

**Universidade Federal do Rio Grande – FURG**

**Instituto de Oceanografia**

Programa de Pós-Graduação em Oceanologia

# **PINÍPEDES FÓSSEIS DO RIO GRANDE DO SUL (QUATERNÁRIO): INFERÊNCIAS PALEOECOLÓGICAS E PALEOAMBIENTAIS**

**CRÍSTIAN YAN MONTANA DA ROCHA**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Oceanologia, como parte dos  
requisitos para a obtenção do  
Título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. PAULA DENTZIEN DIAS FRANCISCHINI

Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil.

Coorientadora: Profa. Dra. SILVINA BOTTA

Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil.

Rio Grande, RS, Brasil

Julho de 2023

# **PINÍPEDES FÓSSEIS DO RIO GRANDE DO SUL (QUATERNÁRIO): INFERÊNCIAS PALEOECOLÓGICAS E PALEOAMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanologia,  
como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre

por

**CRÍSTIAN YAN MONTANA DA ROCHA**

Rio Grande, RS, Brasil

Julho de 2023

© A cópia parcial e a citação de trechos desta dissertação são permitidas sobre a condição de que qualquer pessoa que a consulte reconheça os direitos autorais do autor. Nenhuma informação derivada direta ou indiretamente desta obra deve ser publicada sem o consentimento prévio e por escrito do autor.

### Ficha Catalográfica

R672p Rocha, Crístian Yan Montana da.  
Pinípedes fósseis do Rio Grande do Sul (quaternário):  
inferências paleoecológicas e paleoambientais / Crístian Yan  
Montana da Rocha. – 2023.  
71 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –  
FURG, Programa de Pós-Graduação em Oceanologia, Rio  
Grande/RS, 2023.  
Orientadora: Dra. Paula Dentzien Dias Francischini.  
Coorientadora: Dra. Silvina Botta.

1. Otariidae 2. *Otaria flavescens* 3. *Arctocephalus australis*  
4. Isótopos estáveis I. Francischini, Paula Dentzien Dias II. Botta,  
Silvina III. Título.

CDU 56

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



### ATA ESPECIAL DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO – 03/2023

Às quatorze horas do dia trinta e um de julho do ano dois mil e vinte e três, por Video Conferência, reuniu-se a Comissão Examinadora da Dissertação de **MESTRADO** intitulada "PINÍPEDES FÓSSEIS DO RIO GRANDE DO SUL (QUATERNÁRIO): INFERÊNCIAS PALEOECOLÓGICAS E PALEOAMBIENTAIS", do **Acad. Cristian Yan Montana da Rocha**. A Comissão Examinadora foi composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. Paula Dentzien Dias Francischini – Orientadora – (IO/FURG), Profa. Dra. Silvina Botta – (Co-orientadora - IO/FURG), Profa. Dra. Salette Figueiredo – (IO/FURG) e Profa. Dra. Ana Maria Ribeiro – (SEMA-RS). Dando início à reunião, Profa. Dra. Paula Dentzien Dias Francischini, agradeceu a presença de todos e fez a apresentação da Comissão Examinadora. Logo após esclareceu que o Candidato teria um tempo de 45 a 60 min para explanação do tema, e cada membro da Comissão Examinadora, um tempo máximo de 30 min para perguntas. A seguir, passou à palavra ao Candidato que apresentou o tema e respondeu às perguntas formuladas. Após ampla explanação, a Comissão Examinadora reuniu-se em reservado para discussão do conceito a ser atribuído ao Candidato. Foi estabelecido que as sugestões de todos os membros da Comissão Examinadora, que seguem em pareceres em anexo, foram aceitas pelo Orientadora/Candidato para incorporação na versão final da Dissertação. Finalmente, a Comissão Examinadora considerou o candidato **APROVADO**, por unanimidade. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ATA que após lida e aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora, pelo Candidato e pela Coordenadora, do Programa de Pós-Graduação em Oceanologia.

Profa. Dra. Paula Dentzien Dias Francischini  
Orientadora

Profa. Dra. Silvina Botta

Prof. Dr. Salette Figueiredo

Profa. Dra. Ana Maria Ribeiro

Acad. Cristian Yan Montana da Rocha

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Paula Dentzien Dias Francischini  
Coordenadora Adjunta PPGO

“A compaixão para com os animais é das mais nobres virtudes da natureza humana”.

**Charles Darwin**



# Agradecimentos

Sobre o ato de agradecer, Lao Tse fala que "o agradecimento é a memória do coração", considero a gratidão um hábito muito positivo, mas também uma emoção que nos muda como seres humanos. No Hoponopono agradecemos a Divindade Superior. Quando pronunciamos as quatro frases poderosas, estamos agradecendo a Deus(a) e ao Universo pela possibilidade de mudanças. Então, digo-as, "Sinto muito. Me perdoe. Te amo. Sou grato." Não há no mundo exagero mais belo que a gratidão.

À toda energia positiva contida no Universo, principalmente, no contexto terrestre, agradeço à água, aos animais, às plantas, ao solo, à vida. Quero agradecer imensamente ao oceano que tanto lavou minhas feridas e a minha alma. Em todas as minhas vidas estivemos conectados e nesta não seria diferente.

Meus sinceros agradecimentos à professora Dr<sup>a</sup>. Paula Dentzien Dias Francischini, minha orientadora, e à professora Dr<sup>a</sup>. Silvina Botta, minha coorientadora, pelo auxílio prestado nesta empreitada que é a pós-graduação. Agradeço a mim pela paciência e autocompaixão, neste caminho em busca do progresso, especialmente por nunca ter desistido da ciência e da educação brasileira que tanto sofreu e ainda sofre com o descaso público.

Aos professores da pós-graduação em Oceanologia, nos quais tive alguma conexão, pelo o ensino compartilhado que me ajudaram na elaboração desta dissertação. Agradeço e me sinto especial por ser um dos alunos da última turma do querido professor Dr. Lauro Calliari. Meus sinceros pêsames, pois seu legado será eterno. Descanse em paz.

À minha querida mãe, minha base, pelo incentivo constante e por nunca ter desistido de acreditar na minha capacidade. Ao Felipe, meu melhor amigo, que acompanhou todo o meu drama científico durante a graduação e de quebra mais o mestrado. Ao meu namorado, Leonardo, somos como Eneas e Benitín, saibas *que tu loco amor es mi mejor doctor*.

Aos colegas e membros do Laboratório de Geologia e Paleontologia da Universidade Federal do Rio Grande, meus sinceros agradecimentos pela troca de conhecimento e amizade. Às minhas amigas Mai e Débora. Sem vocês, meus dias em Rio Grande seriam ainda mais cinzentos e tristes. Vocês foram a alegria da minha vida durante os meses em que morei na região. Às minhas amigas de longa data, Vanessa, Cláudia, Morgana, Nathaly, Taníse e Nicoli, por me oferecerem conforto e um ombro amigo durante as minhas trilhas constantes entre o litoral e a cidade. Obrigado por me ouvirem.

À professora e Dr<sup>a</sup>. Ana Maria Ribeiro por me introduzir no mundo da Paleontologia, Evolução e Geologia. Nunca vou esquecer de como impactou a minha vida com todo o seu conhecimento e legado. Obrigado.

# Índice

|                                                                             |             |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Agradecimentos .....</b>                                                 | <b>VI</b>   |
| <b>Índice .....</b>                                                         | <b>VII</b>  |
| <b>Lista de Figuras da Dissertação .....</b>                                | <b>VIII</b> |
| <b>Lista de Tabelas da Dissertação .....</b>                                | <b>XI</b>   |
| <b>Lista de Figuras do Artigo .....</b>                                     | <b>XII</b>  |
| <b>Lista de Tabelas do Artigo .....</b>                                     | <b>XIII</b> |
| <b>Lista de Acrônimos e Abreviações .....</b>                               | <b>XIV</b>  |
| <b>Resumo .....</b>                                                         | <b>1</b>    |
| <b>Abstract .....</b>                                                       | <b>2</b>    |
| <b>Capítulo I: Introdução .....</b>                                         | <b>3</b>    |
| <b>1.1. Pinípedes atuais e fósseis .....</b>                                | <b>4</b>    |
| <b>1.2. Ocorrências de pinípedes fósseis na América do Sul .....</b>        | <b>8</b>    |
| <b>1.3. Área de estudo .....</b>                                            | <b>12</b>   |
| <b>Capítulo II: Objetivos .....</b>                                         | <b>17</b>   |
| <b>Capítulo III: Materiais e Métodos .....</b>                              | <b>18</b>   |
| <b>3.1. Materiais .....</b>                                                 | <b>18</b>   |
| <b>3.2. Metodologia .....</b>                                               | <b>18</b>   |
| <b>3.2.1. Identificação e descrição morfológica dos ossos fósseis .....</b> | <b>18</b>   |
| <b>3.2.2. Análise de isótopos estáveis .....</b>                            | <b>24</b>   |
| <b>Capítulo IV: Artigo Científico .....</b>                                 | <b>26</b>   |
| <b>Capítulo V: Síntese da Discussão e Conclusões .....</b>                  | <b>57</b>   |
| <b>Capítulo VI: Referências Bibliográficas .....</b>                        | <b>59</b>   |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                         | <b>68</b>   |

# Lista de Figuras da Dissertação

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Caracterização extraída de Monteiro <i>et al.</i> [2021] das espécies de pinípedes ocorrentes na costa do Rio Grande do Sul na atualidade, destacando o dimorfismo sexual da maioria delas. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5  |
| <b>Figura 2.</b> Caracterização da anatomia óssea de um otariídeo, destacando o crânio, na cintura escapular o úmero, e na cintura pélvica o fêmur, elementos fundamentais na identificação taxonômica. Adaptado de Goldfinger [2004]. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8  |
| <b>Figura 3.</b> Mapa traduzido mostrando as ocorrências de pinípedes fósseis na América do Sul extraído de Valenzuela-Toro <i>et al.</i> [2013]. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 10 |
| <b>Figura 4.</b> Mapa geológico simplificado da PCRS baseado em Corrêa [1996], mostrando a localização da área de estudo na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (representada pela porção em cinza claro), que compreende uma região que se estende desde a praia do Cassino, no município do Rio Grande, até a praia Hermenegildo, no município de Santa Vitória do Palmar. ....                                                                                                                                                   | 13 |
| <b>Figura 5:</b> Curva eustática do nível do mar da plataforma continental do Rio Grande do Sul, Brasil. Adaptado de Corrêa [1990]. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 15 |
| <b>Figura 6:</b> Úmero, face cranial e face caudal de <i>Otaria flavescens</i> (O) adaptado de García [2003]. <b>c:</b> capítulo; <b>cd:</b> crista deltopeitoral; <b>ch:</b> cabeça; <b>cs:</b> crista supracôndilo lateral; <b>l:</b> epicôndilo lateral; <b>m:</b> epicôndilo medial; <b>fo:</b> fossa do olecrano; <b>le:</b> lábio externo da tróclea; <b>li:</b> lábio interno da tróclea; <b>tm:</b> tubérculo maior; <b>tmi:</b> tubérculo menor; 1, 2, 3 e 4: descritos na Tabela 1. Escala = 5 cm. Escala = 5 cm. ....       | 19 |
| <b>Figura 7:</b> Úmero, face cranial e face caudal de <i>Arctocephalus australis</i> (A) adaptado de García [2003]. <b>c:</b> capítulo; <b>cd:</b> crista deltopeitoral; <b>ch:</b> cabeça; <b>cs:</b> crista supracôndilo lateral; <b>l:</b> epicôndilo lateral; <b>m:</b> epicôndilo medial; <b>fo:</b> fossa do olecrano; <b>le:</b> lábio externo da tróclea; <b>li:</b> lábio interno da tróclea; <b>tm:</b> tubérculo maior; <b>tmi:</b> tubérculo menor; 1, 2, 3 e 4: descritos na Tabela 1. Escala = 5 cm. Escala = 5 cm. .... | 20 |

**Figura 8:** Os fêmures de *Otaria flavescens* (O) e *Arctocephalus australis* (A) adaptados de García [2003]. Face caudal, **f1:** caractere 1; **f2:** crista, caractere 2; **cm:** côndilo medial; **cof:** cabeça; **f:** fossa do trocânter, **f3:** caractere 3; **tm:** trocânter maior; **tmi:** trocânter menor; **f4:** depressão em *Arctocephalus australis* e arredondamento em *Otaria flavescens* na lateral do côndilo medial direito. Escala = 5 cm. .... 21

**Figura 9:** Caracterização da visão dorsal e ventral do crânio de *Otaria flavescens* destacando a porção palatal. **ap:** apófise pré-orbital; **cnd:** crista nugal dorsal; **cpa:** constrição pós-orbital; **cs:** cristas sagitais; **f:** frontal; **n:** nasal; **on:** orifício nasal externo; **pfm:** processo frontal do maxilar; **p:** parietal; **ps:** processo supraorbital; **a:** alisfenóide; **b:** basioccipital; **bt:** bula timpânica; **bs:** basisfenóide; **fi:** forame incisivo; **ff:** fossa faríngea; **fh:** forame hipoglosso; **flp:** forame lacerado posterior; **fla:** fossa mandibular; **lh:** lâmina horizontal do palatino; **mp:** processo palatino do maxilar; **tu:** tubérculo faríngeo. Escala = 5 cm. .... 22

**Figura 10:** Caracterização da visão dorsal e ventral do crânio de *Arctocephalus australis* destacando a porção palatal. **ap:** apófise pré-orbital; **cnd:** crista nugal dorsal; **cpa:** constrição pós-orbital; **cs:** cristas sagitais; **f:** frontal; **n:** nasal; **on:** orifício nasal externo; **pfm:** processo frontal do maxilar; **p:** parietal; **ps:** processo supraorbital; **a:** alisfenóide; **b:** basioccipital; **bt:** bula timpânica; **bs:** basisfenóide; **fi:** forame incisivo; **ff:** fossa faríngea; **fh:** forame hipoglosso; **flp:** forame lacerado posterior; **fla:** fossa mandibular; **lh:** lâmina horizontal do palatino; **mp:** processo palatino do maxilar; **tu:** tubérculo faríngeo. Escala = 5 cm. .... 23

**Figura 11.** Úmeros fósseis de indivíduos adultos de *Otaria flavescens* com visão frontal e dorsal: A) LGP-U14, B) LGP-U40, C) LGP-U78, D) MCN-PV1459, E) LGP-U11, F) LGP-U12 e G) LGP-U34. Escala = 10 mm. .... 68

**Figura 12.** Úmero fóssil de um indivíduo juvenil de *Otaria flavescens* com visão frontal e dorsal: LGP-U33. Escala = 10 mm. .... 69

**Figura 13.** Úmeros fósseis de indivíduos adultos de *Arctocephalus australis* com visão frontal e dorsal: A) LGP-U32 e B) LGP-U50. Escala = 10 mm. .... 70

**Figura 14.** Úmeros fósseis de indivíduos juvenis de *Arctocephalus* sp. com visão frontal e dorsal: A) LGP-U09, B) LGP-U25, C) LGP-U42, D) LGP-U43 e E) LGP-U76. Escala: 10 mm. .... 71

# Lista de Tabelas da Dissertação

**Tabela 1:** Caracteres discriminantes nos úmeros que podem ser observados nos elementos depositados nos acervos do LGP-FURG, MCN/SEMA-RS e ECOMEGA-FURG. .... 20

**Tabela 2:** Caracteres discriminantes nos fêmures que podem ser observados nos elementos depositados nos acervos do LGP-FURG, MCN/SEMA-RS e ECOMEGA-FURG. .... 21

**Tabela 3:** Descrição generalizada da diferença morfológica entre os crânios de *Otaria flavescens* e *Arctocephalus australis* que podem ser observados nos elementos depositados nos acervos do LGP-FURG, MCN/SEMA-RS e ECOMEGA-FURG. .... 23

# Lista de Figuras do Artigo

|                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1:</b> Simplified geological map of the Rio Grande do Sul coastal plain, based on Corrêa (1996). .....                                                                                                           | 31 |
| <b>Figure 2:</b> Selected <i>Otaria flavescens</i> fossil humeri in frontal and dorsal views: A) LGP-U04, B) LGP-U05, C) LGP-U06, D) LGP-U10, E) LGP-U35, F) LGP-U45, G) LGP-U47 and H) MCN-PV2515. Scale bar: 10 mm. .... | 37 |
| <b>Figure 3:</b> Fossil femora of adult individuals of <i>Otaria flavescens</i> in frontal and dorsal views: A) LGP-U36, B) LGP-U37 and C) LGP-U52. Scale bar: 10 mm. ....                                                 | 39 |
| <b>Figure 4:</b> Fossil skull fragment (palate) of an <i>Otaria flavescens</i> in frontal and dorsal views: LGP-U38. Scale bar: 10 mm. ....                                                                                | 40 |
| <b>Figure 5:</b> Fossil humeri selected from adult individuals of <i>Arctocephalus australis</i> in frontal and dorsal views: A) LGP-U07, B) LGP-U08, C) LGP-U46 and D) MCN-PV3638. Scale bar: 10 mm. ....                 | 42 |
| <b>Figure 6:</b> Fossil humeri selected from juvenile <i>Arctocephalus</i> sp. Individuals in frontal and dorsal views: A) LGP-U13, B) LGP-U30, C) LGP-U26 and D) LGP-U79. Scale bar: 10 mm. ....                          | 44 |
| <b>Figure 7:</b> Map showing the occurrences of fossil pinnipeds in South America. Adapted from Valenzuela-Toro <i>et al.</i> (2013). ....                                                                                 | 47 |

# Lista de Tabelas do Artigo

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Table 1:</b> Data on <i>Otaria flavescens</i> humeri analyzed with all adult and juvenile individuals selected; N/A: not available. ....              | 35 |
| <b>Table 2:</b> Data on femora and the skull fragment of <i>Otaria flavescens</i> analyzed with all adult individuals selected; N/A: not available. .... | 38 |
| <b>Table 3:</b> Data on the humeri of <i>Arctocephalus australis</i> analyzed with all individuals selected; N/A: not available. ....                    | 41 |
| <b>Table 4:</b> Data on the humeri of <i>Arctocephalus</i> sp. analyzed with all juvenile individuals selected; N/A: not available. ....                 | 43 |

# Lista de Acrônimos e Abreviações

## A

**AP** – Antes do presente

## B

**BP** – Before present

## E

**ECOMEGA** – Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha

**EIM** – Estágio Isotópico Marinho

## L

**LGP** – Laboratório de Geologia e Paleontologia

**LGM** – Last Glacial Maximum

## M

**MCN/SEMA-RS** – Museu de Ciências Naturais, Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul

## P

**PCRS** – Planície Costeira do Rio Grande do Sul

## R

**RSCP** – Rio Grande do Sul Coastal Plain

## U

**UMG** – Último Máximo Glacial

# Resumo

Os pinípedes são mamíferos marinhos que iniciaram sua história evolutiva no final do Oligoceno e início do Mioceno, com evidências moleculares partindo por volta de 22,5 milhões de anos. O grupo está distribuído ao longo das costas da América do Sul continental, realizando grandes deslocamentos sazonais, principalmente à costa do Brasil com o intuito de buscar alimentos e descanso. No entanto, fatores como as correntes oceânicas também condicionam a chegada na região. Atualmente, são documentadas sete espécies de pinípedes para a costa brasileira, em contrapartida, os registros fósseis do grupo são raros e compreendem unicamente a família Otariidae. Este trabalho tem como objetivo identificar os pinípedes fósseis do Rio Grande do Sul, sua paleoecologia e relacionar o paleoambiente. A área de estudo está inserida nos depósitos quaternários da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), onde os fósseis em maior ocorrência são das espécies *Otaria flavescens* e *Arctocephalus australis*. Foram identificados 35 elementos ósseos, em sua maioria pós-cranianos, majoritariamente úmeros (31), também três fêmures e um fragmento de crânio. Através das análises morfológicas, 19 espécimes adultos e um juvenil de *O. flavescens* foram identificados. Em relação a *A. australis* houve a identificação de seis espécimes adultos e para o gênero, nove juvenis. O *beachrock* aderido ao fragmento de crânio de *O. flavescens* com composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  (-5.01‰) e  $\delta^{18}\text{O}$  (-3.46‰) infere a possibilidade de momentos de exposição e de intensa infiltração de águas meteóricas durante a gênese dos depósitos nos quais os cimentos carbonáticos precipitaram. Os resultados aumentam a ocorrência de espécimes fósseis de pinípedes na costa do extremo sul brasileiro e apresentam um fragmento inédito de crânio de *O. flavescens*, visto a raridade do material. Sendo assim, o indicativo aponta que não houve uma mudança faunística significativa em comparação com o registro moderno.

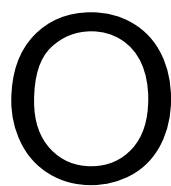
**Palavras-chave:** Otariidae; *Otaria flavescens*; *Arctocephalus australis*; Isótopos estáveis.

# Abstract

The pinnipeds are marine mammals that originated in the late Oligocene to early Miocene, with molecular evidence dating back to approximately 22.5 million years ago. The group is distributed along the coasts of continental South America, undertaking large seasonal migrations, primarily to the coast of Brazil in search of food and rest. However, factors such as ocean currents also influence their arrival in the region. Currently, seven species of pinnipeds are documented on the Brazilian coast, while fossil records of the group are rare and consist solely of the family Otariidae. This study aims to identify the fossil pinnipeds from Rio Grande do Sul, their paleoecology, and relate the paleoenvironment. The study area of this article is located within the Quaternary deposits of the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (RSCP), where the most common fossil finds are of the species *Otaria flavescens* and *Arctocephalus australis*. A total of 35 bone elements were identified, mostly postcranial, predominantly humeri (31), but also three femora, and a fragment of a skull. 19 adult specimens and one juvenile of *O. flavescens* were identified. Regarding *A. australis*, six adult specimens were identified, and for the genus, nine juveniles. The beachrock adhered to the fragment of *O. flavescens* skull, with isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$  (-5.01‰) and  $\delta^{18}\text{O}$  (-3.46‰), suggests the possibility of exposure periods and intense infiltration of meteoric waters during the genesis of the deposits in which the carbonate cements precipitated. The results expand the occurrence of fossil pinniped species on the southernmost Brazilian coast and present of *O. flavescens* skull fragment, which is unprecedented for the Brazilian coast due to the rarity of the material. Therefore, the indication points out that there was no significant faunal change in comparison to the modern record.

**Keywords:** Otariidae; *Otaria flavescens*; *Arctocephalus australis*; Stable isotopes.

## Capítulo I: Introdução



Quaternário é o período mais curto da história geológica da Terra, dividido em Pleistoceno e Holoceno, épocas com durações muito desiguais. O Pleistoceno teve seu início a 2,5 Ma Antes do Presente (AP) e se prolongou até os 11.500 ka AP [Suguio, 1999]. O Holoceno iniciou a 11.500ka AP e perdura até os dias atuais. Tal período é apresentado como o mais numeroso em informações paleoecológicas e se caracteriza como uma era de instabilidade climática, e de bruscas e expressivas alterações ambientais. No decorrer do seu percurso, movimentações tectônicas acompanhadas por oscilações relativas do nível do mar e estágios glaciais se sucederam. A partir do Pleistoceno Superior, os ecossistemas passaram por diversas mudanças, influenciadas pelo resfriamento global e pelo aumento gradativo da temperatura durante o Holoceno [Corrêa, 2021]. Durante os estágios glaciais, a expansão do gelo marinho ao redor da Antártida desencadeou mudanças no clima e na geografia do Hemisfério Sul. O elevado volume de gelo correspondeu ao baixo nível do mar, expondo a plataforma

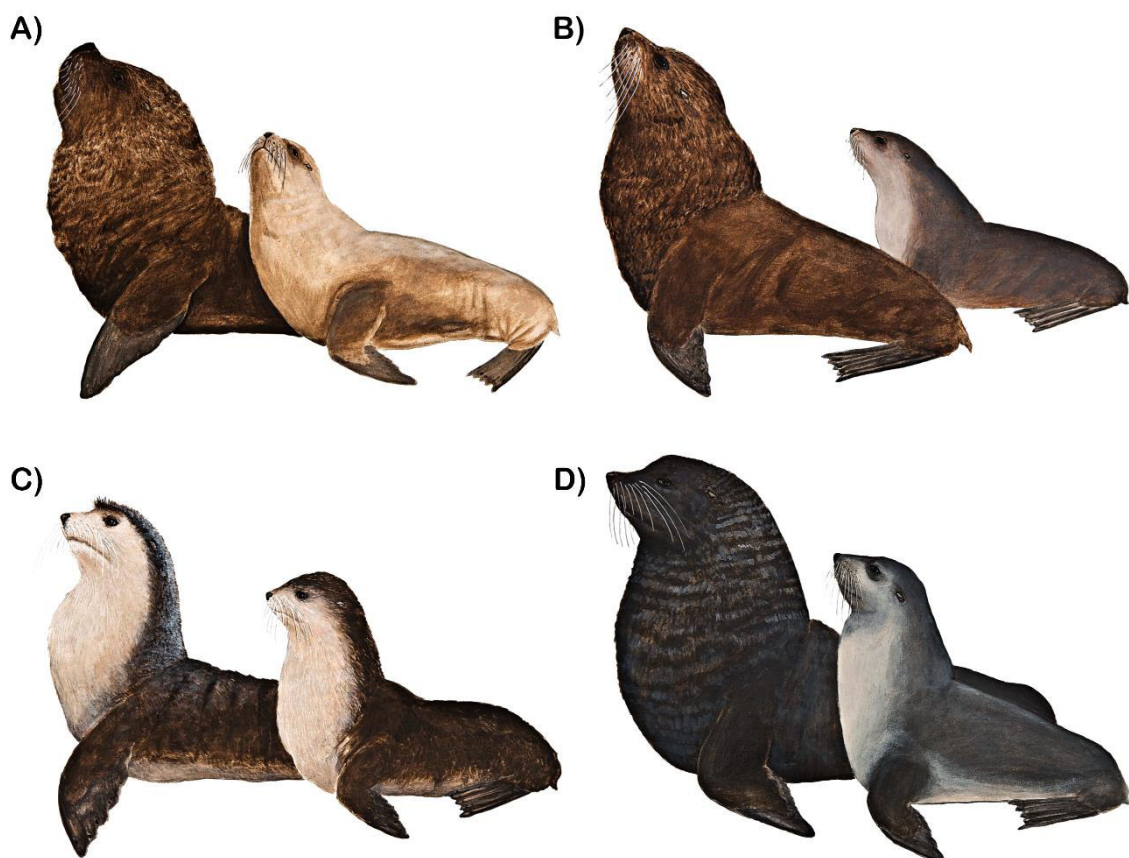
continental interna e reduzindo o habitat disponível para as espécies marinhas costeiras. Em contrapartida, o aumento do nível do mar concomitantemente com eventos de degelo resultou em inundações da plataforma continental [Otto-Bliesner *et al.* 2007; Ludt & Rocha, 2015].

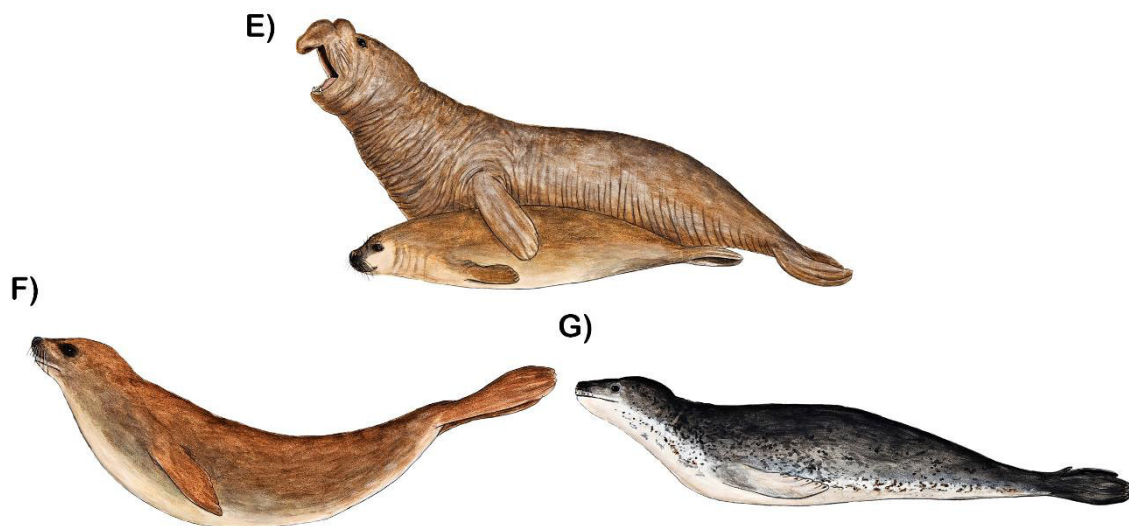
Os ciclos glaciais-interglaciais coincidiram com variações na circulação oceânica e temperatura da água, assim como na estratificação, distribuição de nutrientes e solubilidade do CO<sub>2</sub> na água do mar [Thatje *et al.* 2008; Denton *et al.* 2010]. Tais mudanças causaram impactos na biota marinha do fitoplâncton para elevados níveis tróficos [Ferrari *et al.* 2014; Martin-Garcia *et al.* 2018]. Uma gama de habitats diversificados começou a ser utilizada pelos mamíferos marinhos, ocupando quase todos os níveis tróficos [Berta, 2008]. Dentre as principais linhagens existentes, está inserido o grupo dos pinípedes que compreendem um conjunto diversificado de pelo menos sete linhagens evolutivas distintas que desde o Oligoceno desenvolvem adaptações para a vida aquática. Os pinípedes constituem um grupo monofilético que apresenta três famílias atuais: Otariidae, com lobos e leões-marinhos, Odobenidae, com morsas e Phocidae, com focas e elefantes marinhos. O grupo conta com um registro fóssil datando do Oligoceno Superior ao início do Mioceno e sua origem ocorreu inicialmente no Pacífico Norte, diversificando-se posteriormente nos demais oceanos [Rice, 2008].

### **1.1 Pinípedes atuais e fósseis**

Os pinípedes, como carnívoros aquáticos, possuem uma ampla distribuição geográfica devido à facilidade na qual se deslocam pelos mares. Algumas espécies são comumente encontradas no Sul e, ocasionalmente, no

Sudeste do Brasil, principalmente em períodos pós-reprodutivos. O grupo realiza grandes deslocamentos sazonais com o intuito de buscar alimentação e descanso e fatores como as correntes oceânicas também condicionam a chegada a costa brasileira [Prado *et al.* 2016]. De acordo com Monteiro-Filho *et al.* [2021], atualmente não há colônias reprodutivas de pinípedes em território brasileiro e as mais próximas estão no Uruguai. Sendo assim, são documentadas sete espécies de pinípedes no sul do país: *Otaria flavescens* Shaw, 1800 (Figura 1, A), *Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783; Figura 1, B), *Arctocephalus tropicalis* (Gray, 1872; Figura 1, C), *Arctocephalus gazella* (Peters, 1875; Figura 1, D), *Mirounga leonina* (Linnaeus, 1758; Figura 1, E), *Hydrurga leptonyx* (Blainville, 1820; Figura 1, F), *Lobodon carcinophaga* (Hombron & Jacquinot, 1842; Figura 1, G).



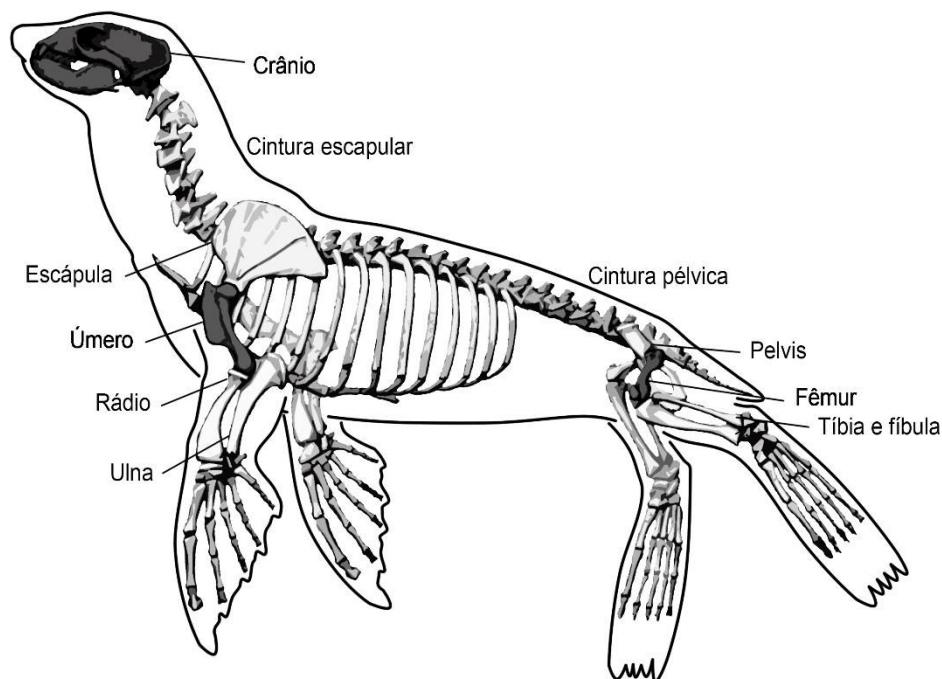


**Figura 1.** Caracterização extraída de Monteiro *et al.* [2021] das espécies de pinípedes ocorrentes na costa do Rio Grande do Sul na atualidade, destacando o dimorfismo sexual da maioria delas.

Prado *et al.* [2016] observaram que as espécies mais frequentes no litoral do Rio Grande do Sul são *A. australis* e *O. flavescens*, seguidas por *A. tropicalis* e reportaram a incidência de espécimes vivos e mortos de ambos os táxons entre os anos 1976 e 2013. Contudo, estudos mais amplos demonstram que no passado geológico os pinípedes apresentavam maior riqueza de espécies em alguns grupos, assim como diferentes ecomorfologias, tamanho corporal e distribuição geográfica [Berta *et al.* 2018; Velez-Juarbe & Salinas-Marquéz, 2018]. As comparações de fauna sugerem que a ascensão e queda de diferentes subclados do grupo de pinípedes são provavelmente dependentes de mudanças oceanográficas e disponibilidade de habitat ao longo do tempo geológico [Boessenecker, 2013; Valenzuela-Toro *et al.* 2013; Velez-Juarbe, 2017]. Entretanto, registros fósseis de pinípedes na costa do Brasil são raros, compreendem principalmente a família Otariidae e não há reportes sobre o seu contexto paleoecológico e paleoambiental [Oliveira & Drehmer, 1997; Drehmer & Ribeiro, 1998; Rodrigues *et al.* 2004]. No trabalho

mais recente que aborda fósseis de pinípedes em território brasileiro, Rodrigues *et al.* [2004], citam que nos depósitos do Pleistoceno na costa sul do Brasil, o registro de carnívoros pinipédios é escasso e que maiores estudos da fauna marinha, principalmente dos mamíferos, serão necessários para que futuramente se possa correlacionar com outras faunas sul-americanas. No trabalho supracitado, o grupo foi registrado para o Quaternário no litoral gaúcho com base em material dos gêneros *Arctocephalus* e *Otaria*.

O registro fóssil, no entanto, é fundamental para entender os efeitos das alterações ambientais sobre os mamíferos marinhos ao longo do tempo e pode fornecer informações sobre a evolução, distribuição e extinção das espécies [Fordyce, 2009]. Neste sentido, a possível presença de carbonatos aderidos aos fósseis permitem a análise de isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) para inferências paleoceanográficas, possibilitando compreender o ambiente marinho no passado [Panarello *et al.* 2021]. Os elementos ósseos de pinípedes representados por úmero, fêmur e crânio (Figura 2) são especialmente úteis para tais estudos, porque exibem morfologias que são diagnosticáveis ao nível de gênero e/ou espécie [Sanfelice & Ferigolo, 2008; Borella *et al.* 2018].



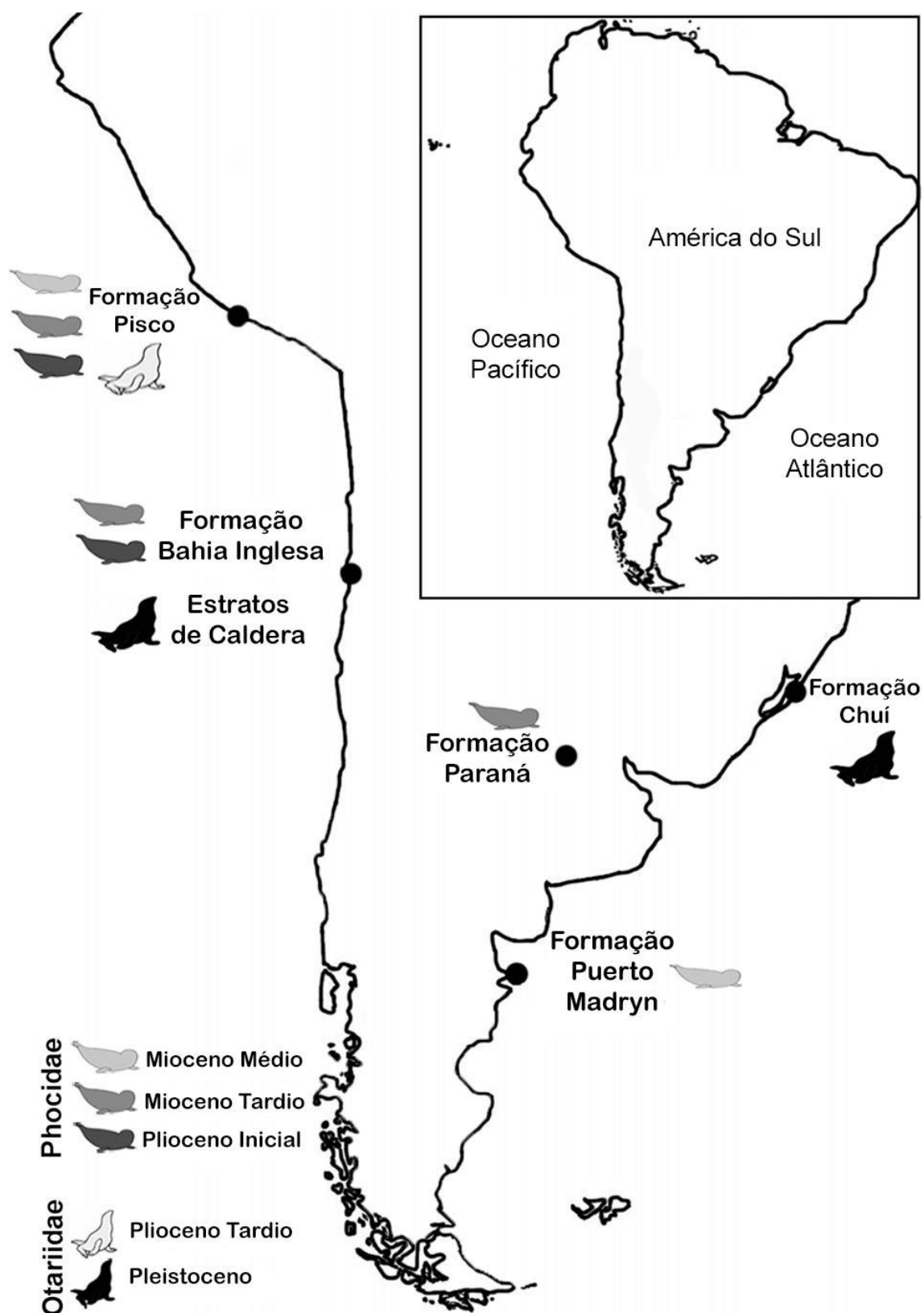
**Figura 2.** Caracterização da anatomia óssea de um otariídeo, destacando o crânio, na cintura escapular o úmero, e na cintura pélvica o fêmur, elementos fundamentais na identificação taxonômica. Adaptado de Goldfinger [2004].

## 1.2 Ocorrências de pinípedes fósseis na América do Sul

Atualmente, os gêneros *Otaria* e *Arctocephalus* estão distribuídos ao longo de todas as costas sul-americanas, desde o Equador ao Cabo Horn do Chile no Oceano Pacífico, e do sul do Brasil ao sul da Argentina no Oceano Atlântico [Cozzuol, 1996]. O registro mais antigo conhecido da família na América do Sul é do Plioceno Superior e Pleistoceno Inicial, localizado na Formação Pisco do Peru, representado pelo otariídeo primitivo *Hydrarctos lomasiensis*, sendo até o momento, o registro fóssil mais antigo desta família no Hemisfério Sul [Muizon, 1978]. Há alguns relatos de otariídeos do Pleistoceno da Argentina, mas a atribuição taxonômica é duvidosa [Valenzuela-Toro *et al.* 2010b]. O registro fóssil de Otariidae do Chile é fragmentário e

esparso e a proveniência estratigráfica não pôde ser estabelecida com precisão [Valenzuela-Toro *et al.* 2010b; Sepúlveda *et al.* 2011]. Entretanto, no Quaternário do Brasil, tanto indivíduos do gênero *Arctocephalus* e da espécie *O. flavescens* foram relacionados através de elementos, tais como úmeros, astrágalo, metacarpo e osso temporal [Oliveira & Drehmer, 1997; Drehmer & Ribeiro, 1998; Rodrigues *et al.*, 2004].

Os dados de ocorrência relatados juntamente com o registro fóssil conhecido de pinípedes na América do Sul mostram uma distribuição geográfica diferente de otarídeos e focídeos durante o período Neógeno (Figura 3). O registro de pinípedes do Mioceno Médio ao Plioceno Inicial no sudeste do Oceano Pacífico é representado pelos gêneros *Piscophoca*, *Acrophoca*, *Australophoca* e *Hadrokirus*, do Mioceno Superior da Formação Bahía Inglesa do Chile e da Formação Pisco no Peru [Valenzuela *et al.* 2009; 2015; Amson & Muizon, 2014], ambas formações produziram várias espécies de vertebrados marinhos, incluindo, pelo menos, quatro espécies de pinípedes e ainda várias espécies e morfotipos permanecem por descrever [Valenzuela & Pyenson, 2019], estando entre os registros de mamíferos marinhos fósseis mais ricos do mundo. Em contraste com a Bacia do Pacífico Norte, nem otarídeos nem odobenídeos foram relatados neste intervalo na América do Sul [Muizon, 1981; Walsh & Naish, 2002].



**Figura 3.** Mapa mostrando as ocorrências de pinípedes fósseis na América do Sul modificado de Valenzuela-Toro *et al.* [2013].

Valenzuela-Toro *et al.* [2013] relatam que os restos cranianos e pós-cranianos indeterminados da família Otariidae além de restos atribuídos à *Otaria cf. flavescens* do final do Pleistoceno no Estratos de Caldera são os registros inequívocos mais antigos desta família no Chile. Junto ao material da família Phocidae do Plioceno inferior da Formação Bahía Inglesa, essas ocorrências agregadas do Chile fornecem novos dados estratigráficos sobre o momento da rotatividade da fauna de pinípedes na América do Sul. Especificamente, esses dados restringem o período de transição entre os focídeos e os otarídeos ao final do Plioceno até o meio do Pleistoceno [Valenzuela-Toro *et al.* 2013].

No entanto, em um aspecto geral, as mudanças ambientais que aumentam a distribuição e abundância da produtividade primária foram, provavelmente, fatores determinantes na condução da diversidade taxonômica e ecológica de pinípedes nos ambientes costeiros e pelágicos [Slater *et al.* 2017]. A mudança evolutiva na fauna austral de pinípedes do final do Cenozoico também pode ser diretamente comparada com registros contemporâneos de grandes vertebrados marinhos de outros sistemas de ressurgência marinha em todo o mundo, podendo revelar tendências ou padrões evolutivos comuns na estrutura das comunidades marinhas ao longo do tempo geológico. Sendo assim, outros vertebrados marinhos, como aves oceânicas, condrictes e cetáceos, exibem um padrão semelhante com uma reestruturação em sua diversidade e distribuição durante a transição do Plioceno para o Pleistoceno, apontando para o forte potencial de fatores abióticos na evolução desses grupos [Fordyce *et al.*, 2002; Boessenecker, 2011; Villafaña & Rivadeneira, 2014]. Portanto, pesquisas que considerem

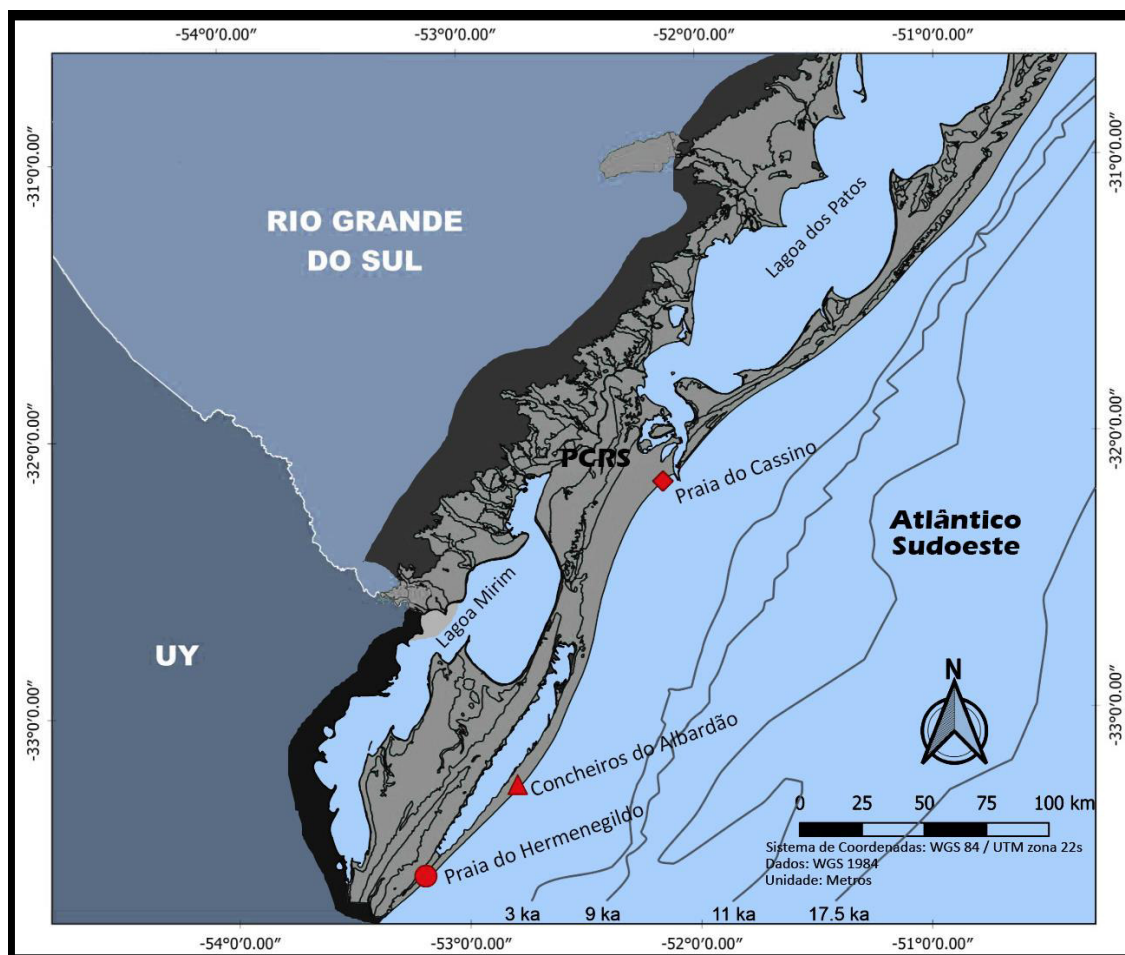
tanto a riqueza quanto a abundância das assembleias de grandes vertebrados marinhos são fundamentais para compreender melhor a paleoecologia dos mamíferos marinhos nas cadeias alimentares oceânicas [Pyenson *et al.*, 2014b; Kelley & Pyenson, 2015].

### 1.3 Área de estudo

A planície costeira do estado do Rio Grande do Sul (**PCRS**, Figura 4) é uma unidade geomorfológica com extensão de 620 km, localizada precisamente entre 29° e 35° de latitude Sul e 48° e 53°30' de longitude Oeste. É considerada uma das quatro províncias costeiras do estado que permanece acima do nível do mar. Corresponde à porção superior da Bacia de Pelotas, que possui espessura máxima de 10 km, originada através da erosão de rochas do embasamento pré-cambriano e paleozoico, que forneceram a principal fonte de sedimentos para sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira durante o Quaternário [Closs, 1970]. Estes sistemas deposicionais foram controlados por mudanças no nível do mar iniciadas por ciclos glaciais-interglaciais, e são denominados como sistema Laguna-Barreira I, II, III e IV, no qual cada um representa uma fase máxima de transgressão marinha [Villwock & Tomazelli, 1995; Tomazelli *et al.* 2000].

As oscilações de paleoníveis do mar abaixo do atual durante o Quaternário têm sido caracterizadas por rupturas de pendentes dos fundos oceânicos que foram formadas durante a estabilização dos paleoníveis marinho no desenvolver da dinâmica dos processos transgressivos. A plataforma continental do estado do Rio Grande do Sul esteve tectonicamente estável durante o Quaternário e foi submetida ao movimento de soerguimento bastante

suave em épocas mais recentes [Corrêa, 1986]. Os estudos dessa plataforma continental mostrou que várias escarpas submersas, com vertentes mais acentuadas, representam posições de estabilização de antigos níveis do mar que se apresentam contínuas sobre toda a plataforma continental e se encontram situadas a profundidades de -20/-25 m, -32/-45 m, -60/-70 m, -100/-110 m e -120/-130 m. No entanto, foi proposto que o paleonível de -120/-130 m representa o limite de regressão máxima, de idade pleistocênica tardia e corresponde ao Último Máximo Glacial (UMG) há cerca de 17.500 ka AP [Corrêa, 1986, 1990, 1996].



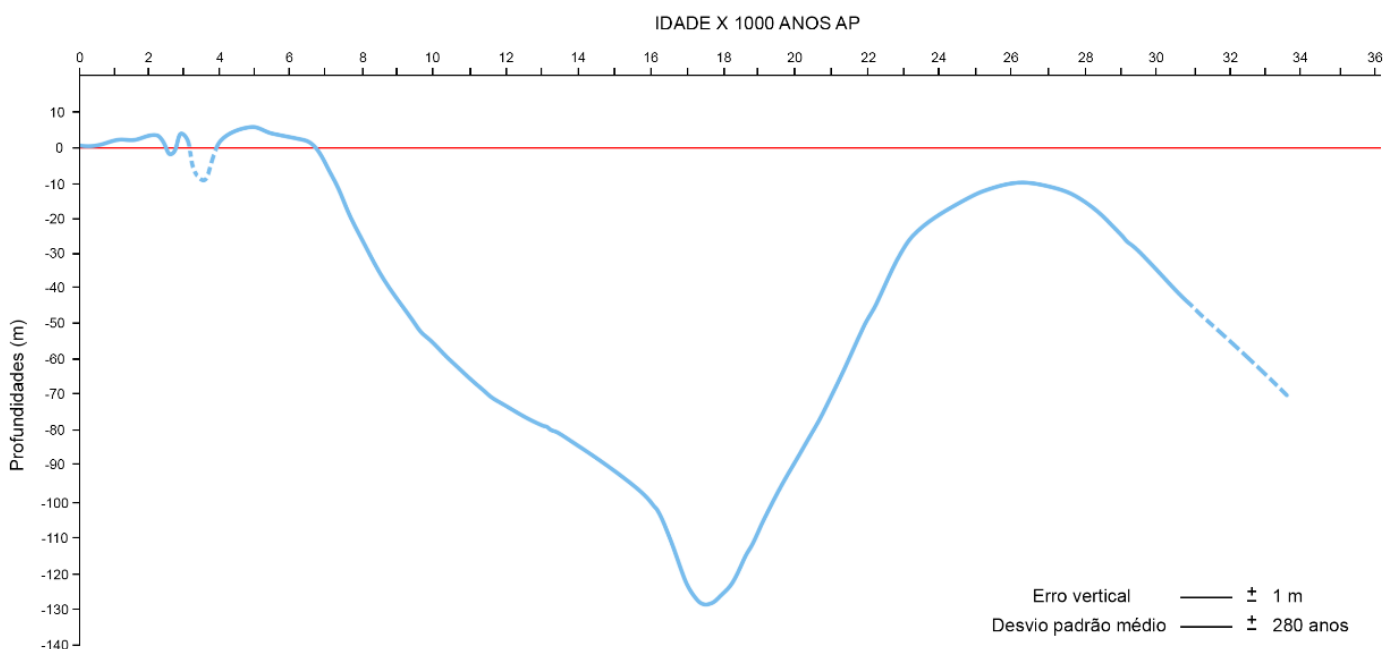
**Figura 4.** Mapa geológico simplificado da PCRS baseado em Corrêa [1996], mostrando a localização da área de estudo na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (representada pela porção em cinza claro), que compreende uma região que se estende desde a praia do Cassino,

no município do Rio Grande, até a praia Hermenegildo, no município de Santa Vitória do Palmar.

No decorrer das fases transgressivas e regressivas, desenvolveram-se e desapareceram paleoambientes, sendo sua existência preservada na forma de indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras que refletem o deslocamento horizontal da linha de costa resultante das variações verticais do nível do mar. Através de *beachrocks*, paleolinhas de costa submersas foram formadas e atualmente, são muito utilizadas como evidências de paleoníveis do mar abaixo do atual [Corrêa, 1996; Bezerra *et al.* 2008]. Estas paleolinhas possuem diferentes estágios isotópicos marinhos (EIM) que marcam ciclos glaciais-interglaciais, provenientes das oscilações do nível do mar no Quaternário, originando diferentes depósitos biodetríticos pleistocênicos que atualmente se encontram submersos e abrigam uma grande quantidade de fósseis, que eventualmente, são trazidos da plataforma continental interna à superfície pelas redes de pesca [Buchmann & Rincón-Filho, 1997]. Também são encontrados elementos na linha de praia atual, como resultado do retrabalhamento de depósitos lagunares pleistocênicos da plataforma continental adjacente, através das flutuações do nível do mar no Holoceno Médio e por processos hidrodinâmicos atuais, tais como deriva litorânea e ação de ondas [Rodrigues *et al.* 2004; Angulo & Souza, 2014].

A curva paleoclimática proposta por Servant [1984], observa que no final da regressão pleistocênica e início da transgressão holocênica, aos 17.500 ka AP, o clima se apresentava frio com uma leve variação. Já de 16.000 a 11.000 ka AP, caracterizou-se um período interglacial. Um novo período glacial ocorreu entre 11.000 e 9.000 ka AP, ocasionando uma nova subida do nível do

mar, mas neste meio tempo, houve um momento curto de clima frio, provocando uma pequena regressão, com uma nova estabilização do nível marinho. De 5.000 a 3.500 ka AP o clima varia de úmido mais quente a frio e a partir dos 3.500 ka AP começou a mudar para temperado quente, elevando a temperatura e aumentando os portes florestais, concomitantemente com os rios e as redes de drenagem se acentuando. Sendo assim, durante os períodos de clima frio, a velocidade de subida do nível do mar diminuiu ocasionando com isso a estabilização da linha de costa. Com base na curva eustática (Figura 5) também é possível reconhecer três fases de evolução paleogeográfica na plataforma continental do Rio Grande do Sul, durante a última fase transgressiva entre 17.500 e 6.500 ka AP [Corrêa, 1990, 1996].



**Figura 5.** Curva eustática do nível do mar da plataforma continental do Rio Grande do Sul, Brasil. Adaptado de Corrêa [1990].

No contexto geográfico atual, o litoral do Rio Grande do Sul não possui promontórios rochosos vulcânicos, exceto no extremo norte. As praias

dominadas por ondas variam de intermediárias a dissipativas e são controladas pela Corrente das Malvinas, que transporta as águas da plataforma subantártica para o norte, bem como pela Corrente do Brasil, que transporta as águas tropicais para o sul do Atlântico Sul central [Dillenburg *et al.* 2009; Calliari & Toldo, 2016]. As descargas do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos também são influentes, com a Lagoa dos Patos sendo estabelecida pelo Pleistoceno Superior (120.000 ka AP), como evidenciado pela Laguna-Barreira III [Tomazelli *et al.* 2014]. Porém, tanto no passado quanto no presente, a confluência das correntes oceânicas do Brasil e das Malvinas que junto às descargas de água doce de ambos os rios resultam em uma alta produtividade que se torna atrativa para a megafauna marinha [Pavanato *et al.* 2012]. Sob a influência de tal confluência está a PCRS formada por sedimentos dos períodos Neógeno e Quaternário, caracterizada por ter o mais amplo e completo registro geológico do Quaternário em território nacional [Tomazelli *et al.* 2000; Möller Jr *et al.* 2008], que possui aspectos favoráveis à preservação de fósseis, possibilitando a ocorrência de uma fauna abundante na região durante as épocas do Holoceno e Pleistoceno. Sabe-se, portanto, que tais materiais derivam de depósitos submersos formados em paleolinhas de costa durante as oscilações do nível do mar no período Quaternário.

## Capítulo II: Objetivos

O objetivo geral desta dissertação consiste em realizar inferências sobre a paleoecologia e o paleoambiente dos pinípedes que ocorreram na PCRS que estão presentes na coleção do Laboratório de Geologia e Paleontologia (LGP) da Universidade Federal do Rio Grande – (FURG) e também do Museu de Ciências Naturais da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul – (MCN/SEMA-RS). Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- a. Identificar e descrever morfologicamente os elementos fósseis para o reconhecimento da ecologia de pinípedes pleistocênicos;
- b. Analisar se os fósseis de pinípedes representam os gêneros/espécies atuais presentes na região da PCRS;
- c. Verificar possíveis mudanças de ocorrência geográfica de pinípedes;
- d. Inferir na medida do possível as condições ambientais estabelecidas no período Quaternário.

# Capítulo III: Materiais e Métodos

## 3.1 Materiais

**O**s elementos fósseis de pinípedes estudados e descritos foram coletados por pesquisadores do LGP da FURG e pesquisadores da Seção de Paleontologia do MCN/SEMA-RS. Estes elementos passaram por um processo de triagem e receberam um número de tombamento acompanhado dos acrônimos LGP/U, onde LGP indica sigla do laboratório e U referente à ordem Carnivora e MCN-PV que indica a sigla da Coleção de Paleovertebrados do Museu de Ciências Naturais do Rio Grande do Sul. Tais materiais foram coletados desde a década de 1990 até o ano de 2022, a partir de saídas de campo, especialmente nas praias do Cassino, Hermenegildo e Concheiros do Albardão localizadas nos municípios de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, respectivamente, ao longo do setor sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

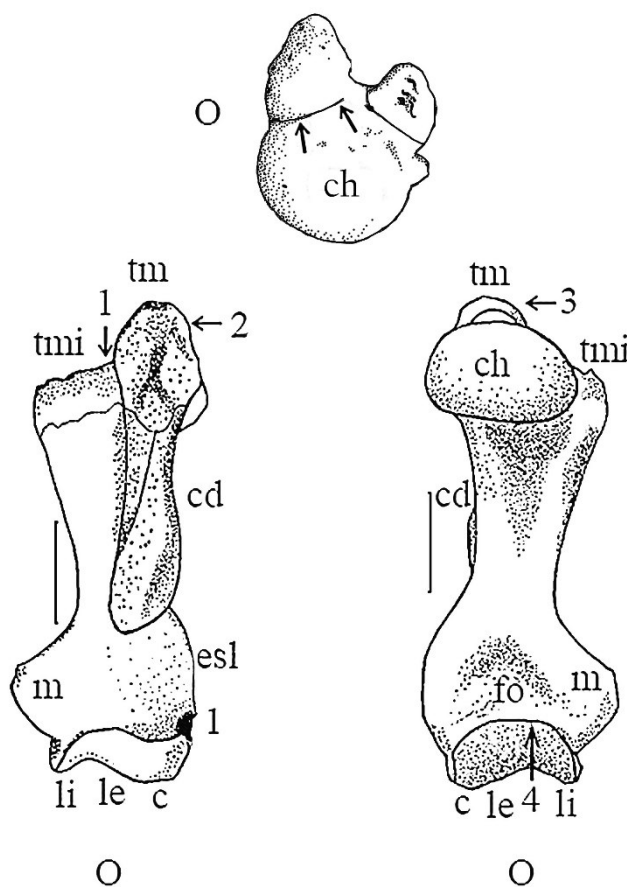
## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Identificação e descrição morfológica dos ossos fósseis

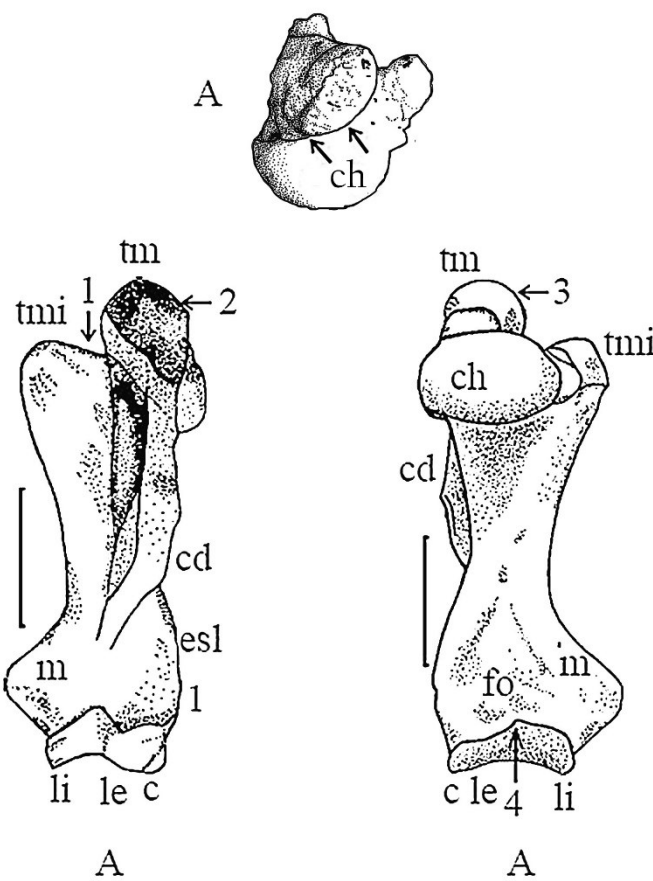
Houve a identificação de 35 elementos ósseos, incluindo úmeros, fêmures e um fragmento de crânio junto à revisão do material identificado e estudado pertencente ao Museu de Ciências Naturais da Secretaria do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (MCN/SEMA-RS). Estes foram comparados com os esqueletos e crânios de pinípedes atuais depositados no acervo do Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha (ECOMEGA)

da FURG e também do MCN/SEMA-RS, visando a determinação das espécies e o possível sexo dos espécimes fósseis.

Para a identificação taxonômica dos pinípedes, foram utilizados como referência 43 ossos de espécimes atuais que proporcionaram uma visualização tridimensional que permitiu a comparação de caracteres. Além disso, foram realizadas análises a olho nu de elementos ósseos isolados, sendo medidas com a utilização de paquímetro digital (margem de erro de 0,02mm) e comparados com espécimes existentes além da bibliografia especializada que auxiliou na descrição morfológica (Figuras 6, 7, 8, 9, 10; Tabelas 1, 2, 3) [consultar García, 2003; Sanfelice & Ferigolo, 2008; Sepúlveda *et al.* 2011; Borella *et al.* 2018 para uma descrição osteológica detalhada das espécies].



**Figura 6:** Úmero direito, face cranial e face caudal de *Otaria flavescens* (O) adaptado de García [2003]. **c:** capítulo; **cd:** crista deltopeitoral; **ch:** cabeça; **csl:** crista supracôndilo lateral; **l:** epicôndilo lateral; **m:** epicôndilo medial; **fo:** fossa do olecrano; **le:** lábio externo da tróclea; **li:** lábio interno da tróclea; **tm:** tubérculo maior; **tmi:** tubérculo menor; 1, 2, 3 e 4: descritos na Tabela 1. Escala = 5 cm.

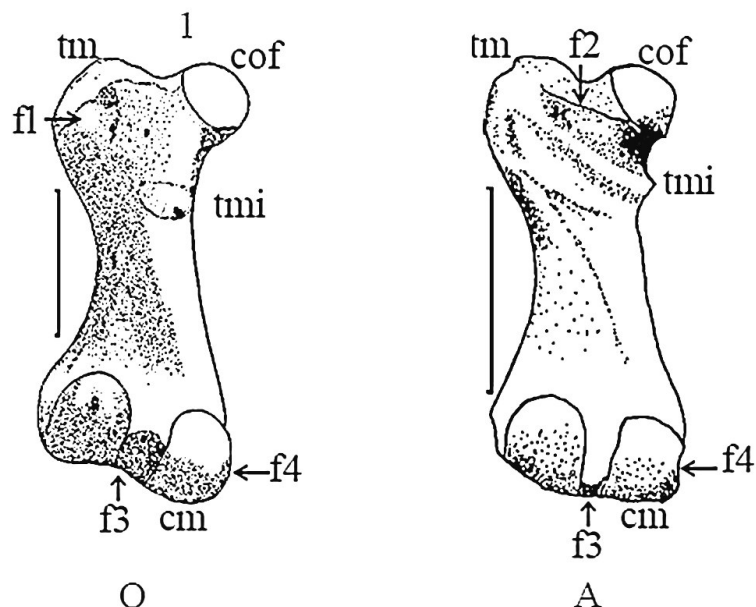


**Figura 7:** Úmero direito, face cranial e face caudal de *Arctocephalus australis* (A) adaptado de García [2003]. **c:** capítulo; **cd:** crista deltopeitoral; **ch:** cabeça; **csl:** crista supracôndilo lateral; **l:** epicôndilo lateral; **m:** epicôndilo medial; **fo:** fossa do olecrano; **le:** lábio externo da tróclea; **li:** lábio interno da tróclea; **tm:** tubérculo maior; **tmi:** tubérculo menor; 1, 2, 3 e 4: descritos na Tabela 1. Escala = 5 cm.

**Tabela 1:** Caracteres discriminantes nos úmeros que podem ser observados nos elementos depositados nos acervos do LGP-FURG, MCN/SEMA-RS e ECOMEGA-FURG.

|                          | <i>Arctocephalus</i> | <i>Otaria</i> |
|--------------------------|----------------------|---------------|
| 1) Sulco intertubercular | Sim                  | Não           |

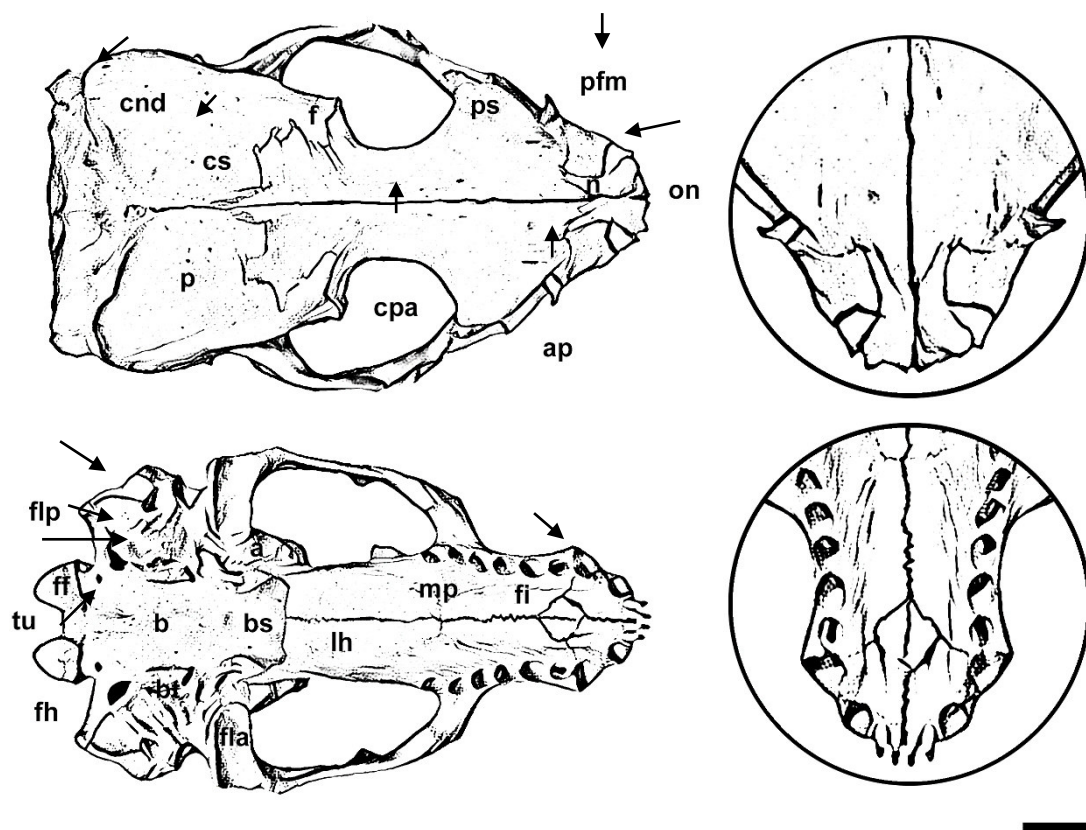
|                                                                     |                                                                            |                                     |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| fechado pela projeção do tubérculo maior                            |                                                                            |                                     |
| 2) Superfície plana e triangular na face cranial do tubérculo maior | Sim                                                                        | Não                                 |
| 3) Limite da superfície articular da cabeça                         | Em direção à base do tubérculo maior                                       | Próximo ao ápice do tubérculo menor |
| 4) Convexidade do limite da superfície articular                    | Proximal no lábio interno da tróclea<br>Distal no lábio externo da tróclea | Proximal (não diferem)              |
| 5) Morfologia triangular da fossa do olecrano                       | Isósceles                                                                  | Equilátero                          |



**Figura 8:** Os fêmures de *Otaria flavescens* (O) e *Arctocephalus australis* (A) adaptados de García [2003]. Face caudal, **f1**: caractere 1; **f2**: crista, caractere 2; **cm**: côndilo medial; **cof**: cabeça; **f**: fossa do trocânter, **f3**: caractere 3; **tm**: trocânter maior; **tmi**: trocânter menor; **f4**: depressão em *Arctocephalus australis* e arredondamento em *Otaria flavescens* na lateral do côndilo medial direito. Escala = 5 cm.

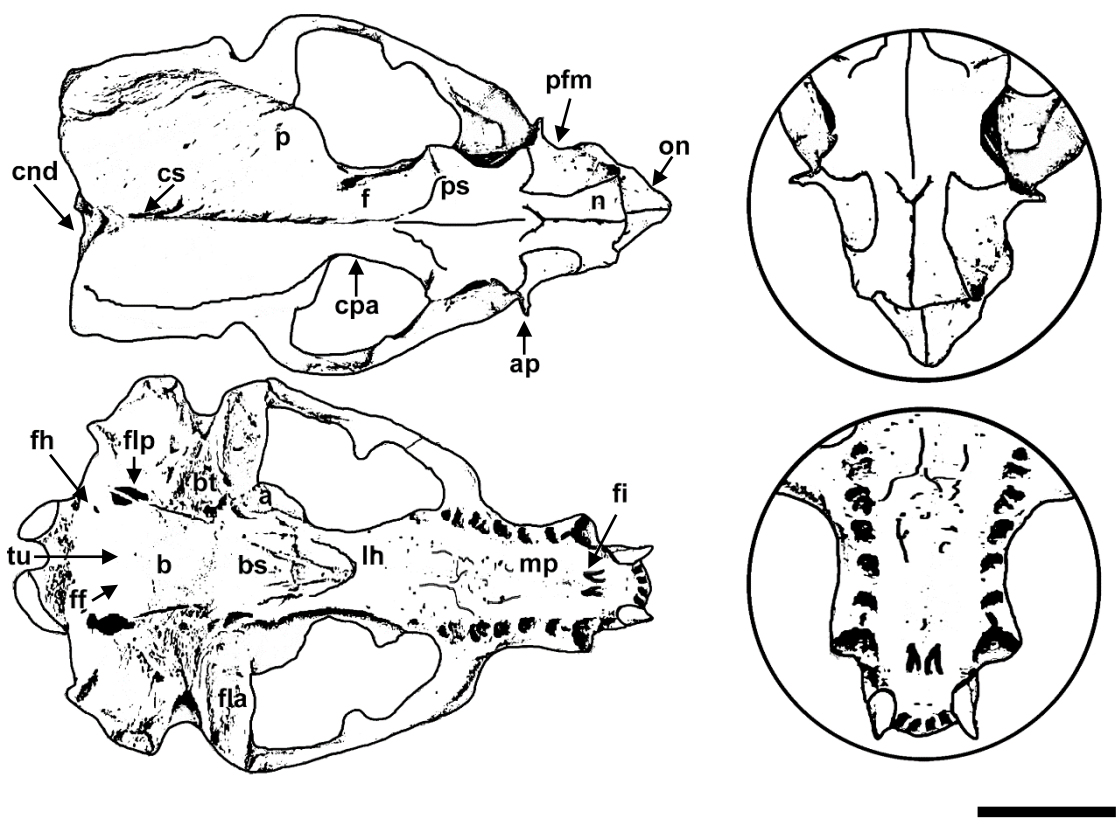
**Tabela 2:** Caracteres discriminantes nos fêmures que podem ser observados nos elementos depositados nos acervos do LGP-FURG, MCN/SEMA-RS e ECOMEGA-FURG.

|                                                           | <i>Arctocephalus</i> | <i>Otaria</i>    |
|-----------------------------------------------------------|----------------------|------------------|
| 1) Projeção caudal do trocânter maior (norma proximal)    | Menos perceptível    | Mais perceptível |
| 2) Crista entre a cabeça e trocânter maior (norma caudal) | Sim                  | Não              |
| 3) Borda distal da tróclea                                | Menos marcado        | Mais marcado     |
| 4) Depressão na norma medial do côndilo medial            | Sim                  | Não              |
| 5) Largura da fossa intercondilar                         | Menor                | Maior            |



**Figura 9:** Caracterização da visão dorsal e ventral do crânio de *Otaria flavescens* destacando a porção palatal. **ap:** apófise pré-orbital; **cnd:** crista nugal dorsal; **cpa:** constrição pós-orbital; **cs:** cristas sagitais; **f:** frontal; **n:** nasal; **on:** orifício nasal externo; **pfm:** processo frontal do maxilar; **p:** parietal; **ps:** processo supraorbital; **a:** alisfenóide; **b:** basioccipital; **bt:** bula timpânica; **bs:**

basisfenóide; **fi**: forame incisivo; **ff**: fossa faríngea; **fh**: forame hipoglosso; **flp**: forame lacerado posterior; **fla**: fossa mandibular; **lh**: lâmina horizontal do palatino; **mp**: processo palatino do maxilar; **tu**: tubérculo faríngeo. Escala = 5 cm.



**Figura 10:** Caracterização da visão dorsal e ventral do crânio de *Arctocephalus australis* destacando a porção palatal. **ap**: apófise pré-orbital; **cnd**: crista nugal dorsal; **cpa**: constrição pós-orbital; **cs**: cristas sagitais; **f**: frontal; **n**: nasal; **on**: orifício nasal externo; **pfm**: processo frontal do maxilar; **p**: parietal; **ps**: processo supraorbital; **a**: alisfenóide; **b**: basioccipital; **bt**: bula timpânica; **bs**: basisfenóide; **fi**: forame incisivo; **ff**: fossa faríngea; **fh**: forame hipoglosso; **flp**: forame lacerado posterior; **fla**: fossa mandibular; **lh**: lâmina horizontal do palatino; **mp**: processo palatino do maxilar; **tu**: tubérculo faríngeo. Escala = 5 cm.

**Tabela 3:** Descrição generalizada da diferença morfológica entre os crânios de *Otaria flavescens* e *Arctocephalus australis* que podem ser observados nos elementos depositados nos acervos do LGP-FURG, MCN/SEMA-RS e ECOMEGA-FURG.

|  |                      |               |
|--|----------------------|---------------|
|  | <i>Arctocephalus</i> | <i>Otaria</i> |
|--|----------------------|---------------|

|                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Comparação quanto aos aspectos gerais</p> | <p>O crânio de <i>Arctocephalus australis</i> é notadamente mais delicado que o de <i>O. flavescens</i>, no que se referem às principais diferenças. O rostro é mais alongado e afilado. O palato é menos côncavo, mais curto e de largura constante. A órbita é proporcionalmente maior, mais larga e menos alta. A constrição pós-orbital é mais retilínea. A vacuidade orbital possui contornos mais irregulares. O arco zigomático é mais baixo e mais uniforme nos contornos. A porção craniana propriamente dita é proporcionalmente maior. As cristas cranianas são menos desenvolvidas. O occipício é triangular em função do menor desenvolvimento das cristas sagital e nugal dorsal.</p> | <p>Comparativamente, o rostro de espécimes de <i>Otaria flavescens</i> é curto e marcadamente largo, particularmente na região dos caninos. O palato ósseo é largo e muito longo aos demais gêneros de Otariidae. Apresenta-se acentuadamente côncavo de forma látero-lateral, sobretudo nos machos. A órbita é grande, arredondada e geralmente mais alta do que larga, sendo proporcionalmente maior nas fêmeas. A vacuidade orbital é de grandes proporções. O arco zigomático é algo sinuoso e oblíquo médio-lateralmente. A porção craniana propriamente dita é aproximadamente trapezoidal, particularmente nos machos. A fossa temporal está bem definida. A crista nugal dorsal determina para o occipício uma forma quadrangular nos machos e dorsalmente mais arredondada nas fêmeas.</p> |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

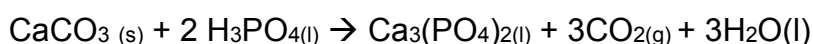
### 3.2.2 Análise de isótopos estáveis

A amostra rochosa utilizada estava aderida ao fragmento do crânio de um espécime de *Otaria flavescens* e foi analisada no espectrômetro de massa

de fonte gasosa, Delta V Advantage – Gás Bench 2 da Thermo Scientific™, nas dependências do Laboratório de Geologia Isotópica, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para o preparo da amostra e análise, uma quantidade de aproximadamente 300 µg da mesma foi adicionada e pulverizada dentro de um tubo de vidro de 12 ml, com tampa de plástico e septo de silicone.

No amostrador do equipamento a amostra e padrões analíticos utilizados para a análise da batelada, foram organizados. Os padrões utilizados foram: NBS18 ( $\delta^{13}\text{C} = -5,01 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ;  $\delta^{18}\text{O} = -23,20 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ), IAEA CO1 ( $\delta^{13}\text{C} = 2,49 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ;  $\delta^{18}\text{O} = -2,40 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ), REI 1 ( $\delta^{13}\text{C} = -7,85 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ;  $\delta^{18}\text{O} = -7,90 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ) e BSB ( $\delta^{13}\text{C} = 2,10 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ;  $\delta^{18}\text{O} = -2,00 \text{ ‰}_{\text{VPDB}}$ ).

Após, a amostra e padrões passaram pelo procedimento de *Flush*, que consiste na substituição do ar atmosférico do tubo que contém a amostra pelo gás inerte He (99,999% de pureza). Em seguida, aproximadamente três gotas de ácido fosfórico concentrado e isento de umidade, foram adicionados no tubo para reagir com a amostra de carbonato, de acordo com a seguinte equação:



O tempo de reação para a amostra foi de uma hora na temperatura de 70°C. A partir disso, o gás de CO<sub>2</sub> produzido no tubo, a partir da referida reação, foi analisado.

## Capítulo IV: Artigo Científico

**P**ara a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Oceanologia, é requerido que o discente realize a submissão de pelo menos um artigo científico como primeiro autor em periódico com corpo indexado. Desta forma, os resultados da pesquisa desenvolvida durante o período de mestrado e a discussão dos resultados serão apresentados em forma de um artigo. O manuscrito, de autoria de Crístian Yan Montana da Rocha, Silvina Botta, Amanda Goulart Rodrigues e Paula Dentzien-Dias, é intitulado **“Quaternary pinnipeds from southern Brazil: paleoecological and paleoenvironmental inferences”** e foi submetido para publicação no periódico **“Journal of South American Earth Sciences”** (Qualis-CAPES A2 na área de Geociências) e abordará as identificações, descrições anatômicas e morfológicas dos elementos de pinípedes fósseis, além de inferir o paleoambiente. A formatação está de acordo com o solicitado pela revista.

# **Quaternary pinnipeds from southern Brazil: paleoecological and paleoenvironmental inferences**

Crístian Yan Montana da Rocha<sup>a</sup>, Silvina Botta<sup>b</sup>, Amanda Goulart Rodrigues<sup>c</sup> and Paula Dentzien-Dias<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Geologia e Paleontologia, Programa de Pós-Graduação em Oceanologia, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Avenida Itália Km 8, Rio Grande, 96201-900, Rio Grande do Sul, Brazil [cristianyan@hotmail.com] [pauladentzien@gmail.com]

<sup>b</sup> Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Avenida Itália Km 8, Rio Grande, 96201-900, Rio Grande do Sul, Brazil [silbotta@gmail.com]

<sup>c</sup> Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500 Agronomia, 91501-970, Rio Grande do Sul, Brazil [rodriguesag.geo@gmail.com]

**Corresponding author:** Crístian Yan Montana da Rocha. E-mail: cristianyan@gmail.com. Phone: +5551996469103

## **Abstract**

Pinnipeds are marine mammals that began their evolutionary history during the Late Oligocene and Early Miocene, with molecular evidence starting around 22.5 million years. This group is distributed along the coasts of continental South America, with large seasonal displacements, especially towards the Brazilian coast seeking food and rest. However, factors such as ocean currents also control their arrival in the region. Currently, seven modern pinniped species are reported along the Brazilian coast. On the other hand, fossil records of this

group are rare and comprise only the family Otariidae. This article aims to identify the fossil pinnipeds from southern Brazil, their paleoecology and relate the paleoenvironment. The study area of the present investigation encompasses Quaternary deposits of the Southern Brazil Coastal Plain, where the most frequent occurrences of fossils belong to the species *Otaria flavescens* and *Arctocephalus australis*. A total of 35 bone elements were identified, mostly postcranial, predominantly humeri (31), but also three femora, and a fragment of a skull. 19 adult specimens and one juvenile of *O. flavescens* were identified. Regarding *A. australis*, six adult specimens were identified, and for the genus, nine juveniles. The beachrock adhered to the skull fragment of *O. flavescens* presented isotope composition of  $\delta^{13}\text{C}$  (-5.10‰) and  $\delta^{18}\text{O}$  (-3.46‰), which suggests the possibility of moments of exposure and intense infiltration of meteoric water during the genesis of the deposits, when carbonate cements precipitated. The results expand the occurrence of fossil pinniped species on the southernmost Brazilian coast and present of *O. flavescens* skull fragment, which is unprecedented for the Brazilian coast due to the rarity of the material. Therefore, the indication points out that there was no significant faunal change in comparison to the modern record.

Keywords: Otariidae; *Otaria flavescens*; *Arctocephalus australis*; Stable isotopes.

## 1. Introduction

During the Quaternary, glacial-interglacial cycles coincided with changes in ocean circulation, water temperature, stratification, nutrient distribution, and CO<sub>2</sub> solubility in seawater (Thatje *et al.* 2008; Denton *et al.* 2010). Such changes caused impacts on the marine biota, ranging from phytoplankton to high trophic levels (Ferrari *et al.* 2014; Martin-Garcia *et al.* 2018). A range of diversified habitats began to be used by marine mammals, occupying almost all trophic levels (Berta, 2008). Among the main existing lineages is the pinniped group (order Carnivora), which consists of a diverse set of at least seven evolutionary lineages that developed adaptations for aquatic life, forming a

monophyletic group that presents three current families: Otariidae, represented by sealions and fur seals; Odobenidae, represented by walruses; and Phocidae, represented by seals and elephant seals. The fossil record of the pinniped group dates back to the Late Oligocene and Early Miocene, initially originating in the North Pacific, later spreading to the other oceans (Rice, 2008).

These aquatic carnivores present wide geographical distribution because they can easily move across seas. The group seasonally moves to different places looking for food and rest, and factors such as ocean currents also condition their arrival to the coast (Prado *et al.* 2016). Currently, there are no reproductive colonies of pinnipeds within Brazilian territory, the closest ones are located in Uruguay. In total, seven pinniped species are recorded for the southern Brazilian coast: *Otaria flavescens* (Shaw, 1800), *Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783), *Arctocephalus tropicalis* (Gray, 1872), *Arctocephalus gazella* (Peters, 1875), *Mirounga leonina* (Linnaeus, 1758), *Hydrurga leptonyx* (Blainville, 1820), and *Lobodon carcinophaga* (Hombron and Jacquinot, 1842) (Monteiro-Filho *et al.* 2021). Prado *et al.* (2016) reported the incidence of live and dead individuals between 1976 and 2013 along the eastern coast of South America and observed that the most frequent species were *A. australis* and *O. flavescens*, followed by *A. tropicalis*.

Studies have shown that pinnipeds were different in the geological past and presented a higher richness of species in some groups, as well as different ecomorphologies, body sizes, and geographic distributions (Berta *et al.* 2018; Velez-Juarbe and Salinas-Marqu  z, 2018). Faunal comparisons suggest that the rise and fall of various subclades of the group are probably dependent on changes in oceanographic and habitat availability throughout geological time (Boessenecker, 2013; Valenzuela-Toro *et al.* 2013; Velez-Juarbe, 2017). However, pinniped fossil records along the Brazilian coast are rare, they mainly consist of the Otariidae family, and there is no information on the paleoecological and paleoenvironmental context of this group (Oliveira and Drehmer, 1997; Drehmer and Ribeiro, 1998; Rodrigues *et al.* 2004).

Fossil records, however, are essential to understand the effects of environmental changes on marine mammals over time and can provide

information on the evolution, distribution, and extinction of species (Fordyce, 2009). Therefore, the possible presence of carbonates adhered to fossils allows to analyze carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) stable isotopes in order to make paleoceanographic inferences, thus allowing to understand the marine environment of the past (Panarello *et al.* 2021). Some pinniped bone elements, such as the humerus, femur, and skull, are especially useful for these studies because they present diagnostic morphologies at genus and/or species level (Sanfelice and Ferigolo, 2008; Borella *et al.* 2018). In the present study, therefore, we described a number of fossil elements recovered from the southern Brazilian coastal plain and discussed paleoecological and paleoenvironmental implications.

## 2. Geological setting

The Rio Grande do Sul coastal plain (**RSCP**, Fig. 1), southern Brazil, is a 620-km long geomorphological unit, located precisely between 29° and 35° latitude south and 48° and 53°30' longitude west. It corresponds to the upper portion of the Pelotas Basin, southern Brazil, which reaches a maximum thickness of 10 km, and which originated from the erosion of Precambrian and Paleozoic basement rocks that provided the main source of sediments for lagoon-barrier depositional systems during the Quaternary (Closs, 1970). These depositional systems were controlled by sea-level changes driven by glacial-interglacial cycles and are called Lagoon-barrier I, II, III, and IV, where each one represents a phase of maximum marine transgression (Villwock and Tomazelli, 1995; Tomazelli *et al.* 2000).

Changes in paleo sea levels below the current one during the Quaternary have been characterized by ruptures in ocean floor slopes that were formed during the stabilization of paleo sea levels throughout the development of transgressive process dynamics. The continental shelf of the state of Rio Grande do Sul has been tectonically stable during the Quaternary and underwent a very mild uplift during more recent times (Corrêa, 1986). Studies in this portion of the continental shelf showed that several underwater cliffs, with high-degree slopes, represent the stabilization positions of ancient sea levels,

and occur continuously across the continental shelf, located at depths of -20/-25 m, -32/-45 m, -60/-70 m, -100/-110 m, and -120/-130 m. However, the paleo level at -120/-130 m was proposed to represent the limit of maximum transgression, during the late Pleistocene, and corresponds to the Last Glacial Maximum (LGM) approximately 17,500 ka BP (Corrêa, 1990, 1996).

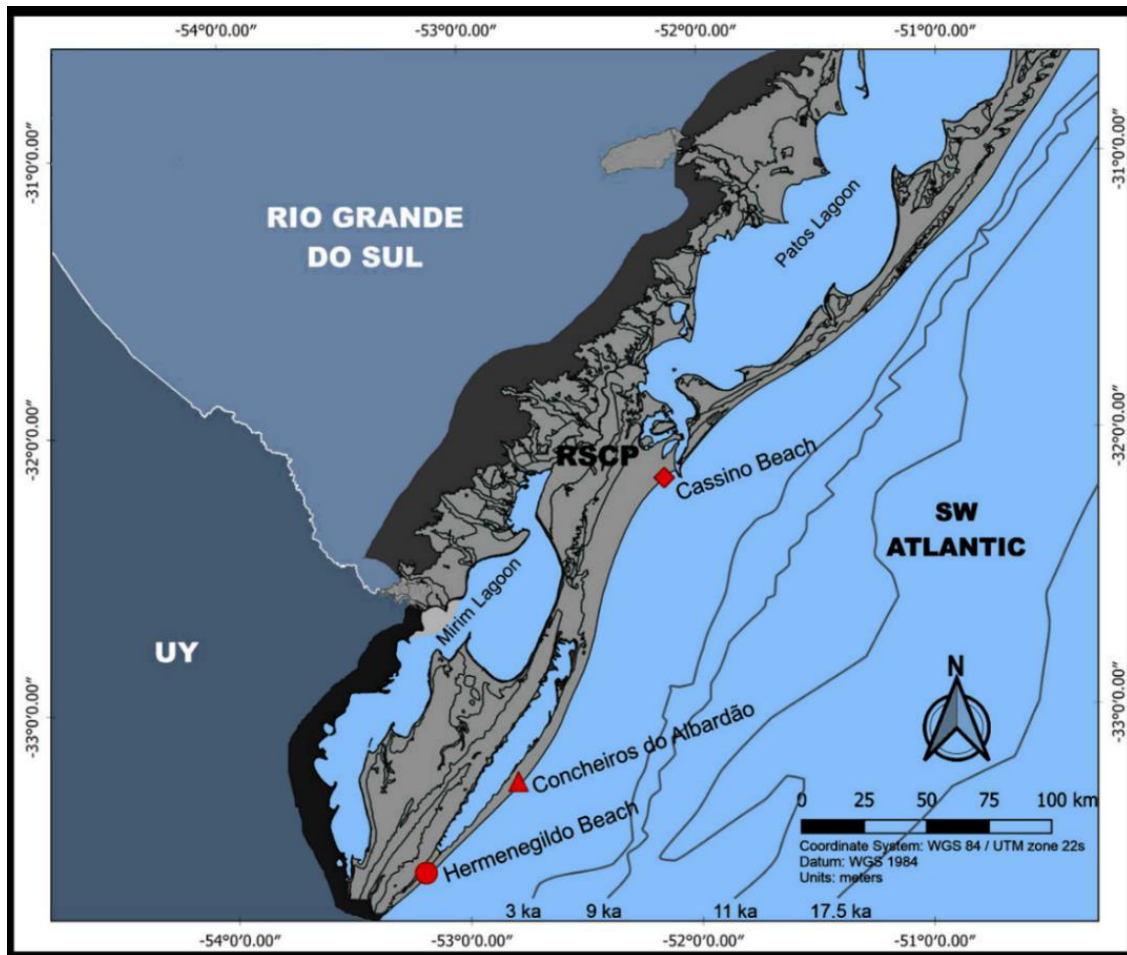


Figure 1: Simplified geological map of the Rio Grande do Sul coastal plain, based on Corrêa (1996).

The paleoclimate curve proposed by Servant (1984), shows that at the end of the Pleistocene regression and beginning of the Holocene transgression, around 17,500 ka BP, the climate was cold with a mild variation. In turn, between 16,000 and 11,000 ka BP, a characteristic interglacial period was installed. A new glacial period occurred in 11,000 and 9,000 ka BP, causing a new sea-level regression. However, in the meantime, a short cold climate

period occurred, leading to a small regression and a new sea-level stabilization. Between 5,000 and 3,500 ka BP, the climate varied from a warmer to a colder humid condition and, from 3,500 ka BP onwards it changed into warm temperate, raising the temperature and increasing forest sizes, while also experiencing increases in rivers and drainage networks. Thus, during cold climate periods, the speed of sea-level rise decreased, causing shoreline stabilization. Based on the eustatic curve it is also possible to identify three stages of paleogeographic evolution of the continental shelf adjacent to the state of Rio Grande do Sul, during the last transgressive stage between 17,500 and 6,500 ka BP (Corrêa, 1990, 1996).

Both in the past and in the present, the confluence of the Brazilian and the Malvinas ocean currents, along with freshwater discharges, result in high productivity, which makes the region attractive for marine megafauna (Pavanato *et al.* 2012). The RSCP is under the influence of this confluence and is formed by Neogene and Quaternary sediments, characterized by presenting the vastest and most complete geological record of the Quaternary in Brazilian territory (Tomazelli *et al.* 2000; Möller Jr *et al.* 2008). The region presents aspects that are favorable for fossil preservation, thus allowing for the occurrence of an abundant fauna throughout the entire Quaternary.

The pinniped fossil elements described in the present study were collected by collaborators of the Laboratory of Geology and Paleontology (LGP) of the Federal University of Rio Grande (FURG) and collaborators of the Natural Sciences Museum, Secretary of the Environment of Rio Grande do Sul (MCN/SEMA-RS) since the 1990s until 2022, especially from the Cassino, Hermenegildo, and Concheiros do Albardão beaches, located in the municipalities of Rio Grande and Santa Vitória do Palmar, along the southern sector of the Rio Grande do Sul coastal plain. Therefore, it is known that this material derives from underwater deposits formed along paleo shorelines during sea-level changes over the Quaternary Period.

### **3. Material and Methods**

A total of 35 bone elements were analyzed, including humeri, femora, and a skull fragment (palate) in conjunction with the review of the identified and studied material from the Museum of Natural Sciences of the Rio Grande do Sul State Environmental Department (MCN/SEMA-RS). They were compared with bones and skulls of current pinnipeds, deposited in the collection of the Laboratory of Marine Megafauna Ecology and Conservation (ECOMEGA) of the Federal University of Rio Grande (FURG) and of the MCN/SEMA-RS, with the objective of determining the species of fossil specimens.

### *3.1 Identification and morphological description of fossil bones*

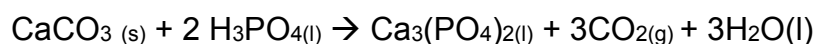
For the taxonomic identification of pinnipeds, 43 bones of current species were used as reference, providing a three-dimensional view. In addition, naked-eye analyses were conducted on isolated bone elements, which were measured using a digital caliper (error margin of 0.02 mm) and compared with existing species and the specialized bibliography (see García, 2003; Sanfelice and Ferigolo, 2008; Sepúlveda *et al.* 2011; Borella *et al.* 2018 for a detailed osteological description of species).

### *3.2 Stable isotope analysis*

The rocky sample used was adhered to the skull fragment (palate) and was analyzed using a gas source mass spectrophotometer, Delta V Advantage – Gas Bench 2 (Thermo Scientific™), at the facilities of the Laboratory of Isotope Geology of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). In order to prepare the sample and conduct the analysis, approximately 300 µg of the sample was added and pulverized in a 12-mL glass tube, with a plastic lid and a silicone gasket.

The sample and analytic standards used for the batch analysis were organized within the equipment sampler. The standards used were: NBS18 ( $\delta^{13}\text{C} = -5.01$  ‰<sub>VPDB</sub>;  $\delta^{18}\text{O} = -23.20$  ‰<sub>VPDB</sub>), IAEA CO1 ( $\delta^{13}\text{C} = 2.49$  ‰<sub>VPDB</sub>;  $\delta^{18}\text{O} = -2.40$  ‰<sub>VPDB</sub>), REI 1 ( $\delta^{13}\text{C} = -7.85$  ‰<sub>VPDB</sub>;  $\delta^{18}\text{O} = -7.90$  ‰<sub>VPDB</sub>), and BSB ( $\delta^{13}\text{C} = 2.10$  ‰<sub>VPDB</sub>;  $\delta^{18}\text{O} = -2.00$  ‰<sub>VPDB</sub>).

Next, the sample and standards were submitted to the Flush procedure, which consists of replacing the atmospheric air within the tube containing the sample by the inert gas He (99.999% of purity). This procedure was followed by the addition of approximately three drops of moisture-free concentrated phosphoric acid to the tube in order to react with the carbonate sample, according to the following equation:



The reaction time for the sample was one hour at 70 °C. After that, the CO<sub>2</sub> produced in the tube through the reaction detailed above was analyzed.

## 4. Results

A total of 15 humeri and three femurs of adult specimens of *Otaria flavescens*, and one humerus possibly of a juvenile individual were identified (Tables 1 and 2). In turn, six humeri of adult *Arctocephalus australis* were identified, as well as nine from juveniles that were only identified at the genus level (*Arctocephalus*) (Tables 3 and 4). The adult skull fragment (palate) belonged to an individual of the species *O. flavescens* (Table 2).

### 4.1 Institutional abbreviation

LGP, Laboratory of Geology and Paleontology, Federal University of Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brazil.

MCN, Natural Sciences Museum, Secretary of the Environment of Rio Grande do Sul (MCN/SEMA-RS), Porto Alegre, Brazil.

### 4.2 Systematic paleontology

Order CARNIVORA Bowdich, 1821

Suborder CANIFORMIA Kretzoi, 1945

Family OTARIIDAE Gray, 1825

Genus OTARIA Perón, 1816

*Type species*

*Otaria flavescens* (Shaw, 1800)

*Referred material*

Table 1: Data on *Otaria flavescens* humeri analyzed with all adult and juvenile individuals selected; N/A: not available.

| <b>Record code</b> | <b>Proximodistal length</b> | <b>Proximal epiphysis</b> | <b>Distal epiphysis</b> | <b>Diaphysis</b> | <b>Side</b> |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|-------------|
| LGP-U04            | 106.7 mm                    | N/A                       | 61.5 mm                 | 30.2 mm          | Left        |
| LGP-U05            | 182 mm                      | 65.4 mm                   | 68.6 mm                 | 35.8 mm          | Right       |
| LGP-U06            | 177.3 mm                    | 59.6 mm                   | 67.1 mm                 | 28.2 mm          | Right       |
| LGP-U10            | 163.8 mm                    | 60.2 mm                   | 64.0 mm                 | 31.9 mm          | Left        |
| LGP-U11            | 130.8 mm                    | N/A                       | 65.9 mm                 | 42.6 mm          | Right       |
| LGP-U12            | 173.5 mm                    | N/A                       | 88.4 mm                 | 36.9 mm          | Left        |
| LGP-U14            | 38.2 mm                     | N/A                       | 42.3 mm                 | N/A              | Right       |
| LGP-U33            | 114 mm                      | N/A                       | N/A                     | 33.8 mm          | Right       |
| LGP-U34            | 131.7 mm                    | 84.5 mm                   | N/A                     | N/A              | Left        |
| LGP-U35            | 183.2 mm                    | 64.4 mm                   | 67.4 mm                 | 37.6 mm          | Right       |
| LGP-U40            | 99.2 mm                     | N/A                       | 54.9 mm                 | 30.5 mm          | Left        |
| LGP-U45            | 198.3 mm                    | N/A                       | 94.1 mm                 | 37.6 mm          | Left        |
| LGP-U47            | 228.5 mm                    | 84.6 mm                   | 89 mm                   | 45.2 mm          | Right       |
| LGP-U78            | 44.3 mm                     | N/A                       | 48 mm                   | N/A              | Left        |
| MCN-               | 81.9 mm                     | N/A                       | 69.5 mm                 | N/A              | Right       |

PV1459

|                |        |     |       |         |      |
|----------------|--------|-----|-------|---------|------|
| MCN-<br>PV2515 | 215 mm | N/A | 38 mm | 45.9 mm | Left |
|----------------|--------|-----|-------|---------|------|

---

### *Description*

The humeri of *Otaria flavescens* (Fig. 2) present, in general, accentuated anatomic development and distal morphologies of elements are more massive than homologous bones of the *Arctocephalus australis* specimens observed. All elements presented noticeable signs of weathering, and the incomplete ones do not present, in their majority, deltopectoral crests and tubercles. Considering a medial cranial view, many did not present intertubercular grooves. Coronoid fossae were mildly concave, flattened or pronounced. The smooth convexity of the articular limit located in the distal caudal view of bone elements was apparent and determined the species of these elements. Medial epicondyles are more distal and developed than the lateral ones, most of them were mildly rounded and presented light roughness, only abrasion. The triangular morphology of olecranon fossae was equilateral in all bones. Along either the left or the right lateral portions, depending on the side of the element, was a smooth channel between the edge of the semi-spherical capitulum and the lateral epicondyle and the lateral supracondylar ridge, common characteristics of the species. Entepicondylar foramina were absent, which is a characteristic that, via bone comparison, can only be observed in current species. The trochleae borders were mostly eroded, though still apparent. The outer lip of the trochleae, when present, displayed a sharp curvature, while the inner lip, which was intensely eroded, was usually sharp-edged. The deltopectoral crest was partially absent, while tubercles, the head, epicondyles, trochlea, and fossae were totally absent. There was minimum presence of the intertubercular groove from a medial cranial view, which did not reach the coronoid fossa, even though it was absent. Because extremities were absent, and knowing that epiphyses fully fuse only during adulthood, when they reach total fusion, and due to the robustness of the bone element, the specimen was determined to belong to a juvenile individual of the species.

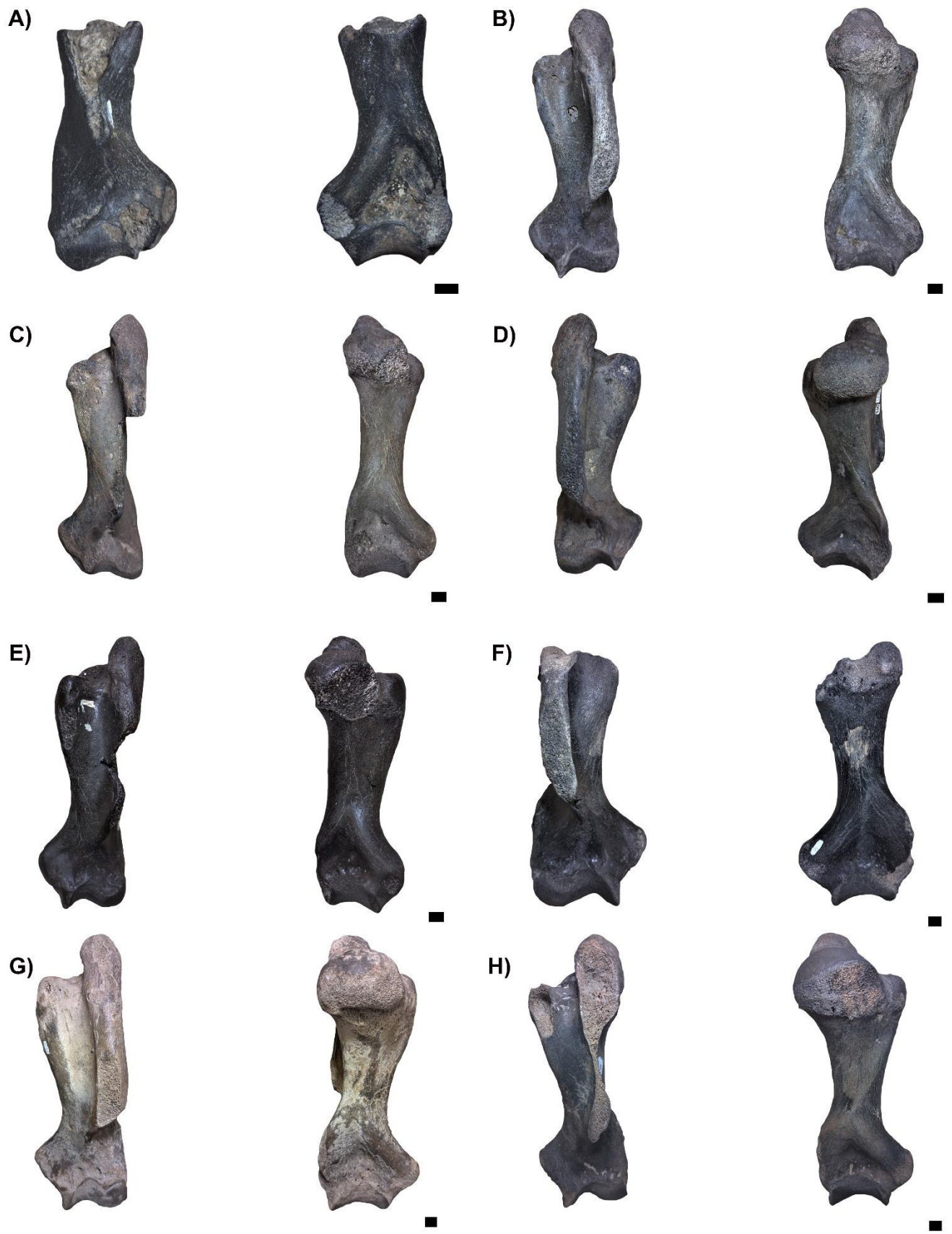


Figure 2: Selected *Otaria flavescens* fossil humeri in frontal and dorsal views: A) LGP-U04, B) LGP-U05, C) LGP-U06, D) LGP-U10, E) LGP-U35, F) LGP-U45, G) LGP-U47 and H) MCN-PV2515. Scale bar: 10 mm.

Table 2: Data on femurs and the skull fragment of *Otaria flavescens* analyzed with all adult individuals selected; N/A: not available.

| Record number | Proximodistal length | Proximal epiphysis | Distal epiphysis | Diaphysis | Side  |
|---------------|----------------------|--------------------|------------------|-----------|-------|
| LGP-U36       | 120.1 mm             | 51.4 mm            | 58.8 mm          | 29.1 mm   | Right |
| LGP-U37       | 124.1 mm             | N/A                | 41.1 mm          | 35.5 mm   | Right |
| LGP-U38       | 80.3 mm              | N/A                | N/A              | N/A       | N/A   |
| LGP-U52       | 91.1 mm              | N/A                | 47.2 mm          | 26.6 mm   | Right |

### Description

Femora of the *Otaria flavescens* specimens (Fig. 3) were developed and belonged to adult individuals. The fossils presented signs of weathering. In LGP-U36, the caudal projection of the greater trochanter and the distal border to the trochlea were diagnostic features of the element. The lesser trochanter was expressive and salient, the head was round, and no crest was observed between it and the greater trochanter. The depression on the left side of the media condyle was not as outstanding as in femurs of the species *Arctocephalus australis*. In turn, in LGP-U37, medial condyles, the greater trochanter, the lesser trochanter, and the head were missing. In the upper portion, an opening exposed the porosity within. LGP-U52 was incomplete because the greater trochanter, the lesser trochanter, and the head were absent. In the upper portion, there was also an opening exposing the porosity of the inner portion. The distal border of the trochlea is a diagnostic feature in the last couple of elements, however only in LGP-U52 one of the medial condyles was partially eroded. In the caudal view of specimens, even with extreme

erosion all along the femora length of LGP-U37, the wider intercondylar fossa could be observed, a characteristic morphology of this species.

The fossil of an incomplete skull (Fig. 4) presented the palate portion in a preserved state, with fused maxillary suture. The ventral view and partial dorsal view had expressive signs of weathering. The rostrum was short and especially wide, particularly in the region of the canine teeth compared with *Arctocephalus australis* individuals. The palatine process of the jaw was almost complete. Pre-maxillary tuberosity was poorly developed and wider. The incisive foramen could be seen under the outer nasal orifice with a small process on the border, such as in individuals of *Otaria flavescens*, both covered by rock. There were dental alveoli, practically parallel, where incise, canine, pre-molars, and molar teeth should be, with thicker interalveolar septa, which indicates maturity. The alveolar process was developed and rounded. Preorbital apophysis was absent, but there was an outline of the supraorbital process. The remaining skull structures were absent due to the extreme erosion of the element.



Figure 3: Fossil femora of adult individuals of *Otaria flavescens* in frontal and dorsal views: A) LGP-U36, B) LGP-U37 and C) LGP-U52. Scale bar: 10 mm.



Figure 4: Fossil skull fragment (palate) of an *Otaria flavescens* in frontal and dorsal views: LGP-U38. Scale bar: 10 mm.

#### *4.3 Systematic paleontology*

Order CARNIVORA Bowdich, 1821

Suborder CANIFORMIA Kretzoi, 1945

Family OTARIIDAE Gray, 1825

Genus *ARCTOCEPHALUS* Geoffroy Saint-Hytaire & Cuvier, 1826

#### *Type species*

*Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783)

#### *Referred material*

Table 3: Data on the humeri of *Arctocephalus australis* analyzed with all individuals selected; N/A: not available.

| <b>Record number</b> | <b>Proximodistal length</b> | <b>Proximal epiphysis</b> | <b>Distal epiphysis</b> | <b>Diaphysis</b> | <b>Side</b> |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|-------------|
| LGP-U07              | 163.5 mm                    | 59 mm                     | 61.7 mm                 | 30 mm            | Right       |
| LGP-U08              | 125.1 mm                    | N/A                       | 66.5 mm                 | 33.6 mm          | Right       |
| LGP-U32              | 113.3 mm                    | N/A                       | 52.3 mm                 | 29.8 mm          | Right       |
| LGP-U46              | 155 mm                      | 55.6 mm                   | 52.3 mm                 | 21.8 mm          | Left        |
| LGP-U50              | 55.2 mm                     | N/A                       | 50.8 mm                 | N/A              | Right       |
| MCN-PV3638           | 154.1 mm                    | N/A                       | 20.1 mm                 | 27.1 mm          | Left        |

### *Description*

Humeri of adult specimens of *Arctocephalus australis* (Fig. 5) were anatomically developed and presented expressive signs of weathering and many of them were partially incomplete due to erosion, in most cases affecting almost the entire deltopectoral crest and tubercles. The morphology of the deltopectoral crest of the bone elements, when present, showed an apparent curvature and porosity in the upper portion; while the morphology of medial epicondyles was narrow and square, from proximal to lateral. Intertubercular grooves, in general, were closed by the projection of the greater tubercle, and their surface was flat and triangular from a cranial view of the greater tubercle; these characteristics can be seen in the species mentioned. Even when tubercles were absent, groove channels were narrower between them. This observation allowed to estimate that grooves were closed by the projection of the greater tubercle. However, it was not possible to estimate whether surfaces were flat and triangular in the proximal cranial view of the elements. The lesser tubercle, even though partially eroded and porous, allowed to observe the limit of the articular surface of the humeri heads. The rough convexity of the limit of the articular surface located in the distal caudal view helps to determine the species of the element. The morphology of prominent medial epicondyles can be either round

or sharp and present either rugosity or porosity. Most lateral epicondyles presented scourgings and lateral supracondylar ridges, abrasions. Coronoid fossae can be either flat or concave. Semi-spheric capitula were present in all bones, but entepicondylar foramens were not. The triangular morphology of olecranon fossae, when not entirely featureless, was isosceles, which is very common for this species. The borders of the trochleae, even eroded, were noticeable in all elements. The same can be said of the curved outer lip and the pointed inner lip.

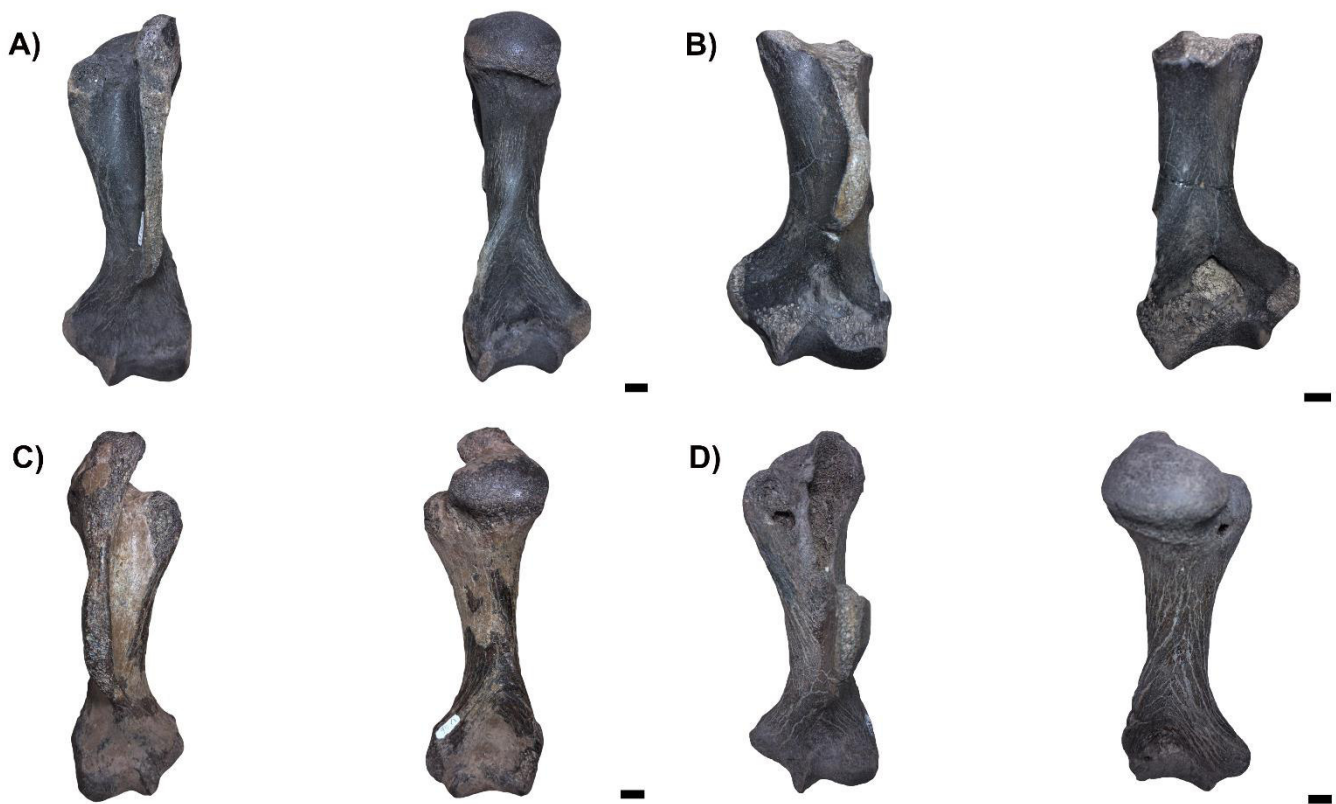


Figure 5: Fossil humeri selected from adult individuals of *Arctocephalus australis* in frontal and dorsal views: A) LGP-U07, B) LGP-U08, C) LGP-U46 and D) MCN-PV3638. Scale bar: 10 mm.

#### *Type species*

*Arctocephalus* sp. (Geoffroy Saint-Hilaire & Cuvier, 1826)

### *Referred material*

Table 4: Data on the humeri of *Arctocephalus* sp. analyzed with all juvenile individuals selected; N/A: not available.

| <b>Record number</b> | <b>Proximodistal length</b> | <b>Proximal epiphysis</b> | <b>Distal epiphysis</b> | <b>Diaphysis</b> | <b>Side</b> |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|-------------|
| LGP-U09              | 78.3 mm                     | N/A                       | N/A                     | 21.8 mm          | Right       |
| LGP-U13              | 83.7 mm                     | N/A                       | N/A                     | 22.5 mm          | Right       |
| LGP-U25              | 57.2 mm                     | N/A                       | N/A                     | 22.3 mm          | Left        |
| LGP-U26              | 43.6 mm                     | N/A                       | N/A                     | 18.7 mm          | Right       |
| LGP-U30              | 69 mm                       | N/A                       | N/A                     | 18.8 mm          | Left        |
| LGP-U42              | 40.8 mm                     | N/A                       | N/A                     | 19.9 mm          | Left        |
| LGP-U43              | 57 mm                       | N/A                       | N/A                     | 19.5 mm          | Left        |
| LGP-U76              | 78.5 mm                     | N/A                       | N/A                     | 18.8 mm          | Right       |
| LGP-U79              | 48.4 mm                     | N/A                       | N/A                     | 21.2 mm          | Right       |

### *Description*

The humeri of the juvenile specimens of *Arctocephalus* sp. (Fig. 6) presented a pre-developmental process, the elements showed accentuated weathering signs and were all incomplete, given the either partial or complete absence of the deltopectoral crest and the total absence of tubercles, head, epicondyles, trochlea, and fossae. From a medial cranial view, there is a minimal presence of an intertubercular groove, which does not reach the coronoid fossa, even though it is absent. However, many of the elements have an opening that goes along their whole outer extension. Because of the absence of extremities and considering that the epiphyses are only totally fused during adulthood and that the bone is very small, we infer that these are juvenile individuals of the genus. Some of these elements have a distinctive trait, which are striated cuts near the extremities that could characterize a different fossilization process.



Figure 6: Fossil humeri selected from juvenile *Arctocephalus* sp. Individuals in frontal and dorsal views: A) LGP-U13, B) LGP-U30, C) LGP-U26 and D) LGP-U79. Scale bar: 10 mm.

#### 4.4 Carbon and Oxygen isotope analysis

The delta values ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) are expressed in per mil (‰) and were corrected using a calibration curve constructed from analyses of the standards used in the batch. Result of the isotopic analysis of the beachrock adhered to sample LGP-U38 yielded the following values: for the Carbon isotope,  $\delta^{13}\text{C}$  (-5.10‰VPDB), and for the Oxygen isotope,  $\delta^{18}\text{O}$  (-3.46‰VPDB).

### 5. Discussion

Two species of the Otariidae family were identified, both of which are currently very frequent during the months of winter and spring in the study area. The analysis of the fossils allowed to record the greatest presence of adult

specimens of *Otaria flavescens* in the region during the Quaternary. Also, the presence of individuals of the genus *Arctocephalus*, most of which were juveniles, demonstrates that individuals of this age group may have been as common in the past as they are in current times. Thus, this finding shows the same species occupation pattern described for the present in the region (Prado *et al.* 2016). Several investigations about pinniped species and the biological aspects related to their occurrences suggest the possibility that many of these individuals reach the region quite debilitated and mostly as juveniles, recently weaned and making their first marine incursions, getting lost in the Malvinas Current (Pinedo, 1990; Oliveira *et al.* 2008b; Oliveira, 2013). In this context, when these animals reach the shore, they could be so debilitated that they are unable to feed, which can be inferred when observing the *Arctocephalus* sp. stranded specimens. This result suggests that, in the past, the specimens of this genus reached low nutritional conditions, could no longer develop, and died, which would explain the presence of more fossils from juvenile individuals.

Currently, the genera *Otaria* and *Arctocephalus* are distributed along all South American shorelines, from Ecuador to Cape Horn in Chile on the Pacific Ocean, and from southern Brazil to southern Argentina on the Atlantic Ocean (Cozzuol, 1996). However, the oldest known report of the family in South America is from the Late Pliocene to Early Pleistocene, located in one of the most important geological units of the southern hemisphere, the Pisco Formation in Peru, represented by the primitive Otariidae member, *Hydrarctos lomasiensis* (Muizon, 1978). Nevertheless, there are some reports of Otariidae from the Pleistocene in Argentina, but taxonomic attribution is dubious (Valenzuela-Toro *et al.* 2010b). However, the fossil record for Otariidae in Chile is fragmented, sparse, and the stratigraphic provenance cannot be precisely established (Valenzuela-Toro *et al.* 2010b; Sepúlveda *et al.* 2011). In turn, considering the Quaternary in Brazil, individuals of the genus *Arctocephalus* and the species *O. flavescens* are recurrent, with the oldest report of pinnipeds recorded in the southern shoreline of the country in the Chuí Formation (Valenzuela-Toro *et al.* 2013).

Data of occurrences reported together with the known fossil record of pinnipeds in South America demonstrate a different biogeographical distribution of the

Otariidae and Phocidae families during the Neogene (Fig. 7). All records of pinnipeds from the Middle Miocene to Early Pliocene in the southeastern Pacific Ocean are represented by the genera *Piscophoca* and *Acrophoca*, from the Late Miocene in the Bahía Inglesa Formation and the Pisco Formation in Peru (Valenzuela *et al.* 2009). Both formations produced several species of marine vertebrates, including at least four species of pinnipeds and several other species and morphotypes that remain to be described (Valenzuela and Pyenson, 2019), figuring among the richest marine mammal fossils in the world. In contrast to the Northern Pacific Basin, neither Otariidae nor Odobenidae were reported in this time interval in South America (Muizon, 1981; Walsh and Naish, 2002). However, the environmental changes that increase the distribution and abundance of primary productivity were, probably, determining factors in leading taxonomic and ecological diversity among pinnipeds in coastal and pelagic environments (Slater *et al.* 2017). This is due to the chronology of the diversification of Otariidae in the North Pacific Ocean during the Late Miocene and also considering the Miocene-Pliocene record of Odobenidae (Churchill *et al.* 2014; Magallanes *et al.* 2018). Valenzuela-Toro *et al.* (2013) state that the undetermined cranial and post-cranial remains of the Otariidae family and *Otaria* cf. *flavescens* from the Late Pleistocene in the Estratos de Caldera are unequivocally the oldest records of this family in Chile. Together with the Phocidae material of the lower Pliocene in the Bahía Inglesa Formation, these aggregated occurrences from Chile supply new stratigraphic data about the rotational moment of pinniped fauna in South America. Particularly, this data restricts the transition time of Phocidae to Otariidae between the Late Pliocene and Middle Pleistocene (Valenzuela-Toro *et al.* 2013).



Figure 7: Map showing the occurrences of fossil pinnipeds in South America. Adapted from Valenzuela-Toro *et al.* (2013).

Valenzuela and Pyenson (2019) report that most pinniped fossil taxa are based on the type-material that belongs to a single isolated element, such as humeri and/or femurs. Moreover, as post-cranial elements are more commonly found (31%) and building upon this premise, the isolated humeri have a greater presence among these fossil elements of the group (17%), followed at a lower

percentage by femurs (6%). However, most studies that approach the osteology of the group are related to osteological variation in sexual dimorphism, both in modern and fossil pinnipeds, and are based on skulls, such as Zamit and Norris (2013), while only a few studies, such as Churchill and Uhen (2019), tested these patterns using post-cranial elements. Yet, in agreement with this information and based on the observations from elements from the Otariidae family, we found that mostly complete and incomplete humeri and femurs can be considered as diagnostic bones to differentiate the species identified in the present study.

Regarding the isotope interpretation, the beachrock adhered to sample LGP-U38 was found to have an isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$  (-5.10‰) and  $\delta^{18}\text{O}$  (-3.46‰) that was slightly negative. This is an indication that the carbonate cements present in the sample are possibly of meteoric origin (Moore, 1989) or of marine origin and strongly recrystallized under the influence of isotopically lighter meteoric water (Barros *et al.* 2003). Another hypothesis raised by Holail and Rashed (1992) and other authors suggests that very negative  $\delta^{13}\text{C}$  values (e.g., -39.3‰) could be associated with the influence of methane release ( $\text{CH}_4$ ) near the Holocene beachrocks in the Mediterranean Sea. The study by Simione *et al.* (2018), carried out in southeastern Brazil, indicates that values of  $\delta^{13}\text{C}$  between -26.36 and -51.07‰ may be associated with the oxidation of methane and subsequent cementation. These negative values are also found in foraminifera along the Brazilian margin and indicate this methane release associated with structures known as pockmarks (Portilho-Ramos *et al.* 2018). However, it is not possible to corroborate this interpretation for the sample analyzed in the present study, because more isotopic data and local geological evidence on methane exudations would be needed.

The  $\delta^{18}\text{O}$  isotopes in carbonates usually reflect variations in temperature, as well as isotopic composition of the fluid from where the carbonate cements precipitated. The negative value of  $\delta^{18}\text{O}$  (-3.46‰) allows to corroborate that the carbonate cements of the beachrock studied were strongly influenced by meteoric water in their genesis (Moore, 1989). Thus, we can infer the possibility of moments of exposure and intense infiltration of meteoric waters during the formation of these deposits.

Moreover, the results obtained also indicate that the fossil elements present differential preservation states. The lifestyle of the group, in which individuals are dependent on land for reproduction and on water for food, exposes them to very different taphonomic processes. This is reflected in the analyzed material, as the elements undergo distinct fossilization processes, including bioerosion marks, erosion caused by sediment transport wear, and abrasion from the continuous action of waves, for instance, the hydrodynamic processes. Generally, the pinniped bones found on beaches are primarily the result of animal drift through marine currents and subsequent processes of disarticulation and redeposition (Borrero, 2004). However, the effect of taphonomic processes on the fossil record of pinnipeds is scarcely explored, although they likely share some similarities with processes affecting other marine mammals, such as cetaceans (Pyenson, 2010).

## **6. Conclusion**

The results presented increase the knowledge on the occurrence of fossil pinnipeds along the eastern coast of South America. The post-cranial elements of the specimens indicate the presence of fossils of the Otariidae family, especially of the species *Otaria flavescens*. Regarding the species *Arctocephalus australis*, a lower number of adults was found in comparison with juveniles of the genus, which could not be identified to the level of species. Thus, we highlight that the indications show there has not been a significant faunal change in comparison with modern reports, since all fossil species identified are the same that currently occur more predominantly in the southern coast of Brazil. However, the higher presence of *Arctocephalus* sp. juveniles suggests that they were as abundant on the Brazilian coast as they are in current times.

## **7. Acknowledgments**

The authors are thankful for the resources provided by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Finance Code 001) in

support of the Postgraduate Program in Oceanology, the collaborators of the Laboratory of Geology and Paleontology (LGP) and the collaborators of the Laboratory of Marine Megafauna Ecology and Conservation (ECOMEGA) of the Federal University of Rio Grande (FURG). We are also grateful to the collaborators of the Natural Sciences Museum of Rio Grande do Sul (MCN/SEMA-RS) for their willingness and welcome, especially Professor Dr. Ana Maria Ribeiro for all the knowledge shared and abundance of patience, and Dr. Allana Azevedo for sharing some of her deep knowledge of Geosciences. Currently, SB and PD-D receives a grant from the National Council for Technological and Scientific Development and Technological (CNPq-PQ 315365/2020-0; 312018/2021-5).

## **8. References**

- Angulo, R.J. and Souza, M.C., 2014. Revisão Conceitual de Indicadores Costeiros de Paleoníveis Marinhos Quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 05(2): p. 01–32.
- Barros, S.D.S., Sial, N.A., Cunha, I.S., 2003. Carbon and oxygen isotope composition of carbonate cements of beachrocks at the Lagoinha and Uruau beaches, State of Ceará, Northeastern Brazil. *Short Papers*. In: 4th South American Symposium on Isotope Geology, Salvador, BA, Brazil, vol. 1, pp. 38-40.
- Berta, A., 2008. Pinnipedia, Overview. In: Perrin, W., Wursig, B. & Thewissen, J. (Eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, p. 878–884.
- Berta, A., Churchill, M., Boessenecker, R.W., 2018. The origin and evolutionary biology of Pinnipeds: seals, sea lions, and walruses. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 46, 203–228. (Doi:10.1146/annurev-earth-082517-010009).
- Bezerra, F.H.R., Neves, B.B.B., Corrêa, A.C.B., Barreto, A.M.F., SUGUIO, K., 2008. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology (Amsterdam)*, 97:555–582.

Boessenecker, R.W., 2013. A new marine vertebrate assemblage from the Late Neogene Purisima Formation in Central California. Part II. Pinnipeds and cetaceans. *Geodiversitas* 35, 815–940. (Doi:10.5252/g2013n4a5).

Borella, F., Vales, D.G., Grandi, F., Garcia, N.A., 2018. Rasgos diagnósticos en elementos postcraneales de dos especies de otáridos para su identificación en el registro zooarqueológico. *Magallania* [online]. vol. 46, n. 2, pp. 187-203. ISSN 0718-2244. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-22442018000200187>.

Borrero, L.A., 2004. Tafonomía Regional: el caso de los pinnípedos. *Contra viento y marea. Arqueología de Patagonia* (ed. por M. Civalero, P. Fernández y A. Guráieb), pp. 445-454. INAPL, Buenos Aires.

Buchmann, F.S.C. and Rincón Filho, G., 1997. Fósseis de vertebrados marinhos do Pleistoceno Superior na porção sul da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Notas Técnicas* 10, 7–16.

Churchill M., Boessenecker R.W., Clementz M.T., 2014. Colonization of the Southern Hemisphere by fur seals and sea lions (Carnivora: Otariidae) revealed by combined evidence phylogenetic and Bayesian biogeographical analysis. *Zool. J. Linn. Soc.* 172, 200–225. (doi:10.1111/zoj.12163).

Churchill M. and Uhen M.D., 2019. Taxonomic implications of morphometric analysis of earless seal limb bones. *Acta Palaeontol. Pol.* 64, 213–230. (doi:10.4202/app.00607.2019).

Corrêa, I.C.S., 1986. Evidence of sea level fluctuation in the Rio Grande do Sul continental shelf, Brazil. In: Rabassa, J. 1986. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. A.A.Balkema/Rotterdam. 4:237–249.

Corrêa, I.C.S., 1990. Analyse morphostructurale et évolution paléogéographique de La plate-forme continentale Atlantique Sud Brésilienne (Rio Grande do Sul, Brésil). Université de Boirdeaux I. France. Thèse (Doctorat). 314p.

Corrêa, I.C.S., 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: L'exemple de La plate-forme continentale du Rio Grande do Sul, Brésil. *Marine Geology*, v. 130, p. 163–178.

Closs, D., 1970. Estratigrafia da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul. Iheringia (Série Geologia) 3, 3–76.

Cozzuol, M. A., 1996. The record of the aquatic mammals in Southern South America; pp. 321–342 in G. Arratia (ed.), Contributions from Southern South America to Vertebrate Paleontology. Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe A, Geologie und Paläontologie 30.

Denton, G.H., Anderson, R.F., Toggweiler, J.R., Edwards, R.L., Schaefer, J.M., Putnam, A.E., 2010. The Last Glacial Termination. Science 328, 1652–1656.

Drehmer, C.J. and Ribeiro, A.M., 1998. A temporal bone of an Otariidae (Mammalia, Pinnipedia) from the late Pleistocene of Rio Grande do Sul State, Brazil. Revista Universidade Guarulhos, Geociências, 3(6):39–44.

Ferrari, R., Jansen, M.F., Adkins, J.F., Burke, A., Stewart, A.L., Thompson, A.F., 2014. Antarctic sea ice control on ocean circulation in present and glacial climates. PNAS 111, 8753–8758.

Fordyce, R.E., 2009. Cetacean fossil record. In Encyclopedia of Marine Mammals 2nd Ed. Perrin, W.F., Würsig, B. and Thewissen, J.G.M., eds, Academic Press, Cambridge, 207–215.

García, M.I.P., 2003. Osteología comparada del esqueleto postcraneano de dos géneros de otariidae del Uruguay. Boletín de la Sociedad Zoológica Uruguaya, Montevideo, n. 2, v. 14, p. 1–16.

Holail, H. and Rashed, M.A., 1992. Stable isotopic composition of carbonate-cemented recent beachrock along the Mediterranean and the Red Sea coasts of Egypt. Marine Geology, 106, 141–148.

Loza C.M., Scarano A.C., Soibelzon L.H., Negrete J., Carlini A.A., 2015 Morphology of the tympanicbasicranial region in *Mirounga leonina* (Phocidae, Carnivora), postnatal ontogeny and sexual dimorphism. J. Anat. 226, 354–372. (doi:10.1111/joa.12286).

Magallanes I., Parham J.F., Santos G., Velez-Juarbe J., 2018. A new tuskless walrus from the Miocene of Orange County, California, with comments on the diversity and taxonomy of odobenids. PeerJ6, e5708. (doi:10.7717/peerj.5708).

Martin-Garcia, G.M., Sierro, F.J., Flores, J.A., Abrantes, F., 2018. Change in the North Atlantic circulation associated with the Mid-Pleistocene transition. *Climate of the Past* 14, 1639–1651.

Monteiro-Filho, E.L.A., Oliveira, L.V., Monteiro, K.D.K.A., Filla, G.F., Quito, L., Godoy, D.F., Louzada C.N., 2021. Guia ilustrado de Mamíferos Marinhos do Brasil. (Instituto de Pesquisas Cananéia – IPeC). 2ª Edição.

Möller Jr., O.O., Piola, A.R., Freitas, A.C., Campos, E.J.D., 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research* 28, 1607–1624.

Moore Jr., C.H., 1989. Carbonate Diagenesis and Porosity: Developments in Sedimentology, vol. 46. Elsevier, 301pp.

Muizon, C. de., 1978. *Arctocephalus* (*Hydrarctos*) *lomasiensis*, subgen, nov. et nov. sp. un nouvel Otariidae du Mio-Pliocène de Sacaco (Pérou). *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines* 7:169–188.

Muizon, C. de., 1981. Les vertèbres fossiles de la Formation Pisco (Pérou). Première partie: deux nouveaux Monachinae (Phocidae, Mammalia) du Pliocène de Sud-Sacaco. *Travaux de l'Institut Français d'Études Andines* 22:1–161.

Oliveira, L. R., 2013. Capítulo IX: Carnívoros Marinhos. In: Roman, C., Weber, M. de M., Cáceres, N.C. (Org.). *Mamíferos do Rio Grande do Sul*. Santa Maria: Editora UFSM, p. 407-429.

Oliveira, E.V. and Drehmer, C.J., 1997. Sobre alguns restos de Pinnipedia-Otariidae (Mammalia, Carnivora) do Quaternário do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 2(6):19–22.

Oliveira, L.R., Hoffman, J.I., Hingst-Zaher, E., Majluf, P., Muelbert, M.M.C., Morgante, J.S., Amos, W., 2008b. Morphological and genetic evidence for two evolutionarily significant units (ESUs) in the South American fur seal, *Arctocephalus australis*. *Conservation Genetics*, Switzerland, n. 9, p. 1451-1466.

Oliveira, L.R., Hingst-Zaher, E., Morgante, J.S., 2005. Size and shape sexual dimorphism in the skull of the South American fur seal, *Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783) (Carnivora: Otariidae). *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, n. 4, v.1, p. 27-40.

Panarello, H., Tessone, A., Killian Galván, V., Samec, C., Kochi, S., Pirola, M., Chaile, C., Perez, S., Sandoval, B., Zangrando, A., Ducós, E., Guida, N., Piperissa, N., 2021. 35 años de análisis de isótopos estables en la arqueología Argentina: conceptos, fundamentos, metodología y aplicaciones. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 30(1), 1–41.

Pavanato, H., Silva, K.G., Estima, S.C., Monteiro, D.S., Kinas, P.G., 2012. Occupancy dynamics of South American Sea-Lions in Brazilian Haul-outs. *Braz. J. Biol.* Vol.73, n.4, p. 855-862. ISSN 1519–6984.

Pinedo, M.C., 1990. Ocorrência de Pinípedes na Costa Brasileira. *Garcia de Orta, Série Zoologia*, Lisboa, n. 2, v. 15, p. 37- 48.

Portilho-Ramos, R.C., Cruz, A.P.S., Barbosa, C.F. et al., 2018. Methane release from the southern Brazilian margin during the last glacial. *Sci Rep* 8, 5948. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24420-0>.

Prado, J.H., Mattos, P.H., Silva, K.G., Secchi, E.R., 2016. Long-term seasonal and interannual patterns of marine mammal strandings in subtropical western South Atlantic. *PLoS One*, 11(1), e0146339.

Pyenson N.D., 2010. Carcasses on the coastline: measuring the ecological fidelity of the cetacean stranding record in the eastern North Pacific Ocean. *Paleobiology* 36, 453–480. (doi:10.1666/09018.1).

Rice, D.W., 2008. Classification (Overall). In: Perrin, William F.; Wursig, Bernd; Thewissen, J.G.M. (Org.). *Encyclopedia of Marine Mammals*, 2 ed. New York, Academic Press, 2008. p. 234–238.

Rodrigues, P.H., Prevosti, F.J., Ferigolo, J., Ribeiro, A.M., 2004. Novos materiais de Carnivora para o Pleistoceno do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v 7, n 1, p. 77–86, jun.

Sanfelice D. and Ferigolo J., 2008. Estudio comparativo entre os sínclanos de *Otaria byronia* e *Arctocephalus australis* (Pinnipedia, Otariidae). Iheringia, Sér. Zool. Vol. 98(1):5-16. DOI: 10.1590/S0073-47212008000100001.

Sepúlveda, M., Oliva, D., Urrea, A., Pérez-Álvarez, M., Moraga, R., Schrader D., Inostroza, P., Melo, A., Díaz, H., Sielfeld, W., 2011. Distribution and abundance of the South American sea lion *Otaria flavescens* (Carnivora: Otariidae) along the central coast off Chile. Revista Chilena de Historia Natural 84: 97–106.

Servant, M., 1984. Climatic variations in the low continental latitudes during the last 30.000 years. In: Mörner, N.A. and Karlen, W. (Eds.). Climatic changes on a yearly to millennial basis. Reidel: Dordrecht. p.117–120.

Simioni, B.I., Angulo, R.J., Veiga, F.A., Oliveira, L.H.S., and Souza, M.C., 2018. Genesis of submerged sandstones in Paraná State continental shelf, Southern Brazil, based on cementation patterns, ages and stable isotopes. Brazilian Journal of Oceanography, 66(3), 267–282. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592018019306603>.

Slater G.J., Goldbogen J.A., Pyenson N.D., 2017. Independent evolution of baleen whale gigantism linked to Plio- Pleistocene ocean dynamics. Proc. R. Soc. B 284, 20170546. (doi:10.1098/rspb.2017.0546)

Thatje, S., Hillenbrand, C., Mackensen, A., Larter, R., 2008. Life hung by a thread: endurance of Antarctic fauna in glacial periods. Ecology 89, 682–692.

Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., Villwock, J. A., 2000. Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. Revista Brasileira de Geociências 30 (3), 474–476.

Valenzuela, A.M., Gutstein, C.S., D. Rubilar-Rogers, D., 2009. Nuevos materiales fósiles referidos a *Acrophoca Muizon* y *Piscophoca Muizon* (Pinnipedia: Phocidae) del Neógeno de la Formación Bahía Inglesa, Chile. Ameghiniana 46(4) Suplemento Resúmenes: 53R.

Valenzuela-Toro, A.M., C.S. Gutstein, M. Suárez., 2010b. Registro fósil de Pinnipedia en Chile; p. 64 in Libro de Resúmenes II Simposio de Paleontología en Chile. Concepción, 13–15 December 2010.

Valenzuela-Toro A.M., Gutstein C.S., Varas-Malca R.M., Suarez M.E., Pyenson N.D., 2013. Pinniped turnover in the South Pacific Ocean: new evidence from the Plio-Pleistocene of the Atacama Desert, Chile. *J. Vertebr. Paleontol.* 33, 216–223. (Doi:10.1080/02724634.2012.710282).

Valenzuela-Toro A.M., Pyenson N.D., 2019. What do we know about the fossil record of pinnipeds? A historiographical investigation. *R. Soc. open sci.* 6: 191394. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.191394>.

Velez-Juarbe J. and Salinas-Marqu  ez F.M., 2018. A dwarf walrus from the Miocene of Baja California Sur, Mexico. *R. Soc. open sci.* 5, 180423. (Doi:10.1098/rsos.180423).

Villwock, J.A. and Tomazelli, L.J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas* 8, 1–45.

Walsh, S. A. and D. Naish., 2002. Fossil seals from Late Neogene deposits in South America: a new pinniped (Carnivora, Mammalia) assemblage from Chile. *Palaeontology* 45:821–842.

Zammit M. and Norris R.M., 2013. Sex determination in adults of two otariid species (*Neophoca cinerea* and *Arctophoca australis forsteri*) based on osteology of the pelvis. *Mar. Mamm. Sci.* 29, E515–E519. (doi:10.1111/mms.12011).

## Capítulo V: Síntese da Discussão e

### Conclusões

Os resultados apresentados aportam um maior conhecimento sobre a ocorrência de pinípedes fósseis na PCRS, visto que as explorações de campo e os esforços de publicação para esta região são escassos. Foram identificadas uma família e duas espécies de otarídeos, ambas muito frequentes nos meses de inverno e primavera na atualidade para a área em estudo. A análise dos fósseis permitiu constatar a maior presença de espécimes adultos de *Otaria flavescens* na região durante o Quaternário. Também a presença de indivíduos do gênero *Arctocephalus*, em sua maioria juvenis, demonstrando que, possivelmente, indivíduos desta faixa etária seriam mais comuns no cenário passado, corroborando com o mesmo padrão de ocupação de espécies descrito para o presente na região.

No Quaternário do Brasil, tanto indivíduos do gênero *Arctocephalus* e da espécie *Otaria flavescens* são recorrentes, sendo o registro mais antigo de pinípedes para a Formação Chuí da PCRS. A maioria dos táxons fósseis de pinípedes são baseados no material-tipo que pertence a um único elemento isolado, como por exemplo, úmeros e/ou fêmures, portanto, compactuando com tais informações e se baseando nas observações realizadas dos elementos utilizados da família Otariidae, constata-se que majoritariamente úmeros e fêmures completos e incompletos podem ser considerados como ossos diagnósticos para diferenciar as espécies identificadas nesta dissertação.

Em relação a interpretação isotópica, a composição de isótopos estáveis de carbono e oxigênio da amostra analisada é levemente negativa e indica que os cimentos carbonáticos presentes são possivelmente de origem meteórica ou são de origem marinha sobre a influência de águas meteóricas isotopicamente mais leves. Dessa forma, pode-se inferir a possibilidade de momentos de exposição e de intensa infiltração de águas meteóricas durante a gênese desses depósitos nos quais os cimentos carbonáticos precipitaram. No mais, os resultados apresentados também indicam que os elementos fósseis apresentam estados de preservação diferencial. O estilo de vida do grupo, dependentes da terra para reprodução e da água para alimentação, faz com que sejam expostos a processos tafonômicos muito diferentes e isso se relaciona com o material analisado, pois os elementos possuem processos diferentes de fossilização, como marcas de bioerosão, erosão provocada pelo desgaste devido ao transporte de sedimentos e abrasão provocada pelo mar, devido à ação contínua das ondas, como por exemplo, os processos hidrodinâmicos.

Em conclusão, o indicativo aponta que não houve uma mudança faunística significativa em comparação com o registro moderno, pois as espécies fósseis identificadas são as mesmas que atuam em maior predominância na PCRS na atualidade.

## Capítulo VI: Referências Bibliográficas

Amson E, Muizon C 2013. Journal of Systematic Palaeontology: A new durophagous phocid (Mammalia: Carnivora) from the late Neogene of Peru and considerations on monachine seals phylogeny, Journal of Systematic Palaeontology, DOI: 10.1080/14772019.2013.799610

Angulo RJ, Souza MC (2014) Revisão Conceitual de Indicadores Costeiros de Paleoníveis Marinhos Quaternários no Brasil. Quaternary and Environmental Geosciences. 05(2): p. 01–32

Berta A (2008) Pinnipedia, Overview. In: Perrin, W., Wursig, B. & Thewissen, J. (Eds.). Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press, p. 878–884

Berta A, Churchill M, Boessenecker RW (2018) The origin and evolutionary biology of Pinnipeds: seals, sea lions, and walruses. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 46, 203–228. (Doi:10.1146/annurev-earth-082517-010009)

Bezerra FHR, Neves BBB, Corrêa ACB, Barreto, AMF, SUGUIO K (2008) Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil. Geomorphology (Amsterdam), 97:555–582

Boessenecker RW (2011). New records of the fur seal *Callorhinus* (Carnivora: Otariidae) from the Plio-Pleistocene Rio Dell Formation of Northern California and comments on otariid dental evolution. Journal of Vertebrate Paleontology, 31, 454–467

Boessenecker RW (2013) A new marine vertebrate assemblage from the Late Neogene Purisima Formation in Central California. Part II. Pinnipeds and cetaceans. *Geodiversitas* 35, 815–940. (Doi:10.5252/g2013n4a5)

Borella F, Vales DG, Grandi F, Garcia NA (2018) Rasgos diagnósticos en elementos postcraneales de dos especies de otáridos para su identificación en el registro zooarqueológico. *Magallania* [online]. vol. 46, n. 2, pp. 187-203. ISSN 0718-2244. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-22442018000200187>

Buchmann FSC, Rincón Filho G (1997) Fósseis de vertebrados marinhos do Pleistoceno Superior na porção sul da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Notas Técnicas* 10, 7–16

Calliari LJ, Toldo EE (2016) Ocean beaches of Rio Grande do Sul. In *Brazilian Beach Systems*. SHORT, A.D. & KLEIN, A.H.F., eds, Springer, Dordrecht, 507–542

Corrêa ICS (1986) Evidence of sea level fluctuation in the Rio Grande do Sul continental shelf, Brazil. In: Rabassa, J. 1986. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. A.A.Balkema/Rotterdam. 4:237–249

Corrêa ICS (1990) Analyse morphostructurale et évolution paléogéographique de La plate-forme continentale Atlantique Sud Brésilienne (Rio Grande do Sul, Brésil). Université de Boirdeaux I. France. Thèse (Doctorat). 314p

Corrêa ICS (1996) Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: L'exemple de La plate-forme continentale du Rio Grande do Sul, Brésil. *Marine Geology*, v. 130, p. 163–178

Corrêa ICS (2021) Variações Climáticas no Quaternário / Iran Carlos Stalliviere  
Corrêa, E-Book. Porto Alegre: CECO/PGGM/IGEO/UFRGS. Edição do autor.  
[102 f.] il. ISBN: 978-65-00-21570-0

Cozzuol MA (1996). The record of the aquatic mammals in Southern South America; pp. 321–342 in G. Arratia (ed.), Contributions from Southern South America to Vertebrate Paleontology. Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe A, Geologie und Paläontologie 30

Closs D (1970) Estratigrafia da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul. Iheringia (Série Geologia) 3, 3–76

Denton GH, Anderson RF, Toggweiler JR, Edwards RL, Schaefer JM, Putnam AE, 2010. The Last Glacial Termination. Science 328, 1652–1656

Dillenburg SR, Barboza EG, Tomazelli LJ, Hesp PA, Clerot LCP, Ayup-Zouain RN (2009). The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Dillenburg, S.R. and Hesp, P.A., eds, Springer, Berlin, 53–92

Drehmer CJ, Ribeiro AM (1998) A temporal bone of an Otariidae (Mammalia, Pinnipedia) from the late Pleistocene of Rio Grande do Sul State, Brazil. Revista Universidade Guarulhos, Geociências, 3(6):39–44

Ferrari R, Jansen MF, Adkins JF, Burke A, Stewart AL, Thompson AF (2014) Antarctic sea ice control on ocean circulation in present and glacial climates. PNAS 111, 8753–8758

Fordyce RE (2009) Cetacean fossil record. In Encyclopedia of Marine Mammals 2nd Ed. Perrin, W.F., Würsig, B. and Thewissen, J.G.M., eds, Academic Press, Cambridge, 207–215

Fordyce RE, Quilty PG, Daniels J (2002). *Australodelphis mirus*, a bizarre new toothless ziphiid-like fossil dolphin (Cetacea: Delphinidae) from the Pliocene of Vestfold Hills, East Antarctica. *Antarctic Science*, 14, 37–54

García MIP (2003). Osteología comparada del esqueleto postcraneano de dos géneros de otariidae del Uruguay. *Boletín de la Sociedad Zoológica Uruguaya*, Montevideo, n. 2, v. 14, p. 1–16

Goldfinger E (2004). *Animal Anatomy for Artists: The Elements of Form*. Oxford University Press. pag. 256

Kelley NP, Pyenson ND (2015). Evolutionary innovation and ecology in marine tetrapods from the Triassic to the Anthropocene. *Science*, 348, 6232. doi:10.1126/science.aaa3716

Ludt WB, Rocha LA (2015) Shifting seas: the impacts of Pleistocene sea-level fluctuations on the evolution of tropical marine taxa. *Journal of Biogeography* 42, 25–38

Martin-Garcia GM, Sierro FJ, Flores JA, Abrantes F (2018) Change in the North Atlantic circulation associated with the Mid-Pleistocene transition. *Climate of the Past* 14, 1639–1651

Monteiro-Filho ELA, Oliveira LV, Monteiro KDKA, Filla GF, Quito L, Godoy DF, Louzada CN (2021) *Guia ilustrado de Mamíferos Marinhos do Brasil*. (Instituto de Pesquisas Cananéia – IPeC). 2ª Edição

Möller Jr OO, Piola AR, Freitas AC, Campos, EJD (2008) The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research* 28, 1607–1624

Muizon C (1978) *Arctocephalus* (*Hydrarctos*) *lomasiensis*, subgen, nov. et nov. sp. un nouvel Otariidae du Mio-Pliocène de Sacaco (Pérou). *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines* 7:169–188

Muizon C (1981) Les vertèbres fossiles de la Formation Pisco (Pérou). Première partie: deux nouveaux Monachinae (Phocidae, Mammalia) du Pliocène de Sud-Sacaco. *Travaux de l'Institut Français d'Études Andines* 22:1–161

Oliveira EV, Drehmer CJ (1997) Sobre alguns restos de Pinnipedia-Otariidae (Mammalia, Carnivora) do Quaternário do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 2(6):19–22

Otto-Bliesner BL, Hewitt CD, Marchitto TM, Brady E, Abeouchi A, Crucifix M, Murakami S, Weber SL (2007) Last Glacial Maximum ocean thermohaline circulation: PMIP2 model intercomparisons and data constraints. *Geophysical Research Letters* 34, L12706

Panarello H, Tessone A, Killian GV, Samec C, Kochi S, Pirola M, Chaile C, Perez S, Sandoval B, Zangrando A, Ducós E, Guida N, Piperissa N (2021) 35 años de análisis de isótopos estables en la arqueología Argentina: conceptos, fundamentos, metodología y aplicaciones. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 30(1), 1–41

Pavanato H, Silva KG, Estima SC, Monteiro DS, Kinas PG (2012) Occupancy dynamics of South American Sea-Lions in Brazilian Haul-outs. Braz. J. Biol. Vol.73, n.4, p. 855-862. ISSN 1519–6984

Prado JH, Mattos PH, Silva KG, Secchi ER (2016) Long-term seasonal and interannual patterns of marine mammal strandings in subtropical western South Atlantic. PLoS One, 11(1), e0146339

Pyenson ND, Gutstein CS, Parham JF, Leroux JP, Chavarria CC, Little H, Metallo A, Rossi V, Valenzuela-Toro AM, Velez-Juarbe J, Santelli CM, Rubilar-Rogers D, Cozzuol MA and Suarez ME, (2014a). Repeated mass strandings of Miocene marine mammals from Atacama Region of Chile point to sudden death at sea. Proceedings of the Royal Society B, 281, 20133316

Rice DW (2008) Classification (Overall). In: Perrin, William F.; Wursig, Bernd; Thewissen, J.G.M. (Org.). Encyclopedia of Marine Mammals, 2 ed. New York, Academic Press, 2008. p. 234–238

Rodrigues PH, Prevosti FJ, Ferigolo J, Ribeiro AM (2004) Novos materiais de Carnivora para o Pleistoceno do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia, v 7, n 1, p. 77–86, jun

Sanfelice D, Ferigolo J (2008) Estudo comparativo entre os sínclanos de *Otaria byronia* e *Arctocephalus australis* (Pinnipedia, Otariidae). Iheringia, Sér. Zool. Vol. 98(1):5-16. DOI: 10.1590/S0073-47212008000100001

Sepúlveda M, Oliva D, Urra A, Pérez-Álvarez M, Moraga R, Schrader D, Inostroza P, Melo A, Díaz H, Sielfeld W (2011) Distribution and abundance of the South American sea lion *Otaria flavescens* (Carnivora: Otariidae) along the central coast off Chile. Revista Chilena de Historia Natural 84: 97–106

Servant M (1984) Climatic variations in the low continental latitudes during the last 30.000 years. In: Möerner, N.A. and Karlen, W. (Eds.). Climatic changes on a yearly to millennial basis. Reidel: Dordrecht. p.117–120

Slater GJ, Goldbogen JA, Pyenson ND (2017) Independent evolution of baleen whale gigantism linked to Plio-Pleistocene ocean dynamics. *Proc. R. Soc. B* 284, 20170546. (doi:10.1098/rspb.2017.0546)

Suguio, K (1999) Geologia do Quaternário: mudanças ambientais (passado + presente = futuro?). São Paulo: Paulo's Editora. 366p.

Thatje S, Hillenbrand C, Mackensen A, Larter R (2008) Life hung by a thread: endurance of Antarctic fauna in glacial periods. *Ecology* 89, 682–692

Tomazelli LJ, Barboza E, Dillenburg S, Rosa M (2014) Origem e Significado Geológico da “Barra Falsa”: Uma Feição Geomorfológica Peculiar da Margem Leste da Lagoa dos Patos/RS, Brasil. *Gravel*. 12. 1-14

Tomazelli LJ, Dillenburg SR, Villwock JA (2000) Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 30 (3), 474–476

Valenzuela-Toro AM, Gutstein CS, Suárez M (2010b) Registro fóssil de Pinnipedia en Chile; p. 64 in Libro de Resúmenes II Simposio de Paleontología en Chile. Concepción, 13–15 December 2010

Valenzuela AM, Gutstein CS, Rubilar-Rogers D (2009) Nuevos materiales fósiles referidos a *Acrophoca Muizon* y *Piscophoca Muizon* (Pinnipedia: Phocidae) del Neógeno de la Formación Bahía Inglesa, Chile. *Ameghiniana* 46(4) Suplemento Resúmenes: 53R

Valenzuela-Toro AM, Gutstein CS, Varas-Malca RM, Suarez ME, Pyenson ND (2013) Pinniped turnover in the South Pacific Ocean: new evidence from the Plio-Pleistocene of the Atacama Desert, Chile. *J. Vertebr. Paleontol.* 33, 216–223. (Doi:10.1080/02724634.2012.710282)

Valenzuela-Toro AM, Pyenson ND, Gutstein CS, Suárez ME (2015). A new dwarf seal from the late Neogene of South America and the evolution of pinnipeds in the southern hemisphere. *Papers in Palaeontology*. 2. n/a-n/a. 10.1002/spp2.1033

Valenzuela-Toro AM, Pyenson ND (2019) What do we know about the fossil record of pinnipeds? A historiographical investigation. *R. Soc. open sci.* 6: 191394. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.191394>

Velez-Juarbe J (2017) *Eotaria citrica*, sp. nov., a new stem otariid from the ‘Topanga’ formation of Southern California. *PeerJ* 5, e3022. (Doi:10.7717/peerj.3022)

Velez-Juarbe J, Salinas-Marqu  ez FM (2018) A dwarf walrus from the Miocene of Baja California Sur, Mexico. *R. Soc. open sci.* 5, 180423. (Doi:10.1098/rsos.180423)

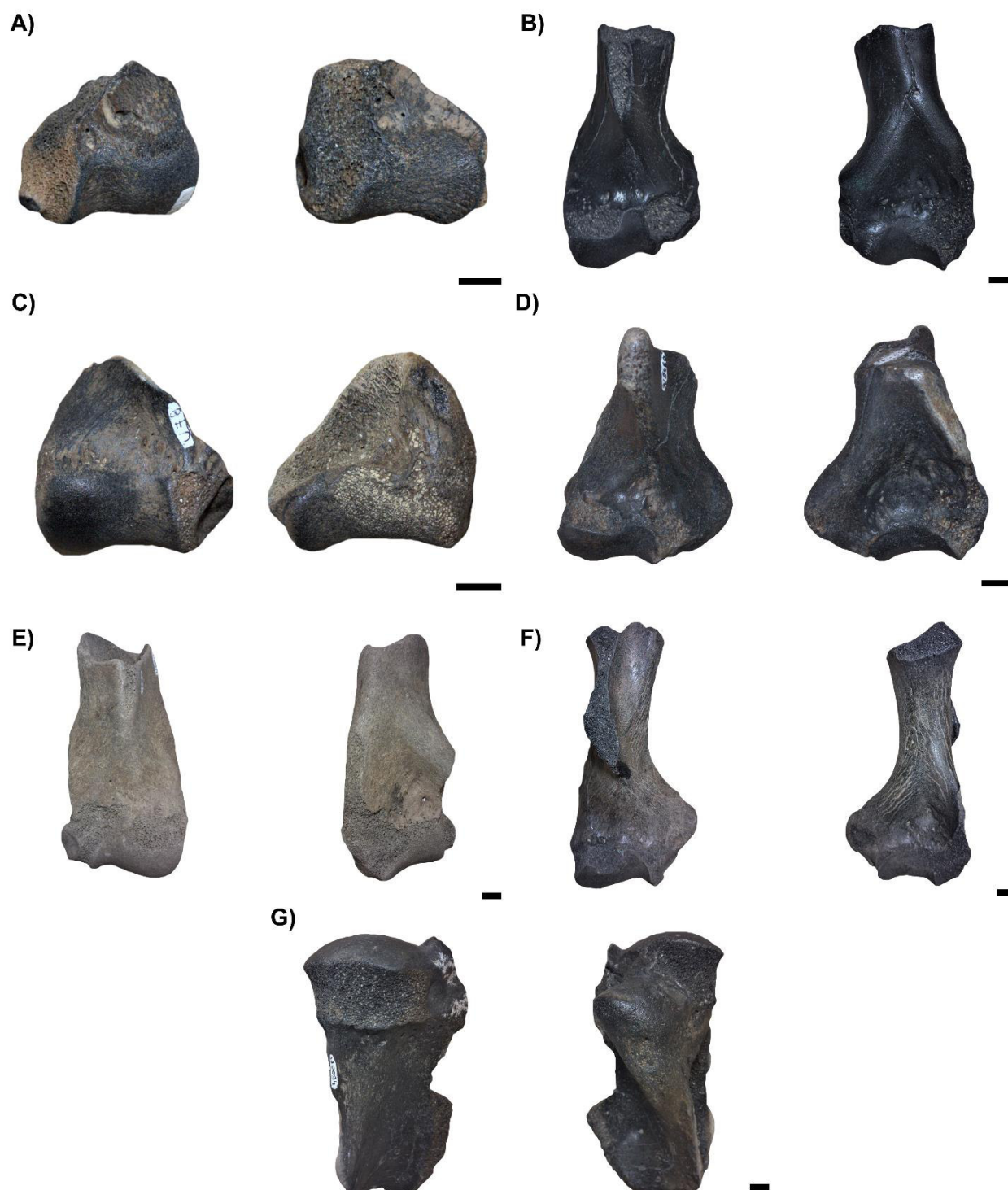
Villaf  a J, Rivadeneira MM (2014). The rise and fall of the diversity of marine vertebrates during the Neogene on the Pacific coast of South America. *Paleobiology*, 40, 659–674

Villwock JA, Tomazelli LJ (1995) Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas* 8, 1–45

Walsh SA, Naish D (2002) Fossil seals from Late Neogene deposits in South America: a new pinniped (Carnivora, Mammalia) assemblage from Chile. *Palaeontology* 45:821–842

# ANEXOS

Anexo 1. Material suplementar citado, mas não inserido no manuscrito em formato de figuras.



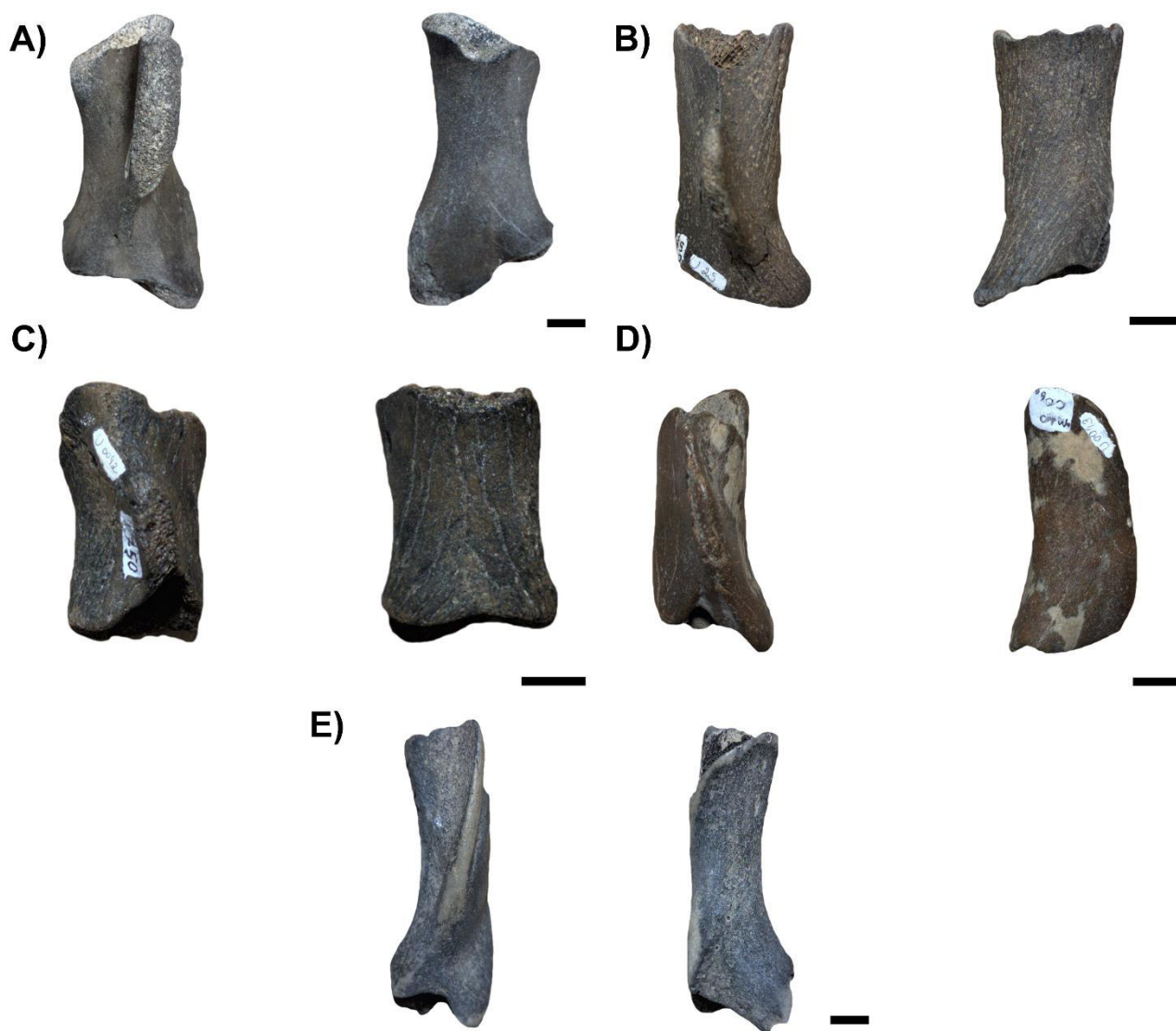
**Figura 11.** Úmeros fósseis de indivíduos adultos de *Otaria flavescens* com visão frontal e dorsal: A) LGP-U14, B) LGP-U40, C) LGP-U78, D) MCN-PV1459, E) LGP-U11, F) LGP-U12 e G) LGP-U34. Escala = 10 mm.



**Figura 12.** Úmero fóssil de um indivíduo juvenil de *Otaria flavescens* com visão frontal e dorsal: LGP-U33. Escala = 10 mm.



**Figura 13.** Úmeros fósseis de indivíduos adultos de *Arctocephalus australis* com visão frontal e dorsal; A) LGP-U32 e B) LGP-U50. Escala = 10 mm.



**Figura 14.** Úmeros fósseis de indivíduos juvenis de *Arctocephalus* sp. com visão frontal e dorsal: A) LGP-U09, B) LGP-U25, C) LGP-U42, D) LGP-U43 e E) LGP-U76. Escala = 10 mm.