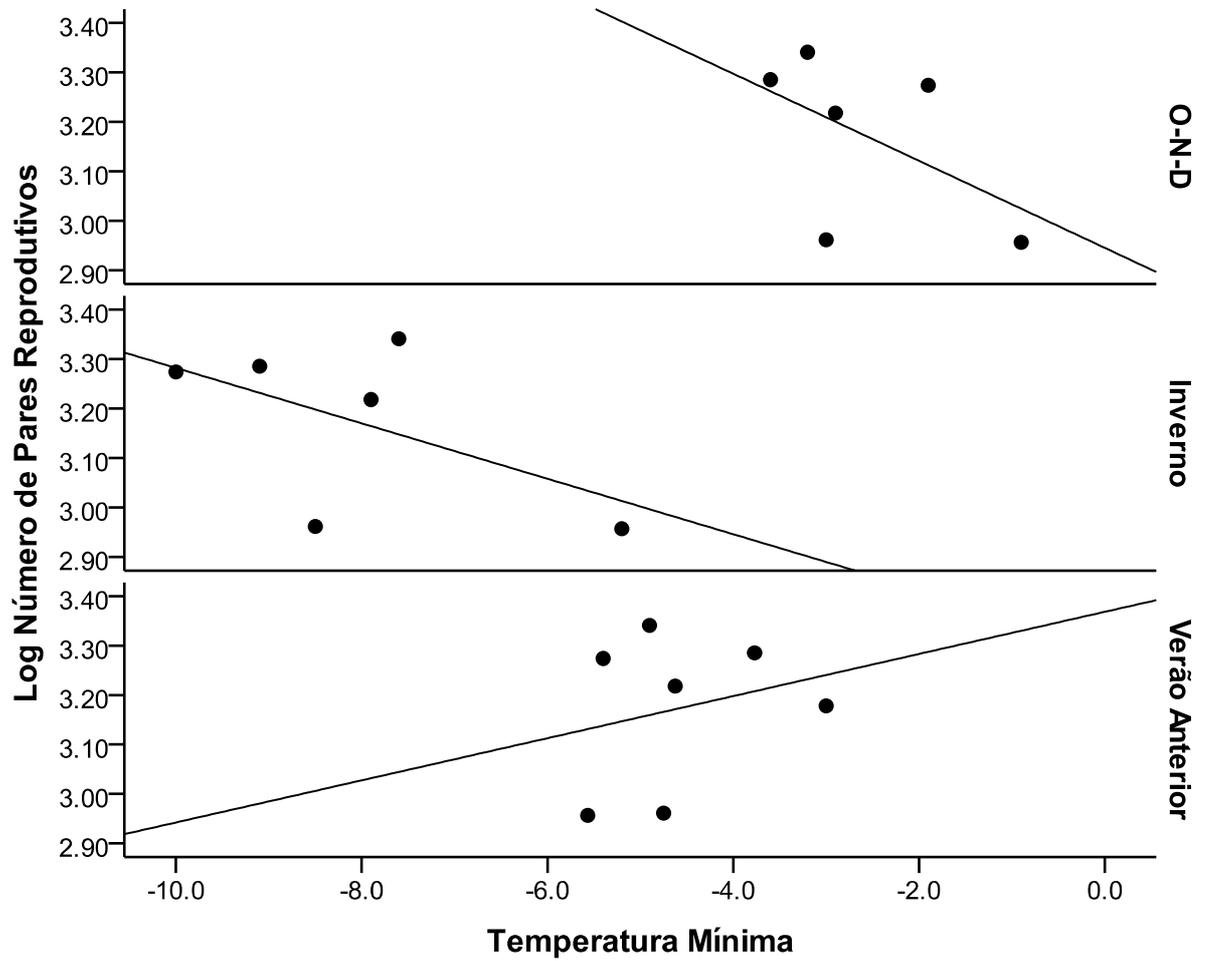


Figura 8: Variação do número de pares reprodutores de *Pygoscelis papua* em resposta a temperatura mínima, no início do período reprodutivo (outubro, novembro e dezembro – O-N-D) e antes do período reprodutivo de inverno e verão, entre os anos de 1970-2012.

3. CAPÍTULO 2

**DIMORFISMO SEXUAL DE TAMANHO E VARIAÇÃO MORFOMÉTRICA DE
PINGUIM-PAPUA (*Pygoscelis papua*)**

3.1. Resumo

Pinguim-papua apresenta pouco dimorfismo sexual de tamanho e tem sido identificadas variações nas medidas morfométricas ao longo da distribuição da espécie. Estas medidas podem variar no espaço e sobrepõem-se na distribuição de características entre machos e fêmeas, levando a erros de identificação do sexo. Foi examinado o dimorfismo sexual de tamanho em caracteres morfométricos dos adultos reprodutores de pinguins-papua (*Pygoscelis papua*) na Ilha Elefante, Antártica, estabelecendo um paralelo com a técnica de sexagem molecular. Além disso, foi verificada a variação morfométrica de pinguim-papua em três locais do Arquipélago das Shetlands do Sul e comparada com dados da literatura. O comprimento do bico foi a medida de maior dimorfismo sexual (5,3%) e classificou corretamente 76,7% das aves, sendo em média as fêmeas maiores que os machos. Dentre as medidas morfométricas analisada, todas apresentaram diferenças quando comparados os locais do Arquipélago das Shetlands do Sul e da Península Antártica. Dada a pouca acurácia das funções discriminantes na sexagem e as diferenças das medidas morfométricas conforme a área geográfica de pinguim-papua, é preciso ter cautela ao classificar indivíduos com base em uma única avaliação, de forma que a sexagem molecular apresentou melhor resultado.

Palavras-chave: análise discriminante, Antártica, Arquipélago das Shetlands do Sul, método de sexagem, diferenças morfológicas.

3.2. Introdução

Pinguim-papua (*Pygoscelis papua*) é uma espécie amplamente distribuída, desde a latitude do Cabo Tuxon na Península Antártica (65°16'S) até as Ilhas Crozet (46°00'S) (Lynch 2011). No entanto, são residentes costeiros e possuem um alto nível de filopatria e, portanto, as populações estão restritas a ilhas de reprodução e faixas de forrageamento. Devido à ampla variabilidade de tamanho entre as populações alguns autores sugerem a existência de algumas subespécies (Bost e Jouventin 1990). Porém, pinguins-papua são classificados como uma única espécie, e duas subespécies distintas morfológicamente (Forster 1781; Murphy 1947). Mas através de marcadores mitocondriais há a suspeita de que existam três subespécies, pelas distintas estruturas genéticas encontradas nas populações do Oceano Índico, Oceano Atlântico e Oceano Austral (Dinechin *et al.* 2012). Em geral, *P. p. papua* são maiores em tamanho ao norte em latitudes inferiores a 60°S nas ilhas Subantárticas, e *P. p. ellsworthii* menores ao sul nas Ilhas Orkney do Sul, no Arquipélago das Shetlands do Sul e na Península Antártica a

partir de 60°S até 65°S (Stonehouse 1970). Além disso, tem sido identificadas variações nas medidas morfológicas de tamanho ao longo da distribuição da espécie em escalas microgeográficas, tanto nas populações do norte como nas populações do sul (Bost e Jouventin 1990; Bost *et al.* 1992; Valenzuela-Guerra *et al.* 2013). Assim como outras espécies de pinguins, não apresentam dimorfismo sexual de plumagem e possuem pouca diferença de tamanho entre os sexos, embora os machos sejam geralmente maiores que as fêmeas (Williams 1990; Renner *et al.* 1998; Polito *et al.* 2012; Valenzuela-Guerra *et al.* 2013). Entretanto, as mudanças com a idade e a sobreposição de tamanho entre os indivíduos pode tornar difícil à observação direta (Scolaro *et al.* 1983; Amat *et al.* 1993; Mínguez *et al.* 1998; Hart *et al.* 2009). A identificação correta do sexo é um requisito importante para medir vários parâmetros sugeridos pela Comissão para Conservação dos Recursos Vivos e Marinhos da Antártica (CCAMLR), através do Programa de Monitoramento de Ecossistemas (CEMP) (CCAMLR 2004). Além disso, é fundamental para a interpretação de estudos ecológicos, evolutivos, comportamentais e de conservação (Ellegren e Sheldon 1997).

A diferença no tamanho corporal entre os sexos da mesma espécie, o dimorfismo sexual de tamanho, é uma característica predominante entre os animais (Andersson 1994; Fairbairn 1997; Blanckenhorn 2000). O grau de dimorfismo quanto ao tamanho corporal pode variar bastante entre os sexos e essa diferença pode surgir em diferentes estágios do ciclo de vida, como por exemplo, durante a ontogênese, após a maturidade ou em ambos os períodos (Andersson 1994). Os padrões de dimorfismo sexual de tamanho são muito complexos e ainda não são bem compreendidos, mas geralmente são atribuídos aos efeitos das pressões seletivas que atuam diferencialmente entre machos e fêmeas (Nylin e Wedell 1994; Croxall 1995; Shine e Fairbairn 1995; Fairbairn 1997). As diferenças fenotípicas entre os sexos são principalmente de origem genética, mas provavelmente também tenha influencia de fatores ambientais, tais como a latitude, temperatura ambiente, competição, disponibilidade de alimento e o forrageamento em nichos onde diferentes presas são encontradas (Agnew e Kerry 1995; Mínguez *et al.* 2001; Hart *et al.* 2009). Neste sentido, a extensão do dimorfismo pode variar entre espécies, subespécies e conforme a área geográfica (Warham 1972; Agnew e Kerry 1995; Arnould *et al.* 2004).

Recentemente, técnicas moleculares estão sendo utilizadas para identificar o sexo, e assim avaliar a medida ou o conjunto de medidas que possam servir de bons índices discriminatórios na sexagem dos indivíduos (Hart *et al.* 2009; Polito *et al.* 2012; Valenzuela-Guerra *et al.* 2013). A utilização simultânea de vários métodos permite a verificação da exatidão e aplicabilidade da análise discriminante. As funções discriminantes têm sido

amplamente utilizadas em pinguins e podem fornecer um método rápido, barato e minimamente invasivo para discriminar o sexo dos indivíduos (Dechaume-Moncharmont *et al.* 2011). Funções discriminantes utilizando medidas morfométricas vêm sendo obtidas para determinar o sexo de indivíduos adultos de pinguim-papua. No entanto, a variação geográfica do tamanho corporal em ambas as subespécies e em populações do sul tem limitado a aplicabilidade das funções discriminantes para identificação do sexo (Renner *et al.* 1998; Valenzuela-Guerra *et al.* 2013), resultando na criação de modelos diferentes para cada localidade. Atualmente, poucos estudos são conhecidos quanto ao uso de função discriminante para a subespécie *P. p. papua* na Ilha Bird, Geórgia do Sul (Williams 1990). Para a subespécie *P. p. ellsworthii* foram obtidas funções discriminantes para alguns locais do Arquipélago das Shetlands do Sul e Península Antártica (Renner *et al.* 1998; Polito *et al.* 2012; Valenzuela-Guerra *et al.* 2013). Além disso, uma função discriminante geral para o Arquipélago das Shetlands do Sul e Península Antártica foi determinada (Valenzuela-Guerra *et al.* 2013). Somente Polito *et al.* (2012) e Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) validaram o método de classificação do sexo usando a sexagem molecular. Estes estudos também diferiram no número e tipo de caracteres morfométricos utilizados para designar o sexo.

Devido à variação geográfica de tamanho corporal encontrada em pinguim-papua as medidas morfométricas podem variar no espaço e sobrepor-se na distribuição de características entre machos e fêmeas, que podem levar a erros de identificação do sexo (Valenzuela-Guerra *et al.* 2013). Neste contexto, são necessárias funções discriminantes específicas da população em cada uma das diferentes áreas geográficas. O objetivo deste estudo foi: 1) identificar o sexo de adultos reprodutores de pinguim-papua em Stinker Point, Ilha Elefante, utilizando a técnica de sexagem molecular; 2) verificar a presença de dimorfismo sexual de tamanho em cinco medidas morfométricas; 3) desenvolver uma função discriminante para identificar o sexo de pinguim-papua a partir de medidas morfométricas; 4) comparar os dados deste estudo com os dados mensurados por Polito *et al.* (2012) e Valenzuela-Guerra *et al.* (2013), a fim de avaliar o dimorfismo sexual entre os locais de reprodução e para testar o desempenho da função discriminante e 5) verificar a variação morfométrica de pinguim-papua em diferentes locais do Arquipélago das Shetlands do Sul e comparar com os dados morfométricos mensurados por Polito *et al.* (2012) e Valenzuela-Guerra *et al.* (2013).

3.3. Métodos

3.3.1. Captura e medições

Os dados morfométricos foram coletados durante o período reprodutivo de pinguim-papua em ilhas do Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica (Figura 1). Em Stinker Point, Ilha Elefante (61°13'S; 55°22'W), foram amostrados 66 adultos, 36 indivíduos entre 30 de outubro e 05 de novembro de 2011 e 30 indivíduos entre 03 e 06 de novembro de 2012. Dos 30 adultos reprodutores amostrados em 2012 foram coletadas amostras de sangue (0,5 mL) da veia da pata de cada indivíduo e preservadas em álcool etílico absoluto. Na Ilha Rei George (62°05'S; 58°23'W), as medidas morfométricas de 30 indivíduos foram realizadas na Baía do Almirantado, no período entre 14 e 28 de dezembro de 2010. Já na Ilha Livingston (62°39'S; 60°36'W), em Hannah Point foram medidos 26 adultos no dia 05 de dezembro de 2012. Para indivíduos capturados e medidos em Stinker Point no ano de 2011, Baía do Almirantado e Hannah Point não foi realizada a identificação do sexo.

Foram tomadas as medidas de comprimento do bico (CB), largura da comissura (LC), comprimento total das duas aletas (CA, lado dorsal, aleta totalmente estendida) e das duas patas (CP, lado dorsal, pata estendida, sem a unha). A altura do bico medida na região dorso-ventral à base do cúlmen (AB) foi realizada na Baía do Almirantado e no ano de 2012 em Stinker Point. Já a altura do bico medida na região dorso-ventral às narinas (AN) e a largura do bico (LB, latero-lateral às narinas) foi realizada em Stinker Point no ano de 2011 e em Hannah Point.

Todas as medidas foram mensuradas em milímetros. Para as medidas das dimensões do bico foi utilizado paquímetro com precisão de 0,1 mm. Usando uma régua de metal graduada com precisão de 1 mm foi medido o comprimento das aletas e das patas, dos quais foi realizada a média para cada indivíduo. Cada indivíduo foi capturado na praia com puçá e marcado com violeta genciana, para evitar recaptura do mesmo indivíduo. Todos os indivíduos amostrados apresentavam a placa de choco indicando ser um adulto reprodutor. Todas as medidas morfométricas foram realizadas por pesquisadores do Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos, previamente capacitados. As medidas de cada local foram realizadas pelo mesmo coletor, com o mesmo equipamento.

3.3.2. Sexagem molecular

Para extração de DNA, foi realizada técnica padrão com uso de DSD (sulfato de dodecil de sódio) a 10% e proteinase K. A região CHD dos cromossomos sexuais foi amplificada utilizando a reação em cadeia da polimerase (PCR), utilizando os primers P2 e P8 (Griffiths e Tiwari 1993; Griffiths 2000). Em seguida, foram analisados os produtos da PCR em eletroforese em gel de agarose a 3%, corados com brometo de etídio e visualizados sob luz UV. As fêmeas são o sexo heterogamético, e têm ambos os genes CHD1-Z e CHD1-W, que diferem em comprimento, resultando em duas bandas no gel. Os machos são homogaméticos (CHD1-Z), apresentando uma única banda (Griffiths e Tiwari 1993; Griffiths 2000). O PCR produziu uma única banda com cerca de 375 pares de base para o sexo masculino e duas bandas com cerca de 375 e 390 pares de base para o sexo feminino.

3.3.3. Análise estatística

Para Stinker Point, as médias das medidas morfométricas dos 30 indivíduos amostrados no ano de 2012 foram comparadas entre os sexos usando teste-*t*. O índice de dimorfismo sexual de tamanho (ID, %), utilizando a média das medidas morfométricas dos machos (M) e fêmeas (F) foi calculado conforme $DI = 100 \times (M - F)/F$ (Greenwood 2003). Foi utilizada a correlação de Pearson para analisar as relações entre as variáveis morfométricas. A análise de função discriminante passo a passo (stepwise) foi utilizada para selecionar as variáveis (CB, AB, LC, CA e CP) que tiveram influência significativa na classificação de machos e fêmeas. Foi utilizado o teste F de valor λ de Wilk como critério para inserir apenas as variáveis que mais contribuíram. A igualdade das matrizes de covariância foi testada utilizando o teste-M de Box (Manly 2005). As medidas morfométricas significativas foram utilizadas para formular a equação da função discriminante a fim de identificar o sexo dos pinguins. Foi utilizada uma técnica de validação cruzada (validação de Jackknife) para verificar a precisão da análise de função discriminante e calculado o percentual de classificação antes e depois de uma validação cruzada. Este algoritmo escolhe a função que apresentou o menor percentual de erros de classificação. Usando a sexagem molecular, calculou-se a proporção entre os sexos.

Para comparar as medidas morfométricas entre os sexos e entre os diferentes locais de reprodução foram utilizados os dados de Stinker Point deste estudo em comparação com os dados mensurados por Polito *et al.* 2012 para Baía do Almirantado e por Valenzuela-Guerra

et al. (2013) para Ilha Ardley, Cabo Legoupil e Baía Paraíso através da análise de variância para duas variáveis independentes (ANOVA two-way) e teste de Tukey *a posteriori*. Foi aplicada a função discriminante de Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) desenvolvida para o Arquipélago das Shetlands do Sul em Stinker Point, Ilha Elefante, para avaliar a eficiência da função discriminante.

As medidas morfométricas de pinguim-papua foram comparadas entre Baía do Almirantado, Stinker Point e Hannah Point. Além disso, foram comparadas as medidas morfométricas deste estudo com as medidas comparáveis dos estudos de Polito *et al.* (2012) e Valenzuela-Guerra *et al.* (2013), utilizando análise multivariada de variância para duas ou mais variáveis dependentes contínuas (MANOVA one-way) e teste de Tukey *a posteriori*. Foi realizada uma análise discriminante com variáveis canônicas, com base nas medidas morfométricas, para verificar o grau de discriminação dos locais e identificar quais das medidas utilizadas teriam maior peso nessa discriminação. Foi utilizado o teste F de valor λ de Wilk como critério para inserir apenas as variáveis que mais contribuíram. A igualdade das matrizes de covariância foi testada utilizando o teste-M de Box (Manly 2005). Em seguida, foram obtidos os coeficientes padronizados das variáveis canônicas, que indicam a contribuição de cada medida nas funções geradas. Com os escores obtidos a partir das duas primeiras funções discriminantes, foram montados dois gráficos para melhor visualização do padrão de discriminação das medidas morfométricas entre os locais.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SPSS 18.0 (SPSS 2009). As diferenças foram consideradas significativas quando $P \leq 0,05$ e os valores são apresentados como média \pm DP.

3.4. Resultados

Das 30 amostras de pinguins-papua para Stinker Point, Ilha Elefante, do ano de 2012, 13 foram identificados machos e 17 fêmeas, através da sexagem molecular. Em todas as medidas morfométricas de pinguins-papua, as fêmeas apresentaram medidas 2,6 a 5,3% maiores do que os machos, porém houve sobreposição de medidas (Tabela 1). Somente o CB e o CA diferiram significativamente entre os sexos. O ID do CB e CA foi de 5,3% e 2,7%, respectivamente. Não houve diferença significativa para LC, AB e CP (Tabela 1). A correlação de Pearson entre as variáveis morfométricas é apresentada na Tabela 2. As correlações menores do que 0,50 (correlação baixa) indicam que não houve

multicolinearidade entre as variáveis e entre 0,50 e 0,80 (correlação moderada a forte) indicam um maior grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

Para análise discriminante o CB apresentou a maior correlação canônica (0,438) e foi a medida morfométrica que melhor classificou os pinguins adultos em machos e fêmeas em Stinker Point (Figura 2). A função discriminante classificou corretamente 76,7% dos casos. O sucesso do procedimento de validação de Jackknife usando o CB também foi de 76,7% (λ de Wilk = 0, 808: $F_{1,28} = 6,638$, $P = 0,016$; M de Box = 1,635, $P = 0,209$). A função discriminante foi: $FD = - 17,608 + 0,356 * CB$. Indivíduos com escores positivos foram classificados como fêmeas e aqueles com escores negativos como machos.

Entre os diferentes locais de reprodução, houve diferença significativa para o CB, AB e CA (Tabela 3). O CB, AB e CA apresentaram diferença morfométrica significativa entre Stinker Point e os outros locais, exceto a AB quando comparada entre Stinker Point e Cabo Legoupil (Tabela 4). Entre machos e fêmeas, independente do local de reprodução, o CB e CA divergiram significativamente (Tabela 3). Quando analisada a interação entre local e sexo, foi verificado que machos são em média maiores que fêmeas para o CB (média: 48,7 mm para machos e 46,1 mm para fêmeas); e para o CA (média: 219 mm para machos e 216 mm para fêmeas) (Tabela 3). A função discriminante deste estudo classificou corretamente 76,7% das aves, mas aplicando uma das funções discriminantes gerais de Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) aos nossos dados foram classificados corretamente 43,3% dos 30 indivíduos.

A análise de variância multivariada das medidas morfométricas de pinguim-papua entre os locais, apresentaram diferenças significativas na maioria das medidas, exceto para a LB (Tabela 5). Quando comparada as medidas morfométricas de Stinker Point, Baía do Almirantado e Hannah Point com as medidas mensuradas por Polito *et al.* (2012) para Baía do Almirantado e por Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) para Ilha Ardley, Cabo Legoupil e Baía Paraíso, detectou-se diferenças significativas em todas as medidas (Tabela 6). O teste de Tukey *a posteriori* apresenta as diferenças das medidas morfométricas entre os locais na Tabela 7. Em geral as medidas morfométricas de Stinker Point foram maiores entre todos os locais enquanto que a Baía do Almirantado apresentou as menores medidas morfométricas (Tabela 8). A análise discriminante separou os locais de acordo com a correlação intra e entre grupos e gerou funções de acordo com as diferenças de similaridade. A função discriminante classificou corretamente 60% dos casos, entretanto a variância foi significativa entre os locais (M de Box = 1027,5, $P \leq 0,001$). A função 1 apresentou a maior correlação canônica (0,735) (λ de Wilk = 0, 201, $P \leq 0,001$) seguida da função 2 (0,664) (λ de Wilk = 0,437, $P \leq 0,001$). A função 1 está representando todas as variáveis positivamente (valor das correlações de cada

variável com a função 1), exceto a AB que está sendo explicada positivamente na função 2 (correlação de AB com a função 2). As medidas morfométricas de pinguim-papua de Stinker Point são maiores para as variáveis da função 1, enquanto que da Baía do Almirantado são menores, e os demais locais estão distribuídos homogeneamente (Figura 3 e 4). Na função 2 há uma separação da Baía do Almirantado sendo menores para a AB enquanto na Ilha Ardley e Baía Paraíso são maiores (Figura 3 e 5).

3.5. Discussão

As fêmeas de pinguins-papua em Stinker Point foram maiores que os machos, porém exibiram pouco dimorfismo sexual de tamanho com sobreposição em todas as medidas morfométricas entre os sexos (Tabela 1). O CB foi a medida de maior dimorfismo sexual, no entanto, o elevado número de sobreposições reduz a probabilidade de classificar corretamente o sexo de um indivíduo adulto utilizando o CB (Figura 2).

O grau do dimorfismo sexual de tamanho máximo observado no CB nos pinguins-papua foi (5,3%) menor quando comparado com o estudo de Polito *et al.* (2012) (8,5%) na Baía do Almirantado, Ilha Rei George e de Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) (8,3%) na Ilha Ardley, Ilha Rei George, (10,5%) no Cabo Legoupil e (7,1%) na Baía Paraíso, Península Antártica. Comparando-se com outros gêneros de pinguins como o *Spheniscus* (15,3%), o *Eudyptes* (17,8%) (Agnew e Kerry 1995) e com outros pygoscelídeos *Pygoscelis adeliae* (9,9%) e *Pygoscelis antarcticus* (11,5%) (Polito *et al.* 2012) observa-se que o pinguim-papua apresenta o menor dimorfismo sexual de tamanho entre todos eles. CB, AB e AN são as medidas mais utilizadas para distinguir o sexo e são altamente dimórficas em uma variedade de espécies de pinguins (Amat *et al.* 1993; Zavalaga e Paredes 1997; Poisbleau *et al.* 2010; Polito *et al.* 2012). Porém para pinguim-papua, além do CB, AB e a AN, outras medidas morfométricas, como o comprimento total do corpo, CA, e CP também apresentaram maior dimorfismo sexual conforme a localidade (Renner *et al.* 1998; Valenzuela-Guerra *et al.* 2013).

A Comissão para Conservação dos Recursos Vivos Marinhos da Antártica (CCAMLR), através do Programa de Monitoramento de Ecossistemas (CEMP) (CCAMLR 2004) cita e aplica a função discriminante obtida em adultos da subespécie *P. p. papua* na Ilha Bird, Geórgia do Sul (Williams 1990) para a classificação sexual. Esta função discriminante usou duas medidas, o CB e AN que foi testada em 112 indivíduos sexados por observação durante a cópula, classificando-se corretamente 107 (95,5%) indivíduos. No entanto, os pinguins-papua do Arquipélago das Shetlands são em média 30% menores do que aqueles que

reproduzem na Geórgia do Sul (Stonehouse 1970), causando desta forma, uma identificação errônea na sexagem quando utilizada a função discriminante obtida na Geórgia do Sul. Na Ilha Ardley, Renner *et al.* (1998) encontraram diferenças entre os sexos nas medidas da AN e CP de pinguim-papua, desenvolvendo uma função discriminante utilizando estas duas medidas em 26 pares reprodutores e obtendo um acerto de mais de 70% entre os sexos. Novo estudo na Ilha Ardley realizado por Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) desenvolveram uma função discriminante classificando corretamente 93,87%, utilizando o CB, CA e comprimento total do corpo em 49 indivíduos adultos de pinguim-papua. Porém, os estudos de Renner *et al.* (1998) e Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) testaram diferentes tipos de medidas e somente o CB foi comum aos dois estudos. Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) também desenvolveram funções discriminantes para dois locais da Península Antártica, em Cabo Legoupil utilizando o comprimento total corporal e CB em 42 indivíduos adultos de pinguim-papua e classificaram corretamente 88,09%, e na Baía Paraíso classificaram corretamente 83,95% dos indivíduos utilizando o comprimento total corporal, CB e CA. Além disso, Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) desenvolveram a partir da combinação das medidas morfométricas das três localidades (Ilha Ardley, Cabo Legoupil e Baía Paraíso) de um total de 172 indivíduos, três funções discriminantes gerais para a determinação do sexo dos pinguins-papua do sul, com grau de confiança de aproximadamente 81%, podendo ser utilizadas em diferentes locais da Península Antártica e do Arquipélago das Shetlands do Sul. Porém, em Stinker Point a função classificou corretamente apenas 43,3%. Além disso, a função discriminante também teve um viés no sentido de identificar todas as fêmeas como machos, inviabilizando o uso desta função discriminante para a região. Polito *et al.* (2012) obtiveram a função discriminante utilizando somente medidas do bico, o CB e NA e classificaram corretamente 91,7% e 83,2% após validação cruzada em 12 pares reprodutores na Baía do Almirantado, Ilha Rei George.

Apesar de abordagens por observações do comportamento durante a cópula na Ilha Geórgia do Sul, exame cloacal na Ilha Ardley e sexagem molecular nas Shetlands do Sul e Península Antártica em conjunto com a biometria terem sido úteis para a sexagem de pinguim-papua, apenas a técnica molecular revelou-se adequada para sexagem com precisão em Stinker Point. Portanto, a taxa de erro do teste morfométrico para pinguim-papua é muito maior do que se acreditava anteriormente (Williams 1990; CCAMLR 2004). Devido ao baixo grau de dimorfismo sexual de pinguim-papua encontrado neste estudo, indica-se que os testes morfométricos são potencialmente propensos a um viés, porque fêmeas e machos reprodutores que podem estar ainda em desenvolvimento podem ser classificados erroneamente. Mínguez *et al.* (2001) verificaram que pares reprodutores de pinguim-antártico

com ninhos localizados na borda da colônia tiveram menores dimensões do bico do que pinguins mais experientes com ninhos localizados no centro da colônia. Segundo Hart *et al.* (2009), um maior tamanho amostral de indivíduos, combinado com o controle molecular, demonstra uma sobreposição considerável entre os caracteres morfométricos de ambos os sexos que até agora não tinham sido relatados em pinguins. Neste sentido, a confiabilidade da sexagem de adultos de pinguim-papua através de medidas morfométricas pode, portanto, ser questionada, principalmente por esta espécie apresentar variação morfológica entre os locais de reprodução, como mostrado neste estudo (Tabela 3, 4, 5, 6, 7 e 8) (Figura 3, 4 e 5). Pinguim-papua apresentou maior divergência nas medidas morfométricas entre Stinker Point e Baía do Almirantado (Tabela 7) (Figura 3 e 4). Embora os indivíduos de Stinker Point e Baía do Almirantado tenham aproximadamente 153 km de distância em linha reta, os indivíduos são morfometricamente mais distintos para a maioria das medidas, do que Stinker Point com Hannah Point e Baía Paraíso que são mais distantes, com aproximadamente 330 e 555 km de distância, respectivamente. Baía do Almirantado e Ilha Ardley que possuem a menor distância com 28 km, também apresentaram medidas morfométricas divergentes (Tabela 7). A combinação de restrições geográficas e ecológicas da espécie por ser residente e ter uma alimentação oportunista podem levar a divergências na morfometria. Estas divergências parecem estar relacionadas ao comportamento plástico da espécie em resposta a oceanografia local (Bost e Jouventin 1990; Bost *et al.* 1992; Valenzuela-Guerra *et al.* 2013).

Esta extrema variabilidade de tamanho entre as populações de pinguim-papua já vem sendo questionada desde 1990, quando estudos biométricos da subespécie *P. p. papua* revelaram diferenças entre os locais de reprodução das populações ao norte de até 8%. Além disso, pinguim-papua apresentou variações na comparação de diferentes locais dentro da mesma localidade no Arquipélago Kerguelen. Demonstrando que pinguins-papua do golfo foram significativamente menores do que aqueles que enfrentam o mar aberto, independentemente da sua posição latitudinal no arquipélago, mas por consequência de adaptações ecológicas das condições oceanográficas locais, que podem variar entre o golfo e o mar aberto, sugerindo plasticidade fenotípica (Bost e Jouventin 1990; Bost *et al.* 1992). A variação morfológica geográfica da subespécie *P. p. ellsworthii* entre as populações do sul foram encontradas em Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) e confirmada pelo nosso estudo.

A variação intra-específica em caracteres morfométricos pode ser influenciada pela distribuição geográfica, idade ou ainda por fatores ambientais. Portanto, uma vez que existe alto grau de sobreposição de medidas morfométricas entre os sexos e divergências geográficas significativas na morfometria de pinguim-papua, o estudo contínuo é fundamental para a

manutenção de um elevado nível de precisão para a sexagem através de funções discriminantes conforme a área geográfica. Dada a pouca acurácia das funções discriminantes na sexagem e as diferenças das medidas morfométricas conforme a área geográfica da espécie é preciso ter cautela ao classificar indivíduos com base em uma única avaliação, de forma que a sexagem molecular apresenta o melhor resultado.

3.6. Agradecimentos

Este trabalho integra o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT-APA), que recebe apoio científico e financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq processo: nº 574018/2008-5) e Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ processo: nº 26/170.023/2008). Os autores também agradecem o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Agradecemos também a Aparecida Brusamarello Basler, Carolina Heinz e Gabriela Werle (UNISINOS) que realizaram as medidas morfométricas nas atividades de campo, e a Guilherme Pinto Cauduro (UNISINOS) pelas atividades técnicas de laboratório.

3.7. Referências

- Agnew, D. J. and K. R. Kerry. 1995. Sexual dimorphism in penguins. Pages 299-318 *in* The penguins (P. N. I. Normar and P. Reilly, Eds.). Beatty and Sons, Surrey.
- Amat, J. A., J. Viñuela and M. Ferrer. 1993. Sexing Chinstrap Penguins (*Pygoscelis antarctica*) by morphological measurements. Colonial Waterbirds 16: 213-215.
- Andersson, M. 1994. Sexual selection. Princeton University Press, Princeton.
- Arnould, J. P. Y., P. Dann and J. M. Cullen. 2004. Determining the sex of little penguins (*Eudyptula minor*) in northern Bass Strait using morphometric measurements. Emu 104: 261-265.
- Blanckenhorn, W. U. 2000. The evolution of body size: what keeps organisms small? The Quarterly Review of Biology. 75: 385-407.

- Bost, C. A. and P. Jouventin. 1990. Evolutionary ecology of Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*). Pages 85-112 in Penguin biology (L. S. Davis and J. T. Darby, Eds.). Academic Press, San Diego.
- Bost, C. A., P. Jouventin and N. Pincson du Sel. 1992. Morphometric variability on a microgeographical scale in two inshore seabirds. *Journal of Zoology* 226: 135-149.
- CCAMLR. 2004. Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. Tasmania, Australia. www.ccamlr.org, accessed 24 May 2013.
- Croxall, J. P. 1995. Sexual size dimorphism in seabirds. *Oikos* 73: 399-403.
- Dechaume-Moncharmont, F-X., K. Monceau and F. Cezilly. 2011. Sexing birds using discriminant function analysis: a critical appraisal. *Auk* 128(1): 78-86.
- Dinechin, M., F. S. Dobson, P. Zehindjiev, R. Metcheva, C. Couchoux, A. Martin, P. Quillfeldt and P. Jouventin. 2012. The biogeography of Gentoo Penguins (*Pygoscelis papua*). *Canadian Journal of Zoology* 90: 352-360.
- Ellegren, H. and B. C. Sheldon. 1997. New tools for sex identification and the study of sex allocation in birds. *Trends in Ecology and Evolution* 12: 255-259.
- Fairbairn, D. J. 1997. Allometry for sexual size dimorphism: pattern and process in the coevolution of body size in males and females. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 659-687.
- Forster, J. R. 1781. *Indische Zoologie oder systematische Beschreibungen seltener und unbekannter Thiere aus Indien, mit 15 illuminierten Kupfertafeln erläutert* Johann Jacob Gebauer, Halle.
- Griffiths, R. 2000. Sex identification in Birds. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 9(1): 14-26.
- Griffiths, R. and B. Tiwari. 1993. The isolation of molecular genetic markers for the identification of sex. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 90: 8324-8326.
- Hart, T., E. Fitzcharles, P. N. Trathan, T. Coulson and A. D. Rogers. 2009. Testing and improving the accuracy of discriminant function tests: a comparison between morphometric and molecular sexing in Macaroni Penguins. *Waterbirds* 32(3): 437-443.
- Lynch, H. L. 2011. The gentoo penguin (*Pygoscelis papua*). In *Biology and Conservation of the World's penguins* (P. G. García Borboroglu and P. D. Boersma, Eds.). University of Washington Press, Seattle U.S.A.
- Manly, B. F. J. 2005. *Multivariate statistical methods: a primer*. Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, Florida.

- Mínguez, E., J. Belliure and M. Ferrer. 2001. Bill size in relation to position in the colony in the Chinstrap Penguin. *Waterbirds* 24: 34-38.
- Mínguez, E., J. A. Fargallo, A. De Leon, J. Moreno and E. Moreno. 1998. Age-related variations in bill size in chinstrap penguins. *Colonial Waterbirds* 21: 66-68.
- Murphy, R. C. 1947. A new zonal race of the gentoo penguin. *Auk* 64: 454-455.
- Nylin, S. and N. Wedell. 1994. Sexual size dimorphism and comparative methods. Pages 253-280 *in* *Phylogenetics and Ecology* (P. Eggleton and R. Vane-Wright, Eds.). Academic Press, London.
- Poisbleau, M., L. Demongin, H. J. van Noordwijk, I. J. Strange and P. Quillfeldt. 2010. Sexual dimorphism and use of morphological measurements to sex adults, immatures and chicks of rockhopper penguins. *Ardea* 98: 217-224.
- Polito, M. J., G. V. Clucas, T. Hart and W. Z. Trivelpiece. 2012. A simplified method of determining the sex of *Pygoscelis* penguins using bill measurements. *Marine Ornithology* 40: 89-94.
- Renner, M., J. Valencia, L. S. Davis, D. Saez and O. Cifuentes. 1998. Sexing of adult Gentoo penguins in Antarctica using morphometrics. *Colonial Waterbirds* 21(3): 444-449.
- Scolaro, J. A., M. Hall and I. M. Ximénez. 1983. The Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*): Sexing adults by discriminant analysis of morphometric characters. *Auk* 100: 221-224.
- Shine, R. and J. Fairbain. 1995. Sexual size dimorphism in seabirds: a reply to Croxall. *Oikos* 74: 146-148.
- SPSS. 2009. SPSS Base 10.0 User's Guide. SPSS Inc., Chicago.
- Stonehouse, B. 1970. Geographic variation in gentoo penguins *Pygoscelis papua*. *Ibis* 112: 52-57.
- Valenzuela-Guerra, P., D. Morales-Moraga, D. González-Acuña and J. A. Vianna. 2013. Geographic morphological variation of Gentoo penguin (*Pygoscelis papua*) and sex identification: using morphometric characters and molecular markers. *Polar Biology*.
- Warham, J. 1972. Breeding seasons and sexual dimorphism in Rockhopper Penguins. *Auk* 89: 86-105.
- Williams, T. D. 1990. Annual variation in breeding biology of Gentoo Penguins *Pygoscelis papua* at Bird Island, South Georgia. *Journal of Zoology London* 222: 247-258.
- Zavalaga, C. B. and R. Paredes. 1997. Sex determination of adult Humboldt Penguins using morphometric characters. *Journal of Field Ornithology* 68: 102-112.

Tabela 1. Dimorfismo sexual de tamanho (mm) de pinguim-papua em Stinker Point, Ilha Elefante, Antártica. ID = Índice de Dimorfismo.

Medidas	Média ± DP (desvio padrão)		ID (%)	teste- <i>t</i>
	Macho (n = 13)	Fêmea (n = 17)		
Comprimento do bico	47,9±3,3 (43,0-54,1)	50,6±2,3 (44,6-54,0)	-5.3	<i>t</i> = 1,457, <i>P</i> = 0,016
Altura do bico	22,0±2,0 (19,0-25,3)	22,6±1,4 (19,2-24,3)	-2.2	<i>t</i> = 2,403, <i>P</i> = 0,379
Largura da comissura	33,4±2,3 (30,3-38,1)	34,8±2,1 (31,6-38,3)	-3.7	<i>t</i> = 0,129, <i>P</i> = 0,115
Comprimento do aleta	219±5,7 (210-228)	225±4,9 (217-230)	-2.7	<i>t</i> = 0,542, <i>P</i> = 0,005
Comprimento da pata	113±5,6 (104-123)	115±4,2 (108-123)	-2.6	<i>t</i> = 1,105, <i>P</i> = 0,246

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as medidas morfométricas de pinguins-papua em Stinker Point, Ilha Elefante, Antártica.

	Comprimento do bico	Altura do bico	Largura da comissura	Comprimento da aleta
Comprimento do bico				
Altura do bico	0,478*			
Largura da comissura	0,514*	0,340		
Comprimento da aleta	0,765**	0,380*	0,423*	
Comprimento da pata	0,743**	0,506*	0,440*	0,667**

Nível de significância: para $P < 0,05^*$ e para $P < 0,001^{**}$.

Tabela 3. Comparação das medidas morfométricas entre os sexos e locais (Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado, Ilha Rei George – Polito *et al.* (2012); Ilha Ardley, Ilha Rei George; Cabo Legoupil e Baía Paraíso, Península Antártica – Valenzuela-Guerra *et al.* (2013)) utilizando ANOVA two-way.

Medidas	Sexo	Local	Sexo X Local
Comprimento do bico	$F_{1, 216} = 49,165, P = 0,000$	$F_{4, 216} = 13,539, P = 0,000$	$F_{4, 216} = 11,270, P = 0,000$
Altura do bico	$F_{1, 194} = 3,731, P = 0,055$	$F_{3, 194} = 23,982, P = 0,000$	$F_{3, 194} = 1,492, P = 0,218$
Comprimento aleta	$F_{1, 194} = 12,091, P = 0,001$	$F_{3, 194} = 18,749, P = 0,000$	$F_{3, 194} = 10,869, P = 0,000$

Tabela 4. Comparação das medidas morfométricas entre os locais (Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado, Ilha Rei George – Polito *et al.* (2012); Ilha Ardley, Ilha Rei George; Cabo Legoupil e Baía Paraíso, Península Antártica – Valenzuela-Guerra *et al.* (2013)) utilizando o teste de Tukey *a posteriori*. NA = não avaliado.

Medidas	Stinker Point X Baía do Almirantado	Stinker Point X Ilha Ardley	Stinker Point X Cabo Legoupil	Stinker Point X Baía Paraíso
Comprimento do bico	0,001	0,000	0,000	0,040
Altura do bico	NA	0,000	0,937	0,000
Comprimento da aleta	NA	0,004	0,000	0,000

Tabela 5. Comparação das medidas morfométricas entre os locais – Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado, Ilha Rei George e Hannah Point, Ilha Livingston, Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica.

Medidas	MANOVA one-way
Comprimento do bico	$F_{2,119} = 9,381, P = 0,000$
Altura do bico	$F_{1,58} = 67,070, P = 0,000$
Altura às narinas	$F_{1,60} = 28,341, P = 0,000$
Largura do bico	$F_{1,60} = 0,938, P = 0,337$
Largura da comissura	$F_{2,119} = 127,794, P = 0,000$
Comprimento da aleta	$F_{2,119} = 38,972, P = 0,000$
Comprimento da pata	$F_{2,119} = 19,706, P = 0,000$

Tabela 6. Comparação das medidas morfométricas entre os locais – Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado, Ilha Rei George e Hannah Point, Ilha Livingston, Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica com as medidas mensuradas por Polito *et al.* (2012) na Baía do Almirantado, Ilha Rei George e por Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) na Ilha Ardley, Ilha Rei George; Cabo Legoupil e Baía Paraíso, Península Antártica.

Medidas	MANOVA one-way
Comprimento do bico	$F_{6,311} = 7,201, P = 0,000$
Altura do bico	$F_{4,227} = 68,585, P = 0,000$
Altura às narinas	$F_{2,83} = 20,426, P = 0,000$
Largura do bico	$F_{2,83} = 10,147, P = 0,000$
Comprimento da aleta	$F_{5,288} = 26,388, P = 0,000$

Tabela 7. Comparação das medidas morfométricas e a distância entre os locais – Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado, Ilha Rei George e Hannah Point, Ilha Livingston com as medidas mensuradas por Polito *et al.* (2012) na Baía do Almirantado, Ilha Rei George e por Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) na Ilha Ardley, Ilha Rei George; Cabo Legoupil e Baía Paraíso, Península Antártica, utilizando o teste de Tukey *a posteriori*. NA = não avaliado.

Locais	Comprimento do bico	Altura do bico	Altura às narinas	Largura do bico	Largura da comissura	Comprimento da aleta	Comprimento da pata	Distâncias (km)
Stinker Point X Baía do Almirantado	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	153
Stinker Point X Hannah Point	0,033	NA	0,000	0,517	0,002	0,994	0,656	330
Stinker Point X Baía do Almirantado*	0,020	NA	NA	NA	NA	NA	NA	153
Stinker Point X Ilha Ardley	0,000	0,000	NA	NA	NA	0,002	NA	223
Stinker Point X Cabo Legoupil	0,000	0,978	NA	NA	NA	0,000	NA	274
Stinker Point X Baía Paraíso	0,182	0,000	NA	NA	NA	0,000	NA	555
Baía do Almirantado X Hannah Point	0,968	NA	0,993	0,007	0,000	0,000	0,000	129
Baía do Almirantado X Baía do Almirantado*	0,999	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-
Baía do Almirantado X Ilha Ardley	1,000	0,000	NA	NA	NA	0,000	NA	28
Baía do Almirantado X Cabo Legoupil	1,000	0,000	NA	NA	NA	0,000	NA	136
Baía do Almirantado X Baía Paraíso	0,143	0,000	NA	NA	NA	0,217	NA	372
Hannah Point X Baía do Almirantado*	1,000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	129
Hannah Point X Ilha Ardley	0,883	NA	NA	NA	NA	0,135	NA	104
Hannah Point X Cabo Legoupil	0,911	NA	NA	NA	NA	0,021	NA	159
Hannah Point X Baía Paraíso	0,742	NA	NA	NA	NA	0,000	NA	265

* Estudo de Polito *et al.* (2012) na Baía do Almirantado.

Tabela 8. Média, mínimo, máximo, DP = desvio padrão e o N = n amostral das medidas morfométricas de Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado, Ilha Rei George; Hannah Point, Ilha Livingston; Ilha Ardley, Ilha Rei George; Cabo Legoupil e Baía Paraíso, Península Antártica.

	Mínimo	Máximo	Média	DP	N
(a) Stinker Point					
Comprimento do bico	43,0	55,7	49,2	3,2	66
Altura do bico	19,0	25,3	22,4	1,7	30
Altura às narinas	15,6	20,0	17,9	1,2	36
Largura do bico	11,0	19,0	13,1	1,8	36
Largura da comissura	27,2	39,8	34,8	2,6	66
Comprimento da aleta	208	245	223	6,8	66
Comprimento da pata	100	123	113	5,0	66
(b) Baía do Almirantado					
Comprimento do bico	38,0	54,0	46,4	3,8	30
Altura do bico	16,0	22,0	18,9	1,6	30
Largura da comissura	21,0	30,0	25,5	2,3	30
Comprimento da aleta	201	221	210	5,3	30
Comprimento da pata	101	118	107	3,5	30
(c) Hannah Point					
Comprimento do bico	41,9	53,7	47,0	3,0	26
Altura às narinas	13,1	17,9	16,3	1,1	26
Largura do bico	10,6	16,9	12,7	1,5	26
Largura da comissura	23,9	37,2	32,7	3,2	26
Comprimento da aleta	207	234	222	8,2	26
Comprimento da pata	105	124	114	4,5	26
(d) Baía do Almirantado*					
Comprimento do bico	41,4	52,0	46,8	2,9	24
Altura às narinas	14,5	18,9	16,2	1,1	24
Largura do bico	9,8	12,6	11,3	0,7	24
(e) Ilha Ardley*					
Comprimento do bico	40,0	52,0	46,2	3,0	49
Altura do bico	21,0	29,0	24,5	1,5	49
Comprimento da aleta	206	230	218	5,7	49
(f) Cabo Legoupil*					
Comprimento do bico	39,0	54,0	46,2	3,2	42
Altura do bico	19,0	27,0	22,2	1,6	42
Comprimento da aleta	203	225	217	5,4	42
(g) Baía Paraíso*					
Comprimento do bico	42	60	48,0	3,0	81
Altura do bico	18,0	28,0	24,2	1,8	81
Comprimento da aleta	195	235	213	7,1	81

* Medidas morfométricas mensuradas pelos estudos de Polito *et al.* (2012) na Baía do Almirantado, Ilha Rei George e por Valenzuela-Guerra *et al.* (2013) na Ilha Ardley, Ilha Rei George; Cabo Legoupil e Baía Paraíso, Península Antártica.

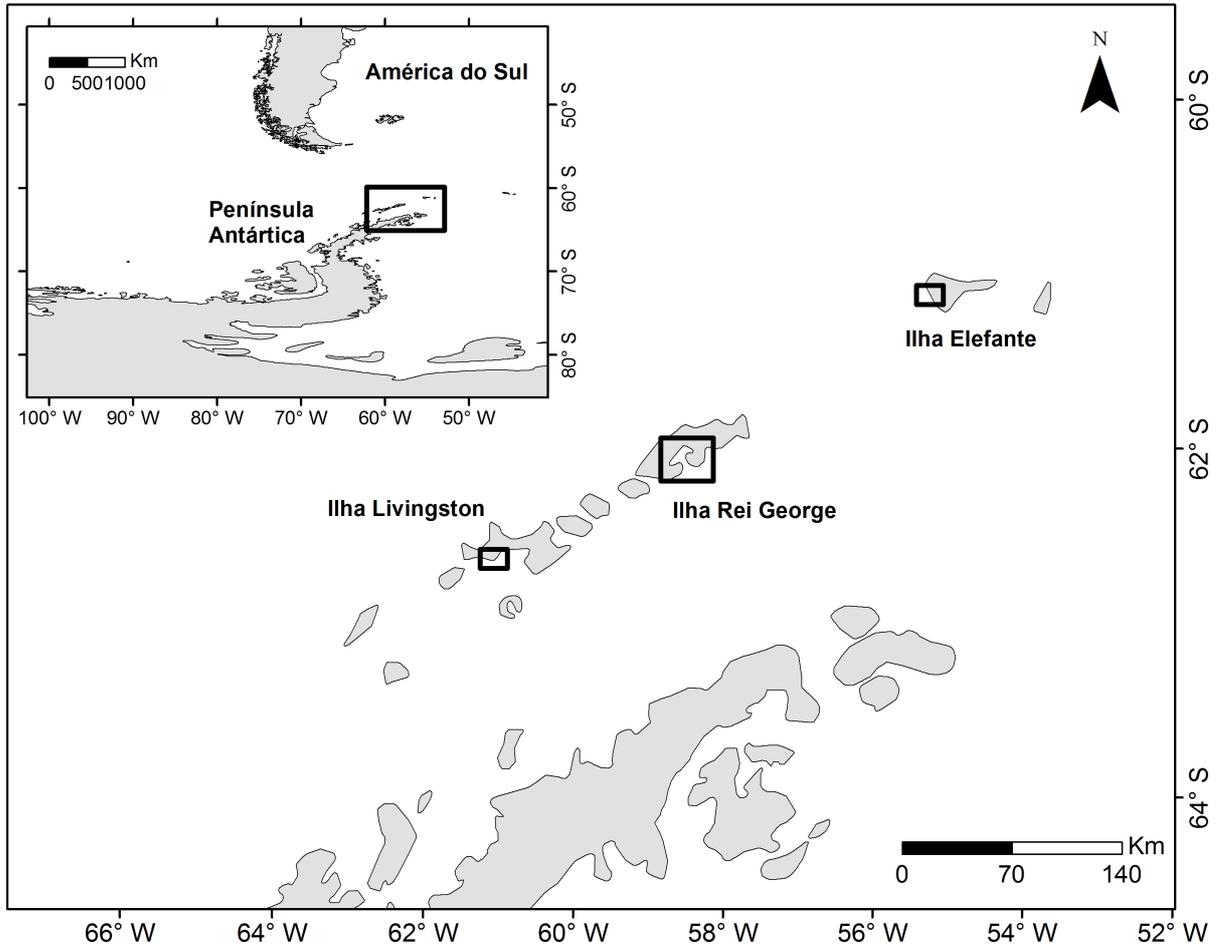


Figura 1. Mapa do Arquipélago das Shetlands do Sul e os três locais de estudo: Stinker Point na Ilha Elefante, Baía do Almirantado na Ilha Rei George e Hannah Point na Ilha Livingston.

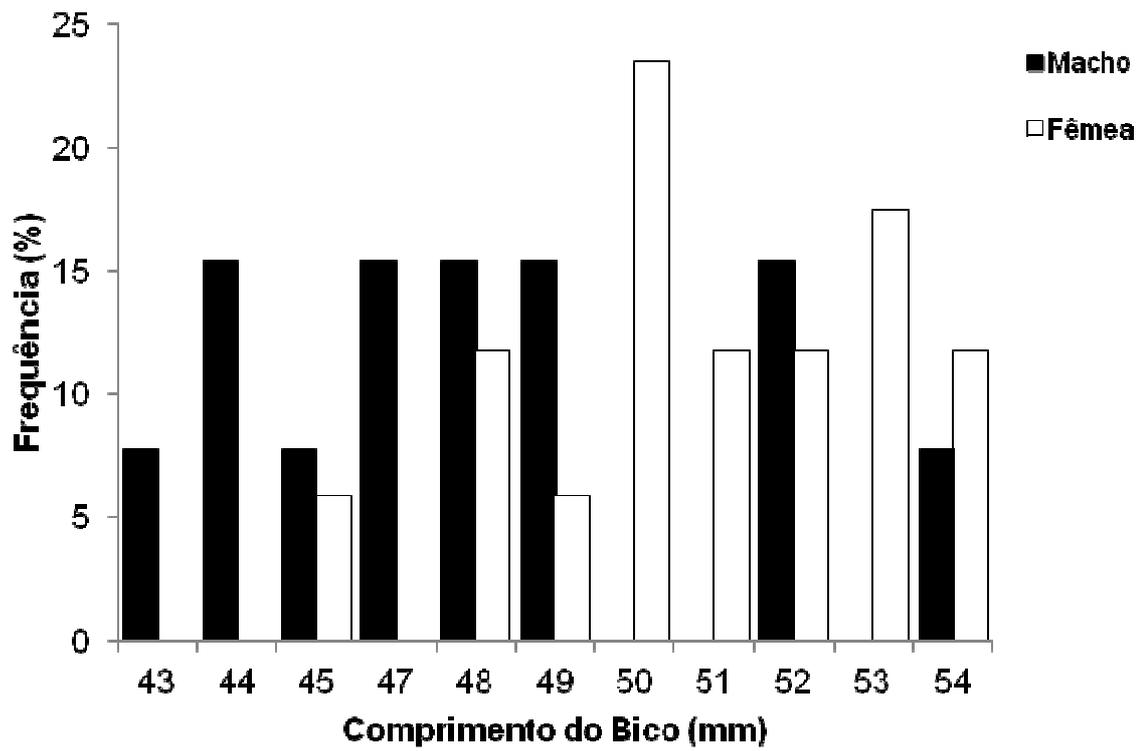


Figura 2. Distribuição das frequências do comprimento do bico para machos e fêmeas adultos de pinguim-papua, com os sexos classificados por marcadores de sexo DNA, em Stinker Point, Ilha Elefante.

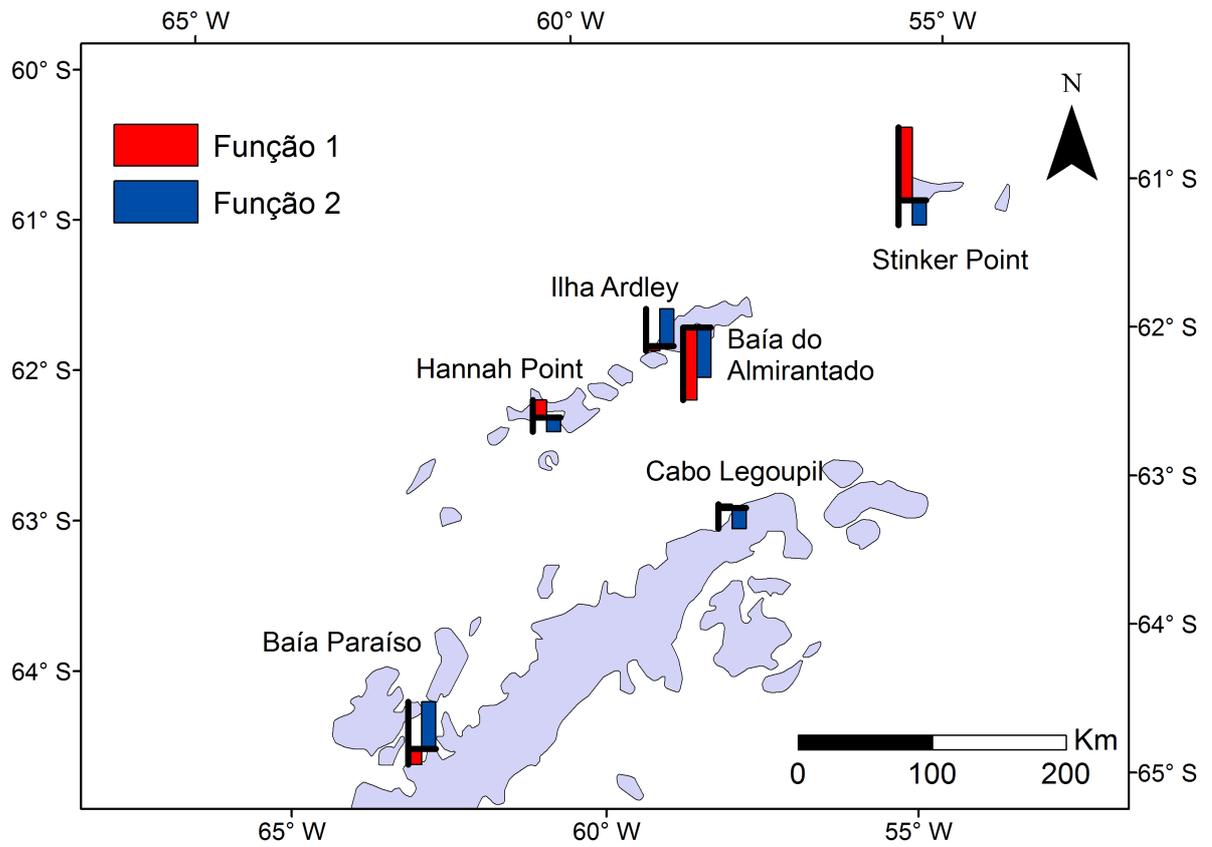


Figura 3. Mapa indicando o valor médio da função discriminante 1 e 2 em Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado, Ilha Rei George; Hannah Point, Ilha Livingston; Ilha Ardley, Ilha Rei George; Cabo Legoupil e Baía Paraíso, Península Antártica.

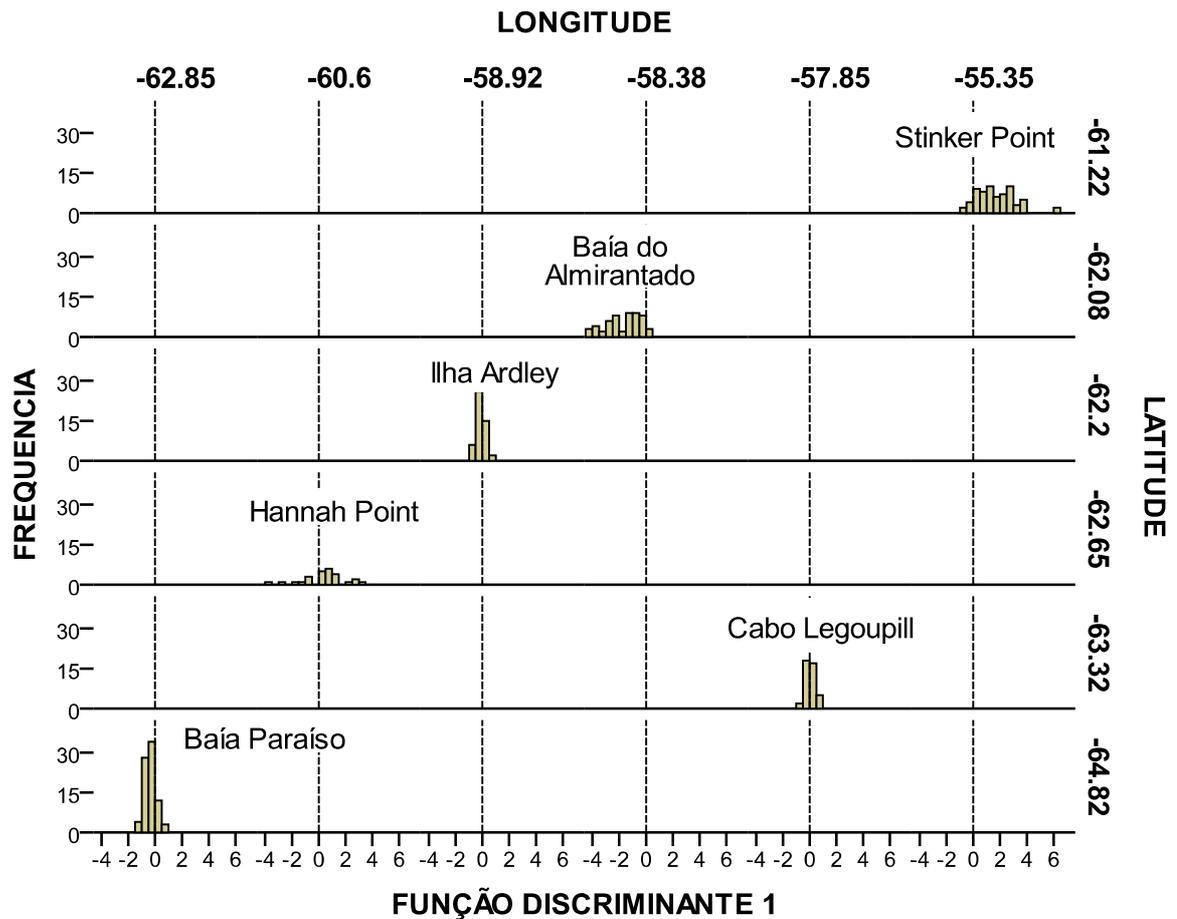


Figura 4. Escores da função discriminante 1 apresentando o padrão de discriminação das medidas morfométricas (comprimento do bico, altura às narinas, largura do bico, largura da comissura, comprimento da aleta e comprimento da pata) entre Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado e Ilha Ardley, Ilha Rei George; Hannah Point, Ilha Livingston, Cabo Legoupill e Baía Paraíso, Península Antártica.

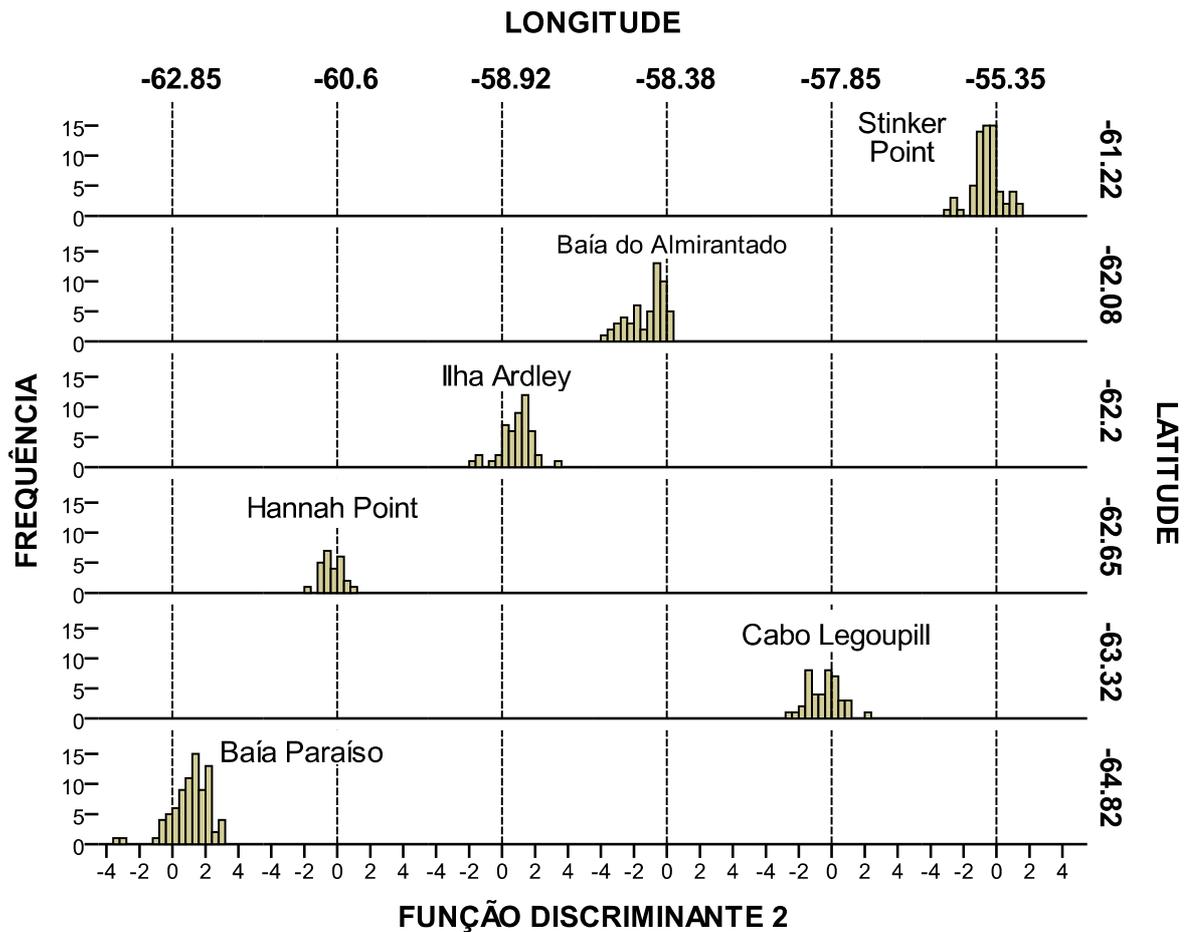


Figura 5. Escores da função discriminante 2 apresentando o padrão de discriminação das medidas morfométricas (comprimento do bico, altura do bico, altura às narinas, largura do bico, largura da comissura, comprimento da aleta e comprimento da pata) entre Stinker Point, Ilha Elefante; Baía do Almirantado e Ilha Ardley, Ilha Rei George; Hannah Point, Ilha Livingston, Cabo Legoupill e Baía Paraíso, Península Antártica.

4. CAPÍTULO 3

**FLUCTUATING ASYMMETRY IN GENTOO PENGUIN *Pygoscelis papua* AT
ELEPHANT AND KING GEORGE ISLANDS, SOUTH SHETLANDS
ARCHIPELAGO, ANTARCTICA¹**

¹ Artigo submetido para publicação no dia 01 de setembro de 2013 para o periódico *Polar Biology*

4.1. Abstract

The Antarctica is the region of the planet most sensitive to global warming and consequently its fauna are exposed extensive local environmental change. Changes in these ecosystems could affect the biology of endemic organisms, and consequently alter the structure and dynamics of local populations and communities. We hypothesized that observation of changes to developmental processes of individuals within an Antarctica species could be a way of evaluating alterations, variations and fluctuations to symmetrical characteristics, and these might indicate the environmental health. The aim of this study was to quantify potential asymmetry in Gentoo penguins, breeding at Elephant and King George Islands to characterize variation as a way of evaluating the current quality of the environment. We did measurements of the total length of flippers and feet to 60 penguins and then we calculated the asymmetry degree. The results showed that these characters presented a normal distribution and zero mean, which allows us to verify that observed levels of asymmetry reflect a fluctuating asymmetry (FA) pattern. We found no difference in the FA levels in the two different populations sampled, or between characters evaluated. Absence of high levels of FA in our study indicates that the sites did not present environmental stress sufficient that could cause physiological disturbances in this species in Antarctica.

Keywords: bilateral symmetry; developmental instability; morphometric measurements

4.2. Introduction

In the last few years, studies about the Antarctica have been intensified because of its highly fragile environmental, which by being the most well preserved region of the planet becomes one of the most sensitive to global environmental changes (Turner et al. 2009). Variations in the Antarctic environment result primarily from climatic changes and with the addition of human-induced disturbances such climatic impacts could affect the physiology, ecology and adaptative responses of organisms, and consequently the structure and dynamics of populations and communities (Sarmiento et al. 2004; Clarke et al. 2005; Orr et al. 2005; Forcada and Trathan 2009). However, the detection and assessment these effects in natural habitats still poses a challenge to environmental science (Tarlow and Blumstein 2007).

One of the techniques commonly used in biomonitoring for measuring the influence of external factors on the phenotype of individuals is termed fluctuating asymmetry (FA)

(Palmer 1996; Hume 2001). FA is defined as small deviations perceivable from perfect symmetry of any normal structure of organisms with bilateral symmetry and arising during ontogenetic development (Van Valen 1962; Palmer and Strobeck 1986; Parsons 1990), and being random and non-directional (Kark 2001; Palmer and Strobeck 2003). Basically, the assumption is that the observed level of asymmetry reflects the ability of an organism to cope against the mechanisms of changes triggered by stress factors of changing environmental origin and/or genetic changes during the development of characters that affect an organism's ability to develop uniform traits (Leary and Allenford 1989; Parsons 1990; Palmer 1994; Juste et al. 2001).

In addition to the FA, there are two other kinds of asymmetry: directional asymmetry produces altered phenotypes in which changes of characters tend to be more commonly observed on one side of the individual than the other; antisymmetry occurs when individuals are observed within the population that evidence hyperdevelopment of characters on one side of the body, but where side of the body that shows such hyperdevelopment varies randomly within the populations, such that there is no tendency of deviation to a certain side (Van Valen 1962; Leary and Allenford 1989; Graham et al. 1993; Møller 1994). These asymmetries, therefore, have not been considered to serve as estimators of developmental instability, or to have a significant genetic basis and/or be determined by genetic components still unknown, reflecting a development normal for the organisms. In this case, only FA is considered as asymmetry useful for estimating the fitness of populations (Palmer and Strobeck 1986; Palmer and Strobeck 1992; Palmer 1994; Van Dongen 2006).

Birds comprise the second largest group of species studied for FA, probably due to the ease of sampling and data collection (Moreno 2003; Tarlow and Blumstein 2007; Bagliano 2012). The studies examined the negative effect of high levels of FA in secondary sexual characters (ornaments) and reproductive success or preference for partners (Evans et al. 1995; Møller 1995; Dufour and Weatherhead 1996). High levels of FA in wings and tails of birds affect the performance of the flight (Balmford et al. 1993; Thomas 1993; Aparicio and Bonal 2002). Other studies associated high levels of FA with different kinds of stress: fragmented habitats (Bierregaard and Lovejoy 1989; Anciães and Marini 2000; Lens et al. 2002), urban residence (Vogel et al. 2012), competition (Cadée 200), food (Hovorka and Robertson 2000) and parasite/pathogen (Shycoff and Møller 1999; Fair et al. 1999). No study about FA was performed in penguins. Penguins are top predators in the Antarctica and are directly dependent on land and sea. They are sensitive to environmental disturbances and can thus serve to reflect the health of the inshore ecosystem (Boersma 2008). Gentoo penguin,

Pygoscelis papua, has a circumpolar distribution, breeding on sub-Antarctic islands and southwards along the Antarctic Peninsula to approximately 65°S latitude. They are inshore consumers and non-migratory, remaining at their breeding colonies throughout year round. As they forage near their breeding colonies, they are bound to be very dependent on local marine resources and may be indicators of local environmental quality (Trivelpiece et al. 1987; Bost and Jouventin 1990; Bost et al. 1994). Thus, the aims of this study were 1) verify the asymmetry present in Gentoo penguin populations and characterize their levels and 2) evaluate differences between characters observed in different populations of species in Antarctica, as an indirect way of evaluating the quality of the local environments.

4.3. Methods

4.3.1. Study area

The work was done in South Shetlands Archipelago, on Stinker Point, Elephant Island (61°13'S; 55°21'W) (Fig. 1) and in Admiralty Bay on King George Island (KGI) (62°05'S; 58°23'W) (Fig. 2), Antarctica Peninsula. Elephant Island is the largest and most northerly island of the South Shetlands group and is located approximately 153 km northeast of KGI in the Bransfield Strait (Harris et al. 2011). Its climate is different from the others islands of the South Shetlands Archipelago since it is located closer to the ice fields of the Weddell Sea. As a result, it is colder, and the mists, haze and snow fall are more frequent here (Instituto Hidrográfico de La Armada Chile 1989). Stinker Point is considered an important area for birds (IBA nº 071) according to the report "Important Bird Areas in Antarctica" (Harris et al. 2011).

KGI is located in the west of the Antarctic Peninsula. Its climate is determined by the passage of successive cyclonic systems, transporting warm, moist air, strong winds and large volumes of precipitation (Bintanja 1992). The areas' weather characteristics are typical of a maritime climate, with little variation in atmospheric temperature during the year, high relative humidity, and frequent cloud cover (Rakusa-Suszczewski et al. 1993). Admiralty Bay is the largest bay located in the central sector of KGI. Considered as an ASMA (Antarctic Specially Managed Area); it also includes the presence of an ASPA (Antarctic Specially Protected Area, No. 128 - forming SSSI No. 8) (Simões et al. 2001).

4.3.2. Sampling and statistical analysis

Sampling was conducted during the breeding period of Gentoo penguins in Admiralty Bay (14 to 28 December 2010) and in Stinker Point (03 to 06 November 2012). For the measurement of morphological characteristics, we randomly captured 30 adult in each study site using a net. Total lengths of both flippers (Fig. 3) and both feet (without the nail) (Fig. 4) of each individual were measured to the nearest 1 mm using a metal ruler. To avoiding resample individuals were marked with gentian violet upon.

FA was estimated following Palmer and Strobeck (1986) and calculated for each individual as:

$$FA = (R - L) / [(R + L)/2]$$

Where,

FA = fluctuating asymmetry on the character of an individual

R = character size on the right side of an individual

L = character size on the left side of an individual

The normality of the distribution of measures of each locale was tested using the Kolmogorov-Smirnov test. To verify that the means did not differ significantly from zero, we used a t-test (one-sample t-test) (Sokal and Rohlf 1981; Palmer and Strobeck 1986; Swaddle et al. 1994), if differing significantly from zero, results might not support the hypothesis of asymmetric variations in the population. For FA to be considered a property of a population the mean level of asymmetry from a sample of individuals is predicted to be normally distributed around a mean of zero (Palmer 1994; Møller and Swaddle 1997). Dependence of FA on the size of the character was tested by the Pearson correlation coefficient between the FA of each individual and their mean character size (Evans et al. 1995; Dufour and Weatherhead 1996; Graham et al. 2003). Comparisons of FA levels between the characters and between characters in both locations were conducted through use of two-sample t-test. Correlations were tested using the Pearson correlation coefficient (Palmer and Strobeck 1986). Analyses were processed using Systat 12.0 software. For all results, we considered $p < 0.05$ as confidence levels.

4.4. Results

For flippers and feet measurements of individual Gentoo penguins sampled at Stinker Point and Admiralty Bay, the differences between right and left sides showed patterns of FA

that do not deviate from normal in their distributions and frequencies (Fig. 5 and 6) (Kolmogorov-Smirnov, $p > 0.05$), thus not indicating evidence of anti-symmetry. The observed differences obtained from bilateral structures measured fit within the category of FA because their means did not differ from zero (one-sample t-test, $p > 0.05$), thus, indicating no evidence of directional asymmetry. Although some studies use calculations of FA correction factors for the size of the characteristics evaluated, this was not necessary for our work because the FA on both characters was independent of the mean size of the same (Pearson correlation coefficient, $p > 0.05$). A summary of the results is presented in the Table 1.

The mean FA on the flippers and feet of individuals was 0.002 for both. There was no significant difference of the levels of FA between characters ($t_{118} = 0.005$, $p = 0.996$). There was no significant correlation found between FA of flippers and feet ($r = -0.146$, $p = 0.265$). FA of the flippers of individuals at Stinker Point varied between 0 and 0.026 and feet varied between 0 and 0.077; at Admiralty Bay flippers vary between 0 and 0.044 and feet vary between 0 and 0.018. The individuals of Stinker Point and Admiralty Bay showed no significant difference between the levels of FA for flippers and feet ($t_{58} = 1.110$, $p = 0.271$; $t_{58} = 0.054$, $p = 0.957$, respectively). There was no significant correlation between the asymmetries of the flippers and feet of penguins in comparing the two locations ($r = -0.215$, $p = 0.254$; $r = 0.087$, $p = 0.646$, respectively).

4.5. Discussion

The results suggest that FA indexes found in flippers and feet of Gentoo penguins at Stinker Point and Admiralty Bay are suitable to the criteria proposed by Palmer and Strobeck (1986; 2003). Once the values of the studied characters are found to evidence normal distribution of measures with independent asymmetric patterns, this allows the direct comparison of these measures to be used to infer the individuals fitness from the measures. The FA is specific to each character (Palmer and Strobeck 1986; Parsons 1990) and, can be variation of FA between characters in the same individual (Klingenberg and MacIntyre 1998). The absence of correlation between FA in different characters suggests it represents the result of the development of those characters in different periods (Palmer and Strobeck 1986).

In this study, FA was identified in Gentoo penguin at very low levels. The lack of higher levels of FA is considered to be indicative of an absence of levels of environmental stress that could cause disturbances and alter the homeostasis of development in this species in the evaluated sites. Although it is clear that significant environmental changes are

occurring in the Antarctica, absence of high levels of FA in our study indicates that the sites did not present environmental stress sufficient that could cause physiological disturbances in this species. However, we could not rule out the possibility that with enough samples from other locations and with other kinds of disturbances, we would have found greater evidence of differences in FA of Gentoo penguins. With regard to birds, environmental disturbances have been found to be related to observed abnormalities in the body axis and high levels of FA have been found in studies concerning birds and competition, parasites/pathogens and habitat fragmentation (Sanseverino and Nessimian, 2008). Bird studies about FA reported birds in fragmented landscapes are diagnosed to have higher levels of morphometric asymmetry in highly altered environments (postulated to be caused by either genetic or environmental stress) when compared with those living in more natural, preserved habitats (Bierregaard and Lovejoy 1989; Anciães and Marini 2000; Lens et al. 2002).

Throughout its extensive circumpolar range the Gentoo penguin shows extreme variability and a high plasticity in many aspects of their ecology, exhibiting contrasting variations among populations. This distinct survival advantage is probably due to its extensive distribution and to being largely generalist consumers, able to successfully feed in many habitats and on a variety of prey (Trivelpiece et al. 1987; Bost and Jouventin 1990; Williams et al. 1992; Woehler 1993; Miller et al. 2009). However, their status is considered “Near Threatened” by the IUCN, due to the rapid decline of some key populations in sub-Antarctic islands (IUCN 2013; BirdLife 2012). Recent studies indicate that Gentoo penguin populations are expanding and increasing in the region of the Antarctic Peninsula (including the South Shetland and South Orkney Islands) and decreasing in the sub-Antarctic islands (Lynch et al. 2008; Naveen et al. 2011). The main threat to the species was reported to be increasing oil exploration around the Falkland Islands (Lynch 2012) causing contamination of individuals with oil. In the breeding areas have disturbances caused by tourism which has decreased the reproductive success of the specie (Trathan et al. 2008; Lynch et al. 2009), and the associated increase in marine traffic is likely to impact penguins foraging in inshore waters (Lynch et al. 2010) and interactions with fisheries (Ellis et al. 1998).

The relative ease of simply measuring body characters provides a simple, cheap technique as an important alternative in studying species that respond negatively to being bled, or to being handled for long periods of time. These features of FA are particularly interesting in a conservation context and may be found to provide a good bioindicator tool (Hume 2001). The penguins Gentoo at Stinker Point and Admiralty Bay showed no significant FA indicating the absence of stress environmental and/or genetic there on. Thus,

we recommend further studies of FA in Gentoo penguins in different environments to validate use of this tool, especially in the sub-Antarctic islands where great anthropogenic disturbances for the species and rapid decline of the population have recently been reported. Furthermore, a important assessment together with FA would be measure the levels of pollutants in penguin tissue. We also recommend additional studies that examine FA in other pygoscelids that have different life histories and possibly differing responses to environmental change.

4.6. Acknowledgements

This work integrates the National Institute of Science and Technology Antarctic Environmental Research (INCT-APA) that receives scientific and financial support from the National Council for Research and Development (CNPq process: n° 574018/2008-5) and Carlos Chagas Research Support Foundation of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ n° E-16/170.023/2008). The authors also acknowledge the support of the Brazilian Ministries of Science, Technology and Innovation (MCTI), of Environment (MMA), Inter-Ministry Commission for Sea Resources (CIRM), and the Brazilian Federal Agency for the Support and Evaluation of Graduate Education (CAPES). We thank Renato Dias de Souza for providing photograph. We appreciate the improvements in English usage made by Phil Whitford through the Association of Field Ornithologists' program of editorial assistance.

4.7. References

- Anciães M, Marini MA (2000) The effects of fragmentation on fluctuating asymmetry in passerine birds of Brazilian tropical forests. *J Appl Ecol* 37:1013–1028
- Aparicio JM, Bonal R (2002) Why do some traits show higher fluctuating asymmetry than others? A test of hypotheses with tail feathers of birds. *Heredity* 89:139–144. doi: 10.1038/sj.hdy.6800118
- Bagliano RV (2012) Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. *Rev Meio Ambient e Sustent* 2:24–40
- Balmford A, Jones IL, Thomas ALR (1993) On avian asymmetry: evidence of natural selection for symmetrical tails and wings in birds. *Proc R Soc Lond B* 252:245–251. doi: 10.1098/rspb.1993.0072
- Bierregaard ROJr, Lovejoy TE (1989) Effects of forest fragmentation on Amazonian understory bird communities. *Acta Amazon* 19:215–241

- Bintanja R (1992) Glaciological and meteorological investigations on Ecology Glacier, King George Island, Antarctic (summer 1990-1991). *Circumpolar J* 1: 59–71
- BirdLife International (2012) Species factsheet: *Pygoscelis papua*. <http://www.birdlife.org>. Accessed 14 May 2013
- Boersma PD (2008) Penguins as marine sentinels. *BioScience* 7:597–607. doi: 10.1641/B580707
- Bost CA, Jouventin P (1990) Evolutionary ecology of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*). In: Davis LS, Darby JT (eds) *Penguin biology*. Academic Press, London pp 85–112
- Bost CA, Koubbi P, Genevois F et al (1994) Gentoo penguin *Pygoscelis papua* diet as an indicator of planktonic availability in the Kerguelen Islands. *Polar Biol* 14:147–153. doi: 10.1007/BF00240519
- Cadée N (2000) Genetic and environmental effects on morphology and fluctuating asymmetry in nestling barn swallows. *J Evol Biol* 13:359–370. doi: 10.1046/j.1420-9101.2000.00194.x
- Clarke A, Barnes D, Hodson D (2005) How isolated is Antarctica? *Trends Ecol Evol* 1:20-1. doi: 10.1016/j.tree.2004.10.004
- Dufour KW, Weatherhead PJ (1996) Estimation of organism-wide asymmetry in red-winged blackbirds and its relation to studies of mate selection. *Proc R Soc Lond B* 263:769–775. doi: 10.1098/rspb.1996.0115
- Ellis S, Croxall JP, Cooper J (1998) Penguin conservation assessment and management plan: report from the workshop held 8-9 September 1996, Cape Town, South Africa. IUCN/SSC, Apple Valley, USA
- Evans MR, Martins LFT, Haley MP (1995) Inter- and intra-sexual patterns of fluctuating asymmetry in the red-billed streamertail: should symmetry always increase with ornament size? *Behav Ecol Sociobiol* 37:15–23
- Fair JM, Hansen ES, Ricklefs RE (1999) Growth, developmental stability and immune response in juvenile japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Proc R Soc Lond B* 266:1735–1742
- Forcada J, Trathan PN (2009) Penguin responses to climate change in the Southern Ocean. *Glob Change Biol* 15:1618-1630. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01909.x
- Graham JH, Freeman DC, Emlen JM (1993) Antisymmetry, directional asymmetry and dynamic morphogenesis. *Genetica* 89:121–137
- Graham JH, Shimizu K, Emlen JM et al (2003) Growth model and the expected distribution of fluctuating asymmetry. *Biol J Linn Soc* 80:57–65

- Harris CM, Carr R, Lorenz K, Jones S (2011) Important Bird Areas in Antarctica: Antarctic Peninsula, South Shetland Islands, South Orkney Islands – Final Report. Environmental Research & Assessment Ltd, Cambridge
- Hovorka MD, Robertson RJ (2000) Food stress, nestling growth, and fluctuating asymmetry. *Can J Zool* 78:28–35. doi: 10.1139/z99-183
- Hume D (2001) Environmental monitoring and fluctuating asymmetry. Study design. DOC Science Internal Series 4. Department of Conservation, Wellington
- Instituto Hidrográfico de La Armada Chile (1989) Derrotero de la costa de Chile. I.H.A. Pub. Santiago
- IUCN (2013) IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. www.iucnredlist.org. Accessed 14 May 2013
- Juste J, López-González C, Strauss RE (2001) Analysis of asymmetries in the african fruit bats *Eidolon helvum* and *Rousettus aegyptiacus* (Mammalia: Megachiroptera) from the islands of the gulf of Guinea. II. Integration and levels of multivariate fluctuating asymmetry across a geographical range. *J Evol Biol* 14:672–680
- Kark S (2001) Shifts in bilateral asymmetry within a distribution range: The case of the chukar partridge. *Evolution* 55:2088–2096
- Klingenberg CP, MacIntyre GS (1998) Geometric morphometrics of developmental instability: analysing patterns of fluctuating asymmetry with procrustes methods. *Evolution* 52:1363–1375
- Leary RF, Allendorf FW (1989) Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: Implications for conservation biology. *Trends Ecol Evol* 4:214–217. doi: 10.1016/0169-5347(89)90077-3
- Lens L, Van Dongen S, Matthysen E (2002) Fluctuating asymmetry as an early warning system in the critically endangered taita thrush. *Conserv Biol* 16:479–487. doi: 10.1046/j.1523-1739.2002.00516.x
- Lynch HL (2012) The gentoo penguin (*Pygoscelis papua*). In: García Borboroglu PG, Boersma PD (eds) *Biology and Conservation of the World's penguins*, University of Washington Press, Seattle U.S.A.
- Lynch HJ, Crosbie K, Fagan WF, Naveen R (2010) Spatial patterns of tour ship traffic in the Antarctic Peninsula region. *Antarct Sci* 22:123–130. doi: 10.1017/S0954102009990654
- Lynch HJ, Fagan WF, Naveen R et al (2009) Timing of clutch initiation in *Pygoscelis* penguins on the Antarctic Peninsula: Towards an improved understanding of off-peak census correction factors. *CCAMLR Science* 16:149–165

- Lynch HJ, Naveen R, Fagan WF (2008) Censuses of penguin, blue-eyed shag *Phalacrocorax atriceps* and southern giant petrel *Macronectes giganteus* populations in the Antarctic Peninsula, 2001–2007. *Mar Ornithol* 36:83–97
- Miller AK, Karnovsky NJ, Trivelpiece WZ (2009) Flexible foraging strategies of gentoo penguins *Pygoscelis papua* over 5 years in the South Shetland Islands, Antarctica. *Mar Biol* 156:2527–2537. doi: 10.1007/s00227-009-1277-z
- Møller AP (1994) Directional selection on directional asymmetry: testes size and secondary sexual characters in birds. *Proc R Soc Lond B* 258:147–151. doi: 10.1098/rspb.1994.0155
- Møller AP (1995) Patterns of fluctuating asymmetry in sexual ornaments of birds from marginal and central populations. *Am Nat* 145:316–327
- Møller AP, Swaddle JP (1997) *Asymmetry, Developmental Stability and Evolution*. Oxford Univ. Press, Oxford
- Moreno J (2003) Lifetime reproductive success in seabirds: interindividual differences and implications for conservation. *Sci Mar* 67:7–12.
- Naveen R, Lynch HJ (2011) *Antarctic Peninsula Compendium*, 3 rd edn. Environmental Protection Agency, Washington
- Orr JC, Fabry VJ, Aumont O et al (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437:681–686. doi: 10.1038/nature04095
- Palmer AR (1994) Fluctuating asymmetry analysis: A primer. In: Markow TA (ed) *Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications*. Kluwer Acad. Publ., Dordrech, pp 335–364
- Palmer AR (1996) Waltzing with asymmetry. *Bioscience* 46:518–532. doi: 10.2307/1312930
- Palmer AR, Strobeck C (1986) Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Ann Rev Ecol Syst* 17:391–421
- Palmer AR, Strobeck C (1992) Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of tests. *Acta Zool Fenn* 191:57–72
- Palmer AR, Strobeck C (2003) Fluctuating asymmetry analyses revisited. In: Polak M (ed) *Developmental instability: causes and consequences*. Oxford Univ. Press., Oxford, pp 279–319
- Parsons PA (1990) Fluctuating asymmetry: An epigenetic measure of stress. *Biol Rev* 65:131–145. doi: 10.1111/j.1469-185X.1990.tb01186.x

- Rakusa-Suszczewski S, Mietus M, Piasecki J (1993) Weather and climate. In: Rakusa-Suszczewski S (ed) The Maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay. Polish Academy of Sciences, Warsaw, pp 19–25
- Sanseverino AM, Nessimian JL (2008) Assimetria flutuante em organismos aquáticos e sua aplicação para avaliação de impactos ambientais. *Oecol Bras* 12:382–405
- Sarmiento JL, Slater R, Barber R et al (2004) Response of ocean ecosystems to climate warming. *Global Biogeochem Cy* 18. doi: 10.1029/2003GB002134
- Shykoff JA, Møller AP (1999) Fitness and asymmetry under different environmental conditions in the barn swallow. *Oikos* 86:152–158
- Simões JC, Ferron FA, Braun M et al (2001) A GIS for the Antarctic Specially Managed Area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Geo-spatial inform Sci* 4:8-14. doi: 10.1007/BF02826972
- Sokal RR, Rohlf FJ (1981) *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman and Company, Nova York
- Swaddle JP, Whitter MS, Cuthill IC (1994) The analysis of fluctuating asymmetry. *Anim Behav* 48:986–989
- Tarlow EM, Blumstein DT (2007) Evaluating methods to quantify anthropogenic stressors on wild animals. *Appl Anim Behav Sci* 102:429–451. doi: 10.1016/j.applanim.2006.05.040
- Thomas ALR (1993) The aerodynamic costs of asymmetry in the wings and tail of birds: asymmetric birds can't fly round tight corners. *Proc R Soc Lond B* 254:181–189. doi: 10.1098/rspb.1993.0144
- Trathan PN, Forcada J, Atkinson R et al (2008) Population assessments of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) breeding at an important Antarctic tourist site, Goudier Island, Port Lockroy, Palmer Archipelago, Antarctica. *Biol Conserv* 141:3019–3028
- Trivelpiece WZ, Trivelpiece SG, Volkman NJ (1987) Ecological segregation of adelic, gentoo and chinstrap penguins at King George Island, Antarctica. *Ecology* 58:351–361. doi:10.2307/1939266
- Turner J, Bindschadler R, Convey P et al (2009) *Antarctic climate change and the environment*. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge
- Van Dongen S (2006) Fluctuating asymmetry and developmental instability in evolutionary biology: past, present and future. *J Evol Biol* 19:1727–1743. doi: 10.1111/j.1420-9101.2006.01175.x
- Van Valen L (1962) A study of fluctuating asymmetry. *Evolution* 16:125–142

Vogel HF, Zawadzki CH, Silva GS et al (2012) Assimetria flutuante: dados iniciais de uma taxocenose de sabiás (passeriformes, turdidae) ocorrentes em um parque urbano na região centro-sul do estado do Paraná, Brasil. Publ UEPG Ci Biol Saúde 18:25–30. doi: 10.5212/Publ.Biologicas.v.18i1.0003

Williams TD, Briggs DR, Croxall JP et al (1992) Diving pattern and performance in relation to foraging ecology in the gentoo penguin, *Pygoscelis papua*. J Zool Lond 227:211–230. doi: 10.1111/j.1469-7998.1992.tb04818.x

Woehler EJ (1993) The distribution and abundance of Antarctic and Subantarctic penguins. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge

Tab. 1. Tests for fluctuating asymmetry and dependence on the size. To verify evidence of anti-symmetry, the normal distribution of FA was tested by the Kolmogorov-Smirnov (KS), to verify that the means of FA were significantly different from zero (presence of directional symmetry), test one-sample t-test (t-test) was used, and to test the dependence of FA in relation to character size we applied the Pearson correlation coefficient.

Samplings	K-S		t test		Pearson correlation	
	d	p	t	p	r	p
Flippers Admiralty Bay	0,164	0,397	0,014	0,989	-0,195	0,302
Flippers Stinker Point	0,167	0,375	-0,008	0,994	0,053	0,780
Feet Admiralty Bay	0,193	0,214	0,083	0,934	0,094	0,620
Feet Stinker Point	0,126	0,730	-0,030	0,976	-0,066	0,729

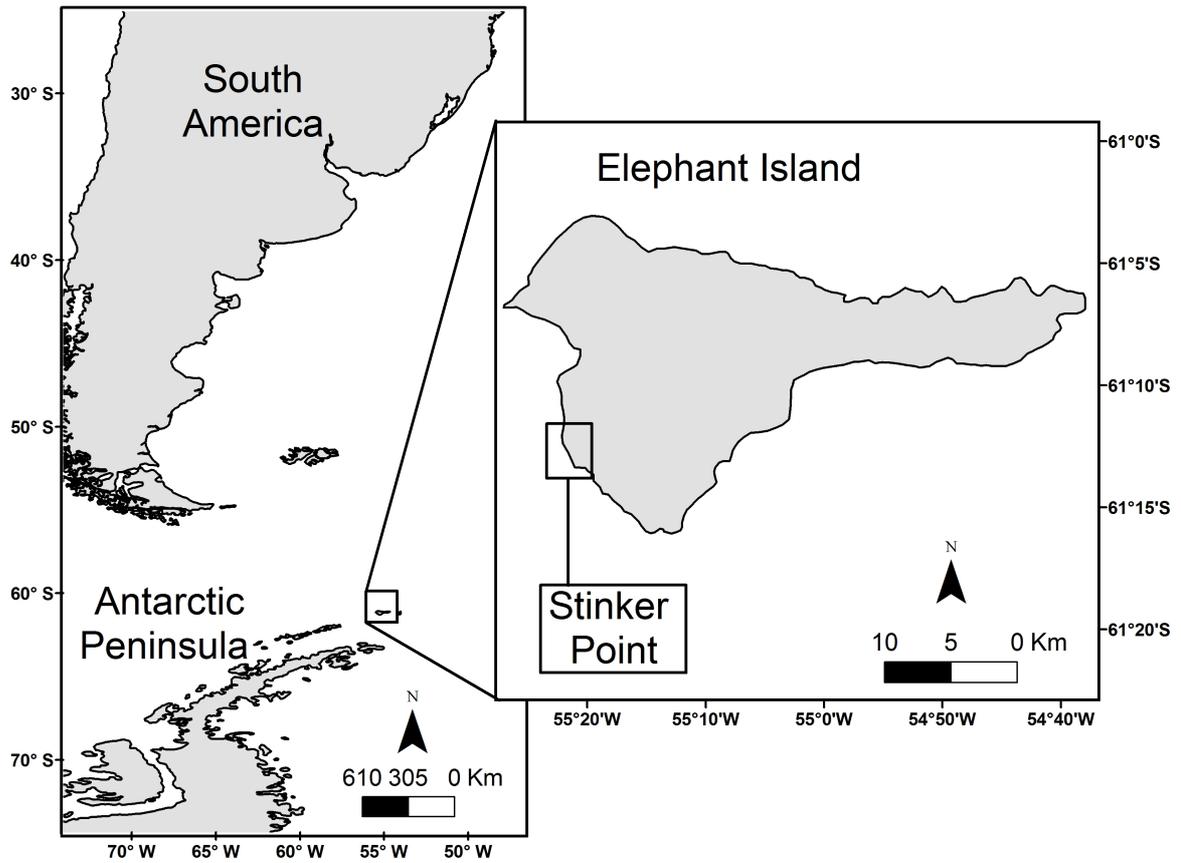


Fig. 1. Location Stinker Point, Elephant Island, South Shetland Archipelago, Antarctica.

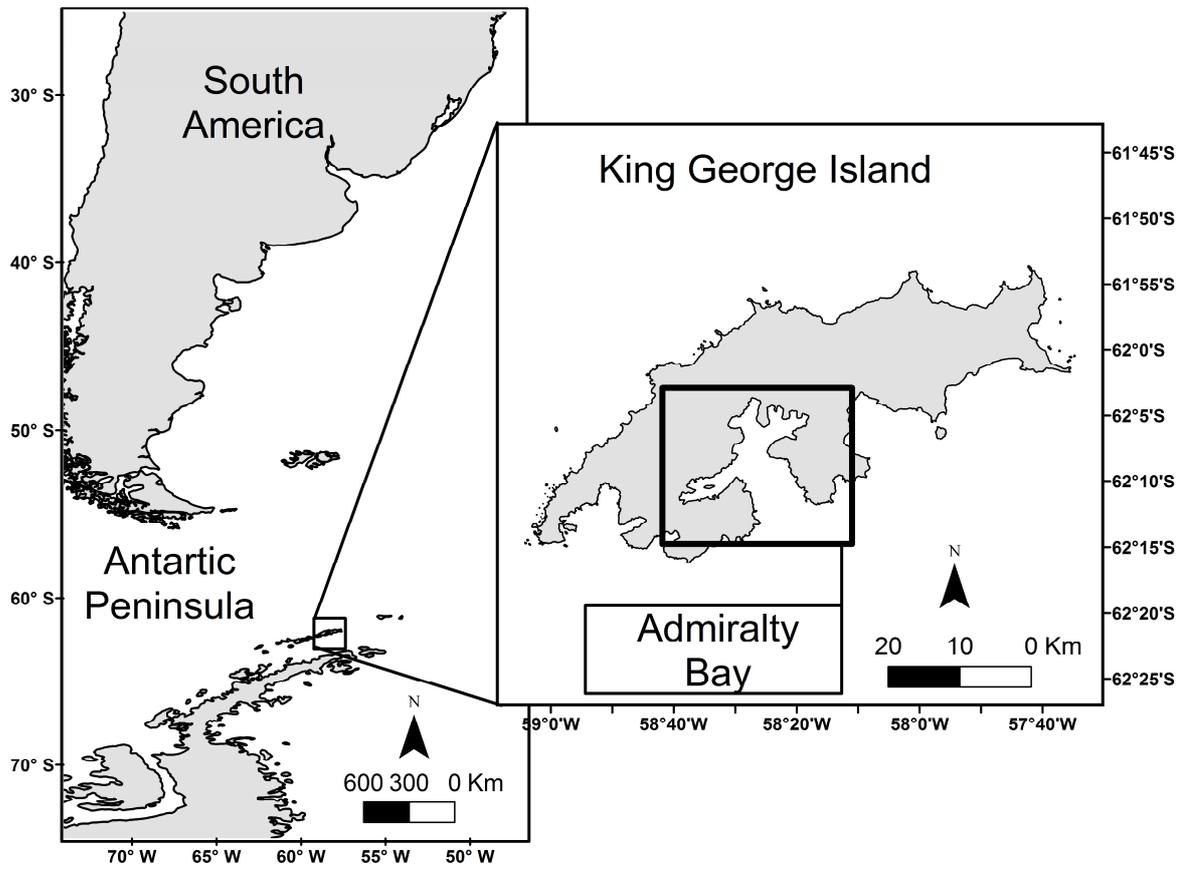


Fig. 2. Location Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Archipelago, Antarctica.



Fig. 3. Measure of the total length of the flipper. Photograph taken by Renato Dias de Souza.



Fig. 4. Measure of the total length of the foot. Photograph taken by Roberta da Cruz Piuco.

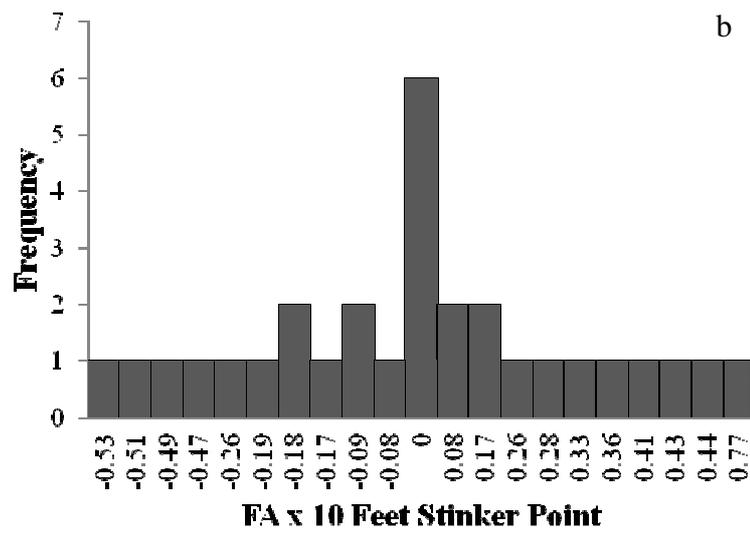
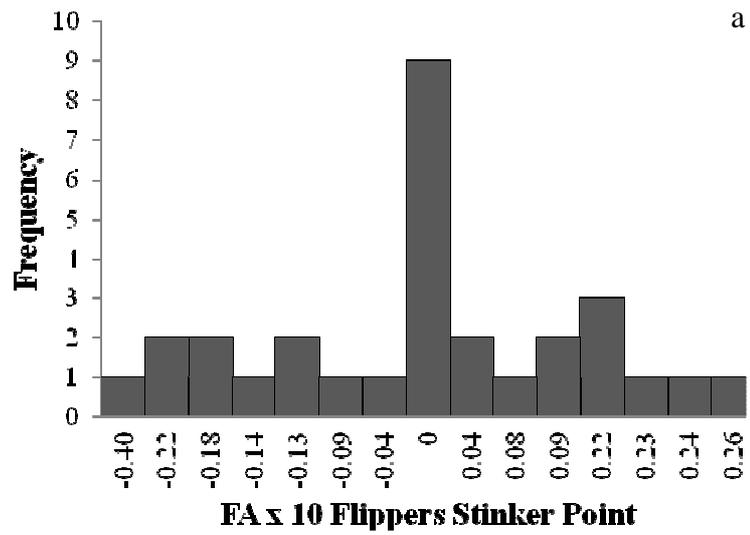


Fig. 5. Frequency distribution of FA in flippers (a) and feet (b) at Stinker Point.

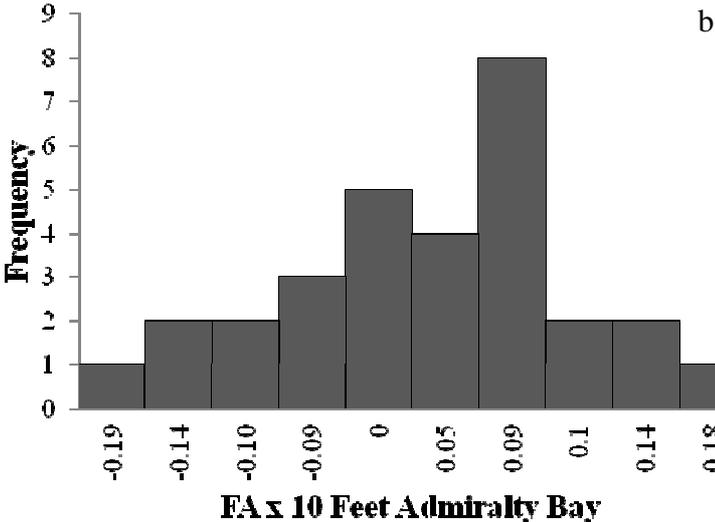
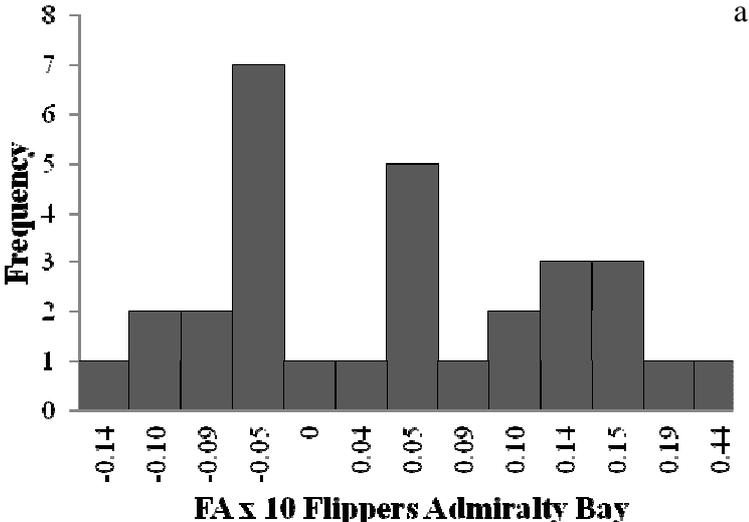


Fig. 6. Frequency distribution of FA in flippers (a) and feet (b) at Admiralty Bay.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resposta das aves às variações ambientais é mediada pela flexibilidade de suas estratégias específicas de história de vida. Portanto, compreender as respostas da dinâmica populacional local é fundamental para complementar as informações ao longo da distribuição de pinguim-papua para estabelecer um panorama geral.

A população reprodutiva de pinguim-papua de Stinker Point, Ilha Elefante respondeu significativamente aos valores negativos do Índice de Oscilação Antártica e aos extremos positivos e negativos da anomalia de temperatura na redução do número de pares reprodutores. A flutuação da abundância de pares reprodutores poderia ser o efeito dos pinguins evitarem os custos da reprodução e/ou sua interrupção em um determinado ano em resposta a eventos climáticos extremos ou baixa produtividade e redução de suas principais presas, para garantir uma maior sobrevivência e probabilidade de reprodução futuramente (DRENT e DANN, 1980). Portanto, eventos climáticos extremos podem afetar os parâmetros populacionais de pinguim-papua e a dinâmica da colônia em curto prazo, reduzindo o número de pares reprodutores e como consequência, a taxa de reprodução da população. Em longo prazo, pode afetar o recrutamento resultando em menores taxas de natalidade. Apesar de seu potencial de plasticidade, estas variações revelaram que o pinguim-papua é sensível aos eventos climáticos extremos. A detecção e a previsão de respostas ao tamanho populacional de pinguim-papua à variação ambiental, como as mudanças climáticas são importantes porque podem fornecer uma indicação de comportamentos futuros da população a um ambiente cada vez mais estocástico (FORCADA e TRATHAN, 2009; TRATHAN et al., 2007). A coleta de informações sobre a localização de colônias e dados de referência sobre o tamanho das populações reprodutoras de pinguim-papua em coordenação com estudos ecológicos são essenciais para futuras avaliações do táxon e *status* da população.

Pinguim-papua exibiu significativo dimorfismo sexual de tamanho em Stinker Point, Ilha Elefante, com fêmeas maiores que os machos no comprimento do bico e da aleta. Porém, somente o comprimento do bico contribuiu significativamente para a elaboração de uma equação discriminante na identificação do sexo de adultos reprodutores com uma eficácia de 76,7%. No entanto, o elevado número de sobreposições das medidas reduz a probabilidade de classificar corretamente o sexo de um indivíduo adulto. Devido ao baixo grau de dimorfismo sexual de pinguim-papua encontrado neste estudo, indica-se que os testes morfométricos são potencialmente propensos a um viés, porque fêmeas e machos reprodutores que podem estar ainda em desenvolvimento podem ser classificados erroneamente. Medidas do corpo, como

quaisquer outros traços fenotípicos, estão sujeitos a pressões ambientais e a diferentes forças da seleção natural e, portanto, pode-se esperar mudanças ao longo do tempo (FORERO et al., 2001, 2002; MORENO et al., 1999), comprometendo os resultados de determinação do sexo. Por isso, dado o baixo grau de dimorfismo sexual de papua em Stinker Point, mais estudos se fazem necessários para aumentar a acurácia da função discriminante, e comparações entre medidas de indivíduos do mesmo par reprodutor podem resultar numa melhor determinação do sexo e confirmação do desempenho da análise. Neste estudo, apenas a técnica molecular revelou-se adequada para sexagem com precisão de pinguim-papua em Stinker Point. Além disso, houve variação morfométrica significativa entre os locais de reprodução de diferentes ilhas do Arquipélago das Shetlands do Sul e Península Antártica. As medidas morfométricas do pinguim-papua em Stinker Point foram as maiores, enquanto que na Baía do Almirantado (Ilha Rei George) houve as menores medidas morfométricas. As distâncias entre os locais de reprodução, os hábitos alimentares costeiros e a dispersão limitada de pinguim-papua podem levar a divergências na morfometria, por consequência de adaptações ecológicas da espécie às condições oceanográficas locais (BOST e JOUVENTIN, 1990; BOST et al., 1992).

A assimetria flutuante pode ser empregada como índice de conservação para o monitoramento ambiental (PARSONS, 1992), uma vez que variações e flutuações em características simétricas existem naturalmente, em porcentagens que variam de acordo com a população estudada, mas variações acima do esperado poderiam ser um indicativo da saúde do ambiente (SANSEVERINO e NESSIMIAN, 2008). As diferenças entre o lado direito e esquerdo das aletas e patas de pinguim-papua de Stinker Point e Baía do Almirantado se enquadram na categoria de AF, porém foi identificada em níveis muito baixos. A ausência de altos níveis de AF observada neste estudo indica que não há níveis cumulativos suficientes de estresse ambiental e/ou genético que pudesse causar distúrbios fisiológicos e alterar a homeostase do desenvolvimento normal nesta espécie na Antártica. No entanto, recomenda-se futuros estudos avaliando a assimetria flutuante juntamente com os níveis de poluentes e metais pesados em pinguim-papua em diferentes ambientes para validar o uso desta ferramenta.

Os amplos padrões regionais na mudança da população de pinguim-papua são complexos e ainda não são totalmente compreendidos (TRATHAN et al., 2007). Este estudo apresenta informações relevantes sobre a espécie contribuindo e disponibilizando informações sobre a localização de colônias, distribuição, abundância, variação morfométrica entre locais e níveis de assimetria flutuante, investigando as possíveis causas da variação da população. Desta forma, estudos de monitoramento de pinguim-papua podem integrar as revisões de

avaliação sobre a espécie e tendências populacionais pelo Comitê Científico de Pesquisas Antárticas (SCAR).

5.1. Referências bibliográficas

- BOST, C. A.; JOUVENTIN, P. Evolutionary ecology of Gentoo penguins (*Pygoscelis papua*). In: DAVIS, L. S.; DARBY, J. T. (Eds.). **Penguin biology**. London: Academic Press, 1990, p. 85-112.
- BOST, C. A.; JOUVENTIN, P.; PINCSON DU SEL, N. Morphometric variability on a microgeographical scale in two inshore seabirds. **Journal of Zoology**, v. 226, p. 135-149, 1992.
- DRENT, R. H.; DANN, S. The prudent parent: energetic adjustments in avian breeding. **Ardea**, v.68, p. 225-252, 1980.
- FORCADA, J.; TRATHAN, P. N. Penguin responses to climate change in the Southern Ocean. **Global Change Biology**, v.15, p.1618-1630, 2009.
- FORERO, M. G.; HOBSON, K. A.; BORTOLOTTI, G. R.; DONÁZAR, J. A.; BERTELLOTTI, M.; BLANCO, G. Food resource utilization by the Magellanic penguin evaluated through stable-isotope analysis: segregation by sex and age and influence on offspring quality. **Marine Ecology Progress Series**, v. 234, p. 289-299, 2002.
- FORERO, M. G.; TELLA, J. L.; DONÁZAR, J. A.; BLANCO, G.; BERTELLOTTI, M.; CEBALLOS, O. Phenotypic assortative mating and within-pair sexual dimorphism and its influence on breeding success and offspring quality in Magellanic penguins. **Canadian Journal of Zoology**, v. 79, p. 1414-1422, 2001.
- MORENO, J.; BARBOSA, A.; LEÓN, A.; FARGALLO, J. A. Phenotypic selection on morphology at independence in the Chinstrap Penguin *Pygoscelis antarctica*. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 12, p. 507-513, 1999.
- PARSONS, P. A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress. **Heredity**, v. 68, p. 361-364, 1992.
- SANSEVERINO, A. M.; NESSIMIAN, J. L. Assimetria flutuante em organismos aquáticos e sua aplicação para avaliação de impactos ambientais. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 382-405, 2008.
- TRATHAN, P. N.; FORCADA, J.; MURPHY, E. J. Environmental forcing and Southern Ocean marine predator populations: effects of climate change and variability. **Philosophical**

Transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences, v. 362, p. 2351-2365, 2007.

6. ANEXO:

Confirmação da submissão do Capítulo 3: Fluctuating asymmetry in Gentoo penguin *Pygoscelis papua* at Elephant and King George Islands, South Shetlands Archipelago, Antarctica, para o periódico científico Polar Biology, no dia 01 de setembro de 2013.

Dear Mrs. Roberta Piuco,

Thank you for submitting your manuscript, Fluctuating asymmetry in Gentoo penguin *Pygoscelis papua* at Elephant and King George Islands, South Shetlands Archipelago, Antarctica, to Polar Biology.

During the review process, you can keep track of the status of your manuscript by accessing the following web site: <http://pobi.edmgr.com/>

Should you require any further assistance please feel free to e-mail the Editorial Office by clicking on "Contact Us" in the menu bar at the top of the screen.

With kind regards,
Springer Journals Editorial Office
Polar Biology

Dear Mrs. Piuco,

Your submission entitled "Fluctuating asymmetry in Gentoo penguin *Pygoscelis papua* at Elephant and King George Islands, South Shetlands Archipelago, Antarctica" has been assigned the following manuscript number: POBI-D-13-00197.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Editorial Manager as an author.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Dilip Rajasekar
JEO Assistan