

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Oceanologia

**CONSIDERAÇÕES PALEOBIOLOGICAS E
PALEOECOLOGICAS DOS TUBARÕES FÓSSEIS DA
PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL
(QUATERNÁRIO)**

SHERON GREICE MEDEIROS BOTELHO

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.* MARIA CRISTINA ODDONE
Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil.

Rio Grande, RS, Brasil

Outubro de 2022

CONSIDERAÇÕES PALEOBIOLÓGICAS E PALEOECOLÓGICAS DOS TUBARÕES FÓSSEIS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL (QUATERNÁRIO)

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

por

SHERON GREICE MEDEIROS BOTELHO

Rio Grande, RS, Brasil

Outubro de 2022

© A cópia parcial e a citação de trechos desta tese 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.

Medeiros Botelho, Sheron G.

Considerações Paleobiológicas e Paleoecológicas dos Tubarões Fósseis da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Quaternário)/ Sheron Greice Medeiros Botelho. – Rio Grande: FURG, 2022.

Número de páginas p. 124

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande. Mestrado em Oceanologia. Área de Concentração: Geologia Marinha e Costeira.

1. Chondrichthyes. 2. Paleoictiologia. 3. Taxonomia 4. Paleoambiente. I. Considerações Considerações Paleobiológicas e Paleoecológicas dos Tubarões Fósseis da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Quaternário).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
IO-INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOLOGIA



E-mail: ccpofgg@furg.br – home-page: www.ppggo.furg.br

ATA ESPECIAL DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 05/2022

Às 14h do dia 31 de outubro do ano de dois mil e vinte e dois, por Vídeo Conferência, reuniu-se a Comissão Examinadora da Dissertação de MESTRADO intitulada: "**Considerações Paleobiológicas e Paleoecológicas dos Tubarões Fósseis da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Quaternário)**", da Acad. **Sheron Greice Medeiros Botelho**. A Comissão Examinadora foi composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. Paula Dentzien Dias – (Orientadora – IO/FURG), Profa. Dra. Maria Cristina Oddone - (Co-orientadora – ICB/FURG), Profa. Dra. Salette Figueiredo (IO/FURG) e Prof. Dr. Pedro M. S. Rosa Fialho (University of Évora/Portugal). Dando início à reunião, a Presidente da sessão, Profa. Dra. Paula Dentzien Dias, agradeceu a presença de todos, e fez a apresentação da Comissão Examinadora. Logo após, esclareceu que a Candidata teria 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 a Candidata, 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 a Candidata. Foi estabelecido que as sugestões de todos os membros da Comissão Examinadora, que seguem em pareceres em anexo, foram aceitas pelo Orientador/Candidata para incorporação na versão final da Dissertação. Finalmente, a Comissão Examinadora considerou a candidata aprovada por unanimidade. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ATA, que após lida e aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora, pela Candidata e pelo Coordenador o Programa de Pós-Graduação em Oceanologia (PPGO).

Profa. Dra. Paula Dentzien Dias
Presidente

Profa. Dra. Maria Cristina Oddone

Profa. Dra. Salette Figueiredo

Prof. Dr. Pedro M. S. Rosa Fialho

Acad. Sheron Greice M. Botelho

Prof. Dr. Rodrigo Kerr
Coordenador PPGO

i am not a victim of my life
what i went through
pulled a warrior out of me
and it is my greatest honor to be her

- rupi kaur

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a CAPES pelo suporte financeiro e bolsa de mestrado que possibilitaram a execução deste trabalho e ao Programa de Pós-Graduação em Oceanologia da Universidade Federal do Rio Grande, pela oportunidade de realizar a minha pesquisa em uma instituição de ensino de grande renome e prestígio internacional na área da oceanografia.

Quero imensamente agradecer ao Laboratório de Geologia e Paleontologia (LGP) da FURG por todo acolhimento que me dão desde 2014 e por tudo que aprendi lá dentro. Principalmente a minha orientadora Dra. Paula Dentzien Dias Francischini, que mesmo em meio a uma Pandemia e com todas as dificuldades que tivemos, sempre me deu todo apoio e não soltou a minha mão durante esse desafio que foi o mestrado. Sempre digo e volto a repetir, és a melhor pessoa e orientadora que alguém poderia ter. Obrigada por me ensinar tanto sobre paleontologia e sobre a vida. Gostaria de agradecer a todos os integrantes do LGP por me acolherem e tornarem meus dias mais alegres e leves e por se aventurarem nas saídas de campo. Um agradecimento em especial a Barbara e Thiago Britto, gratidão pelas risadas leves e café de petróleo, vocês são demais! E por fim, meu especial agradecimento a preguicinha Vicente, por ter trago tanto amor e alegria contagiante para os dias de laboratório.

Agradeço minha coorientadora Dra. Maria Cristina Oddone, que me ensinou tanto sobre o mundo dos tubarões e foi essencial para meu crescimento e aprendizado. Mesmo com todas as dificuldades de orientar durante uma pandemia, esteve ali. É uma honra ter tido a oportunidade de trabalhar ao seu lado, novamente.

Agradeço aos membros da banca Dra. Salette Figueiredo e Dr. Pedro Fialho, por aceitaram participar da avaliação do presente trabalho e pelas contribuições.

Agradeço a minha mãe e ao meu irmão, sem vocês eu não teria me tornado metade da mulher que me tornei, gratidão por tanto! Muito obrigada por todo suporte que vocês me deram. Em especial a minha mãe, que nunca deixou me faltar nada e, que independente de todas as dificuldades, sempre priorizou os meus estudos. Sou eternamente grata, espero um dia conseguir compensar tudo que foi feito por mim.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos, por todas as incansáveis vezes que estiveram comigo, em que foram meu suporte e me ajudaram nos momentos mais sombrios que passei. Em especial ao Luar, Ana Cecilia e Barbara, vocês me deram forças, suporte e me iluminaram quando achei que nada mais fazia sentido. Sem dúvidas, vocês são as melhores pessoas do mundo e eu sou extremamente grata por ter vocês na minha vida.

E a todos que fizeram parte jornada comigo, meus mais sinceros agradecimentos!

Índice

Agradecimentos	VI
Índice	VII
Lista de Figuras da Dissertação.....	IX
Lista de Figuras do Artigo I	X
Lista de Figuras do Artigo II	XII
Lista de Tabelas do Artigo 2.....	XIII
Lista de Acrônimos e Abreviações	XIV
Resumo	1
Abstract.....	2
Capítulo I: Introdução.....	3
1.1. Fósseis de Tubarões	4
1.2. Área de Estudo.....	10
1.2.1. Fósseis encontrados na PCRS	16
Capítulo II: Objetivos.....	18
Capítulo III: Materiais e Métodos	20
3.1. <i>Materiais</i>	20
3.2. <i>Metodologia</i>	21
3.2.1. Identificação e descrição dos dentes fósseis	21
3.2.2. Descrição morfológica e identificação dos centros vertebrais	23
Capítulo IV: Artigo Científico 1	24
Capítulo V: Artigo Científico 2.....	68
Capítulo VI: Síntese da Discussão e Conclusões.....	91

Capítulo VII: Perspectivas Futuras.....	93
Capítulo VIII: Referências Bibliográficas.....	94
ANEXOS	108

Lista de Figuras da Dissertação

- Figura 1.** Desenho esquemático de um corte sagital de uma Cartilagem de Meckel do tubarão *Carcharias taurus* Rafinesque, 1810, ilustrando o processo ontogenético dos dentes. A) formação do novo dente; B) dente completo e funcional; C) dente da posição posterior que irá substituir o dente da posição B ao cair. Ilustração por Sheron Medeiros, modificado de [Welton & Farish, 1993]. 5
- Figura 2.** Exemplificação dos tipos de Heterodontia monognática (*Galeocerdo cuvier*), dignática (*Hexanchus griséus*), ontogenética (*Heterodontus franciscanus*) e sexual (*Dasyastis* sp.). Ilustração por Sheron Medeiros adaptada de Welton & Farish [1993]. 6
- Figura 3.** Ilustração dos oito morfotipos identificados por Applegate, sendo (a) Heterodontoide, (b) Squatinoide, (c) Pristiophoroide, (d) Squaloide, (e) Lamnoide, (f) Pristiuroide, (g) Atelomyeteroide e (h) Carcharinoide. Fora de escala [Retirado de Applegate, 1967]. 8
- Figura 4.** Mapa mostrando a localização da área de estudo na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS; representada pela 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. Os símbolos indicam os locais ao longo das praias onde se realizam as amostragens..... 11
- Figura 5.** Perfil esquemático transversal da estruturação dos sistemas deposicionais Laguna-Barreira presentes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Modificado de Tomazelli & Villwock, 2000). 13
- Figura 6.** Fotografias da região dos Concheiros do Albardão, mostrando a acumulação biodetrítica na (A) zona de swash, (B) na região do estirâncio, (C) próximo as dunas frontais e (D) acumulação de cascalho biodetríticos com um dente de tubarão. 15
- Figura 7.** Fotografias de Concheiros do Albardão (A), mostrando a região de amostragem e amostragem manual de materiais fósseis; (B) um dente fossilizado de *Carcharhinus* sp. (indicado pela seta) em meio a cascalho biodetrítico..... 21
- Figura 8.** Orientação e terminologia esquemática de um dente de tubarão hipotético, incluindo as características mais comuns encontradas (adaptado de Welton e Farish, 1993 e Shimada, 2002). (B) Ilustração esquemática de um dente de *Carcharias taurus*, indicando as medidas tomadas. Fora de escala. 22

Lista de Figuras do Artigo I

Figure 1. Map showing the location of the study area in the Rio Grande do Sul Coastal Plain (RSCP; represented by light green color), which comprehends a region that extends from the Cassino beach, in the municipality of Rio Grande, until the Hermenegildo beach, in the municipality of Santa Vitória do Palmar. The symbols indicate the sites along the beaches where samplings take place. The lines in the continental shelf region indicate the submerged paleolines.....**29**

Figure 2. Photographs from Concheiros do Albardão (A), showing the sampling region and manual sampling of fossil materials; (B) a fossilized tooth of *Carcharhinus leucas* (indicated by the arrow) amidst biotrital gravel.....**32**

Figure 3. Orientation and schematic terminology of a hypothetical shark tooth, including the most common characteristics found (adapted from Welton and Farish, 1993 and Shimada, 2002). (B) Schematic illustration of a *Carcharias taurus* tooth, indicating the measurements taken. Out of scale.....**33**

Figure 4. Schematic of the current distribution of the identified species. With the exception of the genus *Carcharhinus* sp. due to the wide variety of species that compose the genus. The color scale of the organisms represents the abundance in the fossil record. Out of scale.....**35**

Figure 5. Selected shark teeth from the Rio Grande do Sul Coastal Plain (Quaternary) in lingual view: (A) *Carcharhinus brachyurus* lower teeth (LGP/C119, LGP/C238, and LGP/C473); (B₁) *Carcharhinus leucas* upper teeth (LGP/C017, LGP/C220, and LGP/C306); (B₂) *Carcharhinus leucas* lower teeth (LGP/C030, LGP/C057, LGP/C083, and LGP/C246); (C) *Carcharhinus longimanus* upper teeth (LGP/C409 and LGP/C477); (D) *Carcharhinus* sp. (LGP/C217, LGP/C262, LGP/C408, LGP/C52, LGP/C559); (E) *Galeocerdo cuvier* (LGP/C009, LGP/C010, LGP/C73, LGP/C124, and LGP/C188); (F) *Rhizoprionodon* sp. (LGP/C136); (G) *Sphyrna* sp. (LGP/C207, LGP/C229 e LGP/C402); (H) *Galeorhinus galeus* (LGP/C135, LGP/C235 e LGP/C554); (I) *Isurus oxyrinchus* (LGP/C004 and LGP/C459); (J) *Carcharias taurus* (LGP/C125, LGP/C241, LGP/C250, LGP/C367, and LGP/C379); (K) *Carcharodon carcharias* (LGP/012, LGP/C032, LGP/C060, LGP/C064, and LGP/C079); (L₁) *Notorynchus cepedianus* upper teeth (LGP/C121, LGP/C122, LGP/C242 e LGP/C330); (L₂) *Notorynchus cepedianus* lower teeth (LGP/C529); (m) *Squatina* sp. (LGP/C204). Scale: 1 cm.....**37**

Figure 6. Selected shark teeth from the Rio Grande do Sul Coastal Plain (Quaternary) in labial view : (A) *Carcharhinus brachyurus* lower teeth (LGP/C119, LGP/C238, and LGP/C473); (B₁) *Carcharhinus leucas* upper teeth (LGP/C017, LGP/C220, and LGP/C306); (B₂) *Carcharhinus leucas* lower teeth (LGP/C030, LGP/C057, LGP/C083, and LGP/C246); (C) *Carcharhinus longimanus* upper teeth (LGP/C409 and LGP/C477); (D) *Carcharhinus* sp. (LGP/C217, LGP/C262, LGP/C408, LGP/C52, LGP/C559); (E) *Galeocerdo cuvier* (LGP/C009, LGP/C010, LGP/C73, LGP/C124, and LGP/C188); (F) *Rhizoprionodon* sp. (LGP/C136); (G) *Sphyrna* sp. (LGP/C207, LGP/C229 e LGP/C402); (H) *Galeorhinus galeus* (LGP/C135, LGP/C235 e LGP/C554); (I)

Isurus oxyrinchus (LGP/C004 and LGP/C459); (J) *Carcharias taurus* (LGP/C125, LGP/C241, LGP/C250, LGP/C367, and LGP/C379); (K) *Carcharodon carcharias* (LGP/012, LGP/C032, LGP/C060, LGP/C064, and LGP/C079); (L₁) *Notorynchus cepedianus* upper teeth (LGP/C121, LGP/C122, LGP/C242 e LGP/C330); (L₂) *Notorynchus cepedianus* lower teeth (LGP/C529); (m) *Squatina* sp. (LGP/C204).
 Scale: 1 cm.....**48**

Figure 7. Graphic representation of the distribution of the studied material. (A) Amount of fossil shark teeth per Order; (B) absolute frequency of taxa identified according to the amount of fossil teeth.....**50**

Lista de Figuras do Artigo II

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS, representada pela cor cinza claro). A região de estudo compreende uma região que se estende desde a praia do Cassino (Rio Grande - RS), até a praia Hermenegildo (Santa Vitória do Palmar - RS). Os símbolos indicam os locais ao longo da PCRS onde se realizam as amostragens. As linhas em cinza na região da plataforma continental indicam as paleolinhas submersas.....74

Figura 2. Orientação e terminologia esquemática de um hipotético centro vertebral de tubarão incluindo as características mais comuns encontradas (adaptado de Applegate (1967), Welton e Farish (1993) e Cailliet *et al.* (2006)). (A) vista lateral de uma coluna vertebral de tubarão mostrando uma série centros vertebrais e cartilagens de arco neural e hemal associadas; (B) Vista transversal de uma anterior vértebra caudal hipotético de um tubarão ilustrando a terminologia vertebral; (C) Centro vertebral de tubarão em posição ântero-posterior em visão ventral; (D) Corte em vista sagital de um centro vertebral e suas estruturas.....76

Figura 3. Ilustração da espécie *Isurus oxyrinchus* indicando onde as vértebras estariam em relação a localização corporal, de acordo com o distanciamento dos foromens do arco hemal.....77

Figura 4. Dois centros vertebrais, (A) Lamnoide LGP/C415 e (B) Carcharhinoide LGP/C358, em visão anterior ou posterior (A1 - B1), lateral esquerdo (A2-B2), visão dorsal (A3-B3), e visão ventral (A4-B4).....79

Figura 5. Raio-x dos centros vertebrais Lamnoide e Carcharhinoide. **A-B-C**, centros vertebrais Lamnoide da região do tronco (LGP/C338, LGP/C415 e LGP/C351); **D-E-F**, centros vertebrais do morfotipo Carcharhinoide identificados para a região caudal, (LGP/C434, LGP/C358 e LGP/C342); **G-H-I**, centros vertebrais que não foram possíveis identificar a localização corporal ou ver estruturas internas devido ao preenchimento com rocha e a fragmentação (LGP/C344, LGP/C359 e LGP/C356). A seta em branco indica os foromens de inserção do arco neural (basidorsal) e a seta em amarelo indica os foromens de inserção do arco hemal (basiventral).....81

Lista de Tabelas do Artigo 2

Tabela 1. Tabela de medições dos centros vertebrais, em relação ao morfotipo identificado e sua localização corporal. Medidas em mm..... **80**

Lista de Acrônimos e Abreviações

L

LGP – Laboratório de Geologia e Paleontologia

LMG – *Last Maximum Glacial*

M

MSL – *Main Sea Level*

N

NMM – Nível médio do mar

P

PCRS – Planície Costeira do Rio Grande do Sul

R

RSCP – *Rio Grande do Sul Coastal Plain*

U

UMG – Último Máximo Glacial

Resumo

Devido à baixa mineralização e fossilização dos elementos esqueléticos cartilaginosos, o registro fóssil de tubarões (Neoselachii) é dado principalmente por dentes fossilizados e outras partes duras. Fóssis de tubarões podem ocorrer *ex situ* em diversas praias do mundo e, geralmente, associado a cascalhos biodetríticos, incluindo a costa do estado do Rio Grande do Sul (Brasil). O presente estudo consistiu em um levantamento faunístico e paleobiológico de tubarões do Quaternário na região sul da planície costeira do Rio Grande do Sul. Baseado na identificação e descrição taxonômica de 3.611 dentes de tubarão e 26 centros vertebrais fossilizados coletados nas praias do Cassino e Hermenegildo, foram identificados um total de 13 taxa. Entre eles *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus* sp., *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias*, *Galeocerdo cuvier*, *Isurus oxyrinchus*, *Notorynchus cepedianus* e *Sphyrna* sp. previamente conhecidos. E novas espécies e gêneros como *Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus longimanus*, *Galeorhinus galeus*, *Rhizoprionodon* sp. e *Squatina* sp., sendo o primeiro registro fóssil destas taxa na região. Além disso, foram identificados a presença dos morfotipos Lamnoide e Carcharinoide nos centros vertebrais fóssis, e esses morfotipos ocorreriam nas espécies e Ordens identificadas nos dentes fóssis. O estudo mostrou que os táxons fóssis identificados são similares aos atualmente encontrados ao longo da costa do Rio Grande do Sul. Entretanto, a presença das espécies raras como *Carcharhinus leucas*, *Carcharodon carcharias* e *Galeocerdo cuvier*, seriam uma evidência das oscilações climáticas que ocorreram durante o Quaternário. O presente estudo ampliou a ocorrência de espécies fóssis na costa do estado do Rio Grande do Sul e confirmou a ocorrência de populações de *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias*, *Carcharhinus* sp. e *Carcharhinus leucas* durante o Quaternário.

Palavras-chaves: Chondrichthyes, Paleoiictiologia, Taxonomia, Paleoambiente.

Abstract

Due to the low mineralization and fossilization of cartilaginous skeletal elements, the fossil record of sharks (Neoselachii) is mainly given by fossilized teeth and other hard parts. Shark fossils can occur *ex situ* on several beaches around the world and are usually associated with biodetrital gravels, including the coast of the state of Rio Grande do Sul (Brazil). The present study consisted of a faunal and paleobiological survey of Quaternary sharks in the southern region of the coastal plain of Rio Grande do Sul. Based on the identification and taxonomic description of 3,611 shark teeth and 26 fossilized vertebral centers collected on the Cassino and Hermenegildo beaches, a total of 13 taxa were identified. Among them *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus* sp., *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias*, *Galeocerdo cuvier*, *Isurus oxyrinchus*, *Notorynchus cepedianus* and *Sphyrna* sp. which were previously known. And new species and genera such as *Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus longimanus*, *Galeorhinus galeus*, *Rhizoprionodon* sp. and *Squatina* sp., being the first fossil record of these taxa in the region. In addition, the presence of Lamnoid and Carcharhinoid morphotypes were identified in the fossil vertebral centers, and these morphotypes would occur in the species and Orders identified in the fossil teeth. The study showed that the identified fossil taxa are similar to those currently found along the coast of Rio Grande do Sul. However, the presence of rare species such as *Carcharhinus leucas*, *Carcharodon carcharias* and *Galeocerdo cuvier*, would be evidence of the climatic oscillations that occurred during the Quaternary. The present study expanded the occurrence of fossil species on the coast of the state of Rio Grande do Sul and confirmed the occurrence of populations of *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias* and *Carcharhinus leucas* during the Quaternary.

Keywords: Chondrichthyes, Paleoichthyology; Taxonomy, Palaeoenvironment.

Capítulo I: Introdução

Chondrichthyes (do grego *chóndros* = “cartilagem” e *ichthýs* = “peixe”) é uma Classe de peixes de endosqueleto cartilaginoso, que inclui os tubarões e as raias (Subclasse Elasmobranchii) e as quimeras (Subclasse Holocephalii) [Kardong, 2016]. Considerado um dos táxons mais antigos de vertebrados do planeta Terra, sobreviveu por mais de 400 milhões de anos, superando quatro eventos de extinção em massa [Camhi *et al.* 1998; Musick 1999]. Atualmente o grupo possui aproximadamente 1.188 espécies descritas ao redor do mundo [Weigmann, 2016]. Além do esqueleto cartilaginoso, os elasmobrânquios possuem um aparelho mandibular diferenciado com grandes mandíbulas superiores (palatoquadrado) e inferiores (cartilagem de Meckel), 5-7 pares de fendas branquiais laterais (em tubarões) ou ventrais (em raias) e o arco branquial sendo o responsável pela sustentação do arco mandibular [Kardong, 2016].

A Classe Chondrichthyes (condrictes) teria surgido no período Siluriano [Smith & Sansom, 1997; Benton, 2008]. Entretanto, os primeiros Elasmobranchii (elasmobrânquios) surgiram no final do Paleozoico, há 245 milhões de anos atrás, e morfologicamente eram bastante diferentes dos tubarões modernos e, inclusive, habitavam ambientes de água doce [Benton, 2008; Sallan & Coates 2014]. Os elasmobrânquios sofreram duas grandes irradiações: a primeira tendo início no Devoniano até o Triássico; e a segunda a partir do Jurássico até o Cretáceo [Underwood, 2006]. Na segunda irradiação se deu o surgimento dos Neoselachii, grupo de tubarões com gêneros ainda viventes. Conforme a sistemática proposta por Compagno [2005], os Neoselachii são categorizados em três Superordens: (i) Galeomorphii; (ii) Squalomorphii; e (iii) Batoidea, representado pelas raias.

Os registros fósseis dos condrictes são considerados deficientes, resultado da natureza cartilaginosa do corpo desses organismos. Além de que, em sua grande maioria, esses fósseis são encontrados de forma fragmentada ou em partes esqueléticas isoladas, dificultando esclarecimento das relações taxonômicas entre esses grupos fósseis e os modernos [Laurini, 2010]. Devido a essa escassez de fósseis, os registros paleontológicos mais comuns são denominados ictiodurólitos (“partes duras”) sendo eles dentes, centros vertebrais, espinhos, escamas e até mesmo cartilagens rostrais [Applegate, 1967; Stehmann, 1988; Welton & Farish, 1993; Richter, 2011]. Entretanto, as cartilagens rostrais fossilizadas de tubarões são extremamente raras [Gonzalez, 2005].

1.1. Fósseis de Tubarões

Em princípio, os dentes representam o registro fóssil mais abundante do

grupo, resistindo aos processos tafonômicos por serem constituídos de dois tecidos mineralizados, enameloide e osteodentina [Shimada, 2002]. Os dentes são normalmente encontrados isolados, pois, os condrictes apresentam uma constante renovação da bateria dentária característica do grupo, denominada de polifiodontia (Fig. 1), de acordo com Applegate [1965]. Este autor descreve a polifiodontia como um padrão substituição dentária contínua ao longo da vida dos condrictes, isto é, os dentes que estão na posição funcional do arco mandibular caem, substituídos pelos que estão em posição posterior.

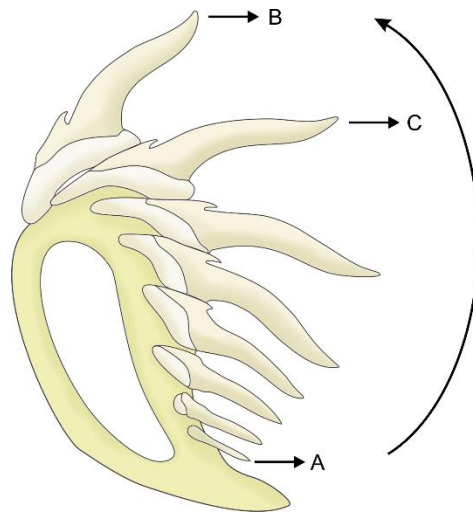


Figura 1. Desenho esquemático de um corte sagital de uma Cartilagem de Meckel do tubarão *Carcharias taurus* Rafinesque, 1810, ilustrando o processo ontogenético dos dentes. A) formação do novo dente; B) dente completo e funcional; C) dente da posição posterior que irá substituir o dente da posição B ao cair. Ilustração por Sheron Medeiros, modificado de [Welton & Farish, 1993].

Morfologicamente, a dentição pode ser classificada como quatro tipos de dentição heterodôntica [Welton & Farish, 1993]. Na dentição heterodôntica (Fig. 2), os dentes podem variar no tamanho e forma ao longo da mandíbula (monognática), entre a arcada superior e inferior (dignática); entre os sexos (sexual); e com a idade ou entre dois ou mais indivíduos do mesmo sexo e idade

(ontogenética) [Welton & Farish, 1993]. Além da diversidade morfológica que os dentes podem possuir em relação a cada espécie, sendo uma forma de diagnóstico de identificação de táxons, a morfologia pode ajudar a inferir função e preferências alimentares dos seus representantes [Cappetta, 1986a]. Cappetta [1986a] classificou e agrupou os dentes de acordo com suas adaptações tróficas: (a) tipo agarrador, (b) tipo arrancador e (c) tipo cortante.

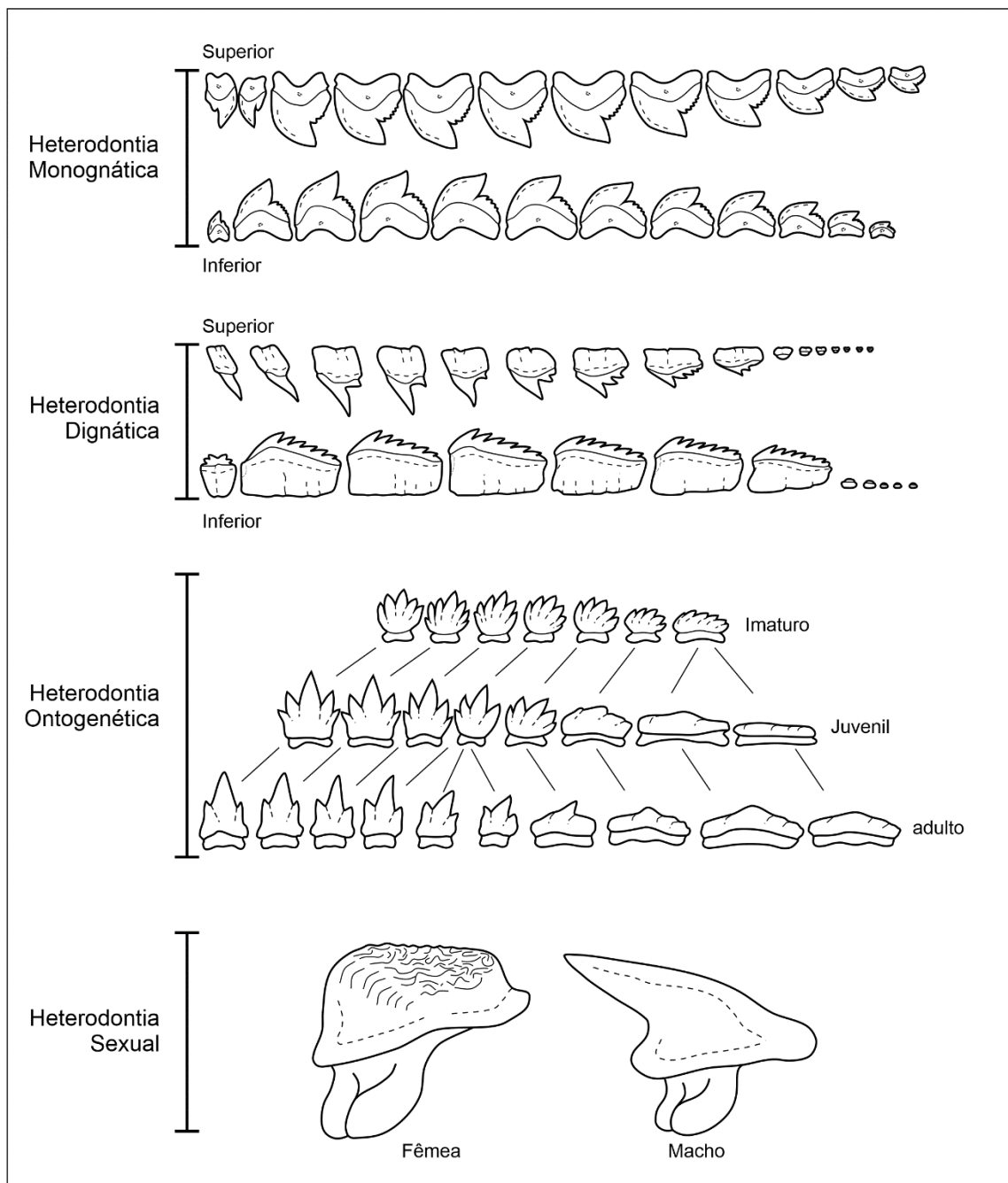


Figura 2. Exemplificação dos tipos de Heterodontia monognática (*Galeocerdo cuvier*), dignática

(*Hexanchus griséus*), ontogenética (*Heterodontus franciscanus*) e sexual (*Dasyatis* sp.).
Ilustração por Sheron Medeiros adaptada de Welton & Farish [1993].

Os dentes geralmente apresentam bom estado de preservação, apenas apresentando desgastes devido a processos erosivos, porém, ocasionalmente, são encontradas patologias. Dentes com patologias se diferenciam dos dentes normais por aspectos morfológicos [Gudger, 1937].

Além dos dentes, outro material fóssil encontrado são os centros vertebrais. Os centros vertebrais são elementos estruturais calcificadas predominantes do eixo corporal, que constituem o corpo da vértebra [Kardong, 2016]. O centro vertebral é a única parte das vértebras que resiste aos processos tafonômicos, visto que, o arco neural e o hemal são constituídos de cartilagem, sendo facilmente degradados [Kardong, 2016]. Segundo Applegate [1967] os centros vertebrais podem ser classificados em oito morfotipos e cada um está diretamente relacionado a gêneros em que ocorre um morfotipo em particular. Esses oito morfotipos foram classificados como vértebras (a) Heterodontoide, (b) Pristiophoroide, (c) Squatinoide, (d) Squaloide, (e) Lamnoide, (f) Pristiuroide, (g) Atelomyeteroide e (h) Carcharhinoide (Fig. 3).

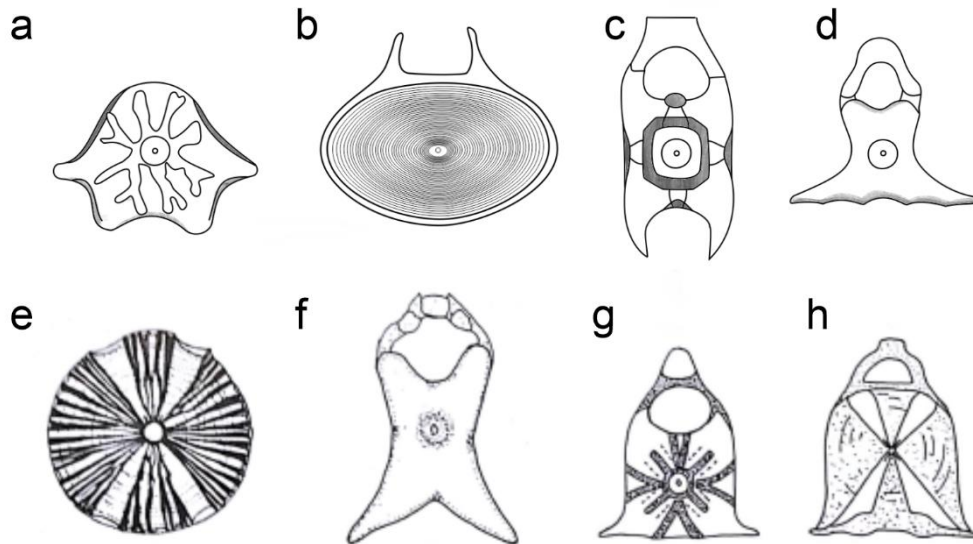


Figura 3. Ilustração dos oito morfotipos identificados por Applegate, sendo (a) Heterodontoid, (b) Squatinoid, (c) Pristiophoroide, (d) Squaloide, (e) Lamnoide, (f) Pristiuroide, (g) Atelomyeteroide e (h) Carcharhinoide. Fora de escala [Retirado de Applegate, 1967].

Além dos morfotipos, na superfície dos corpos calcários desses centros vertebrais é possível observar anéis de crescimento, que são compostas por bandas opacas e translúcidas [Cailliet *et al.* 2006]. Para fins de compreensão, essas “bandas” referem-se as faixas marrons escuras que estão na superfície do centro vertebral, que ao comparar com as vertébras de tubarões modernos, correspondem as “bandas opacas”. Enquanto as faixas marrons clara corresponderia as “bandas translúcidas” [Cailliet *et al.* 2006]. Essas bandas são formadas em pares, geralmente, no período de um ano [Parker & Stoot, 1965; Natanson, 2001; Shimada, 2008]. Com isso, para interpretação do crescimento desses organismos, o padrão de bandagem observados em centros vertebrais fósseis podem assumir o padrão de crescimento de dois pares de bandas formados anualmente, assim como em grande parte dos tubarões atuais viventes [Shimada, 2008].

1.2 Depósitos sedimentares/fossilíferos

Quando as rochas que contém fósseis estão em ambiente marinho, a ação das ondas e correntes levam a sua erosão, e a maneira mais comum de se encontrar os fósseis outrora preservados nelas é através das acumulações marinhas com conchas (ou cascalhos biodetríticos) depositadas na linha de praia atual. Nestas acumulações é possível encontrar dentes de tubarão e outros fósseis de elasmobrânquios [Cocke, 2002]. Sendo assim, a coleta de fósseis de tubarões nas praias é uma prática amplamente difundida entre os pesquisadores, denominada como “Beachcombing for fossil” (tradução livre “Busca de fósseis na praia”) [Craven & Hogan, 2006]. Segundo estes autores, diversos locais da costa dos Estados Unidos são encontrados e coletados fósseis de tubarões rolados ao longo da costa, como nas praias da Carolina do Norte, ao longo da costa da Baía de Chesapeake, na costa leste dos penhascos de Calvert em Maryland, na costa do Mississippi e outros diversos locais. Visaggi & Godfrey [2010] analisaram cerca de 24 mil dentes fósseis de tubarões coletados nas praias no entorno dos penhascos de Calvert (Maryland, Estados Unidos), para entender as camadas estratigráficas da região. Avila *et al.* [2012] coletaram dentes fósseis de tubarão ao redor da Ilha oceânica Santa Maria, pertencente ao Arquipélago de Açores, e registraram novas espécies de tubarões fósseis encontradas na região.

No Brasil, na costa do Rio Grande do Sul, são encontrados fósseis de tubarões na linha de praia atual, geralmente associados a cascalhos biodetríticos, região denominada como “Concheiros”. Além dos Concheiros, locais como a praia do Cassino (Município de Rio Grande) e praia do Hermenegildo (Município de Santa Vitória do Palmar) também são regiões onde comumente são encontrados fósseis de tubarões.

Neste contexto, o presente estudo propõe-se a analisar os fósseis de tubarões pertencentes a coleção do Laboratório de Geologia e Paleontologia (LGP) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) que foram coletados no litoral sul do Rio Grande do Sul. Com a finalidade de compreender a paleobiologia e paleoecologia dos Neoselachii fósseis, sendo mais uma ferramenta de compreensão a respeito dos tubarões que habitaram a costa leste do Rio Grande do Sul durante o Período do Quaternário.

1.2. Área de Estudo

A área estudada neste trabalho compreende uma região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), que vai desde a praia do Cassino, no Município de Rio Grande, até a praia do Hermenegildo, no Município de Santa Vitória do Palmar (Fig. 4).

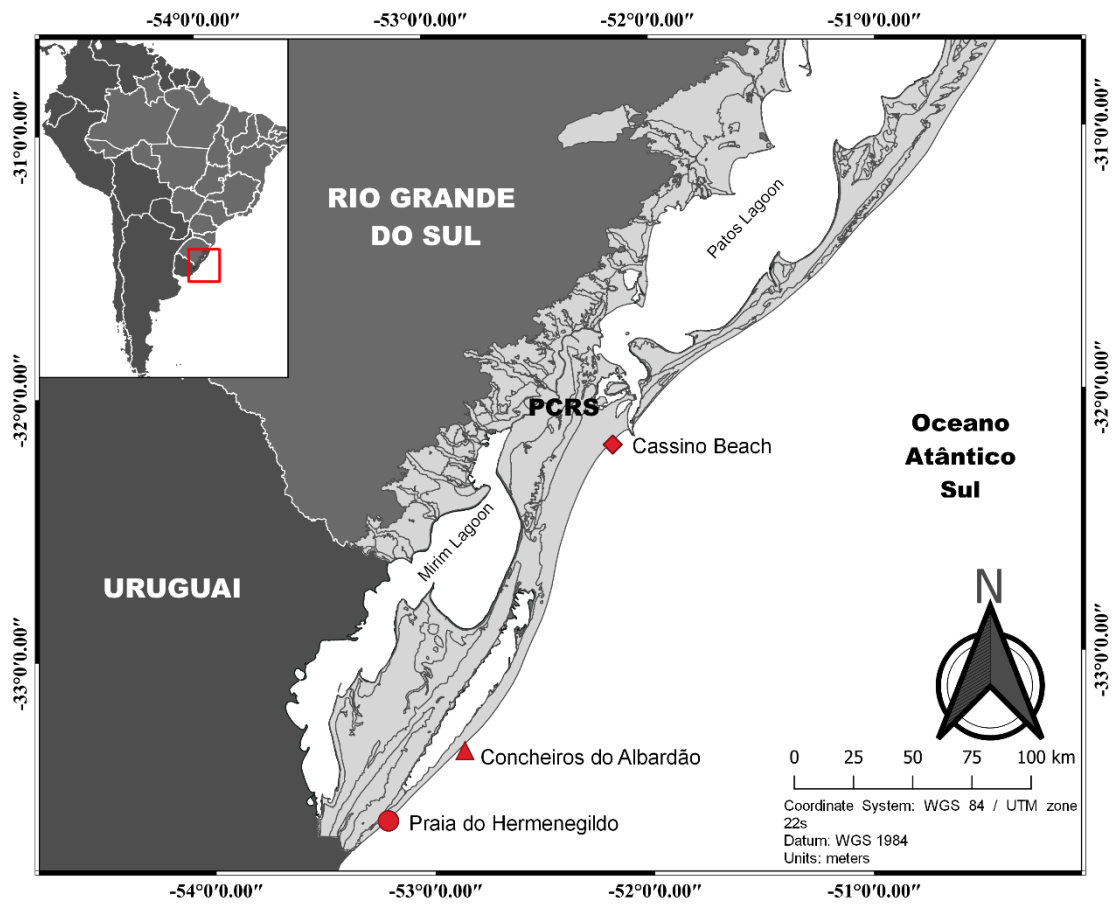


Figura 4. Mapa mostrando a localização da área de estudo na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS; representada pela cinza claro), que compreende uma região que se estende desde a praia do Cassino, no município do Rio Grande, até a praia Hermenegildo, no município de Santa Vitória do Palmar. Os símbolos indicam os locais ao longo das praias onde se realizam as amostragens.

A PCRS, situada ao leste do Rio Grande do Sul, possui uma extensão de 620 km de comprimento, com cerca de 150 km de largura, a qual representa o pacote mais novo da Bacia de Pelotas [Tomazelli & Dillenburg, 2007]. Está orientada geograficamente na direção Nordeste – Sudoeste, sendo uma longa província fisiográfica, indo da Município de Torres até o Chuí. Segundo os autores Villwock & Tomazelli [1995], a Planície apresenta um formato quase retilíneo e de paisagem imutável, com apenas duas interrupções permanentes em sua continuidade: desembocadura da Laguna de Tramandaí e a da Lagoa dos Patos.

Constituída por sedimentos Neógenos e Quaternários, caracteriza-se como a mais ampla e o mais completo registro geomorfológico e geológico do Quaternário no território brasileiro [Tomazelli *et al.*, 1998]. De acordo com Villwock & Tomazelli [1995], a Planície Costeira do RS em parte é constituída pela Bacia de Pelotas, segmento meridional das bacias marginais o qual compõe a margem continental brasileira, e está estabelecida sobre um embasamento cristalino Pré-Cambriano. Sua origem e evolução estão relacionadas a eventos transgressivos e regressivos, resultado de ciclos glácio-eustáticos ocorreram nos últimos 400 mil anos [Villwock & Tomazelli, 1995]. Tais eventos ocasionaram a justaposição lateral de depósitos sedimentares, dando origem a quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira propostos por Villwock *et al.* [1986] e Villwock & Tomazelli [1995].

Conforme proposto por Villwock & Tomazelli [1995], o sistema Laguna-Barreira da PCRS é dividido em quatro sistemas, designados como I, II, III (Pleistocênicas) e IV (Holocênica) (Fig. 5). Cada um dos sistemas representa uma fase máxima da transgressão marinha, estando diretamente correlacionado a um estágio interglacial, sendo eles respectivamente 7, 9, 5 e 1. O que possibilitou a atribuição de idades de 400 ka, 325 ka, 123 ka e 6 ka, a cada barreira (respectivamente), de acordo com os estágios interglaciais reconhecidos na PCRS [Villwock & Tomazelli, 1995; Tomazelli & Villwock, 1996]. Os sistemas laguna-barreira I, II e III foram formados no Pleistoceno, sendo então mais antigos que o sistema laguna-barreira IV, que teve sua formação no Holoceno e atualmente ainda se encontra ativo [Dillenburger *et al.* 2009]. Segundo Buchmann *et al.* [2009], as barreiras III e IV encontram-se em melhor estado de preservação em relação aos outros dois sistemas mais antigos, guardam

importantes registros de processos físicos relacionados a origem e desenvolvimento da PCRS e possuem restos fósseis de organismos marinhos e terrestres.

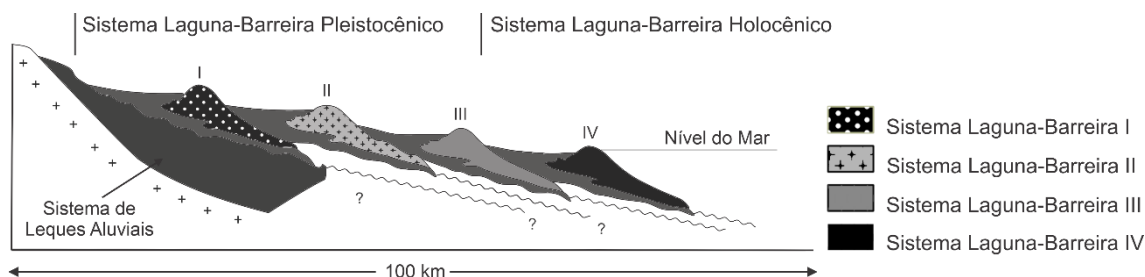


Figura 5. Perfil esquemático transversal da estruturação dos sistemas deposicionais Laguna-Barreira presentes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Modificado de Tomazelli & Villwock, 2000).

Dillenburg *et al.* [2009] relataram que a Planície Costeira sofre uma intensa variação de processos meteorológicos e oceanográficos, sendo eles os principais fatores que moldam dinamicamente as feições do litoral, ficando a costa sujeita à ação de ondas de moderada a alta energia, formadas por swell de sul ou/e ondas geradas por vento. O autor também descreve que o regime de maré astronômica é pouco significante (micromaré), com marés semidiurnas com amplitude média de 0,5 m, resultando em um transporte sedimentar e deposicional predominante por ação de ondas. Porém, a costa é sujeita a marés meteorológicas que excedem o nível do mar em até 1,3 m [Buchmann *et al.*, 2009]. Conforme relatado por Buchmann *et al.* [2009], os ventos predominantes ocorrem no quadrante Nordeste, sendo constantes ao longo do ano e mais intensos na primavera-verão. Entretanto, no outono-inverno, como há entrada das frentes frias durante essas estações, os ventos de Oeste – Sudoeste passam a ser mais constantes.

De acordo com Buchmann *et al.* [2009], ao longo de toda a PCRS são

encontradas várias acumulações de fósseis de invertebrados e vertebrados marinhos e terrestres, e a abundância de alguns grupos taxonômicos encontrados nesta região parece estar relacionada à diversidade original durante o Quaternário [Cruz *et al.* 2016]. Esses depósitos contendo fósseis e cascalhos biodetríticos encontram-se submersos na antepraia e plataforma continental, devido a eventos de transgressão e regressão do nível médio do mar (NMM) [Buchmann, 1994]. O retrabalhamento pela hidrodinâmica atual de depósitos concentrados nas cavas de bancos arenosos e/ou o retrabalhamento de paleolinhas de praias submersas durante a transgressão holocênica resultam nesses depósitos biodetríticos emersos [Calliari & Klein, 1993]. Na porção sul da Planície Costeira do RS, entre a Município Rio Grande e a barra do Chuí, ocorrem altas concentrações de cascalho biodetrítico e fósseis, formando depósitos conhecidos como “Concheiros do Albardão” (Fig. 6) [Buchmann *et al.*, 2009]. Esta região encontra-se situada na porção extremo sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.



Figura 6. Fotografias da região dos Concheiros do Albardão, mostrando a acumulação biodetrítica na (A) zona de *swash*, (B) na região do estirâncio, (C) próximo as dunas frontais e (D) acumulação de cascalho biodetríticos com um dente de tubarão.

A região dos Concheiros do Albardão está localizada a cerca de 150km da Praia do Cassino e a 30 km da Praia do Hermenegildo [Sallenger Jr., 1979], porém sabe-se que a sua localização varia espacialmente ao longo do tempo. É caracterizada por sedimentos bimodais, havendo mistura de areia fina quartzosa e cascalho biodetrítico. Por conta da sua composição sedimentológica, esta região apresenta uma zona de estirâncio com os valores altos de declividades ($>5^\circ$) [Calliari *et al.* 2003]. Além disto, a praia dos Concheiros apresenta

características intermediárias a reflexivas, o que a distingue da praia do Cassino que possui características dissipativas [Calliari *et al.* 2003].

1.2.1. Fósseis encontrados na PCRS

Atualmente na costa do Rio Grande do Sul são encontrados *ex situ* diversos fósseis de vertebrados e invertebrados marinhos e terrestres, nas linhas de praias atuais [Buchmann, 1994; Buchmann & Tomazelli, 1999; Buchmann, 2002; Lopes, 2020]. Entre o município de Rio Grande e Chuí, são comumente encontrados fósseis de mamíferos-gigantes terrestres, conhecidos como Megafauna. Esses organismos viveram no Rio Grande do Sul a cerca 10 mil anos atrás e marcam o intercâmbio de fauna da transição do Plioceno para o Pleitoceno [Simpson, 1980; Paula-Couto, 1980; Owen-Smith, 1987]. Sendo eles as preguiças-gigantes, os tatus-gigantes, os mastodontes, toxodontes, tigres-dentes-de-sabre e entre outros representantes da Megafauna [Buchmann & Rincón, 1997; Buchmann, 2002; Lopes *et al.* 2009; Cruz *et al.* 2015]. Além desses animais terrestres, também são encontrados uma grande diversidade de fósseis de animais marinhos como baleias, golfinhos, lobos-marinhos, leões-marinhos, tubarões e raias, e também invertebrados como moluscos e equinodermos [Richter, 1987; Buchmann & Rincón, 1997; Richter, 2000].

Esses fósseis referem-se a resquícios de organismos vivos durante o Período Quaternário, sugerindo variações no ambiente, clima e formas de vida no Rio Grande do Sul ao longo deste Período [Buchmann & Rincón, 1997; Richter, 2000; Cruz *et al.* 2016; Lopes, 2020]. Muitas vezes os fósseis encontram-se desgastados e abradidos devido à ação das ondas e correntes marinhas sobre esses materiais, visto que parte desse material se encontra nos depósitos marinhos submersos, são exumados e retrabalhados na linha de praia

atual [Savrda, 2007].

Devido essa grande diversidade de fósseis de diferentes organismos que são encontrados ao longo da PCRS, como estes depósitos submersos não têm estruturação temporal, existe uma mistura temporal e espacial entre os diferentes materiais fósseis encontrados ao longo da costa sul do Brasil [Buchmann e Rincón, 1997; Cruz *et al.* 2016]. Não apenas se restringindo aos grupos fósseis terrestres, isto também ocorre para os Neoselachii e os demais fósseis de vertebrados marinhos [Richter, 1987; Buchmann e Rincón, 1997; Richter, 2000; Lopes, 2020].

Diversos trabalhos com datação relatam idades estimadas dos fósseis encontrados na PCRS. Lopes *et al.* [2014] em seu trabalho dataram fósseis de mamíferos terrestres, estimando idades para o Pleistoceno tardio (~34 mil anos), e conchas fósseis coletados na PCRS, que datavam idades 234 – 238 mil anos atrás. Já Tâmega *et al.* [2019] dataram uma nova espécie de briolito, *Biflustra holocenica*, encontrados e coletados na região do Hermenegildo e Concheiros do Albardão, com cerca de 7600 anos (Holoceno).

Capítulo II: Objetivos

O objetivo geral deste trabalho pretende compreender a paleobiologia dos fósseis de tubarões coletados *ex situ* na face de praia atual da Planície Costeira do Rio Grande do Sul presentes na coleção do Laboratório de Geologia e Paleontologia da FURG, e identificar se a riqueza de espécies e a composição taxonômica dos tubarões variou ao longo do Quaternário na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Como objetivos específicos, este estudo pretende:

- I. Identificar e descrever taxonomicamente os materiais fósseis para reconhecimento da subpopulação fóssil;
- II. Analisar se os fósseis coletados de tubarões representam as espécies/populações atualmente presentes na região;
- III. Verificar se a riqueza e composição das espécies e/ou gêneros

mudou temporalmente;

- IV. Realizar uma descrição morfológica e classificar os centros vertebrais fósseis de tubarão;

Capítulo III: Materiais e Métodos

3.1. Materiais

Os materiais estudados pertencem à coleção do Laboratório de Geologia e Paleontologia da Universidade Federal do Rio Grande (LGP-FURG). Estes materiais são coletados *ex situ* desde 1996, a partir de saídas de campo para a PCRS, especialmente nas praias do Hermenegildo e Concheiros do Albardão. A coleta é realizada de forma manual principalmente na zona de swash, berma e próximo a dunas frontais, estando geralmente associados a cascalhos biodetríticos (Fig. 7). Tal coleta torna-se mais demorada e seletiva já que a abrasão e fragmentação pelo ambiente marinho confere a esses materiais formatos similares a conchas fragmentadas. Os referidos materiais são considerados fósseis devido à mudança de densidade e, em relação aos recentes, possuem maior peso em decorrência dos processos de permineralização e sua coloração é mais escura, devido à incorporação de

minerais máficos [Richter, 1987].



Figura 7. Fotografias de Concheiros do Albardão (A), mostrando a região de amostragem e amostragem manual de materiais fósseis; (B) um dente fossilizado de *Carcharhinus* sp. (indicado pela seta) em meio a cascalho biodetrítico.

Após coletados, esses fósseis de elasmobrânquios foram encaminhados para o LGP-FURG, onde passaram por um processo de triagem e receberam um número de tombamento acompanhado do acrônimo LGP/C, onde LGP indica sigla do laboratório e C referente à classe Chondrichthyes. Todo o material depois de catalogado foi acondicionado em sacos ZipLock® e em caixas plásticas com divisórias, junto com o número de identificação. A coleção do LGP-FURG contém cerca de 5.311 materiais fósseis referentes a elasmobrânquios, sendo 3.611 dentes e 26 centros vertebrais de tubarões presentes na coleção que foram analisados.

3.2. Metodologia

3.2.1. Identificação e descrição dos dentes fósseis

Os dentes fósseis foram analisados de maneira individual, visto que, todos os dentes foram encontrados isolados e desarticulados. A identificação das

espécies e/ou gêneros atribuídos aos dentes fósseis, foi realizada a partir da comparação destes com os dentes das arcadas dentárias de tubarões atuais. Essa comparação permite a observação da forma, caracteres diagnósticos entre ambos. As arcadas dentárias atuais foram concedidas pelo Laboratório de Morfologia 2 - Pesquisa em Chondrichthyes da FURG, e fazem parte da Coleção de Chondrichthyes do ICB-FURG. Essas foram utilizadas, principalmente, com o intuito de fornecer uma visualização tridimensional e poder comparar os caracteres que não são possíveis observar através de imagens ou fotos presentes na literatura. Como a identificação é realizada de forma manual, também se utiliza um estereomicroscópio (lupa), para uma melhor observação e identificação das alterações morfológicas incomuns dos dentes tubarões. A identificação dos táxons no presente trabalho segue a sistemática proposta por Compagno [2001] e as descrições taxonômicas sugeridas por Richter [1987 e 2000]. A anatomia básica e terminologia descritiva dos dentes segue as terminologias propostas por Welton & Farish [1993] e Shimada [2002] (Fig. 8A). O material possui um bom estado de preservação e foram realizadas medições nesses materiais com um paquímetro digital da (i) largura da cúspide em sua ponta mais extrema, (ii) largura da base da cúspide próxima à raiz, (iii) a largura total da raiz e o (iv) comprimento total (Fig. 8B).

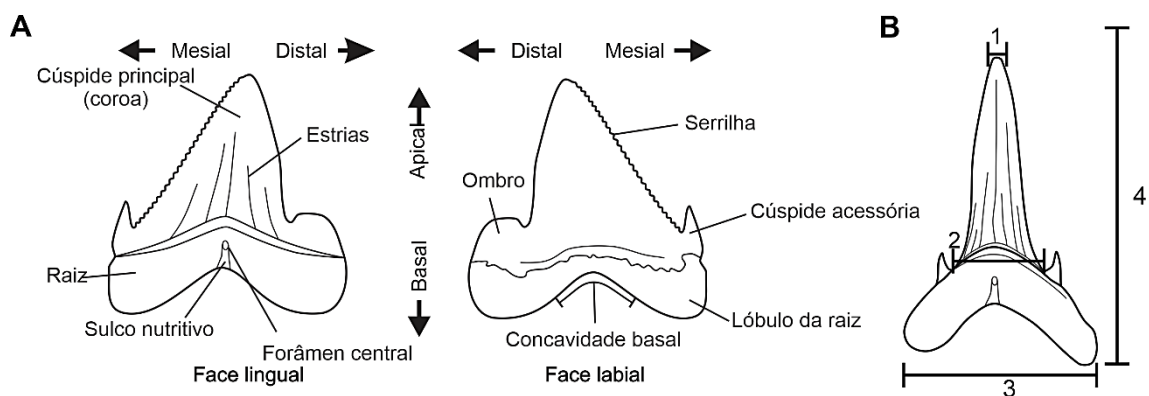


Figura 8. Orientação e terminologia esquemática de um dente de tubarão hipotético, incluindo as

características mais comuns encontradas (adaptado de Welton e Farish, 1993 e Shimada, 2002).
(B) Ilustração esquemática de um dente de *Carcharias taurus*, indicando as medidas tomadas.
Fora de escala.

3.2.2. Descrição morfológica e identificação dos centros vertebrais

Para identificação dos morfotipos dos centros vertebrais fósseis, serão comparadas com 30 centros vertebrais atuais emblocados (Fig. 9) em resina referente a espécies *Isurus oxyrinchus* (Lamniformes) e *Prionace glauca* (Carcharhiniformes). A utilização de vértebras atuais torna o processo de identificação mais rápido, e permitirá a comparação de estruturas morfológicas entre os centros fósseis e os atuais. A descrição dos morfotipos dos centros vertebrais fósseis seguiu a proposta por Applegate [1967].

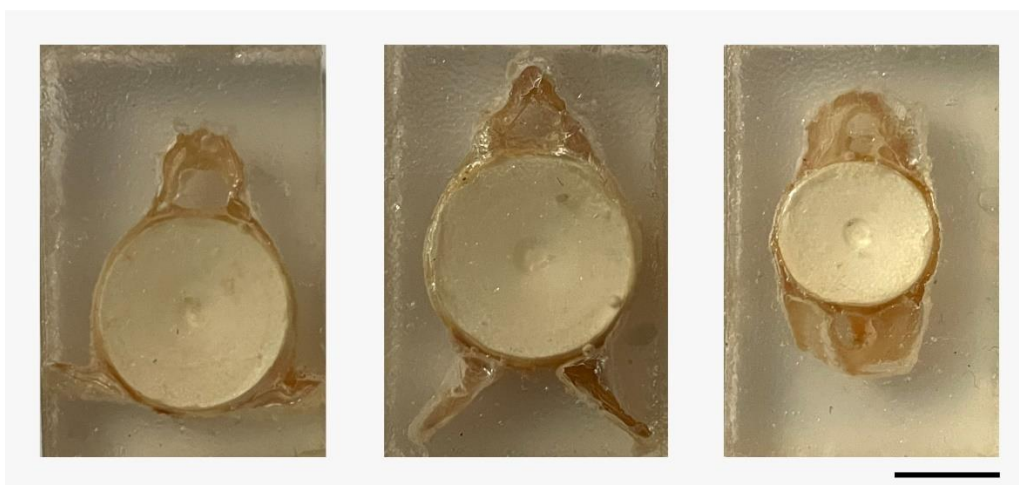


Figure 9: Vértebras atuais emblocadas em resina para preservação das espécies *Isurus oxyrinchus* e *Prionace glauca*. Escala de 1cm.

A fim de extrair informações morfológicas adicionais de vértebras (estruturas internas e disposição dos forâmens internos de inserção do arco neural e hemal), em cada centro vertebral foi realizada uma radiografia de Raio-x, modelo Dr Tech. Foram utilizados diferentes regimes (capacidade de penetração do raio) nos materiais.

Capítulo IV: Artigo Científico 1

Para 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. Desse modo, os resultados da pesquisa desenvolvida durante o período de mestrado e a discussão dos resultados serão apresentados em forma de dois artigos dividido em dois capítulos. O primeiro manuscrito, de autoria de Sheron Greice Medeiros Botelho, Maria Cristina Oddone Franco, Heitor Francischini, Débora Diniz e Paula Dentzien-Dias, é intitulado “***Quaternary fossil shark (Neoselachii: Galeomorphii and Squalomorphii) diversity from Southern Brazil***” e foi submetido para publicação no periódico “***Journal of South American Earth Sciences***” (Qualis-CAPES B1 na área de Geociências) e abordará as identificações e descrições taxonômicas dos dentes fósseis. A formatação está de acordo com o solicitado pela revista.

Quaternary fossil shark (Neoselachii: Galeomorphii and Squalomorphii) diversity from Southern Brazil

Sheron Medeiros^a, Maria Cristina Oddone^b, Heitor Francischini^c, Débora Diniz^d and Paula Dentzien-Dias^a

^a 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
[sheron.medeiros@hotmail.com] [pauladentzien@gmail.com]

^b Instituto de Ciências Biológicas, Sector Morfologia, Pesquisa em Chondrichthyes, Universidade Federal de Rio Grande, Avenida Itália Km 8, Rio Grande, 96201-900, Rio Grande do Sul, Brazil [mcoddone@furg.br]

^c Laboratório de Paleontologia de Vertebrados, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil [heitor.francischini@ufrgs.br]

^d Departamento de Oceanografia e Ecologia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santos, Vitória, Brazil [debora.d.santos@ufes.br]

Corresponding author: Sheron Medeiros. E-mail: sheron.medeiros@hotmail.com.

Phone: +5553997042131

Abstract

Sharks are cartilaginous fish that appeared 245 million years ago and became a highly diversified group, occupying several niches successfully. Shark fossils occur *ex situ* in

marine deposits often associated with biotrital gravels in several beaches of the world, including the coast of the state of Rio Grande do Sul, Brazil, where shark fossils are commonly found along the modern shoreline. The present study consisted of a faunistic and paleobiologic survey of sharks from the Quaternary in the southern region of the Rio Grande do Sul Coastal Plain (RSCP). Based on the identification and taxonomic description of 3,611 fossilized shark teeth collected in the Cassino and Hermenegildo beaches. A total of 13 taxa were identified, among them *Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus longimanus*, *Carcharhinus* sp., *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias*, *Galeocerdo cuvier*, *Galeorhinus galeus*, *Isurus oxyrinchus*, *Notorynchus cepedianus*, *Rhizoprionodon* sp., *Sphyrna* sp. and *Squatina* sp. Besides the already known species, here we also report the presence of *Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus longimanus*, *Galeorhinus galeus*, *Rhizoprionodon* sp. and *Squatina* sp. as the first fossil record of these taxa in the region. The study showed that the fossil taxa identified are similar to those currently found along the coast of Rio Grande do Sul. Evidence of a colder marine environment than today and of climate oscillations during the Quaternary, can be seen by the presence of the species *Carcharhinus leucas*, *Carcharodon carcharias* and *Galeocerdo cuvier* (when compared to the composition of the modern shark fauna). Since, currently, the occurrence of these species are given as rare in the region. The present study expanded the occurrence of fossil species on the coast of the state of Rio Grande do Sul and confirmed the occurrence of populations of *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias*, *Carcharhinus* sp., and *Carcharhinus leucas* during the Quaternary.

Keywords: Chondrichthyes; Paleoichthyology; *Carcharias taurus*; *Carcharodon carcharias*.

1. Introduction

Quaternary shark fossil records are commonly found in marine accumulations with biotrital gravels deposited in modern beach lines of the entire world (Cocke, 2002; Craven and Hogan, 2006; Vizaggi & Godfrey, 2010; Lopes, 2020; Miller *et al.* 2021). Because of their cartilaginous skeleton, the fossil record of Chondrichthyes is highly biased and usually few parts of their bodies resist fossilization processes (Laurini, 2010; Richter, 2011; Guinot, Adnet and Cappetta, 2012; Ehret *et al.* 2012). The most common paleontological records for neoselachians are called “ichthyoduroolites”, including teeth, spines, scales, and vertebrae centrum. However, complete skeletons can be preserved by exceptional conditions (Applegate, 1967; Stehmann, 1988; Welton and Farish, 1993; Ehret *et al.* 2012; Fanti *et al.* 2016).

Teeth are the most abundant fossil record of the group mainly because they are composed of two highly mineralized tissues (enameloid and osteodentin; Shimada, 2002), which resist destructive taphonomic processes. Teeth are usually found isolated, because Chondrichthyes are polyphiodont and have a constant renovation of their dental batteries (Applegate, 1965; Applegate, 1967; Welton and Farish, 1993; Guinot, Adnet and Cappetta, 2012). Furthermore, taxonomic identifications and descriptions are commonly made from fossil neoselachian teeth, since other fossil records of the group are scarce or reduced. However, such identifications may be hampered due to reduced diagnostic characters and morphofunctional convergences (Applegate, 1967; Naylor and Marcus, 1994; Guinot, Adnet and Cappetta, 2012).

Taxonomic descriptions are made based on the morphology of these teeth, but such tooth morphologies vary between species or groups of sharks (Cappetta, 1986a). Morphologically, dentition can be divided in homodont or heterodont (Cappetta, 1986a; Welton and Farish, 1993). In homodont, all teeth have the same shape and are approximately the same size, therefore showing homogeneity along the dental arch (Welton and Farish, 1993). In turn, with heterodonty, teeth can vary in size and shape along the jaw (monognathic), between the upper and lower arches (dignathic), between sexes (sexual), and with age or between two or more individuals of the same sex and age (ontogenetic) (Welton and Farish, 1993). The morphological diversity that teeth can have regarding each species is not only useful to identify taxa, but can also aid in inferring function and feeding preferences (Cappetta, 1986a). Cappetta (1986a) classified and grouped teeth according to their trophic adaptations: (a) grasping, (b) tearing, and (c) cutting.

In southern Brazil, fossils from various deposits are found along the Rio Grande do Sul Coastal Plain (RSCP). They represent a faunal record of marine and terrestrial vertebrates and invertebrates that inhabited the region during the Quaternary (Buchmann *et al.*, 2009). Fossil shark teeth occur along the southern beach lines of the RSCP, usually associated with biodetrital gravels that form a large area called “Concheiros”. Currently, the coast of the Rio Grande do Sul state bears 60% of all marine Chondrichthyes reported to Brazil, making the area a hotspot for diversity, acting as a nursery and as reproduction, migration, and feeding grounds for these organisms (Dulvy *et al.* 2014; Vooren and Oddone, 2019).

Thus, the present study aims to identify the variation of species richness and taxonomic composition of sharks throughout the Quaternary in the RSCP, as a way to increase

understanding about the sharks that inhabited the eastern coast of Rio Grande do Sul during the Quaternary.

2. Geological setting

The RSCP is located on the eastern portion of the state of Rio Grande do Sul, covering an extension of 620 km, between the municipalities of Torres and Santa Vitória do Palmar, and represents the most recent package of the Pelotas Basin (Tomazelli and Dillenburg, 2007; Fig. 1). It is composed of Neogene to Quaternary sediments and is characterized as the broadest and most complete geomorphological and geological record of the Quaternary in Brazilian territory (Tomazelli *et al.*, 1997).

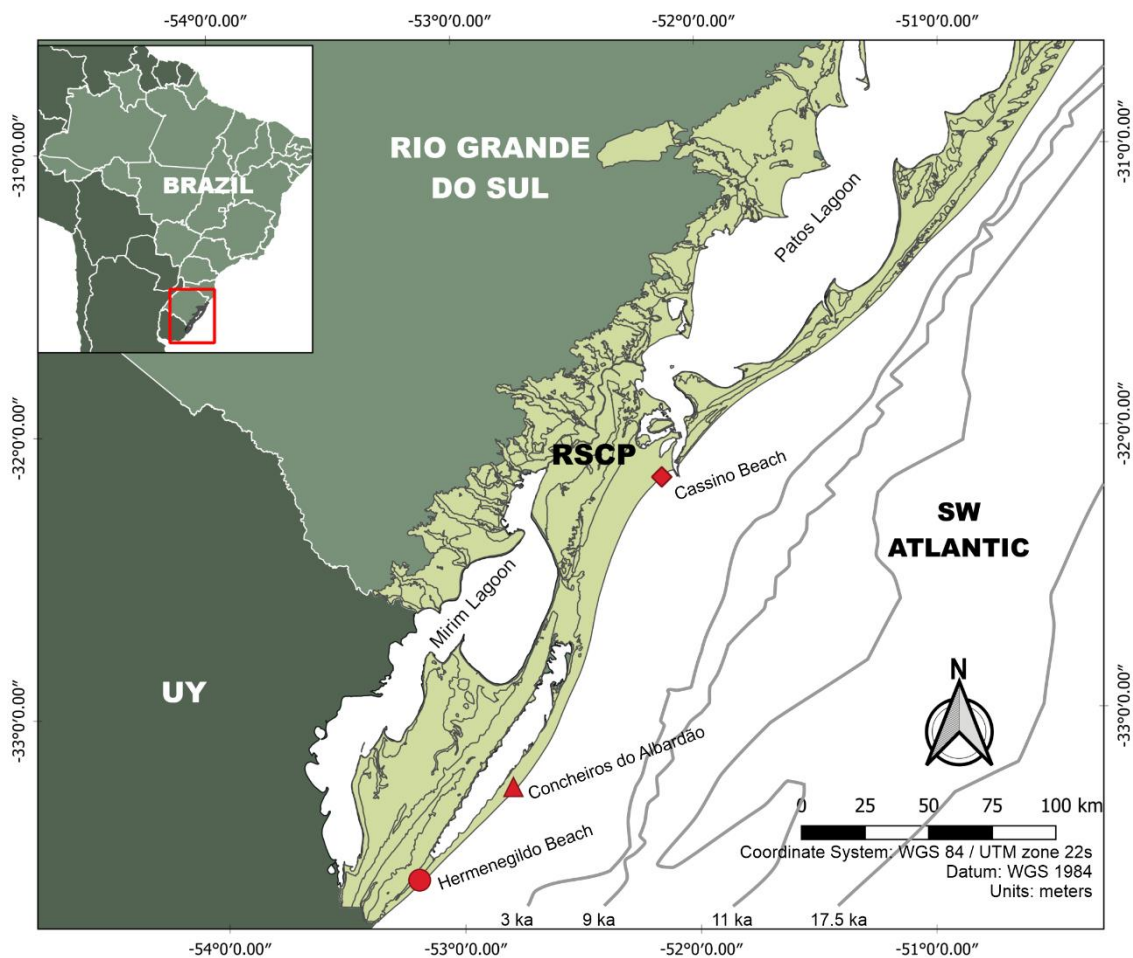


Figure 1: Map showing the location of the study area in the Rio Grande do Sul Coastal Plain (RSCP; represented by light green color), which comprehends a region that

extends from the Cassino beach, in the municipality of Rio Grande, until the Hermenegildo beach, in the municipality of Santa Vitória do Palmar. The symbols indicate the sites along the beaches where samplings take place. The lines in the continental shelf region indicate the submerged paleolines.

During the Quaternary, several paleoenvironments were formed and disappeared of the continental shelf, forming various fossiliferous deposits (Figueiredo, 1975; Angulo and Souza, 2014). Among them, the submerged deposits are responsible for the fossils found *ex situ* on the modern beach line together with biodetrital gravels, the result of the reworking of these deposits (Figueiredo, 1975; Corrêa, 1990). These submerged fossil deposits are correlated with submerged coast lines, which formed after the Last Glacial Maximum (LGM; ~21 ka BP), with estimated ages ranging from 17.5 ka to 3 ka (Kowsmann *et al.* 1977; Corrêa, 1996; Fig. 1).

The origin of these deposits and the RSPC is related to main sea level (MSL) transgressive and regressive events, that resulted from glacioeustatic cycles over the past ~400 ka (Villwock and Tomazelli, 1995; Corrêa, 1996; Tomazelli and Villwock, 2000; Dillenburg *et al.*, 2004, Lowe and Walker, 2015). These events caused the lateral juxtaposition of sedimentary deposits, originating four barrier-lagoon depositional systems, named I (oldest) to IV (youngest) by Villwock *et al.* (1986) and Villwock and Tomazelli (1995). Barrier IV is the most recent and shows the best state of preservation in comparison with the others, containing important records about physical processes related to the genesis of the RSCP and various fossils of marine and terrestrial organisms (Buchmann *et al.*, 2009). These fossils come from submerged deposits, with probable ages dating to the Late Pleistocene and Early Holocene, and which are being reworked through hydrodynamic processes and deposited along the current beach,

associated with accumulation zones of biotrital gravel (Richter, 1987; Buchmann and Rincón, 1997). The fossils found along the RSCP represent a mixture of Quaternary terrestrial and marine faunas, and the abundance of some taxonomic groups found in this region seems to be related to the original diversity (Cruz *et al.* 2016). As the biotrital deposits have no temporal structuring, there is a temporal mixing between the different fossil materials of Neoselachii from the southern coast of Brazil (Buchmann and Rincón, 1997; Cruz *et al.* 2016).

From isotopic and proxy data, it is known that the Quaternary of the RSCP was a period considered predominantly cold (glacial periods), except for short warm phases (interglacial periods) (Suguio, 1999; Sant'anna-Neto and Nery, 2005). This resulted in a large climatic variability throughout this period, which had relatively short frequencies and amplitudes compared to glacial and interglacial events of earlier periods (Moura, 1994; Suguio, 1999; Medeanic *et al.*, 2001; Souza *et al.* 2005).

3. Materials and Methods

A total of 3,611 fossil shark teeth were analyzed in the present study and are housed in the collection of the Laboratório de Geologia e Paleontologia of Universidade Federal do Rio Grande (LGP – FURG) have been collected since 1996 along the RSCP.

3.1 Sampling

The method for sampling shark fossils in beaches is widespread among researchers and is known as “beachcombing for fossils”, with several descriptions reported in the literature (e.g., Craven and Hogan, 2006; Visaggi and Godfrey, 2010; Avila *et al.*, 2012). Neoselachii fossil teeth are found along the current beach, usually as isolated and/or fragmented pieces, in the swash zone, berm, and near frontal dunes (Fig. 2). The

material was collected manually (Fig. 2A). Because the fossils are found among biotrital gravel, it makes the sampling process more selective and time-consuming, due to the reworking that these materials undergo in the marine environment (Fig. 2B). The materials mentioned are considered fossils due to changes to their density and because, in relation to recent materials, they are heavier as a result of permineralization processes, and they have a darker color due to the incorporation of mafic minerals (Richter, 1987). Moreover, shark teeth are occasionally found within coquinas, which allows us to attribute an age based on the association with these materials. After collected, the materials are sent to the laboratory, where they go through a sorting process and, later, receive a classification number followed by the acronym LGP/C.

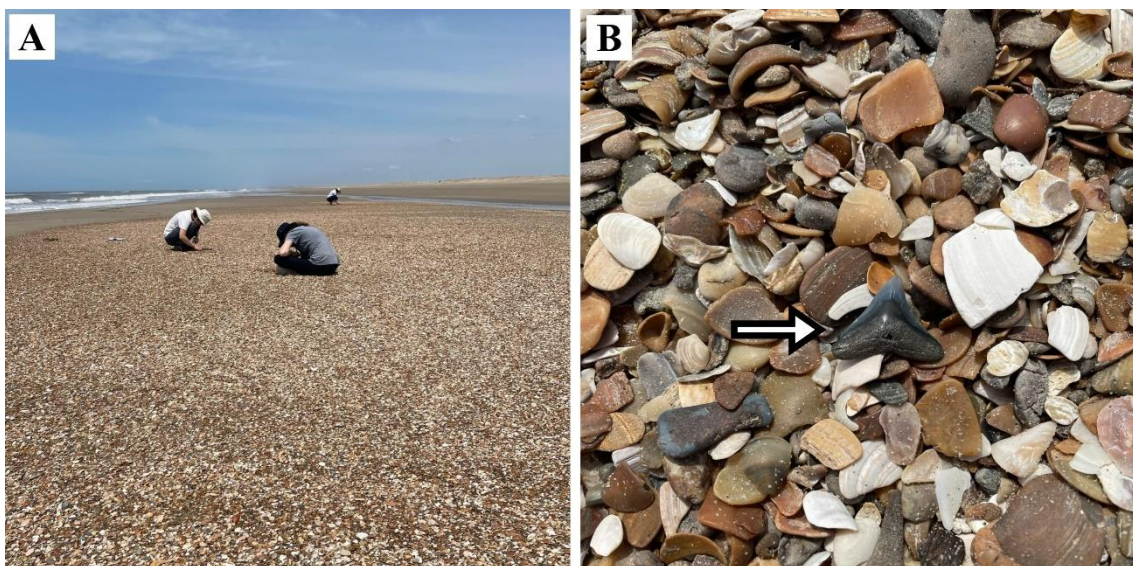


Figure 2: Photographs from Concheiros do Albardão (A), showing the sampling region and manual sampling of fossil materials; (B) a fossilized tooth of *Carcharhinus leucas* (indicated by the arrow) amidst biotrital gravel.

3.2 Species identification

Jaws of modern sharks were used for comparison to identify either the species or genus of the fossilized teeth and to carry out their morphological description (Tab. S1, supplementary material), observing form and diagnostic traits. Dental arches were especially used to provide a three-dimensional visualization and to allow the comparison of traits that cannot be observed through images and photographs from the literature. The taxa identified in the present study follow the systematics proposed by Compagno (2001) and the taxonomic descriptions suggested by Richter (1987, 2000). The basic anatomy and descriptive terminology of the teeth follow the terminologies proposed by Welton and Farish (1993) and Shimada (2002) (Fig. 3A).

In general, the fossilized material showed a good preservation condition and measurements were taken from the teeth using a digital caliper to determine the (1) width of the cusp at the most extreme tip, (2) width of the base of the cusp near the root, (3) total width of the root, and (4) total length (Fig. 3B), to observe if there was loss of material due to taphonomic processes. Most teeth were identified in generic level (or specific level, when possible), although a small proportion of the teeth were too worn to allow complete identification.

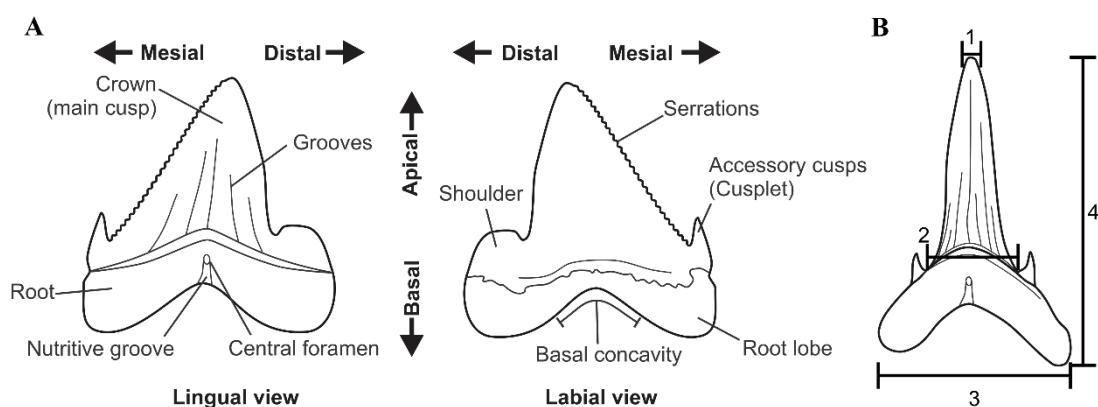


Figure 3: Orientation and schematic terminology of a hypothetical shark tooth, including the most common characteristics found (adapted from Welton and Farish,

1993 and Shimada, 2002). (B) Schematic illustration of a *Carcharias taurus* tooth, indicating the measurements taken. Out of scale.

4. Results

4.1 Systematics paleontology

A large portion of the material showed a good preservation condition, which makes it possible to identify species and carry out their descriptions. In total, 3,611 shark teeth were analyzed. These were attributed to the Galeomorphii and Squalomorphii Superorders, and 13 less inclusive taxa were identified. All materials were analyzed and described based on lingual and labial views of the teeth.

Chondrichthyes Huxley, 1880

Elasmobranchii Bonaparte, 1838

Neoselachii Compagno, 1977

Order Carcharhiniformes (Compagno 1973)

Family Carcharhinidae Jordan and Evermann, 1896

Genus *Carcharhinus* Blainville, 1816

Carcharhinus brachyurus (Günther, 1870)

Current distribution — Commonly referred to as Copper Shark, currently has a distribution in warm temperate waters, occurring on the continental shelf up to 200 m (Compagno, 2005; Weigmann, 2016; Vooren and Oddone, 2019; Ebert *et al.* 2021; Fig. 4).

Description — Comprising a total of 90 specimens, only lower teeth were found. They are small teeth with a small, narrow and smooth crown. The cusp has a gentle curve towards the lingual view. The root is wide, in some cases presenting a width that is

equivalent to double the height of the cusp, with the presence of a well-defined nutritive groove in lingual view, where a central foramen can also be observed (Fig. 5A – 6A).

This is a grasping type of dentition, and the species shows dignathic heterodonty, because of this, all fossil teeth in this taxon were identified as lower.

Remarks — The presence of the species *Carcharhinus brachyurus* is noteworthy because there are currently no records in the literature of fossils related to this species in the coastal plain of southern Brazil. Thus, the specimens described here represent the first fossil record of this species for the region. The species currently occurs on the continental shelf of southern Brazil (Compagno, *et al.* 2005; Vooren and Oddone, 2019).

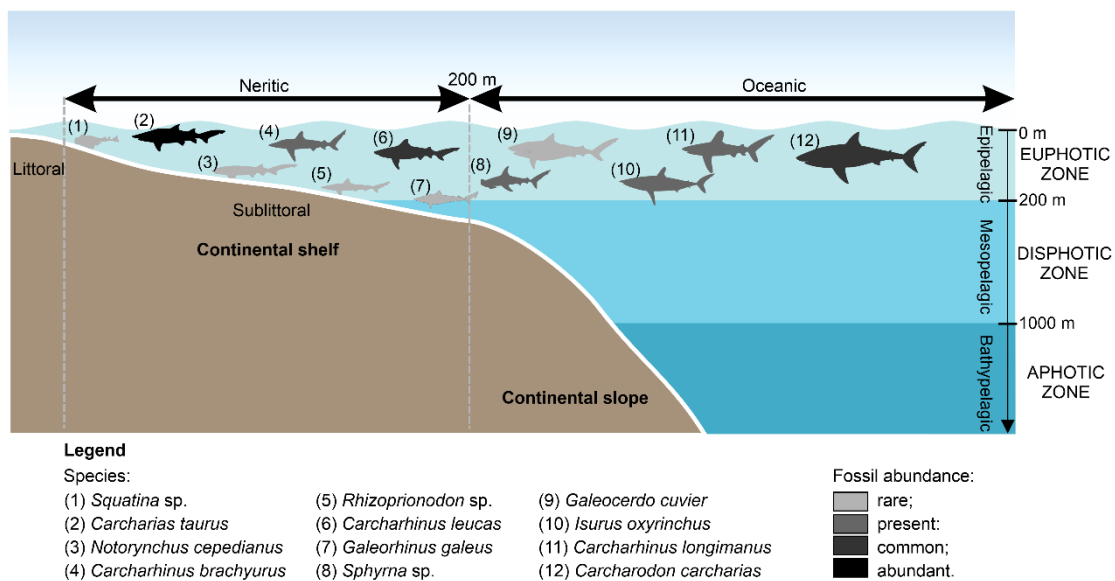


Figure 4. Schematic of the current distribution of the identified species. With the exception of the genus *Carcharhinus* sp. due to the wide variety of species that compose the genus. The color scale of the organisms represents the abundance in the fossil record. Out of scale.

Carcharhinus leucas (Valenciennes, 1839)

Current distribution — The Bull Shark is a demersal and pelagic species of tropical, subtropical and temperate waters on the continental shelf, usually occurring near the seafloor from the surf line to a depth of 200 m (Fig. 4), and may inhabit estuarine regions and even rivers (Snelson *et al.*, 1984; Compagno, 2005; Weigmann, 2016; Ebert *et al.* 2021).

Description — It was found a total of 193 teeth of *Carcharhinus leucas*, which has a cutting-tearing type of dentition and the species shows dignathic heterodonty. The 32 upper teeth have broad and triangular crowns, which are elongated in labial view and convex in lingual view. The crown is tilted towards the distal edge. The root is wide and has a slight bifurcation, forming a basal concavity. There is a central foramen in lingual view (Fig. 5B₁– 6B₁). The 161 lower teeth with a narrow crown and very sharp apex. The crown is concave in labial view and convex in lingual view. The edges of the crown are smooth, and the fixation base has a groove. The root has a basal concavity, separating the mesial lobe from the distal lobe (Fig. 5B₂ – 6B₂).

Remarks — Among Carcharhiniformes, the most abundant species is *Carcharhinus leucas*. Fossil teeth of this species were recently identified and reported in Lagoa Mirim, southern region of the RSCP by Lopes *et al.* (2020). Currently, this species is uncommon in the region, but historical records indicate it has been reported from the Patos Lagoon (Rio Grande do Sul), though the last specimen collected dates back to the 1980s and the last report of its occurrence along the shoreline of the state was in 1989 (Soto and Nisa-Castro-Neto, 1993; Soto, 2001a; Soto and Mincarone, 2004; Chelotti and Santos, 2020). As observed in the Northern Hemisphere, *Carcharhinus leucas* migrates seasonally along the southwestern coast of the South Atlantic Ocean during the spring and summer (Anderson *et al.*, 2005; Anderson *et al.*, 2015). The lower temperatures of the current water masses occurring nowadays in the coast of Rio

Grande do Sul, would be a limiting factor for the distribution of this tropical species, but there are records of *Carcharhinus leucas* in Argentina and Uruguay (Chiaramonte, 1998; Anderson *et al.*, 2005a; Menni & Lucifora, 2007; Anderson *et al.*, 2015; Gausmann, 2021).

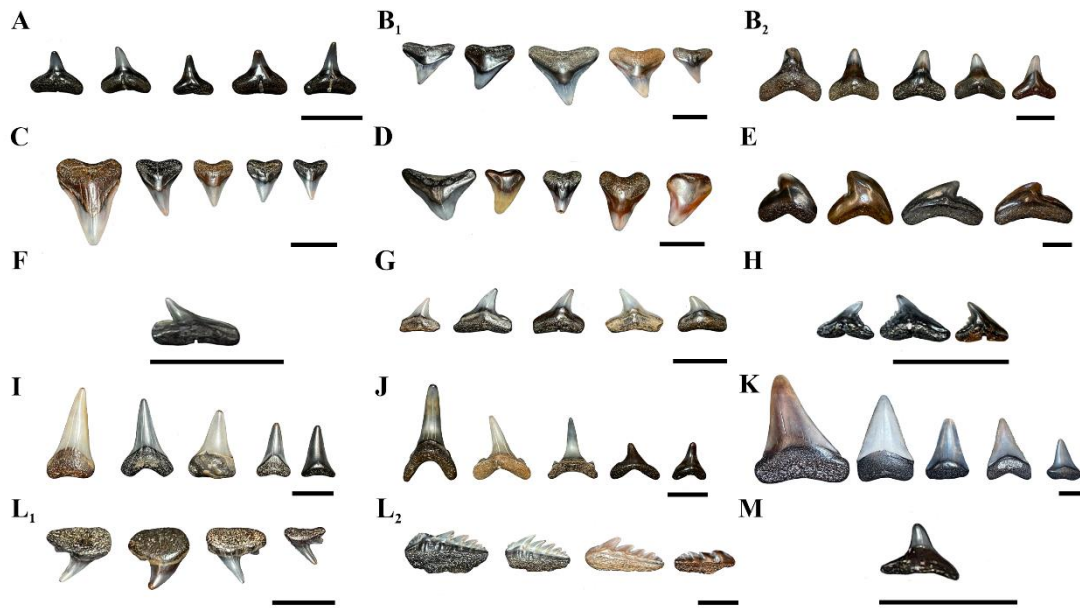


Figure 5. Selected shark teeth from the Rio Grande do Sul Coastal Plain (Quaternary) in lingual view: (A) *Carcharhinus brachyurus* lower teeth (LGP/C119, LGP/C238, and LGP/C473); (B₁) *Carcharhinus leucas* upper teeth (LGP/C017, LGP/C220, and LGP/C306); (B₂) *Carcharhinus leucas* lower teeth (LGP/C030, LGP/C057, LGP/C083, and LGP/C246); (C) *Carcharhinus longimanus* upper teeth (LGP/C409 and LGP/C477); (D) *Carcharhinus* sp. (LGP/C217, LGP/C262, LGP/C408, LGP/C52, LGP/C559); (E) *Galeocerdo cuvier* (LGP/C009, LGP/C010, LGP/C73, LGP/C124, and LGP/C188); (F) *Rhizoprionodon* sp. (LGP/C136); (G) *Sphyrna* sp. (LGP/C207, LGP/C229 e LGP/C402); (H) *Galeorhinus galeus* (LGP/C135, LGP/C235 e LGP/C554); (I) *Isurus oxyrinchus* (LGP/C004 and LGP/C459); (J) *Carcharias taurus* (LGP/C125, LGP/C241, LGP/C250, LGP/C367, and LGP/C379); (K) *Carcharodon*

carcharias (LGP/012, LGP/C032, LGP/C060, LGP/C064, and LGP/C079); (L₁)

Notorynchus cepedianus upper teeth (LGP/C121, LGP/C122, LGP/C242 e LGP/C330);

(L₂) *Notorynchus cepedianus* lower teeth (LGP/C529); (m) *Squatina* sp. (LGP/C204).

Scale: 1 cm.

Carcharhinus longimanus (Poey, 1861)

Current distribution — The Oceanic Whitetip Shark is a strictly oceanic species (Fig. 4), rarely approaching the coast, with its distribution worldwide in tropical and temperate with a preference for surface waters (Howey-Jordan *et al.* 2013; Cardoso and Haimovici, 2015; D'Alberto *et al.* 2017).

Description — A total of 44 upper teeth were analyzed. The teeth had a wide and triangular crown, slightly narrower at the base and wider at the center. The crown is slightly tilted towards the edge. The root is wide in comparison to the crown and has a slight bifurcation, forming a basal concavity. There is a central foramen in lingual view of the root (Fig. 5C – 6C).

Remarks — The occurrence of *Carcharhinus longimanus* is noteworthy, as there are no records in the literature of fossils related to this species in the RSCP to date. Thus, the specimens described here represent the first fossil record of this species for the region. Currently, the species does not occur in the region, being abundant in the oceanic region of the southern Brazilian coast (Compagno *et al.*, 2005).

Carcharhinus sp.

Current distribution — Currently, 19 species of the genus *Carcharhinus* occur on the southern coast of Brazil, with different distributions and water body preferences.

Description — A total of 409 teeth have a high degree of abrasion, which did not allow the identification of specimens to the level of species. In general, these teeth have a triangular and narrow crown, with their mesial side tilted towards the distal edge. Most of the material do not have a root, but those that still had the structure showed a fragmented root that did not preserve its original shape (Fig. 5D – 6D). Due to the great variability of shapes, it was not possible to classify heterodonty and the type of dentition according to function.

Remarks — The Carcharhiniformes Order presented the greatest taxonomic richness, though the species identified showed a small sample size. A significant number of materials could not be identified to the level of species, restricting identification to the genus *Carcharhinus* sp. It occurs because the dentition of the species within this genus is strongly similar in morphology (Naylor and Marcus, 1994). As most of the diagnostic traits were lost in abrasive processes caused by hydrodynamics in the environment, it was not possible to identify their corresponding species for much of the teeth.

Genus *Galeocerdo* Müller & Henle, 1837

Galeocerdo cuvier (Peron and LeSueur, 1822)

Current distribution — Commonly called the Tiger Shark, this species has a circumglobal distribution in tropical and warm temperate oceans (Compagno, 2005), on the continental shelf and oceanic region, in the pelagic zone (Fig. 4).

Description — A total of 18 teeth analyzed. These teeth are robust, with a noticeably curved crown towards the distal side, a deep gash, and marked serrations at the base of the crown, belonging to the distal region. The root is markedly bifurcated, forming an arch (basal concavity) between the distal and mesial lobes. Some specimens had a well-defined central foramen. The teeth are convex in lingual view and gently concave in

labial view (Fig. 5E – 6E). This is a *sensu stricto* cutting type of dentition, and the species shows monognathic heterodonty.

Remarks — The fossil occurrence of *Galeocerdo cuvier* is noteworthy. With a low number of specimens, the large and robust teeth of this species are uncommon in the RSCP. Since the occurrence of this species is currently considered sporadic along the coast of Rio Grande do Sul (Vooren and Oddone, 2019), fossil teeth of this taxon have already been reported in the RSCP by other authors (Buchmann and Rincón, 1997; Buchmann, 2002; and Lima and Buchmann, 2005).

Genus *Rhizoprionodon* Whitley, 1929

Rhizoprionodon sp.

Current distribution — This genus is abundant in the continental shelves of the north and south of Brazil, occurring up to the 200 m isobath (Fig. 4), and having distribution in tropical waters (Gadig, 2001; Rosa *et al.*, 2004; Compagno *et al.*, 2005; Vooren and Oddone, 2019).

Description — Only one tooth was identified. It shows a single slender cusp with a wide base, tilted towards the distal region and slightly convex. In the distal region, the crown presents a slight elevation, called shoulder. The crown in lingual view presents a small elevation. The root is wide and straight, elevated in lingual view (Fig. 5F – 6F).

Dentition seems to be grasping, but due to the presence of only a single specimen, it was not possible to evaluate the heterodonty of the taxon. Since, the species present in this genus can present dentition with sexual heterodontia, monognathic or dignathic.

Remarks — The presence of the taxon *Rhizoprionodon* sp. is remarkable, as there are no records in the literature of fossils related to this taxon along the RSCP to date. Thus, the specimens described here represent the first fossil record of this genus for the region.

There are currently two species of this genus occurring in the region, being abundant on the continental shelves of southern Brazil (Gadig, 2001; Rosa *et al.*, 2004; Compagno *et al.*, 2005; Vooren and Oddone, 2019).

Family Sphyrnidae Gill, 1872

Genus *Sphyrna* Rafinesque, 1810

Sphyrna sp.

Current distribution — Called Hammerhead Shark, currently two species are recorded at the coast of southern Brazil, and both of them are pelagic, occurring on the continental shelf and in the ocean (beyond the 600 m isobath) (Fig. 4), with a distribution in temperate and tropical waters (Compagno, 2005; Weigmann, 2016; Vooren and Oddone, 2019).

Description — A total of 63 teeth were identified with a triangular, narrow, and long crown that is slightly tilted towards the distal region. The edges of the crown are smooth, but the basal portion is slightly serrated. The root is gently bifurcated, forming a basal concavity. A nutritive groove and central foramen are present (Fig. 5G – 6G). This is a grasping type of dentition, and the species shows dignathic heterodonty.

Remarks — The presence of the taxon *Sphyrna* sp. draws attention, as there are no records in the literature of fossils related to this taxon along the RSCP to date. Thus, the specimens described here represent the first fossil record of these species for the region. There are currently populations of these species occurring in the region. For *Sphyrna* sp., two species are recorded at the coast of southern Brazil (*S. lewini* and *S. zygaena*) (Vooren and Oddone, 2019). However, teeth of these two species have great morphological similarities, which make it impossible to identify the taxa in the fossil materials.

Family Triakidae Gray, 1851

Genus *Galeorhinus* Blainville, 1816

Galeorhinus galeus (Linnaeus, 1758)

Current distribution — Commonly called Tope Shark. It is a demersal species that occurs on the continental shelf and slope (between the 200 and 600m isobaths) (Fig. 4) and prefers temperate waters (Ferreira and Vooren, 1991; Compagno *et al.*, 2005; Vooren and Oddone, 2019).

Description — Only three teeth were identified as belonging to this species. They showed an elevated main cusp, reclined towards the distal portion. In the distal-basal portion there are small basal cusps and, though it is not a serrated projection of the main cusp, we suppose they could function as coarse serrations. The root is elevated in lingual view, with a well-defined nutritive groove, separating the mesial and distal lobes (Fig. 5H – 6H). Dentition seems to be grasping, and the species shows dignathic heterodonty.

Remarks — Among the other identified species of Carcharhiniformes, the presence of *Galeorhinus galeus* is notable because there are no records in the literature of fossils related to this taxon in the RSCP. Thus, the material identified and described here represents the first fossil record of this species for the region. Currently, there is a resident population of this species with breeding records off the coast of Rio Grande do Sul (Compagno *et al.*, 2005; Vooren and Oddone, 2019).

Order Lamniformes Berg 1958

Family Lamnidae

Genus *Isurus* Rafinesque 1810

Isurus oxyrinchus Rafinesque, 1809

Current distribution — Popularly known as the Shortfin Mako. The species is epipelagic to mesopelagic, found worldwide in tropical and warm-temperate (Weigmann, 2016; Ebert *et al.* 2021). Currently, has a distribution across the continental shelf and oceanic region (outside the 200 m isobath), with occurrence of resident population (Fig. 4) (Vooren and Oddone, 2019).

Description — 80 teeth analyzed. The teeth have long and slender crowns, which are slightly oblique and with distally curved tips. Some cusps presented striations that begin at the base of the crown, and there are no serrations on the sides of the crown. The roots were, in general, fragmented, but in some teeth it is possible to observe the presence of a basal concavity on the root (Fig. 5I – 6I). This is a tearing type of dentition, and the species shows monognathic heterodonty.

Remarks —The sample number of the fossil teeth found was relatively low, compared to the other identified species of the same Order. Most of the material was eroded and lacks the root. The few specimens indicate, indirectly, that during the Quaternary there were populations of this species inhabiting the continental shelf of south Brazil.

Previous studies carried out in the same region have already reported the occurrence of fossil teeth of this species, but always with a low sample size, as reported by Buchmann and Rincon (1997) and Richter (2000). However, in current times, *Isurus oxyrinchus* occurs in Southwest Atlantic, having a small resident population with a reproductive record in the study area, and is targeted by pelagic longline fisheries in the region (Mas, 2012; Vooren and Oddone, 2019).

Family Odontaspidae Müller and Henle, 1839

Genus *Carcharias* Rafinesque, 1810

Carcharias taurus Rafinesque, 1810

Current distribution — Popularly known as the sand tiger shark, these organisms inhabit tropical and temperate coastal waters. The species is demersal and pelagic in tropical and temperate seas on the continental shelf from the surf zone to a depth of 200 m (Weigmann, 2016; Ebert *et al.* 2021; Fig. 4).

Description — A total of 2,027 teeth were identified as belonging to this species. The teeth are composed by an elongated and sharp crown (main cusp), with smooth edges and without serrations, accompanied by small accessory cusps on each side of the main cusp. In some teeth, there are longitudinal striations in the main cusp. The root is markedly bifurcated, forming a basal concavity, composed by a mesial and a distal lobe that are, usually, asymmetrical. A central foramen is observed in the root (Fig. 5J – 6J). This is a tearing type of dentition, and the species shows monognathic heterodonty.

Remarks — The species *Carcharias taurus* is the most abundant taxa in the entire collection. Its elongated and sharp teeth have been collected and recorded numerous times by other authors along the RSCP (Richter, 1987; Buchmann, 1994; Buchmann and Rincon, 1997; Richter, 2000; Buchmann, 2002; Cruz *et al.* 2016). Currently, this species has a resident, but decreasing population occurrence on the southern coast of Brazil (Vooren and Oddone, 2019), being classified as critically endangered (ICMBio, 2016; Santos *et al.*, 2020). The fossil record of *Carcharias taurus* and its modern occurrence may indicate, indirectly, the existence of abundant populations in the shelf waters of the region during the Quaternary.

Genus *Carcharodon* Smith, 1838

Carcharodon carcharias (Linnaeus, 1758)

Current distribution — Known as the Great White Shark, this species is known to be cosmopolitan and epipelagic, occurring in continental shelf and oceanic region (outside the 200 m isobath) (Fig. 4) of temperate waters, and its occurrence along the Brazilian coast is considered rare (Soto, 2001; Amorim *et al.* 2018; Rigby *et al.* 2019; Vooren and Oddone, 2019).

Description — This species was represented by 283 wide and elongated teeth. The crown is triangular in shape and its edges are coarsely serrated. Some specimens showed longitudinal striations starting at the base of the cusp. The root is robust and short, with a slight basal concavity, forming mesial and distal lobes. Teeth are convex in lingual view and slightly concave in labial view (Fig. 5K – 6K). This is a tearing type of dentition, and the species shows monognathic heterodonty.

Remarks —. It is notable that the occurrence of this species is currently considered rare along the Rio Grande do Sul coast. The species is known to be cosmopolitan and a typical nomadic predator, remaining for short periods in each location (Compagno, 2001; Estrada *et al.*, 2006). This could suggest a higher frequency of occurrence of this species on the Brazilian coast during the Pleistocene and that the surface water masses in the region would be colder than today (Wefer *et al.* 1996; Chapori *et al.* 2015), favoring the occurrence of these animals. Indeed, paleoclimate studies using geochemical proxies have shown that the global climate was cooler during the LGM, with average temperatures between 4°C to 6.1°C cooler when compared to current average temperatures (Ruddiman, 2014; Tierney *et al.* 2020). Richter (1987), Buchmann and Tomazelli (1999), Richter (2000), Buchmann (2002) and Lopes *et al.* (2016) collected and identified fossil teeth of this species on the southern coast of Brazil, corroborating the idea that the species was present in the region during the early Quaternary.

Order Hexanchiformes Buen, 1926

Family Hexanchidae Gray, 1851

Genus *Notorynchus* Ayres, 1855

Notorynchus cepedianus (Peron, 1807)

Current distribution — Popularly known as Broadnose Sevengill Shark. The species currently has a broad distribution along the continental shelf of Rio Grande do Sul (up to the 200 m isobath) (Fig. 4), with record of a resident population that performs migration during winter (Compagno, 2005; ICMBio, 2018; Vooren and Oddone, 2019).

Description — A total of eight teeth were analyzed regarding this species. This is a cutting-grasping type of dentition, and the species shows dignathic heterodonty. The six upper teeth are composed of an elongated/slender and smooth main cusp reclined towards the distal portion, and there are no serrations on the mesial edge of the cusp. Small cusps were observed on the distal-basal portion, ranging from one to two. The roots were, in general, rectangular and flat, and their length does not exceed the size of the crown (apical portion). In addition, the root presented rich vascularization and multiple foramina were observed randomly scattered throughout the root (Fig. 5L₁ – 6L₁). The four lower teeth comprise several main cusps (up to seven), which were tilted towards the distal direction. The cusps become increasingly smaller towards the distal portion, such that the first cusp, located in the mesial portion, is larger than the last cusp, which is in the distal portion. The first cusp is serrated in the basal portion. The root, in general, is rectangular and can reach the same length as the crown or even longer. Moreover, the width of the root is greater in the region connecting the tooth's crown and smaller in the basal portion (Fig. 5L₂ – 6L₂).

Remarks — Regarding the Hexanchiformes, our sample yielded only one species, *Notorynchus cepedianus*. Their teeth are also considered rare in the RSCP, as observed in a previous study by Buchmann and Rincon (1997). The species currently has a resident population in the coast of southern Brazil that migrates during the winter (Compagno, 2005; ICMBio, 2018; Vooren and Oddone, 2019).

Order Squatiniformes Buen, 1926

Family Squatinidae Bonaparte, 1838

Genus *Squatina* Duméril, 1806

Squatina sp.

Current distribution — Currently, three endemic species of the genus *Squatina* sp. occur on the southern coast of Brazil, being predominantly at continental shelf (up to the 200 m isobath), but commonly between 50 and 100 m depth (Fig. 4) (Vooren and Klippel 2005; Vooren and Oddone, 2019).

Description — Only two teeth identified. This is a cutting-grasping type of dentition and presents a small gradient monognathic heterodonty. The analyzed tooth has a cusp is smooth, rounded, and slightly curved towards the distal portion. The root is elongated and slightly rounded, with the subtle presence of a central foramen. The root has a projecting bulge below the crown, in labial view. The base of the root is slightly concave (Fig. 5M – 6M).

Remarks —The small fossil teeth attributed to this taxon are a rare record for the region, as there is no record in the literature of fossils related to this genus for RSPC. However, currently, three endemic species of the genus *Squatina* sp. occur on the southern coast of Brazil (Vooren and Klippel 2005; Vooren and Oddone, 2019). Genetic studies conducted on the species *Squatina guggenheim*, showed that low level of genetic

diversity would correlate with a population decline that occurred in the past, compatible with major environmental changes that occurred in the Quaternary (Garcia *et al.*, 2014). According to Garcia *et al.* (2014) during this period, all environments were affected by fluctuations in mean sea level and climate, influencing the population decline of this taxon on the southern coast of Brazil. This would explain the low sample number of fossils related to this taxon.

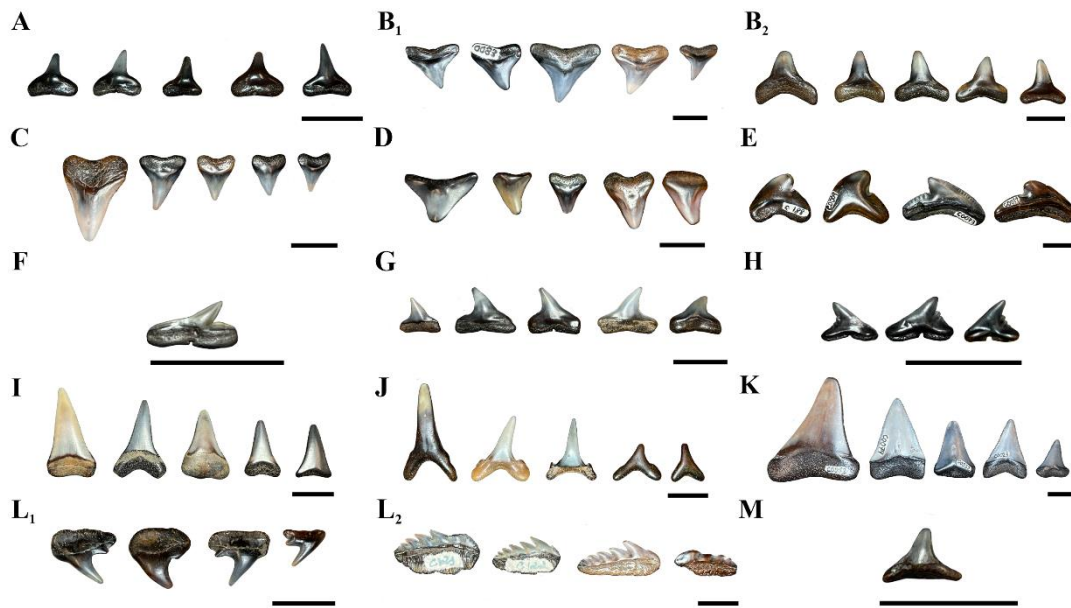


Figure 6: Selected shark teeth from the Rio Grande do Sul Coastal Plain (Quaternary) in labial view : (A) *Carcharhinus brachyurus* lower teeth (LGP/C119, LGP/C238, and LGP/C473); (B₁) *Carcharhinus leucas* upper teeth (LGP/C017, LGP/C220, and LGP/C306); (B₂) *Carcharhinus leucas* lower teeth (LGP/C030, LGP/C057, LGP/C083, and LGP/C246); (C) *Carcharhinus longimanus* upper teeth (LGP/C409 and LGP/C477); (D) *Carcharhinus* sp. (LGP/C217, LGP/C262, LGP/C408, LGP/C52, LGP/C559); (E) *Galeocerdo cuvier* (LGP/C009, LGP/C010, LGP/C73, LGP/C124, and LGP/C188); (F) *Rhizoprionodon* sp. (LGP/C136); (G) *Sphyrna* sp. (LGP/C207, LGP/C229 e LGP/C402); (H) *Galeorhinus galeus* (LGP/C135, LGP/C235 e LGP/C554); (I) *Isurus oxyrinchus* (LGP/C004 and LGP/C459); (J) *Carcharias taurus*

(LGP/C125, LGP/C241, LGP/C250, LGP/C367, and LGP/C379); (K) *Carcharodon carcharias* (LGP/012, LGP/C032, LGP/C060, LGP/C064, and LGP/C079); (L₁) *Notorynchus cepedianus* upper teeth (LGP/C121, LGP/C122, LGP/C242 e LGP/C330); (L₂) *Notorynchus cepedianus* lower teeth (LGP/C529); (m) *Squatina* sp. (LGP/C204).
Scale: 1 cm.

4.2 Quantitative analysis of the identified taxa

Among the teeth found in the Rio Grande do Sul Coastal Plain, the most abundant belong to Lamniformes (2,390 teeth), representing a total of 66.18% of the fossil records present in the collection. Followed by Carcharhiniformes (22.73%, 821 teeth analyzed), Hexanchiformes, and Squatiniformes (respectively, 0.27% and 0.05%) (Fig. 7A). Considering Superorders, the most relevant was Galeomorphii, which showed the greatest number of materials and variety of species identified, while Squalomorphii was the least represented in the collection.

In total, 2,748 teeth (76.10%) were identified to the level of species, while 475 (13.15%) were identified to the level of genus. Due to the destruction caused by marine taphonomic processes, 388 fossil teeth (10.74%) could not be identified. Among the identified taxa, the most abundant species was *Carcharias taurus*, with 2,027 teeth (56.13%), followed by *Carcharhinus* sp., with 409 teeth (11.33%), and *Carcharodon carcharias* with 283 (7.84%). The other remaining species combined represented 14.40% of the collection material (Fig. 7B).

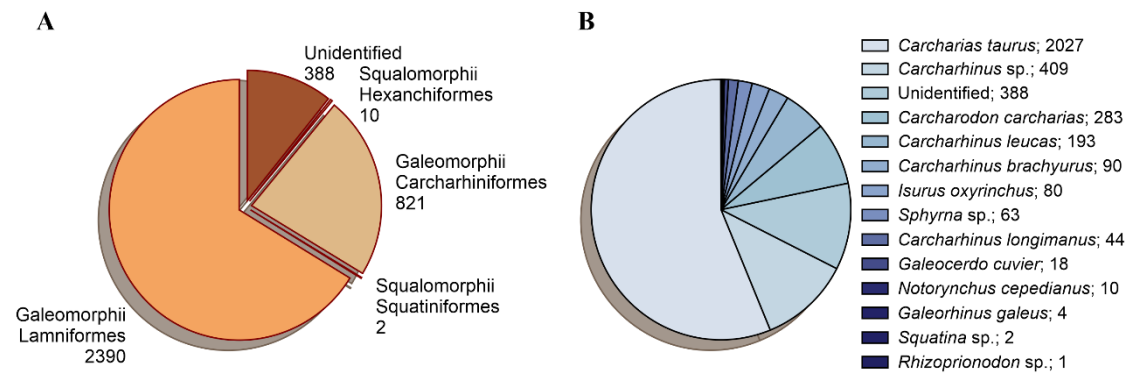


Figure 7: Graphic representation of the distribution of the studied material. (A) Amount of fossil shark teeth per Order; (B) absolute frequency of taxa identified according to the amount of fossil teeth.

5. Discussion

The material studied here were found isolated and *ex situ*, precluding us to correlate the high number of fossil teeth either to the abundance and diversity of the mentioned species during the Quaternary or to time and spatial averaging processes. Additionally, the great quantity of teeth of some species could indicate a possible sampling bias, because the most collected teeth are relatively larger and more robust, which would make it easier to visualize during sampling. However, this hypothesis needs to be analyzed and discussed more deeply in future studies.

The identification of fossil teeth shows an abundant and varied faunal composition for Neoselachii of south Brazil during the Quaternary. However, among the Orders identified in the present work, the Order Lamniformes draws attention for presenting a larger number of fossil teeth than the others.

The presence of low numbers of fossil specimens of the taxa *Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus longimanus*, *Galeocerdo cuvier*, *Galeorhinus galeus*, *Notorynchus cepedianus*, *Rhizoprionodon* sp., *Sphyrna* sp., and *Squatina* sp. along the present-day

coast of the RSCP corroborates the climatic changes that occurred after the Last Maximum Glacial, and that the marine environment had slightly cooler characteristics than today. This caused the low occurrence of these populations in the Pleistocene-Holocene boundary compared to the occurrence and distribution of the species today. Since most of these species currently occur in subtropical zone (or warm temperate), the presence of these fossils may be related to the climatic variations that occurred in that period as a result of glacial and interglacial cycles (Corrêa, 1996; Suguio, 2005; Rabassa, 2011; Ruddiman, 2014; Lowe and Walker, 2015). The large climatic variability throughout the Quaternary (Suguio, 1999 and 2005; Souza, *et al.* 2005), would have controlled the periodicity of occurrence and distribution of these species in the region. This could indicate that during cold periods (glacial periods) species from subtropical and temperate zones would occur more frequently in the region, such as *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias* and *Isurus oxyrinchus*. While in warm periods (interglacial), it would make the environment more favorable for the occurrence and distribution of species that have preferences for tropical (or warm subtropical) waters, such as *Carcharhinus leucas* and *Galeocerdo cuvier*, tropical taxa that currently do not occur in the region. Furthermore, after the LGM, the last maximum marine transgression (about 6 – 5.5 ka B.P.) that occurred in the RSCP coincides with the Climatic Optimum, the warmest period of the last interglacial, characterized by higher annual mean annual temperature and atmospheric precipitation rates (Medeanic *et al.*, 2001; Souza *et al.* 2005). Additionally, the bioclastic deposits have no temporal structuring, and there is a temporal mixing between the different fossil materials. Another important point is the occurrence of fossils of oceanic species, such as *Carcharodon carcharias*, *Carcharhinus longimanus* and *Galeocerdo cuvier*. The presence of these fossils may be related to the variations in mean sea level that occurred

during the Quaternary. Thus, with the marine transgression events, the sea level was higher than it is today (Corrêa, 1990 and 1996), and consequently, the distribution of these taxa along the coastal platform of southern Brazil would have migrated further inland, making possible the greater occurrence of these taxa that are not common today. The teeth collected presented a high spatial and temporal mix, which makes it unfeasible to determine their age. Another factor is the exposure to which these materials are submitted after being reworked to the current shoreline and then collected, thus hindering the dating process. However, some materials either have fragments of sand aggregated or are adhered to coquinas, indicating that at least part of these materials are fossils and originate from several submerged deposits, with a high temporal mix.

6. Conclusions

The taxonomic groups identified from the fossil teeth collected in the Rio Grande do Sul Coastal Plain highlighted similarities between modern and past Neoselachii faunas. Almost all identified taxa still occur in the region, with the exception of *Carcharodon carcharias* and *Carcharhinus longimanus*, which currently prefer oceanic regions and are occasionally found in coastal waters. This similarity suggests a paleoenvironment with very similar characteristics to modern times, or slightly colder after the LGM. Once the climate was colder than the current climate, and considering the large fluctuations in climate and sea level that occurred during the Pleistocene-Holocene, this would explain the occurrence of fossils *Carcharodon carcharias* and the other taxa in the region. Since these climatic fluctuations altered the range of distribution of the organisms along the southern coast of Brazil, the occurrence of taxa from warmer waters occasionally became possible.

Among all the taxonomic groups described here, the presence of four species were particularly noteworthy. *Carcharias taurus* had the greatest number of fossil teeth identified in the collection, thus indirectly suggesting that this species was abundant during the Quaternary than the other taxa. The high occurrence of *Carcharodon carcharias* fossils was a striking finding, given that the occurrence of this species along the Brazilian coast is currently rare, indicates that this species was indeed abundant in the Quaternary. Which is confirmed when compared to *Galeocerdo cuvier*, that also has large and robust teeth, but the amount of fossil teeth in the collection was relatively small, allowing the inference that the species frequency in the Pleistocene was sporadic, as it is currently.

The fossil teeth attributed to *Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus longimanus*, *Galeorhinus galeus*, *Squatina* sp. and *Rhizoprionodon* sp. that were collected and reported in the present study are the first fossil records of this species in the RSCP, characterizing this species as rare. The remaining taxa with a small number of specimens identified were represented by very small teeth, which could be easily mistaken for shell fragments during sampling.

The fossil teeth collected *ex situ* along the current shoreline showed a large temporal and spatial mix. The lack of stratigraphic context does not allow identify from which submerged deposits these materials originated, as they come from different ones along the region between the municipalities of the Rio Grande – Santa Vitória do Palmar.

7. Acknowledgements

The authors are thankful to the LGP team for their support during field work, particularly Barbara Bonat and Vitória Machado, who also assisted in the process of measuring the materials. We are in debt to Rafaela Corrêa, who generated the graphics

in Python software and Dr. Taissa Rodrigues for comments on an earlier draft of the paper. This study was financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. The authors also acknowledge the resources provided by CAPES in support of the Postgraduate Program in Oceanology of FURG and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq; 409750/2016-6).

8. References

Amorim, A.F., Arfelli, C.A., Bornatowski, H., and Hussey, N.E. 2018. Rare giants? A large female great white shark caught in Brazilian waters. *Marine Biodiversity*, 48, 1687–1692. <https://doi.org/10.1007/s12526-017-0656-9>

Anderson, A.B., Carvalho-Filho, A., Morais, R.A., Nunes, L.T., Quimbayo, J.P and Floeter, S.R. 2015. Brazilian tropical fishes in their southern limit of distribution: checklist of Santa Catarina's rocky reef ichthyofauna, remarks and new records. – *Check List* 11 (4): 1688 (25pp.). <http://dx.doi.org/10.15560/11.4.1688>

Anderson, W.G., Good, J.P., Pillans, R.D., Hazon, N. and Franklin, C.E. 2005a. Hepatic urea biosynthesis in the euryhaline elasmobranch *Carcharhinus leucas*. – *Journal of Experimental Zoology* 303A: 917–921. <https://doi.org/10.1002/jez.a.199>

Angulo, R.J., and de Souza, M.C. 2014. Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 5(2).

Applegate, S.P. 1965. Tooth terminology and variation in sharks with special reference to the sand shark, *Carcharias taurus* Rafinesque. *Contributions in Science*, 1-18.

Applegate, S.P. 1967. A survey of shark hard parts. In: Gilbert, P.W. and Mathewson, R.F. and Rall, D.P. (eds.). *Sharks, skates and rays. John Hopkins Press, Baltimore*, 37–67.

Ávila, S. P., Ramalho, R., and Vullo, R. 2012. Systematics, palaeoecology and palaeobiogeography of the Neogene fossil sharks from the Azores (Northeast Atlantic). In *Annales de Paléontologie* (Vol. 98, No. 3, pp. 167-189). Elsevier Masson.

<https://doi.org/10.1016/j.annpal.2012.04.001>

Baum, J.K., Medina, E., Musick, J.A., and Smale, M. 2015. *Carcharhinus longimanus* (Oceanic Whitetip Shark, Whitetip Oceanic Shark, White-tipped Shark, Whitetip Shark). In ‘The IUCN Red List of Threatened Species’, Vol. 2015. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*.

Benton, M.J. 2008. Paleontologia dos vertebrados. *Atheneu*. São Paulo. 1º Ed. 464.

Buchmann, F.S.C. 1994. Distribuição dos fósseis Pleistocênicos na zona costeira e plataforma continental interna no Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 17(39/1), 355-364.

Buchmann, F.S.C. 2002. Bioclastos de organismos terrestres e marinhos na praia e plataforma interna do Rio Grande do Sul: natureza, distribuição, origem e significado geológico. Tese (Doutorado em Geociências). Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Buchmann, F.S.C. and Rincon, G. 1997. Fósseis de vertebrados marinhos do Pleistoceno superior na porção sul da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Notas Técnicas*, Porto Alegre, v. 10, p. 7-16.

Buchmann, F.S.C. and Tomazelli, J.L. 1999. Ocorrência de fósseis de tubarão branco (*carcharodon carcharias*) na porção sul e central da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil: considerações paleoclimáticas. In: *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA)*, 7. Porto Seguro.

Buchmann, F.S.C., Caron, F., Lopes, R.P., Ugri, A., and Lima, L.G. 2009. Panorama geológico da planície costeira do Rio Grande do Sul. *Quaternário Do Rio Grande Do Sul e Integrando Conhecimentos. Sociedade Brasileira de Paleontologia, Monografias*, 35-56.

Camhi, M. 1998. Sharks and their relatives: ecology and conservation (No. 20). *IUCN*.

Cappetta, H. 1986a. Types dentares adaptatifs chez les selaciens actuels et post-Paleozoiques. *Palaeovertebrata*, 16, 57-76.

Cardoso, L.G. and Haimovici, M. 2015. Peixes marinhos e estuarinos inclusos na portaria 445/2014 – MMA que ocorrem no Sul do Brasil. Rio Grande, 28p.

Chapori, N.G., Chiessi, C.M., Bickert, T., and Laprida, C. 2015. Sea-surface temperature reconstruction of the Quaternary western South Atlantic: New planktonic foraminiferal correlation function. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 425, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.02.027>

Chelotti, L.D. and Santos, P.R.S. 2020. Biodiversity and conservation of marine elasmobranchs in the extreme south of the Brazil, Southwestern Atlantic. – *Regional Studies in Marine Science* 38: 101371 (10pp.). <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101371>

- Chiaramonte, G.E. 1998. The shark genus *Carcharhinus* Blainville, 1816 (Chondrichthyes: Carcharhinidae) in Argentine waters. – *Marine and Freshwater Research* 49 (7): 747–752. <https://doi.org/10.1071/MF97249>
- Cocke, J. 2002. Fossil shark teeth of the world, United States of America, a collector's guide: torrance. *Lamna Books*, 170p.
- Compagno, L.J. 2001. Sharks of The World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Vol 2. bullhead, mackerel and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes). *FAO Species Catalogue for Fishery Purposes*, 1, Viii+-1.
- Compagno, L.J., Dando, M., and Fowler, S. 2005. A field guide to the sharks of the world. *Princeton University Press*, v. 38, 368p.
- Corrêa, I.C.S. 1990. Analyse morphostructurale et evolution paleogeographique de la plate-forme continentale atlantique sudbresilienne (Rio Grande Do Sul - Bresil). *Universite de Bourdeaux I*, Ph.D. thesis, 314 p.
- 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*, 130(1-2), 163-178.
- Craven, J., and Hogan, T. 2006. Beachcombing for fossils. *Science Scope*, 30(2), 66-69. Retrieved April 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/43181022>
- Cruz, E.A., Dillenburg, S.R., and Buchmann, F.S. 2016. Description and controls on distribution of Pleistocene vertebrate fossils from the central and southern sectors of the

coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 19(3), 425-438. <https://doi.org/10.4072/rbp.2016.3.08>

D'Alberto, B.M., Chin, A., Smart, J.A., Baje, L., White, W.T. and Simpfendorfer, C.A. 2017. Age, growth and maturity of oceanic whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*) from Papua New Guinea. *Marine and Freshwater Research* 68(6): 1118-1129.

Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., and Barboza, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203(1-2), 43-56.

Ebert, D.A., Dando, M., & Fowler, S. 2021. Sharks of the world: a complete guide. *Princeton University Press*.

Estrada, J.A., Rice, A.N., Natanson, L.J., and Skomal, G.B. 2006. Use of isotopic analysis of vertebrae in reconstructing ontogenetic feeding ecology in white sharks. *Ecology*, 87, 829–834. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[829:UOIAOV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[829:UOIAOV]2.0.CO;2)

Ferreira, B.P. 1992. Age, growth, and structure of vertebra in the school shark *Galeorhinus galeus* (Linnaeus, 1758) from southern Brazil. *Fish. Bull.*, 89, 19-32.

Fialho, P.R., Balbino, A.C., Legoinha, P., and Antunes, M.T. 2020. Shark fossil diversity (Squalomorphii, Squatinomorphii, and Galeomorphii) from the Langhian of Brielas (Lower Tagus Basin, Portugal). *Geological Journal*, 56(1), 405-421. <https://doi.org/10.1002/gj.3965>

Figueiredo Jr., A.C. 1975. Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, M.Sc. thesis, 72 p.

- Gadig O.B.F. 2001. Tubarões da costa brasileira. 343p. PhD thesis. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. São Paulo.
- Garcia, G., Pereyra, S., Gutierrez, V., Oviedo, S., Miller, P., and Domingo, A. 2014. Population structure of *Squatina guggenheim* (Squatiniformes, Squatinidae) from the south-western Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 86(1), 186–202.
<https://doi.org/10.1111/jfb.12560>
- Gausmann, P. 2021. Synopsis of global fresh and brackish water occurrences of the bull shark *Carcharhinus leucas* Valenciennes, 1839 (Pisces: Carcharhinidae), with comments on distribution and habitat use. *Integrative Systematics: Stuttgart Contributions to Natural History*, 4(1), 55-213. <https://doi.org/10.18476/2021.423083>
- Guinot, G., Adnet, S., and Cappetta, H. 2012. An analytical approach for estimating fossil record and diversification events in sharks, skates and rays. *PLOS ONE*, 7(9): e44632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044632>
- Howey-Jordan, L.A., Brooks, E. J., Abercrombie, D.L., Jordan, L.K.B., Brooks, A., Williams, S., Gospodarczyk, E., and Chapman, D.D. 2013. Complex movements, philopatry and expanded depth range of a severely threatened pelagic shark, the oceanic whitetip (*Carcharhinus longimanus*) in the western North Atlantic. *PLoS One* 8, e56588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056588>
- ICMBio. 2016. Avaliação do risco de extinção dos elasmobrânquios e quimeras no brasil: 2010-2012. Instituto Chico Mendes De Conservação Da Biodiversidade. Centro Nacional De Pesquisa E Conservação Da Biodiversidade Marinha Do Sudeste E Sul. Itajaí, SC. Disponível em:

http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/trabalhos_tecnicos/pub_2016_avaliacao_elasmo_2010_2012.pdf

ICMbio. 2018. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI – Peixes. (Elasmobranchs - several species assessments) 1. ed. Brasília, DF. Disponível em: http://www.lesbio.ufscar.br/assets/livro_vermelho_2018_vol6.pdf. Access: 19/07/2022.

Ivanov, A. 2005. Early Permian chondrichthyans of the middle and south Urals. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 8(2), 127-138.

Kardong, K.V. 2016. Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução. 5ª edição. Editora Roca, São Paulo. 913pp.

Laurini, C.R. 2010. Elasmobrânquios fósseis da Serra do Cadeado, estado do Paraná (formação Rio do Rasto, permiano superior). Dissertação (Mestrado em Biologia Comparada). Programa De Pós-Graduação Em Biologia Comparada. Universidade de São Paulo.

Lopes, M.S., Bertucci, T.C.P., Rapagnã, L., Tubino, R.A., Monteiro-Neto, C.; Tomas, A.R.G., Tenório, M.C., Lima, T., Souza, R., Carrillo-Briceño, J.D., Haimovici, M., Macario, K., Carvalho, C. and Socorro, O.A. 2016. The path towards endangered species: prehistoric fisheries in southeastern Brazil. *PLoS One*, 11, e0154476.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154476>

Lowe, J.J. and Walker, M. 2014. Reconstructing Quaternary environments (3rd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315797496>

- Mas, F. 2012. Biodiversidad, abundancia relativa y estructura poblacional de los tiburones capturados por la flota de palangre pelágico en aguas uruguayas durante 1998-2009. Tesina de Grado, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.
- Medeanic, S. *et al.* 2008. Os fitólitos em gramíneas de dunas no extremo sul do Brasil: variabilidade morfológica e importância nas reconstruções paleoambientais costeiras. Porto Alegre: *Gravel*, v. 6, n 2, p.1-14.
- Menni, R.C. and Lucifora, L.O. 2007. Condrictios de la Argentina y Uruguay: lista de trabajo. – *ProBiota, Serie Técnica–Didáctica* 11: 1–15.
- Moura, J.R.S. de. 1994. Geomorfologia do Quaternário. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da (Orgs.): Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 4ª edição. Rio de Janeiro: *Bertrand Brasil*, p.355-364.
- Musyl, M.K., Brill, R.W., Curran, D.S., Fragoso, N.M., McNaughton, L.M., Nielsen, A., Kikkawa, B.S., and Moyes, C.D. 2011. Postrelease survival, vertical and horizontal movements, and thermal habitats of five species of pelagic sharks in the central Pacific Ocean. *Fishery Bulletin* 109, 341–368.
- Naylor, G.J.P. and Marcus, L.F. 1994. Identifying isolated shark teeth of the genus *Carcharhinus* to species: relevance for tracking phyletic change through the fossil record. *American Museum of Natural History*, ISSN 0003-0082, n. 3109, p. 1-53.
- Dulvy, N.K., Fowler, S.L., Musick, J.A., Cavanagh, R. D., Kyne, P.M., Harrison, L.R., Carlson, J.K., Davidson, L.N.K, Fordham, S.V, Francis, M.P., Pollock, C.M., Simpfendorfer, C.A., Burgess, G.H., Carpenter, K.E. Compagno, L.J.V., Ebert, D.A., Gibson, C., Heupel, M.R., Livingstone, S.R., Sanciangco, J.C., Stevens, J.D., Valenti, S.

and White, W.T. 2014. Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife*. 3:e00590: <https://doi.org/10.7554/eLife.00590>

Rabassa, J. 2011. Late Cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in quaternary sciences*, 11, 151-204. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2011.01681.x>

Richter, M. 1987. Osteichthyes e Elasmobranchii (pisces) da bacia de Pelotas, Quaternário de rio grande do sul, Brasil. *Paula-coutiana*, 1, 17-38.

Richter, M. 2000. Peixes fósseis do Rio Grande do Sul. *Paleontologia do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 162-175.

Richter, M. 2011. Ágnatos e peixes. In: Carvalho, I. S (Org.) *Paleontologia: Paleovertebrados, Paleobotânica*. Volume 3. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência. P. 37-59.

Rigby, C.L., Barreto, R., Carlson, J., Fernando, D., Fordham, S., Francis, M.P., Herman, K., Jabado, R.W., Liu, K.M., Lowe, C.G, Marshall, A., Pacoureaux, N., Romanov, E., Sherley, R.B. and Winker, H. 2019. *Carcharodon carcharias*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T3855A2878674. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T3855A2878674.en>

Ritter, E.K., and Amin, R.W. 2019. Mating scars among sharks: evidence of coercive mating?. *Acta Ethologica*, 22(1), 9-16. <https://doi.org/10.1007/s10211-018-0301-z>

Rodrigues-Filho, L.F.S. and de Luna Sales, J.B. 2017. Chondrichthyes - multidisciplinary approach. 1. ed. *Rijeka: InTech*, 2017. v. 1. 134p. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/65879>

Rosa, R.S., Gadig, O.B.F., Santos Motta, F. and Namora, R.C. 2004. *Rhizoprionodon lalandii*. The IUCN Red List of Threatened Species. Disponível em 18 de outubro de 2019: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T44666A10922264.en>

Ruddiman, W.F. 2014. Earth's climate: past and future. *W. H. Freeman and Company*, 3rd. New York.

Sallan, L.C., and Coates, M.I. 2014. The long-rostrum elasmobranch *Bandringa Zangerl, 1969*, and taphonomy within a Carboniferous shark nursery. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34(1), 22-33. <https://doi.org/10.1080/02724634.2013.782875>

Sant'anna Neto, J.L. and Nery, J.T. 2005. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In: Souza, C.R. De G.; Suguio, K.; Oliveira, A.M. Dos S.; De Oliveira, P.E. Quaternário do Brasil. *Ribeirão Preto: Holos*. p.28-51.

Santos, M.C., Faria-Junior, E. and Freitas, R.H.A. 2020. Reconhecimento etnoecológico sobre o tubarão-mangona *Carcharias taurus* sob a perspectiva de pescadores artesanais da grande Florianópolis-SC, Brasil. *Revista Nordestina de Biologia*, 27(1), 143–157.

Shimada, K. 2002. Dental homologies in lamniform sharks (Chondrichthyes: Elasmobranchii). *Journal of Morphology*, 251(1), 38-72.

Snelson, F.F.; Mulligan, T.J. and Williams S.E. 1984. Food habits, occurrence and population structure of the bull shark *Carcharhinus leucas*, in Florida coastal lagoons. *Bull. Mar. Sci.* v. 34, n. 1, p. 71-80.

Soto, J.M.R. 2001. Annotated systematic checklist and bibliography of the coastal and oceanic fauna of Brazil. *Mare Magnum*, 51, 120.

- Soto, J.M.R. and Mincarone, M.M. 2004. Collections of the museu oceanográfico do vale do Itajaí 1. Catálogo of cartilaginous fishes (Myxini, Cephalaspidomorphi, Elasmobranchi, Holocephali). *Maré Magnum*, 2 (1-2) 1-25.
- Soto, J.M.R. and Nisa-Castro-Neto, W. 1993. Sobre a presença de *Carcharhinus leucas* (Valenciennes, 1839) no litoral do Rio Grande do Sul e Lagoa dos Patos. In: *Resumos da 6ª Reunião do Grupo de Trabalho sobre Pesca e Pesquisa de Tubarões e Raias no Brasil*. Santos: IPESCA, 35.
- Soto, J.M.R., Vooren, C.M., Oddone, M.C., Barreto, R.R.P. and Lessa, R.P.T. 2018. *Notorynchus Cepedianus*. In: instituto chico mendes de conservação da biodiversidade (Org.). *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI - Peixes*. Brasília: ICMBio. p. 1001-1003.
- Souza, C.R. de G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M. dos S.; DE OLIVEIRA, P.E. 2005. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos. 382p.: il.; 28.
- Stehmann, M. 1988. Contributions to the study of the comparative morphology of teeth and other relevant ichthyodorulites in living supraspecific táxons of Chondrichthyan fishes. Part A: Selachii. No 2a: Order: Carcharhiniformes – Family: Triakidae. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*. Biologie 58: 99-126.
- Suguio, K. 1999. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado+presente=futuro?. São Paulo (Brasil): *Paulo's Editora*, 336 p.
- Tierney, J.E., Zhu, J., King, J., Malevich, S.B., Hakim, G.J. and Poulsen, C.J. 2020. Glacial cooling and climate sensitivity revisited. *Nature*. 584, 569–573, <http://doi.org/10.1038/s41586-020-2617-x>

Tomazelli, L.J. and Villwock, J.A. 2000. O Cenozoico do Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira. In: Holz, M., and De Ros, L.F. Geologia do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, Brazil. p. 375-406.

Tomazelli, L.J. and Dillenburg, S.R. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil. *Marine Geology*, 244 (1-4), 33 – 35.

Tomazelli, L.J., Villwock, J.A., Dillenburg, S.R., Bachi, F.A. and Dehnhardt, B.A. 1997. A erosão costeira e a transgressão marinha atual na costa do Rio Grande do Sul. Resumos Expandidos, 6º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Curitiba, *ABEQUA*. 1: 415-419.

Tomazelli L.J., Villwock J.A., Dillenburg S.R., Bachi F.A. and Dehnhardt B.A. 1998. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 70(2): 221–229.

Underwood, C.J. 2006. Diversification of the Neoselachii (Chondrichthyes) during the Jurassic and Cretaceous. *Paleobiology*, 32 (2): 215–235.

Villwock J.A. and Tomazelli L.J. 1995. Geologia costeira do rio grande do sul. *Notas Técnicas* 8:1–45.

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn, N.O., Bachi, F.A. and Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: Rabassa, J. (Ed.), Quaternary of south america and antarctic peninsula. *A.A. Balkema, Rotterdam*, Pp. 79–97.

- Visaggi, C.C. and Godfrey, S.J. 2010. Variation in composition and abundance of Miocene shark teeth from Calvert Cliffs, Maryland. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30:1, 26-35.
- Vooren C.M. and Klippel S. 2005. Ações para a conservação de tubarões e raias no sul do Brasil. Porto Alegre: Igaré;
- Vooren, M.C. and Oddone, M.C. 2019. La diversidad de los condriictios del extremo sur de Brasil: las especies, sus orígenes, y sus modos reproductivos. In: Ciencias Marino-Costeras En El Umbral Del Siglo XXI, Desafíos En Latinoamérica Y El Caribe, Editorial AGT Editorial SA, México DF, México, p. 171 – 205.
- Walker, T.I., Cavanagh, R.D., Stevens, J.D., Carlisle, A.B., Chiaramonte, G.E., Domingo, A., Ebert, D.A., Mancusi, C.M., Massa, A., McCord, M., Morey, G., Paul, L.J., Serena, F. and Vooren, C.M. 2006. *Galeorhinus galeus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2006. Disponível em 18 de outubro de 2019 em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2006.RLTS.T39352A10212764.en>
- Wefer, G., Berger W.H., Sieoler, G., Webb, O.J. 1996. The south atlantic: present and past circulation. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, pp 461-502
- Weigmann, S. 2016. Annotated checklist of the living sharks, batoids and chimaeras (Chondrichthyes) of the world, with a focus on biogeographical diversity. *Journal of Fish Biology* 88.3: 837-1037.
- Welton, B.J. and Farish, R.F. 1993. The collector's guide to fossil sharks end says from the Cretaceous of Texas. *Before Time*. Texas. 204.

Young, C.N. and Carlson, J.K. 2020. The biology and conservation status of the oceanic whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*) and future directions for recovery. *Rev Fish Biol Fisheries*. 30, 293–312. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09601-3>

Capítulo V: Artigo Científico 2

O segundo manuscrito, de autoria de Sheron Greice Medeiros Botelho, Heitor Francischini, Maria Cristina Oddone, Luís Gustavo Cardoso e Paula Dentzien-Dias, é intitulado “**Descrição Morfológica e Identificação de Centros Vertebrais Fósseis de Tubarões (Neoselachii) do Sul do Brasil, Quaternário.**” e será submetido para publicação no periódico “**Revista Brasileira de Paleontologia**” (Qualis-CAPES B2 na área de Geociências) e abordará a descrição morfológica dos centros vertebrais e classificação dos morfotipos identificados. A formatação está de acordo com o solicitado pela revista.

Descrição Morfológica e Identificação de Centros Vertebrais Fósseis de Tubarões (Neoselachii) do Sul do Brasil, Quaternário.

SHERON MEDEIROS¹, HEITOR FRANCISCHINI², MARIA CRISTINA ODDONE³, LUÍS

GUSTAVO CARDOSO⁴ AND PAULA DENTZIEN-DIAS¹

¹ 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 [sheron.medeiros@hotmail.com] [pauladentzien@gmail.com]

² Laboratório de Paleontologia de Vertebrados, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil [heitor.francischini@ufrgs.br]

³ Instituto de Ciências Biológicas, Sector Morfologia, Pesquisa em Chondrichthyes, Universidade Federal de Rio Grande, Avenida Itália Km 8, Rio Grande, 96201-900, Rio Grande do Sul, Brazil [mcoddone@furg.br]

⁴ Laboratório de Recursos Pesqueiros Demersais e Cefalópodes, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Avenida Itália Km 8, CEP 96201-900 Rio Grande, RS, Brazil [cardosolg15@gmail.com]

ABSTRACT

On the southern coast of Brazil shark fossils are commonly found on the current beach line. The great majority of these fossils are represented by fossilized teeth, however, fossilized vertebral centers are found in less abundance. The present study analyzed and described fossilized vertebral centers of sharks (Neoselachii) from the Quaternary period, collected ex situ on the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (PCRS). The materials underwent X-ray analysis to observe internal structures. In total, 26 fossil shark vertebral centers were analyzed in this study. Among the materials, two morphotypes were identified based on their morphological structure, the first being Lamnoid, identified in 17 vertebral centers, and the second Carcharhinoid, identified in 8 centers. The materials analyzed are the first records of fossil vertebral centers of

Neoselachii found in the region. The work showed a direct correlation between the identified morphotypes and the Orders that make up the faunal diversity of Neoselachii occurring in the PCRS, both in the fossil record and currently. Since, the Lamnoid morphotype occurs in organisms of the Order Lamniformes. While the Carcharhinoid morphotype would be characteristic of organisms of the Order Carcharhiniformes.

Key-words: Chondrichthyes, Paleoictiology, taxonomy.

RESUMO

Na costa sul do Brasil comumente encontram-se fósseis de tubarões na linha de praia atual. Em sua grande maioria, esses fósseis são representados por dentes fossilizados, contudo, centros vertebrais fossilizados são encontrados em menor abundância. O presente estudo analisou e descreveu centros vertebrais fossilizados de tubarões (Neoselachii) do período do Quaternário, coletados *ex situ* na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). Os materiais passaram por análise em um raio-X para observação de estruturas internas. Ao total, 26 centros vertebrais fósseis de tubarão foram analisados no presente estudo. Dentre os materiais foram identificados, a partir da sua estrutura morfológica, a presença de dois Morfotipos sendo o primeiro Lamnoide, identificados em 17 centros vertebrais, e o segundo Carcharhinoide, identificados em 8 centros. Os materiais analisados são os primeiros registros de centros vertebrais fósseis de Neoselachii encontrados na região. O trabalho mostrou uma correlação direta entre os morfotipos identificados e as Ordens que compõem a diversidade faunística dos Neoselachii que ocorrem na PCRS, tanto no registro fóssil quanto atualmente. Visto que, o morfotipo Lamnoide ocorre em organismos da Ordem Lamniformes. Enquanto o morfotipo Carcharhinoide seria característico de organismos da Ordem Carcharhiniformes.

Palavras chaves: Chondrichthyes, Paleoictiologia, taxonomia,

INTRODUÇÃO

O registro fossilífero de Neoselachii é dado majoritariamente por dentes fossilizados, utilizados para a atribuição das espécies, diversidade, classificações e análises taxonômicas (Shimada, 1997; Shimada, 2008; Ehret, 2009a; Cook *et al.* 2010; Fialho *et al.* 2020). Isto se deve, principalmente, à baixa mineralização e fossilização dos elementos esqueléticos cartilagosos desses organismos (Shimada 2007; Ehret *et al.* 2009a; Kardong, 2016; Fialho *et al.* 2020). Contudo, apesar de mais raros, são encontrados centros vertebrais fossilizados de tubarões que também são um excelente material para análises tafonômicas e reconstruções paleoecológicas (Ridewood, 1921; Applegate, 1967; Shimada, 1997; Blanco-Piñón *et al.*, 2005).

Apesar de encontrados com menor frequência, os centros vertebrais constituem o corpo principal da vértebra, depois que todas as partes cartilagosas (arco neural e arco hemal) são degradadas (Ridewood, 1921; Applegate, 1967; Welton and Farish, 1993; Ehret *et al.* 2009; Kardong, 2016). Estruturalmente, os centros vertebrais de Neoselachii são formados por dois cones duplos cujos vértices se unem no centro anficélico. Cada cone é constituído de um corpo calcário, onde na parte externa é possível observar os anéis de crescimento e a região interna pode ser composta de lamelas radiais ou com bainha totalmente mineralizada (intermedialia) (Ridewood, 1921; Applegate, 1967; Welton and Farish, 1993; Shimada, 2008). Estes centros podem ser morfológicamente distintos entre diferentes ordens, mas também são distintos entre diferentes gêneros de uma mesma família (Applegate, 1967; Burris, 2004). Contudo, oito morfotipos foram classificados conforme a morfologia das vértebras, denominados: (a) Heterodontoide,

(b) Squatinoide, (c) Pristiophoroide, (d) Squaloide, (e) Lamnoide, (f) Pristiuroide, (g) Atelomyeteroide e (h) Carcharhinoide (Ridewood, 1921; Applegate, 1967; Burris, 2004).

Neste contexto, o presente estudo visa identificar e descrever os morfotipos dos centros vertebrais fósseis de tubarões do Quaternário na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), com o propósito de aumentar a compreensão sobre os tubarões que habitaram a costa do Rio Grande do Sul durante o este período.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A PCRS é uma província fisiográfica que representa o pacote mais recente da Bacia de Pelotas e está localizada na porção leste do estado do Rio Grande do Sul. Com uma extensão de 620 km, indo dos municípios de Torres e Santa Vitória do Palmar, ela é composta por sedimentos do Período Neógeno ao Quaternário (Tomazelli *et al.*, 1997; Tomazelli e Dillenburg, 2007). E a sua formação e origem está diretamente relacionada aos eventos de transgressão e regressão do nível do mar principal (MSL), que ocorreram nos últimos 400 ka devido a ciclos glaciais e interglaciais (Villwock e Tomazelli, 1995; Corrêa, 1996; Tomazelli e Villwock, 2000; Dillenburg *et al.*, 2004, Lowe e Walker, 2015).

Estes eventos provocaram a justaposição lateral de depósitos sedimentares, dando origem a quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira que formam a planície costeira atual, denominados respectivamente I, II, III (mais velho, Pleistocênico) e IV (mais jovem, Holocênica) (Villwock *et al.* 1986; Villwock e Tomazelli, 1995). Por ser a mais recente, a barreira IV é que está em melhor estado de preservação em comparação com os demais sistemas, e contém registros importantes sobre processos físicos da origem e desenvolvimento da PCRS e registros fósseis de organismos marinhos, terrestres e

icnofósseis (Buchmann *et al.*, 2009). Devido a ampla variação climática deste período e as oscilações do nível do mar, vários paleoambientes tanto continentais quanto marinhos foram formados e se encontram submersos na plataforma continental (Figueiredo, 1975; Angulo e Souza, 2014). Estes depósitos fósseis submersos estão correlacionados com antigas linhas de costa que estão atualmente submersas, havendo sido formadas após o Último Máximo Glacial (LMG; ~21 ka BP) devido aos eventos oscilatórios do nível do mar. Estima-se que estas paleolinhas possuem idades entre 17,5 ka e 3 ka (Kowsmann *et al.* 1977; Calliari & Klein, 1993; Corrêa, 1996). A erosão e retrabalhamento destes depósitos submersos leva à deposição de cascalhos biodetríticos em algumas praias do Rio Grande do Sul. Como estes depósitos não apresentam estruturação temporal, os fósseis encontrados ao longo das praias apresentam um grande mix temporal e espacial, podendo ser provenientes de diferentes momentos do Quaternário (Buchmann, 1994; Buchmann e Rincón, 1997; Cruz *et al.* 2016).

Situada na porção extremo sul da PCRS, existe uma região conhecida pela ocorrência de altas concentrações de cascalho biodetrítico e fósseis, formando depósitos conhecidos como “Concheiros do Albardão” (Richter, 1987; Buchmann *et al.*, 2009). Sendo a região alvo de estudo, contudo, outras regiões, como a Praia do Hermenegildo (Santa Vitória do Palmar- RS) e a Praia do Cassino (Rio Grande -RS), também são regiões de coleta de fósseis (Fig. 1).

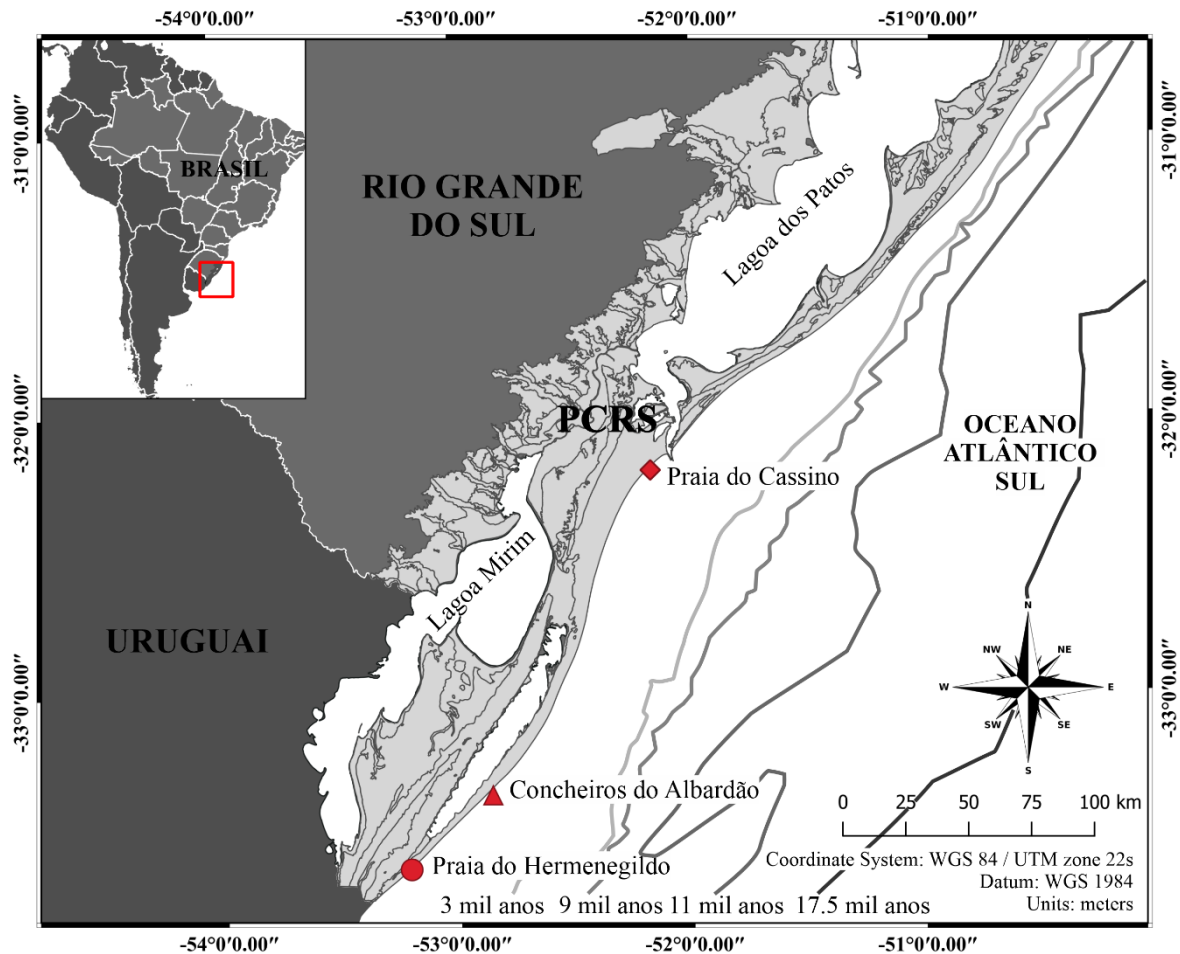


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS, representada pela cor cinza claro). A região de estudo compreende uma região que se estende desde a praia do Cassino (Rio Grande - RS), até a praia Hermenegildo (Santa Vitória do Palmar - RS). Os símbolos indicam os locais ao longo da PCRS onde se realizam as amostragens. As linhas em cinza na região da plataforma continental indicam as paleolinhas submersas.

MATERIAL E MÉTODOS

Um total de 26 centros vertebrais fósseis de tubarão foram analisados no presente estudo. Os mesmos se encontram tombados (LGP/C) na coleção do Laboratório de Geologia e Paleontologia (LGP) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), e

foram coletadas na linha de praia atual ao longo da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS).

Para a descrição e identificação dos morfotipos dos centros vertebrais fósseis, foram utilizadas 30 vértebras atuais, para poder comparar e auxiliar na identificação. Estes últimos foram emblocados em resina para sua preservação, visto que, o material atual é constituído de cartilagem e facilmente se deteriora. As vértebras atuais são referentes ao tubarão anequim, *Isurus oxyrinchus* (Lamniforme) e ao tubarão azul, *Prionace glauca* (Carcharhiniforme). Além disso, foram utilizadas imagens e/ou fotos presentes na literatura para a identificação dos morfotipos que não estavam presentes nos materiais atuais. A terminologia morfológica utilizada para a descrição dos morfotipos seguiu a proposta por Applegate (1967, 2012), Welton e Farish (1993) e Cailliet *et al.* (1983b, 2006) (Fig. 2). Os materiais fósseis foram analisados pela posição dorsal e ventral.

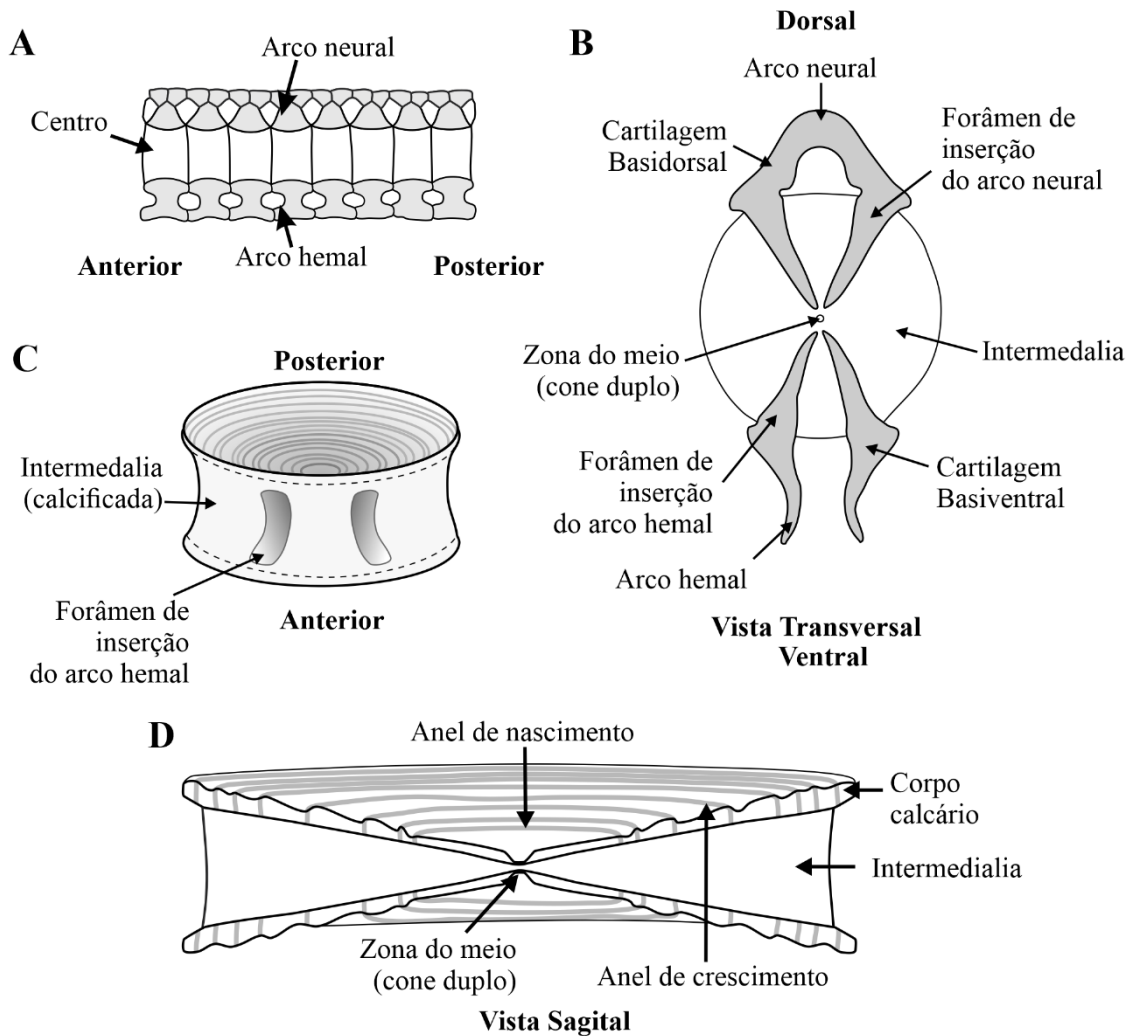


Figura 2. Orientação e terminologia esquemática de um centro vertebral hipotético de tubarão incluindo as suas principais características (adaptado de Applegate (1967), Welton e Farish (1993) e Cailliet *et al.* (2006)). (A) Vista lateral de uma coluna vertebral de tubarão mostrando uma série centros vertebrais e cartilagens de arco neural e hemal associados; (B) Vista em corte transversal de uma vértebra caudal anterior hipotética de um tubarão; (C) Centro vertebral de tubarão em posição ântero-posterior em visão ventral; (D) Vista em corte sagital de um centro vertebral e seus componentes.

Para observação dos foramens de inserção do arco hemal na parte interna de cada centro vertebral fóssil foi realizada uma radiografia de Raio-X, modelo Dr Tech©, com o

intuito de observar estruturas internas sem a necessidade de realizar cortes nos materiais e observação da localização dos forâmens do arco hemal. (Fig. 3).

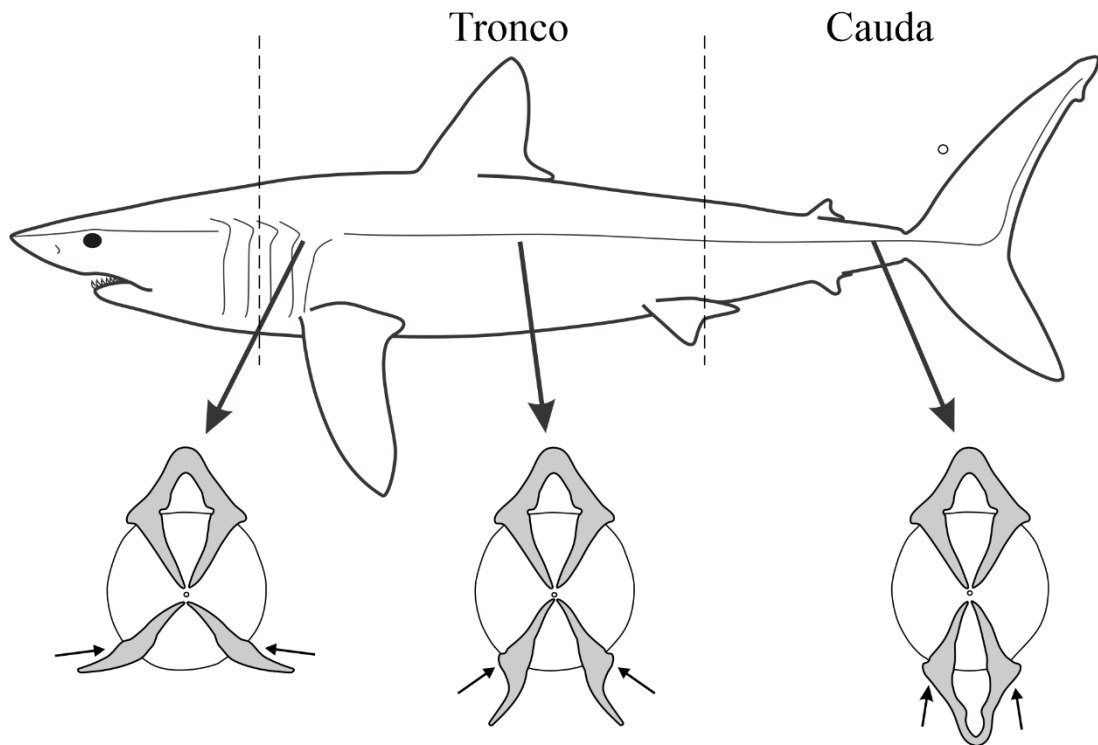


Figura 3. Ilustração do tubarão anequim, *Isurus oxyrinchus*, indicando a localização das vértebras em relação à região do corpo, de acordo com o distanciamento dos forâmens do arco hemal.

RESULTADOS

Grande parte do material apresentou boas condições de conservação e preservação, o que tornou possível identificar os morfotipo e realizar suas descrições. Nos materiais foram possíveis de identificar a presença de dois morfotipos: (1) Morfotipo Lamnoide, com 17 centros vertebrais (65,38%); e (2) Morfotipo Carcharhinoide, com 8 centros vertebrais identificados (30,77%). Apenas um centro vertebral não pode ser relacionado (3,85%) a nenhum morfotipo devido ao alto grau de abrasão e fragmentação.

Morfotipo Lamnoide

Espécimes – LGP/C337, LGP/C338, LGP/C339, LGP/C341, LGP/C343, LGP/C344, LGP/C345, LGP/C346, LGP/C347, LGP/C348, LGP/C351, LGP/C352, LGP/C353, LGP/C357, LGP/C415, LGP/C531 e LGP/C609.

Descrição – Estes centros vertebrais são caracterizados por um corpo calcário mais espesso, tendo a porção interna dos cones duplos circundada por lamelas radiais finas e calcificadas. Com presença de dois forâmens para inserção do arco neural e do forâmen meso-dorsal, na porção dorsal e presença de dois forâmens para inserção do arco hemal na porção ventral (Fig. 4A).

Morfotipo Carcharhinoide

Espécimes – LGP/C342, LGP/C355, LGP/C356, LGP/C358, LGP/C359, LGP/C360, LGP/C363 e LGP/C531.

Descrição – Centros vertebrais com um corpo calcário mais fino e a porção interna dos cones duplos é circundada por uma bainha mineralizada, tendo apenas dois forâmens para inserção do arco neural na porção dorsal e dois forâmens para inserção do arco hemal na porção ventral (Fig. 4B).

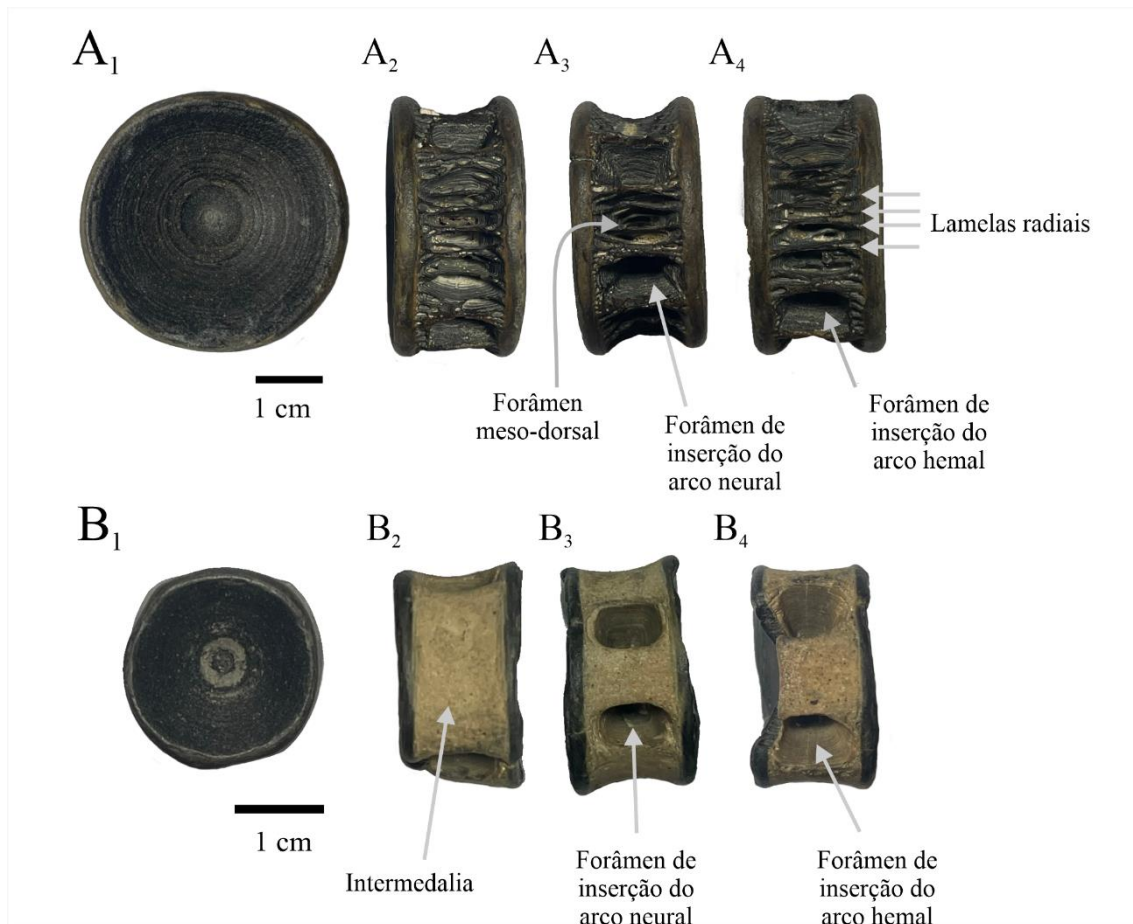


Figura 4. Centros vertebrais dos morfotipos (A) Lamnoide LGP/C415 e (B) Carcharhinoide LGP/C358, em vista anterior ou posterior (A₁ - B₁), lateral esquerdo (A₂-B₂), visão dorsal (A₃-B₃), e visão ventral (A₄-B₄)

Localização corporal

Através da análise com raio-X realizada nos 26 centros vertebrais, foi possível identificar, a partir das estruturas internas, que 13 centros pertencem à região torácica (Fig. 5A) e 10 à região caudal (Fig. 5B) da coluna vertebral. Os restantes 3 centros vertebrais foram classificados como indeterminados (Fig. 5C; Tab. 1).

Tabela 1. Tabela de medições dos centros vertebrais, em relação ao morfotipo identificado e sua localização corporal. Medidas em mm.

Espécime	Espessura	Largura	Morfotipo	Localização corporal
LGP/C337	19,98	30,93	Lamnoide	Tronco
LGP/C338	16,9	36,46	Lamnoide	Tronco
LGP/C339	16,55	34,35	Lamnoide	Tronco
LGP/C341	15,66	29,19	Lamnoide	Caudal
LGP/C342	14,2	21,08	Carcharhinoide	Caudal
LGP/C343	15,79	32,99	Lamnoide	Tronco
LGP/C344	13,2	28,41	Lamnoide	Não identificado
LGP/C345	12,95	24,4	Lamnoide	Tronco
LGP/C346	8,06	20,22	Lamnoide	Tronco
LGP/C347	13,35	23,09	Lamnoide	Tronco
LGP/C348	16,9	32,78	Lamnoide	Caudal
LGP/C351	12,27	26,54	Lamnoide	Tronco
LGP/C352	16,54	33,96	Lamnoide	Tronco
LGP/C353	16,94	28,74	Lamnoide	Caudal
LGP/C355	16,01	26,27	Carcharhinoide	Caudal
LGP/C356	15,01	21,7	Carcharhinoide	Não identificado
LGP/C357	17,1	36,25	Lamnoide	Tronco
LGP/C358	13,16	23,42	Carcharhinoide	Caudal
LGP/C359	12,47	25,76	Carcharhinoide	Não identificado
LGP/C360	12,81	23,33	Carcharhinoide	Caudal
LGP/C363	8,66	17,95	Indeterminado	Tronco
LGP/C415	13,82	32,72	Lamnoide	Tronco
LGP/C434	12,91	25,26	Carcharhinoide	Caudal
LGP/C531	9,63	47,48	Lamnoide	Caudal
LGP/C531	10,93	19,05	Carcharhinoide	Caudal
LGP/C609	9,5	16,44	Lamnoide	Tronco

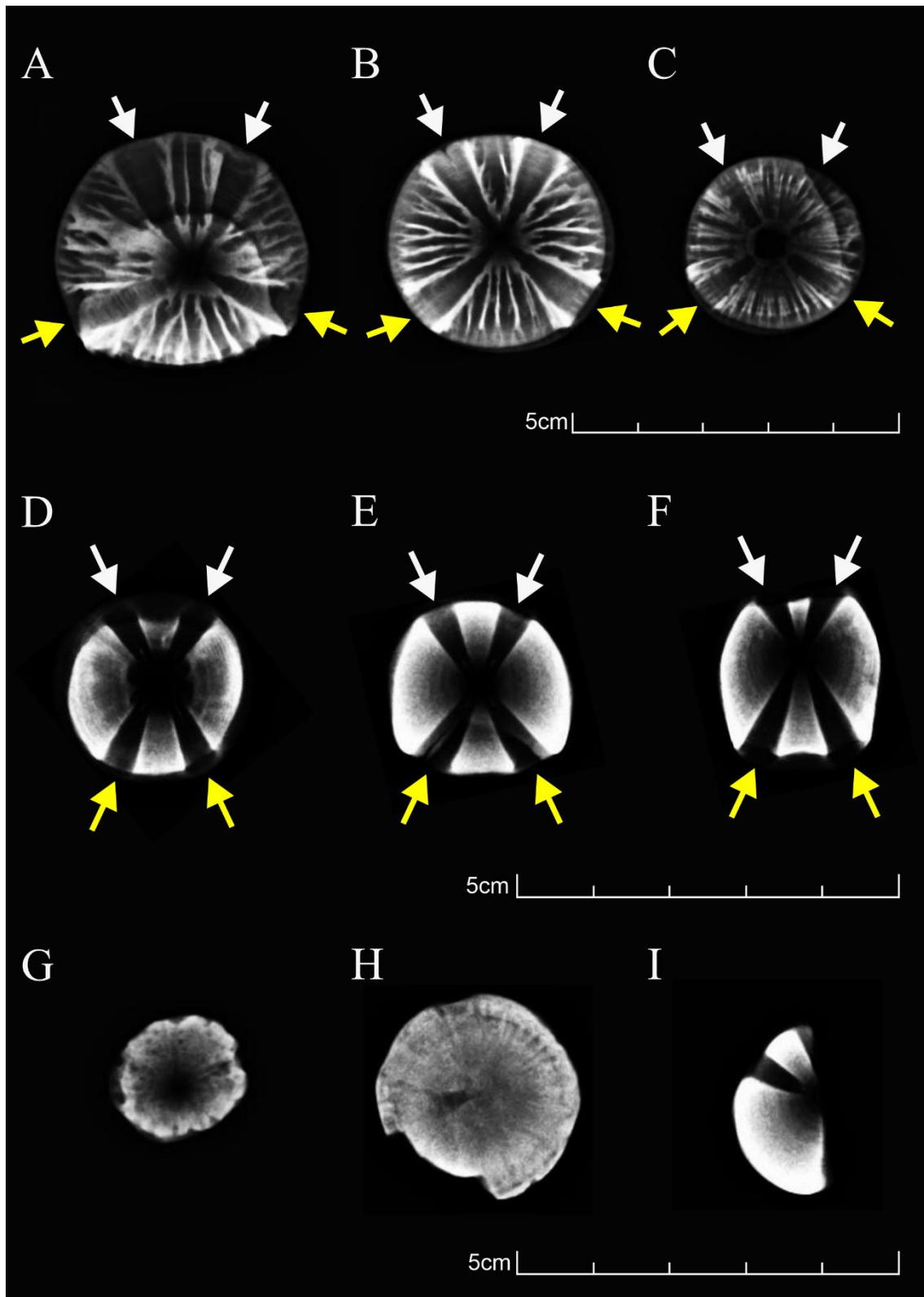


Figura 5. Análise de raio-X dos centros vertebrais dos morfotipos Lamnoide e Carcharinoide. **A-B-C**, centros vertebrais do morfotipo Lamnoide da região do tronco (LGP/C338, LGP/C415 e LGP/C351); **D-E-F**, centros vertebrais do morfotipo

Carcharhinoide identificados para a região caudal, (LGP/C434, LGP/C358 e LGP/C342); **G-H-I**, centros vertebrais que não foram possíveis identificar a localização corporal ou ver estruturas internas devido ao preenchimento com rocha e a fragmentação (LGP/C344, LGP/C359 e LGP/C356). A seta em branco indica os forâmens de inserção do arco neural (basidorsal) e a seta em amarelo indica os forâmens de inserção do arco hemal (basiventral).

DISCUSSÃO

Os materiais analisados representam os primeiros registros de centros vertebrais fósseis de Neoselachii registrados na literatura para a PCRS. A identificação dos centros vertebrais fósseis mostrou a presença de apenas dois morfotipos. Contudo, o morfotipo Lamnoide foi o mais representativo no material analisado, sendo ele característico de organismos da Ordem Lamniformes (Ridewood, 1921; Applegate; 1967; Kozuch e Fitzgerald, 1989; Burris, 2004; Jambura *et al.* 2021). Por outro lado, o morfotipo Carcharhinoide seria característico de organismos da Ordem Carcharhiniformes (Ridewood, 1921; Applegate; 1967; Kozuch e Fitzgerald, 1989; Burris, 2004; Jambura *et al.* 2021). Esse padrão é visto nos demais fósseis de tubarões presentes. Atualmente há quatro Ordens de elasmobrânquios (e.g. Lamniformes, Carcharhiniformes, Hexanchiformes e Squatiniformes) identificados no registro fóssil da PCRS (Buchmann & Rincon, 1997; Richter, 2000; Buchmann, 2002; Lopes, 2020), sendo a Ordem Lamniformes a mais abundante quantitativamente.

Com base nos táxons identificados nos dentes fósseis encontrados na PCRS, pode se esperar que as vértebras do morfotipo Lamnoide ocorra nas espécies *Carcharias taurus*, *Carcharodon carcharias* e *Isurus oxyrinchus*. Já para o morfotipo Carcharhinoide é possível que o material analisado corresponda com espécies como *Carcharhinus*

brachyurus, *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus longimanus*, *Carcharhinus* sp., *Galeocerdo cuvier*, *Rhizoprionodon* sp., *Sphyrna* sp. e *Galeorhinus galeus*. O registro relativamente maior de centros vertebrais fósseis Lamnoide, em comparação aos dentes fósseis do grupo Lamniformes, pode indicar de maneira indireta uma maior ocorrência de populações ou táxons referentes a Ordem durante o Quaternário.

Nas imagens obtidas com o raio-X podem-se observar os caracteres morfológicos descritos e estruturas internas e, a partir do distanciamento dos forâmens de inserção do arco hemal, foi possível identificar a região corporal que esses centros vertebrais são provenientes. Uma vez que as vértebras truncais possuem forâmens de inserção do arco hemais mais distantes entre si que as vértebras caudais (Kozuch e Fitzgerald, 1989; Kardong, 2016; Mayer *et al.* 2021). Esse distanciamento foi possível de ser observado na maior parte dos centros vertebrais fossilizados encontrados na PCRS. Com tudo, mesmo com raio-X, em uma pequena parcela do material não possível identificar a região corporal devido à perda dos caracteres morfológicos, resultado dos processos tafonômicos e presença de rocha em torno do material e na parte interna. Ademais, a variação morfológica entre os centros vertebrais é sutil ao longo da coluna vertebral, com isso, a transição entre a e vértebras truncais e caudais é difícil de determinar.

Além disso, em ambos morfotipos, observou-se que o tamanho (largura) e robustez de cada centro vertebral variou, algumas apresentando tamanhos grandes (47,48 mm), mas tendo espessura fina (9,63 mm), enquanto outras apresentavam menor tamanho (21,70 mm), mas era mais grossa (15,01 mm). Essas diferenças de tamanho e robustez, é um indicativo de que esses materiais são provenientes de diferentes grupos de Neoselachii (Kozuch e Fitzgerald, 1989). Pois cada táxon, independente do morfotipo, terá suas características estruturais das vértebras de acordo com seu tamanho e estrutura corporal (Ridewood, 1921; Applegate; 1967; Newbrey *et al.* 2015). Contudo, devido a perdas de

caracteres diagnósticos causados pela abrasão que estes materiais sofreram e à homogeneidade interespecífica das vértebras de tubarão, torna-se inviável a identificação ao nível de espécies nesses materiais, ficando restrito ao morfotipo.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Neste estudo, descrevemos centros vertebrais fósseis encontrados na PCRS, sendo os primeiros registros desses materiais para a região. Além disso, os morfotipos Lamnoide e Carcharhinoide identificados são característicos das Ordens Lamniformes e Carcharhiniformes, respectivamente, Ordens essas que compõem a diversidade faunística dos Neoselachii que ocorrem na PCRS, tanto no registro fóssil quanto atualmente.

Os centros vertebrais fossilizados de tubarões apresentam um bom potencial para identificação e informações complementares sobre os táxons de Neoselachii que ocorriam na PCRS durante o Quaternário, porém, a escassez de informações acerca do assunto é um obstáculo para identificar mais precisamente ao nível de espécie e/ou gênero.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à equipe do LGP por seu apoio durante o trabalho de campo, especialmente T. Britto que ajudou com o Raio-X. Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: 409750/2016-6). Agradecemos os recursos fornecidos pela CAPES para apoiar o Programa de Pós-Graduação em Oceanologia.

REFERÊNCIAS

- Angulo, R.J., & de Souza, M.C. 2014. Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 5(2).
- Applegate, S.P. 1967. A Survey of Shark Hard Parts. In: Gilbert, P.W. & Mathewson, R.F. and Rall, D.P. (eds.). *Sharks, Skates and Rays*. John Hopkins Press, Baltimore, 37–67.
- Blanco-Piñón, A., K. Shimada, & G. González-Barba. 2005. Lamnoid vertebrae from the Agua Nueva Formation (Upper Cretaceous: lower–middle Turonian), NE Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22:19–23.
- Buchmann, F.S.C., Caron, F., Lopes, R. P., Ugri, A., & Lima, L. G. 2009. Panorama geológico da planície costeira do Rio Grande do Sul. *Quaternário do Rio Grande do Sul e Integrando Conhecimentos*. Sociedade Brasileira de Paleontologia, Monografias, 35-56.
- Buchmann, F.S.C. & Rincon, G. 1997. Fósseis de Vertebrados Marinhos do Pleistoceno Superior na Porção Sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Notas Técnicas*, Porto Alegre, v. 10, p. 7-16.
- Buchmann, F.S.C. 1994. Distribuição Dos Fósseis Pleistocênicos Na Zona Costeira E Plataforma Continental Interna No Rio Grande Do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 17(39/1), 355-364.
- Burris, J.H. 2004. Morphology and phylogenetic implications of recent and fossil carcharhiniform shark vertebral centra. PhD Thesis, Michigan State University. 219.
- Cailliet, G.M., Martin, L.K., Kusher, D., Wolf, P. & Welden, B.A. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. *National*

Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report, National Marine Fisheries Service 8:157–165.

Cailliet, G.M. and K.J. Goldman, 2004. Age determination and validation in chondrichthyan fishes. p. 399-446. In J.C. Carrier, J.A. Musick and M.R. Heithaus (eds.) *Biology of sharks and their relatives*. CRC Press LLC.

<http://doi.org/10.1201/9780203491317.pt3>

Cailliet, G. M., Smith, W. D., Mollet, H. F., & Goldman, K. J. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Environmental Biology of Fishes*, 77(3), 211-228. <https://doi.org/10.1007/s10641-006-9105-5>

Calliari, L. J., & Klein, A. H. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas em geociências*, 20(1), 45-56.

Cook, T., A. Murray, E. Simons, Y. Attia, & P. Chatrath. 2010. A Miocene selachian fauna from Moghra, Egypt. *Historical Biology* 22:78–87.

<https://doi.org/10.1080/08912960903249329>

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*, 130(1-2), 163-178..

Cruz, E.A., Dillenburg, S.R., & Buchmann, F.S. 2016. Description and Controls on Distribution of Pleistocene Vertebrate Fossils from the Central and Southern Sectors of The Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 19(3), 425-438. <https://doi.org/10.4072/rbp.2016.3.08>

- Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., & Barboza, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203(1-2), 43-56.
- Ehret, D.J., Hubbell, G. & Macfadden, B.J. 2009. Exceptional preservation of the white shark *Carcharodon* (Lamniformes, Lamnidae) from the early Pliocene of Peru, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29:1, 1-13.
- Fialho, P. R., Balbino, A. C., Legoinha, P., & Antunes, M. T. 2020. Shark fossil diversity (Squalomorphii, Squatinomorphii, and Galeomorphii) from the Langhian of Brielas (Lower Tagus Basin, Portugal). *Geological Journal*, 56(1), 405-421.
- Figueiredo Jr., A.C. 1975. Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, M.Sc. thesis, 72 p.
- Jambura, P. L., Stumpf, S., & Kriwet, J. 2021. Skeletal remains of the oldest known pseudocoracid shark *Pseudocorax kindlimanni* sp. nov. (Chondrichthyes, Lamniformes) from the Late Cretaceous of Lebanon. *Cretaceous Research*, 125, 104842. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.104842>
- Kardong, K.V. 2016. Vertebrados: Anatomia Comparada, Função e Evolução. 5ª edição. Editora Roca, São Paulo. 913pp.
- Kowsmann, R.; Leyden, R.; Francisconi, O. 1977. Marine seismic investigations, southern Brazil margin. *AAPG Bulletin*, 61(4), p. 546-557.
- Kozuch, L. & Fitzgerald, C. 1989. A guide to identifying shark centra from southeastern archaeological sites. *Southeastern Archaeology*, 8(2): 146–157
- Lowe, J.J. & Walker, M. 2014. Reconstructing Quaternary Environments (3rd ed.). *Routledge*. <https://doi.org/10.4324/9781315797496>

- Natanson, L.J., Skomal, G.B., Hoffmann, S.L., Porter, M.E., Goldman, K.J., & Serra, D. 2018. Age and growth of sharks: do vertebral band pairs record age?. *Marine and Freshwater Research*, 69(9), 1440-1452. <https://doi.org/10.1071/MF17279>
- Natanson, L.J. 2001. Preliminary investigations into the age and growth of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, white shark, *Carcharodon carcharias*, and thresher shark, *Alopias vulpinus*, in the Western North Atlantic Ocean. *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas Working Document, Standing Committee on Research and Statistics*, 1, 66.
- Newbrey, M.G., Siverson, M., Cook, T.D., Fotheringham, A.M., & Sanchez, R.L. 2013. Vertebral morphology, dentition, age, growth, and ecology of the large lamniform shark *Cardabiodon ricki*. *Acta Palaeontologica Polonica*, 60(4), 877-897. <http://dx.doi.org/10.4202/app.2012.0047>
- Richter, M. 1987. Osteichthyes e Elasmobranchii (Pisces) da Bacia de Pelotas, Quaternário de Rio Grande do Sul, Brasil. *Paula-coutiana*, 1, 17-38.
- Richter, M. 2000. Peixes fósseis do Rio Grande do Sul. *Paleontologia do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 162-175.
- Ridewood W.G. 1921. VIII.— On the calcification of the vertebral centra in sharks and rays. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Vol. 210 (1921), pp. 311-407 <http://doi.org/10.1098/rstb.1921.0008>
- Shimada, K. 2007. Skeletal and dental anatomy of lamniform shark, *Cretalamna appendiculata*, from Upper Cretaceous Niobrara Chalk of Kansas. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 27(3), 584-602. [https://doi.org/10.1671/0272-4634\(2007\)27\[584:SADAOL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/0272-4634(2007)27[584:SADAOL]2.0.CO;2)

Shimada, K. 2008. Ontogenetic parameters and life history strategies of the late Cretaceous lamniform shark, *Cretoxyrhina mantelli*, based on vertebral growth increments, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 28:1, 21-33.

<http://www.jstor.org/stable/30126330>.

Shimada, K., Bonnan, M.F., Becker, M.A., & Griffiths, M.L. 2021. Ontogenetic growth pattern of the extinct megatooth shark *Otodus megalodon*—implications for its reproductive biology, development, and life expectancy. *Historical Biology*, 33(12), 3254-3259. <https://doi.org/10.1080/08912963.2020.1861608>

Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 2000. O Cenozoico do Rio Grande do Sul: Geologia da planície costeira, in Holz, M., and De Ros, L.F. (eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*: Porto Alegre, Brazil. p. 375-406.

Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2007. Sedimentary Facies and Stratigraphy of a Last Interglacial Coastal Barrier in South Brazil. *Marine Geology*, 244 (1-4), 33 – 35.

Tomazelli, L.J., Villwock, J.A., Dillenburg, S.R., Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1997.

A erosão costeira e a transgressão marinha atual na costa do Rio Grande do Sul.

Resumos Expandidos, 6º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Curitiba, ABEQUA. 1: 415-419.

Villwock J.A. & Tomazelli L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas* 8:1–45.

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn, N.O., Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: Rabassa, J. (Ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. A.A. Balkema, Rotterdam, Pp. 79–97.

Welton, B.J. & Farish, R.F. 1993. The Collector's Guide to Fossil Sharks End Says
from The Cretaceous of Texas. Before Time. Texas. 204.

Capítulo VI: Síntese da Discussão e Conclusões

Neste trabalho foram identificados 13 táxons a partir dos dentes fósseis de tubarões coletados ao longo da PCRS. Dentre eles, dez táxons identificados ao nível de espécie e três ao nível de gênero, que se destacam pela semelhança com a fauna atual de Neoselachii que ocorrem na costa sul do Brasil. Contudo, a presença de espécies que não ocorrem atualmente na região e espécies oceânicas no registro fóssil como as espécies *Carcharodon carcharias*, *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus longimanus* e *Galeocerdo cuvier*, é notória. Tais espécies são atualmente dadas como raras na região, sendo um indicativo das oscilações climáticas e do nível do mar que ocorreram ao longo do Quaternário, favorecendo uma maior ocorrência desses táxons ao longo desse período. Uma vez que, essas oscilações climáticas alterariam as características da região, em períodos glaciais sendo mais frio e períodos interglaciais mais quentes e, conseqüentemente, alterando a distribuição dos organismos ao longo

da costa sul do Brasil.

Os centros vertebrais fósseis de tubarões são descritos pela primeira vez para o sul do Brasil. Os centros vertebrais fósseis foram identificados a presença de apenas dois morfotipos, sendo eles o morfotipo Lamnoide, da Ordem Lamniformes, e o morfotipo Carcharhinoide, da Ordem Carcharhiniformes. Os materiais identificados refletem um padrão semelhante de Ordens identificadas nos dentes fósseis e de Ordens que ocorrem atualmente na região.

Sendo assim, este trabalho amplia os tipos de fósseis de tubarões e as espécies que ocorriam nas águas da costa sul do Brasil durante o Quaternário.

Capítulo VII: Perspectivas Futuras

Pretende-se futuramente realizar análises tafonômicas nesses materiais, a fim de compreender o nível de desgastes e perdas morfológicas eles sofreram enquanto submersos, assim como avaliar dominância quantitativa de determinadas táxons identificados podem estar correlacionados a um viés de Amostragem (*Sampling Bias*). Ademais, pretende-se realizar análises isotópicas de Oxigênio nesses materiais para verificar e corroborar/refutar a teoria de que a distribuição e ocorrência dos táxons variavam em períodos glaciais e interglaciais. Espera-se também realizar a datação desses materiais, para estimação de uma idade aproximada.

Capítulo VIII: Referências Bibliográficas

Amorim, AF, Arfelli, CA, Bornatowski, H, and Hussey, NE (2018) Rare giants? A large female great white shark caught in Brazilian waters. *Marine Biodiversity*, 48, 1687–1692. <https://doi.org/10.1007/s12526-017-0656-9>

Anderson, AB, Carvalho-Filho, A, Morais, RA, Nunes, LT, Quimbayo, J P and Floeter, S R (2015) Brazilian tropical fishes in their southern limit of distribution: checklist of Santa Catarina's rocky reef ichthyofauna, remarks and new records. – *Check List* 11 (4): 1688 (25pp.). <http://dx.doi.org/10.15560/11.4.1688>.

Anderson, WG, Good, JP, Pillans, RD, Hazon, N and Franklin, CE (2005a) Hepatic urea biosynthesis in the euryhaline elasmobranch *Carcharhinus leucas*. – *Journal of Experimental Zoology* 303A: 917–921. <https://doi.org/10.1002/jez.a.199>.

Angulo, RJ, and de Souza, MC (2014) Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil. *Quaternary and*

Environmental Geosciences, 5(2).

Applegate, SP (1965) Tooth Terminology and Variation in Sharks with Special Reference to The Sand Shark, *Carcharias taurus* Rafinesque. *Contributions in Science*, 1-18.

Applegate, SP (1967) A Survey of Shark Hard Parts. In: Gilbert, P.W. and Mathewson, RF and Rall, DP (eds.). *Sharks, Skates and Rays*. *John Hopkins Press*, Baltimore, 37–67.

Ávila, SP, Ramalho, R, and Vullo, R (2012) Systematics, palaeoecology and palaeobiogeography of the Neogene fossil sharks from the Azores (Northeast Atlantic). In *Annales de Paléontologie* (Vol. 98, No. 3, pp. 167-189). Elsevier Masson. <https://doi.org/10.1016/j.annpal.2012.04.001>

Baum, JK, Medina, E, Musick, JA, and Smale, M (2015) *Carcharhinus longimanus* (Oceanic Whitetip Shark, Whitetip Oceanic Shark, White-tipped Shark, Whitetip Shark). In 'The IUCN Red List of Threatened Species', Vol. 2015. (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*.) Available at <http://www.iucnredlist.org/details/39374/0>.

Benton, MJ (2008) *Paleontologia dos Vertebrados*. *Atheneu*. São Paulo. 1º Ed. 464.

Buchmann, FSC, Caron, F, Lopes, RP, Ugri, A, and Lima, LG (2009) Panorama geológico da planície costeira do Rio Grande do Sul. Quaternário Do Rio Grande Do Sul e Integrando Conhecimentos. *Sociedade Brasileira de Paleontologia*, Monografias, 35-56.

Buchmann, FSC (1994) Distribuição Dos Fósseis Pleistocênicos Na Zona Costeira E Plataforma Continental Interna No Rio Grande Do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 17(39/1), 355-364.

Buchmann, FSC (2002) Bioclastos de Organismos Terrestres e Marinhos na Praia e Plataforma Interna do Rio Grande do Sul: Natureza, Distribuição, Origem e Significado Geológico. Tese (Doutorado em Geociências). Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Buchmann, FSC and Rincon, G (1997) Fósseis de Vertebrados Marinhos do Pleistoceno Superior na Porção Sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Notas Técnicas*, Porto Alegre, v. 10, p. 7-16.

Buchmann, FSC and Tomazelli, JL (1999) Ocorrência de Fósseis de Tubarão Branco (*Carcharodon carcharias*) na Porção Sul e Central da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil: Considerações Paleoclimáticas. In: *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA)*, 7. Porto Seguro.

Calliari, LJ, Muehc, D, Hoefel, FG, & Toldo Jr, E (2003). Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Revista brasileira de oceanografia*, 51, 63-78.

Camhi, M (1998) Sharks and their relatives: ecology and conservation (No. 20). IUCN.

Cappetta, H (1986a) Types dentares adaptatifs chez les selaciens actuels et post-Paleozoiques Palaeovertebrata, 16, 57-76.

Cardoso, LG and Haimovici, M (2015) Peixes marinhos e estuarinos inclusos na

portaria 445/2014 – MMA que ocorrem no Sul do Brasil. Rio Grande, 28p.

Chelotti, LD and Santos, PRS (2020): Biodiversity and conservation of marine elasmobranchs in the extreme south of the Brazil, Southwestern Atlantic. – *Regional Studies in Marine Science* 38: 101371 (10pp.). <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101371> .

Chiaramonte, GE (1998) The shark genus *Carcharhinus* Blainville, 1816 (Chondrichthyes: Carcharhinidae) in Argentine waters. – *Marine and Freshwater Research* 49 (7): 747–752. <https://doi.org/10.1071/MF97249>

Cocke, J (2002) Fossil Shark Teeth of the World, United States of America, A collector's guide: Torrance. Lamna Books, 170p.

Compagno, LJ (2001) Sharks of The World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date. Vol 2. Bullhead, Mackerel and Carpet Sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes). *FAO Species Catalogue for Fishery Purposes*, 1, Viii+-1.

Compagno, LJ, Dando, M, and Fowler, S (2005) A field guide to the sharks of the world. *Princeton University Press*, v. 38, 368p.

Corrêa, ICS (1990) Analyse Morphostructurale et Evolution Paleogeographique de La Plate-Forme Continentale Atlantique Sudbresilienne (Rio Grande Do Sul - Bresil). *Universite de Bourdeaux I*, Ph.D. thesis, 314 p.

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*, 130(1-2), 163-178.

Craven, J, and Hogan, T (2006) Beachcombing for fossils. *Science Scope*, 30(2), 66-69. Retrieved April 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/43181022>.

Cruz, EA, Dillenburg, SR, and Buchmann, FS (2016) Description and Controls on Distribution of Pleistocene Vertebrate Fossils from The Central and Southern Sectors of The Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 19(3), 425-438. <https://doi.org/10.4072/rbp.2016.3.08>

D'Alberto, BM, Chin, A, Smart, JA, Baje, L, White, WT and Simpfendorfer, CA (2017) Age, growth and maturity of oceanic whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*) from Papua New Guinea. *Marine and Freshwater Research* 68(6): 1118-1129.

Dillenburg, SR, Tomazelli, LJ, and Barboza, EG (2004) Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203(1-2), 43-56.

Ebert, DA, Dando, M, & Fowler, S (2021) *Sharks of the world: a complete guide*. Princeton University Press.

Estrada, JA, Rice, AN, Natanson, LJ, and Skomal, GB (2006). Use of isotopic analysis of vertebrae in reconstructiong ontogenetic feeding ecology in white sharks. *Ecology*, 87, 829–834. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[829:UOIAOV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[829:UOIAOV]2.0.CO;2)

Ferreira, BP (1992) Age, growth, and structure of vertebra in the school shark *Galeorhinus galeus* (Linnaeus, 1758) from southern Brazil *Fish. Bull.*, 89, 19-32.

Fialho, PR, Balbino, AC, Legoinha, P, and Antunes, MT (2020) Shark fossil diversity (Squalomorphii, Squatinomorphii, and Galeomorphii) from the Langhian

of Brielas (Lower Tagus Basin, Portugal). *Geological Journal*, 56(1), 405-421.

<https://doi.org/10.1002/gj.3965>

Figueiredo Jr, AC (1975) Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, M.Sc. thesis, 72 p.

Gadig OBF (2001) Tubarões da costa brasileira. 343p. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. São Paulo.

Garcia, G, Pereyra, S, Gutierrez, V, Oviedo, S, Miller, P, and Domingo, A (2014) Population structure of *Squatina guggenheim* (Squatiniformes, Squatinidae) from the south-western Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 86(1), 186–202.

<http://doi.org/10.1111/jfb.12560>

Gausmann, P (2021) Synopsis of global fresh and brackish water occurrences of the bull shark *Carcharhinus leucas* Valenciennes, 1839 (Pisces: Carcharhinidae), with comments on distribution and habitat use. *Integrative Systematics: Stuttgart Contributions to Natural History*, 4(1), 55-213.

<https://doi.org/10.18476/2021.423083>

Guinot, G, Adnet, S, and Cappetta, H (2012) An Analytical Approach for Estimating Fossil Record and Diversification Events in Sharks, Skates and Rays.

PLOS ONE, 7(9): e44632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044632>

Howey-Jordan, LA, Brooks, EJ, Abercrombie, DL, Jordan, LKB, Brooks, A, Williams, S, Gospodarczyk, E, and Chapman, DD (2013) Complex movements, philopatry and expanded depth range of a severely threatened pelagic shark, the

oceanic whitetip (*Carcharhinus longimanus*) in the western North Atlantic. *PLoS One* 8, e56588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056588>

ICMBio (2016) Avaliação do Risco de Extinção dos Elasmobrânquios e Quimeras no Brasil: 2010-2012. Instituto Chico Mendes De Conservação Da Biodiversidade. Centro Nacional De Pesquisa E Conservação Da Biodiversidade Marinha Do Sudeste E Sul. Itajaí, SC. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/trabalhos_tecnicos/pub_2016_avaliacao_elasmo_2010_2012.pdf.

ICMbio (2018) Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI – Peixes. (Elasmobranchs - several species assessments) 1. ed. Brasília, DF. Disponível em: http://www.lesbio.ufscar.br/assets/livro_vermelho_2018_vol6.pdf. Acesso: 19/07/2022.

Ivanov, A (2005) Early Permian chondrichthyans of the middle and south Urals. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 8(2), 127-138.

Kardong, KV (2016) Vertebrados: Anatomia Comparada, Função e Evolução. 5ª edição. *Editora Roca*, São Paulo. 913pp.

Laurini, CR (2010) Elasmobrânquios Fósseis da Serra do Cadeado, Estado do Paraná (Formação Rio do Rasto, permiano superior). Dissertação (Mestrado em Biologia Comparada). Programa De Pós-Graduação Em Biologia Comparada. Universidade de São Paulo.

Lopes, MS, Bertucci, TCP, Rapagnã, L, Tubino, RA, Monteiro-Neto, C; Tomas,

ARG, Tenório, MC, Lima, T, Souza, R, Carrillo-Briceño, JD, Haimovici, M, Macario, K, Carvalho, C and Socorro, OA (2016) The path towards endangered species: Prehistoric fisheries in southeastern Brazil. *PLoS One*, 11, e0154476.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154476>

Lowe, JJ and Walker, M (2014) *Reconstructing Quaternary Environments* (3rd ed.). *Routledge*. <https://doi.org/10.4324/9781315797496>.

Mas, F (2012) Biodiversidad, Abundancia Relativa y Estructura Poblacional de los Tiburones Capturados por la Flota de Palangre Pelágico en Aguas Uruguayas Durante 1998-2009. Tesina de Grado, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.

Menni, R C and Lucifora, L O (2007) Condrictios de la Argentina y Uruguay: Lista de Trabajo. – *ProBiota, Serie Técnica–Didáctica* 11: 1–15.

Musyl, M K, Brill, R W, Curran, D S, Fragoso, N M, McNaughton, L M, Nielsen, A, Kikkawa, B S, and Moyes, C D (2011) Postrelease survival, vertical and horizontal movements, and thermal habitats of five species of pelagic sharks in the central Pacific Ocean. *Fishery Bulletin* 109, 341–368.

Naylor, GJP and Marcus, LF (1994) Identifying Isolated Shark Teeth of The Genus *Carcharhinus* To Species: Relevance for Tracking Phyletic Change Through the Fossil Record. *American Museum of Natural History*, ISSN 0003-0082, n. 3109, p. 1-53.

Dulvy, NK, Fowler, SL, Musick, JA, Cavanagh, R D, Kyne, PM, Harrison, LR, Carlson, JK, Davidson, LNK, Fordham, SV, Francis, MP, Pollock, CM,

Simpfendorfer, CA, Burgess, GH, Carpenter, KE Compagno, LJV, Ebert, DA, Gibson, C, Heupel, MR, Livingstone, SR, Sanciangco, JC, Stevens, JD, Valenti, S and White, WT (2014) Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife*. 3:e00590: <https://doi.org/10.7554/eLife.00590>.

Rabassa, J (2008) Late cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in quaternary sciences*, 11, 151-204. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2011.01681.x>

Richter, M (1987) Osteichthyes e Elasmobranchii (Pisces) da Bacia de Pelotas, Quaternário de Rio Grande do Sul, Brasil. *Paula-coutiana*, 1, 17-38.

Richter, M (2000) Peixes fósseis do Rio Grande do Sul. Paleontologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 162-175.

Richter, M (2011) Ágnatos e Peixes. In: Carvalho, I. S (Org.) *Paleontologia: Paleovertebrados, Paleobotânica*. Volume 3. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência. P. 37-59.

Rigby, CL, Barreto, R, Carlson, J, Fernando, D, Fordham, S, Francis, MP, Herman, K, Jabado, RW, Liu, KM, Lowe, CG, Marshall, A, Pacoureaux, N, Romanov, E, Sherley, RB and Winker, H (2019) *Carcharodon carcharias*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T3855A2878674. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T3855A2878674.en>.

Ritter, EK, and Amin, RW (2019) Mating Scars Among Sharks: Evidence of Coercive Mating?. *Acta Ethologica*, 22(1), 9-16.

Rodrigues-Filho, L F S and de Luna Sales, J B (2017) Chondrichthyes -

Multidisciplinary Approach. 1. ed. *Rijeka: InTech*, 2017. v. 1. 134p. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/65879>.

Rosa, RS, Gadig, OBF, Santos Motta, F and Namora, RC (2004) Rhizoprionodon lalandii. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Disponível em 18 de outubro de 2019: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T44666A10922264.en>.

Ruddiman, WF (2014) Earth's Climate: Past and Future. *W. H. Freeman and Company*, 3rd. New York.

Sallan, LC, and Coates, M I (2014) The long-rostrumed elasmobranch Bandringa Zangerl, (1969, and taphonomy within a Carboniferous shark nursery. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34(1), 22-33. <https://doi.org/10.1080/02724634.2013.782875>

Sallenger Jr, AH (1979). Beach-cusp formation. *Marine Geology*, 29(1-4), 23-37.

Santos, MC, Faria-Junior, E, and Freitas, RHA (2020) Reconhecimento etnoecológico sobre o tubarão-mangona *Carcharias taurus* sob a perspectiva de pescadores artesanais da grande Florianópolis-SC, Brasil. *Revista Nordestina de Biologia*, 27(1), 143–157.

Shimada, K (2002) Dental Homologies in Lamniform Sharks (Chondrichthyes: Elasmobranchii). *Journal of Morphology*, 251(1), 38-72.

Snelson, FF, Mulligan, TJ and Williams SE (1984) Food habits, occurrence and population structure of the bull shark *Carcharhinus leucas*, in Florida coastal lagoons. *Bull. Mar. Sci.* v. 34, n. 1, p. 71-80.

Soto, JMR. (2001) Annotated systematic checklist and bibliography of the coastal and oceanic fauna of Brazil. *Mare Magnum*, 51, 120.

Soto, JMR and Mincarone, MM (2004) Collections of the Museu Oceanográfico do Vale do Itajaí 1. Catálogo of Cartilaginous Fishes (Myxini, Cephalaspidomorphi, Elasmobranchi, Holocephali). *Maré Magnum*, 2 (1-2) 1-25.

Soto, JMR and Nisa-Castro-Neto, W (1993) Sobre a presença de *Carcharhinus leucas* (Valenciennes, 1839) no litoral do Rio Grande do Sul e Lagoa dos Patos. In: *Resumos da 6ª Reunião do Grupo de Trabalho sobre Pesca e Pesquisa de Tubarões e Raias no Brasil*. Santos: IPESCA, 35.

Soto, JMR, Vooren, CM, Oddone, MC, Barreto, RRP and Lessa, RPT (2018) *Notorynchus cepedianus*. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Org.). *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI - Peixes*. Brasília: ICMBio. p. 1001-1003.

Savrda, CE (2007). Taphonomy of trace fossils. In *Trace fossils* (pp. 92-109). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452949-7/50132-7>

Stehmann, M (1988) Contributions to the Study of The Comparative Morphology of Teeth and Other Relevant Ichthyodorulites in Living Supraspecific Táxons of Chondrichthyan Fishes. Part A: Selachii. No 2a: Order: Carcharhiniformes – Family: Triakidae. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique. Biologie* 58: 99-126.

Tierney, JE, Zhu, J, King, J, Malevich, SB, Hakim, GJ and Poulsen, CJ (2020) Glacial cooling and climate sensitivity revisited. *Nature*. 584, 569–573

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2617-x>.

Tomazelli, LJ and Villwock, JA (2000) O Cenozoico do Rio Grande do Sul: Geologia da planície costeira, in Holz, M., and De Ros, L.F. (eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*: Porto Alegre, Brazil. p. 375-406.

Tomazelli, LJ and Dillenburg, SR (2007) Sedimentary Facies and Stratigraphy of a Last Interglacial Coastal Barrier in South Brazil. *Marine Geology*, 244 (1-4), 33 – 35.

Tomazelli, L J; Villwock, JA; Dillenburg, SR, Bachi, FA and Dehnhardt, B.A (1997) A erosão costeira e a transgressão marinha atual na costa do Rio Grande do Sul. Resumos Expandidos, 6º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Curitiba, ABEQUA. 1: 415-419.

Tomazelli LJ, Villwock JA, Dillenburg SR, Bachi FA and Dehnhardt BA (1998) Significance of Present-Day Coastal Erosion and Marine Transgression, Rio Grande Do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 70(2): 221–229.

Underwood, CJ (2006) Diversification of the Neoselachii (Chondrichthyes) during the Jurassic and Cretaceous. *Paleobiology*, 32 (2): 215–235.

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

Villwock, J A and Tomazelli, L J (1995) Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas técnicas*, v. 8, p. 1-45.

Villwock, JA, Tomazelli, LJ, Loss, EL, Dehnhardt, EA, Horn, NO, Bachi, FA and Dehnhardt, BA (1986) Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: Rabassa, J. (Ed.), Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. A.A. Balkema, Rotterdam, Pp. 79–97.

Visaggi, CC and Godfrey, SJ (2010) Variation in composition and abundance of Miocene shark teeth from Calvert Cliffs, Maryland. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30:1, 26-35.

Vooren CM and Klippel S (2005) Ações para a conservação de tubarões e raias no sul do Brasil. Porto Alegre: Igaré.

Vooren, MC and Oddone, MC (2019) La Diversidad de los Condrictios del Extremo Sur de Brasil: Las Especies, sus Orígenes, y sus Modos Reproductivos. In: Ciencias Marino-Costeras En El Umbral Del Siglo XXI, Desafíos En Latinoamérica Y El Caribe, Editorial AGT Editorial SA, México DF, México, p. 171 – 205.

Walker, TI, Cavanagh, RD, Stevens, JD, Carlisle, AB, Chiamonte, GE, Domingo, A, Ebert, DA, Mancusi, CM, Massa, A, McCord, M, Morey, G, Paul, LJ, Serena, F and Vooren, CM (2006) *Galeorhinus galeus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Disponível em 18 de outubro de 2019 em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2006.RLTS.T39352A10212764.en>.

Weigmann, S (2016) Annotated checklist of the living sharks, batoids and chimaeras (Chondrichthyes) of the world, with a focus on biogeographical diversity. *Journal of Fish Biology* 88.3: 837-1037.

Welton, BJ and Farish, RF (1993) The Collector's Guide to Fossil Sharks End Says from The Cretaceous of Texas. *Before Time*. Texas. 204.

Young, CN and Carlson, JK (2020) The biology and conservation status of the oceanic whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*) and future directions for recovery. *Rev Fish Biol Fisheries*. 30, 293–312. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09601-3>

ANEXOS

Anexo 1. Material suplementar submetido juntamente com o manuscrito (Artigo do Cap. IV). A formatação segue os padrões exigidos pela revista.

Supplementary Online Material For

Quaternary fossil shark (Neoselachii: Galeomorphii and Squalomorphii) diversity from Southern Brazil

Sheron Medeiros^a, Maria Cristina Oddone^b, Heitor Francischini^c, Débora Diniz^d and Paula Dentzien-Dias^a

Table S1: Data of current jaws belonging to the collection of the Morphology Laboratory 2 - Chondrichthyes Research (Biological Sciences Institute – FURG) used for comparisons. All jaws are from sharks caught off the southern coast of Brazil.

Classification number	Taxa	Sex	Total length	Capture Depth	Sampling date
MO155	<i>Carcharhinus brevipinna</i>	-	-	-	10/11/1982
MO228	<i>Carcharhinus falciformes</i>	-	-	-	-
MO175	<i>Carcharhinus limbatus</i>	-	-	-	-
-	<i>Carcharhinus obscurus</i>	Female	350 cm	18 m	29/3/1986
MO90	<i>Carcharhinus signatus</i>	Male	136 cm	297-691 m	3/1996
MO233	<i>Carcharias taurus</i>	Male	276 cm	-	-
LGP/C600	<i>Carcharias taurus</i>	-	-	-	2018

-	<i>Galeocerdo cuvier</i>	-	-	-	-
MO157	<i>Galeorhinus galeus</i>	Female	148 cm	-	7/1981
MO188	<i>Notorynchus cepedianus</i>	Male	58 cm	60 m	13-
MO218	<i>Prionace glauca</i>	Female	155 cm	760-1200 m	2/1999
-	<i>Squatina guggenheim</i>	-	-	-	-
-	<i>Squatina oculata</i>	-	-	-	-