

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA

Débora Malu Marquato

**TIPOS, DENSIDADE, PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO NÚMERO
TOTAL DE PENAS EM *Spheniscus magellanicus* (FORSTER, 1781) (AVES:
SPHENISCIDAE): Uma análise comparativa**

Florianópolis

2021

Débora Malu Marquato

**TIPOS, DENSIDADE, PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO NÚMERO
TOTAL DE PENAS EM *Spheniscus magellanicus* (FORSTER, 1781) (AVES:
SPHENISCIDAE): Uma análise comparativa**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Renzo Rocha Brito.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra

Marquato, Débora Malu
TIPOS, DENSIDADE, PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA
DO NÚMERO TOTAL DE PENAS EM *Spheniscus magellanicus*
(FORSTER, 1781) (AVES: SPHENISCIDAE) / Débora Malu
Marquato ; orientador, Guilherme Renzo Rocha Brito, 2021.
43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis,
2021.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. *Spheniscus magellanicus*. 3.
Penas. 4. Estimativa. 5. Ecomorfologia. I. Brito,
Guilherme Renzo Rocha. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

Débora Malu Marquato

**TIPOS, DENSIDADE, PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO NÚMERO
TOTAL DE PENAS EM *Spheniscus magellanicus* (FORSTER, 1781) (AVES:
SPHENISCIDAE): Uma análise comparativa**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharelado em Ciências Biológicas” e aprovado em sua forma final pelo Centro de Ciências Biológicas

Florianópolis, 14 de Maio de 2021.

Prof. Dr. Carlos Roberto Zanetti
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Guilherme Renzo Rocha Brito
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Renato Hajenius Aché de Freitas
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

MSc. Patricia Pereira Serafini
Avaliadora
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres

MSc. Andrei Langeloh Roos
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família: ao meu pai, à minha mãe, às minhas irmãs e meu irmão, por terem me apoiado na decisão de fazer uma faculdade de Ciências Biológicas numa universidade federal; pelo carinho e apoio por todo esse processo.

Agradeço ao Márcio e à Aluysia por terem me acolhido com muito carinho pelo primeiro ano de graduação.

Agradeço aos meus amigos por terem me acompanhado e apoiado por toda essa jornada:

Obrigada Bruna, Marcos e Renato por serem os melhores amigos e colegas de apartamento que alguém poderia pedir. Pelas noites de jogos, pelas risadas, pelas festas, por compartilhar das histórias comigo, pelos estudos madrugada à dentro, por me ouvirem quando eu precisava, por cuidar de Fubá e Fionna quando eu não podia, pela companhia e carinho intermináveis.

Obrigada Mateus pela companhia, por aceitar e compartilhar das esquisitices que invento, por me ouvir e por ser um grande amigo.

Obrigada Felipe por me acompanhar nas partidas de madrugada quando eu não conseguia dormir, por ouvir meus desabafos e por compartilhar o vício de Pokémon.

Obrigada Beatriz, Sato e Gabriela, Rafael, Pedro H., Lucas Souza e Eduardo pela companhia nas aulas, intervalos e festas, pelas risadas e pela ajuda durante todo o curso.

Obrigada Ariane pela imensa paciência e atenção, por me ajudar com os pinguins e com os campos.

Obrigada Lucas F. por me ajudar a contar as penas dos pinguins.

Obrigada professor Guilherme por todo o apoio e atenção desde o começo do projeto.

Obrigada professor Alexandre pela oportunidade e apoio durante minha estadia no laboratório de Bioacústica.

Todos são de extrema importância para mim. Do fundo do meu coração, obrigada.

“Felizmente eu numero minhas penas para o caso de uma emergência como essa”

(Frangolino)

RESUMO

Pinguins são aves aquáticas que apresentam a capacidade de manter a temperatura corporal constante, mesmo quando expostas ou mergulhando em águas de temperaturas muito baixas. Essa habilidade é atribuída em grande parte à sua plumagem especializada e densa. Apesar de muitos estudos apontarem que a plumagem dos pinguins possui um papel importante na sua sobrevivência, há uma escassez de investigações com informações mais detalhadas sobre a mesma. Apenas um estudo apresentou uma metodologia clara e descreveu detalhadamente a plumagem do pinguim-imperador (*Aptenodytes forsteri*). A descrição detalhada da plumagem das demais espécies de pinguins ainda precisa ser determinada. O objetivo do presente trabalho foi realizar uma descrição detalhada da plumagem do tronco dos pinguins-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) e tentativamente, relacionar seu papel com a ecomorfologia da espécie comparando aos dados de *A. forsteri*. Para isso, foram analisados cinco (n=5) espécimes da Coleção de Aves da Universidade Federal de Santa Catarina, realizando a aliquotagem da pele em quatro espécimes e a contagem exaustiva das penas de contorno em um espécime. Foi confirmada a presença de hiporráquis, penas e filoplumas. O padrão de distribuição de penas é o mesmo apresentado pelo *A. forsteri*. Hiporráquis e filoplumas apresentaram a mesma densidade de penas por cm² que as penas de contorno, e as penas apresentaram uma densidade quatro vezes a densidade de penas de contorno. A densidade de penas maior em *S. magellanicus* pode estar ligada a um estilo de vida mais aquático e ao ambiente mais quente em que inverna. O número estimado de penas total presente no tronco dos espécimes variou entre 49.069,86 e 97.612,81 penas e o número estimado de penas total no espécime CAUFSC00197 foi de 157.126,5 penas, o que indica que o *S. magellanicus* habita ambientes mais quentes que *A. forsteri*. O uso do modelo da Área Lateral Superficial mostrou ser adequado para a estimativa de penas.

Palavras-chave: Spheniscidae. Plumagem. Filopluma. Estimativa.

ABSTRACT

Penguins are aquatic birds capable of maintaining their core body temperature, even when exposed to low temperatures and diving in cold waters. This ability is attributed in large part to their highly specialized and densely feathered coat. Although lots of studies claim that the penguin plumage plays a critical role in their survival, researches with detailed information about their feathers are scarce. Only one study so far provides a solid methodology and fully describes the emperor penguin (*Aptenodytes forsteri*) plumage. The complete plumage description of other penguin species is yet to be done. This work aimed to perform a thorough body feathers description of the Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*) and tentatively link its role with the species's ecomorphology cross-checking against *A. forsteri* data. For this purpose, five (n=5) specimens from the Coleção de Aves at the Universidade Federal de Santa Catarina were examined, taking skin samples from four specimens and performing an exhaustive contour feather count in one specimen. The presence of afterfeather, plumules and filoplumes was confirmed. The feather distribution pattern is the same as presented in *A. forsteri*. Afterfeathers and filoplumes presented the same feather density per cm² as contour feathers, and plumules density was four times the contour feather density. The higher feather density in *S. magellanicus* could be linked to its more aquatic lifestyle and wintering environment. The number of total feathers estimated of the penguin body vary from 49.069,86 to 97.612,81 feathers and the number of total feathers estimated in the specimen CAUFSC00197 was 157.126,5 feathers, which points to *S. magellanicus* living in warmer environment than *A. forsteri*. The *ALS* model proved to be an effective way of calculating feathers estimate.

Keywords: Spheniscidae. Plumage. Filoplume. Estimation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturação de uma pena de contorno.	14
Figura 2 - Pena de contorno. (a) Pena de contorno clássica. (b) Pena de voo.	15
Figura 3 - Semipluma.....	16
Figura 4 - Pluma.....	17
Figura 5 - Cerdas.....	17
Figura 6 - Filopluma.....	18
Figura 7 - Distribuição geográfica do pinguim-de-Magalhães.....	21
Figura 8 - Imagem ilustrativa do modelo e fórmula da área lateral superficial (ALS). 24	
Figura 9 - Imagem ilustrativa do modelo elaborado para calcular a área das asas. ...	26
Figura 10 - Porção ventral da asa esquerda de CAUFSC00197 com área de 1 cm x 1 cm delimitada com fita adesiva.	27
Figura 11 - Pena de contorno. (a) Vista dorsal. (b) Vista ventral. Escala em cm.	30
Figura 12 - Pena de contorno da região ventral com uma hiporráquis ligada à base da ráquis.....	30
Figura 13 - Imagem aproximada do ponto de ancoramento da hiporráquis na ráquis da pena de contorno, atentar para a bifurcação na base.	31
Figura 14 - Imagem aproximada da hiporráquis. (a) Hiporráquis, notar bifurcação. (b) Base da ráquis da pena de contorno.....	32
Figura 15 - Pluma. Escala em cm.	33
Figura 16 - Foto aproximada de duas filoplumas (espécime CAUFSC00197).....	34
Figura 17 - Filoplumas (espécime CAUFSC00197).....	34
Figura 18 - Modelo ilustrativo (elementos fora de escala) do padrão de distribuição de penas. (A, B, C) Penas de contorno. (1-9) Plumas.	35
Figura 19 - Modelo ilustrativo (elementos fora de escala) do número de penas de contorno.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de tombo, local e data de coleta dos espécimes utilizados no presente trabalho.	23
Tabela 2 - Medidas retiradas em centímetros das circunferências (<i>c</i>), alturas (<i>a</i>) dos troncos e a <i>ALS</i> de cada pinguim.	29
Tabela 3 - Densidade (<i>dPC</i>) e densidade média (<i>mPC</i>) dada pelo número de penas de contorno (cm^2) no dorso e ventre do tronco de cada espécime.	36
Tabela 4 - Densidade média de penas de contorno (<i>mPC</i>), plumas (<i>dPL</i>) e filoplumas (<i>dF</i>) (cm^2) no tronco de cada espécime.	37
Tabela 5 - Estimativa do número de penas de contorno total (<i>ePC</i>) e penas total (<i>ePT</i>) do tronco de cada espécime.	37
Tabela 6 - Dados com a área calculada a partir do modelo do dorso e ventre de uma asa, penas de contorno por cm^2 e estimativa de penas de contorno de uma asa do espécime CAUFSC00197.....	38
Tabela 7 - Número de penas de contorno do espécime CAUFSC00197 nas regiões dorsal e ventral de regiões diferentes do corpo e número estimado de penas total.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALS Área Lateral Superficial

CAUFSC Coleção de Aves da Universidade Federal de Santa Catarina

cm Centímetros

cm² Centímetros quadrado

kg Quilogramas

mm Milímetros

m/s Metros por segundo

LISTA DE SÍMBOLOS

a_1 Altura do 1º tronco

a_2 Altura do 2º tronco

aF Número de filoplumas associadas a uma pena de contorno

aPL Número de plumas associadas a uma pena de contorno

c Circunferência

d Dorsal

dF Densidade de filoplumas

dPC Densidade de penas de contorno

dPL Densidade de plumas

ePC Estimativa do número total de penas de contorno

ePT Estimativa do número total de penas

i Inferior

m Maior

mPC Média de penas de contorno

nPC Número de penas de contorno

r Raio

s Superior

v Ventral

SUMÁRIO

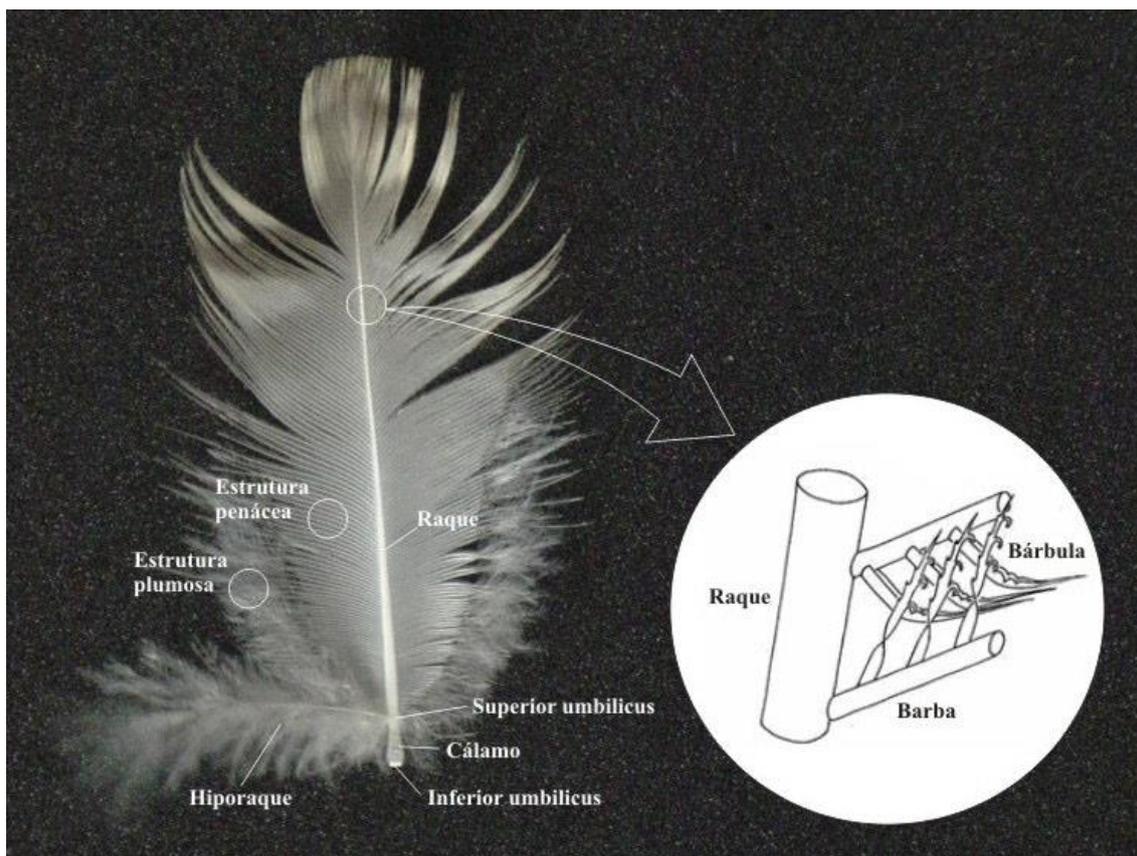
1 INTRODUÇÃO	14
1.1. PENAS	14
1.2. SPHENISCIDAE E SUA PLUMAGEM	18
1.3. PINGUIM-DE-MAGALHÃES	19
1.4. JUSTIFICATIVA.....	22
2 OBJETIVOS	22
2.1. OBJETIVO GERAL	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
3 METODOLOGIA	22
3.1. ÁREA SUPERFICIAL DO TRONCO E MASSA	23
3.2. TIPOS DE PENAS.....	24
3.3. DENSIDADE DE PENAS.....	24
3.4. CONTAGEM EXAUSTIVA DO ESPÉCIME CAUFSC00197	26
3.5. PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DAS PENAS	27
3.6. ESTIMATIVA DO NÚMERO TOTAL DE PENAS DO TRONCO.....	27
3.7. ESTIMATIVA DO NÚMERO TOTAL DE PENAS DO CORPO DO ESPÉCIME CAUFSC00197.....	28
4 RESULTADOS	28
4.1. ÁREA SUPERFICIAL DO TRONCO E MASSA	28
4.2. TIPOS DE PENAS.....	29
4.3. PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DAS PENAS	35
4.4. DENSIDADE DE PENAS.....	36
4.5. ESTIMATIVA DAS PENAS DO TRONCO	37
4.6. CONTAGEM EXAUSTIVA E ESTIMATIVA DE PENAS DO ESPÉCIME CAUFSC00197.....	37
5 DISCUSSÃO	39
6 CONCLUSÃO	44

1 INTRODUÇÃO

1.1. PENAS

As penas das aves modernas são estruturas complexas derivadas do tegumento formadas principalmente por β -queratina com as mais diversas funções como voo, sensorial, isolamento térmico, cortejo e outras (LUCAS & STETTENHEIM, 1972; STETTENHEIM, 2000). As penas, assim como o pelo, são produzidas e sustentadas por folículos no tegumento (STETTENHEIM, 2000). O esquema básico das penas é melhor analisado observando uma pena de contorno, que consiste em um cálam, uma ráquis, uma hiporráquis, barbas e bárbulas (figura 1).

Figura 1: Estruturação de uma pena de contorno.



Fonte: (PRELLVITZ, 2009).

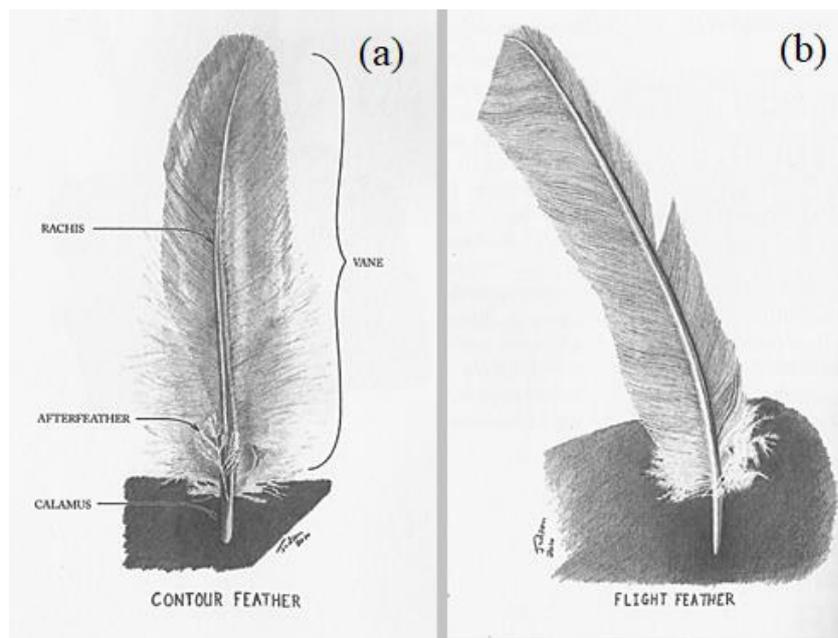
A base da ráquis, o cálam, é um tubo afunilado geralmente curto implantado no folículo. A ráquis é o eixo central da pena que sustenta ramificações espaçadas igualmente (barbas). As barbas seguem praticamente o mesmo esquema da ráquis, um eixo central

(*ramus*) com ramificações espaçadas próximas e uniformemente (bárbulas). As bárbulas apresentam em sua extremidade distal uma série de projeções celulares (*pennulum*). Na porção plum cea da pena, essas células são longas, simples e livres. Na porção penácea, essas células são bem desenvolvidas, formam ganchos (barbicelas) em seus elementos distais (*vexillum barbae distale*) que se fixam em sulcos dos elementos proximais (*vexillum barbae proximale*) da bárbulas do *ramus* vizinho. A hiporráquis   uma estrutura normalmente plumosa que se projeta da base ventral da ráquis. Esta se ramifica em barbas e bárbulas, e pode ou não apresentar um eixo central (CHANDLER, 1916; LUCAS & STETTENHEIM, 1972).

A classificação dos tipos de penas varia de autor para autor, levando em conta as variações e combinações das formas da ráquis, barbas e bárbulas (e.g. CHANDLER, 1916; LUCAS & STETTENHEIM, 1972, STETTENHEIM, 2000, HANSON, 2011). Tendo como base o trabalho de Chandler (1916), Lucas & Stettenheim (1972) classificam as penas em 5 tipos: (1) penas de contorno; (2) semiplumas; (3) plumas; (4) cerdas; (5) filoplumas.

1. As penas de contorno formam boa parte da cobertura do corpo de uma ave, apresentando a porção proximal plumosa e a porção distal penácea. As penas de voo (r miges e retrizes) são penas de contorno especializadas, quase inteiramente pen ceas, geralmente assimétricas e com o c lamo longo, uma ráquis rígida sem hiporráquis (figura 2).

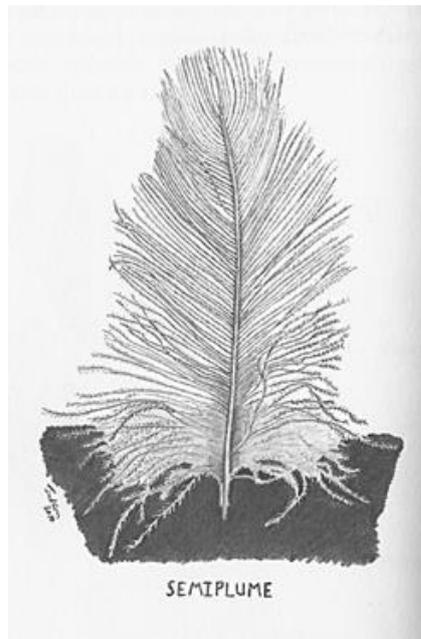
Figura 2: Pena de contorno. (a) Pena de contorno clássica. (b) Pena de voo.



Fonte: Ilustrações por Nicholas Judson, retiradas de HANSON (2011).

2. Semiplumas são consideradas como uma estrutura intermediária entre penas de contorno e plumas. Possuem uma ráquis longa (maior que a barba mais longa), podem apresentar uma hiporráquis e são quase inteiramente plumosas. Semiplumas costumam preencher os contornos do corpo, encontradas nas margens dos trechos das penas de contorno e em trechos delas próprias, fornecendo isolamento térmico (figura 3).

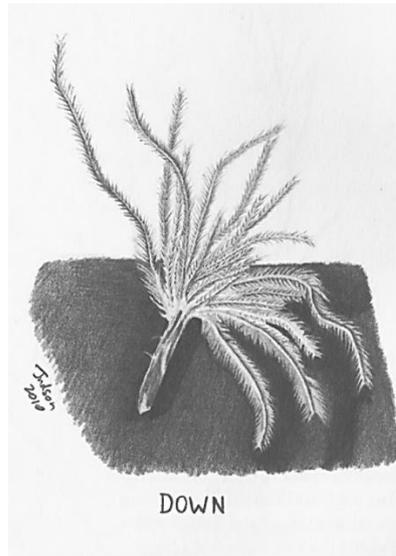
Figura 3: Semipluma.



Fonte: Ilustração por Nicholas Judson, retirada de HANSON (2011).

3. Plumagens são penas inteiramente plumáceas, com a ráquis menor que a barba mais longa ou ausente. As plumagens natais estão presentes em muitos filhotes de aves, e precedem as plumagens adultas ou definitivas, penas de contorno e semiplumas. Plumagens de pó e plumagens da glândula do uropígio são plumagens adultas especializadas (figura 4).

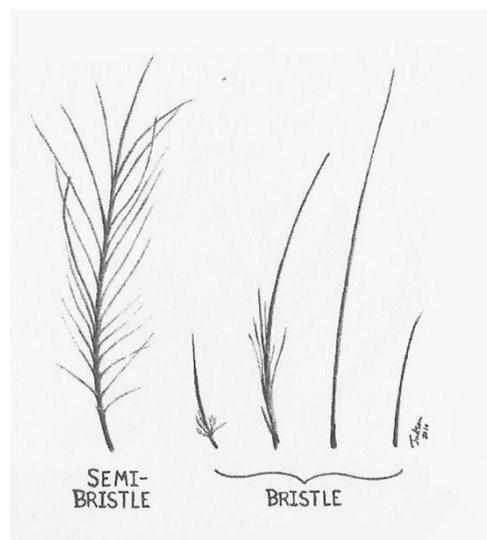
Figura 4: Pluma.



Fonte: Ilustração por Nicholas Judson, retirada de HANSON (2011).

4. Cerdas são penas com uma ráquis rígida, nua em sua porção distal e pode apresentar barbas em sua porção proximal. São encontradas na cabeça das aves, ao redor do bico, olhos e como cílios. Algumas penas possuem uma estrutura intermediária entre cerdas e penas de contorno, e ocorrem em diversas aves em várias regiões do corpo (figura 5).

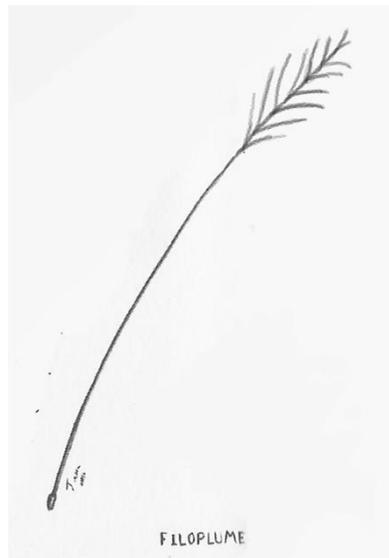
Figura 5: Cerdas.



Fonte: Ilustração por Nicholas Judson, retirada de HANSON (2011).

5. Filoplumas são penas extremamente delgadas que, quando completamente desenvolvidas, consistem de uma ráquis longa e nua com algumas barbas em sua extremidade distal, e estão associadas às penas de contorno (figura 6). Corpúsculos lamelares sensoriais se encontram na base de cada filopluma, e acredita-se que possuam o papel de indicar o deslocamento das penas do corpo, asa e cauda (NECKER, 1985; PROCTOR e LYNCH, 1994).

Figura 6: Filopluma.



Fonte: Adaptada da ilustração por Nicholas Judson, retirada de HANSON (2011).

Primeiramente proposto por Nitzsch (SCLATER, 1867) como pterilografia e revisado por Lucas & Stettenheim (1972), o termo pterilose se refere a como as penas das aves se distribuem ao longo do corpo em padrões específicos. As penas de contorno são dispostas em grupos de fileiras denominadas de tratos ou pterias. Regiões do tegumento sem penas de contorno ou cerdas são denominadas de apterias. Ratitas, anhumas e tachãs (Anhimidae) e pinguins (Spheniscidae) apresentam uma grande redução nas apterias, sendo que pinguins apresentam apteria apenas na linha mediana ventral do corpo somente durante a época de reprodução (STONEHOUSE, 1967).

1.2. SPHENISCIDAE E SUA PLUMAGEM

Pinguins são aves aquáticas não voadoras pertencentes à Ordem Sphenisciformes. A Ordem consiste de 18 espécies viventes numa única família, Spheniscidae, habitando desde

áreas polares a áreas tropicais do hemisfério sul. A habilidade dessas aves de manterem a temperatura corporal mesmo mergulhando em águas frias ou expostas a temperaturas muito baixas, como ocorre em regiões polares, é atribuída em grande parte à sua plumagem especializada e densa (STONEHOUSE, 1967; WILLIAMS *et al.*, 2015).

Apesar do papel importante que as penas têm na sobrevivência dos pinguins, Williams *et al.* (2015) apontou que estudos realizados sobre a densidade das penas não apresentam uma metodologia clara, ou sequer mencionam as espécies estudadas, além de apresentarem resultados conflitantes com outros estudos. Além disso, registros anteriores atestam a ausência de filoplumas na família (CHANDLER, 1916; YOUNG, 2012) ou sequer examinaram a presença destas (STONEHOUSE, 1967). O estudo realizado por Williams *et al.* (2015) foi o primeiro a fazer uma análise detalhada sobre a densidade de penas e a relatar a presença de filoplumas em pinguins-imperadores (*Aptenodytes forsteri*).

A plumagem dos pinguins consiste de um revestimento de penas pequenas de contorno lanceoladas e uniformemente distribuídas, com uma hiporráquis plumosa associada a cada uma delas (STONEHOUSE, 1967). As penas de contorno constituem a camada rígida externa de penas do corpo dos pinguins, e tem papel de proteção contravento e impermeabilização, que em conjunto com as porções plumosas das demais penas tem função termoisolante (DAWSON *et al.*, 1999; WILLIAMS *et al.*, 2015). Constituem as penas plumosas as hiporráquis das penas de contorno e as plumas, também distribuídas por praticamente todo o tegumento dos animais devido a sua composição, posicionadas numa camada inferior às penas de contorno. Mesmo que muitos estudos indiquem que esse isolamento térmico se deve ao ar preso entre as penas plumosas (*e.g.* STONEHOUSE, 1967; DAWSON *et al.*, 1999; DU *et al.*, 2007), esse mérito é sempre atribuído às hiporráquis, sendo que alguns estudos sequer mencionam as plumas (WILLIAMS *et al.*, 2015). Apenas o estudo de Williams *et al.* (2015) até então descreveu a presença de filoplumas em apenas uma espécie de pinguim, e é possível que essa estrutura esteja presente nas demais, incluindo o pinguim-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*).

1.3. PINGUIM-DE-MAGALHÃES

O pinguim-de-Magalhães pertence ao gênero *Spheniscus*, medindo entre 65 e 76 cm, e 2,3 e 7,8 kg (MARTÍNEZ *et al.*, 2000; SICK, 2001). Os adultos apresentam sobranceiras brancas, pele rosada desprovida de penas ao redor e acima dos olhos e duas faixas peitorais pretas (MARTÍNEZ *et al.*, 2000). Sua dieta é composta principalmente por pequenos peixes,

cefalópodes e alguns crustáceos (STONEHOUSE, 1967; MARTÍNEZ *et al.*, 2000). Suas colônias reprodutivas se encontram distribuídas ao longo das costas do sul do Chile, Argentina e das Ilhas Malvinas (figura 7) (STONEHOUSE, 1967). Costumam nidificar em praias, barrancos arenosos ou gramíneos ou até mesmo em florestas, construindo seu ninho em tocas ou debaixo de sombra de vegetação. Os pinguins-de-Magalhães iniciam a migração após a fase de muda (MARTÍNEZ *et al.*, 2000). Apesar de não se reproduzirem em território brasileiro, essas aves migram sazonalmente até a plataforma continental em busca de alimento entre abril e agosto (MARTÍNEZ *et al.*, 2000) e são trazidos até nossa costa pelas correntes de água fria e tempestades, sendo em sua grande maioria juvenis (SICK, 2001).

Figura 7: Distribuição geográfica do pinguim-de-Magalhães.

Distribution Map

Spheniscus magellanicus



Legend

- EXTANT (RESIDENT)
- EXTANT (BREEDING)
- EXTANT (NON-BREEDING)
- EXTANT & VAGRANT (NON-BREEDING)

Compiled by:

BirdLife International and Handbook of the Birds of the World (2016) 2014



The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply any official endorsement, acceptance or opinion by IUCN.

Fonte: (IUCN Red List - BirdLife International, 2020)

Apenas Stonehouse (1967) realizou um estudo sobre a relação entre a ecologia e o comprimento das penas dos pinguins-de-Magalhães, mas nenhum outro foi feito sobre a descrição detalhada de sua plumagem.

1.4. JUSTIFICATIVA

Mesmo que a plumagem do pinguim-imperador tenha sido descrita, ainda é preciso determinar a complexidade da plumagem das outras espécies de pinguins, incluindo o pinguim-de-Magalhães, gerando subsídios para discussões sobre ecomorfologia de diferentes espécies da família (*e.g.* pinguins-imperadores são animais muito mais expostos às condições extremas dos polos do que pinguins-de-Magalhães, e talvez vários dos parâmetros relacionados a diferentes adaptações da plumagem podem estar sendo influenciados pelo tipo de habitat).

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise e descrição detalhada da plumagem do tronco do pinguim-de-Magalhães e relacionar seu papel com a ecomorfologia, comparando os resultados com os apresentados por Williams *et al.* (2015).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar os tipos de penas presentes no tronco do pinguim-de-Magalhães;
- b) Determinar a densidade de cada tipo de pena presente;
- c) Montar um modelo do padrão de distribuição das penas;
- d) Estimar o número total de penas do tronco e do corpo do pinguim;

3 METODOLOGIA

Foram coletadas oportunisticamente carcaças ($n=2$) de pinguins-de-Magalhães juvenis (sob a licença permanente SISBIO62995-1 para coleta de material zoológico) boiando a aproximadamente 20 km da costa de Balneário Piçarras durante uma excursão pelágica em 21

de junho de 2020 e posteriormente tombadas na Coleção de Aves da Universidade Federal de Santa Catarina (CAUFSC). Foram também utilizados pinguins juvenis taxidermizados ($n=3$) da CAUFSC (tabela 1). Não foi possível a obtenção de carcaças de indivíduos adultos para fins de comparação, já que a grande maioria dos indivíduos que chegam à costa é juvenil (SICK, 2001). No espécime CAUFSC00197 foi realizada a contagem exaustiva de penas de contorno, enquanto nos outros espécimes foi feita alíquotagem da pele dorsal e ventral do tronco para a análise de densidade e padrão de distribuição das penas.

Tabela 1: Número de tombo, local e data de coleta dos espécimes utilizados no presente trabalho.

Número do Tombo	Local da coleta	Data da coleta
00178	Praia dos Navegantes	26/11/1986
00197	Praia de Jurerê	21/06/1987
00204	Praia dos Ingleses	06/08/1987
00390	Balneário Piçarras	21/06/2020
00391	Balneário Piçarras	21/06/2020

Mais detalhamento no seguinte protocolo, elaborado com base na metodologia apresentada por Williams *et al.* (2015), é apresentado a seguir.

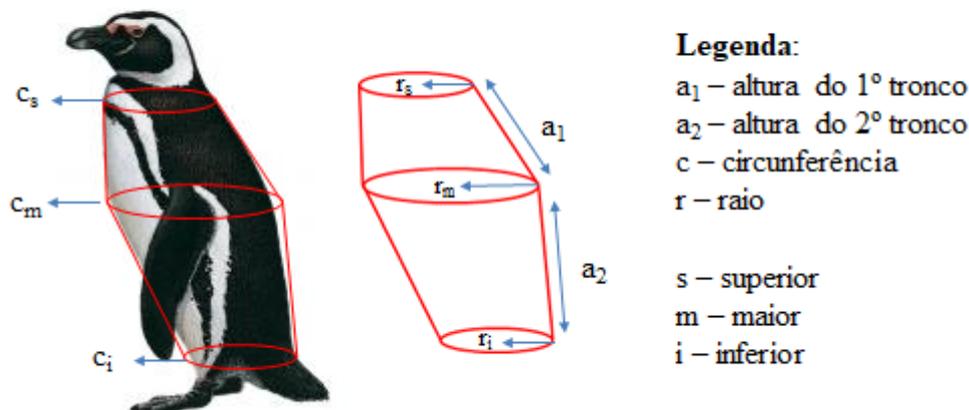
3.1. ÁREA SUPERFICIAL DO TRONCO E MASSA

Para posteriormente realizar a estimativa do número total de penas de contorno e total de penas do tronco (ou seja, excluindo cabeça, cauda, pernas e asas) da espécie, foi utilizado o modelo elaborado na metodologia apresentada por Williams *et al.* (2015), baseado na soma da área lateral superficial (ALS) de dois troncos cônicos paralelos (figura 8). Esse modelo só é possível ser aplicado em pinguins (Spheniscidae) devido à redução na apteria (STONEHOUSE, 1967; LUCAS & STETTENHEIM, 1972). Foram retiradas as medidas em centímetros das circunferências (c) e alturas (a) do tronco de cada pinguim. O raio (r) foi obtido por $c \div 2\pi$.

Figura 8: Imagem ilustrativa do modelo e fórmula da área lateral superficial (ALS).

Área lateral superficial de dois troncos cônicos paralelos

$$ALS = (\pi * (r_1 + r_2) * a_1) + (\pi * (r_2 + r_3) * a_2)$$



Fonte: Adaptado do modelo apresentado por Williams *et al.* (2015).

Uma vez que a densidade de penas num espécime pode variar conforme este ganha ou perde peso, assim aumentando ou diminuindo sua circunferência (WILLIAMS *et al.*, 2015), os espécimes CAUFSC00390 e CAUFSC00391 foram pesados em uma balança digital e os valores de massa dos espécimes taxidermizados estavam registrados no livro tomo da CAUFSC, bem como na etiqueta dos espécimes.

3.2. TIPOS DE PENAS

Para determinar a presença ou ausência dos tipos de penas em *S. magellanicus* foram coletadas amostras por todo o tronco do pinguim CAUFSC00197 durante a contagem exaustiva de penas, e posteriormente confirmadas nos outros espécimes após a excisão das alíquotas. As penas de contorno foram cortadas na ráquis em sua porção mais basal perto do tegumento. Plumás e filoplumas foram identificadas a olho nu após a remoção das penas de contorno, e as hiporráquis das penas de contorno foram identificadas com a ajuda de estereomicroscópio.

3.3. DENSIDADE DE PENAS

Após a confirmação dos tipos de penas presentes, foi determinada a densidade para os três tipos de penas encontradas no corpo: penas de contorno, plumas e filoplumas.

A contagem de penas de contorno foi feita por amostragem em porções de ~25 cm² nas regiões ventral e dorsal do tronco das carcaças e animais taxidermizados, sendo extraídas com auxílio de tesoura e lâmina bisturi. Foram aplicados bórax e formol 4% no tecido exposto das amostras dos pinguins CAUFSC00390 e CAUFSC00391 para fixação antes da contagem.

Todas as penas de contorno das áreas amostradas foram removidas com um aparador o mais próximo possível do tegumento, e logo em seguida contabilizadas e armazenadas em sacos plásticos do tipo ziplock com a devida identificação (e.g. Pinguim: CAUFSC00390; Tipo: Penas de contorno; Região: Dorsal do tronco). Para facilitar a visualização da ráquis perto do tegumento, foi feita a umidificação das penas de contorno e plumas com álcool 70% líquido e o auxílio de um pincel.

A densidade de penas de contorno do tronco (dPC) de cada espécime, foi obtida dividindo o número de penas de contorno (nPC) pela área da alíquota (A) tanto na porção ventral quanto na dorsal.

$$dPC = nPC \div A$$

A densidade média de penas de contorno (mPC) de cada espécime foi obtida pela média aritmética de penas de contorno do dorso (dPC_d) e do ventre (dPC_v).

$$mPC = (dPC_d + dPC_v) \div 2$$

Não foi feita a marcação inicial nem extração de alíquotas de tegumento do espécime CAUFSC00197, já que este foi usado para a contagem exaustiva. Após a remoção de todas as penas, foi feita uma marcação com fita adesiva de 1 cm x 1 cm no dorso e ventre do corpo, sendo contado apenas o ponto de ancoramento das penas de contorno ao tegumento, que eram bem visíveis ao olho nu.

A densidade de plumas (dPL) e filoplumas (dF) foram determinadas estabelecendo o número de plumas e filoplumas associadas à cada pena de contorno com o auxílio de estereomicroscópio. Uma vez determinada a associação, a densidade de cada pena foi determinada pela multiplicação do número associado de plumas (aPL) e filoplumas (aF) com a mPC .

$$dPL = aPL \times mPC$$

$$dF = aF \times mPC$$

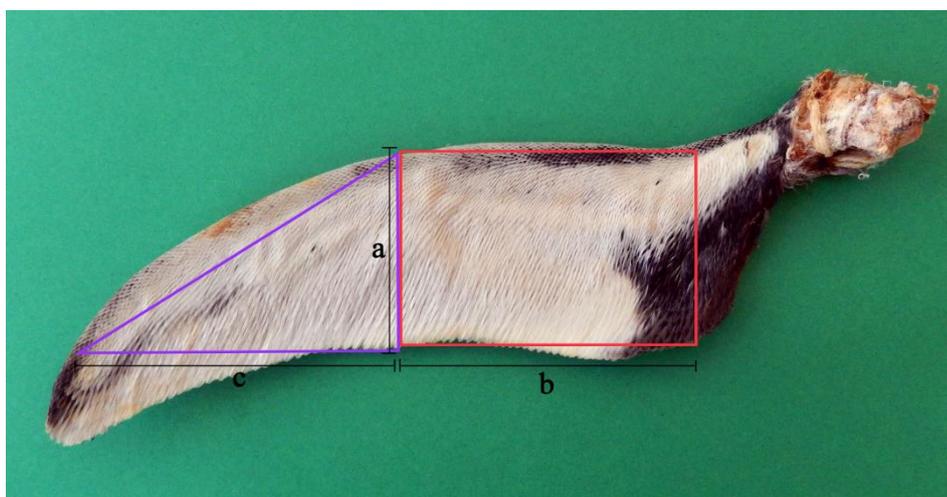
Após a remoção das penas de contorno, as amostras de pele dos pinguins também foram armazenadas em sacos tipo ziplock, fixadas e devidamente identificadas.

3.4. CONTAGEM EXAUSTIVA DO ESPÉCIME CAUFSC00197

Para fins de verificação do modelo *ALS*, foi realizada a contagem exaustiva das penas de contorno do corpo do espécime CAUFSC00197 seguindo o mesmo procedimento de remoção, contagem e armazenamento das penas das amostras. Para fazer um trabalho mais extenso sobre as penas do pinguim-de-Magalhães, também foi realizada a contagem exaustiva das penas de contorno da região dorsal e ventral da cabeça, dorsal e ventral do pescoço, pernas e cauda. Para a remoção das penas da região da cabeça próxima ao bico e da região auricular foi necessária a utilização de lâmina bisturi.

Não foi realizada a remoção das penas das asas devido à característica não elástica do tegumento impedindo a remoção com as ferramentas disponíveis. Por isso, para a contagem das penas de contorno das asas, foi elaborado um modelo com base na área de um retângulo e um triângulo retângulo (figura 9).

Figura 9: Imagem ilustrativa do modelo elaborado para calcular a área das asas.



Fonte: Original da autora.

Foram retiradas as medidas em centímetro de altura (a) e a base (b) do retângulo e a altura (a) e a base (c) do triângulo, nas porções dorsal e ventral tanto da asa esquerda quanto da direita. Foi necessária a remoção manual das asas para tirar as medidas. Logo em seguida, foi realizada a contagem visualmente das penas em uma área delimitada de 1 cm x 1 cm com fita adesiva no dorso e ventre de ambas as asas (figura 10). Como uma confirmação, também foram feitas fotos dessas porções e a contagem visual pelo software gráfico de edição *Adobe Photoshop CS6 13.1 Portable Multilingual x64*.

Figura 10: Porção ventral da asa esquerda de CAUFSC00197 com área de 1 cm x 1 cm delimitada com fita adesiva.



Fonte: Original da autora.

3.5. PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DAS PENAS

Foi montado um modelo ilustrativo do padrão de distribuição das penas de contorno, plumas e filoplumas do corpo a partir da análise da localização das penas de contorno e os outros dois tipos de pena associadas a estas via estereoscópio das alíquotas de pele de cada pinguim.

3.6. ESTIMATIVA DO NÚMERO TOTAL DE PENAS DO TRONCO

Foi realizada a estimativa do número total de penas de contorno e a de penas total no tronco de cada espécime.

Para a estimativa do número total de penas de contorno (ePC) do tronco, foi feita a multiplicação da média de penas de contorno (mPC) pela área lateral superficial (ALS) de cada espécime.

$$ePC = mPC \times ALS$$

Para calcular a estimativa do número total de penas (ePT) do tronco de cada espécime, foi feita a multiplicação da ePC pela soma do número de plumas associadas a uma pena de

contorno (*aPL*) com o número de filoplumas associadas a uma pena de contorno (*aF*), e então somada a *ePC*.

$$ePT = ePC + ePC \times (aPL + aF)$$

3.7. ESTIMATIVA DO NÚMERO TOTAL DE PENAS DO CORPO DO ESPÉCIME CAUFSC00197

Para fazer a estimativa do número total de penas (penas de contorno, plumas e filoplumas) do corpo inteiro no espécime CAUFSC00197, foi feita a somatória do número de penas de contorno da cabeça, pescoço, tronco, asas e cauda, e então somada a multiplicação da soma do número de penas de contorno (excluindo a asa) pelo número de penas (plumas e filoplumas) associadas a uma pena de contorno. O número de penas de contorno das asas não foi incluído na multiplicação do cálculo, pois não foi possível realizar a remoção das penas da asa, o que impossibilitou de verificar a presença de plumas e filoplumas.

4 RESULTADOS

4.1. ÁREA SUPERFICIAL DO TRONCO E MASSA

A tabela 2 mostra a massa em kg, as medidas em cm das circunferências (superior, maior e inferior), alturas (altura do primeiro e segundo tronco) e o valor da área lateral superficial de cada espécime. Os espécimes taxidermizados apresentaram uma *ALS* maior que os espécimes não-taxidermizados, e o espécime CAUFSC00197 apresentou um afrouxamento na sutura do local de abertura da taxidermia, contribuindo para um *ALS* maior que o real. O espécime CAUFSC00197 apresentou a maior *ALS* com 919,74 cm², enquanto o espécime CAUFSC00391 apresentou a menor *ALS* com 498,32 cm². O espécime CAUFSC00178 apresentou a maior massa com 3,0 kg, enquanto o espécime CAUFSC00390 apresentou a menor massa com 1,65 kg.

Tabela 2: Medidas retiradas em centímetros das circunferências (c), alturas (a) dos troncos e a área lateral superficial (ALS) de cada pinguim.

Número do Tombo	Massa (kg)	Circunferência			Altura		ALS cm ²
		Superior (c _s)	Larga (c _l)	Inferior (c _i)	1º tronco (a ₁)	2º tronco (a ₂)	
00178	3,0	25,2	32	19	11	13	648,84
00197	2,13	17,4	33,5	33	27	7	919,74
00204	2,4	32,3	37,5	27	12	14	870,54
00390	1,65	27,5	36	32,4	9,5	7,5	558,36
00391	1,85	25,8	35,3	34	9,5	6	498,32

4.2. TIPOS DE PENAS

Foi confirmada a presença de penas de contorno com hiporráquis, plumas e filoplumas no tronco de todos os cinco espécimes. As penas de contorno são curtas e lanceoladas, com a ráquis achatada dorso-ventralmente e côncava no sentido ventral (figura 11). O tamanho das penas variou entre 2,2 e 3,2 cm, tanto no dorso quanto no ventre. Na região ventral, a maioria das penas de contorno é branca na porção plumosa e penácea, com apenas algumas penas apresentando coloração amarronzada na porção penácea. A ráquis em sua maioria é branca, descolorindo para o transparente quanto mais próximo da extremidade distal. Algumas penas apresentavam a ráquis amarronzada em sua porção proximal, descolorindo para o branco na porção distal. Na região dorsal, as penas de contorno são brancas em sua porção plumácea, escurecendo até o preto mais distalmente. A ráquis das penas na área de transição entre dorso e ventre é branca em sua porção proximal, escurecendo até o preto na porção distal. A ráquis do restante das penas da região dorsal é de um marrom claro na porção proximal, escurecendo até preto distalmente, apresentando uma linha mediana amarronzada escura.

Figura 11: Pena de contorno. (a) Vista dorsal. (b) Vista ventral. Escala em cm.



Fonte: Foto por Guilherme Renzo Rocha Brito.

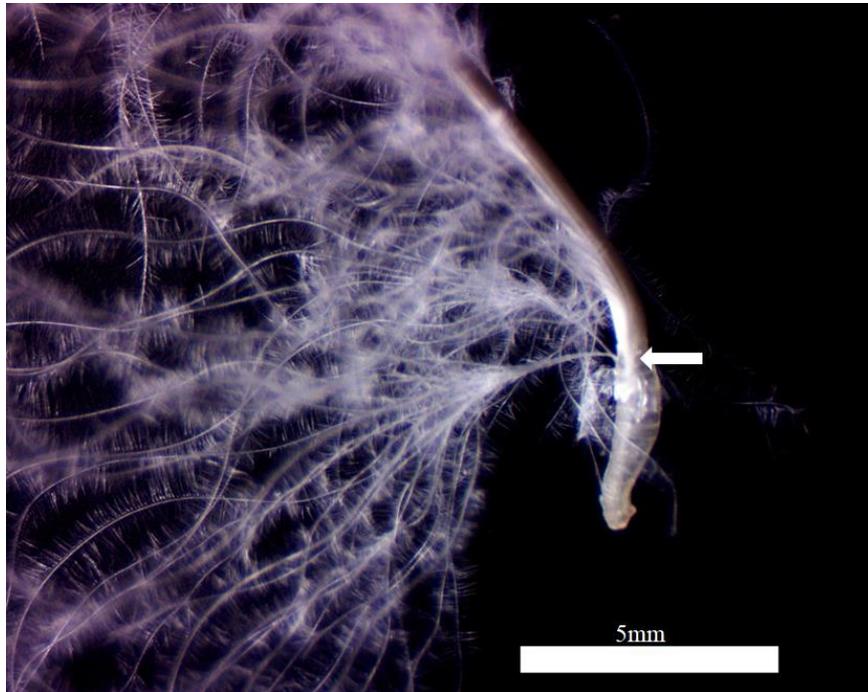
Cada pena de contorno possui uma hiporráquis plumosa como mostra a figura 12. A base da hiporráquis é transparente, achatada dorso-ventralmente e bifurcada em dois ramos plumosos (figura 13).

Figura 12: Pena de contorno da região ventral com uma hiporráquis ligada à base da ráquis.



Fonte: Foto por Guilherme Renzo Rocha Brito.

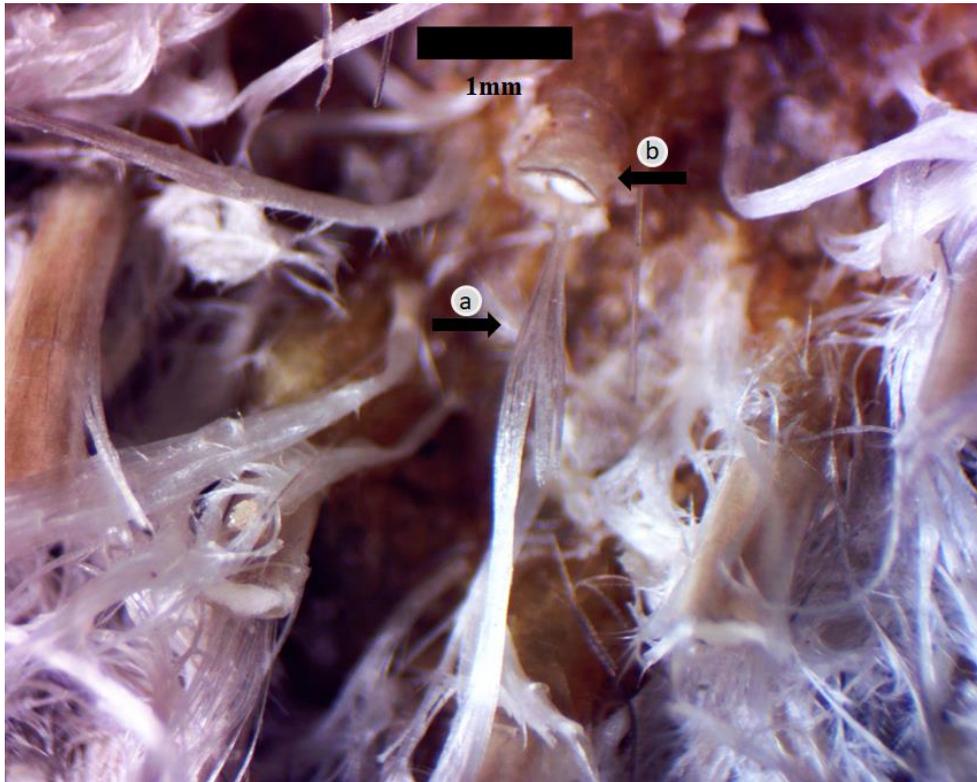
Figura 13: Imagem aproximada do ponto de ancoramento da hiporráquis na ráquis da pena de contorno, atentar para a bifurcação na base.



Fonte: Original da autora.

Devido à característica não elástica das alíquotas de pele fixadas e do espécime taxidermizado CAUFSC00197, nem sempre foi possível realizar a remoção das penas de contorno perto do tegumento, dificultando confirmar a presença das hiporráquis plumosas das mesmas. Porém, durante a análise das alíquotas para a montagem do modelo de distribuição, foi possível identificá-las com o auxílio de estereoscópio (figura 14).

Figura 14: Imagem aproximada da hiporráquis. (a) Hiporráquis, notar bifurcação. (b) Base da ráquis da pena de contorno.



Fonte: Original da autora.

As plumas (figura 15), assim como a hiporráquis da pena de contorno, possuem uma ráquis transparente achatada dorso-ventralmente e uma hiporráquis plumosa. As plumas da região ventral possuem as barbas e bárbulas brancas, enquanto as plumas da região dorsal possuem as pontas distais escurecidas para um amarronzado. As plumas e a hiporráquis das penas de contorno são similares em tamanho (~2 cm).

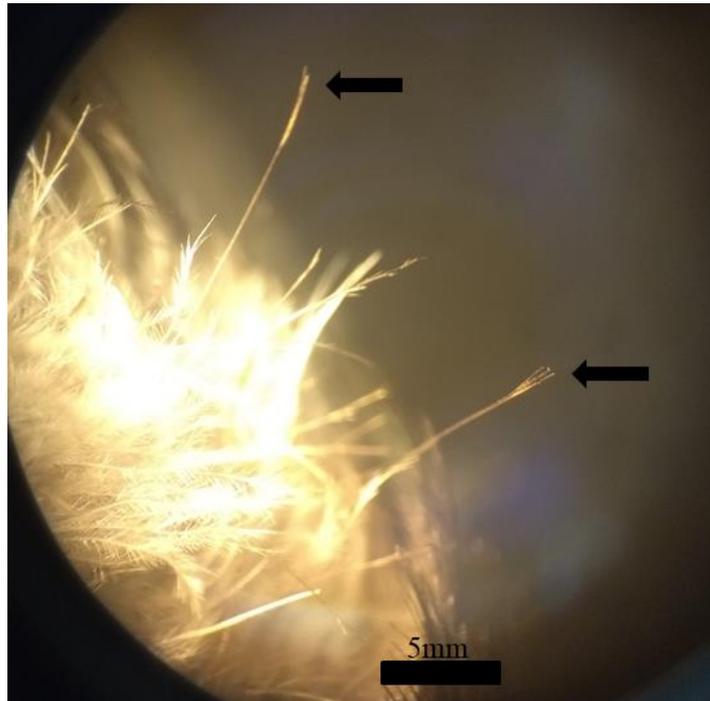
Figura 15: Pluma. Escala em cm.



Fonte: Foto por Guilherme Renzo Rocha Brito.

As filoplumas são totalmente desenvolvidas com a ráquis nua e que se divide de duas a quatro barbas em seu ápice (figura 16). As filoplumas na região ventral apresentam a ráquis transparente e as barbas brancas. Já as filoplumas na região dorsal apresentam a porção mais proximal da ráquis transparente, escurecendo para um amarronzado até o preto nas barbas. As filoplumas apresentam tamanho e altura variados, e é possível observá-las à olho nu (figura 17), diferentemente das filoplumas presentes em *A. forsteri* (WILLIAMS *et al.*, 2015).

Figura 16: Foto aproximada de duas filoplumas (espécime CAUFSC00197).



Fonte: Original da autora.

Figura 17: Filoplumas (espécime CAUFSC00197).



Fonte: Original da autora.

4.3. PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DAS PENAS

A figura 18 ilustra o padrão de distribuição da plumagem do tronco: penas de contorno, filoplumas e plumas. A cada pena de contorno estão associadas uma hiporráquis, uma filopluma e nove plumas, numeradas de 1 a 9. As filoplumas sempre se localizam à direita das penas de contorno, inseridas bem próximas à base da ráquis. As penas de contorno apresentam uma distribuição uniforme e espaçadas igualmente entre si por toda a extensão do tegumento, porém o padrão das plumas é não-uniforme, com espaçamento desigual entre si e as penas de contorno. Três das nove plumas (1, 4 e 7) são compartilhadas com outras duas penas de contorno (*e.g.* a pena de contorno A compartilha a pluma 1 com as penas de contorno B e C). As seis plumas restantes (2, 3, 5, 6, 8 e 9) são compartilhadas com uma outra pena de contorno (*e.g.* a pena de contorno A compartilha a pluma 9 com a pena de contorno B e compartilha a pluma 2 com a pena de contorno C). Assim, há quatro plumas equivalentes para cada pena de contorno.

Figura 18: Modelo ilustrativo (elementos fora de escala) do padrão de distribuição de penas. (A, B, C) Penas de contorno. (1-9) Plumam.



Fonte: Original da autora adaptado de Williams *et al.* (2015).

4.4. DENSIDADE DE PENAS

A tabela 3 mostra o número de penas de contorno que se espera encontrar em 1 cm² tanto no dorso quanto no ventre (*dPC*), bem como a média de penas de contorno no tronco (*mPC*). Com exceção do espécime CAUFSC00390, todos os espécimes apresentaram uma densidade maior de penas de contorno na região ventral. O espécime CAUFSC00178 apresentou a maior média de penas de contorno por cm² com 22,29 penas, enquanto o espécime CAUFSC00197 apresentou a menor média de penas de contorno por cm² com 16,5 penas.

Tabela 3: Densidade (*dPC*) e densidade média (*mPC*) dada pelo número de penas de contorno (cm²) no dorso e ventre do tronco de cada espécime.

Número de tombo	Densidade de penas de contorno no tronco (cm ²)		
	dPC		mPC
	Dorso	Ventre	Média
00178	19,44	25,14	22,29
00197	15	18	16,5
00204	13,58	24,13	18,86
00390	19,67	19,67	19,67
00391	14,24	20,38	17,31

A tabela 4 mostra a densidade média de penas de contorno (*mPC*), plumas (*dPL*) e filoplumas (*dF*) do tronco de cada espécime, bem como a soma dessas penas resultando no número esperado de penas por cm². A densidade de filoplumas é a mesma que a densidade de penas de contorno, e a densidade de plumas é quatro vezes a densidade de penas de contorno.

Tabela 4: Densidade média de penas de contorno (*mPC*), plumas (*dPL*) e filoplumas (*dF*) (cm^2) no tronco de cada espécime.

Número de tomo	Densidade média de penas no tronco (cm^2)			
	Penas de contorno (<i>mPC</i>)	Plumas (<i>dPL</i>)	Filoplumas (<i>dF</i>)	TOTAL
00178	22,29	89,16	22,29	133,74
00197	16,5	66	16,5	99
00204	18,86	75,44	18,86	113,16
00390	19,67	78,68	19,67	118,02
00391	17,31	69,24	17,31	103,86

4.5. ESTIMATIVA DAS PENAS DO TRONCO

A tabela 5 mostra o número estimado de penas de contorno total (*ePC*) e de penas total (*ePT*) do tronco de cada espécime. A estimativa de penas total foi obtida multiplicando a estimativa de penas de contorno por 5 (4 plumas e 1 filopluma) e somando ao valor estimado de penas de contorno. O espécime que apresentou o maior número estimado de penas de contorno e penas total no tronco foi o CAUFSC00204, com 16.269 e 97.614 respectivamente. Já o espécime que apresentou o menor número estimado de penas de contorno e penas total no tronco foi o CAUFSC391, com 8.178 e 49.068 respectivamente.

Tabela 5: Estimativa do número de penas de contorno total (*ePC*) e penas total (*ePT*) do tronco de cada espécime.

Número do tomo	Estimativa de penas de contorno (<i>ePC</i>)	Estimativa de penas total (<i>ePT</i>)
00178	14.388	86.328
00197	15.176	91.056
00204	16.269	97.614
00390	10.983	65.898
00391	8.178	49.068

4.6. CONTAGEM EXAUSTIVA E ESTIMATIVA DE PENAS DO ESPÉCIME CAUFSC00197

A tabela 6 mostra a área calculada de uma asa a partir do modelo. As asas esquerda e direita têm a mesma área. Em ambas as asas, o número de penas de contorno por cm^2 foi de 29 no dorso e 30 no ventre, e a estimativa do número de penas de contorno foi de 1.370 penas

no dorso e 1.512 no ventre. A estimativa do número total de penas de contorno nas asas é de 5.764 penas.

Tabela 6: Dados com a área calculada a partir do modelo do dorso e ventre de uma asa, penas de contorno por cm² e estimativa de penas de contorno de uma asa do espécime CAUFSC00197.

	Dados de 1 asa	
CAUFSC00197	Dorso	Ventre
Área do modelo (cm ²)	47,25	50,4
Penas de contorno por cm ²	29	30
Estimativa do número de penas de contorno	1.370	1.512
Estimativa do número total de penas nas asas		
5.764		

A tabela 7 mostra o número de penas de contorno contadas no espécime CAUFSC00197 no ventre e dorso da cabeça, pescoço, tronco, cauda e asas. Devido a um descuido pessoal, as penas de contorno do tronco, pernas e cauda foram contabilizadas e armazenadas nos mesmos ziplocks, separadas por ventral e dorsal. O número de penas de contorno total na cabeça foi de 5.342. O número de penas de contorno total no pescoço foi de 3.887 penas, o menor número apresentado. O número de penas de contorno do tronco, pernas e da cauda, foi de 15.908 penas, o maior número apresentado. E, novamente, o número estimado de penas de contorno das asas é de 5.764 penas, não sendo feito o cálculo de estimativa com a inclusão de plumas e filoplumas nas asas.

O número total de penas de contorno é de 30.991 penas, e a estimativa do número total de penas (penas de contorno, plumas e filoplumas) no espécime é de 157.126 penas.

Tabela 7: Número de penas de contorno do espécime CAUFSC00197 nas regiões dorsal e ventral de regiões diferentes do corpo e número estimado de penas total.

CAUFSC00197	Número de penas de contorno		
	Dorso	Ventre	TOTAL
Cabeça	2.195	3.237	5.432
Pescoço	1.513	2.374	3.887
Tronco, Pernas e Cauda	9.585	6.323	15.908
Asas	2.740	3.024	5.764
Total de penas de contorno			
30.991			
Estimativa total de penas			
157.126			

5 DISCUSSÃO

O presente trabalho apresenta que: filoplumas estão presentes em *S. magellanicus*; o padrão de distribuição de penas em *S. magellanicus* é o mesmo presente em *A. forsteri*; a densidade de penas de contorno e penas totais em *S. magellanicus* é maior em comparação a *A. forsteri*; e o número de penas de contorno e penas totais do tronco em *S. magellanicus* é menor em comparação a *A. forsteri* (WILLIAMS *et al.*, 2015).

Apenas indivíduos juvenis foram obtidos para a realização deste trabalho, porém isso pode afetar apenas os resultados de descrição de coloração das penas do tronco e no número de penas de contorno e penas totais na região da cabeça em indivíduos adultos. Os tipos de pena e sua distribuição são definidos logo no início do desenvolvimento (PRUM & DYCK, 2003), e as plumas natais dos filhotes dão lugar às penas da primeira plumagem básica (plumas adultas e penas de contorno) já nos juvenis (CLENCH, 1970; LUCAS & STETTENHEIM, 1972). A diferença no número de penas de contorno e penas totais na região da cabeça, nos adultos, se dá pela região de pele nua ao redor e acima dos olhos (MARTÍNEZ *et al.*, 2000).

As penas de contorno apresentaram uma variação de tamanho um pouco maior que os 2,2 cm na região do dorso e 2,6 cm na região do ventre apresentada por Stonehouse (1967). Não houve muita variação na coloração das penas nos cinco espécimes, pois as penas de cada região seguiam o mesmo padrão. Porém pode existir uma diferença maior na coloração de outros indivíduos já que a plumagem de juvenis varia bastante (MARTÍNEZ *et al.*, 2000).

A presença de filoplumas foi primeiramente confirmada em *A. forsteri*, sendo microscópica (WILLIAMS *et al.*, 2015) e agora também confirmada em *S. magellanicus*, porém maiores e visíveis a olho nu. Os corpúsculos sensoriais na base das filoplumas ativam quando as penas de contorno em que estão associadas se deslocam (NECKER, 1985). Em ambas as espécies, cada pena de contorno possuía uma filopluma associada. Portanto, as filoplumas devem possuir um papel importante na manutenção da impermeabilidade e o escudo contra o vento das penas ao indicar o local de deslocamento das penas de contorno. É possível que as filoplumas em *A. forsteri* sejam bem menores por esses pinguins estarem sujeitos aos ventos antárticos de até 25,72 m/s (WILLIAMS *et al.*, 2015), o que poderia levar a hipersensibilização da estrutura pela perturbação forte na plumagem. Devido ao seu papel importante em manter a plumagem impermeável e impenetrável das correntes de ar, essas estruturas devem estar presentes nas demais espécies da família.

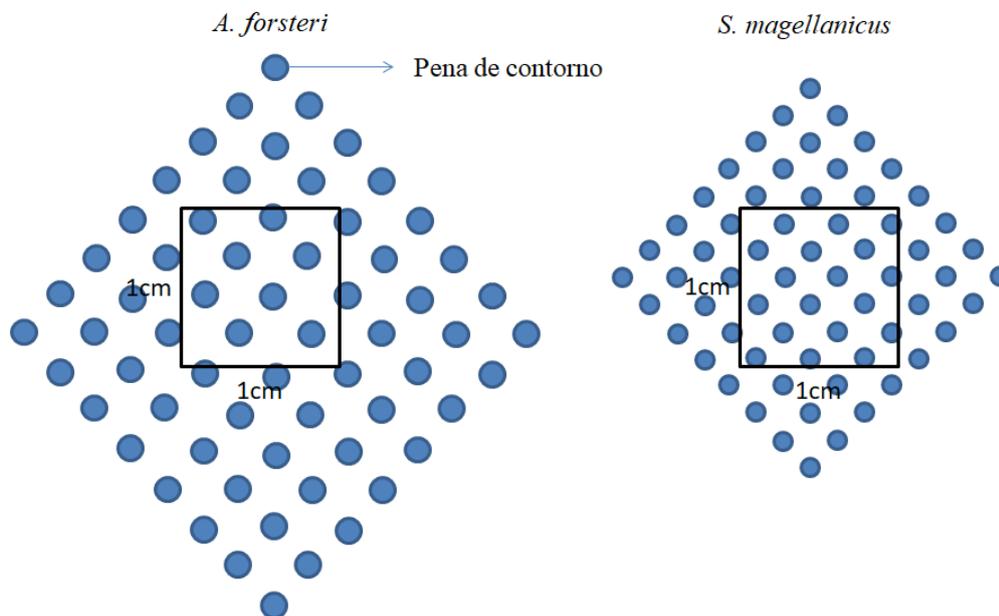
O padrão de distribuição de penas em *S. magellanicus* é o mesmo que o presente em *A. forsteri* (WILLIAMS *et al.*, 2015), e a espécie pinguim-gentoo (*Pygoscelis papua*) apresenta, pelo menos, o mesmo padrão de distribuição de penas de contorno (CURANTZ *et al.*, 2021). Como esse padrão está presente em três espécies de três gêneros diferentes (*Aptenodytes*, *Spheniscus* e *Pygoscelis*) é provável que o padrão de distribuição de penas seja o mesmo em toda a família.

Cada pena de contorno apresenta uma hiporráquis, bem como uma filopluma e quatro plumas associadas a elas. A densidade maior de plumas e a presença de hiporráquis em cada pena de contorno corrobora com os resultados apresentados por Du *et al.* (2007), Williams *et al.* (2015) e Curantz *et al.* (2021), indicando uma função termo-isolante dessa camada de penas. As plumas e hiporráquis em *S. magellanicus* possuem tamanhos similares entre si e apresentam uma ráquis achatada dorso-ventralmente que se bifurca em dois ramos plumosos. Williams *et al.* (2015) descreveu um dos ramos plumosos da pluma como uma hiporráquis em vez de uma bifurcação, e o mesmo foi identificado nas plumas de *S. magellanicus*. Assim, em ambas as espécies as plumas e as hiporráquis são divididas em dois ramos plumosos de mesmo tamanho, aumentando a área em que as plumas podem cobrir e contribuindo ainda mais para o isolamento térmico (DU *et al.*, 2007).

A densidade de penas em *S. magellanicus* é maior que em *A. forsteri*, e mesmo comparando a densidade média do indivíduo emaciado do estudo de Williams *et al.* (2015), todos os espécimes apresentaram uma densidade média maior. A diferença de densidade entre *S. magellanicus* e *A. forsteri* pode estar ligada aos seus hábitos de forrageio e ao ambiente em que invernam. Osváth *et al.* (2018) realizaram um estudo sobre massa e densidade de penas

em 152 espécies terrestres e aquáticas de ambientes quentes, frios e intermediários. Espécies aquáticas apresentaram uma densidade de penas de contorno e penas totais maior que espécies não aquáticas, tendo uma matriz de queratina que é mais densa que o ar preso e assim minimizando o empuxo sem comprometer o isolamento térmico. Além disso, espécies que invernam em ambientes de temperatura intermediária apresentam densidades de penas totais maiores que espécies que invernam em ambientes frios ou quentes, indicando que as densidades totais menores podem garantir a retenção e dissipação do calor, bem como na variação de vacúolos de ar sem alterar a quantidade de ar preso. Durante a criação de seus filhotes, o *S. magellanicus* faz viagens de forrageio a uma distância média de 24 km da costa, com duração média de 14,7 horas, geralmente fazendo mergulhos de 20 m de profundidade, mas podendo chegar até 100 m (MARTÍNEZ *et al.*, 2000). Durante a migração invernal, permanecem em alto mar, entre 50 e 250 km da costa, forrageando e repousando (STOKES & BOERSMA, 1998). Em contraste, *A. forsteri* realiza diversos mergulhos ao longo de um dia para forragear, podendo chegar a 21 minutos de duração e exceder 500 m de profundidade (KOOYMAN & KOOYMAN, 1995; WIENECKE *et al.*, 2007). Num geral, *S. magellanicus* permanece muito mais tempo em ambientes aquáticos que *A. forsteri*, e sua densidade de penas de contorno e plumas maior indica maior resistência contra a infiltração de água nas camadas mais internas da plumagem. Além disso, *S. magellanicus* inverna ao longo da costa da Argentina, Uruguai e sul do Brasil, onde a temperatura média é maior que ao longo da costa da Antártica, onde *A. forsteri* inverna (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2020), corroborando com os resultados de Osváth *et al.* (2018). Outro fator que pode contribuir para uma densidade de penas totais maior em *S. magellanicus* é o tamanho menor de suas penas de contorno em comparação às penas de contorno do *A. forsteri*. Com um padrão de distribuição uniforme e espaçamento igual entre as penas de contorno, permite um número maior de penas em 1 cm² em *S. magellanicus* (figura 19).

Figura 19: Modelo ilustrativo (elementos fora de escala) do número de penas de contorno.



Fonte: Original da autora.

Com a exceção do espécime CAUFSC00390, a densidade de penas no ventre foi maior que a densidade de penas totais no dorso, com uma variação de 3 a 10,55 penas a mais. Williams *et al.* (2015) sugeriram que apenas as espécies *A. forsteri* e *Pygoscelis adeliae* (pinguim-de-Adélie) apresentariam uma densidade maior de penas no ventre devido ao hábito de locomoção por tobogã (deslizamento sobre o ventre) e de descanso sobre o ventre, e os resultados do presente estudo contrariam essa sugestão.

A densidade média de penas num indivíduo irá mudar conforme este ganha ou perde peso, aumentando ou diminuindo sua circunferência e, conseqüentemente, a *ALS*. A massa corporal do *S. magellanicus* varia sazonalmente, estando em seu peso máximo antes do período de muda até seu peso mínimo, após o período de muda e jejum (BOERSMA *et al.*, 2013). Todos os espécimes apresentaram uma massa corporal fora da faixa de peso considerada saudável (4 a 5 kg) (MMA, 2010). Devido à preparação do material, a taxidermia pode alterar a forma corporal esticando ou encolhendo a pele do animal. Por isso, é muito provável que os espécimes taxidermizados não apresentem a *ALS* correspondente a massa corporal. Isso é bem notável no espécime CAUFSC00197, que apresentou uma *ALS* 84,56% maior que o espécime CAUFSC00391, mesmo tendo apenas 15,14% mais massa. O espécime CAUFSC00178, com 3 kg, deveria ter apresentado a c_m maior que os outros espécimes,

porém apresentou a menor c_m com 32 cm. Mesmo que não haja uma correspondência bem certa entre a *ALS* e a massa corporal dos indivíduos taxidermizados, o esticamento e encolhimento da pele apenas implicam no espaçamento entre as penas, sem alterar o número total presente. É possível, porém, que o número estimado de penas nos espécimes taxidermizados seja uma extrapolação maior caso haja um afrouxamento da sutura do local de abertura da taxidermia, aumentando o tamanho da c_m e c_i sem que haja penas na área adicionada (como é o caso do espécime CAUFSC00197).

O número estimado de penas de contorno no tronco do espécime CAUFSC00197, de 15.176 penas, chegou próximo do número de penas de contorno da contagem exaustiva do tronco, pernas e cauda com 15.908 penas. Mesmo que na contagem exaustiva tenha a adição de penas de contorno das pernas e da cauda, o resultado da contagem estimada e da contagem exaustiva não deve ter uma diferença muito significativa, já que também há uma extrapolação na estimativa devido ao afrouxamento da sutura e, conseqüentemente, o aumento da *ALS*. Este resultado indica que o modelo *ALS* para a estimativa de penas de contorno e totais é eficiente.

Os números estimados de penas totais do tronco dos cinco espécimes foram bem menores que os números estimados de penas totais do tronco dos três espécimes de *A. forsteri* no estudo de Williams *et al.* (2015), chegando a apresentar aproximadamente 50.000 a 100.000 penas totais a menos. O número estimado de penas totais no corpo inteiro do espécime CAUFSC00197, de 157.126 penas, chegou próximo ao número estimado de penas totais no tronco de um dos espécimes de *A. forsteri* (WILLIAMS *et al.*, 2015). O número total de penas ser maior em *A. forsteri* pode se dar pelo fato de ser bem maior que o *S. magellanicus*, tendo entre 112 e 115 cm e pesando entre 19 e 46 kg (MARTÍNEZ *et al.*, 2020). Além disso, corrobora com os resultados de Osváth *et al.* (2018), em que aves de ambientes frios apresentam uma massa de penas totais (peso de todas as penas presentes num indivíduo) maior que aquelas de ambientes mais quentes.

O número estimado de penas totais no espécime CAUFSC00197 é uma extrapolação, visto que o cálculo foi feito utilizando o número de penas associados às penas de contorno do tronco, e é preciso verificar se esse padrão se estende pelo corpo inteiro. Também seria interessante verificar os tipos de penas além do tronco do pinguim, bem como a presença de filoplumas e plumas nas asas e como é sua associação às penas de contorno. Em *A. forsteri*, Williams *et al.* (2015), bem brevemente, registraram diferentes tipos de penas de contorno, plumas e semiplumas por todo o corpo, e Hospitaleche *et al.* (2019) registraram a presença de hiporráquis nas penas de contorno em forma de escama da asa, e é possível que o mesmo ocorra em *S. magellanicus* e nas outras espécies da família.

6 CONCLUSÃO

- Foi verificada a presença de filoplumas em *S. magellanicus*, e devido ao seu papel importante em manter a impermeabilidade e o escudo contra o vento da plumagem, essa estrutura deve estar presente nas demais espécies da família.
- O padrão de distribuição de penas em *S. magellanicus* é o mesmo que o presente em *A. forsteri* e é possível que esse padrão seja o mesmo nas demais espécies da família.
- O modelo *ALS* é eficaz em calcular o número estimado de penas do tronco de um pinguim.
- A densidade média maior de penas no ventre em *S. magellanicus* contraria a sugestão de que essa característica seria exclusiva de *A. forsteri* e *P. adeliae*.
- A densidade média de penas maior em *S. magellanicus* indica que essa espécie passa mais tempo em ambiente aquático do que terrestre, bem como indica que inverte em ambientes mais quentes que o *A. forsteri*.
- A densidade média de penas maior em *S. magellanicus* também pode ser resultante de suas penas menores e distribuídas uniformemente, cabendo um número maior de penas em 1 cm².
- A estimativa de penas total ser menor em *S. magellanicus* do que em *A. forsteri* indica que essa espécie é residente de ambientes de temperaturas mais quentes.

REFERÊNCIAS

BirdLife International. **Aptenodytes forsteri**. The IUCN Red List of Threatened Species, 2020. Disponível em: < <https://www.iucnredlist.org/species/22697752/157658053>>. Acesso em: 27 de abril de 2021.

BOERSMA, P. D. **Penguins: Natural History and Conservation**. University of Washington Press, Seattle, 2013.

CHANDLER, A. C. **A study of the structure of feathers, with reference to their taxonomic significance**. University of California Publications in Zoology, v. 11, pp. 329–376, 1916.

CLENCH, M. H. **Variability in Body Pterylosis, with Special Reference to the Genus Passer**. American Ornithologists' Union, The Auk, v. 87, n. 4, pp.650-691, 1970.

CURANTZ, C. *et al.* **Cell shape anisotropy and motility constrain self-organised feather pattern fidelity in birds**. bioRxiv, 2021.

DAWSON, C. *et al.* **Heat transfer through penguin feathers**. Journal of Theoretical Biology, v. 3, pp. 291-295, 1999.

DU, N. *et al.* **An improved model of heat transfer through penguin feathers and down**. Journal of Theoretical Biology, v. 248, n. 4, pp. 727-735, 2007.

HANSON, T. **Feathers: Evolution of a Natural Miracle**. Basic Books, New York, 2011.

HOSPITALECHE, C. A. *et al.* **First fossilized skin of a giant penguin from the Eocene of Antarctica**. Lethaia, v. 53, n. 3, pp. 409-420, 2020.

KOOYMAN, G. L. & KOOYMAN, T. G. **Diving Behavior of Emperor Penguins Nurturing Chicks at Coulman Island, Antarctica**. The Condor, v. 97, n. 2, pp. 536-549, 1995.

LUCAS, A. M. & STETTENHEIM, P. R. **Avian Anatomy: Integument**. Agricultural Handbook 362, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, pp. 1–750, 1972.

MARTÍNEZ, I. *et al.* **Emperor Penguin (*Aptenodytes forsteri*)**, version 1.0. In Birds of the World. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, 2020

MARTÍNEZ, I. *et al.* **Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*)**, version 1.0. In Birds of the World. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, 2020.

Ministério do Meio Ambiente. **Projeto Nacional de Monitoramento do Pinguim-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*)**. Brasília, 36 p., 2010.

NECKER, R. **Observations on the function of a slowly-adapting mechanoreceptor associated with filoplumes in the feathered skin of pigeons**. Journal of Comparative Physiology A, v. 156, pp. 391-394, 1985.

OSVÁTH, G. *et al.* **How feathered are birds? Environment predicts both the mass and density of body feathers.** *Functional Ecology*, v. 32, n. 3, pp. 701-712, 2018.

PROCTOR, Noble e LYNCH, Patrick. **Manual of Ornithology : Avian Structure and Function.** American Scientist, 1994.

PRUM, R. O. & DYCK, J. **A Hierarchical Model of Plumage: Morphology, Development, and Evolution.** *Journal of Experimental Zoology (Molecular and Development Evolution)*, v. 298B, pp.73-90, 2003.

SCLATER, P. L. **Nitzsch's Pterylography translated from the German.** London: Ray Society, 1867.

SICK, H. **Ornitologia Brasileira.** Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2001.

STETENHEIM, P. R. **The Integumentary Morphology of Modern Birds—An Overview.** *American Zoologist*, v. 40, pp. 461-477, 2000.

STOKES, D. L. & BOERSMA, P. D. **Satellite Tracking Of Magellanic Penguin Migration.** *The Condor*, v. 100, pp. 376-381, 1998.

STONEHOUSE, B. **The General Biology and Thermal Balances of Penguins.** *Advances in Ecological Research*, 1967.

WIENECKE, B. *et al.* **Extreme dives by free-ranging emperor penguins.** *Polar Biology*, v. 30, pp. 133-142, 2007.

WILLIAMS, C L. *et al.* **Hidden keys to survival: The type, density, pattern and functional role of emperor penguin body feathers.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2015.

YOUNG, J. R. **Animal behavior.** Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2012.