

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

**CONTROLES GEOLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS DA
DISTRIBUIÇÃO DE BIOCLASTOS FÓSSEIS NO SISTEMA
PRAIAL DA BARREIRA HOLOCÊNICA DO SUL DO BRASIL**

ERICK ANTAL CRUZ

ORIENTADOR – Prof. Dr. Sergio Rebello Dillenburg (UFRGS)

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Francisco Sekiguchi Buchmann (UNESP)

Porto Alegre – 2021

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

**CONTROLES GEOLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS DA
DISTRIBUIÇÃO DE BIOCLASTOS FÓSSEIS NO SISTEMA
PRAIAL DA BARREIRA HOLOCÊNICA DO SUL DO BRASIL**

ERICK ANTAL CRUZ

ORIENTADOR – Prof. Dr. Sergio Rebello Dillenburg (UFRGS)

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Francisco Sekiguchi Buchmann (UNESP)

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto (UFPA)

Prof. Dr. Rogério Portantiolo Manzolli (CUC)

Prof. Dr. Guilherme Borges Fernandez (UFF)

Tese de Doutorado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do Título
de Doutor em Ciências.

Porto Alegre – 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Cruz, Erick Antal

Controles geológicos e oceanográficos da distribuição de bioclastos fósseis no sistema praial da barreira holocênica do sul do Brasil / Erick Antal Cruz. -- 2021.

179 f.

Orientador: Sergio Rebello Dillenburg.

Coorientador: Francisco Sekiguchi Buchmann.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Evolução Costeira. 2. Erosão Costeira. 3. Morfodinâmica Costeira. 4. Quaternário. 5. Megafauna. I. Dillenburg, Sergio Rebello, orient. II. Buchmann, Francisco Sekiguchi, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

***Se alguém fez, você pode fazer.
Se ninguém fez, você será o primeiro.***

Rachel Lavinia Cruz

Nem sempre o caminho mais fácil é o melhor.

RaaR Marcellao - Iluminosproxy

SABEDORIA DAS SABEDORIAS

Viasa Veda

Oferecendo-vos o Conhecimento da Origem Única, do Movimento Único e da Finalidade Única, ofereço-vos a Trilha Única, o Caminho Certo. Aquele que, por qualquer motivo ou pretexto se desviar, terá que, sofrendo, retornar ao Caminho Certo, para então atingir a Finalidade Única.

Crisna

Todas as vidas ou existências, todo trabalho e todo sofrimento, é para que possais voltar a Mim, o Senhor Único, a origem e a Finalidade.

Sabedoria Órfica

Conhece-te a ti mesmo e conhecerás o universo e os deuses.

Sabedoria Hermética

O verdadeiro sábio é aquele que sabe ter Deus em si e tudo faz para com Ele se unir. O de dentro e o de fora, o de cima e o de baixo, tudo é um, porque só um é o Princípio.

Zoroastro

Uma só Verdade, e só com ela triunfareis.

Pitágoras

Do Um tudo parte, no Um tudo movimenta e no Um tudo atinge a finalidade.

Sabedoria Hinduísta

O Senhor está na intimidade profunda de cada um, mas poucos sabem disso. Aqueles que disso vêm a ter conhecimento, e se esforçam para realizar a união, esses gozarão da Sua Eterna Glória. Aquele que procura a Verdade fora de si, certamente a encontrará nos fundamentos de tudo o que existe, mas aquele que a procura em si e com ela se faz uno, esse é o verdadeiro sábio.

RESUMO

Os bioclastos fósseis aqui analisados foram coletados ao longo de toda a porção praial emersa da barreira holocênica do RS. O objetivo do presente trabalho foi analisar, em uma escala regional, a relação entre o comportamento evolutivo da barreira e a ocorrência (distribuição) de bioclastos fósseis, correlacionada também com as feições morfológicas presentes na antepraia e plataforma continental. Os resultados demonstraram que a distribuição dos bioclastos fósseis está intimamente relacionada à evolução geológica da barreira e às feições morfológicas da antepraia e plataforma continental. Ao longo de trechos da costa onde a barreira se comporta como retrogradante (linha de costa transgressiva, e.g. porção sul das projeções costeiras), há uma maior quantidade de bioclastos fósseis. Enquanto que, ao longo de trechos onde a barreira se comporta como progradante (linha de costa regressiva, e.g. embaiamentos costeiros), a quantidade de bioclastos fósseis é consideravelmente menor ou há ausência dos mesmos. A distribuição diferenciada de bioclastos fósseis, encontrados nas praias ao sul das projeções costeiras, onde a barreira holocênica se comporta como retrogradante, reflete a distribuição pretérita das espécies vivas em seus ambientes naturais e as condições ambientais de preservação e fossilização *post mortem*. Os bioclastos fósseis representam uma mistura de vertebrados terrestres e vertebrados e invertebrados marinhos, associados a depósitos de conchas marinhas fósseis. Entretanto, a maioria dos bioclastos fósseis são espécimes de vertebrados terrestres extintos (megafauna), pois os ambientes terrestres favorecerem melhores condições para a fossilização em comparação com os ambientes marinhos rasos, uma vez que os ambientes terrestres são menos energéticos e mais abrigados. Os elementos esqueléticos de vertebrados terrestres, presentes em feições morfológicas da antepraia e plataforma continental (antigos ambientes terrestres), foram retrabalhados pelas oscilações do nível do mar e, modernamente, estão sendo concentrados na antepraia e transportados por ondas e correntes para o sistema praial de alguns trechos da barreira holocênica do RS.

Palavras-chave: Evolução Costeira; Morfologia da Antepraia; Erosão Costeira; Morfodinâmica Costeira; Quaternário; Megafauna.

ABSTRACT

The fossil bioclasts analyzed here were collected along the entire emerged beach portion of the Holocene barrier of RS. The objective of the present work was to analyze, on a regional scale, the possible relationship between the evolutionary behavior of the barrier and the occurrence (distribution) of fossil bioclasts, correlated also with the morphological features present on the shoreface and continental shelf. The results showed that the distribution of fossil bioclasts is closely related to the geological evolution of the barrier and to the morphological features on the shoreface and continental shelf. Along stretches of the coast where the barrier behaves as a retrogradant (transgressive coastline, e.g. southern portion of the coastal projections), there is a greater amount of fossil bioclasts. While, along stretches where the barrier behaves as progradant (regressive coastline, e.g. coastal embayments), the amount of fossil bioclasts is considerably less or absent. The different distribution of fossil bioclasts, found on the beaches in the south of the coastal projections, reflects the past distribution of the living species in their natural environments and the environmental conditions of preservation and post mortem fossilization. The fossil bioclasts represent a mixture of terrestrial vertebrates and marine vertebrates and invertebrates, associated with deposits of fossil marine shells. However, most of the fossil bioclasts are specimens of extinct terrestrial vertebrates (megafauna), because terrestrial environments favor better conditions for fossilization compared to shallow marine environments, since terrestrial environments are less energetic and more sheltered. The skeletal elements of terrestrial vertebrates, present in morphological features on the shoreface and continental shelf (former terrestrial environments), have been reworked by the sea level oscillations and, modernly, are being concentrated in the shoreface and transported by waves and currents to the beach system of some stretches of the Holocene barrier of RS.

Key-words: Coastal Evolution; Shoreface Morphology; Coastal Erosion; Coastal Morphodynamics; Quaternary; Megafauna.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
SUMÁRIO	8
ESTRUTURA DA TESE	10
CAPÍTULO 1	11
1.1. Introdução	12
1.2. Área de Estudo	16
1.2.1. Contexto Geológico e Evolutivo	16
1.2.2. Contexto Oceanográfico e Meteorológico	19
1.2.3. Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.....	24
1.2.4. Estabilizações do Nível do Mar na Plataforma Continental do RS.....	29
1.2.5. Estações de Coleta e Monitoramento	32
1.3. Objetivos	33
1.4. Importância do Tema	34
1.5. Premissas e Hipótese	35
1.6. Materiais e Métodos	37
1.7. REFERÊNCIAS	38
CAPÍTULO 2	53
RESUMO	54
ABSTRACT	54
2.1. Introdução	55
2.2. Área de Estudo	56
2.2.1. Planície Costeira do Rio Grande do Sul	56
2.2.2. Características Oceanográficas, Meteorológicas e Batimétricas	59
2.3. Materiais e Métodos	61
2.4. Resultados	62
2.4.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos	62
2.4.2. Aspectos tafonômicos e estruturais.....	63
2.5. Discussão	66
2.5.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos	66
2.5.2. Aspectos tafonômicos e estruturais.....	68
2.5.3. Estoque sedimentar e conchas marinhas associadas	72
2.6. Conclusões	77
2.7. REFERÊNCIAS	79
CAPÍTULO 3	94
RESUMO	95
ABSTRACT	95

3.1. Introdução	96
3.2. Área De Estudo	97
3.2.1. Planície Costeira do Rio Grande do Sul	97
3.2.2. Características Oceanográficas e Meteorológicas.....	99
3.2.3. Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.....	101
3.2.4. Arenitos de praia da antepraia e plataforma continental do RS	104
3.3. Materiais e Métodos	106
3.4. Resultados	107
3.4.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos	107
3.4.2. Aspectos tafonômicos e estruturais.....	107
3.4.3. Distribuição dos bioclastos fósseis.....	109
3.5. Discussão	110
3.5.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos	111
3.5.2. Aspectos tafonômicos e estruturais.....	111
3.5.3. Controles da distribuição dos bioclastos fósseis	112
3.6. Conclusões	126
3.7. REFERÊNCIAS	128
CAPÍTULO 4	141
ABSTRACT	142
4.1. Introduction	142
4.2. Study Area	143
4.2.1. Coastal Plain of Rio Grande do Sul.....	143
4.2.2. Oceanographic and Meteorological Settings	147
4.2.3. Continental Shelf of Rio Grande do Sul.....	148
4.3. Materials and Methods	152
4.4. Results	153
4.5. Discussion	155
4.6. Conclusions	160
4.7. REFERENCES	161
CAPÍTULO 5	174
5.1. Considerações Finais	175
ANEXOS	177
I) Comprovante de submissão dos artigos 1 e 2.....	178
II) Comprovante de submissão do artigo 3	179

ESTRUTURA DA TESE

Esta tese de Doutorado está estruturada em torno de artigos publicados em periódicos indexados. Consequentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

Capítulo 1:

Contém os aspectos introdutórios, os objetivos, a importância da pesquisa, as premissas e hipóteses e as principais ferramentas que foram utilizadas.

Capítulo 2:

Artigo científico “*Variação temporal (20 anos) da distribuição e grau de preservação dos fósseis de vertebrados pleistocênicos na linha de costa do extremo sul do Brasil*”, submetido à **Revista Brasileira de Geomorfologia**.

Capítulo 3:

Artigo científico “*A morfologia da antepraia (shoreface) controlando a distribuição de bioclastos fósseis nas praias arenosas do RS*”, submetido à **Revista Brasileira de Geomorfologia**.

Capítulo 4:

Artigo científico “*The Holocene barrier evolution and the distribution of fossil bioclasts on the beaches of southern Brazil*”, submetido aos **Anais da Academia Brasileira de Ciências**.

Capítulo 5:

Contém as considerações finais sob a forma de um texto integrador do conteúdo abordado nos capítulos anteriores.

ANEXOS: Contém os comprovantes de submissão dos artigos.

CAPÍTULO 1

Considerações Iniciais

1.1. Introdução

A atual morfologia da plataforma continental do RS é considerada uma herança geológica pouco modificada da topografia antecedente (DILLENBURG et al., 2000), que foi inundada e retrabalhada pelas oscilações glacio-eustáticas do nível do mar durante o Quaternário (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; CORRÊA et al., 1996). Portanto, existe uma correlação entre a morfologia da plataforma continental e da configuração da linha de costa.

Ao longo dos embaiamentos costeiros (e.g. Cassino), a plataforma é mais larga e levemente inclinada, enquanto ao longo das projeções costeiras (e.g. Mostardas e Albardão) é mais estreita e íngreme (DILLENBURG et al., 2000) (Fig. 1).

Há fortes evidências de que a coexistência de longo prazo das barreiras regressivas e transgressivas ao longo da PCRS poderia ser um produto da existência de gradientes longitudinais da energia das ondas, a qual é maior nas projeções costeiras (LIMA; ALMEIDA; TOLDO, 2001; MARTINHO, 2008; DILLENBURG et al., 2009) (Fig. 2). Este gradiente pode evidenciar como os depósitos fossilíferos submersos mudaram ao longo do tempo e porque a deposição de bioclastos fósseis pleistocênicos nas praias ao longo da PCRS é diferente.

Durante os períodos glaciais do Quaternário, grandes áreas das plataformas continentais em todo o mundo foram expostas e ocupadas por ambientes terrestres. Nos períodos interglaciais, como na transição Pleistoceno Tardio/Holoceno estas áreas foram inundadas e retrabalhadas pela subida do nível do mar (BUCHMANN, 1994a, 2002; LOPES; BUCHMANN, 2010; LOPES et al., 2010).

As oscilações do nível do mar desempenharam um papel importante no retrabalhamento de sedimentos relíquia presentes na plataforma continental do Rio Grande do Sul (MARTINS; URIEN; MARTINS, 2003; ANGULO; LESSA, 1997). De acordo com Dillenburg (1994, 1996), durante a subida do nível do mar, os depósitos sedimentares de ambientes terrestres, em processo de submersão, podem ter sido erodidos em até 10 m de suas espessuras, resultando, assim, na exposição dessas paleolagoas, paleolagunas e paleocanais presentes na plataforma continental

(CORRÊA, 1986; CORRÊA et al., 1996; MARTINS et al., 1996; ABREU; CALLIARI, 2005; SILVA, 2009; WESCHENFELDER et al., 2010, 2014).

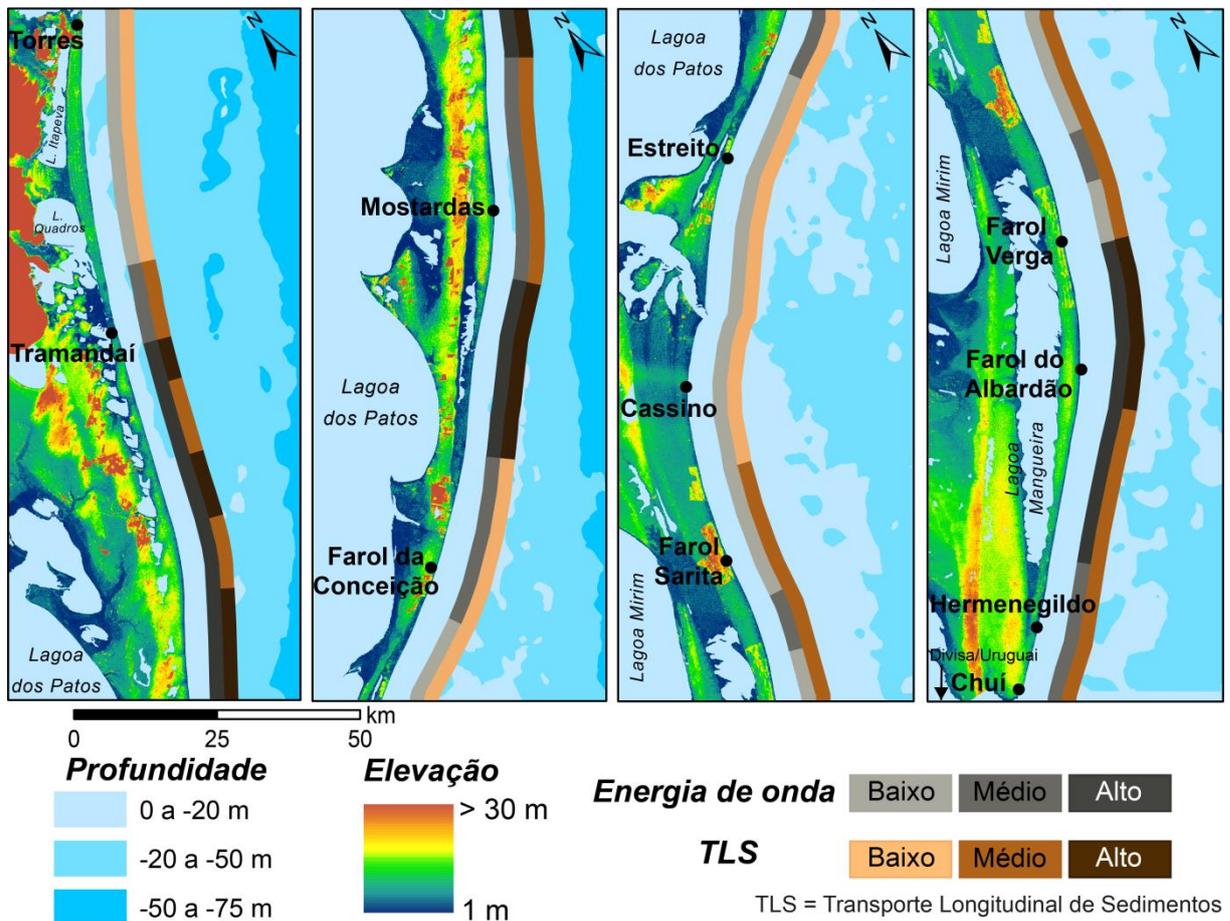


Figura 1. Embaiamentos e projeções costeiras da PCRS, mostrando a batimetria geral e gradientes de energia das ondas (modificado de BITENCOURT; DILLENBURG, 2020).

Após várias oscilações de natureza glacio-eustática do nível do mar, ocorridas durante o Quaternário Médio e Tardio, os elementos esqueléticos de vertebrados pleistocênicos, preservados em paleocanais fluviais e paleolagoas continentais, foram erodidos e retrabalhados, bem como os elementos de vertebrados e invertebrados marinhos. Atualmente, esses elementos estão sendo concentrados na antepraia e são transportados por ondas e correntes para as praias ao longo da costa (BUCHMANN, 1994b, 2002; BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003; LOPES et al., 2001; LOPES; BUCHMANN, 2010) (Fig. 3).

Idades obtidas através de Ressonância do Spin do Elétron de dentes de *Toxodon platensis* (Notoungulata) e *Notiomastodon platensis* (Proboscidea) variaram

entre 18 a 650 ka (LOPES et al. 2010), indicando que houve mistura temporal dos fósseis durante sucessivos processos de erosão e retrabalhamento, e posterior transporte pelas ondas para as praias.

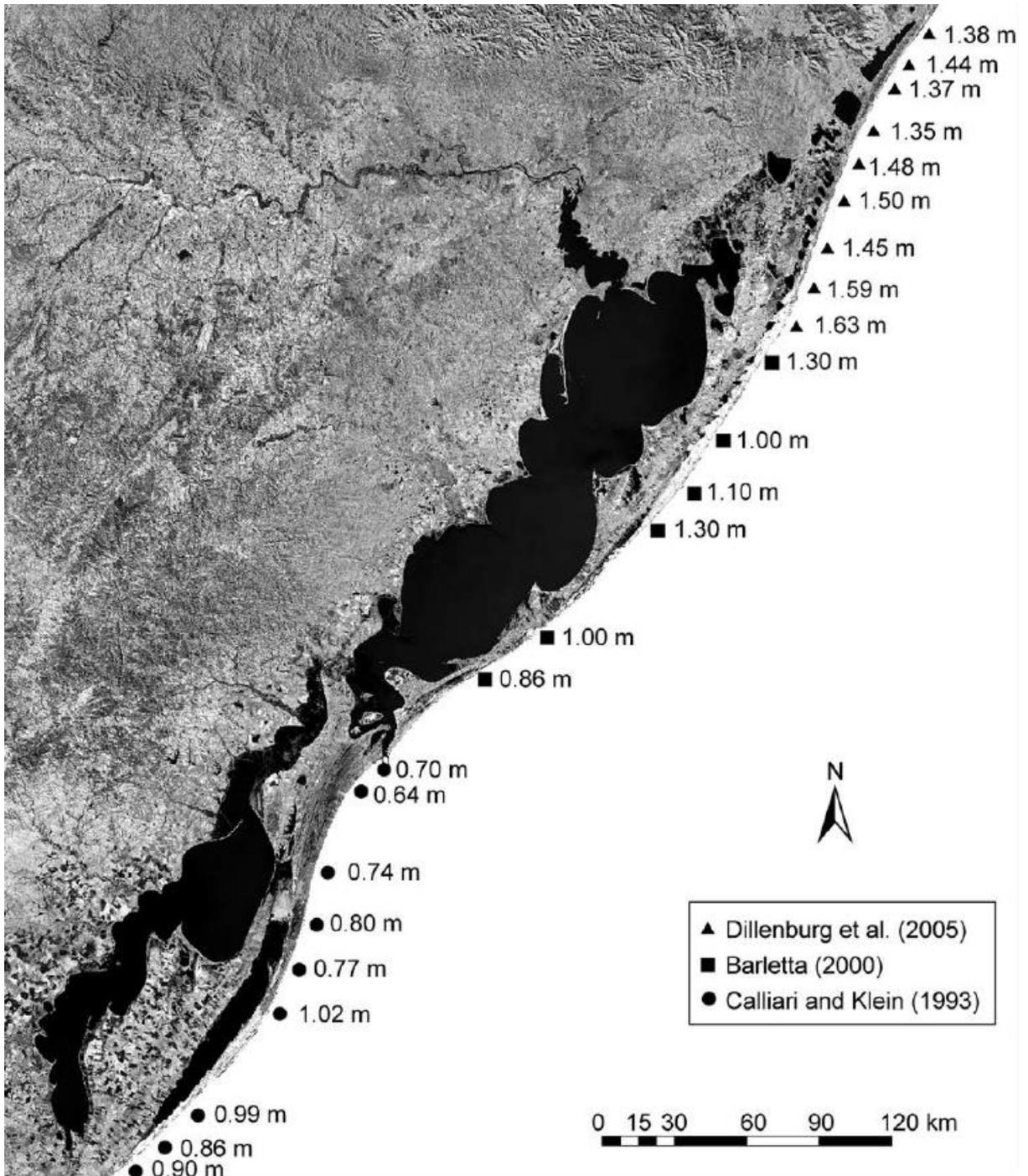


Figura 2. Valores significativos de altura de onda para as praias ao longo da costa do RS, mostrando o aumento da altura das ondas conforme se aproximam das projeções costeiras (retirado de DILLENBURG et al., 2009).



Figura 3. Fóssil de vertebrado pleistocênico associado aos depósitos de material bioclástico e sedimento praiial Na seta, elemento esquelético apendicular representado por um dente de *Toxodon* sp. (Foto de BUCHMANN).

1.2. Área de Estudo

1.2.1. Contexto Geológico e Evolutivo

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) foi formada após a separação entre a América do Sul e África no final do Cretáceo (STICA; ZALÁN; FERRARI, 2014; DILLENBURG et al., 2017).

Entre o Neógeno e o Quaternário, a morfologia da PCRS foi afetada por oscilações glacio-eustáticas do nível do mar, o que levou à formação de dois grandes sistemas deposicionais: o Sistema de Leques Aluviais, ativos principalmente nos períodos de mar baixo, e o Sistema Laguna-Barreira, cujos registros se formaram durante os níveis de mar alto, associados aos estágios isotópicos marinhos 9, 7e, 5e e 1 (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; LOPES et al. 2014, ROSA et al. 2017) (Fig. 4).

A PCRS possui 620 km de extensão (longitudinal) e se caracteriza por apresentar um conjunto de barreiras costeiras orientadas a NE-SW. No extremo norte da planície costeira, as terras altas consistem em rochas vulcânicas e sedimentares do Paleozóico e Mesozóico da Bacia do Paraná, enquanto ao sul, ocorrem rochas ígneas e metamórficas do escudo Pré-Cambriano (TOMAZELLI; DILLENBURG; VILLWOCK, 2000).

Os sedimentos da costa são essencialmente siliciclásticos, areias bem selecionadas e maduras, com pequenas quantidades de matéria orgânica, carbonato biogênico, argilas diagenéticas e concentrações de minerais pesados (VILLWOCK et al., 1979; VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; DILLENBURG; TOMAZELLI; BARBOZA, 2004).

O Sistema Laguna-Barreira é subdividido em quatro subsistemas laguna-barreira. Cada um deles formado durante as transgressões marinhas correlacionadas aos episódios interglaciais ocorridos durante o Pleistoceno Superior-Holoceno (TOMAZELLI; DILLENBURG; VILLWOCK, 2000).

Villwock e Tomazelli (1995) correlacionaram as idades das barreiras com os

picos de oxigênio da curva isotópica proposto por Imbrie et al. (1984). Posteriormente, com a obtenção de idades geocronológicas por Termoluminescência e Ressonância do Spin do Elétron, as barreiras pleistocênicas I e II foram respectivamente reposicionadas nos estágios 9 (325 ka) e 7e (220-240 A barreira III corresponde ao estágio isotópico 5 (120 ka) e a Barreira Holocênica IV ao estágio 1 (6 ka) (LOPES et al., 2014) (Fig. 4).

O sistema de Barreira holocênica se estende por toda a zona costeira do Rio Grande do Sul e consiste em duas grandes projeções (convexidades) no sentido do mar e duas reentrâncias (concauidades) no sentido do continente, correspondendo a trechos em retrogradação e progradação, respectivamente (DILLENBURG et al., 2000, 2009; DILLENBURG; BARBOZA, 2014).

A presença de lama lagunar e afloramentos de turfa no estirâncio (*foreshore*) de algumas praias das projeções costeiras, indicam esse comportamento tipicamente transgressivo durante os últimos 7 ka, mesmo com o nível do mar em queda nos últimos 5 ka, forçado pelo déficit local de aporte de sedimentos (TOMAZELLI et al., 1998; DILLENBURG et al., 2000, 2009, 2020; CARON et al., 2007, 2011; LIMA et al., 2013, 2020).

A origem, evolução e o posicionamento geográfico atual da linha de costa do RS, reflete sua topografia antecedente (herança geológica) (DILLENBURG et al. 2000), a qual foi inundada pelo nível de mar ascendente relacionado à Transgressão Marinha Pós-Glacial, iniciada há cerca de 18 ka, quando o nível do mar estava posicionado cerca de 120 metros abaixo do nível atual (CORRÊA et al., 1996; WESCHENFELDER et al., 2014).

Há cerca de 6 ka, o nível do mar atinge aproximadamente 2-3 metros acima do nível atual, seguido desde então por uma queda suave até o presente (ANGULO; LESSA, 1997; ANGULO et al., 1999; ANGULO; LESSA; SOUZA, 2006; BARBOZA; TOMAZELLI, 2003; MARTIN; DOMINGUEZ; BITTENCOURT, 2003; DILLENBURG et al., 2009, 2017). Na costa do RS, estima-se que o nível do mar atingiu altitudes próximas a 22,5 metros (DILLENBURG et al., 2017, DILLENBURG et al., em preparação).

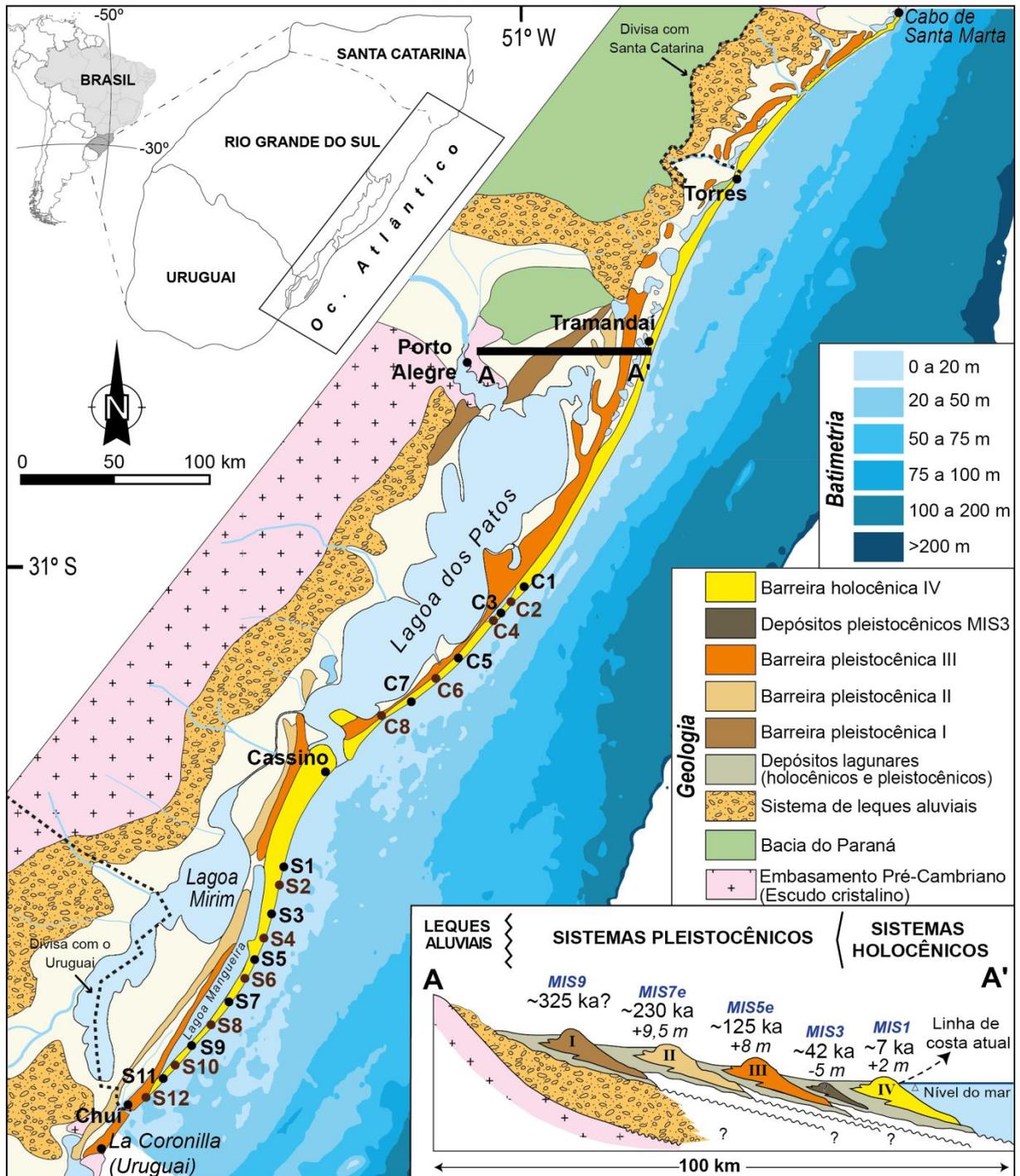


Figura 4. Geologia e batimetria da margem continental do RS, mostrando a estações de coleta dos bioclastos fósseis. A inserção mostra a estratigrafia esquemática da seção transversal da PCRS, correspondente ao perfil A-A', situado entre Porto Alegre e Tramandaí, com destaque para os quatro sistemas laguna-barreira e seus respectivos estágios isotópicos marinhos (modificado de BITENCOURT; DILLENBURG, 2020; BITENCOURT et al., 2020a).

1.2.2. Contexto Oceanográfico e Meteorológico

Conforme a classificação proposta por Wright e Short (1984), as praias do Rio Grande do Sul podem ser dissipativas, intermediárias e reflectivas, dependendo do gradiente do substrato da antepraia (*shoreface*) adjacente e a composição dos sedimentos praias.

O estado dissipativo caracteriza-se por uma larga zona de arrebentação e surfe, com uma pequena declividade do perfil da praia, devido à presença de grande estoque de sedimentos de granulometria fina a média. Os quatro estágios intermediários apresentam propriedades de ambos extremos, dissipativo e refletivo. O estado refletivo caracteriza-se por uma estreita zona de arrebentação, com uma grande declividade na face da praia, e apresenta um grande estoque de sedimentos de granulometria grossa (CALLIARI et al., 2003).

Segundo Calliari e Toldo (2016), a costa do RS pode ser dividida em três trechos Litoral Norte, Médio e Sul (Fig. 5). Em geral, no Litoral Norte e Médio, as praias têm características intermediárias, com tendência a dissipativas em algumas. As praias ao longo do Litoral Sul apresentam características intermediárias, com tendência a reflectivas em algumas, devido às variações granulométricas (areia média a grossa siliciclástica e cascalho bioclástico). As praias dissipativas estão localizadas nas proximidades dos embaiamentos costeiros (e.g. desembocadura do Rio Tramandaí, no norte, e desembocadura da Laguna dos Patos, no sul).

Segundo Barletta (2000), as praias de Mostardas, do Farol da Conceição e do Estreito, no Litoral Médio do RS, apresentam características morfodinâmicas intermediárias. A praia de Mostardas (número 15 da Figura 5) apresenta dunas frontais altas, não escarpadas. A praia do Farol da Conceição (número 17 da Figura 5) é estreita, apresentando sistemas de dunas tipo “*hummock*” e dunas frontais escarpadas. Mesmo com o preenchimento de sedimentos durante o verão, a praia do Farol da Conceição apresenta uma alta retração (erosão) da linha de costa, evidenciada pelo afloramento de arenitos de praia e turfas nas zonas de estirâncio e pós-praia (BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003). A praia do Estreito (número 18 da Figura 5) apresenta um sistema de dunas tipo “*hummock*” e dunas frontais escarpadas, com pequena variação granulométrica na face praial. A zona de

arrebentação é mais próxima da praia emersa.

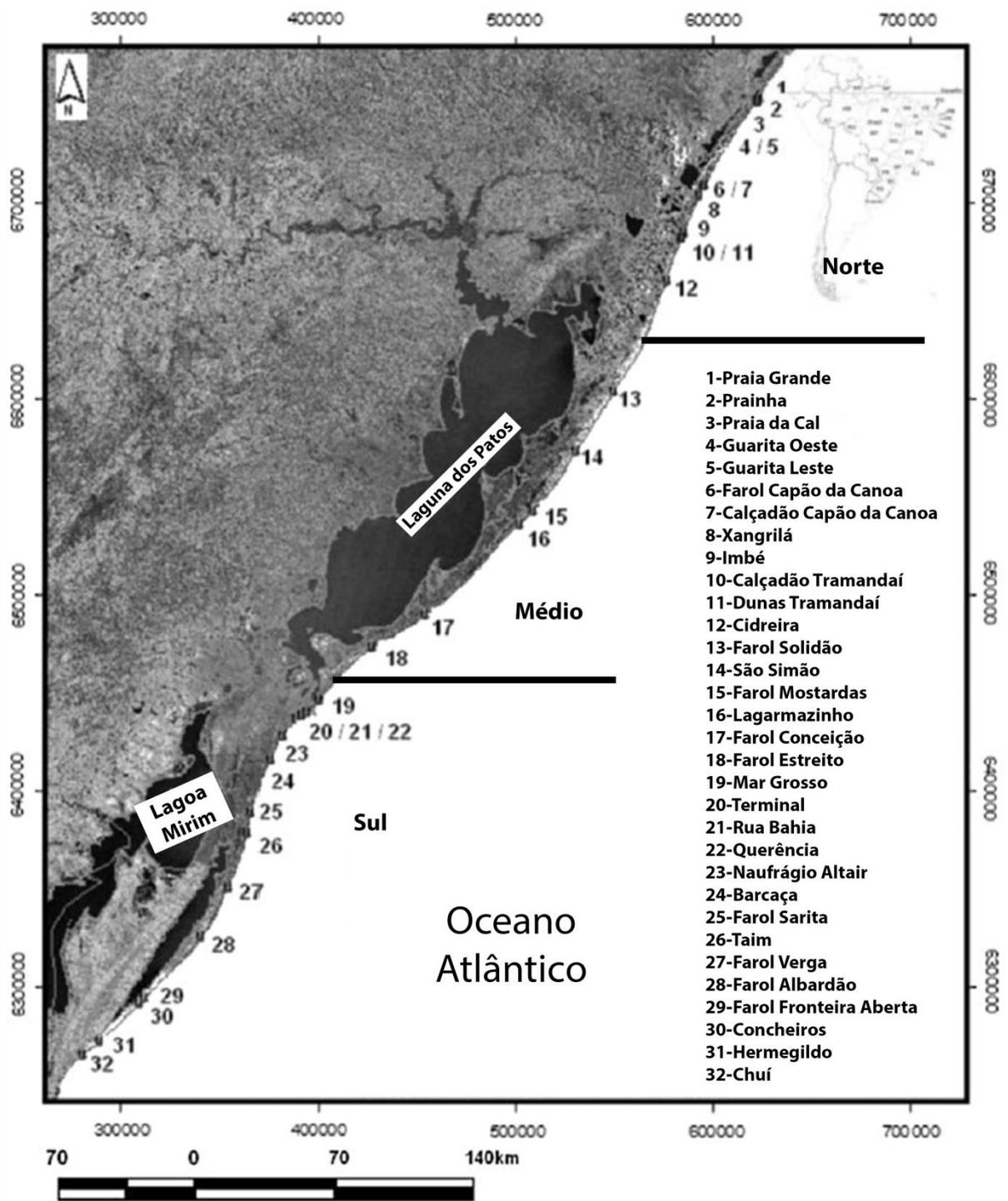


Figura 5. Divisão do Litoral Norte, Médio e Sul, segundo Calliari e Toldo (2016) e as praias presentes em cada um deles (modificado de PEREIRA; CALLIARI; BARLETTA, 2010).

A praia do Cassino (números 20, 21 e 22 da Figura 5), localizada no embaiamento costeiro, imediatamente ao sul da desembocadura da Lagoa dos

patos, apresenta características de praia dissipativa devido à presença de areia fina a muito fina, com lentes de sedimentos finos provenientes da Laguna dos Patos. Por ser uma praia dissipativa, a zona de surfe é larga com declividade suave, há elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia e extensa largura de praia (TOZZI; CALLIARI, 2000; GUEDES; CALLIARI; PEREIRA, 2009).

A praia dos Concheiros (número 30 da Figura 5) é caracterizada como praia intermediária tendendo a refletiva, devido às variações granulométricas (areia média a grossa siliciclástica e cascalho bioclástico). A praia é íngreme, o que reduz sensivelmente a largura da zona de surfe. O estoque de areia se encontra na porção emersa da praia, na forma de bermas e escarpas (CALLIARI; KLEIN, 1993; CALLIARI et al., 2003) (Fig. 6).

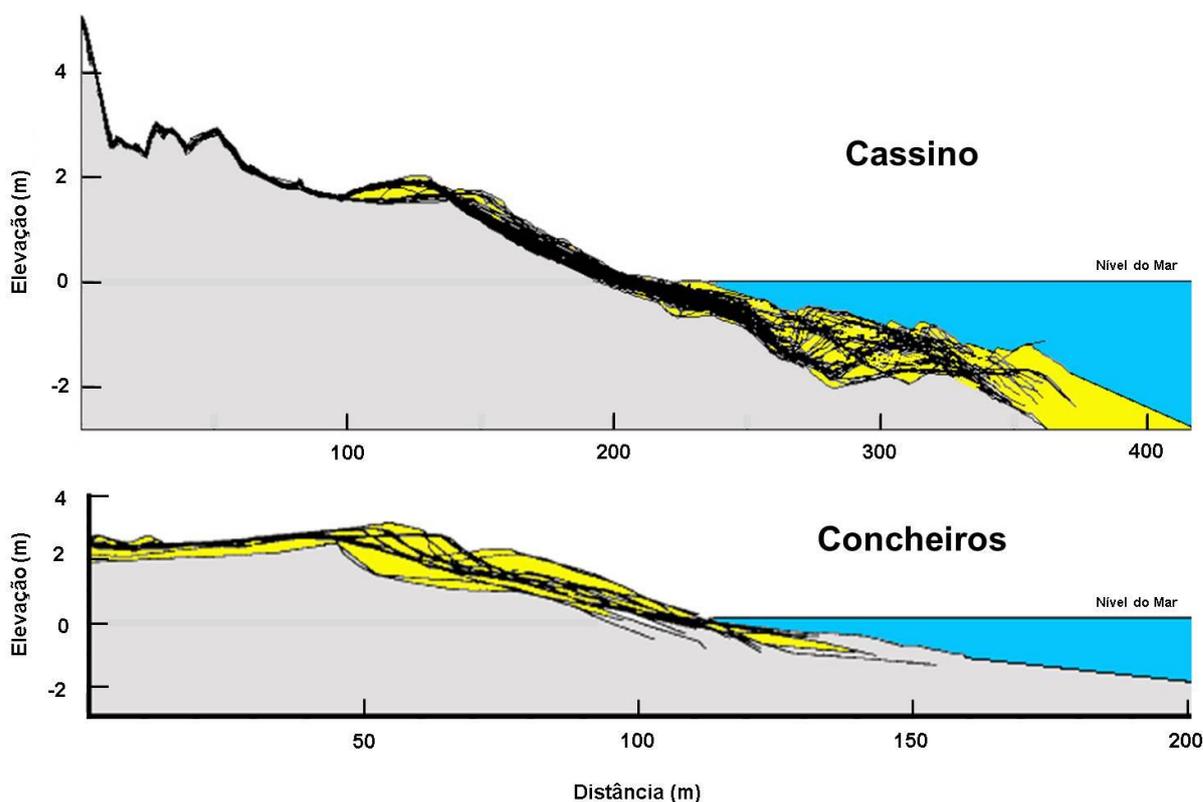


Figure 6. Variação do perfil topográfico e estoque de areia (amarelo) na praia do Cassino (cima) e Concheiros (baixo) (modificado de GUEDES; CALLIARI; PEREIRA, 2009 e CALLIARI et al., 2003).

As demais áreas mais ao sul, Farol Sarita (número 25), Farol Verga (número 27), Farol do Albardão (número 28), Hermenegildo (número 31) e Arroio Chuí (número 32), apresentam características intermediárias (CALLIARI; KLEIN, 1993;

CALLIARI et al., 2003).

Independentemente da característica morfodinâmica das praias do RS, ocorre um período de acresção, entre novembro e março, determinado principalmente por eventos de menor energia de onda (*swell*), e um perfil de erosão, entre abril e outubro, devido a regimes de onda de maior energia (*storm*) (FIGUEIREDO, 1975).

Devido a mudanças na orientação da costa e no gradiente e morfologia da plataforma continental, as praias do RS estão expostas a diferentes graus de potência das ondas (CALLIARI; KLEIN 1993; DILLENBURG et al., 2005; MARTINHO, 2008).

Segundo Cecilio e Dillenburg (2019), a altura média das ondas está entre 1,25 e 1,50 m e o clima de ondas tem predominância primária de SSE/SO, com pico de potência entre S/SSW gerado pelos ciclones e frentes frias. Secundariamente apresenta proveniência de ondas de ENE/E, geradas pelos ventos pós-frontais. Durante as tempestades de outono e inverno (abril a julho), a altura das ondas pode exceder 2,0 m e o nível d'água pode subir até 1,3 m ao longo da costa (CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; BARLETTA; CALLIARI, 2001; MOTTA et al., 2015).

A costa do RS é classificada como dominada por ondas e, portanto, as marés astronômicas, semidiurnas de até 0,5 m, são insignificantes na dinâmica costeira da área de estudo, sendo as marés meteorológicas (sobre-elevações temporárias) mais importantes nas variações do nível d'água (ANDRADE et al., 2018).

Dessa forma, a erosão, transporte e deposição de sedimentos siliciclásticos e de bioclastos fósseis, ao longo da costa, são realizados por ondas e correntes geradas por ondas, que produzem uma deriva litorânea com resultante para Nordeste (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; TOLDO et al., 1993), com mudanças sazonais pontuais no sentido, ao longo do ano (MOTTA et al., 2015).

Segundo Tomazelli (1993), os ventos do quadrante NE são os mais frequentes durante todo o ano e têm atividade intensificada nos meses quentes, seguidos em ordem de importância por ventos do quadrante W e SW. O regime de

ventos não é homogêneo por todo o litoral, sofrendo grande influência do planalto e da orientação da linha de costa (MARTINHO; HESP; DILLENBURG, 2010; ROCKETT et al., 2017; PUHL; DILLENBURG, 2018).

1.2.3. Plataforma Continental do Rio Grande do Sul

A atual morfologia da plataforma continental do RS é considerada uma herança geológica pouco modificada da topografia antecedente e é relativamente larga (>100 km), rasa (<150 m) e com uma declividade que varia entre 0,03° e 0,08° (DILLENBURG et al., 2000).

Essa morfologia é o resultado de vários episódios transgressivos e regressivos gerados por mudanças glaciais e pós-glaciais do nível do mar durante o Quaternário (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; CORRÊA et al., 1996).

Diferenças de inclinação da plataforma continental (substrato) ao longo da costa geram gradientes de energia de onda e padrões de balanço de sedimento distintos, criando trechos em que há erosão ou acreção da linha de costa (DILLENBURG et al., 2009; MARTINHO; DILLENBURG; HESP, 2009; BITENCOURT et al., 2020a,b).

Embora o padrão de ondas ao longo da costa do RS seja semelhante, a ação das ondas é atenuada, em larga escala, em trechos onde a antepraia e a plataforma continental são menos inclinadas, e mais pontualmente por rochas e elevações sedimentares submersas, presentes na antepraia e na plataforma continental em alguns trechos costeiros, e, portanto, a potência das ondas é dissipada; enquanto que a inclinação mais íngreme da antepraia e plataforma continental, adjacente a outros trechos costeiros, aumenta a potência das ondas (CECILIO; DILLENBURG, 2019).

Segundo Pimenta (1999) a plataforma do RS pode ser dividida em quatro regiões de acordo com as distintas características da sua morfologia (Fig. 7).

As regiões A (Fig. 8) e C apresentam-se bem homogêneas, com batimetria suave e sem irregularidades morfológicas significativas, sendo caracterizadas por isóbatas (isolinhas de profundidade) paralelas entre si e alinhadas à costa.

As outras regiões B (Fig. 9) e D (Fig. 10) apresentam-se bem heterogêneas, sendo caracterizadas pela marcante presença de grandes bancos arenosos lineares

(*sand ridges*), afloramentos rochosos de arenitos de praia (*beachrocks*) e coquinas, e grandes depressões morfológicas.

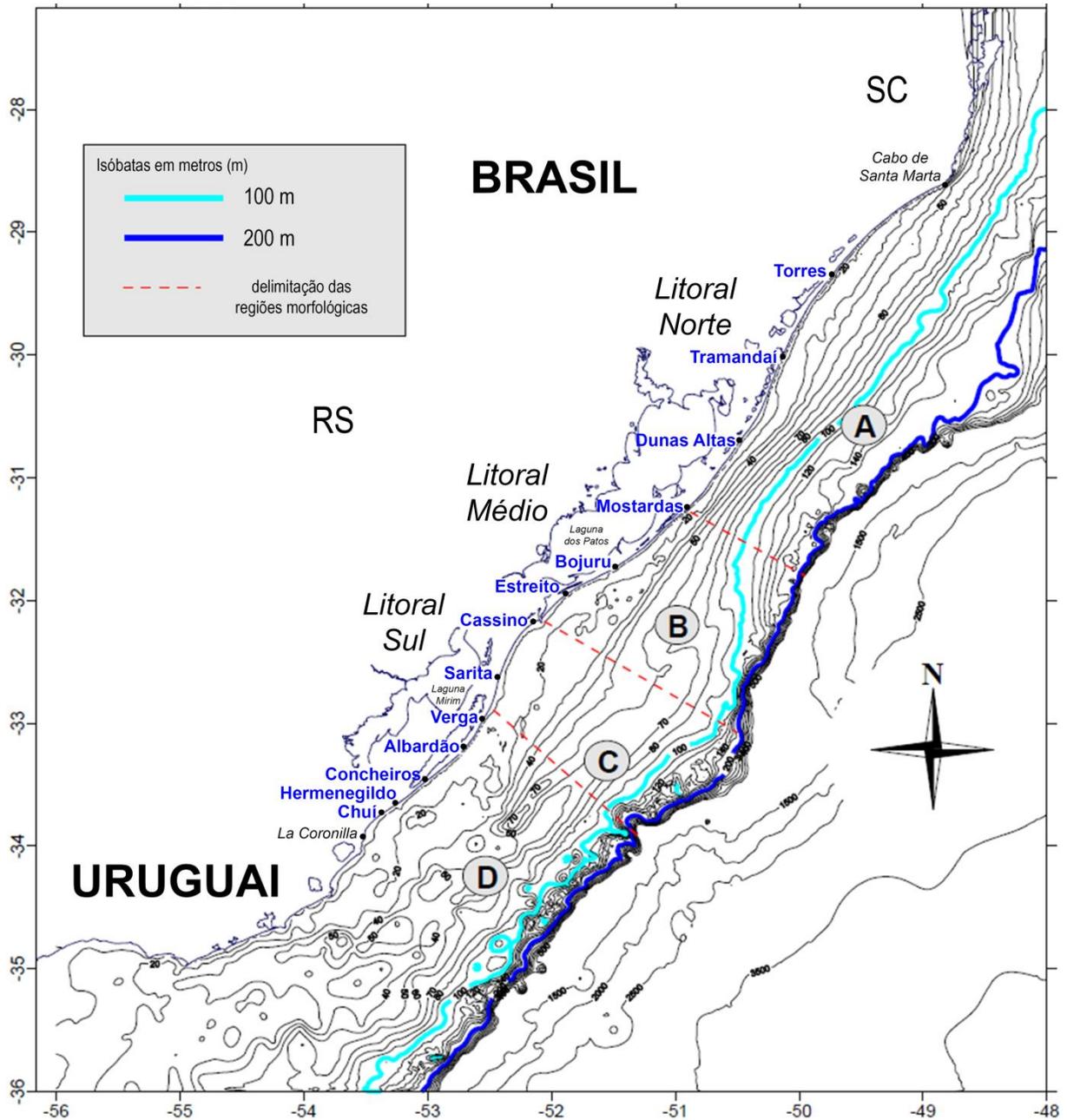


Figura 7. Batimetria da antepraia e plataforma continental do Rio Grande do Sul, mostrando a divisão das quatro regiões A, B, C e D, segundo suas características geomorfológicas (modificado de PIMENTA, 1999).

Face ao caráter mais regional de análise deste trabalho, destaca-se aqui que as regiões A e C e B e D, estão diretamente vinculadas às reentrâncias e às projeções costeiras da barreira holocênica, respectivamente.

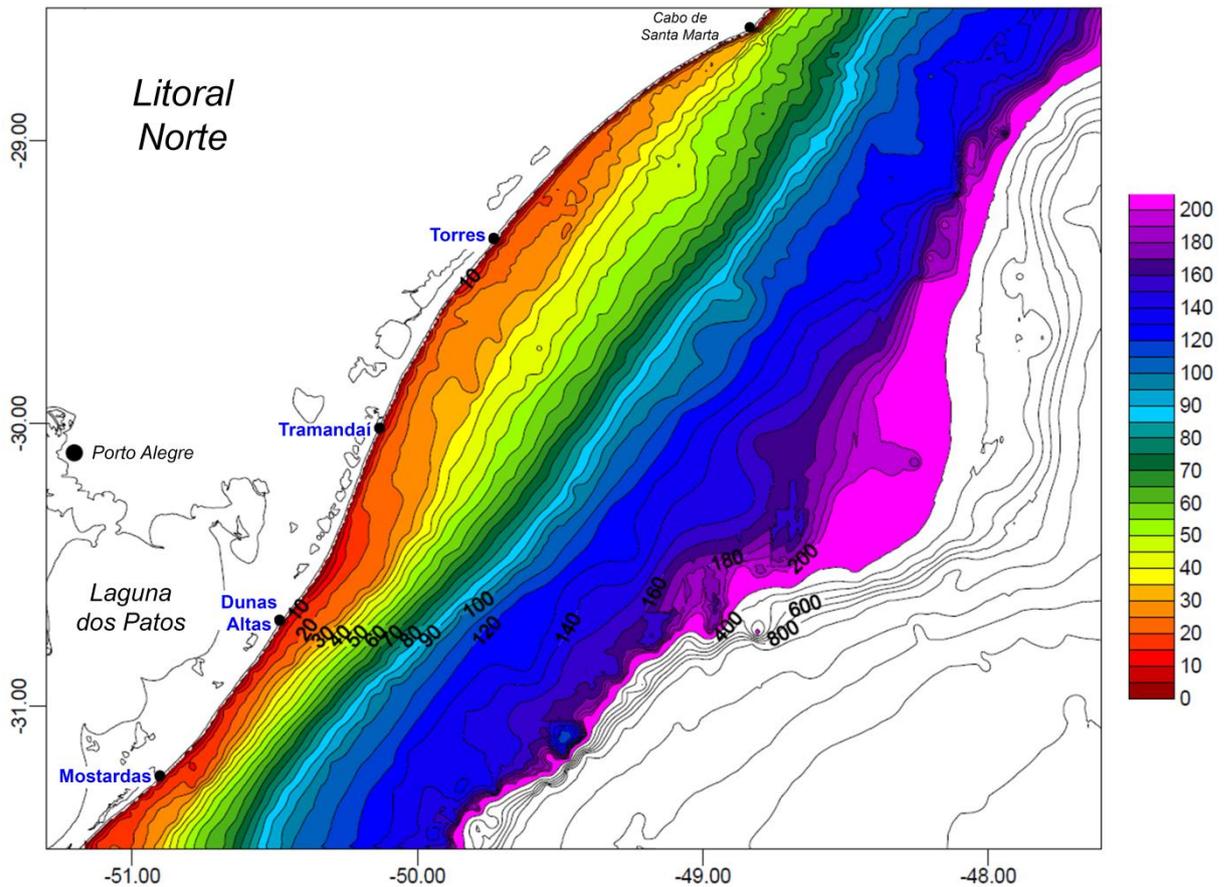


Figure 8. Batimetria da antepraia e plataforma continental do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, evidenciando a homogeneidade da plataforma continental da região A da Fig. 7 (escala colorida em metros; modificado de PIMENTA, 1999).

Os bancos arenosos lineares são formados por areias quartzosas, apresentando material bioclástico nas partes superiores dos bancos e carapaças carbonáticas nas cavas (PIMENTA, 1999). Encontram-se distribuídos dentro de uma profundidade de 8 a 30 metros, possuindo orientação NE-SW, e variam de cerca de 1 a 10 metros de altura, podendo atingir algumas dezenas de quilômetros de extensão (FIGUEIREDO, 1975; KOWSMANN; COSTA, 1979; CORRÊA, 1990, 1994; CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2003; BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN, 2002; CORRÊA; WESCHENFELDER; NUNES, 2017).

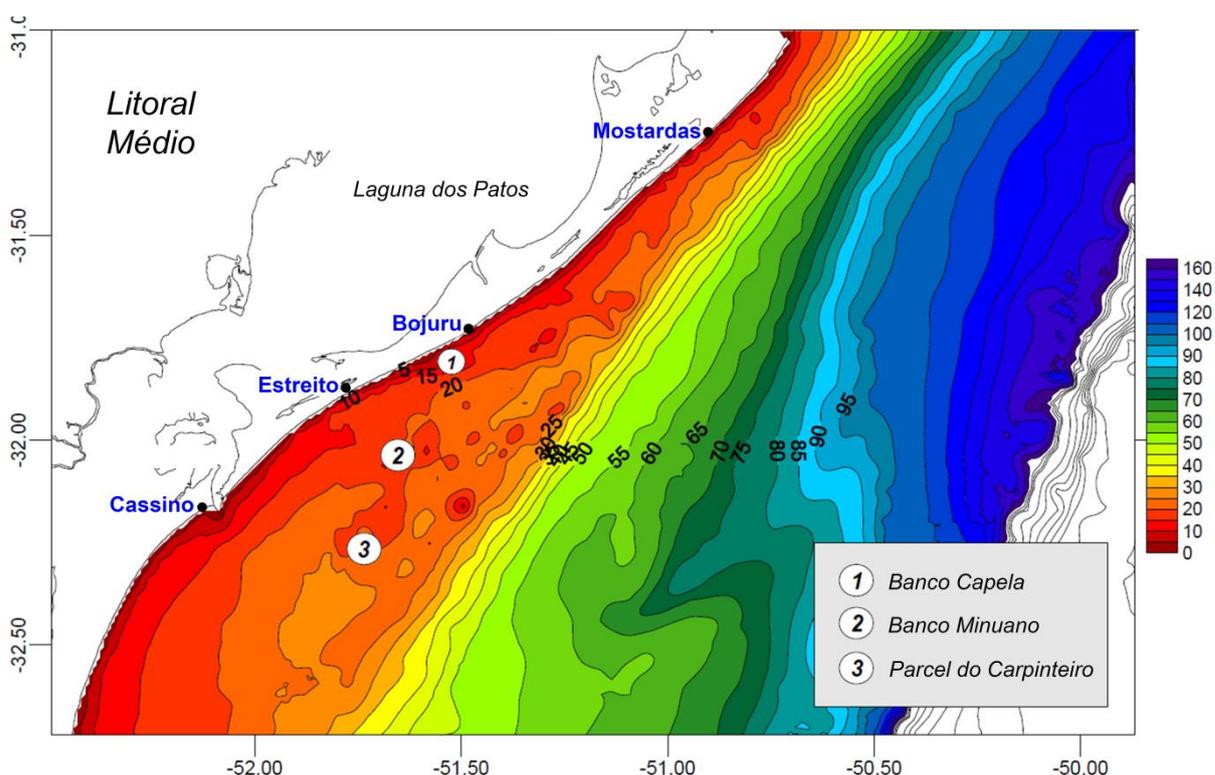


Figura 9. Batimetria da antepraia e plataforma continental do Litoral Médio do Rio Grande do Sul, evidenciando a presença de altos batimétricos inconsolidados (bancos arenosos), altos batimétricos consolidados (arenitos de praia e coquinas) e depressões da região B da Fig. 7 (escala colorida em metros; modificado de PIMENTA, 1999).

As características batimétricas e morfológicas em escala local (mais pontual) das regiões B e D (associadas às projeções costeiras) promovem o acúmulo de material bioclástico em feições morfológicas (FIGUEIREDO, 1975; CORRÊA; PONZI, 1978; CORRÊA, 1983; MARTINS et al., 1996; ASP et al., 1998; CALLIARI; CORRÊA; ASP, 1999; MARTINS; URIEN; MARTINS, 2003; CORRÊA, 2010), principalmente em torno de parcéis, bem como promovem alterações locais (pequena escala espacial) na energia de ondas (CALLIARI et al., 1994; CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; CALLIARI; TOZZI; KLEIN, 1998; PIMENTA, 1999; SPERANSKI; CALLIARI, 2001, 2006; VARA, 2012), concentrando ou divergindo os raios de onda, e assim modificando o transporte sedimentar litorâneo (NORDSTROM; JACKSON, 1993).

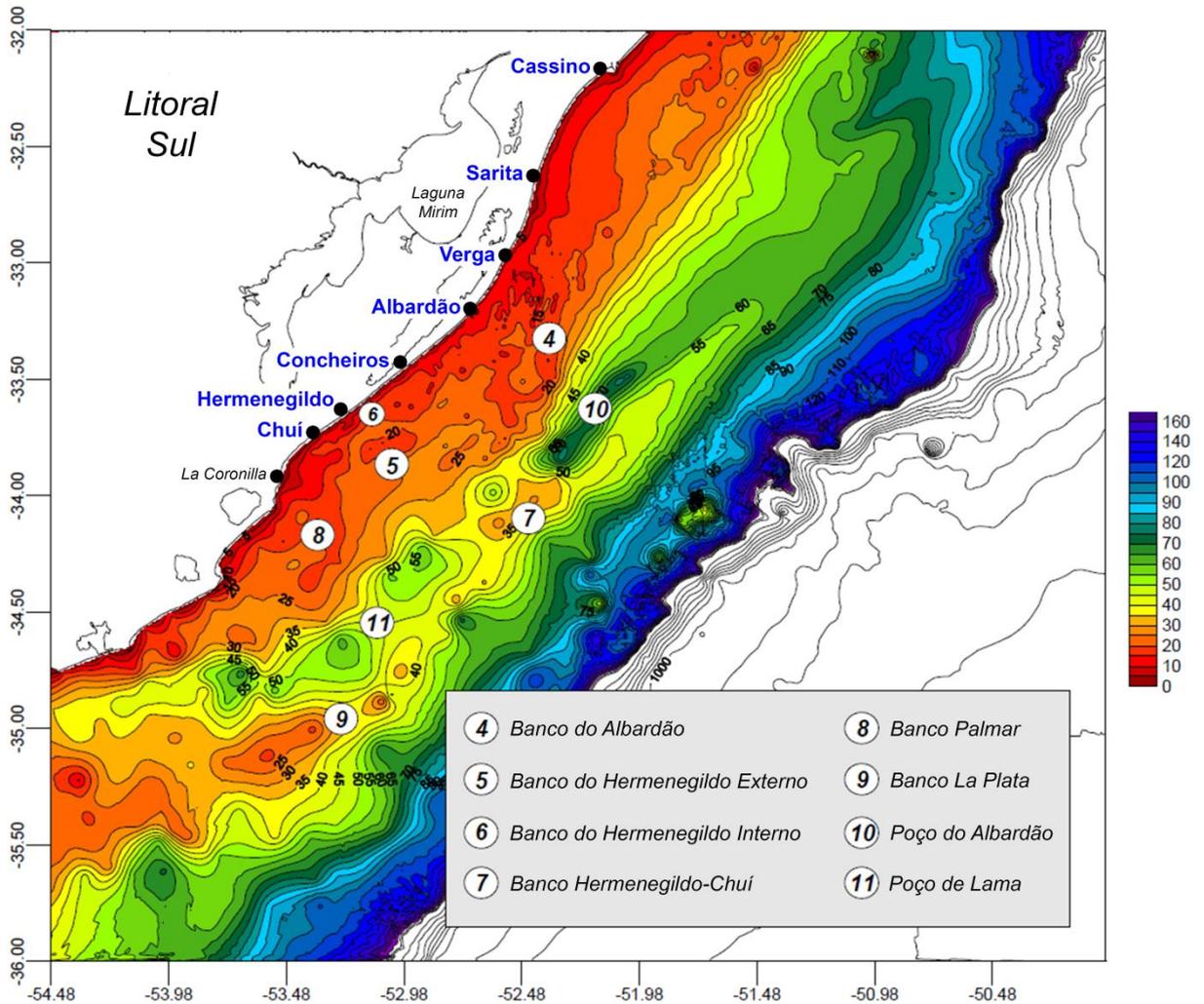


Figura 10. Batimetria da antepraia e plataforma continental do Litoral Sul do Rio Grande do Sul, evidenciando a presença de altos batimétricos inconsolidados (bancos arenosos), altos batimétricos consolidados (arenitos de praia e coquinas) e depressões da região D da Fig. 7 (escala colorida em metros; modificado de PIMENTA, 1999).

A morfologia atual da região D pode ser definida como uma superfície "palimpsest", onde as feições relíquias têm sido parcialmente modificadas pela hidrodinâmica atual (FIGUEIREDO, 1975).

1.2.4. Estabilizações do Nível do Mar na Plataforma Continental do RS

Os arenitos de praia são formados através da precipitação de água do mar e/ou subterrânea e por meio biológico processos. São depósitos sedimentares rapidamente cimentados principalmente pela precipitação de cimentos carbonáticos (HOPLEY, 1986; VOUSDOUKAS et al., 2007; DANJO; KAWASAKI, 2013). Segundo Hopley (1986), o termo *beachrock* deve ser utilizado exclusivamente no caso de sedimentos de praia cimentados por carbonato de cálcio na zona de entre marés.

Os arenitos de praia refletem as flutuações do nível do mar durante o Quaternário, e permitem identificar antigas linhas de praia. Eles são sedimentos praias cimentados por carbonato de cálcio e apresentam uma granulometria diversa, desde areia fina a grandes blocos, formando conglomerados de praia. Mineralogicamente, os arenitos variam de areias quartzosas de origem terrígena a areias carbonáticas biogênicas (CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003).

Juntamente com os arenitos são encontradas coquinas fortemente cimentadas, contendo fósseis de vertebrados terrestres e marinhos, bem como moluscos marinhos pouco fragmentados e arredondados, frequentemente recristalizados por calcita microespática e espática (DELANEY, 1965; CALLIARI; ABREU, 1984; CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003).

Os arenitos de praia, encontrados próximos ao Farol Conceição, no Litoral Médio da PCRS, apresentam estratificação plano paralela, desenvolvida em *sets* que se truncam em baixo ângulo, moldes de conchas e icnofósseis de *Ophiomorpha nodosa* (galerias de *Callichirus* sp.). A datação por termoluminescência apresentou 109 ka, e as datações de C-14 em corais fósseis (*Oculina patagonica*) corroboram com estes dados (BUCHMANN et al., 1999, 2000).

Delaney (1965) correlacionou a ocorrência de cascalho bioclástico e arenitos de praia na plataforma continental às antigas linhas de costa. As linhas de arenitos seriam atribuídas a formação, a partir do final do Último Máximo Glacial (UMG), há cerca de 20-18 ka, quando teve início a Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP).

Buchmann (1994a,b e 1996) comprovou essa relação a partir da identificação de fósseis de animais marinhos e continentais associados ao material bioclástico e aos arenitos de praia, tanto na antepraia e plataforma continental, quanto depositado nas praias da PCRS.

Corrêa (1990) e Corrêa et al. (1992) descreveram 5 terraços (quebras de pente) na plataforma continental do RS, correlacionando-os às estabilizações do nível do mar durante a Última Grande Transgressão (UGT). Os terraços estão posicionados entre as profundidades de 20-25 metros, 32-45 metros, 50 metros, 60-75 metros e 80-90 metros, e possuem idade aproximada de 7,5 ka, 9 ka, 10 ka, 11 ka, 11,5 ka, respectivamente. Eles ocorrem associados a sedimentos bioclásticos e afloramentos de arenitos de praia.

Corrêa et al. (2017) descrevem 11 arenitos de praia na plataforma continental do RS, variando entre centenas de metros até 2 km de comprimento, com largura em torno de 200 a 400 metros. Os arenitos de praia estão distribuídos nos intervalos de profundidade entre 7-10 metros, 13-19 metros e 20-30 metros, e possuem idade aproximada de 7,1 ka, 7,5 ka e 8 ka, respectivamente.

Buchmann e Tomazelli (1999 e 2003) dividem os afloramentos sedimentares submersos, presentes ao longo da antepraia e plataforma interna do RS, em três categorias: ativos, intermediários ou passivos. Alguns deles estão identificados nas Figuras 9 e 10.

Ativos – Afloramentos diretamente submetidos à ação das ondas, situados na porção superior da antepraia. Apresentam sua superfície desprovida de organismos incrustantes, indicando exposição recente do substrato e/ou alta dinâmica de sedimentos. Localizam-se geralmente próximos às isóbatas de 7 a 9 m (Parcel do Hermenegildo, Banco do Albardão, Banco Capela). Na atual linha de praia adjacente a esses afloramentos são encontrados fósseis de animais marinhos e terrestres, relacionados às oscilações glacio-eustáticas durante o Pleistoceno.

Intermediários - Situam-se numa zona de transição, na porção inferior da antepraia, onde ondas de tempestades altamente energéticas atuam sobre o substrato de

fundo. A baixa dinâmica favorece a colonização do substrato por uma fauna típica de substratos rochosos. Localizam-se nas isóbatas entre 14 e 17 m (Parcel do Carpinteiro, Banco Minuano, Parcel da Lagoa do Peixe, Parcel de Mostardas), e entre 23 e 32 m (Parcel da Berta e Banco do Albardão).

Passivos - São feições relíquias que foram retrabalhadas, durante a Última Grande Transgressão (UGT), e que não são retrabalhadas atualmente; possuem pouca ou nenhuma ação das ondas sob o substrato de fundo. Localizam-se a partir do final da zona de transição, sendo que existem registros da ocorrência de fósseis de mamíferos continentais a 40, 70, 90 e 120 m de profundidade.

1.2.5. Estações de Coleta e Monitoramento

Os bioclastos fósseis analisados foram coletados em mais de 20 anos de amostragem, ao longo de toda a porção praial emersa da Barreira holocênica do RS. Devido à ausência ou pouca ocorrência de bioclastos fósseis no Litoral Norte e na parte norte do Litoral Médio, foram estipuladas estações de coleta e monitoramento localizadas na parte sul do Litoral Médio e no Litoral Sul.

As coletas de bioclastos fósseis abrangeram aproximadamente 500 km de extensão do sistema praia-duna frontal da Barreira holocênica. O Litoral Médio, com aproximadamente 250 km de extensão, situa-se dentro da área compreendida entre Mostardas e a desembocadura da Laguna dos Patos. O Litoral Sul, com aproximadamente 250 km de extensão, situa-se entre a desembocadura da Laguna dos Patos e o Arroio Chuí. As estações de coleta dentro dos trechos costeiros estudados estão listadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 4.

Tabela 1. Estações de coleta usadas para monitoramento dos bioclastos fósseis no Litoral Médio e Sul da PCRS.

Estação de Coleta	Local	Coordenadas UTM
C1	Mostardas 1	22J 512479E e 6546465S
C2	Farol Mostardas	22J 509443E e 6543179S
C3	Mostardas 2	22J 500972E e 6534949S
C4	Barra Lagoa do Peixe	22J 496006E e 6530693S
C5	Farol Conceição	22J 454376E e 6489381S
C6	Conceição 1	22J 453584E e 6488824S
C7	Barra Estreito	22J 431326E e 6475125S
C8	Farol Estreito	22J 427220E e 6472467S
C9	Estreito 1	22J 426030E e 6471650S
S1	Farol Sarita	22H 366327E e 6388778S
S2	10km ao sul Farol Sarita	22H 364913E e 6377747S
S3	Farol Verga	22H 354514E e 6350271S
S4	10km ao sul Farol Verga	22H 349456E e 6338028S
S5	Farol Albardão	22H 341310E e 6324730S
S6	10km ao sul Farol Albardão	22H 332168E e 6313507S
S7	Concheiros Co1	22H 315411E e 6297004S
S8	Concheiros Co5	22H 311127E e 6292748S
S9	Concheiros Co6	22H 309540E e 6291192S
S10	Concheiros Co9	22H 305153E e 6286830S
S11	Concheiros Co12	22H 302026E e 6283509S
S12	Hermenegildo	22H 285160E e 6268095S

1.3. Objetivos

O objetivo desta tese é contribuir para o entendimento dos fatores geológicos, geomorfológicos e oceanográficos que são atuantes na modificação dos depósitos fossilíferos presentes na antepraia (*shoreface*) e plataforma continental e suas implicações na erosão costeira e, conseqüentemente, na conformação da Barreira holocênica.

Foram propostos os seguintes objetivos específicos para organizar melhor a execução desta tese:

- Analisar qualitativamente e quantitativamente os aspectos tafonômicos e taxonômicos dos bioclastos fósseis de vertebrados coletados nas praias;
- Analisar e interpretar os aspectos morfológicos do substrato da antepraia e plataforma continental adjacente às estações de coleta dos bioclastos fósseis;
- Descrever as correlações entre a morfologia antepraia e plataforma continental e os bioclastos fósseis encontrados nas praias;
- Avaliar a existência de relações entre diferentes variáveis costeiras com o comportamento em larga escala e longo período dos depósitos fossilíferos presentes na antepraia e plataforma continental;
- Analisar e interpretar a presença dos bioclastos fósseis nas praias como indicadores da erosão costeira de longa escala;
- Analisar e interpretar a possível relação existente entre o comportamento evolutivo da barreira holocênica e a ocorrência (distribuição) de bioclastos fósseis em suas praias arenosas.

1.4. Importância do Tema

Os depósitos fossilíferos submersos presentes na antepraia e na plataforma continental foram pouco estudados, em comparação com os depósitos emersos presentes nas barrancas do Arroio Chuí, por exemplo.

Enquanto que os fósseis de vertebrados do Arroio Chuí são coletados *in situ*, com os padrões de empilhamento de fácies conhecidos e datações correlacionadas às oscilações do nível do mar durante o Quaternário, os fósseis de vertebrados presentes na antepraia e plataforma ainda não possuem área-fonte e nem estratigrafia conhecidas, apenas possuem datações que mostram uma mistura de populações.

Isto indica um depósito complexo, onde as superfícies de ravinamento, causadas pelas transgressões e regressões da linha de costa, bem como as erosões atuais na costa, por ondas e déficit de sedimentos, influenciaram na distribuição e transporte desses bioclastos fósseis.

Os bioclastos fósseis de vertebrados destes depósitos submersos são retrabalhados e transportados por ondas e correntes para as praias da PCRS. Portanto, a coleta desses bioclastos fósseis nas praias ajuda a entender como esses depósitos se comportam atualmente, indicando suas possíveis áreas-fonte.

Os resultados desta tese serão usados para delimitar a área de estudo e o enfoque em trabalhos futuros, para entender mais a formação e evolução desses depósitos no contexto da formação das lagunas-barreiras emersas bem como das feições morfológicas submersas de paleolagunas e paleolinhas de praia.

1.5. Premissas e Hipótese

Considerando vários aspectos geológicos e geomorfológicos da costa emersa e submersa do Rio Grande do Sul, e partindo de conhecimentos da literatura acerca do tema, é possível traçar as seguintes premissas:

- Há pouco aporte sedimentar no tamanho areia (plataforma continental do tipo autóctone) desde o máximo do nível do mar no Holoceno;
- Os ciclos transgressivos e regressivos do nível do mar, durante o Quaternário tardio, permitiram a acumulação de fósseis na atual plataforma continental (que já foi exposta como planície costeira em períodos de nível de mar baixo);
- Os gradientes de inclinação da plataforma continental criam gradientes de energia de onda e de transporte e deposição de sedimentos;
- O comportamento do nível do mar foi o mesmo ao longo da costa do RS nos últimos milênios, conseqüentemente, a coexistência de barreiras costeiras com diferentes comportamentos é oriunda do balanço de sedimento de longo período;
- A ação das ondas erode a antepraia, transportando material tanto para *offshore* quanto para *onshore* (dependendo das condições oceanográficas), seguindo o modelo de *shoreface retreat*;
- A atual morfologia da plataforma continental do RS é considerada uma herança geológica pouco modificada da topografia antecedente (topografia costeira que foi inundada e retrabalhada pela subida do nível do mar).

Dessa forma, a hipótese central desta tese é que a distribuição (ocorrência) dos bioclastos fósseis, encontrados nas praias arenosas da linha de costa da barreira holocênica, e os fatores condicionantes para essa distribuição podem auxiliar no entendimento do balanço sedimentar diferencial, que propiciou a existência de locais em erosão e acresção ao longo da costa, o qual também propiciou a existência de barreiras costeiras com comportamentos diferentes (transgressivas, regressivas e estacionárias).

Assim, as estações de coletas com maior abundância de bioclastos fósseis podem estar ligadas a áreas de maior energia de onda e, conseqüentemente, mais sujeitas à erosão costeira, uma vez que a plataforma continental é a área-fonte dos bioclastos fósseis, e sua morfologia é considerada uma herança geológica pouco modificada da topografia antecedente.

Além disso, é possível supor que os locais onde se encontram mais bioclastos fósseis possuem uma plataforma continental mais complexa (com presença de arenitos de praia e depressões morfológicas, por exemplo).

1.6. Materiais e Métodos

A fim de alcançar os objetivos propostos, foram utilizados dois tipos de dados: os bioclastos fósseis coletados e os perfis batimétricos da antepraia e plataforma continental disponíveis na literatura (e.g. FACHIN, 1998; PIMENTA, 1999; GOULART, 2010; VARA, 2012; CARON, 2014).

Os bioclastos fósseis aqui analisados foram coletados entre os anos de 1994 a 2000 e entre os anos de 2008 a 2015, durante os trabalhos de graduação (BUCHMANN, 1994a; CARON, 2004; COSTA, 2007; CRUZ, 2012, 2013; CAMPOS, 2016; NICOLAU, 2018), mestrado (BUCHMANN, 1997; LOPES, 2009; CRUZ, 2016) e doutorado (BUCHMANN, 2002; LOPES, 2013).

As coletas foram realizadas no estirâncio, pós-praia e nas dunas frontais (sistema praia-duna frontal), ao longo de toda a porção praias emersa da Barreira holocênica do RS. Estações de coletas foram estabelecidas (espaçadas aproximadamente por 10 km) e nomeadas, a fim de sistematizar a coleta dos bioclastos fósseis ao longo da costa (Figura 4).

Após as coletas, os bioclastos fósseis foram levados para laboratório, lavados, secados, medidos, fotografados e identificados, sempre que possível, de acordo com a estrutura óssea e o grupo taxonômico correspondente.

Posteriormente à identificação, eles foram separados em dois grupos de bioclastos para qualificação do material: (1) fósseis identificáveis, representando estruturas ósseas e/ou táxons conhecidos; e (2) fósseis não-identificáveis, representando fragmentos ósseos.

Para a estimativa do tamanho dos bioclastos fósseis foram utilizadas as medidas de comprimento, largura e altura (X, Y, Z), obtidas através de um paquímetro digital, segundo Durr (1984). Os fósseis aqui figurados estão depositados no Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-PV).

1.7. REFERÊNCIAS

ABREU, J. G. N.; CALLIARI, L. J. Paleocanais na plataforma interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 2, p. 123-132, 2005.

ANDRADE, M. M.; TOLDO, E. E.; NUNES, J. C. R. Tidal and subtidal oscillations in a shallow water system in southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 3, p. 245-254, 2018.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. **Marine Geology**, v. 140, p. 141-166, 1997. DOI:10.1016/S0025-3227(97)00015-7

ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C. F.; SUGUIO, K.; PESSEDA, L. C. R. The relative sea-level changes in the last 5,500 years southern Brazil (Laguna-Ibituba region, Santa Catarina state) based on vermetid 14c ages. **Marine Geology**, v. 159, p. 327-339, 1999.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of the mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, v. 25 n. 5/6, p. 486-506, 2006.

ASP, N. E.; SIEGLE, E.; CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S. Sedimentos da região do Parcel do Carpinteiro, Rio Grande do Sul. In: XI Semana Nacional de Oceanografia, 11., 1998, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: 1998. p. 503-505.

BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J. Erosional features of the eastern margin of the Patos lagoon, southern Brazil: significance for Holocene history. **Journal of Coastal Research**, **SI**, v. 35, p. 260-264, 2003.

BARLETTA, R. C.; CALLIARI, L. J. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 117-124, 2001.

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R. Application of multivariate statistical techniques in alongshore differentiation of coastal barriers. **Marine Geology**, v. 419, p. 106077, 2020. DOI: 10.1016/j.margeo.2019.106077

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; MANZOLLI, R. P. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, p. 529-548, 2020a. DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1789

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R.; MANZOLLI, R. P.; BARBOZA, E. G. Control factors in the evolution of Holocene coastal barriers in southern Brazil. **Geomorphology**, v. 360, p. 107180, 2020b. DOI:10.1016/j.geomorph.2020.107180

BUCHMANN, F. S. C. **Estudo macrofossilífero na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1994a. 82p.

BUCHMANN, F. S. C. Distribuição dos fósseis pleistocênicos na zona costeira e plataforma continental interna no Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 17, p. 355–364, 1994b.

BUCHMANN, F. S. C. Invertebrados fósseis (Crustacea, Echinodermata e Annelida) encontrados no cascalho bioclástico (pós-praia), na porção sul da planície costeira, RS. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 21-27, 1996.

BUCHMANN, F. S. C. **Banhado do Taim e Lagoa Mangueira: evolução holocênica da paleoembocadura da lagoa Mirim**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997. 144p.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Fósseis da megafauna terrestre coletados na plataforma continental interna, RS, Brasil, e sua relação com a dinâmica costeira passada e atual. In: VII Congresso da Associação Brasileira de

Estudos do Quaternário, 7., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: 1999. 3p.

BUCHMANN, F. S. C.; BARLETTA, R. C.; TOMAZELLI, L. J.; BARRETO, A. M. F. Novo afloramento pleistocênico na atual linha de costa do Rio Grande do Sul, Brasil. In: VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 7., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: 1999. 2p.

BUCHMANN, F. S. C.; BARLETTA, R. C.; TOMAZELLI, L. J.; BARRETO, A. M. F. Datação por termoluminescência de um afloramento pleistocênico na atual linha de costa do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Semana Nacional de Oceanografia, 13., 2000, Itajaí. **Anais...** Itajaí: 2000. p. 65-67.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. A influência do substrato pré-holocênico na distribuição dos bioclastos carbonáticos ao longo da linha de costa (pós-praia) do Rio Grande do Sul. In: VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8., 2001, Imbé. **Anais...** Imbé: 2001. p. 58-59.

BUCHMANN, F. S. C.; SEELIGER, M.; ZANELLA, L. R.; MADUREIRA, L. S. P.; TOMAZELLI, L. J.; CALLIARI, L. J. Análise batimétrica e sedimentológica no estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia pleistocênica na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 109-115, 2001.

BUCHMANN, F. S. C. **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) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002. 120p.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Relict nearshore shoals of Rio Grande do Sul, southern Brazil: origin and effects on nearby modern beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 35, p. 318-322, 2003.

CALLIARI, L. J.; ABREU, J. G. N. Litologia da plataforma continental interna adjacente à cidade do Rio Grande (RS), através da interpretação de registros de

sonar de varredura lateral e amostragem superficial. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1984. p. 1553-1564.

CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. F. Características morfodinâmicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 57-69, 1993.

CALLIARI, L. J.; ESTEVES, L. S.; OLIVEIRA, C. P. L.; TOZZI, H. A. M.; PEREIRA, R. S.; CARDOSO, J. N. Padrões sonográficos e sedimentológicos de um afloramento de "beachrock" na plataforma interna do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 7, p. 27-32, 1994.

CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N.; BOUKAREVA, I. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, v. 26, p. 19-23, 1998.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. M.; KLEIN, A. H. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil, Rio Grande to Chuí, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 231-247, 1998.

CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S.; ASP, N. E. Inner shelf and beach seashell resources in southern Brazil. In: MARTINS, L. R. S.; SANTANA, C. I. (Ed.). **Non-living resources of the southern Brazilian coastal zone and continental margin**. Porto Alegre: Osnir/Serg/Seco/UFRGS, 1999. p. 39-49.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO, E. E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, p. 63-78, 2003.

CALLIARI, L. J.; TOLDO, E. E. Ocean beaches of Rio Grande do Sul. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. (Ed.). **Brazilian beach systems**. Springer, 2016. p. 507-541.

CAMPOS, R. N. **Descrição taxonômica e tafonômica de fósseis de organismos terrestres e marinhos da praia do Estreito, Rio Grande do Sul.**

Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2016. 89p.

CARON, F. **Aspectos taxonômicos e tafonômicos dos fósseis de vertebrados terrestres (megafauna pampeana extinta) e marinhos (peixes e cetáceos) da praia do Cassino, RS.** Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2004. 129p.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; DEHNHARDT, B. A.; MEDEANIC, S.; DILLENBURG, S. R. A transgressão marinha pós-glacial na região de desembocadura do Arroio Chuí, Planície Costeira do Rio Grande do Sul: implicações paleogeográficas. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 11., 2007, Belém. **Resumos...** Belém: 2007. p. 6.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; LIMA, L. G.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; DILLENBURG, S. R. Características estratigráficas da barreira transgressiva holocênica na praia dos Concheiros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 13., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: 2011. p. 107-111.

CARON, F. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na região costeira de Santa Vitória do Palmar, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014. 172p.

CECILIO, R. O.; DILLENBURG, S. R. An ocean wind-wave climatology for the southern Brazilian shelf. Part II: variability in space and time. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 88, p. 101-103, 2019.

CORRÊA, I. C. S.; PONZI, V. R. Depósitos de calcário bioclásticos das regiões do Albardão e Mostardas na plataforma interna do Rio Grande do Sul. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: 1978. 16p.

CORRÊA, I. C. S. Depósitos de material carbonático em la plataforma Interna del Rio Grande do Sul. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS MARINOS DEL PACÍFICO, 1983, Viña del Mar. **Actas...** Viña del Mar: 1983. p. 155-163.

CORRÊA, I. C. S. Evidence of sea level fluctuation on the Rio Grande do Sul continental shelf, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, v. 40, p. 237-249, 1986.

CORRÊA, I. C. S. **Analyse morphostructurale et evolution paleogeographique de la plate-forme continentale Atlantique Sudbresilienne (Rio Grande do Sul - Bresil)**. Tese - Universite de Bourdeaux I, Bourdeaux. 1990. 314p.

CORRÊA, I. C. S.; BAITELLI, R.; KETZER, J. M. M.; ELIAS, A. R. D.; MARTINS, R. Translação horizontal e vertical do nível do mar sobre a plataforma continental do Rio Grande do Sul nos últimos 17.500 anos. In: III Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 3., 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 1992. p. 225-240.

CORRÊA, I. C. S. Interpretation morphostructurale de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul, a partir de l'analyse cartographique. **Notas Técnicas**, v. 7, p. 3-26, 1994.

CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, L. R. S.; KETZER, J. M. M.; ELIAS, A. R. D.; MARTINS, R. Evolução sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sudeste e sul do Brasil. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 51-61, 1996.

CORRÊA, I. C. S. Mapeamento e recursos minerais na plataforma continental e área oceânica internacional. In: LXII Reunião Anual da SBPC, 62., 2010, Natal. **Anais...** Natal: 2010. 5p.

CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J.; NUNES, J. C. Arenitos de praia submersos na plataforma continental do Rio Grande do Sul. In: X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 10., 2017, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: 2017. 1p.

COSTA, F. R. **Biometria e comparação anatômica de quatro espécies de tatus Sul-Americanos atuais (Priodontes maximus, Euphractus sexcinctus, Cabassous sp. e Dasypus sp.) com duas espécies de tatus extintos do Pleistoceno (Propraopus sp. e Pamphatherium sp.).** Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2007. 71p.

CRUZ, E. A. **Estudo tafonômico e taxonômico dos fósseis pleistocênicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2012. 216p.

CRUZ, E. A. **Retrabalhamento praias em fósseis pleistocênicos na praia dos Concheiros, RS.** Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2013. 152p.

CRUZ, E. A. **Fósseis de vertebrados pleistocênicos dos setores central e sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil: descrição e controles na distribuição.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016. 79p.

DANJO, T.; KAWASAKI, S. Characteristics of beachrocks: a review. **Geotech. Geol. Eng.**, v. 32, n. 2, p. 215-246, 2013. DOI: 10.1007/s10706-013-9712-9

DELANEY, P. J. V. Fisiografia e geologia de superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial, Instituto de Geociências**, v. 6, p. 1-63, 1965.

DILLENBURG, S. R. **A laguna de Tramandaí: evolução geológica e aplicação do método geocronológico da termoluminescência na datação de depósitos sedimentares lagunares.** Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Porto Alegre. 1994. 142p.

DILLENBURG, S. R. O potencial de preservação dos registros sedimentares do Sistema Depositional Laguna/Barreira IV na costa do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 1-11, 1996.

DILLENBURG, S. R.; ROY, P. S.; COWELL, P. J.; TOMAZELLI, L. J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation Barrier Model (STM). **Journal of Coastal Research**, v. 16, p. 71-81, 2000.

DILLENBURG, S. R.; MARTINHO, C. T.; TOMAZELLI, L. J.; DORNELES, L.; SILVA, D. B. Gradientes de altura de ondas ao longo da costa do Rio Grande do Sul. In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 10., 2005, Guarapari. **Resumos...** Guarapari: 2005. 6p.

DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; BARBOZA, E. G. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, v. 203, p. 43-56, 2004. DOI:10.1016/S0025-3227(03)00330-X

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; CLEROT, L. C. P.; AYUP-ZOUAIN, R. N. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (Ed.). **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil**. Springer, 2009. p. 53-91.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G. The strike-fed sandy coast of southern Brazil. **Geological Society, Special Publications**, v. 388, p. 333-352, 2014.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A. O. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka. **Marine Geology**, v. 390, p. 106-119, 2017. DOI:10.1016/j.margeo.2017.06.007

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.;

BITENCOURT, J. B. Changes in the littoral drift system of the Uruguayan coast during the Holocene and its influence in the continuing erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 95, p. 453-457, 2020.

DÜRR, S. D. Quick estimation of pebble volumes. Research methods papers. **Journal of Sedimentary Research**, v. 64, n. 3, p. 665-668, 1994.

FACHIN, S. **Caracterização do perfil de equilíbrio da antepraia na costa do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998. 114p.

FIGUEIREDO, A. G. **Geologia dos depósitos calcários bioclásticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1975. 72p.

GOULART, E. S. **Morfodinâmica da antepraia adjacente ao Farol da Conceição: litoral médio do RS**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Curso de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2010. 99p.

GUEDES, R. M. C.; CALLIARI, L. J.; PEREIRA, P. S. Morfodinâmica da praia e zona de arrebenção do Cassino, RS através de técnicas de vídeo imageamento e perfis de praia. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 2, p. 165-180, 2009.

HOPLEY, D. Beachrock as a sea-level indicator. In: VAN DER PLASSCHE, O. (Ed.). **Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data**. Norwich: GeoBooks, 1986. p. 157-173.

IMBRIE, J.; HAYS, J. D.; MARTINSON, D. G.; MCINTYRE, A.; MIX, A. C.; MORLEY, J. J.; PISIAS, N. G.; PRELL, W. L.; SHAKLETON, N. J. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of marine 18O record. In: BERGER, A. L.; IMBRIE, J.; HAYS, J.; KUKLA, G.; SALTZMAN, B. (Ed.). **Milankovitch and climate, Part 1**. Springer Netherlands, 1984. v. 126, p. 269-305.

DOI:10.1007/978-94-017-4841-4

KOWSMANN, R. O.; COSTA, M. P. A. **Bancos arenosos holocênicos da Plataforma continental Brasileira: gênese e potencial mineral**. Rio de Janeiro: CPRM, 1979.

KOWSMANN, R. O.; COSTA, M. P. A.; VICALVI, M. A. Modelo de sedimentação holocênica na plataforma continental Sul-Brasileira. **Projeto REMAC - Evolução sedimentar holocênica da plataforma continental e talude do sul do Brasil**, v. 2, p. 7-26, 1997.

LIMA, S. F.; ALMEIDA, L. E. S. B.; TOLDO, E. E. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 99-107, 2001.

LIMA, L. G.; DILLENBURG, S. R.; MEDEANIC, S.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; TOMAZELLI, L. J. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 42, p. 27-38, 2013. DOI:10.1016/j.jsames.2012.07.002

LIMA, L. G.; DILLENBURG, S. R.; BUCHMANN, F. S. C.; PARISE, C. O significado paleogeográfico das turfeiras costeiras do Rio Grande do Sul. **Revista Geociências**, v. 39, n. 2, p. 393-410, 2020.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F.; ITUSARRY, M. E. G. S. Tafonomia dos fósseis de vertebrados (megafauna extinta) encontrados ao longo das barrancas do Arroio Chuí e linha de costa, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 67-73, 2001.

LOPES, R. P. **Alterações post mortem (pseudopaleopatologias) em fósseis de mamíferos pleistocênicos do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. 123p.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C. Pleistocene mammals from the southern

Brazilian continental shelf. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, p. 17-27, 2010. DOI:10.1016/j.jsames.2010.11.003

LOPES, R. P.; OLIVEIRA, L. C.; FIGUEIREDO, A. M. G.; KINOSHITA, A.; BAFFA, O.; BUCHMANN, F. S. C. ESR dating Pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Quaternary International**, v. 212, p. 213-222, 2010. DOI:10.1016/j.quaint.2009.09.018

LOPES, R. P. **Reconstrução paleo-climática e paleo-ambiental do Pleistoceno Tardio no sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013. 197p.

LOPES, R. P.; DILLENBURG, S. R.; SCHULTZ, C. L.; FERIGOLO, J.; RIBEIRO, A. M.; PEREIRA, J. C.; HOLANDA, E. C.; PITANA, V. G.; KERBER, L. The sea-level highstand correlated to marine isotope stage (MIS) 7 in the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, p. 1573-1595, 2014. DOI:10.1590/0001-3765201420130274

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, v. 19, p. 101-124, 2003.

MARTINHO, C. T. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008. 241p.

MARTINHO, C. T.; DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 25, p. 285-293, 2009.

MARTINHO, C. T.; HESP, P. A.; DILLENBURG, S. R. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio

Grande do Sul coast, southern Brazil. **Geomorphology**, v. 117, p. 14-32, 2010.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, I. R. Late Quaternary processes along the Rio Grande do Sul continental shelf (southern Brazil). **Notas Técnicas**, v. 9, p. 62-68, 1996.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; MARTINS, I. R. Modelos deposicionais marinhos e recursos minerais associados. **Gravel**, v. 1, p. 106-130, 2003.

MOTTA, L. M.; TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NUNES, J. C. Sandy sediment budget of the midcoast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Marine Research**, v. 73, p. 49-69, 2015.

NICOLAU, J. V. S. **Testudines pleistocênicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2018. 45p.

NORDSTROM, K. F.; JACKSON, N. L. Distribution of surface pebbles with changes in wave energy on a sandy estuarine beach. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 63, n. 6, p. 1152-1159, 1993.

PEREIRA, P. S.; CALLIARI, L. J.; BARLETTA, R. C. Heterogeneity and homogeneity of southern Brazilian beaches: A morphodynamic and statistical approach. **Continental Shelf Research**, v. 30, p. 270-280, 2010.

PIMENTA, F. M. **Caracterização dos regimes de refração de onda ao longo da zona costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 1999. 71p.

PUHL, P. R.; DILLENBURG, S. R. Controles no desenvolvimento dos campos transgressivos de dunas da barreira costeira holocênica, litoral norte do Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 45, p. 0652, 2018. DOI:10.22456/1807-9806.85642

ROCKETT, G. C.; TELLES, P.; BARBOZA, E. G.; GRUBER, N. L. S.; SIMAO, C. E. Análise espaço-temporal dos ventos no extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 44, p. 203-219, 2017.

ROSA, M. L. C. C.; BARBOZA, E. G.; ABREU, V. S.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, n. 2, p. 183-207, 2017. DOI:10.1590/2317-4889201720160138

SILVA, J. L. B. **Identificação do sistema de paleodrenagem na margem continental sul Brasileira adjacente à Lagoa Mirim no Terciário Superior por sísmica de reflexão**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. 215p.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Bathymetric lenses and localized coastal erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 34, p. 209-215, 2001.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In: MUEHE, D. (Ed.). **Erosão e progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 446-454.

STICA, J. M.; ZALÁN, P. V.; FERRARI, A. L. The evolution of rifting on the volcanic margin of the Pelotas Basin and the contextualization of the Paraná-Etendeka LIP in the separation of Gondwana in the South Atlantic. **Marine and Petroleum Geology**, v. 50, p. 1-21, 2014.

TOLDO, E. E.; DILLENBURG, S. R.; ALMEIDA, L. E. S. B.; MARTINS, R. R.; CUNHA, L. O. B. P. Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 27-32, 1993.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Considerações sobre o ambiente praias e

deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992.

TOMAZELLI, L. J. O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 18-26, 1993.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.; DILLENBURG, S. R.; BACHI, F. A.; DEHNHARDT, B. A. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 221-229, 1998.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J. A. Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul Coastal Plain, southern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 470-472, 2000.

TOZZI, H. A. M.; CALLIARI, L. J. Morfodinâmica da praia do Cassino, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 27, n. 1, p. 29-42, 2000.

VARA, S. S. **Análise numérica da propagação de ondas na costa do Rio Grande do Sul entre Arroio Chuí e Sarita**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Curso de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2012. 190p.

VILLWOCK, J. A.; LOSS, E. L.; DEHNHARDT, E. A.; TOMAZELLI, L. J.; HOFFMEISTER, T. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. In: Memorias del Seminario sobre Ecologia Bentónica y Sedimentación de la Plataforma Continental del Atlántico Sur, 1979, Montevidéo. **Memórias...** Montevidéo: 1979. p. 407-414.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 8, p. 1-45, 1995.

VOUSDOUKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. **Earth Science**

Review, v. 85, p. 23-46, 2007.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S.; ALIOTTA, S.; BAITELLI, R. Paleochannels related to Late Quaternary sea-level changes in southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 35-44, 2010. DOI:10.1590/S1679-87592010000600005

WESCHENFELDER, J.; BAITELLI, R.; CORRÊA, I. C. S.; BORTOLIN, E. C.; SANTOS, C. B. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 55, p. 83-93, 2014. DOI:10.1016/j.jsames.2014.07.004

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.

CAPÍTULO 2

Artigo Científico “Variação temporal (20 anos) da distribuição e grau de preservação dos fósseis de vertebrados pleistocênicos na linha de costa do extremo sul do Brasil”, submetido à Revista Brasileira de Geomorfologia.

VARIAÇÃO TEMPORAL (20 ANOS) DA DISTRIBUIÇÃO E GRAU DE PRESERVAÇÃO DOS FÓSSEIS DE VERTEBRADOS PLEISTOCÊNICOS NA LINHA DE COSTA DO EXTREMO SUL DO BRASIL

Erick Antal Cruz¹, Francisco Sekiguchi Buchmann², Sérgio Rebello Dillenburg³ e Volney Junior Borges de Bitencourt⁴

RESUMO

Entre 1994-2000 e 2008-2015 foram realizadas coletas de fósseis no ambiente praiial do Litoral Sul do Rio Grande do Sul. Os objetivos do presente trabalho foram: analisar, descrever e interpretar as mudanças na distribuição, grau de preservação e composição taxonômica dos fósseis de vertebrados, bem como as mudanças ambientais associadas. Os resultados mostraram similaridades, no tempo amostral, em relação aos grupos taxonômicos e estruturas ósseas identificadas, e diferenças em relação ao grau de preservação e retrabalhamento. Há uma diminuição no grau de preservação e tamanho dos fósseis. Essas mudanças podem ser explicadas por: 1- maior energia de ondas e correntes; 2- maior frequência de eventos oceanográficos tempestuosos, entre 1994 e 2000, intensificando os processos erosivos e viabilizando o transporte de fósseis maiores; 3- “janela” de exposição dos depósitos fossilíferos submersos, onde em determinado momento, o substrato é totalmente erodido; e 4- escassez das áreas-fonte, evidenciado pela gradativa fragmentação dos fósseis, e maior selecionamento dos seus tamanhos. Concluindo mais de 20 anos de análise e interpretação de dados, observou-se que os fósseis de vertebrados e as conchas marinhas fósseis associadas sofrem os mesmos processos de fragmentação gradativa, influenciada pela erosão costeira, retirada de sedimentos e escassez das áreas-fonte.

Palavras-chave: Quaternário, Erosão Costeira, Tafonomia, Megafauna

ABSTRACT

Between 1994-2000 and 2008-2015 fossil samplings were carried out in the coastline of the South Littoral of Rio Grande do Sul. The objectives of this study were to analyze, describe and interpret changes in the distribution, degree of preservation

and taxonomic composition of the fossils from Pleistocene vertebrates, as well as the associated environmental changes. The results showed temporal similarities in the taxonomic groups and bone structures identified, and differences in the degree of preservation and rework. There is a decrease in the degree of preservation and size of the fossils. This changes can be explained by: (1-2) greater waves and currents energy, and a higher frequency of stormy oceanographic events, between 1994 and 2000, intensifying erosion processes and enabling the transport of larger fossils; (3) “window” of exposure of the submerged fossiliferous deposits, where at any given moment, the substrate is completely eroded; and (4) scarcity of source-areas, evidenced by the gradual fragmentation of the fossils, and greater selection of their size. Concluding more than 20 years of data analysis and interpretation, it was observed that the Pleistocene vertebrate fossils and associated marine shells suffer the same processes of gradual fragmentation, influenced by coastal erosion, removal of sediments and scarcity of source-areas.

Key-words: Quaternary, Coastal Erosion, Taphonomy, Megafauna

2.1. Introdução

A presença de fósseis de vertebrados terrestres tem sido registrada ao longo de toda linha de costa do Rio Grande do Sul, embora a quantidade desses seja mais significativa no Litoral Sul da planície costeira (BUCHMANN, 1994b, 2002). Esses fósseis são encontrados associados a concentrações de conchas marinhas fósseis e outros organismos marinhos fósseis na praia, antepraia e plataforma continental (FIGUEIREDO, 1975).

As concentrações de conchas marinhas fósseis não haviam sido observadas na praia, até o início dos anos 1970 (LUIZ ROTA, com. pessoal). Figueiredo (1975) descreveu-as como manchas de fósseis, medindo poucos quilômetros de comprimento, cerca de 5 cm de largura e 3 cm de espessura. Quase 30 anos mais tarde, Buchmann (2002) descreveu-as como grandes concentrações de fósseis, estendendo-se por cerca de 40 km, medindo até 2 m de espessura.

A origem e evolução desses depósitos fossilíferos estão provavelmente relacionadas com as oscilações de natureza glacio-eustática do nível do mar,

ocorridas durante o Quaternário Médio e Tardio (BUCHMANN, 1994a, 2002; BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003; LOPES et al., 2001, 2010; LOPES; BUCHMANN, 2010), e com os processos erosivos da linha de costa nas últimas décadas, que intensificaram a remoção da cobertura sedimentar moderna, expondo sedimentos pleistocênicos de camadas inferiores (DILLENBURG; TOMAZELLI; BARBOZA, 2004).

Entre 1994-2000 e 2008-2015 foram realizadas coletas de fósseis no ambiente praiial moderno de um trecho de aproximadamente 200 km, no Litoral Sul do Rio Grande do Sul. Durante as coletas de cada ano, foram observadas variações nos tamanhos, graus de preservação e composição taxonômica dos fósseis, bem como no material bioclástico e sedimentar siliciclástico associado. Tais variações devem ter múltiplas causas oceanográficas, ambientais e as relacionadas à natureza composicional dos depósitos fossilíferos.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivos a análise, descrição e interpretação das mudanças na distribuição, grau de preservação e composição taxonômica dos elementos esqueléticos dos fósseis de vertebrados pleistocênicos, presentes ao longo da linha de costa do Litoral Sul do RS, coletados ao longo de mais de 20 anos, bem como interpretar as mudanças ambientais associadas às variações observadas.

2.2. Área de Estudo

2.2.1. Planície Costeira do Rio Grande do Sul

A área de estudo está localizada no extremo sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), sul do Brasil. As coletas abrangeram as praias dentro deste trecho costeiro, com aproximadamente 200 km de extensão, o qual se situa dentro da área compreendida entre a desembocadura da Laguna dos Patos e o Arroio Chuí (Fig. 1). Outros trechos da PCRS não compõem a área de estudo, devido a pouca ou ausência de fósseis de vertebrados nesses locais, como descrito por Buchmann (2002). As estações de coleta dentro do trecho costeiro estudado, seguindo o padrão amostral proposto por Buchmann (2002), estão listadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 1.

Tabela 1. Estações de coleta usadas para amostragem dos fósseis no Litoral Sul da PCRS.

Estação de Coleta	Local	Coordenadas UTM
S1	Farol Sarita	22H 366327E e 6388778S
S2	10km ao sul Farol Sarita	22H 364913E e 6377747S
S3	Farol Verga	22H 354514E e 6350271S
S4	10km ao sul Farol Verga	22H 349456E e 6338028S
S5	Farol Albardão	22H 341310E e 6324730S
S6	10km ao sul Farol Albardão	22H 332168E e 6313507S
S7	Concheiros Co1	22H 315411E e 6297004S
S8	Concheiros Co5	22H 311127E e 6292748S
S9	Concheiros Co6	22H 309540E e 6291192S
S10	Concheiros Co9	22H 305153E e 6286830S
S11	Concheiros Co12	22H 302026E e 6283509S
S12	Hermenegildo	22H 285160E e 6268095S

A PCRS possui 620 km de extensão (longitudinal) e se caracteriza por apresentar um conjunto de barreiras costeiras orientadas a NE-SW. Entre o Neógeno e o Quaternário, a morfologia da PCRS foi afetada por oscilações glacio-eustáticas do nível do mar, o que levou à formação de dois grandes sistemas deposicionais: o Sistema de Leques Aluviais, ativos principalmente nos períodos de mar baixo, e o Sistema Laguna-Barreira, cujos registros se formaram durante os níveis de mar alto, associados aos estágios isotópicos marinhos 9, 7e, 5e e 1 (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; LOPES et al. 2014a, ROSA et al. 2017). Ou seja, o Sistema Laguna-Barreira está representado por quatro sistemas, três deles com idades pleistocênicas e um com idade holocênica. Cada um deles formado no clímax de transgressões marinhas, correlacionadas aos episódios interglaciais ocorridos durante o Pleistoceno Superior-Holoceno.

De acordo com Dillenburg et al. (2000, 2009), o trecho costeiro da Barreira holocênica, entre a praia do Cassino e o Farol Verga (estação S3 e S4), é côncavo e a barreira é de natureza regressiva (progradacional), composta por cordões de dunas frontais (*foredune ridges*) intercalados por fases de formação de dunas transgressivas de baixo relevo (< 2 m) (DILLENBURG et al., 2017). O trecho entre o Farol Verga (S3 e S4) e Arroio Chuí é convexo e a barreira é de natureza predominantemente transgressiva (retrogradacional), composta, em sua porção emersa, principalmente por depósitos de dunas transgressivas.

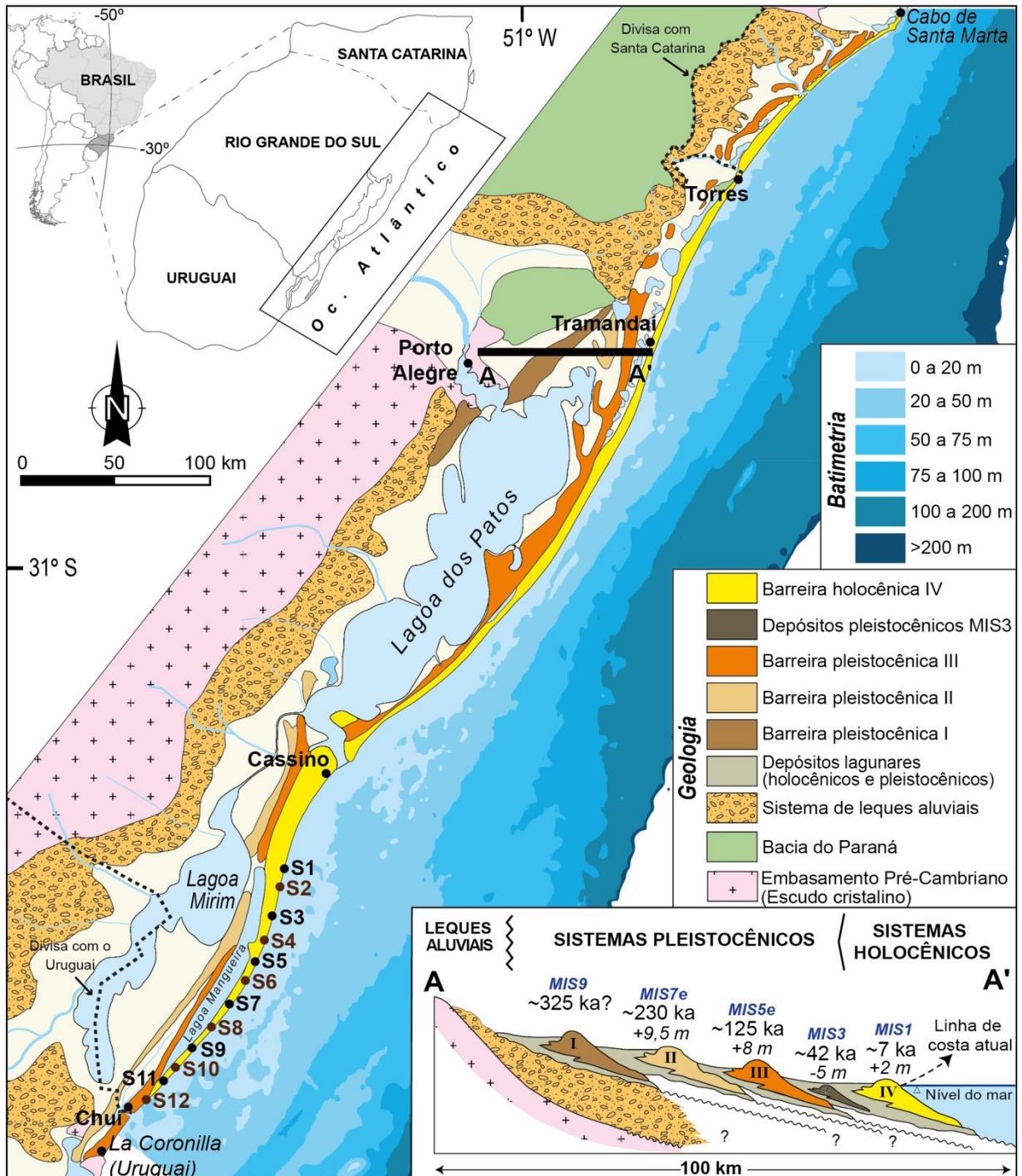


Figura 1. Geologia e batimetria da margem continental do RS, mostrando a estações de coleta dos fósseis. A inserção mostra a estratigrafia esquemática da seção transversal da PCRS, correspondente ao perfil A-A', situado entre Porto Alegre e Tramandaí, com destaque para os quatro sistemas laguna-barreira e seus respectivos estágios isotópicos marinhos (modificado de BITENCOURT; DILLENBURG, 2020; BITENCOURT et al., 2020).

Importante ressaltar que a presença de lama lagunar e afloramentos de turfa no estirâncio (*foreshore*) ao sul do Hermenegildo (estação S12), indicam esse

comportamento tipicamente retrogradacional, durante os últimos 7 ka, mesmo com o nível do mar em queda nos últimos 6-5 ka, uma consequência do déficit local de sedimentos (TOMAZELLI et al., 1998; DILLENBURG et al., 2000, 2009, 2020; CARON et al., 2007, 2011; LIMA et al., 2013, 2020).

2.2.2. Características Oceanográficas, Meteorológicas e Batimétricas

Conforme a classificação proposta por Wright e Short (1984), as praias do Rio Grande do Sul podem ser dissipativas, intermediárias e reflectivas, dependendo do gradiente do substrato da antepraia (*shoreface*) adjacente e a composição mecânica (granulometria) dos sedimentos praias.

Segundo Calliari e Klein (1993), a área ao sul da desembocadura da laguna dos Patos (e.g. praia do Cassino) apresenta características de praia dissipativa, devido à presença de areia fina a muito fina, com lentes de sedimentos finos provenientes da Laguna dos Patos. A zona de surfe é larga e apresenta baixo gradiente batimétrico. Há elevado estoque de areia na porção subaquosa e extensa largura de praia (TOZZI; CALLIARI, 2000; GUEDES; CALLIARI; PEREIRA, 2009).

A área ao sul do Farol do Albardão (estação S5 e S6), conhecida como praia dos Concheiros (estações S7 a S11), é caracterizada como uma zona de praia intermediária tendendo a reflectiva, devido às variações granulométricas (areia média a grossa siliciclástica e cascalho bioclástico). Ela apresenta elevados gradientes de praia, o que reduz sensivelmente a largura da zona de surfe. O estoque de areia se encontra na porção emersa da praia, na forma de bermas e escarpas.

As demais áreas, Farol Sarita (S1 e S2), Farol Verga (S3 e S4), Farol do Albardão (S5 e S6), Hermenegildo (S12) e Arroio Chuí, apresentam características intermediárias (CALLIARI; KLEIN, 1993; CALLIARI et al., 2003).

Independentemente da característica morfodinâmica das praias, ocorre um período de acreção, entre novembro e março, determinado principalmente por eventos de menor energia de onda (*swell*), e um perfil de erosão, entre abril e outubro, devido a regimes de onda de maior energia (*storm*) (FIGUEIREDO, 1975).

Segundo Cecilio e Dillenburg (2019), a altura média das ondas está entre 1,25 e 1,50 m e o clima de ondas tem predominância primária de SSE/SO, com pico de potência entre S/SSW gerado pelos ciclones e frentes frias. Secundariamente apresenta proveniência de ondas de ENE/E, geradas pelos ventos pós-frontais. Durante as tempestades de outono e inverno (abril a julho), a altura das ondas pode exceder 2,0 m e o nível d'água pode subir até 1,3 m ao longo da costa (CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998a; BARLETTA; CALLIARI, 2001; MOTTA et al., 2015).

Por ser uma costa dominada por ondas, as marés astronômicas, semidiurnas de até 0,5 m, são insignificantes na dinâmica costeira da área de estudo, sendo as marés meteorológicas (sobre-elevações temporárias) mais importantes nas variações do nível d'água (ANDRADE; TOLDO; NUNES, 2018).

Dessa forma, a erosão, transporte e deposição de sedimentos siliciclásticos e de bioclastos fósseis, ao longo da costa, são realizados por ondas e correntes geradas por ondas, que produzem uma deriva litorânea com resultante para Nordeste (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; TOLDO et al., 1993), com mudanças sazonais pontuais no sentido, ao longo do ano (MOTTA et al., 2015).

A atual morfologia da plataforma continental do RS é considerada uma herança geológica, pouco modificada da topografia antecedente, e é relativamente larga (>100 km), rasa (<150 m) e com uma declividade que varia entre 0,03° e 0,08° (DILLENBURG et al., 2000). Essa morfologia é o resultado de vários episódios transgressivos e regressivos, gerados por mudanças glaciais e pós-glaciais do nível do mar durante o Quaternário (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; CORRÊA et al., 1996).

Segundo Calliari e Klein (1993), longitudinalmente o conjunto formado pela antepraia e plataforma continental interna do Litoral Sul do RS pode ser dividido em duas porções: (a) porção norte, localizada entre a embocadura da Laguna dos Patos até o Farol Verga (estações S3 e S4), onde o substrato de fundo é homogêneo, sem irregularidades morfológicas significativas; (b) porção sul, localizada entre o Farol Verga (S3 e S4) e o Hermenegildo (S12), caracterizada por uma série de bancos arenosos lineares com orientação NE-SW e presença de altos batimétricos

compostos por coquinas e arenitos de praia (*beachrocks*). A morfologia atual da porção sul pode ser definida como uma superfície "*palimpsest*", onde as feições relíquias têm sido parcialmente modificadas pela hidrodinâmica atual (FIGUEIREDO, 1975).

A antepraia e plataforma continental, entre o Farol Verga (estações S3 e S4) e o Hermenegildo (S12), possui uma inclinação suave e descontínua, com isóbatas desiguais e desorganizadas, e com a existência de elevações e depressões morfológicas (CORRÊA, 1990; CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003; GOULART, 2010; CORRÊA; WESCHENFELDER; NUNES, 2017).

As diferenças batimétricas e morfológicas das diferentes porções da plataforma continental promovem o acúmulo de material bioclástico em feições morfológicas (FIGUEIREDO, 1975; CORRÊA; PONZI, 1978; CORRÊA, 1983; MARTINS et al., 1996; ASP et al., 1998; CALLIARI; CORRÊA; ASP, 1999; MARTINS; URIEN; MARTINS, 2003; CORRÊA, 2010), principalmente em torno de parcéis, bem como promovem alterações locais (pequena escala espacial) na energia de ondas (CALLIARI et al., 1994; CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; CALLIARI; TOZZI; KLEIN, 1998; PIMENTA, 1999; SPERANSKI; CALLIARI, 2001, 2006; VARA, 2012), concentrando ou divergindo os raios de onda, e assim modificando o transporte sedimentar litorâneo (NORDSTROM; JACKSON, 1993).

2.3. Materiais e Métodos

Os fósseis aqui analisados foram coletados entre os anos de 1994 a 2000 e entre os anos de 2008 a 2015, durante os trabalhos de graduação (BUCHMANN, 1994a; CARON, 2004; COSTA, 2007; CRUZ, 2012, 2013; CAMPOS, 2016; NICOLAU, 2018), mestrado (BUCHMANN, 1997; LOPES, 2009; CRUZ, 2016) e doutorado (BUCHMANN, 2002; LOPES, 2013a).

As coletas foram realizadas no estirâncio, pós-praia e nas dunas frontais (sistema praia-duna frontal), ao longo do Litoral Sul da Barreira holocênica do RS. Estações de coletas foram estabelecidas (espaçadas aproximadamente por 10 km) e nomeadas, a fim de sistematizar a coleta dos fósseis ao longo da costa (Figura 1).

Após as coletas, os fósseis foram levados para laboratório, lavados, secados, medidos, fotografados e identificados, sempre que possível, de acordo com a estrutura óssea e o grupo taxonômico correspondente.

Posteriormente à identificação, eles foram separados em dois grupos de bioclastos para qualificação do material: (1) fósseis identificáveis, representando estruturas ósseas e/ou táxons conhecidos; e (2) fósseis não-identificáveis, representando fragmentos ósseos.

Para a estimativa do tamanho dos fósseis foram utilizadas as medidas de comprimento, largura e altura (X, Y, Z), obtidas através de um paquímetro digital, segundo Durr (1984). Os fósseis aqui figurados estão depositados no Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-PV).

2.4. Resultados

2.4.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos

Um total de 9.592 fósseis foi coletado e representa uma mistura de fauna terrestre e marinha. A fauna terrestre se sobrepôs a fauna marinha em mais de 80%, provavelmente em função dos ambientes terrestres como, por exemplo, banhados, lagoas e rios, que favorecerem melhores condições para a fossilização de vertebrados terrestres em comparação com os ambientes marinhos rasos, uma vez que os ambientes terrestres são menos energéticos e mais abrigados.

Os fósseis terrestres são restos esqueléticos de mamíferos terrestres extintos (megafauna) das ordens Edentata, Notoungulata, Litopterna, Proboscidea, Artiodactyla, Perissodactyla, Carnivora e Rodentia. Os fósseis marinhos foram representados por restos esqueléticos de peixes ósseos e cartilagosos, cetáceos, tartarugas e aves semelhantes à fauna atual (BUCHMANN, 1994a, 2002; BUCHMANN; RINCÓN FILHO, 1997).

Tanto os grupos taxonômicos como os elementos esqueléticos identificados (Figs. 2 e 3) são os mesmos encontrados em outros trabalhos ao longo da PCRS como em Buchmann (1994b, 2002), Lopes, Buchmann e Caron (2008), Lopes et al.

(2009), Lopes e Buchmann (2010), Aires e Lopes (2012), Cruz e Buchmann (2013), Cruz, Buchmann e Dillenburg (2016), entre outros.

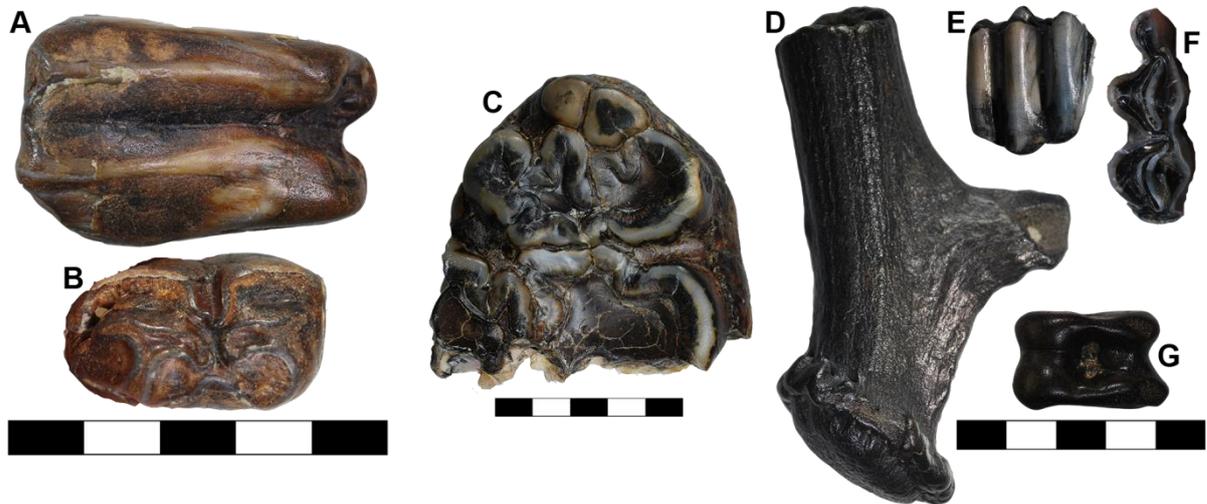


Figura 2. Elementos esqueléticos craniais identificados e seus respectivos grupos taxonômicos. A-B: dente de *Equus* (MCN-PV 36.603) em vista lingual (A) e vista oclusal (B); C: dente parcial de proboscídeo em vista oclusal (MCN-PV 36.604); D: galhada de cervídeo (MCN-PV 36.605); E-F: dente de cervídeo (MCN-PV 36.606) em vista lingual (E) e vista oclusal (F); G: astrágalo de cervídeo (MCN-PV 36.607). Escala = 5 cm.

2.4.2. Aspectos tafonômicos e estruturais

Os 9.592 fósseis coletados foram classificados em dois grupos: fósseis fragmentados, arredondados pela abrasão na zona de arrebentação (85%); e fósseis inteiros, sem ou com pouco sinal de abrasão e fragmentação, indicando pouco retrabalhamento (15%) (CRUZ, 2013; CRUZ; BUCHMANN, 2013; CRUZ; BUCHMANN; DILLENBURG, 2016) (Fig. 4). O grau de preservação dos fósseis é influenciado diretamente pelo grau de retrabalhamento imposto pela hidrodinâmica atual, principalmente por ondas e correntes geradas por ondas na zona de arrebentação (LOPES; BUCHMANN; CARON, 2008; LOPES; BUCHMANN, 2010; AIRES; LOPES, 2012).



Figura 3. Elementos esqueléticos acessórios representados por osteodermos de Cingulados. A: *Gliptodon* (MCN-PV 36.614); B: *Pampatherium* (MCN-PV 36.615); C: *Propraopus* (MCN-PV 36,616); D: *Panochthus* (MCN-PV 36.617); E: *Holmesina* (MCN-PV 36.618). Escala = 5 cm.

Durante as amostragens, entre os anos de 1994-2000 e 2008-2015, foram coletados 1.439 fósseis identificados, representados por ossos fósseis inteiros sem ou com pouco sinal de abrasão e fragmentação. A Figura 5 mostra os seus tamanhos médios. Percebe-se que o tamanho dos fósseis é maior nos anos entre 1994 e 2000.

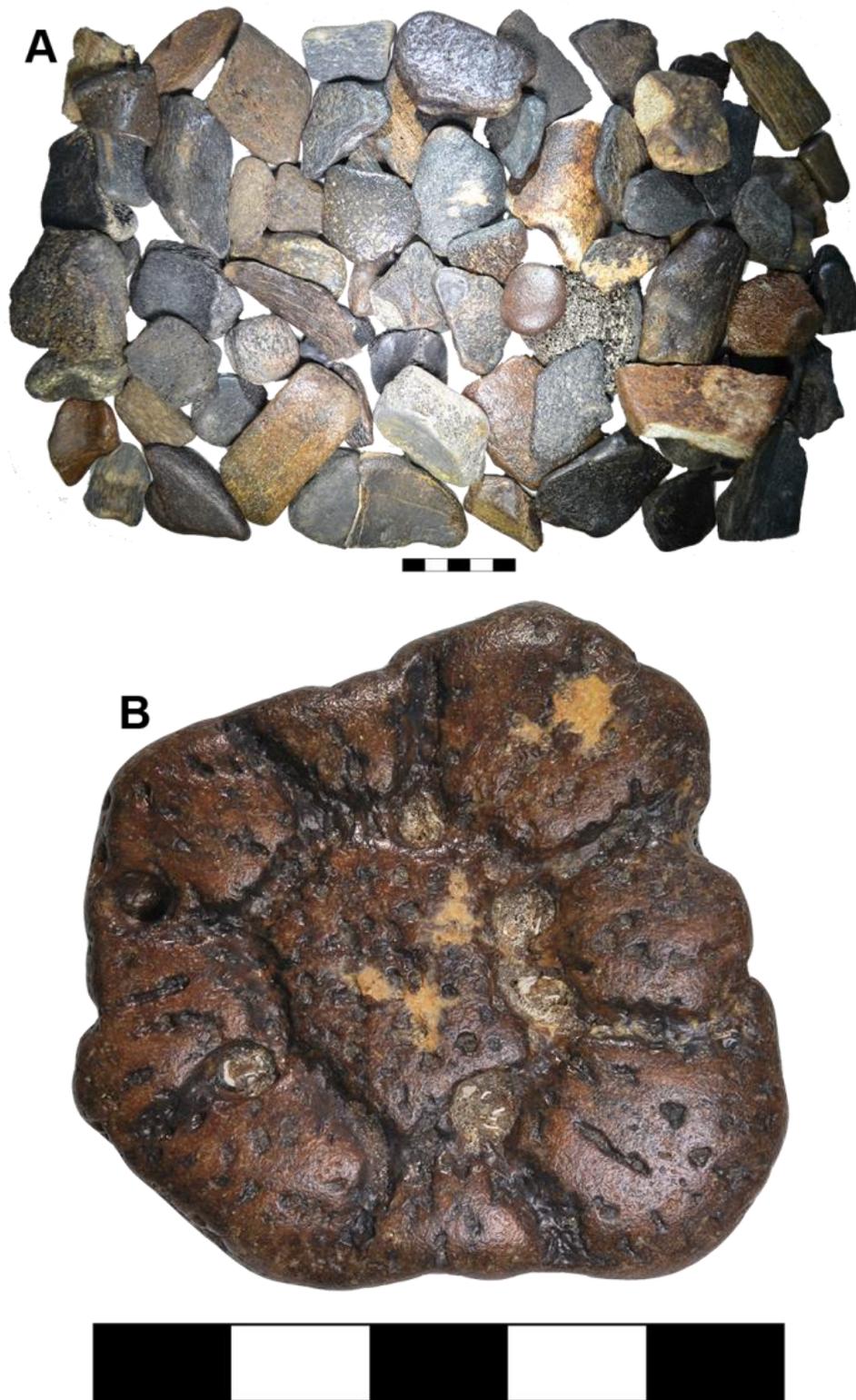


Figura 4. Grupos de bioclastos: A - fósseis não-identificáveis, com alto grau de fragmentação; B - fósseis identificáveis, com baixo grau de fragmentação, representados por um osteoderma de *Gliptodon* (MCN-PV 36.614),. Escala = 5 cm.

A variação no tamanho médio dos restos esqueléticos fósseis encontrados está relacionada ao limite de ação das ondas de tempestades sobre o fundo

marinho, o qual é controlado principalmente pela profundidade. A concentração dos fósseis na praia resulta da ação direta dos processos hidrodinâmicos que atuam na zona de arrebentação como ondas e correntes (BUCHMANN, 2002).

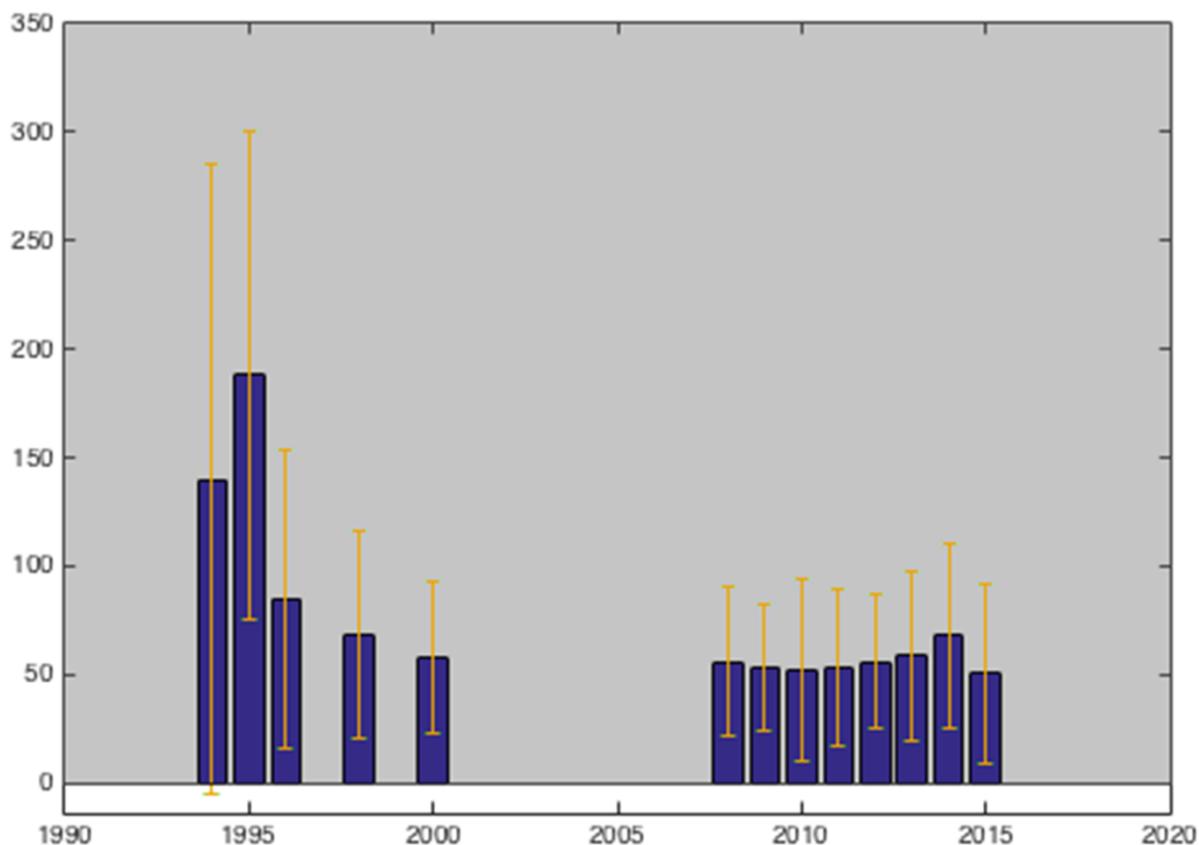


Figura 5. Variação do tamanho médio (eixo y - barras azuis) e desvio padrão (linhas amarelas) dos fósseis identificáveis (n = 1439), coletados entre 1994-2000 e 2008-2015 (eixo x - anos) (BUCHMANN et al., 2015).

2.5. Discussão

2.5.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos

Em mais de 20 anos de coletas, os grupos taxonômicos dos fósseis coletados se mantiveram semelhantes, com exceções pontuais de uma ou outra espécie ou gênero, que em alguma coleta estava presente ou não. Isto não foi considerado uma mudança significativa, pois na identificação de certos espécimes há dificuldades de classificação por causa do retrabalhamento que esses fósseis sofrem no ambiente marinho, ocultando ou disfarçando caracteres diagnósticos de identificação dos grupos taxonômicos (CARON, 2004; LOPES; BUCHMANN; CARON, 2008; AIRES;

LOPES, 2012; LOPES; FERIGOLO, 2015). Da mesma forma ocorreu com a identificação dos elementos esqueléticos que foram semelhantes ao longo dos mais de 20 anos, com exceções pontuais.

A mistura de fauna terrestre e marinha ocorreu devido às várias oscilações de natureza glacio-eustática do nível do mar, ocorridas durante o Quaternário Médio e Tardio. Os elementos esqueléticos de vertebrados terrestres pleistocênicos, preservados em paleocanais fluviais e lagoas continentais, foram erodidos e retrabalhados, bem como os elementos de vertebrados e invertebrados marinhos. Atualmente, esses fósseis estão concentrados na antepraia e são transportados por ondas e correntes para as praias de alguns locais da costa do RS (BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003; BUCHMANN, 2002; LOPES et al., 2001, 2010; LOPES; BUCHMANN, 2010).

Da mesma forma que ocorre no RS, existem alguns outros locais na América do Sul em que são encontrados fósseis de vertebrados terrestres pleistocênicos depositados em ambiente marinho e que sofrem alterações hidrodinâmicas e possuem fauna pleistocênica semelhante.

O trabalho de Cartajena et al. (2013) descreve o primeiro registro de fósseis de vertebrados terrestres para o Pleistoceno Superior da região central do Chile, na Baía Quintero, encontrados a 650 metros da costa e 13 metros de profundidade. Os fósseis são representados pelos táxons Camelidae, Cervidae, Equidae, Mylodontidae, Xenarthra, Myocastoridae, Canidae e Octodontidae. A unidade estratigráfica que contém os fósseis sugere um ambiente estuarino-lagunar pretérito, com condições frias e úmidas, aproximadamente há 13 ka (CARTAJENA et al., 2013; LÓPEZ et al., 2016).

Na Argentina ocorrem diversos afloramentos fossilíferos na linha de costa, com diferentes litologias e idades. Soibelzon et al. (2008) descrevem na costa do Rio da Prata (Buenos Aires), o sítio paleontológico conhecido como "toscas do Rio da Prata" ou simplesmente "las toscas", sendo possível observá-lo apenas durante a maré baixa. É composto por fragmentos de lama endurecida, misturados com argila, areia e calcário, e proporções variáveis de lama arenosa que funcionam como cimento. Entre os fósseis coletados em "las toscas" ocorrem Anura, Squamata,

Rheiformes, Psittaciformes, Passeriformes, Didelphiomorpha, Xenarthra, Carnivora, Perissodactyla, Artiodactyla, Notoungulata, Litopterna, Proboscidea e Rodentia. Todos são espécies exclusivas do estágio Ensenadense (do início ao médio Pleistoceno).

2.5.2. Aspectos tafonômicos e estruturais

A alta porcentagem de fósseis fragmentados (85%), arredondados pela abrasão na zona de arrebenção de ondas, mostra que os depósitos fossilíferos submersos ao longo PCRS estão submetidos à influência intensiva de processos erosivos (DILLENBURG; TOMAZELLI; BARBOZA, 2004), à dinâmica de ondas (CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998a; CALLIARI; TOZZI; KLEIN, 1998b) e às oscilações quaternárias do nível do mar (BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003).

As diferenças de tamanho e preservação dos fósseis são intrigantes, e serão discutidas abaixo com base em quatro propostas de hipóteses. É importante ressaltar que estas quatro hipóteses não são excludentes uma da outra. Os processos geológicos e oceanográficos propostos para cada uma delas podem ter atuado simultaneamente, e assim contribuído junto para um mesmo resultado.

(1) No período de 1994 a 2000, a média da energia de ondas e correntes era maior (em condições oceanográficas normais), viabilizando o transporte de fósseis maiores e mais preservados; e, no período mais recente (2008 a 2015), a média de energia teria sido menor, resultando em um tamanho menor de fósseis transportados.

(2) No período de 1994 a 2000, ocorreram eventos oceanográficos de alta energia mais frequentes e intensos (eventos extremos) que geraram erosão e transporte de fósseis de grande tamanho;

(3) No período de 1994 a 2000, os fósseis foram erodidos e permaneceram disponíveis para o transporte e deposição nas praias, durante pouco tempo, retardando o retrabalhamento e, assim, aumentando as chances de preservação de fósseis maiores.

(4) Há uma recente escassez nas áreas-fonte (depósitos fossilíferos submersos), onde os fósseis que permaneceram disponíveis para transporte e deposição nas praias estão sendo retrabalhados e, conseqüentemente, fragmentados cada vez mais, diminuindo as chances de preservação de fósseis maiores.

Quanto à hipótese (1), embora sejam escassos os dados de ondas e correntes ao longo da costa do RS, os trabalhos que investigaram a ação destes agentes da dinâmica costeira não mostram mudanças significativas no padrão circulatório, regime de ondas e correntes nos últimos 50 anos (MOTTA, 1969; FIGUEIREDO, 1980; TOZZI; CALLIARI, 1997; ALMEIDA et al., 1999; LIMA; ALMEIDA; TOLDO, 2001; ARAÚJO et al., 2003; BARLETTA; CALLIARI, 2003; SIEGLE; CALLIARI, 2008; STRAUCH et al., 2009; PIANCA; MAZZINI; SIEGLE, 2010; CECILIO; DILLENBURG, 2019; MOTTA et al., 2015; SPROVIERI; TOLDO, 2016).

Portanto, se houve maior energia de ondas e correntes, no período de 1994 a 2000, ela foi provavelmente relacionada a uma maior ocorrência (frequência) de eventos oceanográficos de alta energia como sugerido na hipótese (2). Calliari, Tozzi e Klein (1998b) descreveram dois eventos extremos na costa do RS, nos anos de 1993 e 1995, onde houve erosão praias de aproximadamente $63 \text{ m}^3/\text{m}$ e retração das dunas por volta de 3 metros. Machado et al. (2010) estudaram 40 eventos extremos (> 6 metros de altura de onda) na costa do RS, ocorridos entre os anos de 1979 e 2008, os quais geraram erosão de $62,96 \text{ m}^3/\text{m}$ e 1,827 metros de elevação do nível do mar em alguns trechos da costa.

A hipótese (2) também encontra sustentação nas observações do trabalho de Albuquerque (2013), ao menos para uma das estações de coleta (estação S12, Hermenegildo). Segundo Albuquerque (2013), as praias do extremo sul do RS, principalmente a praia do Hermenegildo, possuem taxa média de retração da linha de costa de 1,68 m/ano. Os maiores picos de retração/erosão registrados entre 1996 a 2000 (6,29 m/ano) e entre 2005 e 2006 (5,25 m/ano), coincidem com os períodos de forte El Niño e anomalias na TSM (temperatura da superfície do mar). Os dados de Esteves, Teixeira e Williams (2008), entre 1999 e 2006, e Koerner (2009), nos

anos de 1947, 1964 e 2005, corroboram os dados anteriores, mostrando retração da linha de costa de 3,4 m/ano e 1,22 m/ano, respectivamente.

A praia dos Concheiros (estações S7 a S11), localizada um pouco ao norte do Hermenegildo (porção sul da projeção costeira - linha de costa côncava), entre os anos 1994 e 1996, apresentou uma grande remobilização e retrabalhamento dos fósseis pelas ondas, na zona de arrebentação, e deposição no pós-praia (BUCHMANN, 2002). Isso foi facilitado e coincide com as altas taxas de recuo da linha de costa para praia do Hermenegildo, no mesmo período (Fig. 6) (ALBUQUERQUE, 2013).

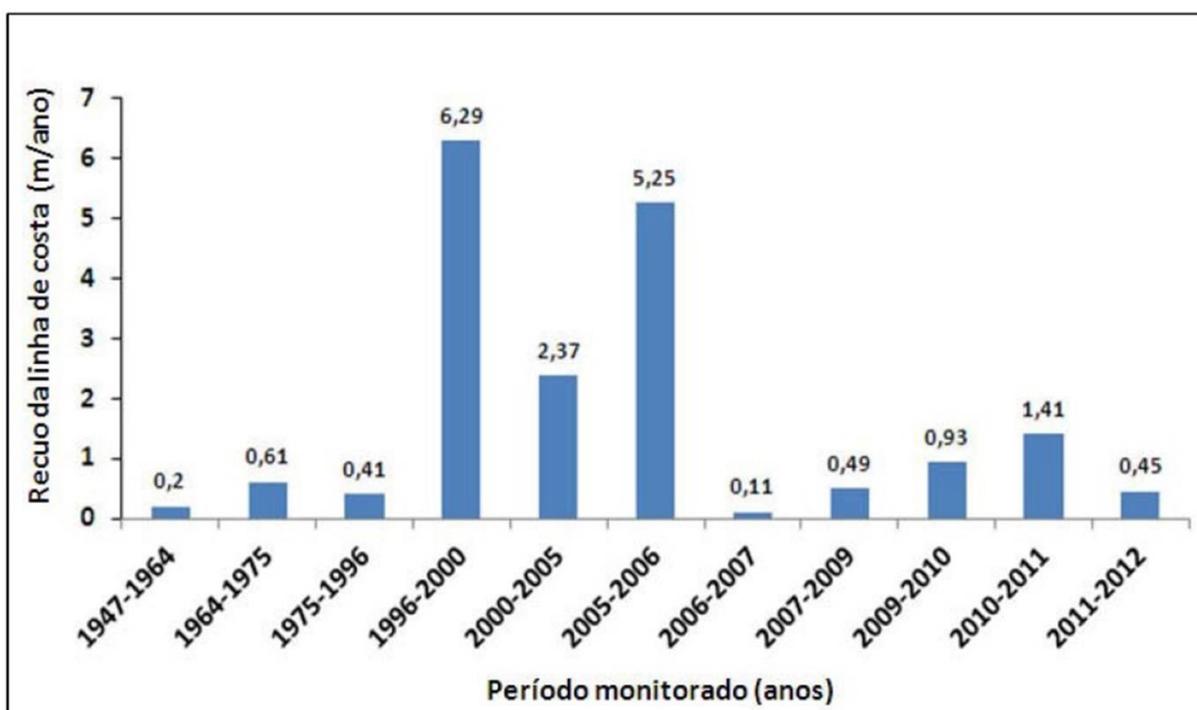


Figura 6. Taxas de recuo da linha de costa para a praia do Hermenegildo (estação S12) entre os anos de 1947 e 2012 (ALBUQUERQUE, 2013).

Estes eventos erosivos são controlados pelas manifestações oceanográficas de interação oceano-atmosfera que propiciam a geração de ciclones que atingem alta intensidade, transferindo energia da atmosfera para o mar, gerando grandes ondas, e exercendo assim um papel significativo nas remobilizações do sedimento praial (BUCHMANN, 2002).

Com relação à hipótese (3), (BUCHMANN (2002) afirma que “os fósseis são

muito pouco selecionados em termos de tamanho. Os tamanhos variam desde alguns milímetros até mais de 1 m de comprimento, com diversos quilos de massa. Estas características sugerem que o material foi muito pouco transportado, sendo proveniente, provavelmente, de uma área-fonte muito próxima, situada na antepraia adjacente". Buchmann (2002) ainda sugere que "o fato de não haver a mistura das diferentes populações de tamanhos, ao longo da costa, sugere uma exposição recente do substrato. Esta recente exposição possibilitou a erosão e o transporte dos fósseis em direção ao pós-praia", evidenciando a existência de janelas de exposição do substrato e, conseqüentemente, de disponibilidade de erosão dos fósseis, tanto terrestres quanto marinhos.

Assim, uma vez exposto o substrato, ocorre a erosão desses fósseis e o seu transporte por ondas e correntes, enquanto houver disponibilidade em certo nível fossilífero. A disponibilidade diminui devido a: (a) a erosão total do substrato de fundo exposto, ou (b) com a erosão do substrato há um aumento na profundidade local, fazendo com que o nível de base das ondas se desloque no sentido da praia, resultando em perda de energia necessária para a continuidade da erosão e transporte dos fósseis, na janela de exposição do substrato.

As hipóteses (3) e (4) encontram apoio nas observações de preservação/retrabalhamento dos fósseis (relação identificáveis e não-identificáveis), bem como em seus tamanhos médios. No período 1994 a 2000, encontravam-se fósseis maiores (Fig. 7A) e o grau de selecionamento era menor, mostrando um maior espalhamento no histograma de tamanhos médios (Fig. 8A). No período 2008 a 2015, os fósseis encontram-se menores (Fig. 7B) e o espalhamento de tamanhos médios é menor (Fig. 8B). Cruz, Dillenburg e Buchmann (2016) mostram valores de preservação/retrabalhamento dos fósseis para o Litoral Médio e Sul da PCRS, onde mais de 80%, em ambos os locais, são de fósseis não-identificáveis, de tamanhos pequenos a médios, com alto grau de retrabalhamento e fragmentação.

Através da análise dos dados de recuo da linha de costa (Fig. 6), para a praia do Hermenegildo (estação S12), e do tamanho médio dos fósseis (Fig. 8), observa-se uma correlação entre eles. Os maiores tamanhos de fósseis (> 50 mm) estão relacionados com os períodos com maiores taxas de recuo da linha de costa (> 6 m/ano) (BUCHMANN et al., 2015). Portanto, os eventos de maior erosão da linha de

costa e, conseqüentemente, maior erosão dos depósitos fossilíferos submersos, disponibilizam fósseis maiores e mais preservados, por terem sido recentemente erodidos da área-fonte.

Entretanto, com a soma desses processos erosivos atuais na costa, era de se esperar uma erosão no pacote sedimentar e nos depósitos fossilíferos submersos presentes na antepraia e, conseqüentemente, uma maior disponibilidade de material fossilífero para ser transportado até as praias. Assim, se os dados de 2008 a 2015 mostram que provavelmente não houve o aporte de material fossilífero novo na praia, devido à diminuição do tamanho e preservação dos fósseis e aumento da fragmentação deles, então há uma provável escassez das áreas-fonte (depósitos fossilíferos submersos), corroborando com a hipótese (4).

A análise em larga escala espacial e temporal, permite concluir que a antepraia e plataforma continental vêm sendo fonte de fósseis desde os últimos 7-6 ka, quando o nível do mar assumiu sua atual posição (desconsiderando flutuações de 2-3 metros). Mais precisamente, é digno de nota que, com o rebaixamento geral do nível do mar de aproximadamente 2 metros, nos últimos 6-5 ka (DILLENBURG et al., 2017), e com o conseqüente rebaixamento do nível base de ação das ondas (também de aproximadamente 2-3 metros), foi produzida uma erosão de pelo menos 2 metros de espessura da antepraia e plataforma continental adjacente, aumentando assim a disponibilidade de fósseis para transporte no sentido da praia, durante o intervalo de rebaixamento, até ser atingida uma situação de equilíbrio, quando então a quantidade de fósseis disponíveis estabilizaria e até mesmo declinaria.

2.5.3. Estoque sedimentar e conchas marinhas associadas

Outros aspectos importantes sobre a mudança no ambiente praial no Litoral Sul da PCRS estão relacionados ao pacote sedimentar emerso depositado na praia e a presença de conchas marinhas fósseis e atuais que estão associadas ao sedimento praial, representadas por bivalves e gastrópodes marinhos.



Figura 7. Fósseis depositados na praia dos Concheiros (estações S7 a S11). A: fêmur de preguiça-gigante (seta), ilustrando que no período de 1994 a 2000 foram encontrados fósseis maiores; B: dente de *Toxodon* (seta), ilustrando que no período entre 2008 a 2015 foram encontrados fósseis menores (Fotos de BUCHMANN).

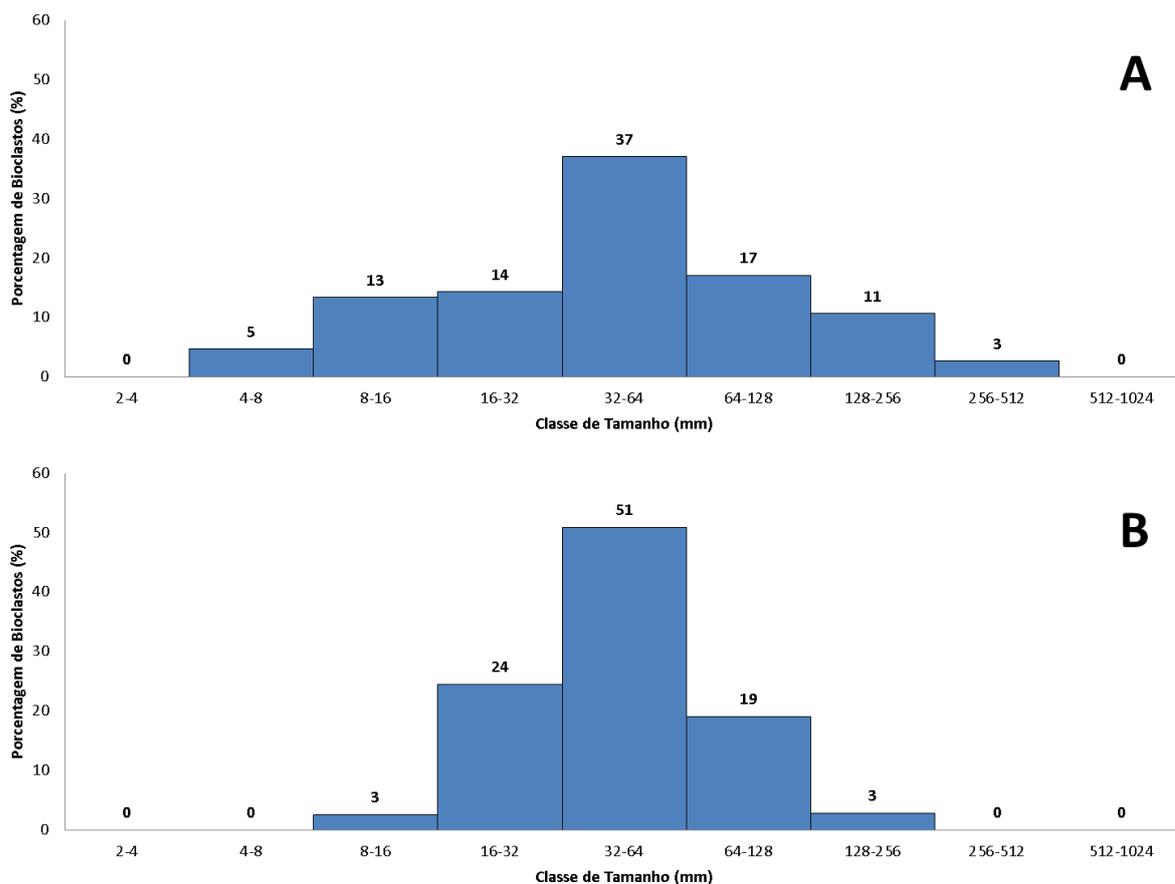


Figura 8. Histograma do tamanho dos fósseis. A: dados de 1994 a 2000, fósseis maiores e baixo grau de selecionamento; B: dados de 2008 a 2015, fósseis menores e alto grau de selecionamento.

As concentrações de conchas marinhas fósseis, assim como os fósseis de vertebrados pleistocênicos, estão presentes em depósitos submersos ao longo da antepraia e plataforma continental interna entre 0 e 40 m (MARTINS; URIEN; EICHLER, 1967; BIANCHI, 1969; FIGUEIREDO, 1975; CORRÊA; PONZI, 1978; CORRÊA, 1987; GODOLPHIM et al., 1989; ASP, 1996; CALLIARI; CORRÊA; ASP, 1999; MARTINS; URIEN; MARTINS, 2003; MARTINS, 2006; CARON, 2014) e, durante eventos de maior energia, são remobilizados e transportados para a praia, formando a praia dos Concheiros (FIGUEIREDO, 1975; LOPES; BUCHMANN, 2008, 2010; LOPES; DILLENBURG; SCHULTZ, 2011).

Essas conchas marinhas fósseis presentes nas praias, bem como as presentes em outras localidades da PCRS (e.g. Arroio Chuí e Lagoa Mangueira) foram estudadas por diversos autores (e.g. CLOSS; FORTI, 1971; FORTI ESTEVES,

1974; LIMA; BUCHMANN, 2005; LOPES; DILLENBURG; SCHULTZ, 2011; LOPES et al., 2013, 2014b; CARON, 2007; LOPES, 2011, 2013b; LOPES; SIMONE, 2012).

Analisando dados e imagens de sensoriamento remoto de trabalhos anteriores (e.g. BUCHMANN, 2002), e observações em campo do Litoral Sul da PCRS, observa-se a redução do material bioclástico da praia dos Concheiros (estações S7 a S11), bem como do estoque sedimentar emerso, que no período de 1994 a 2000 era muito expressivo. Diversos trabalhos (e.g. FIGUEIREDO, 1975; CALLIARI; KLEIN, 1993; SIEGLE, 1996; CALLIARI; CORRÊA; ASP, 1999; BUCHMANN, 2002; LOPES; BUCHMANN, 2008, 2010; LOPES; DILLENBURG; SCHULTZ, 2011) descrevem a praia dos Concheiros como sendo formada por extensos depósitos de material bioclástico (principalmente conchas marinhas fósseis) ao longo de 40 km de praia, com concentrações muito elevadas de carbonatos de até 50%, e o pacote sedimentar variando de 1 a 2 m de espessura (Fig. 9).

Durante o período de 2008 a 2015, os depósitos bioclásticos da praia dos Concheiros reduziram em volume e extensão longitudinal. Os fósseis de conchas marinhas e vertebrados terrestres ficaram escassos e, em alguns pontos, até mesmo inexistentes. Eles estão atualmente concentrados em focos ou manchas com volume de alguns metros cúbicos, cobrindo extensões de alguns metros como, por exemplo, as concentrações que ocorrem no estirâncio das estações de coleta S10 e S11 (Fig. 9E).

Provavelmente, os mesmos processos de erosão e retirada de sedimentos siliciclásticos e fósseis da praia dos Concheiros, agiram na retirada dos fósseis de vertebrados e conchas marinhas, que se tornaram mais escassos em suas áreas-fonte a partir de 2008. As conchas que permaneceram disponíveis para transporte e deposição nas praias foram retrabalhadas e, conseqüentemente, fragmentadas cada vez mais. Vem sofrendo a ação dos mesmos processos erosivos de longo período, a que estão submetidos os trechos costeiros desta porção sul da PCRS (LIMA et al., 2013; DILLENBURG et al., 2000, 2020).

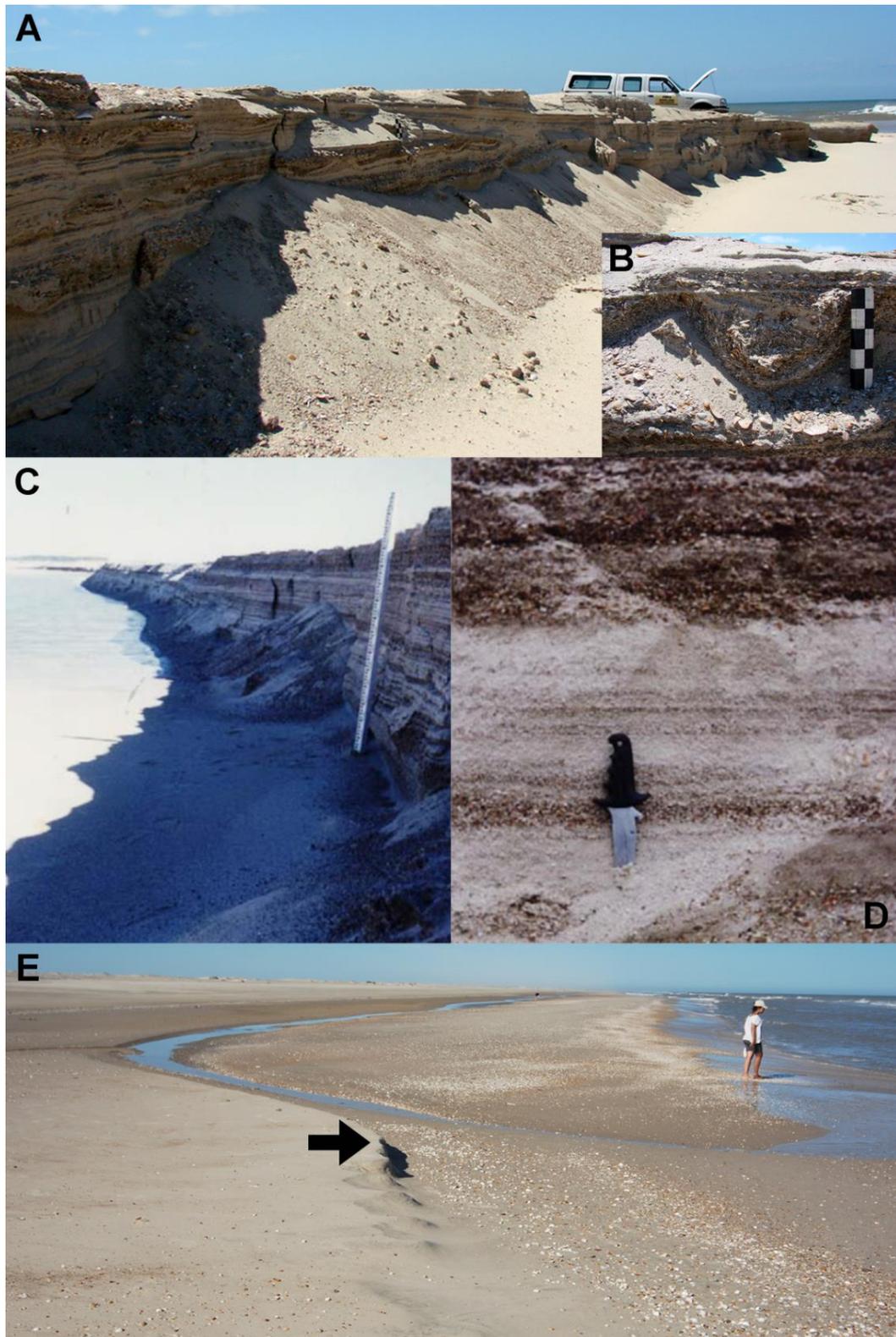


Figura 9. Perfil do pacote sedimentar da praia dos Concheiros no período de 1994 a 2000 (A-D) e no período de 2008 a 2015 (E), ilustrando a redução do pacote sedimentar emerso depositado na praia. A-D: pacote sedimentar variando de 1 a 2 m de espessura com lentes de conchas marinhas fósseis e atuais, em fotografia retirada de Buchmann (2002); E: pacote sedimentar (seta) quase inexistente, em fotografia obtida em 2013 (Fotos de BUCHMANN).

A fragmentação do material bioclástico da praia dos Concheiros é evidenciada pela transformação das conchas marinhas de tamanho seixo em grânulo (alguns milímetros) que recobrem atualmente parte das dunas frontais, as quais se apresentam recobertas por um sedimento avermelhado (Fig. 10) (CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016).

Em estudos futuros, é intenção deste grupo de estudos costeiros, determinar se a observada redução do pacote sedimentar, dos fósseis de vertebrados e das conchas marinhas representa um fenômeno pontual (randômico) na área estudada, ou se está relacionada a algum ciclo de erosão e deposição costeira.



Figura 10. Presença de sedimento avermelhado, composto de conchas marinhas fósseis fragmentadas em tamanho grânulo, recobrendo o sedimento arenoso quartzoso das dunas frontais (Fotos de BUCHMANN).

2.6. Conclusões

Os fósseis de vertebrados pleistocênicos coletados no Litoral Sul da PCRS, ao longo de mais de 20 anos, mostraram similaridades em relação aos grupos taxonômicos e estruturas ósseas identificadas, e diferenças em relação ao grau de preservação e retrabalhamento. Os fósseis de vertebrados representam uma mistura

de fauna terrestre e marinha, resultante das frequentes oscilações do nível do mar durante o Quaternário Médio e Tardio. Em todo o período de coleta (1994 a 2015), a fauna terrestre se sobrepôs a fauna marinha em mais de 80%.

As variações de tamanho e preservação dos fósseis, entre os períodos 1994-2000 e 2008-2015, podem ser explicadas por quatro hipóteses, as quais incluem processos que podem ter atuado simultaneamente, ou seja, as hipóteses não são excludentes uma da outra. Os resultados mostraram uma diminuição no grau de preservação e tamanho dos fósseis e, conseqüentemente, um aumento na fragmentação e selecionamento dos mesmos. Esta mudança pode ser explicada por: (1) maior energia de ondas e correntes, entre 1994 e 2000, viabilizando o transporte de fósseis maiores; (2) maior frequência de eventos oceanográficos tempestuosos, entre 1994 e 2000, que geraram maior erosão e transporte de fósseis maiores; (3) “janela” de exposição do substrato de fundo (depósitos fossilíferos submersos), onde em determinado momento, o substrato é totalmente erodido, deslocando o nível de base das ondas; e (4) escassez das áreas-fonte, pois não houve o aporte de material bioclástico novo na praia, evidenciado pela gradativa fragmentação dos fósseis, e maior selecionamento dos seus tamanhos.

Corroborando com as mudanças na distribuição e preservação dos fósseis de vertebrados, no ambiente praias modernas do Litoral Sul da PCRS, e concluindo mais de 20 anos de coletas e trabalhos de análise e interpretação de dados, observou-se que a variação no estoque sedimentar emerso da praia dos Concheiros tem relação direta com a presença de material bioclástico. A presença massiva de bioclastos, no período de 1994 a 2000, reduziu para apenas algumas concentrações irregulares, pequenas e pontuais, no período de 2008 a 2015, ao longo do Litoral Sul da planície costeira.

Os fósseis de vertebrados pleistocênicos e as conchas marinhas fósseis associadas sofrem os mesmos processos de fragmentação gradativa, influenciada pela erosão costeira, retirada de sedimentos e escassez das áreas-fonte. As conchas de tamanho seixo são retrabalhadas pelas ondas e transformadas em tamanho grânulo de cor avermelhada que recobre atualmente parte das dunas frontais do trecho costeiro estudado.

2.7. REFERÊNCIAS

AIRES, A. S. S.; LOPES, R. P. Representativity of Quaternary mammals from the southern Brazilian continental shelf. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 15, p. 57-66, 2012. DOI:10.4072/rbp.2012.1.05

ALBUQUERQUE, M. G. **Análise espaço-temporal das causas de variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013. 127p.

ALMEIDA, L. E. S. B.; ROSAURO, N. M. L.; TOLDO, E. E.; GRUBER, N. L. S. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 1999. CD-ROM.

ANDRADE, M. M.; TOLDO, E. E.; NUNES, J. C. R. Tidal and subtidal oscillations in a shallow water system in southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 3, p. 245-254, 2018.

ARAÚJO, H. I.; BISSARO, M. C.; DOS SANTOS, T. T.; ALVES, R. S.; BERGQVIST, L. P. Tafonomia da megafauna pleistocênica Brasileira: Fluvial Transport Index (FTI) em análises de representatividade óssea. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 15, n. 1, p. 95-104, 2012.

ASP, N. E. **Avaliação da potencialidade de depósitos de calcário bioclástico da plataforma interna e linha de costa do sul do RS**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1996. 72p.

ASP, N. E.; SIEGLE, E.; CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S. Sedimentos da região do Parcel do Carpinteiro, Rio Grande do Sul. In: XI Semana Nacional de Oceanografia, 11., 1998, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: 1998. p. 503-505.

BARLETTA, R. C.; CALLIARI, L. J. Determinação da intensidade das

tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 117-124, 2001.

BARLETTA, R.; CALLIARI, L. J. An assessment of the atmospheric and wave aspects determining beach morphodynamic characteristics along the central coast of RS state, southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 35, p. 300-308, 2003.

BIANCHI, L. A. Bancos de ostreídeos pleistocênicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Iheringia, Série Geologia**, v. 2, p. 3-40, 1969.

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R. Application of multivariate statistical techniques in alongshore differentiation of coastal barriers. **Marine Geology**, v. 419, p. 106077, 2020. DOI: 10.1016/j.margeo.2019.106077

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; MANZOLLI, R. P. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, p. 529-548, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1789

BUCHMANN, F. S. C. **Estudo microfossilífero na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1994a. 82p.

BUCHMANN, F. S. C. Distribuição dos fósseis pleistocênicos na zona costeira e plataforma continental interna no Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 17, p. 355–364, 1994b.

BUCHMANN, F. S. C. **Banhado do Taim e Lagoa Mangueira: evolução holocênica da paleoembocadura da lagoa Mirim**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997. 144p.

BUCHMANN, F. S. C.; RINCÓN FILHO, G. Fósseis de vertebrados marinhos

do Pleistoceno Superior na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Notas Técnicas**, v. 10, p. 7-16, 1997.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Fósseis da megafauna terrestre coletados na plataforma continental interna, RS, Brasil, e sua relação com a dinâmica costeira passada e atual. In: VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 7., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: 1999. 3p.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. A influência do substrato pré-holocênico na distribuição dos bioclastos carbonáticos ao longo da linha de costa (pós-praia) do Rio Grande do Sul. In: VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8., 2001, Imbé. **Anais...** Imbé: 2001. p. 58-59.

BUCHMANN, F. S. C.; SEELIGER, M.; ZANELLA, L. R.; MADUREIRA, L. S. P.; TOMAZELLI, L. J.; CALLIARI, L. J. Análise batimétrica e sedimentológica no estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia pleistocênica na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 109-115, 2001.

BUCHMANN, F. S. C. **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) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002. 120p.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Relict nearshore shoals of Rio Grande do Sul, southern Brazil: origin and effects on nearby modern beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 35, p. 318-322, 2003.

BUCHMANN, F.S.C.; CRUZ, E.A.; DILLENBURG, S.R.; LOPES, R.P. e CARON, F. 2015. Monitoramento de longo prazo (1994-2015) dos bioclastos na praia dos Concheiros, RS, extremo sul do Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 15, 2015. Anais, Imbé, p. 348-349.

CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. F. Características morfodinâmicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 57-69, 1993.

CALLIARI, L. J.; ESTEVES, L. S.; OLIVEIRA, C. P. L.; TOZZI, H. A. M.; PEREIRA, R. S.; CARDOSO, J. N. Padrões sonográficos e sedimentológicos de um afloramento de "beachrock" na plataforma interna do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 7, p. 27-32, 1994.

CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N.; BOUKAREVA, I. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, v. 26, p. 19-23, 1998.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. M.; KLEIN, A. H. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil, Rio Grande to Chuí, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 231-247, 1998.

CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S.; ASP, N. E. Inner shelf and beach seashell resources in southern Brazil. In: MARTINS, L. R. S.; SANTANA, C. I. (Ed.). **Non-living resources of the southern Brazilian coastal zone and continental margin**. Porto Alegre: Osnir/Serg/Seco/UFRGS, 1999. p. 39-49.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO, E. E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, p. 63-78, 2003.

CAMPOS, R. N. **Descrição taxonômica e tafonômica de fósseis de organismos terrestres e marinhos da praia do Estreito, Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2016. 89p.

CARON, F. **Aspectos taxonômicos e tafonômicos dos fósseis de vertebrados terrestres (megafauna pampeana extinta) e marinhos (peixes e cetáceos) da praia do Cassino, RS**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio

Grande. 2004. 129p.

CARON, F. **Depósitos sedimentares associados à desembocadura do Arroio Chuí (Planície Costeira do Rio Grande do Sul) e suas relações com as variações do nível do mar durante o Holoceno.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007. 81p.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; DEHNHARDT, B. A.; MEDEANIC, S.; DILLENBURG, S. R. A transgressão marinha pós-glacial na região de desembocadura do Arroio Chuí, Planície Costeira do Rio Grande do Sul: implicações paleogeográficas. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 11., 2007, Belém. **Resumos...** Belém: 2007. p. 6.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; LIMA, L. G.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; DILLENBURG, S. R. Características estratigráficas da barreira transgressiva holocênica na praia dos Concheiros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 13., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: 2011. p. 107-111.

CARON, F. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na região costeira de Santa Vitória do Palmar, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014. 172p.

CECILIO, R. O.; DILLENBURG, S. R. An ocean wind-wave climatology for the southern Brazilian shelf. Part II: variability in space and time. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 88, p. 101103, 2019.

CLOSS, D. L.; FORTI, I. R. S. Quaternary mollusks from the Santa Vitória do Palmar County. **Iheringia, Série Geologia**, v. 4, p. 19-58, 1971.

CORRÊA, I. C. S.; PONZI, V. R. Depósitos de calcário bioclásticos das regiões do Albardão e Mostardas na plataforma interna do Rio Grande do Sul. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...**

Recife: 1978. 16p.

CORRÊA, I. C. S. Plataforma continental do Rio Grande do Sul: síntese dos conhecimentos. In: Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, 1987, Cananéia. **Anais...** Cananéia: 1987. v. 2, p. 50-73.

CORRÊA, I. C. S. Depósitos de material carbonático em la plataforma Interna del Rio Grande do Sul. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS MARINOS DEL PACÍFICO, 1983, Viña del Mar. **Actas...** Viña del Mar: 1983. p. 155-163.

CORRÊA, I. C. S. **Analyse morphostructurale et evolution paleogeographique de la plate-forme continentale Atlantique Sudbresilienne (Rio Grande do Sul - Bresil)**. Tese - Universite de Bourdeaux I, Bourdeaux. 1990. 314p.

CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, L. R. S.; KETZER, J. M. M.; ELIAS, A. R. D.; MARTINS, R. Evolução sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sudeste e sul do Brasil. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 51-61, 1996.

CORRÊA, I. C. S. Mapeamento e recursos minerais na plataforma continental e área oceânica internacional. In: LXII Reunião Anual da SBPC, 62., 2010, Natal. **Anais...** Natal: 2010. 5p.

CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J.; NUNES, J. C. Arenitos de praia submersos na plataforma continental do Rio Grande do Sul. In: X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 10., 2017, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: 2017. 1p.

COSTA, F. R. **Biometria e comparação anatômica de quatro espécies de tatus Sul-Americanos atuais (*Priodontes maximus*, *Euphractus sexcinctus*, *Cabassous* sp. e *Dasybus* sp.) com duas espécies de tatus extintos do Pleistoceno (*Propraopus* sp. e *Pampatherium* sp.)**. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2007. 71p.

CRUZ, E. A. **Estudo tafonômico e taxonômico dos fósseis pleistocênicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2012. 216p.

CRUZ, E. A. **Retrabalhamento praias em fósseis pleistocênicos na praia dos Concheiros, RS**. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2013. 152p.

CRUZ, E. A.; BUCHMANN, F. S. C. Tafonomia e taxonomia dos bioclastos encontrados na praia dos Concheiros, RS. In: XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, 23., 2013, Gramado. **Resumos...** Gramado: 2013. p. 303-304.

CRUZ, E. A.; DILLENBURG, S. R.; BUCHMANN, F. S. C. 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**, v. 19, n. 3, p. 425-438, 2016. DOI: 10.4072/rbp.2016.3.08

CRUZ, E. A. **Fósseis de vertebrados pleistocênicos dos setores central e sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil: descrição e controles na distribuição**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016. 79p.

DILLENBURG, S. R.; ROY, P. S.; COWELL, P. J.; TOMAZELLI, L. J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation Barrier Model (STM). **Journal of Coastal Research**, v. 16, p. 71-81, 2000.

DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; BARBOZA, E. G. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, v. 203, p. 43-56, 2004. DOI:10.1016/S0025-3227(03)00330-X

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.;

CLEROT, L. C. P.; AYUP-ZOUAIN, R. N. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (Ed.). **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil**. Springer, 2009. p. 53-91.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A. O. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka. **Marine Geology**, v. 390, p. 106-119, 2017. DOI:10.1016/j.margeo.2017.06.007

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; BITENCOURT, J. B. Changes in the littoral drift system of the Uruguayan coast during the Holocene and its influence in the continuing erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 95, p. 453-457, 2020.

DÜRR, S. D. Quick estimation of pebble volumes. Research methods papers. **Journal of Sedimentary Research**, v. 64, n. 3, p. 665-668, 1994.

ESTEVEES, L. S.; TEIXEIRA, P. S.; WILLIAMS, J. Managing coastal erosion: from long-term coastal evolution to seasonal shoreline changes. **IAHS-AISH publication**, v. 325, p. 516-523, 2008.

FACHIN, S. **Caracterização do perfil de equilíbrio da antepraia na costa do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998. 114p.

FIGUEIREDO, A. G. **Geologia dos depósitos calcários bioclásticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1975. 72p.

FORTI ESTEVES, I. R. Bioestratigrafia e paleoecologia (Mollusca) do Quaternário da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Brasil). In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 28., 1974, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: 1974. p.

133-147.

GODOLPHIM, M. A.; ARTUSI, L.; DEHNHARDT, B. A.; VILLWOCK, J. A.; ESTEVES, I. R. F. Novas evidências da transgressão holocênica na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Acta Geol. Leopoldensia**, v. 29, p. 23-36, 1989.

GOULART, E. S. **Morfodinâmica da antepraia adjacente ao Farol da Conceição: litoral médio do RS**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Curso de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2010. 99p.

GUEDES, R. M. C.; CALLIARI, L. J.; PEREIRA, P. S. Morfodinâmica da praia e zona de arrebentação do Cassino, RS através de técnicas de vídeo imageamento e perfis de praia. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 2, p. 165-180, 2009.

KOERNER, K. F. **Variação espaço-temporal em médio e curto termo da orla do balneário Hermenegildo, RS**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2009. 63p.

LIMA, S. F.; ALMEIDA, L. E. S. B.; TOLDO, E. E. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 99-107, 2001.

LIMA, L. G.; BUCHMANN, F. S. C. Novo afloramento fossilífero (Pleistoceno/Holoceno) no sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 10., 2005, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: 2005. 7p.

LIMA, L. G.; DILLENBURG, S. R.; MEDEANIC, S.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; TOMAZELLI, L. J. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 42, p. 27-38, 2013. DOI:10.1016/j.jsames.2012.07.002

LIMA, L. G.; DILLENBURG, S. R.; BUCHMANN, F. S. C.; PARISE, C. O. significado paleogeográfico das turfeiras costeiras do Rio Grande do Sul. **Revista Geociências**, v. 39, n. 2, p. 393-410, 2020.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F.; ITUSARRY, M. E. G. S. Tafonomia dos fósseis de vertebrados (megafauna extinta) encontrados ao longo das barrancas do Arroio Chuí e linha de costa, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 67-73, 2001.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F. Taphonomic analysis of Pleistocene mammals from deposits submerged along southern Rio Grande do Sul Coastal Plain, Brazil. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 66, p. 213-229, 2008.

LOPES, R. P. **Alterações *post mortem* (pseudopaleopatologias) em fósseis de mamíferos pleistocênicos do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. 123p.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F.; ITUSSARY, M. E. G. S. Barrancas fossilíferas do Arroio Chuí, RS - importante megafauna pleistocênica no extremo sul do Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S. (Ed.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil.** Brasília: CPRM, 2009. p. 355-362.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C. Pleistocene mammals from the southern Brazilian continental shelf. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, p. 17-27, 2010. DOI:10.1016/j.jsames.2010.11.003

LOPES, R. P.; OLIVEIRA, L. C.; FIGUEIREDO, A. M. G.; KINOSHITA, A.; BAFFA, O.; BUCHMANN, F. S. C. ESR dating Pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Quaternary International**, v. 212, p. 213-222, 2010. DOI:10.1016/j.quaint.2009.09.018

LOPES, R. P. Ichnology of fossil oysters (*Bivalvia*, *Ostreidae*) from the

southern Brazilian coast. **Gaea**, v. 7, n. 2, p. 94-103, 2011.

LOPES, R. P.; DILLENBURG, S. R.; SCHULTZ, C. L. A review of the accumulations of fossil marine mollusks in continental areas of the southernmost Brazilian coast, Rio Grande do Sul state. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 13., 2011, Búzios. Anais... Búzios: 2011. p. 1220-1223.

LOPES, R. P.; SIMONE, L. R. L. New fossil records of Pleistocene marine mollusks in southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 15, n. 1, p. 49-56, 2012.

LOPES, R. P. **Reconstituição paleo-climática e paleo-ambiental do Pleistoceno Tardio no sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013a, 197p.

LOPES, R. P. Biostratigraphy of the Pleistocene fossiliferous deposits of southern Brazilian coastal area. **Journal of Mammalian Evolution**, v. 20, p. 69-82, 2013b. DOI: 10.1007/s10914-011- 9173-y

LOPES, R. P.; SIMONE, L. R.; DILLENBURG, S. R.; SCHULTZ, C. L.; PEREIRA, J. C. A middle Pleistocene marine molluscan assemblage from the southern coastal plain of Rio Grande do Sul state, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 16, n. 3, p. 343-360, 2013. DOI: 10.4072/rbp.2013.3.01

LOPES, R. P.; DILLENBURG, S. R.; SCHULTZ, C. L.; FERIGOLO, J.; RIBEIRO, A. M.; PEREIRA, J. C.; HOLANDA, E. C.; PITANA, V. G.; KERBER, L. The sea-level highstand correlated to marine isotope stage (MIS) 7 in the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, p. 1573-1595, 2014a. DOI:10.1590/0001-3765201420130274

LOPES, R. P.; KINOSHITA, A.; BAFFA, O.; FIGUEIREDO, A. M. G.; DILLENBURG, S. R.; SCHULTZ, C. L.; PEREIRA, J. C. ESR dating of Pleistocene mammals and marine shells from the coastal plain of Rio Grande do Sul state, southern Brazil. **Quaternary International**, v. 352, p. 124-134, 2014b.

DOI:10.1016/j.quaint.2013.07.020

LOPES, R. P.; FERIGOLO, J. Post mortem modifications (pseudopaleopathologies) in Middle-Late Pleistocene mammal fossils from southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 18, p. 285-306, 2015. DOI:10.4072/rbp.2015.2.09

LÓPEZ, P.; CARTAJENA, I.; CARABIAS, D.; MORALES, C.; LETELIER, D.; FLORES, V. Terrestrial and maritime taphonomy: differential effects on spatial distribution of a Late Pleistocene continental drowned faunal bone assemblage from the Pacific coast of Chile. **Archaeol. Anthropol. Sci.**, v. 8, p. 277-290, 2016.

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J.; MELO, E.; KLEIN, A. H. F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 105-114, 2010.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; EICHLER, B. B. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental Sul-Brasileira e Uruguaia. In: XXI Congresso Brasileiro de Geologia, 21., 1967, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 1967. p. 29-43.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, I. R. Late Quaternary processes along the Rio Grande do Sul continental shelf (southern Brazil). **Notas Técnicas**, v. 9, p. 62-68, 1996.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; MARTINS, I. R. Modelos deposicionais marinhos e recursos minerais associados. **Gravel**, v. 1, p. 106-130, 2003.

MARTINS, L. R. Relações texturais das areias da zona costeira do Rio Grande do Sul. **Gravel**, v. 4, p. 63-72, 2006.

MOTTA, V. F. **Relatório-Diagnóstico sobre a melhoria e aprofundamento do acesso pela Barra de Rio Grande ao DEPREC**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 1969. 144p.

MOTTA, L. M.; TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NUNES, J. C. Sandy sediment budget of the midcoast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Marine Research**, v. 73, p. 49-69, 2015.

NICOLAU, J. V. S. **Testudines pleistocênicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2018. 45p.

NORDSTROM, K. F.; JACKSON, N. L. Distribution of surface pebbles with changes in wave energy on a sandy estuarine beach. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 63, n. 6, p. 1152-1159, 1993.

PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 53-70, 2010.

PIMENTA, F. M. **Caracterização dos regimes de refração de onda ao longo da zona costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 1999. 71p.

ROSA, M. L. C. C.; BARBOZA, E. G.; ABREU, V. S.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, n. 2, p. 183-207, 2017. DOI:10.1590/2317-4889201720160138

SIEGLE, E.; CALLIARI, L. J. High energy events and short-term changes in superficial beach sediments. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 56, p. 149-152, 2008.

SIEGLE, E. **Distribuição dos sedimentos litorâneos entre o Farol da Conceição e Farol do Chuí, RS, e fatores condicionantes**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade

Federal do Rio Grande, Rio Grande. 1996. 87p.

SOIBELZON, E.; GASPARINI, G. M.; ZURITA, A. E.; SOIBELZON, L. H. Análisis faunístico de vertebrados de las toscas del Río de La Plata (Buenos Aires, Argentina): un yacimiento paleontológico en desaparición. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales**, v. 10, n. 2, p. 291-308, 2008.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Bathymetric lenses and localized coastal erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 34, p. 209-215, 2001.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In: MUEHE, D. (Ed.). **Erosão e progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 446-454.

SPROVIERI, F.; TOLDO, E. E. 2016. Reconstruction and analysis of wave climate in southern Brazil. In: Brazilian Symposium on Ocean Waves, 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2016.

STRAUCH, J. C.; CUCHIARA, D. C.; TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B. O padrão das ondas de verão e outono no litoral sul e norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, p. 29-37, 2009.

TOLDO, E. E.; DILLENBURG, S. R.; ALMEIDA, L. E. S. B.; MARTINS, R. R.; CUNHA, L. O. B. P. Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 27-32, 1993.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Considerações sobre o ambiente praias e deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.; DILLENBURG, S. R.; BACHI, F. A.; DEHNHARDT, B. A. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 221-229, 1998.

TOZZI, H. A. M.; CALLIARI, L. J. Influências das tempestades extratropicais sobre o estoque de sedimentos das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. In: X Semana Nacional de Oceanografia, 10., 1997, Itajaí. **Anais...** Itajaí: 1997. p. 85-87.

TOZZI, H. A. M.; CALLIARI, L. J. Morfodinâmica da praia do Cassino, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 27, n. 1, p. 29-42, 2000.

VARA, S. S. **Análise numérica da propagação de ondas na costa do Rio Grande do Sul entre Arroio Chuí e Sarita**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Curso de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2012. 190p.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 8, p. 1-45, 1995.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.

CAPÍTULO 3

Artigo Científico “**A morfologia da antepraia (*shoreface*) e plataforma continental controlando a distribuição de bioclastos fósseis nas praias arenosas do RS**”, submetido à **Revista Brasileira de Geomorfologia**.

A MORFOLOGIA DA ANTEPRAIA (*SHOREFACE*) E PLATAFORMA CONTINENTAL CONTROLANDO A DISTRIBUIÇÃO DE BIOCLASTOS FÓSSEIS NAS PRAIAS ARENOSAS DO RS

Erick Antal Cruz; Francisco Sekiguchi Buchmann; Sérgio Rebello Dillenburg; Volney Junior Borges de Bitencourt e Felipe Caron

RESUMO

Entre 2008 e 2015 foram realizadas coletas de bioclastos fósseis no ambiente praias entre o Litoral Médio e Sul do RS. Os objetivos foram: analisar, descrever e interpretar a correlação existente entre os parciais e depressões morfológicas, presentes na antepraia, com a presença de bioclastos fósseis nas praias. Os resultados mostraram que os bioclastos fósseis estão concentrados nas praias localizadas ao sul das projeções costeiras. A concentração se deve a alguns fatores que atuam em conjunto: 1- a porção sul das projeções costeiras está sob a influência de maior altura/energia de ondas; 2- estão submetidas à erosão de longo prazo, possuindo grandes taxas de transgressão da linha de costa; 3- são influenciadas por eventos extremos de sobre-elevação do nível do mar; 4- estão sob a influência da convergência de ondas, devido a feições morfológicas presentes na antepraia e plataforma continental, as quais representam as áreas-fonte dos bioclastos fósseis. Concluiu-se que a distribuição atual dos bioclastos fósseis reflete a distribuição pretérita das espécies vivas em seus ambientes naturais e as condições ambientais de preservação e fossilização *post mortem*, evidenciado, principalmente, pelas depressões morfológicas presentes na antepraia e plataforma continental.

Palavras-chave: Morfodinâmica, Erosão Costeira, Morfologia da Antepraia, Arenitos de Praia

ABSTRACT

Between 2008 and 2015, fossil bioclasts samplings were carried out in the beaches of the Middle and South Littoral of RS. The objectives of this study were to analyze, describe and interpret the correlation between the shoals and depressions, present

on the shoreface, with the presence of fossil bioclasts on the beaches. The results showed that fossil bioclasts are concentrated on the beaches located south of the coastal projections. The concentration is due to some factors that work together: 1- the south portion of the coastal projections is under the influence of higher wave height/energy; 2- they are subject to long-term erosion, with higher rates of coastline transgression; 3- are influenced by extreme events of sea level rise; 4- are under the influence of wave convergence, due to morphologic features present on the shoreface and continental shelf, which represent the source-areas of fossil bioclasts. It is concluded that the current distribution of fossil bioclasts reflects the past distribution of the living species in their natural environments and the environmental conditions of post mortem preservation and fossilization, evidenced mainly by the morphologic depressions present on the shoreface and continental shelf.

Key-words: Morphodynamics, Coastal Erosion, Shoreface Morphology, Beachrocks

3.1. Introdução

Durante os períodos glaciais do Quaternário, grandes áreas das plataformas continentais em todo o mundo foram expostas e ocupadas por ambientes terrestres, devido à regressão marinha. Nos períodos interglaciais, como na transição Pleistoceno tardio/Holoceno estas áreas foram inundadas e retrabalhadas pela subida do nível do mar (BUCHMANN, 1994a; LOPES; BUCHMANN, 2010; LOPES et al., 2010).

Após várias oscilações de natureza glacio-eustática do nível do mar, ocorridas durante o Quaternário Médio e Tardio, os elementos esqueletais de vertebrados pleistocênicos, preservados em paleocanais fluviais e paleolagoas continentais, foram erodidos e retrabalhados, bem como os elementos de vertebrados e invertebrados marinhos. Atualmente, esses elementos estão sendo concentrados na antepraia e são transportados por ondas e correntes para as praias ao longo da costa (BUCHMANN, 1994b, 2002; BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003; LOPES et al., 2001; LOPES; BUCHMANN, 2010).

Entre 2008 e 2015 foram realizadas coletas de bioclastos fósseis no ambiente praias modernas de um trecho de aproximadamente 400 km, entre o Litoral Médio e

Sul do Rio Grande do Sul. Após várias coletas em cada estação de monitoramento, foram observados padrões na concentração e distribuição dos bioclastos fósseis (CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016). Tais padrões devem ter múltiplas causas oceanográficas e geológicas, bem como as relacionadas às áreas-fonte dos bioclastos fósseis, que se encontram na antepraia desses locais.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivos a análise, descrição e interpretação da correlação existente entre os parciais e depressões morfológicas, presentes na antepraia, com a presença de bioclastos fósseis nas praias do Litoral Médio e Sul da Planície Costeira do Rio Grande do sul.

3.2. Área De Estudo

3.2.1. Planície Costeira do Rio Grande do Sul

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) possui 620 km de extensão (longitudinal) e se caracteriza por apresentar um conjunto de barreiras costeiras orientadas a NE-SW.

Entre o Neógeno e o Quaternário, a morfologia da PCRS foi afetada por oscilações glacio-eustáticas do nível do mar, o que levou à formação de dois grandes sistemas deposicionais: o Sistema de Leques Aluviais, ativos principalmente nos períodos de mar baixo, e o Sistema Laguna-Barreira, cujos registros se formaram durante os níveis de mar alto, associados aos estágios isotópicos marinhos 9, 7e, 5e e 1 (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; LOPES et al. 2014, ROSA et al. 2017). Ou seja, o Sistema Laguna-Barreira está representado por quatro sistemas, três deles com idades pleistocênicas e um com idade holocênica. Cada um deles formado no clímax de transgressões marinhas, correlacionadas aos episódios interglaciais ocorridos durante o Pleistoceno Superior-Holoceno.

A área de estudo está localizada dentro do Litoral Médio e Litoral Sul da Barreira holocênica no estado do Rio Grande do Sul, compreendendo aproximadamente 500 km de extensão do sistema praia-duna frontal da Barreira. A porção do Litoral Médio, aqui estudada, apresenta aproximadamente 250 km de extensão, e situa-se dentro da área compreendida entre Mostardas e a

desembocadura da Laguna dos Patos. O Litoral Sul, com aproximadamente 250 km de extensão, situa-se entre a desembocadura da Laguna dos Patos e o Arroio Chuí. As estações de coleta dentro dos trechos costeiros estudados estão listadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 1.

Tanto o Litoral Médio quanto o Sul têm características geológicas semelhantes. Estão situados nas grandes projeções convexas da atual linha de costa e, portanto, sob a influência de maior altura/energia das ondas, devido à exposição de um maior ângulo de incidência das ondas (LIMA; ALMEIDA; TOLDO, 2001; MARTINHO, 2008; CECILIO; DILLENBURG, 2019). Além disso, o comportamento da Barreira holocênica é classificado como transgressivo (empilhamento retrogradacional), em ambos os Litorais, devido a um processo erosivo de longo prazo, forçado pelo déficit local de aporte de sedimentos (DILLENBURG et al., 2000, 2009, 2020; CARON et al., 2007, 2011; LIMA et al., 2013).

Tabela 1. Estações de coleta usadas para amostragem dos bioclastos fósseis no Litoral Médio e Sul da PCRS.

Estação de Coleta	Local	Coordenadas UTM
C1	Mostardas 1	22J 512479E e 6546465S
C2	Farol Mostardas	22J 509443E e 6543179S
C3	Mostardas 2	22J 500972E e 6534949S
C4	Barra Lagoa do Peixe	22J 496006E e 6530693S
C5	Farol Conceição	22J 454376E e 6489381S
C6	Conceição 1	22J 453584E e 6488824S
C7	Barra Estreito	22J 431326E e 6475125S
C8	Farol Estreito	22J 427220E e 6472467S
C9	Estreito 1	22J 426030E e 6471650S
S1	Farol Sarita	22H 366327E e 6388778S
S2	10km ao sul Farol Sarita	22H 364913E e 6377747S
S3	Farol Verga	22H 354514E e 6350271S
S4	10km ao sul Farol Verga	22H 349456E e 6338028S
S5	Farol Albardão	22H 341310E e 6324730S
S6	10km ao sul Farol Albardão	22H 332168E e 6313507S
S7	Concheiros Co1	22H 315411E e 6297004S
S8	Concheiros Co5	22H 311127E e 6292748S
S9	Concheiros Co6	22H 309540E e 6291192S
S10	Concheiros Co9	22H 305153E e 6286830S
S11	Concheiros Co12	22H 302026E e 6283509S
S12	Hermenegildo	22H 285160E e 6268095S

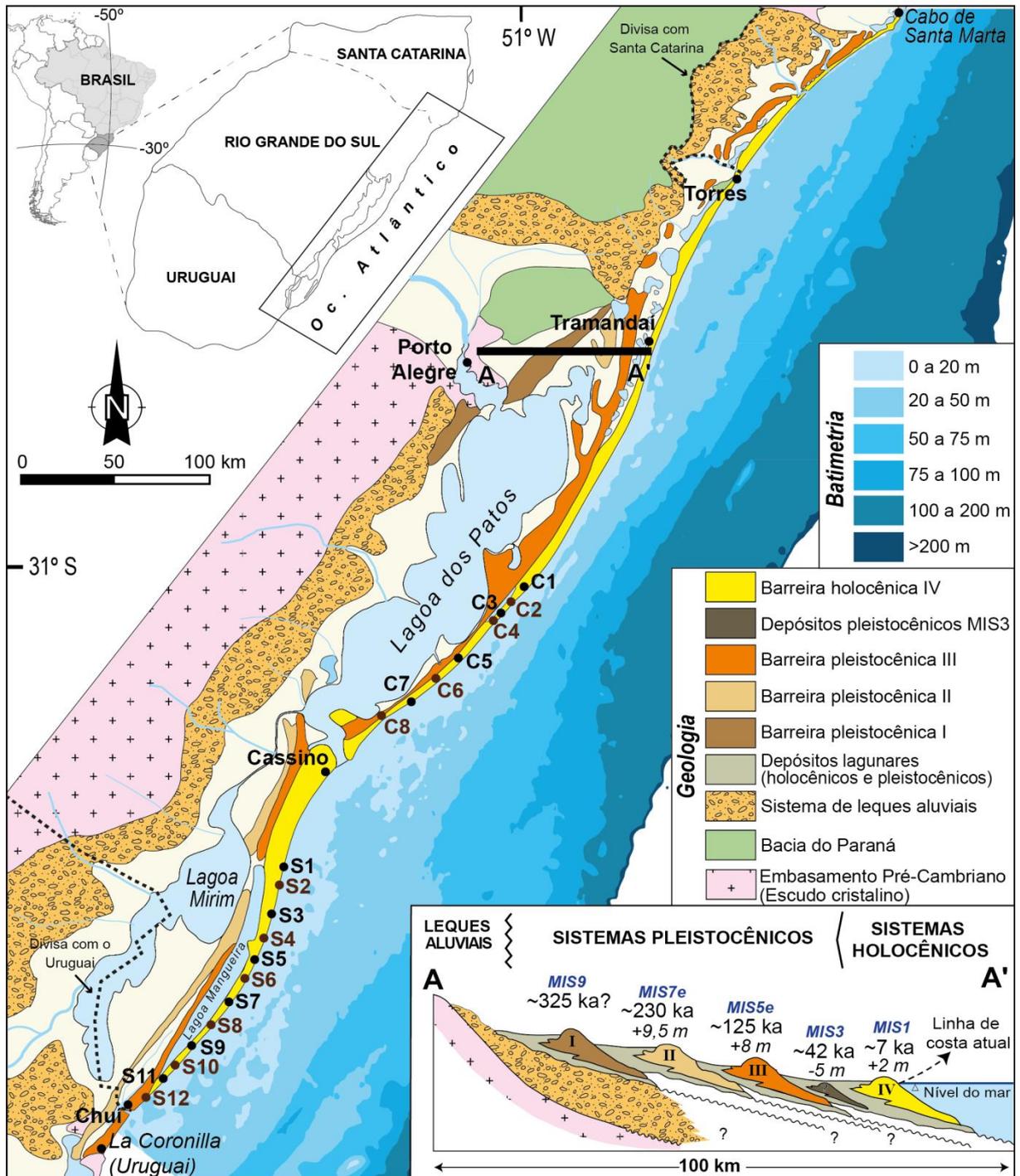


Figura 11. Geologia e batimetria da margem continental do RS, mostrando a estações de coleta dos bioclastos fósseis. A inserção mostra a estratigrafia esquemática da seção transversal da PCRS, correspondente ao perfil A-A', situado entre Porto Alegre e Tramandaí, com destaque para os quatro sistemas laguna-barreira e seus respectivos estágios isotópicos marinhos (modificado de BITENCOURT; DILLENBURG, 2020; BITENCOURT et al., 2020a).

3.2.2. Características Oceanográficas e Meteorológicas

Conforme a classificação proposta por Wright e Short (1984), as praias do Rio Grande do Sul podem ser dissipativas, intermediárias e reflectivas, dependendo do gradiente do substrato da antepraia (*shoreface*) adjacente e a composição mecânica (granulometria) dos sedimentos praias.

Segundo Barletta (2000), as praias de Mostardas, do Farol da Conceição e do Estreito, no Litoral Médio do RS, apresentam características morfodinâmicas intermediárias. A praia de Mostardas (estações de coleta C1 a C4) apresenta dunas frontais altas, não escarpadas. A praia do Farol da Conceição (C5 e C6) é estreita, apresentando sistemas de dunas tipo “*hummock*” e dunas frontais escarpadas. Mesmo com o preenchimento de sedimentos durante o verão, a praia do Farol da Conceição apresenta uma alta retração (erosão) da linha de costa, evidenciada pelo afloramento de arenitos de praia e turfas nas zonas de estirâncio e pós-praia (BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003). A praia do Estreito (C7 a C9) apresenta um sistema de dunas tipo “*hummock*” e dunas frontais escarpadas, com pequena variação granulométrica na face praial. A zona de arrebentação é mais próxima da praia emersa.

A praia do Cassino, localizada no embaiamento costeiro, imediatamente ao sul da desembocadura da Laguna dos patos, apresenta características de praia dissipativa devido à presença de areia fina a muito fina, com lentes de sedimentos finos provenientes da Laguna dos Patos. Por ser uma praia dissipativa, a zona de surfe é larga com declividade suave, há elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia e extensa largura de praia (TOZZI; CALLIARI, 2000; GUEDES; CALLIARI; PEREIRA, 2009).

A praia dos Concheiros (S7 a S11) é caracterizada como uma zona de praia intermediária tendendo a refletiva, devido às variações granulométricas (areia média a grossa siliciclástica e cascalho bioclástico). A praia é íngreme, o que reduz sensivelmente a largura da zona de surfe. O estoque de areia se encontra na porção emersa da praia, na forma de bermas e escarpas (CALLIARI; KLEIN, 1993; CALLIARI et al., 2003).

As demais áreas, Farol Sarita (S1 e S2), Farol Verga (S3 e S4), Farol do Albardão (S5 e S6), Hermenegildo (S12) e Arroio Chuí, apresentam características

intermediárias (CALLIARI; KLEIN, 1993; CALLIARI et al., 2003).

Independentemente da característica morfodinâmica das praias do RS, ocorre um período de acresção, entre novembro e março, determinado principalmente por eventos de menor energia de onda (*swell*), e um perfil de erosão, entre abril e outubro, devido a regimes de onda de maior energia (*storm*) (FIGUEIREDO, 1975).

Segundo Cecílio e Dillenburg (2019), a altura média das ondas está entre 1,25 e 1,50 m e o clima de ondas tem predominância primária de SSE/SO, com pico de potência entre S/SSW gerado pelos ciclones e frentes frias. Secundariamente apresenta proveniência de ondas de ENE/E, geradas pelos ventos pós-frontais.

Durante as tempestades de outono e inverno (abril a julho), a altura das ondas pode exceder 2,0 m e o nível d'água pode subir até 1,3 m ao longo da costa (CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; BARLETTA; CALLIARI, 2001; MOTTA et al., 2015).

A costa do RS é classificada como dominada por ondas e, portanto, as marés astronômicas, semidiurnas de até 0,5 m, são insignificantes na dinâmica costeira da área de estudo, sendo as marés meteorológicas (sobre-elevações temporárias) mais importantes nas variações do nível d'água (ANDRADE; TOLDO; NUNES, 2018).

Dessa forma, a erosão, transporte e deposição de sedimentos siliciclásticos e bioclastos fósseis ao longo da costa são feitos por ondas e correntes geradas por ondas, que produzem uma deriva litorânea com resultante para Nordeste (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; TOLDO et al., 1993), com mudanças sazonais pontuais no sentido, ao longo do ano (MOTTA et al., 2015).

3.2.3. Plataforma Continental do Rio Grande do Sul

A atual morfologia da plataforma continental do RS é considerada uma herança geológica, pouco modificada, da topografia antecedente, e é relativamente larga (>100 km), rasa (<150 m) e com uma declividade que varia entre 0,03° e 0,08° (DILLENBURG et al., 2000). Essa morfologia é o resultado de vários episódios transgressivos e regressivos, gerados por mudanças glaciais e pós-glaciais do nível

do mar durante o Quaternário (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; CORRÊA et al., 1996).

Diferenças de inclinação da plataforma continental, ao longo da costa, geram gradientes de energia de onda e padrões de balanço de sedimento distintos, criando trechos alternados de erosão e acresção da linha de costa (DILLENBURG et al., 2009; MARTINHO; DILLENBURG; HESP, 2009; BITENCOURT et al., 2020a,b).

Embora o padrão de ondas ao longo da costa do RS seja semelhante, a ação das ondas é atenuada, em larga escala, em trechos onde a antepraia e a plataforma continental são menos inclinadas, e mais pontualmente por rochas e elevações sedimentares submersas, presentes na antepraia e na plataforma continental em alguns trechos costeiros, e, portanto, a potência das ondas é dissipada; enquanto que a inclinação mais íngreme da antepraia e plataforma continental, adjacente a outros trechos costeiros, aumenta a potência das ondas (CECILIO; DILLENBURG, 2019).

Segundo Pimenta (1999) a plataforma do RS pode ser dividida em diferentes porções de acordo com as distintas características da morfologia de fundo. As porções homogêneas apresentam morfologia suave e sem irregularidades morfológicas significativas, sendo caracterizadas por isóbatas (isolinhas de profundidade) paralelas entre si e alinhadas à costa. As porções heterogêneas, sendo caracterizadas pela marcante presença de grandes bancos arenosos lineares (*sand ridges*), afloramentos rochosos de arenitos de praia (*beachrocks*) e coquinas, e grandes depressões morfológicas (Figs. 2 e 3).

Os bancos arenosos lineares são formados por areias quartzosas, apresentando material bioclástico nas partes superiores dos bancos e carapaças carbonáticas nas cavas (PIMENTA, 1999). Encontram-se distribuídos dentro de uma profundidade de 8 a 30 metros, possuindo orientação NE-SW, e variam de cerca de 1 a 10 metros de altura, podendo atingir algumas dezenas de quilômetros de extensão (FIGUEIREDO, 1975; KOWSMANN; COSTA, 1979; CORRÊA, 1990, 1994; CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2003; BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN, 2002; CORRÊA; WESCHENFELDER; NUNES, 2017).

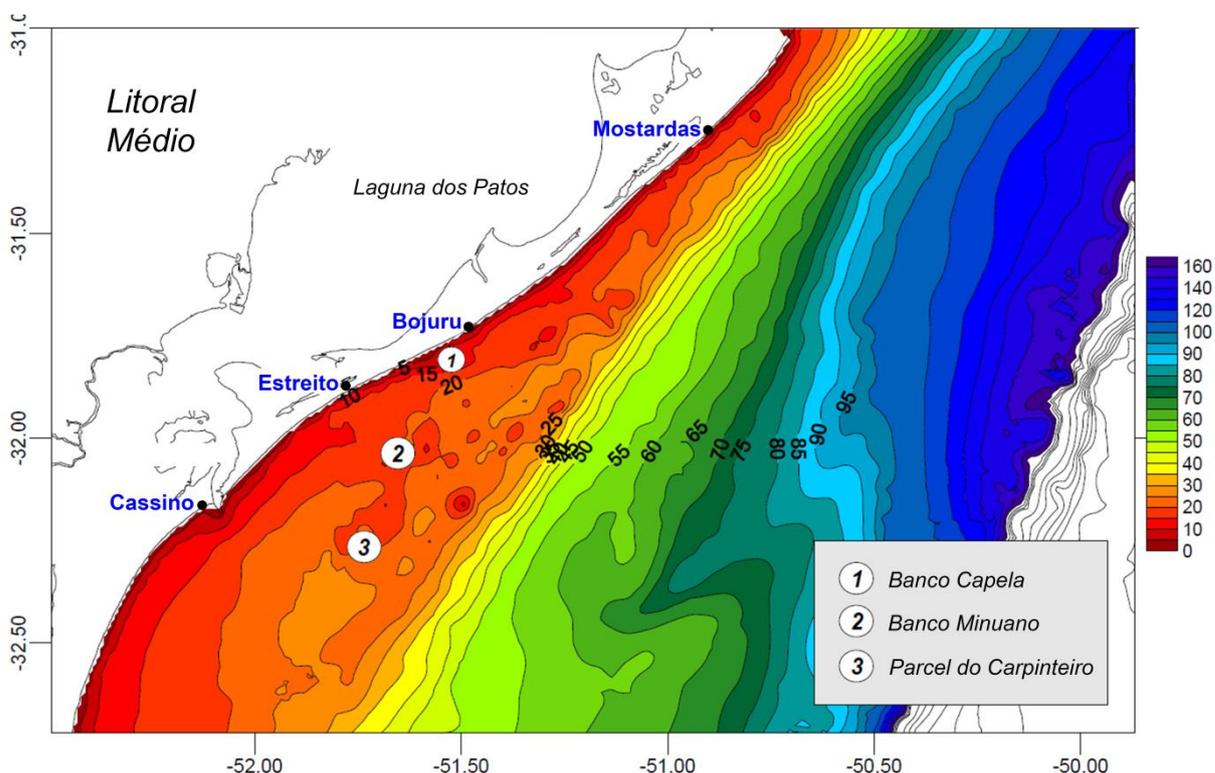


Figura 12. Batimetria da antepraia (*shoreface*) e plataforma continental do Litoral Médio do Rio Grande do Sul, evidenciando a presença de altos batimétricos inconsolidados (bancos arenosos), altos batimétricos consolidados (arenitos de praia e coquinas) e depressões (escala colorida em metros; modificado de PIMENTA, 1999).

As diferenças morfológicas das diferentes porções da plataforma continental promovem o acúmulo de material bioclástico em feições morfológicas (FIGUEIREDO, 1975; CORRÊA; PONZI, 1978; CORRÊA, 1983; MARTINS et al., 1996; ASP et al., 1998; CALLIARI; CORRÊA; ASP, 1999; MARTINS; URIEN; MARTINS, 2003; CORRÊA, 2010), principalmente em torno de parcéis, bem como promovem alterações locais (pequena escala espacial) na energia de ondas (CALLIARI et al., 1994; CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; CALLIARI; TOZZI; KLEIN, 1998; PIMENTA, 1999; SPERANSKI; CALLIARI, 2001, 2006; VARA, 2012), concentrando ou divergindo os raios de onda, e assim modificando o transporte sedimentar litorâneo (NORDSTROM; JACKSON, 1993).

A morfologia atual da plataforma continental do Litoral Sul do RS (Fig. 3) pode ser definida como uma superfície "*palimpsest*", onde as feições relíquias têm sido parcialmente modificadas pela hidrodinâmica atual (FIGUEIREDO, 1975).

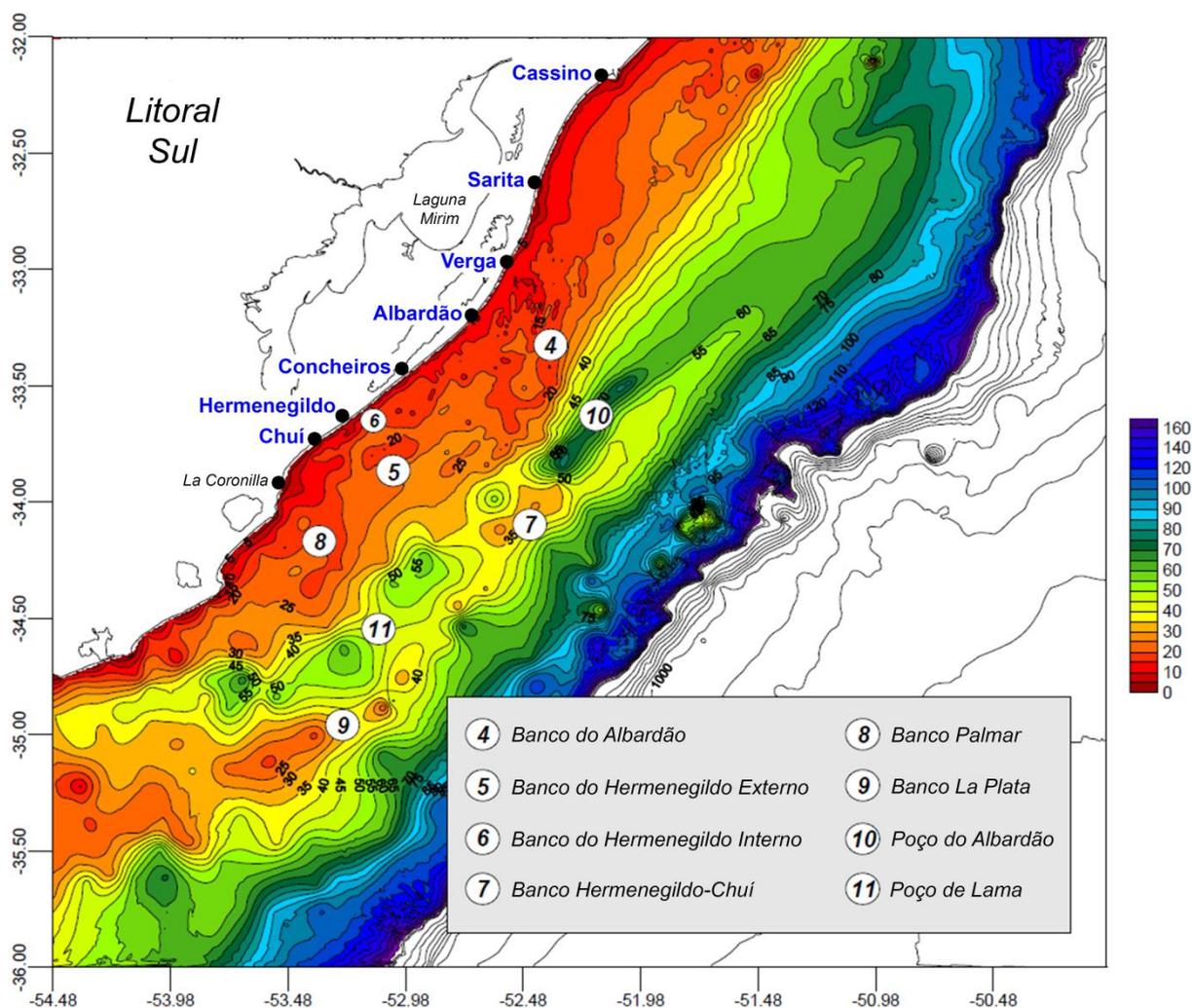


Figura 13. Batimetria da antepraia (*shoreface*) e plataforma continental do Litoral Sul do Rio Grande do Sul, evidenciando a presença de altos batimétricos inconsolidados (bancos arenosos), altos batimétricos consolidados (arenitos de praia e coquinas) e depressões (escala colorida em metros; modificado de PIMENTA, 1999).

3.2.4. Arenitos de praia da antepraia e plataforma continental do RS

Os arenitos de praia são depósitos sedimentares praias rapidamente cimentados, principalmente pela precipitação de cimentos carbonáticos (HOPLEY, 1986; VOUSDOUKAS; VELEGRAKIS; PLOMARITIS, 2007; DANJO; KAWASAKI, 2013).

Os arenitos de praia, atualmente submersos na antepraia e plataforma continental, são registros de estabilizações do nível do mar. Juntamente com os arenitos são encontradas coquinas fortemente cimentadas, contendo fósseis de vertebrados terrestres e marinhos, bem como moluscos marinhos pouco

fragmentados e arredondados, frequentemente recristalizados por calcita microespática e espática (DELANEY, 1965; CALLIARI; ABREU, 1984; CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003).

Diversos autores estudaram evidências dessas estabilizações na antepraia e plataforma continental do RS (e.g. MARTINS; URIEN; EICHLER, 1967; MARTINS et al., 1972; FIGUEIREDO, 1975; KOWSMANN; COSTA; VICALVI, 1977; CORRÊA, 1990, 1996; CORRÊA et al., 1992, 1996; CORRÊA; WESCHENFELDER; NUNES, 2017; CALLIARI et al., 1994; DILLENBURG, 1996; ASP, 1999; BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2003; BUCHMANN et al., 2001).

Delaney (1965) correlacionou a ocorrência de cascalho bioclástico e arenitos de praia na plataforma continental às antigas linhas de costa. As linhas de arenitos seriam atribuídas a formação, a partir do final do Último Máximo Glacial (UMG), há cerca de 20-18 ka, quando teve início a Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP).

Buchmann (1994a,b e 1996) comprovou essa relação a partir da identificação de fósseis de animais marinhos e continentais associados ao material bioclástico e aos arenitos de praia, tanto na antepraia e plataforma continental, quanto depositado nas praias de determinados locais da costa do RS.

Buchmann e Tomazelli (1999 e 2003) dividiram os altos batimétricos, presentes ao longo da antepraia e plataforma continental interna do RS, em três categorias: ativos, intermediários ou passivos. Alguns deles estão identificados nas Figuras 2 e 3.

Ativos - Estão diretamente submetidos à ação das ondas, situados na porção superior da antepraia. Apresentam sua superfície desprovida de organismos incrustantes, indicando exposição recente do substrato e/ou alta dinâmica de sedimentos. Localizam-se geralmente próximos às isóbatas de 7 a 9 m (Parcel do Hermenegildo, Banco do Albardão, Banco Capela). Na atual linha de praia, adjacentes a esses afloramentos, são encontrados fósseis de animais marinhos e terrestres, relacionados às oscilações glacio-eustáticas durante o Pleistoceno.

Intermediários - Situam-se numa zona de transição, na porção inferior da

antepraia, onde ondas de tempestades altamente energéticas atuam sobre o substrato de fundo. A baixa dinâmica favorece a colonização do substrato por uma fauna típica de substratos rochosos. Localizam-se nas isóbatas entre 14 e 17 m (Parcel do Carpinteiro, Banco Minuano, Parcel da Lagoa do Peixe, Parcel de Mostardas), e entre 23 e 32 m (Parcel da Berta e depósitos associados ao Banco do Albardão).

Passivos - São feições relíquias que foram retrabalhadas, durante a Última Grande Transgressão (UGT), e que não são retrabalhadas atualmente; possuem pouca ou nenhuma ação das ondas sobre o substrato de fundo. Localizam-se a partir do final da zona de transição, e adentram na plataforma continental, sendo que existem registros da ocorrência de fósseis de mamíferos continentais entre 40 e 120 m de profundidade.

3.3. Materiais e Métodos

A fim de alcançar os objetivos propostos, foram utilizados dois tipos de dados: os bioclastos fósseis coletados e os perfis batimétricos da antepraia e plataforma continental disponíveis na literatura (e.g. FACHIN, 1998; PIMENTA, 1999; GOULART, 2010; VARA, 2012; CARON, 2014).

Os bioclastos fósseis aqui analisados foram coletados entre os anos de 2008 a 2015, abrangendo o estirâncio, pós-praia e as dunas frontais (sistema praia-duna frontal), ao longo do Litoral Médio e Sul da Barreira holocênica do RS, mais especificamente nas porções centro-sul das projeções costeiras da Barreira.

Estações de coletas foram estabelecidas (espaçadas aproximadamente por 10 km) e nomeadas, a fim de sistematizar a coleta dos bioclastos fósseis ao longo da costa (Figura 1).

Após as coletas, os bioclastos fósseis foram levados para laboratório, lavados, secados, medidos, fotografados e identificados, sempre que possível, de acordo com a estrutura óssea e o grupo taxonômico correspondente.

Posteriormente à identificação, eles foram separados em dois grupos de

bioclastos para qualificação do material: (1) fósseis identificáveis, representando estruturas ósseas e/ou táxons conhecidos; e (2) fósseis não-identificáveis, representando fragmentos ósseos.

Para a estimativa do tamanho dos bioclastos fósseis foram utilizadas as medidas de comprimento, largura e altura (X, Y, Z), obtidas através de um paquímetro digital, segundo Durr (1984). Os fósseis aqui figurados estão depositados no Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-PV).

3.4. Resultados

3.4.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos

Um total de 7.927 bioclastos fósseis foi coletado e representam uma mistura de fauna terrestre e marinha. A fauna terrestre se sobrepôs a fauna marinha em mais de 80%.

Os fósseis terrestres foram representados por restos esqueléticos de mamíferos terrestres extintos (megafauna) das ordens Edentata (Fig. 4), Notoungulata, Litopterna, Proboscidea, Artiodactyla, Perissodactyla, Carnivora e Rodentia. Os fósseis marinhos foram representados por restos esqueléticos de peixes ósseos e cartilagosos, cetáceos, tartarugas e aves semelhantes à fauna atual (BUCHMANN, 1994a, 2002; BUCHMANN; RINCÓN FILHO, 1997).

3.4.2. Aspectos tafonômicos e estruturais

Do total de 7.927 bioclastos fósseis, foram coletados 173 no Litoral Médio e 7.754 bioclastos no Litoral Sul. Em ambos os locais, os bioclastos fósseis fragmentados, arredondados pela abrasão na zona de arrebenção (85%), se sobrepuseram aos bioclastos fósseis inteiros, sem ou com pouco sinal de abrasão e fragmentação (15%).



Figura 14. Elementos esqueléticos acessórios representados por osteodermos de Cingulados. A: *Gliptodon* (MCN-PV 36.614); B: *Pamphatherium* (MCN-PV 36.615); C: *Propaopus* (MCN-PV 36.616); D: *Panochthus* (MCN-PV 36.617); E: *Holmesina* (MCN-PV 36.618). Escala = 5 cm.

Os dados de tamanho dos bioclastos mostram uma tendência unimodal no histograma de frequência simples, resultando em uma distribuição bem selecionada. Bioclastos de tamanhos entre 32-64 mm se sobrepuseram em mais de 50% as outras classes de tamanho (Fig. 5).

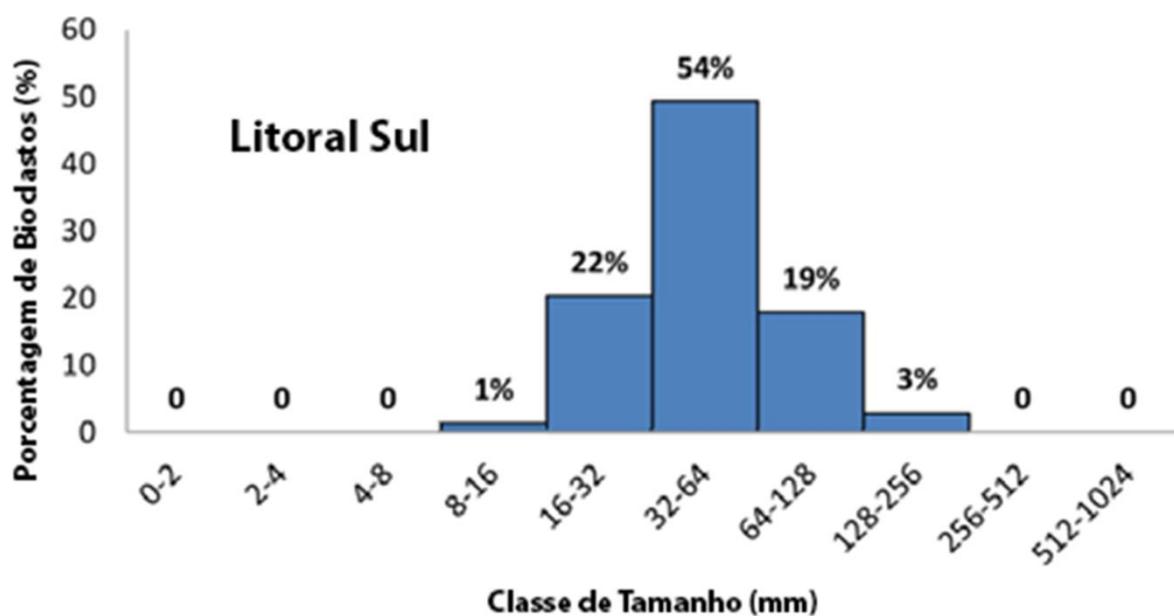
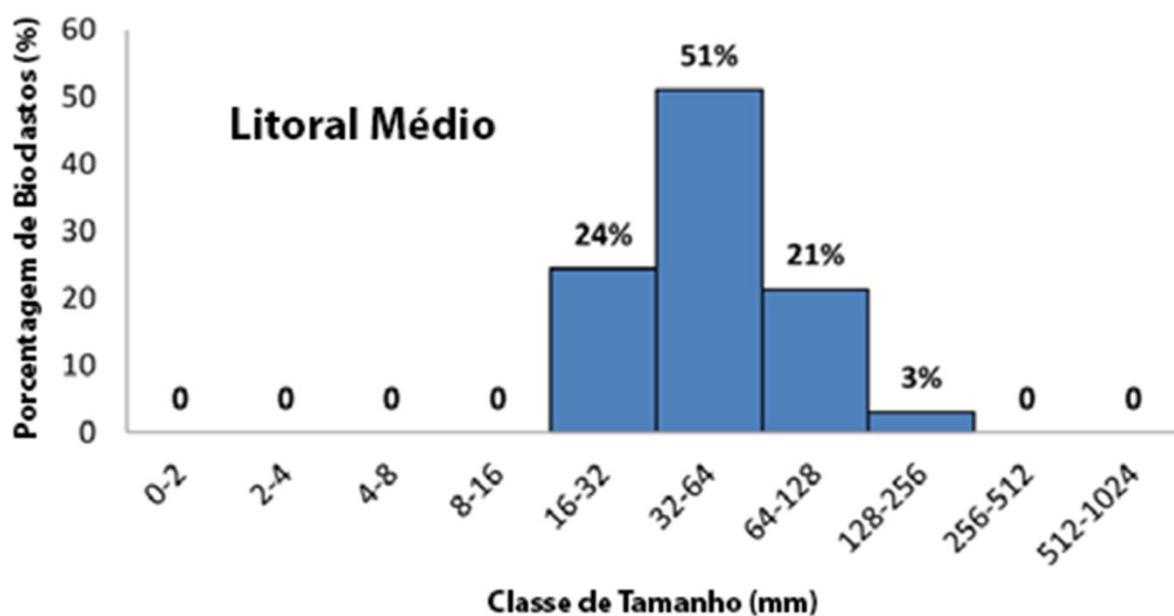


Figura 15. Classificação dos bioclastos por tamanho, mostrando a tendência unimodal entre 32-64 mm para ambos os locais.

3.4.3. Distribuição dos bioclastos fósseis

Os dados de bioclastos fósseis coletados indicaram suas maiores concentrações ocorrendo nas praias localizadas ao sul das grandes projeções costeiras da Barreira holocênica. A Figura 6 ilustra a quantidade de bioclastos fósseis em cada estação de coleta. No Litoral Médio, há maior concentração (> 70%) na praia do Estreito (estações de coleta C7, C8 e C9); e no Litoral Sul, há maior

concentração (> 90%) na praia dos Concheiros (estações de coleta S7 a S11).

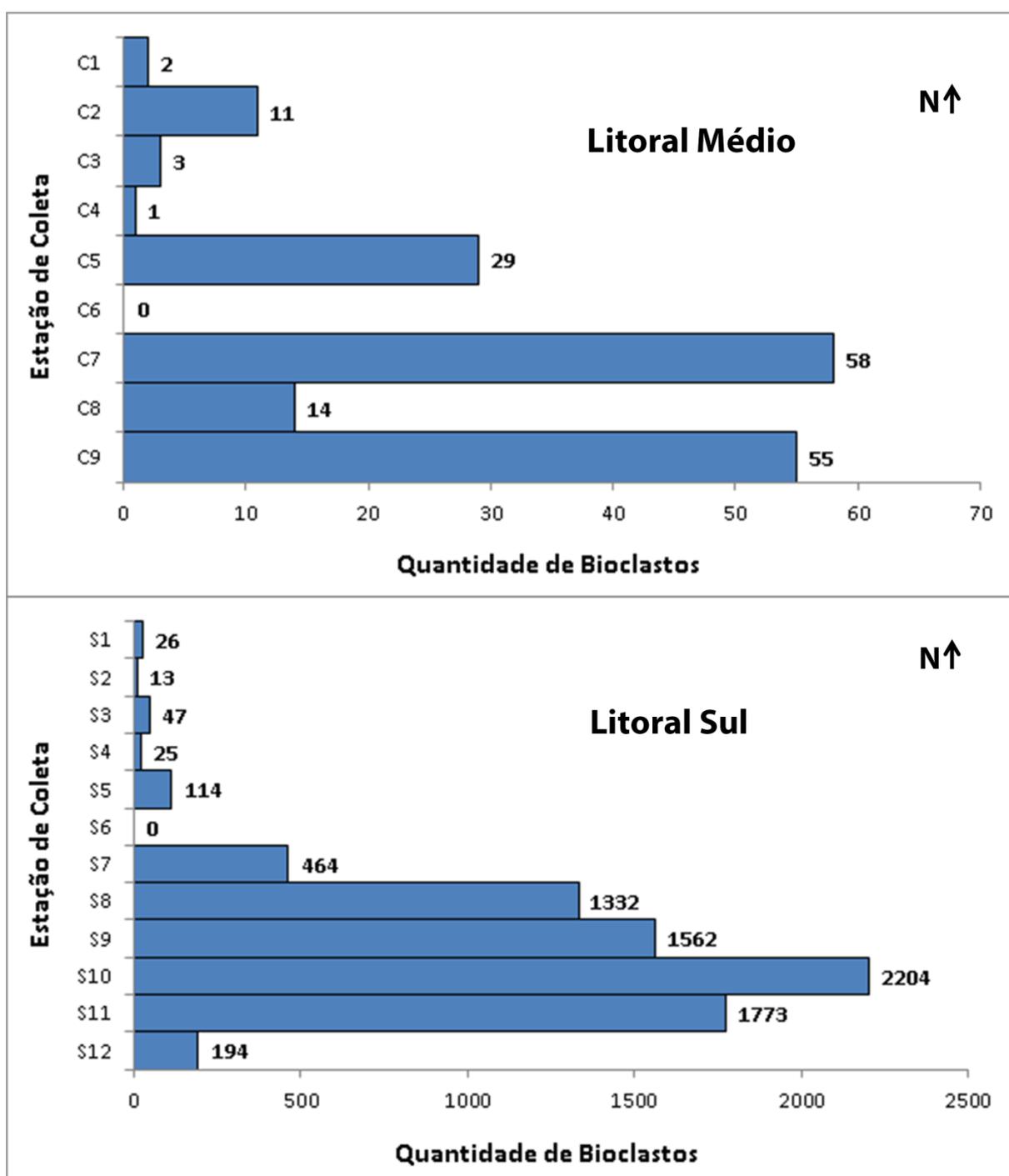


Figura 16. Quantidade de bioclastos fósseis em cada estação de coleta. As estações de coleta de ambos os locais estão alinhadas no sentido Norte-Sul e, portanto, as estações de coleta mais ao sul, de ambos os locais, possuem maior quantidade de bioclastos fósseis coletados.

3.5. Discussão

3.5.1. Grupos taxonômicos e elementos esqueléticos

A fauna terrestre se sobrepôs a fauna marinha em mais de 80%, provavelmente em função dos ambientes terrestres como, por exemplo, banhados, lagoas e rios, favorecerem melhores condições para a fossilização de vertebrados terrestres em comparação com os ambientes marinhos rasos, uma vez que os ambientes terrestres são menos energéticos e mais abrigados.

A mistura de fauna terrestre e marinha se deu devido às várias oscilações de natureza glacio-eustática do nível do mar, ocorridas durante o Quaternário Médio e Tardio. Os elementos esqueléticos de vertebrados pleistocênicos extintos, preservados em canais fluviais e lagoas continentais, foram erodidos e retrabalhados, bem como o foram os elementos de vertebrados marinhos. Atualmente, esses fósseis estão concentrados na antepraia e são transportados por ondas e correntes para as praias ao longo da costa (BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003; BUCHMANN, 2002; LOPES et al., 2001, 2010; LOPES; BUCHMANN, 2010; CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016).

3.5.2. Aspectos tafonômicos e estruturais

A maior quantidade de bioclastos fósseis fragmentados (85%), em comparação aos bioclastos fósseis inteiros (15%) (CRUZ; BUCHMANN, 2013; CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016), mostra que o grau de preservação deles é influenciado diretamente pelo grau de retrabalhamento da hidrodinâmica atual, principalmente por ondas (LOPES; BUCHMANN; CARON, 2008; LOPES; BUCHMANN, 2010; AIRES; LOPES, 2012).

A tendência unimodal de bioclastos fósseis de tamanhos entre 32-64 mm está relacionada ao limite de ação das ondas de tempestades sobre o fundo marinho e a facilidade de transporte pelas ondas deste intervalo granulométrico. Behrensmeier (1975) sustenta que elementos esqueléticos transportados por correntes de água são considerados partículas de sedimentos (clastos) e, portanto, fatores como peso, forma e densidade são responsáveis pela sua transportabilidade.

Dessa forma, a classe de tamanho entre 32-64 mm, que representa mais de 50% dos bioclastos fósseis, é transportada mais facilmente, sendo selecionada pela hidrodinâmica atual (CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016). Tamanhos maiores (superior a 128 mm) como, por exemplo, ossos longos são encontrados em menor quantidade, pois dificilmente são transportados (VOORHIES, 1969; FRISON; TODD, 1986; ARAÚJO et al., 2012; AIRES; LOPES, 2012).

3.5.3. Controles da distribuição dos bioclastos fósseis

Os bioclastos fósseis estão concentrados, em maiores quantidades, nas praias localizadas na porção sul de cada projeção costeira (Figs. 1 e 6). No Litoral Médio, na praia do Estreito (estações de coleta C7, C8 e C9), e no Litoral Sul, na praia dos Concheiros (estações de coleta S7 a S11). Isso se deve a alguns fatores apresentados a seguir, que explicam a presença dos bioclastos fósseis na antepraia, e a facilidade de erosão e transporte dos mesmos até as praias adjacentes.

(1) Orientação da linha de costa e ação das ondas

Segundo Dillenburg et al. (2009), as porções sul das projeções costeiras da Barreira holocênica estão sob a influência de maior altura/energia de ondas e, portanto, explicam a maior facilidade de erosão, transporte e deposição de bioclastos nas praias associadas às porções sul das projeções costeiras.

Além disso, tais praias estão expostas a um maior ângulo de incidência das ondas mais energéticas provenientes do quadrante Sul (LIMA; ALMEIDA; TOLDO, 2001; MARTINHO, 2008). Nordstrom e Jackson (1993) demonstraram que altas energias de ondas associadas a grandes alturas de ondas, transportam maiores quantidades de sedimentos (tanto tamanho areia quanto seixos) em direção à praia.

(2) Transgressão da linha de costa

Segundo Barletta (2000), a praia do Estreito (estações C7, C8 e C9) mostrou-se estável durante o período estudado (1996 a 1999), ocorrendo variação morfodinâmica sazonal e não sofrendo processos erosivos significativos. Isso explicaria a diferença da quantidade de bioclastos fósseis entre a praia do Estreito

(Litoral Médio) e dos Concheiros (Litoral Sul), com a praia do Estreito possuindo apenas 1,7% de bioclastos fósseis e a dos Concheiros 98,3%.

As praias do extremo sul da Barreira holocênica do RS estão submetidas à erosão de longo prazo, possuindo grandes taxas de retração da linha de costa (ESTEVES; TEIXEIRA; WILLIAMS, 2008; KOERNER, 2009; ALBUQUERQUE, 2013; LIMA et al., 2013; DILLENBURG et al., 2000, 2020).

A praia dos Concheiros (estações S7 a S11), entre os anos 1994 e 1996, apresentou uma grande remobilização e retrabalhamento dos bioclastos fósseis pelas ondas na zona de arrebentação, e deposição no pós-praia (BUCHMANN, 2002). Isso é evidenciado pelas grandes taxas de transgressão da linha de costa para o mesmo período, verificada na praia do Hermenegildo (estação S12), situada um pouco ao sul da estação Concheiros (ALBUQUERQUE, 2013) (Fig. 7). A Figura 7 ainda mostra outra transgressão da linha de costa no período 2005-2006.

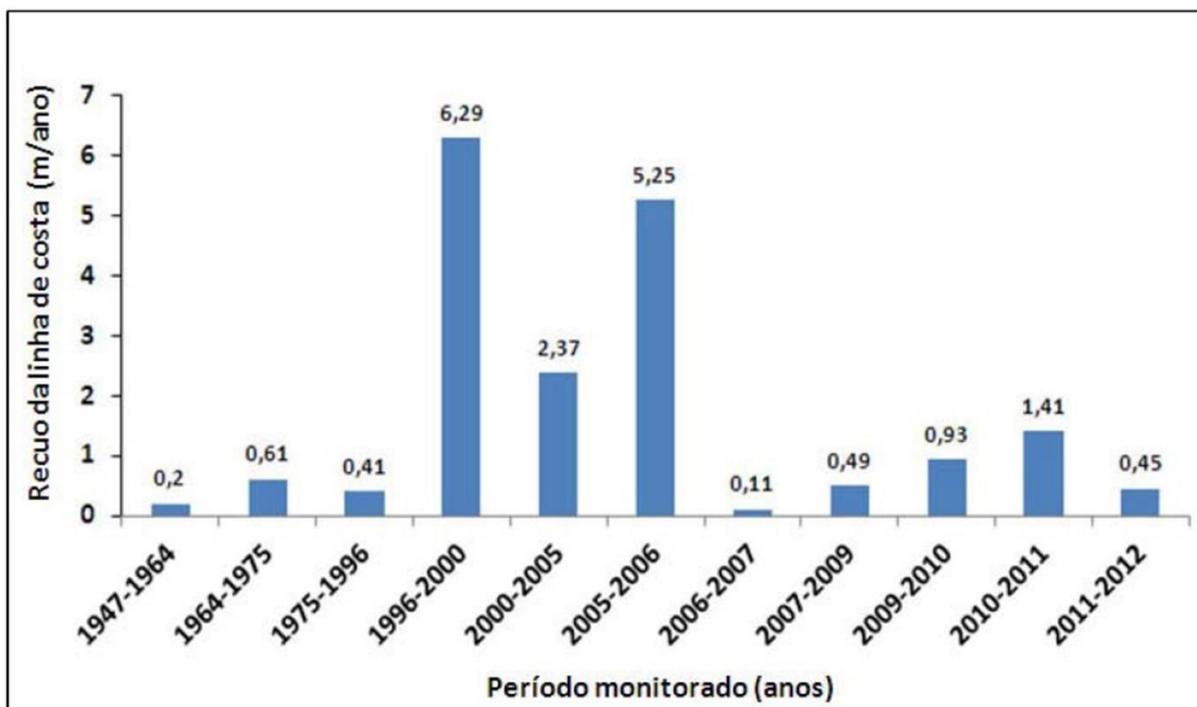


Figura 17. Taxas de transgressão da linha de costa para a praia do Hermenegildo (estação S12) entre os anos de 1947 e 2012 (ALBUQUERQUE, 2013).

Segundo Lima et al. (2013), o modelo evolutivo para Barreira holocênica no Hermenegildo (estação S12), mostra duas fases principais de erosão costeira

(transgressão da linha de costa): (1) de 17,5 ka até 6,7 ka (entre o final do Pleistoceno e o início do Holoceno), controlada pela subida do nível do mar; e (2) de 6,7 ka até os dias atuais, controlada pelo balanço sedimentar negativo. Esse balanço negativo é resultante de dois fatores principais: um maior fluxo de energia de ondas na zona de arrebatamento deste trecho costeiro, e a retenção da deriva litorânea imposta pelos promontórios rochosos da costa do Uruguai (DILLENBURG et al., 2000, 2020).

(3) Eventos extremos de sobre-elevação do nível do mar

Calliari, Tozzi e Klein (1998) descreveram dois eventos extremos que erodiram diversas praias da costa do RS, dentre elas as praias do Estreito e dos Concheiros.

Machado et al. (2010) estudaram 40 eventos extremos (> 6 metros de altura de onda) na costa do RS, ocorridos entre os anos de 1979 e 2008, os quais geraram erosão de 62,96 m³/m e 1,827 metros de elevação do nível do mar em alguns trechos da costa do RS. Dentre eles, dois eventos causaram erosão severa, um na praia do Estreito e outro na praia do Hermenegildo.

Em eventos extremos de alta energia, tanto a porção emersa da praia quanto a porção subaquosa da antepraia são erodidas. Como os bioclastos fósseis estão concentrados na antepraia, esses eventos permitem a erosão e transporte dos bioclastos da antepraia até as praias adjacentes.

(4) Morfologia da antepraia

Embora diversos fatores como, por exemplo, altura e energia das ondas, ângulo de incidência das ondas, correntes, eventos de elevação do nível do mar, etc., possam facilitar o acúmulo de bioclastos fósseis nas praias do Estreito (estações C7, C8 e C9) e dos Concheiros (estações S7 a S11), deve também ser fortemente considerada a área-fonte desses bioclastos, o que em muito explicaria o porquê desse acúmulo e atual distribuição dos bioclastos fósseis.

Se fatores como ângulo de incidência das ondas e erosão local fossem os

únicos motivos de acúmulo dos bioclastos, não deveriam existir grandes diferenças entre praias com características semelhantes (Estreito e Concheiros), o que não ocorre. Então, a morfologia da antepraia, onde estão localizadas as feições morfológicas e os depósitos de bioclastos fósseis associados, pode ter grande importância na distribuição e concentração dos mesmos (BUCHMANN et al., 2001).

Conforme acima referido, após várias oscilações de natureza glacio-eustática do nível do mar, ocorridas durante o Quaternário Médio e Tardio, os elementos esqueléticos de vertebrados pleistocênicos extintos, preservados em paleocanais fluviais e lagoas continentais, foram erodidos e retrabalhados, bem como os elementos de vertebrados e invertebrados marinhos.

Segundo Dillenburg (1994, 1996), durante a subida do nível do mar, os depósitos sedimentares de ambientes terrestres, em processo de submersão, podem ter sido erodidos em até 10 m de suas espessuras, resultando, assim, na exposição dessas paleolagoas, paleolagunas e paleocanais presentes na plataforma continental.

Atualmente, esses bioclastos fósseis estão concentrados na antepraia e são transportados por ondas e correntes para as praias de determinados locais da costa do RS (BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003; BUCHMANN, 2002; LOPES et al., 2001, 2010; LOPES; BUCHMANN, 2010).

A distribuição atual dos bioclastos fósseis, encontrados nas praias do Litoral Médio e Sul, refletem a distribuição pretérita de bioclastos fósseis na antiga planície costeira (atual plataforma continental). Muito provavelmente, a distribuição deles na plataforma continental deve corresponder, ao menos em parte, a distribuição pretérita das espécies vivas em seus ambientes naturais e as condições ambientais de preservação e fossilização *post mortem*, evidenciado, principalmente, pelas depressões morfológicas presentes na antepraia e plataforma continental, onde em nível de mar baixo, representavam lagoas, lagunas e canais fluviais.

A análise em larga escala espacial e temporal, permite concluir que a antepraia e plataforma continental vêm sendo fonte de bioclastos fósseis desde os últimos 7-6 ka, quando o nível do mar assumiu sua atual posição (desconsiderando

flutuações de 2-3 metros). Mais precisamente, é digno de nota que, com o rebaixamento geral do nível do mar de aproximadamente 2 metros, nos últimos 6-5 ka (DILLENBURG et al., 2017), e com o conseqüente rebaixamento do nível base de ação das ondas (também de aproximadamente 2-3 metros), foi produzida uma erosão de pelo menos 2 metros de espessura da antepraia e plataforma continental adjacente, aumentando assim a disponibilidade de bioclastos fósseis para transporte no sentido da praia, durante o intervalo de rebaixamento, até ser atingida uma situação de equilíbrio, quando então a quantidade de bioclastos fósseis disponíveis estabilizaria e até mesmo declinaria.

Portanto, a distribuição atual dos bioclastos fósseis, ao longo das praias da PCRS, parece realmente estar relacionada, de maneira importante, com a morfologia de fundo da antepraia adjacente a essas praias. Algumas dessas feições morfológicas presentes na antepraia, como os arenitos de praia, funcionam como foco estável, onde há convergência dos raios de onda, o que facilita o transporte e acúmulo dos bioclastos fósseis, contribuindo também para a erosão praias local. Outras feições morfológicas submersas causam a divergência ou espalhamento dos raios de onda, barrando parcialmente o transporte litorâneo (PIMENTA, 1999; SPERANSKI; CALLIARI, 2001, 2006; BARLETTA; FRANCO; MELO, 2008) e, portanto, também os bioclastos fósseis.

Existem, portanto, processos de convergência e dispersão de raios de onda operantes em escalas locais (pontuais), associados a feições morfológicas menores presentes na antepraia, e operantes em escalas regionais, associadas a variações na orientação da linha de costa (projeções e embaiamentos costeiros) (Figs. 8 e 9).

Destaca-se aqui que, em escala regional, assume grande importância a dissipação diferenciada, ao longo da costa, de energia de onda por atrito com o fundo, controlada por diferentes gradientes (inclinações) da plataforma continental (DILLENBURG et al., 2009). Estes controles, em escala regional, determinam condições de balanço negativo de sedimentos, em escala de longo período, para as porções sul das projeções costeiras da barreira holocênica, definindo seu comportamento como barreiras transgressivas (ou retrogradacionais) nos últimos 6-5 ka.

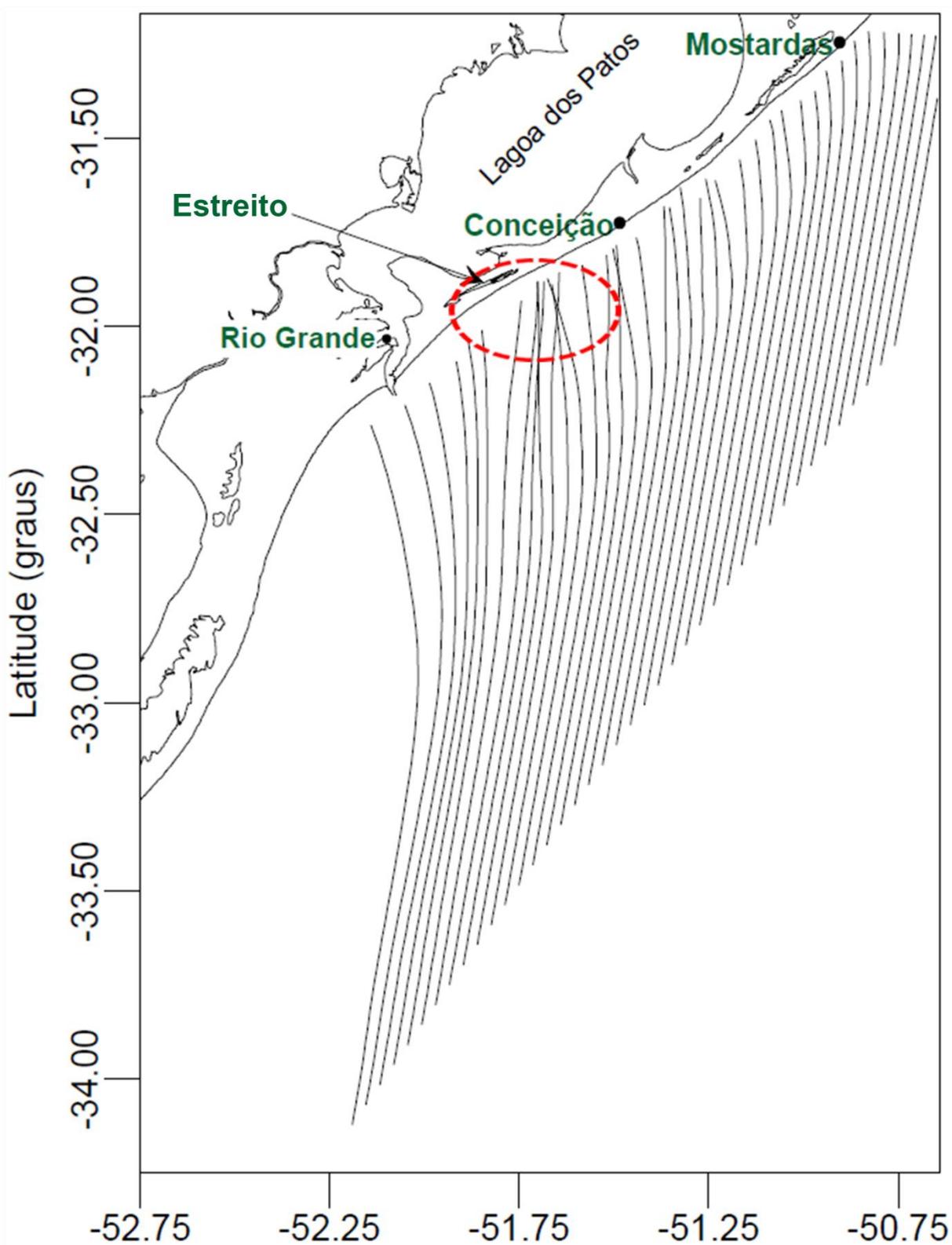


Figura 18. Diagramas de refração das ondas, onde há convergência dos raios de ondas, no trecho da praia do Estreito (estações C7 a C9). X: Longitude; Y: Latitude (modificado de PIMENTA, 1999).

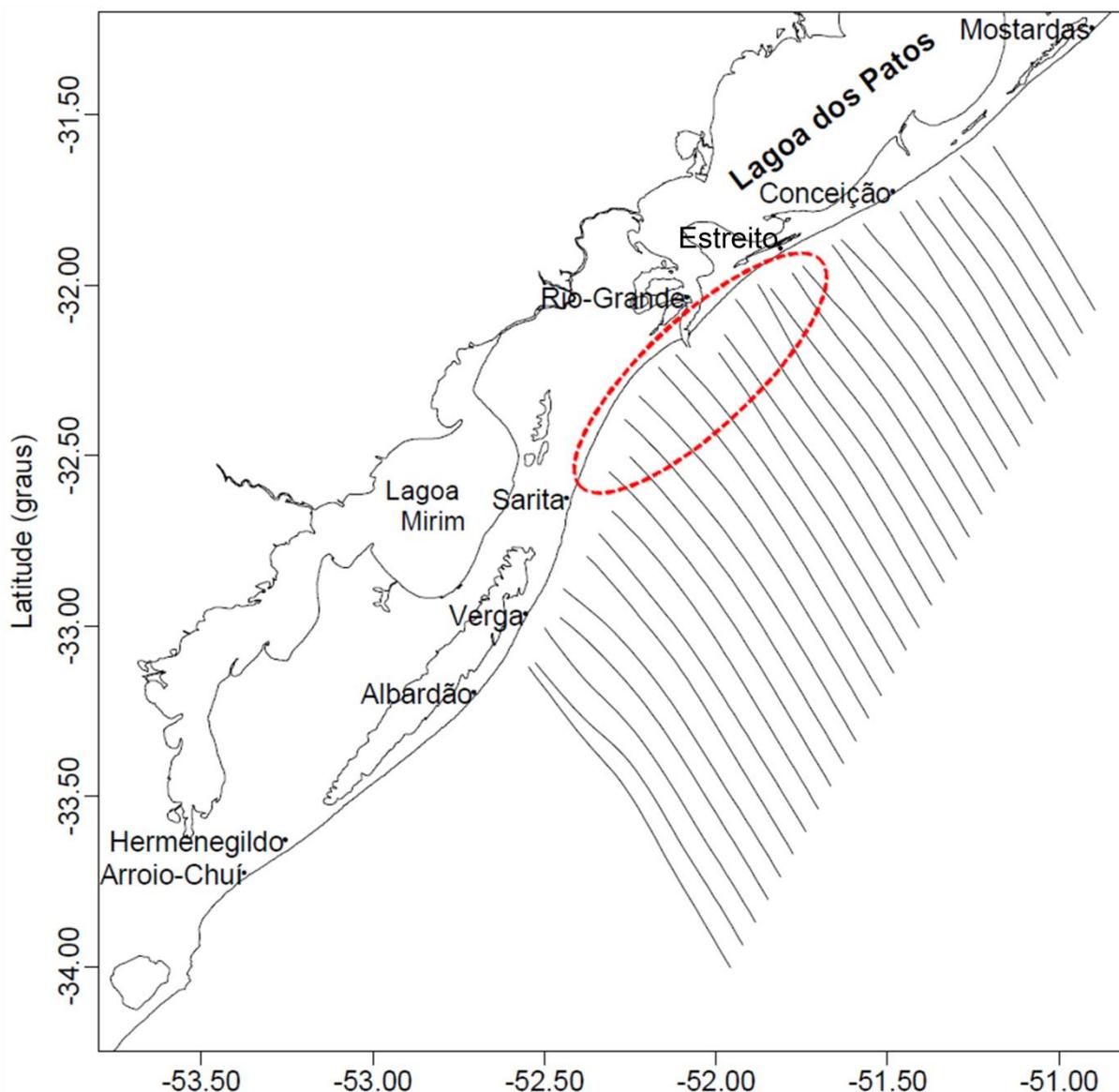


Figura 9. Diagramas de refração das ondas, onde há divergência dos raios de ondas, no trecho do grande embaiamento costeiro, entre a praia do Estreito (estações C7 a C9) e o Farol Sarita (estações S1 e S2). X: Longitude; Y: Latitude (Pimenta, 1999).

Litoral Médio

De acordo com o estudo de propagação e refração de ondas, feito por Pimenta (1999), a praia do Estreito (estações C7, C8 e C9) e Conceição (estações C5 e C6) apresentam a formação de foco de ondas, provenientes do quadrante Sul, devido à presença de três feições morfológicas submersas que atuam de maneira conjunta: o Parcel do Carpinteiro, o Banco Minuano (Fig. 2) e um banco situado a SE do Banco Minuano.

Assim, os sedimentos siliciclásticos e os bioclastos fósseis, presentes na antepraia adjacente a praia do Estreito, teriam o transporte facilitado, por essa concentração de energia, em direção à praia do Estreito, devido às ondas provenientes do quadrante Sul como mostra a Figura 8.

Segundo Lima, Almeida e Toldo (2001), as ondas provenientes do quadrante Sul equivalem a 9% do conjunto de dados de ondas e são responsáveis por mais de 30% do transporte litorâneo total da costa do RS.

Caron e Buchmann (2005), em um experimento com transporte de bioclastos (traçadores), identificaram que os bioclastos eram transportados da antepraia para a praia no sentido da deriva litorânea SW-NE, isto é, os bioclastos eram encontrados ao norte de sua posição de injeção na antepraia.

Segundo Goulart (2010), o Banco Capela (Fig. 2), presente na antepraia ao sul do Farol da Conceição (estações C5 e C6), no Litoral Médio, trata-se de uma feição ancorada por uma estrutura rígida, associada a alguma antiga linha de praia, provavelmente da Barreira IV ou III.

Buchmann et al. (1999, 2000) datou um arenito de praia no estirâncio, ao norte do Banco Capela, que apresentou idade (Termoluminescência) aproximada de 109 ka, vinculando-o à gênese do Sistema Laguna-Barreira III de Villwock et al. (1986). Parte dos sedimentos erodidos desta feição pré-holocênica foi transportada pelas ondas incidentes até as praias adjacentes, como fica evidenciado no conteúdo fóssilífero encontrado junto ao pós-praia (BUCHMANN, 2002).

O Parcel do Carpinteiro (Fig. 10) é um alto batimétrico, constituído por lajes de coquinas e arenitos de praia fortemente cimentadas por carbonato de cálcio recristalizado, interpretado como níveis de estabilização do mar durante o Pleistoceno Superior (BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003; BUCHMANN et al., 2001). Esta feição morfológica está localizada na antepraia entre a praia do Estreito e a desembocadura da Laguna dos Patos (Fig. 8) (BUCHMANN, 2002).

A presença de fósseis de organismos marinhos (tubarões e crustáceos) e

restos esqueléticos de mamíferos terrestres extintos (ordens Artiodactyla e Edentada), associados ao cascalho bioclástico, presente nas depressões entre os altos batimétricos do Parcel do Carpinteiro, indica o retrabalhamento de diversos depósitos sedimentares, provavelmente de diferentes idades (BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN, 2002).

O cascalho bioclástico é composto por conchas desarticuladas de moluscos bivalves, com coloração avermelhada e alto grau de fragmentação e arredondamento, indicando serem sedimentos palimpséticos, sugerindo o retrabalhamento destes na zona de arrebentação em condições de nível de mar mais baixo do que o atual (FIGUEIREDO, 1975; ASP et al., 1998; ASP, 1999).

Outras localidades da costa do RS apresentam condições, em sua maioria, de divergência dos raios de ondas, em feições morfológicas submersas de larga escala (regionais) como, por exemplo, Mostardas (estações C1 a C4), Sarita (S1 e S2), Verga (S3 e S4), Albardão (S5 e S6) (PIMENTA, 1999).

Assim, acredita-se que essas estações de coleta, que possuem menor quantidade de bioclastos fósseis, todas elas localizadas na porção central (ponto de inflexão da linha de costa) ou norte das projeções costeiras, estejam submetidas à divergência dos raios de ondas, com conseqüente menor energia de ondas, uma condição favorável a acreção costeira, a qual não favorece a erosão e transporte dos bioclastos da antepraia para a costa.

A acreção costeira, em escala de longo período (séculos e milênios) foi recentemente identificada na região da estação C1 (Mostardas) por Bitencourt et al. (2020b).

Litoral Sul

Fachin (1998) registrou perfis batimétricos da antepraia e plataforma continental interna do Litoral Médio e Sul do RS, e demonstrou que as menores declividades são encontradas entre os perfis de São José do Norte (ao sul do Farol Conceição) e Farol Sarita, trecho esse correspondente ao grande embaiamento costeiro da Barreira holocênica no RS (Fig. 9). Neste trecho, a morfologia é suave e

sem irregularidades morfológicas significativas (FACHIN, 1998), e apresenta condições de divergência dos raios de ondas (PIMENTA, 1999), favorecendo um comportamento deposicional em escala de longo período.

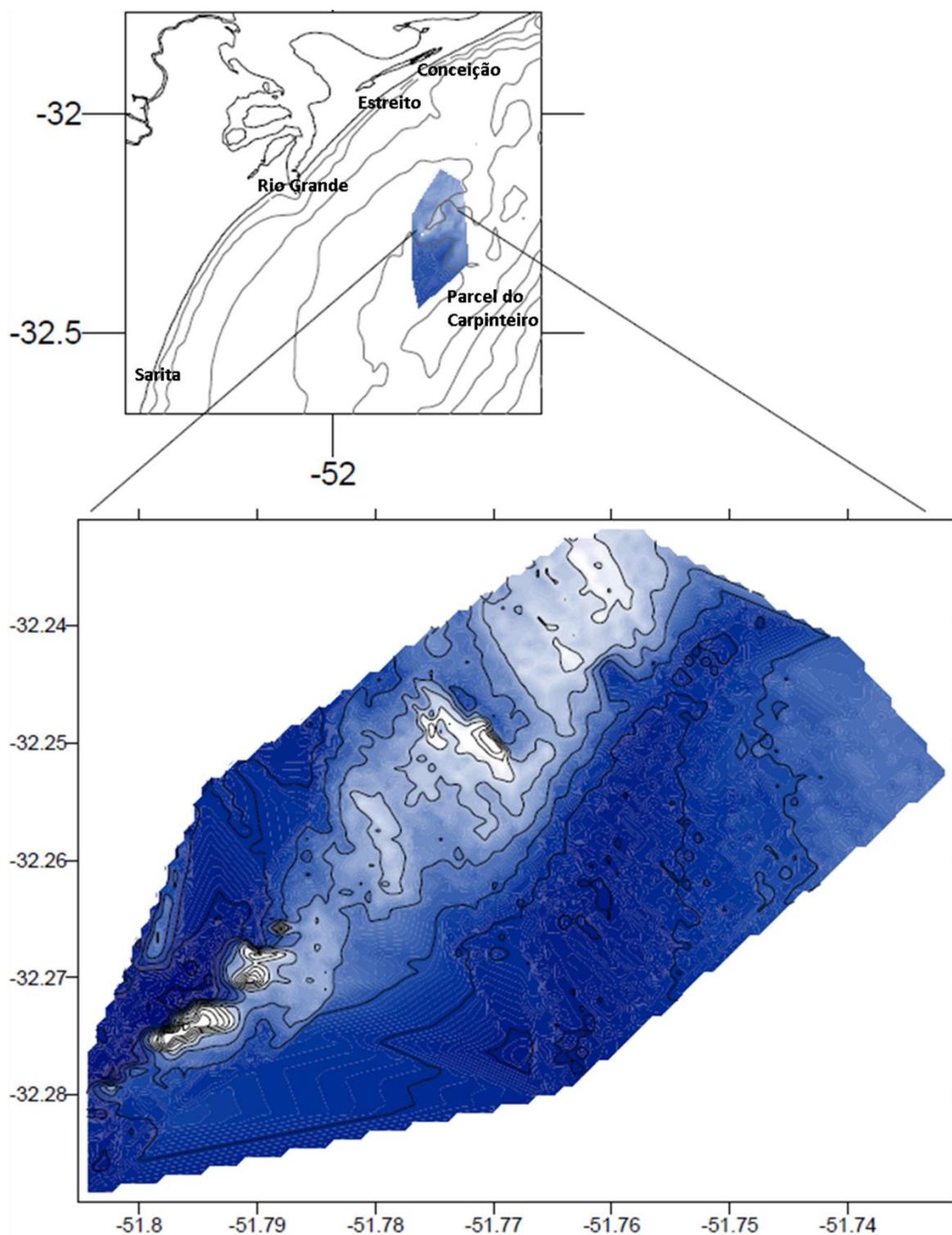


Figura 10. Localização e batimetria de detalhe do Parcel do Carpinteiro, localizado na antepraia ao sul da praia do Estreito (estações C7 a C9). X: Longitude; Y: Latitude (BUCHMANN, 2002).

O carácter tipicamente progradante da linha de costa da Barreira holocênica neste trecho, é decorrente de um balanço positivo de sedimentos, resultante de uma volumosa transferência, no sentido da praia, de sedimentos arenosos da plataforma continental e porções inferiores da antepraia, e uma igualmente volumosa retenção da deriva litorânea (DILLENBURG et al., 2009; DILLENBURG et al., 2017). Tais condições evolutivas não favorecem a erosão e transporte dos bioclastos fósseis até as praias, pois há elevado estoque de areia na antepraia (TOZZI; CALLIARI, 2000; GUEDES; CALLIARI; PEREIRA, 2009), cobrindo os bioclastos.

Segundo Fachin (1998), as concentrações de cascalho bioclástico foram observadas em vários locais ao longo de toda a área, embora sua presença na praia esteja restrita às praias dos Concheiros (Litoral Sul) e do Estreito (Litoral Médio), indicando provavelmente uma área-fonte próxima e/ou transporte sendo facilitado pela morfologia da antepraia. Segundo a autora, estas são áreas onde a antepraia é mais estreita e com maior declividade, e se observa a presença de bancos arenosos lineares e arenitos de praia.

Asp (1996) e Caron (2014) constataram que a composição das conchas que compõem o cascalho bioclástico dos Concheiros é semelhante à encontrada no Banco do Hermenegildo, presente na antepraia adjacente, ao qual se relaciona com a área-fonte desse depósito e que corresponde aos depósitos sedimentares associados às paleolinhas de praias afogadas durante a transgressão holocênica (MARTINS et al., 1972; FIGUEIREDO, 1975; CORRÊA, 1983; CALLIARI et al., 1994; CARON, 2014).

Pimenta (1999) descreve altos batimétricos presentes na antepraia e plataforma interna adjacente à praia dos Concheiros, situados um pouco ao sul, que provavelmente representam áreas-fonte dos bioclastos fósseis. O mais próximo à costa é o Banco Hermenegildo Interno, localizado a cerca de 2 quilômetros da linha de praia, situado entre as profundidades de 10 e 5 metros, possuindo 10 km de extensão e 5 km de largura. Outro banco próximo a ele é o Banco Hermenegildo Externo, localizado a cerca de 20 km da linha de praia, situado entre as profundidades de 15 e 20 metros, possuindo cerca de 30 km de extensão e 10 km de largura. O Banco Hermenegildo-Chuí é o banco mais afastado da costa, situado

entre as profundidades de 40 e 30 metros (Fig. 3).

Além dos altos batimétricos, encontram-se também grandes depressões morfológicas, como o Poço do Albardão, possuindo profundidade de 75 metros e extensão aproximadamente de 120 km, e o Poço de Lama com profundidades médias de 45 e 60 metros e extensão aproximadamente de 150 km (Fig. 3). Essas depressões morfológicas corresponderiam a uma porção do paleocanal do Rio da Prata, parcialmente preenchido por lama, que deriva para o Cone do Rio Grande ao norte (CORRÊA et al., 2013, 2014).

Todos os bancos citados acima (Hermenegildo Interno, Externo e Chuí, ver Figura 3) estão posicionados ao sul dos Concheiros, mais especificamente ao sul das estações C10 e C11 (Fig. 1), que possuíram a maior quantidade de bioclastos fósseis coletados.

Segundo Pimenta (1999) e Vara (2012), o Banco Hermenegildo-Chuí e o Poço de Lama, localizado próximo a ele, convergem os raios de onda (Fig. 11) e provocam um aumento na altura das ondas provenientes do quadrante Sul, e teriam essa tendência intensificada pelo Banco Hermenegildo Interno, o qual está mais próximo da linha de costa (Fig. 3).

Estas ondas com alturas elevadas provocam um fenômeno mais intenso de *set up* na praia, causando formação de correntes para norte e consequente transporte de sedimentos (VARA, 2012). Da mesma forma, espera-se que o transporte de bioclastos fósseis seja facilitado pelo mesmo mecanismo, em direção à praia dos Concheiros (Fig. 11).

As convergências focais de raios de onda geram ondas de maior altura em um trecho da costa correspondente à porção sul de uma projeção costeira, a qual, em uma escala maior, igualmente determina uma maior altura de ondas nesta porção da projeção costeira, tanto por uma menor dissipação da energia de ondas por atrito com o fundo (maior inclinação da plataforma em comparação com a inclinação junto ao embaiamento situado ao norte), e pelo maior ângulo de incidência das ondas nesta porção da projeção costeira, segundo o modelo de Lima, Almeida e Toldo (2001). Ou seja, somam-se fatores de pequena e larga escala

espacial, definindo uma relativamente alta energia de ondas.

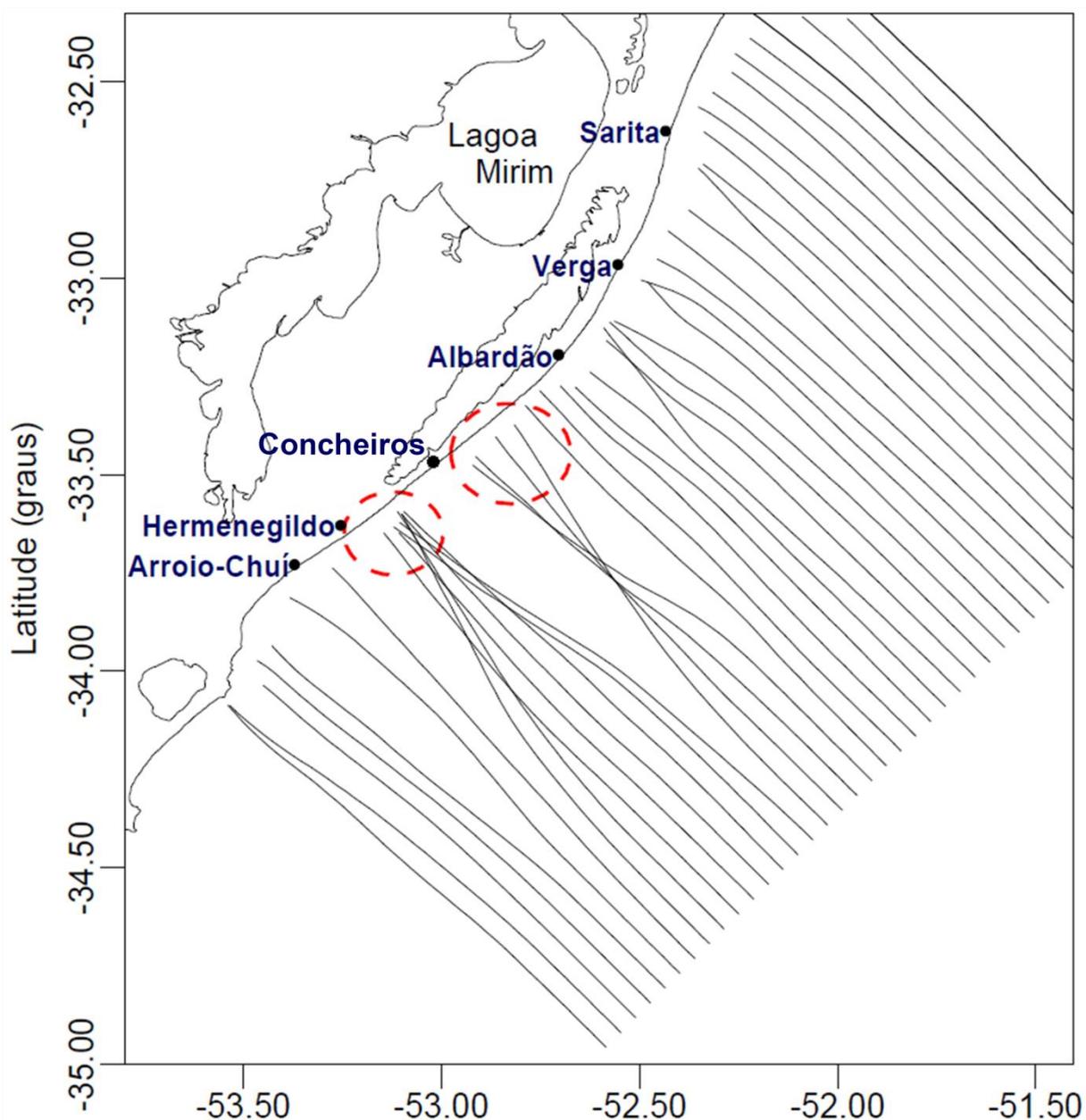


Figura 19. Diagramas de refração das ondas, onde há convergência dos raios de ondas, no trecho da praia dos Concheiros (estações S7 a S11). X: Longitude; Y: Latitude (modificado de PIMENTA, 1999).

Caron (2014) descreve a morfologia da antepraia adjacente à praia do Hermenegildo, a partir de três perfis batimétricos (Fig. 12). O autor sugere que essas feições morfológicas podem estar relacionadas a estabilizações do nível do mar, e que as acumulações de cascalho bioclástico, na antepraia e plataforma interna, podem ser classificadas como depósitos de “lag” (depósitos residuais), gerados pela migração da antepraia em direção ao continente, durante o último processo

transgressivo da linha de costa (TPM).

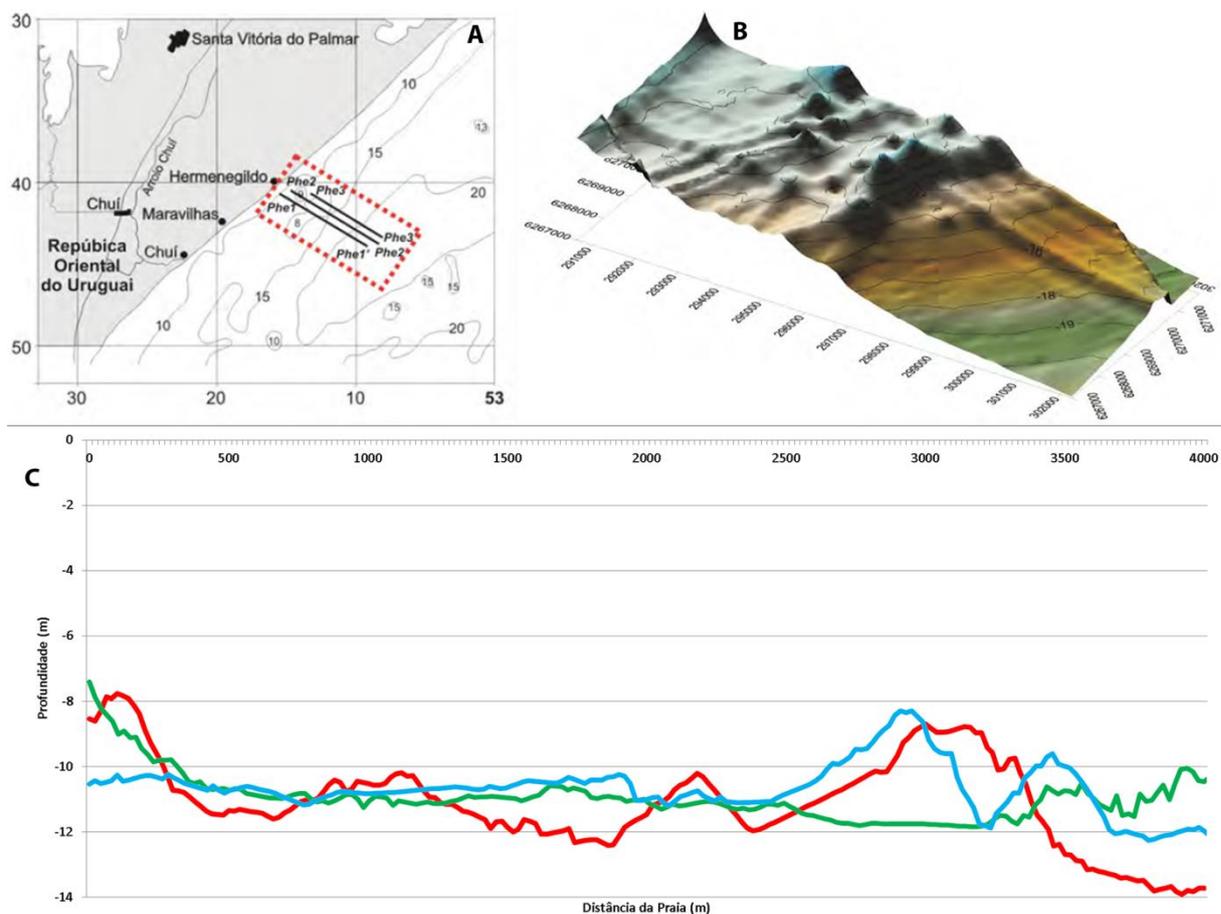


Figura 20. Modelo batimétrico da *shoreface* adjacente à praia do Hermenegildo. A: área amostral dos três perfis (Phe1, Phe2, Phe3); B: panorâmica do modelo, visão de S para N; C: perfil batimétrico, mostrando os altos batimétricos e depressões dos três perfis: Phe1-verde, Phe2-azul, Phe3-vermelho (modificado de CARON, 2014).

A presença de turfas e lamas aflorantes nas praias das Maravilhas e do Hermenegildo, no Litoral Sul da PCRS, devido aos intensos processos de erosão costeira, sugere uma formação associada a corpos lagunares e paludiais, o que demonstra que a barreira associada a esses ambientes foi significativamente erodida (TOMAZELLI et al., 1998; DILLENBURG; TOMAZELLI; BARBOZA, 2004).

A alta energia de ondas, em larga escala temporal que contribuiu para a exposição de turfas e lamas lagunares na praia, na região Hermenegildo-Maravilhas, igualmente tem favorecido a erosão de bioclastos fósseis das feições morfológicas, presentes na antepraia adjacente, e o seu transporte no sentido da praia, desde que esta região foi alcançada pelo mar transgressivo (Última Grande Transgressão ou

Transgressão Marinha Pós-Glacial), há cerca de 7-6 ka.

A concentração e distribuição dos bioclastos fósseis corroboram com o diagnóstico de significativa erosão costeira no Litoral Sul, onde foi coletada a maior quantidade de bioclastos fósseis. As estações de coleta C10 e C11, localizadas na praia dos Concheiros, situada imediatamente ao norte da praia do Hermenegildo, possuem as maiores quantidades de bioclastos fósseis coletadas em toda a área de estudo.

3.6. Conclusões

Os bioclastos fósseis coletados estão concentrados nas praias localizadas ao sul das projeções costeiras da PCRS. No Litoral Médio, há uma maior concentração (> 70%) na praia do Estreito (estações C7 a C9) e, no Litoral Sul, a maior concentração (> 90%) ocorre na praia dos Concheiros (estações S7 a S11).

A concentração dos bioclastos fósseis nessas praias se deve a alguns fatores que atuam em conjunto, e que facilitam sua erosão na antepraia e seu transporte para as porções emersas das praias adjacentes:

(1) as porções sul das projeções costeiras estão sob a influência de maior altura/energia de ondas, decorrente de convergência regional dos raios de onda e da menor dissipação por atrito com o fundo, e expostas a um maior ângulo de incidência das ondas mais energéticas provenientes do quadrante Sul; ou seja, a morfologia da antepraia e da plataforma continental, e da linha de costa, indiretamente foram e são fatores importantes.

(2) estão submetidas à erosão de longo prazo, possuindo grandes taxas de transgressão da linha de costa, controlada pela subida do nível do mar (18 a 6 ka) e posteriormente (6 a 0 ka) pelo balanço sedimentar negativo;

(3) estão submetidas a eventos extremos de sobre-elevação do nível do mar (marés meteorológicas), onde tanto a porção emersa da praia quanto a porção subaquosa da antepraia são erodidas;

(4) estão sob a influência da convergência de ondas, devido a feições morfológicas presentes na antepraia e plataforma continental (escala local), as quais representam as áreas-fonte dos bioclastos fósseis.

Conclui-se então, que a presença dominante de bioclastos fósseis nas estações de coleta, situadas nas porções sul das projeções costeiras, é uma consequência, principalmente, da condição erosiva de longo período destas porções. A distribuição atual dos bioclastos fósseis, encontrados nas praias do Litoral Médio e Sul, refletem a distribuição pretérita de bioclastos fósseis na antiga planície costeira (atual plataforma continental).

Muito provavelmente, a distribuição deles na plataforma continental deve corresponder, ao menos em parte, a distribuição pretérita das espécies vivas em seus ambientes naturais e as condições ambientais de preservação e fossilização *post mortem*, evidenciado, principalmente, pelas depressões morfológicas presentes na antepraia e plataforma continental, onde em nível de mar baixo, representavam lagoas, lagunas e canais fluviais.

3.7. REFERÊNCIAS

AIRES, A. S. S.; LOPES, R. P. Representativity of Quaternary mammals from the southern Brazilian continental shelf. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 15, p. 57-66, 2012. DOI:10.4072/rbp.2012.1.05

ALBUQUERQUE, M. G. **Análise espaço-temporal das causas de variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013. 127p.

ANDRADE, M. M.; TOLDO, E. E.; NUNES, J. C. R. Tidal and subtidal oscillations in a shallow water system in southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 3, p. 245-254, 2018.

ARAÚJO, H. I.; BISSARO, M. C.; DOS SANTOS, T. T.; ALVES, R. S.; BERGQVIST, L. P. Tafonomia da megafauna pleistocênica Brasileira: Fluvial Transport Index (FTI) em análises de representatividade óssea. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 15, n. 1, p. 95-104, 2012.

ASP, N. E. **Avaliação da potencialidade de depósitos de calcário bioclástico da plataforma interna e linha de costa do sul do RS**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1996. 72p.

ASP, N. E.; SIEGLE, E.; CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S. Sedimentos da região do Parcel do Carpinteiro, Rio Grande do Sul. In: XI Semana Nacional de Oceanografia, 11., 1998, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: 1998. p. 503-505.

ASP, N. E. **Evidências de estabilizações do nível do mar no Quaternário da plataforma continental interna entre Rio Grande e Chuí – Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999. 45p.

BARLETTA, R. **Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a**

morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Curso de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2000. 134p.

BARLETTA, R. C.; CALLIARI, L. J. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 117-124, 2001.

BARLETTA, R. C.; FRANCO, D.; MELO, E. Propagação de onda sobre parcéis. In: III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, 3., 2008, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: 2008. 20p.

BEHRENSMEYER, A. K. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblage east of Lake Rudolf, Kenya. **Bulletin of the Museum of Comparative Zoology**, v. 146, p. 473-578, 1975.

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R. Application of multivariate statistical techniques in alongshore differentiation of coastal barriers. **Marine Geology**, v. 419, p. 106077, 2020. DOI: 10.1016/j.margeo.2019.106077

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; MANZOLLI, R. P. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, p. 529-548, 2020a. DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1789

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R.; MANZOLLI, R. P.; BARBOZA, E. G. Control factors in the evolution of Holocene coastal barriers in southern Brazil. **Geomorphology**, v. 360, p. 107180, 2020b. DOI:10.1016/j.geomorph.2020.107180

BUCHMANN, F. S. C. **Estudo microfossilífero na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.** Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1994a. 82p.

BUCHMANN, F. S. C. Distribuição dos fósseis pleistocênicos na zona costeira e plataforma continental interna no Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 17, p. 355–364, 1994b.

BUCHMANN, F. S. C. Invertebrados fósseis (Crustacea, Echinodermata e Annelida) encontrados no cascalho bioclástico (pós-praia), na porção sul da planície costeira, RS. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 21-27, 1996.

BUCHMANN, F. S. C.; RINCÓN FILHO, G. Fósseis de vertebrados marinhos do Pleistoceno Superior na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Notas Técnicas**, v. 10, p. 7-16, 1997.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Fósseis da megafauna terrestre coletados na plataforma continental interna, RS, Brasil, e sua relação com a dinâmica costeira passada e atual. In: VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 7., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: 1999. 3p.

BUCHMANN, F. S. C.; BARLETTA, R. C.; TOMAZELLI, L. J.; BARRETO, A. M. F. Novo afloramento pleistocênico na atual linha de costa do Rio Grande do Sul, Brasil. In: VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 7., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: 1999. 2p.

BUCHMANN, F. S. C.; BARLETTA, R. C.; TOMAZELLI, L. J.; BARRETO, A. M. F. 2000. Datação por termoluminescência de um afloramento pleistocênico na atual linha de costa do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Semana Nacional de Oceanografia, 13., 2000, Itajaí. **Anais...** Itajaí: 2000. p. 65-67.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. A influência do substrato pré-holocênico na distribuição dos bioclastos carbonáticos ao longo da linha de costa (pós-praia) do Rio Grande do Sul. In: VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8., 2001, Imbé. **Anais...** Imbé: 2001. p. 58-59.

BUCHMANN, F. S. C.; SEELIGER, M.; ZANELLA, L. R.; MADUREIRA, L. S. P.; TOMAZELLI, L. J.; CALLIARI, L. J. Análise batimétrica e sedimentológica no

estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia pleistocênica na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 109-115, 2001.

BUCHMANN, F. S. C. **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) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002. 120p.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Relict nearshore shoals of Rio Grande do Sul, southern Brazil: origin and effects on nearby modern beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 35, p. 318-322, 2003.

CALLIARI, L. J.; ABREU, J. G. N. Litologia da plataforma continental interna adjacente à cidade do Rio Grande (RS), através da interpretação de registros de sonar de varredura lateral e amostragem superficial. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1984. p. 1553-1564.

CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. F. Características morfodinâmicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 57-69, 1993.

CALLIARI, L. J.; ESTEVES, L. S.; OLIVEIRA, C. P. L.; TOZZI, H. A. M.; PEREIRA, R. S.; CARDOSO, J. N. Padrões sonográficos e sedimentológicos de um afloramento de "beachrock" na plataforma interna do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 7, p. 27-32, 1994.

CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N.; BOUKAREVA, I. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, v. 26, p. 19-23, 1998.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. M.; KLEIN, A. H. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil, Rio Grande to Chuí, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 231-247, 1998.

CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S.; ASP, N. E. Inner shelf and beach seashell resources in southern Brazil. In: MARTINS, L. R. S.; SANTANA, C. I. (Ed.). **Non-living resources of the southern Brazilian coastal zone and continental margin**. Porto Alegre: Osnir/Serg/Seco/UFRGS, 1999. p. 39-49.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO, E. E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, p. 63-78, 2003.

CARON, F.; BUCHAMN, F. S. C. Experimento de transporte de bioclastos (seixos e blocos) numa praia arenosa. Estudo de caso: praia do Cassino, RS. In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 10., 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari: 2005. 6p.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; DEHNHARDT, B. A.; MEDEANIC, S.; DILLENBURG, S. R. A transgressão marinha pós-glacial na região de desembocadura do Arroio Chuí, Planície Costeira do Rio Grande do Sul: implicações paleogeográficas. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 11., 2007, Belém. **Resumos...** Belém: 2007. p. 6.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; LIMA, L. G.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; DILLENBURG, S. R. Características estratigráficas da barreira transgressiva holocênica na praia dos Concheiros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 13., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: 2011. p. 107-111.

CARON, F. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na região costeira de Santa Vitória do Palmar, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014. 172p.

CECILIO, R. O.; DILLENBURG, S. R. An ocean wind-wave climatology for the southern Brazilian shelf. Part II: variability in space and time. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 88, p. 101103, 2019.

CORRÊA, I. C. S.; PONZI, V. R. Depósitos de calcário bioclásticos das regiões do Albardão e Mostardas na plataforma interna do Rio Grande do Sul. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: 1978. 16p.

CORRÊA, I. C. S. Depósitos de material carbonático em la plataforma Interna del Rio Grande do Sul. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS MARINOS DEL PACÍFICO, 1983, Viña del Mar. **Actas...** Viña del Mar: 1983. p. 155-163.

CORRÊA, I. C. S. **Analyse morphostructurale et evolution paleogeographique de la plate-forme continentale Atlantique Sudbresilienne (Rio Grande do Sul - Bresil)**. Tese - Universite de Bourdeaux I, Bourdeaux. 1990. 314p.

CORRÊA, I. C. S.; BAITELLI, R.; KETZER, J. M. M.; ELIAS, A. R. D.; MARTINS, R. Translação horizontal e vertical do nível do mar sobre a plataforma continental do Rio Grande do Sul nos últimos 17.500 anos. In: III Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 3., 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 1992. p. 225-240.

CORRÊA, I. C. S. Interpretation morphostructurale de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul, a partir de l'analyse cartographique. **Notas Técnicas**, v. 7, p. 3-26, 1994.

CORRÊA, I. C. S. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: léxemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. **Marine Geology**, v. 130, n. 163-178, 1996.

CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, L. R. S.; KETZER, J. M. M.; ELIAS, A. R. D.; MARTINS, R. Evolução sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sudeste e sul do Brasil. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 51-61, 1996.

CORRÊA, I. C. S. Mapeamento e recursos minerais na plataforma continental

e área oceânica internacional. In: LXII Reunião Anual da SBPC, 62., 2010, Natal. **Anais...** Natal: 2010. 5p.

CORRÊA, I. C. S.; MEDEANIC, S.; WESCHENFELDER, J.; TOLDO, E. E.; NUNES, J. C.; BAITELLI, R.; SANTOS, C. B. Registro sedimentario del antiguo canal de desembocadura del Rio de La Plata en la plataforma continental del sur de Brasil. **Revista Mexicana de Ciências Geológicas**, v. 30, p. 51-64, 2013.

CORRÊA, I. C. S.; MEDEANIC, S.; WESCHENFELDER, J.; TOLDO, E. E., NUNES, J. C.; BAITELLI, R. The palaeo-drainage of the La Plata River in southern Brazil continental shelf. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 32, n. 2, p. 259-271, 2014.

CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J.; NUNES, J. C. Arenitos de praia submersos na plataforma continental do Rio Grande do Sul. In: X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 10., 2017, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: 2017. 1p.

CRUZ, E. A.; BUCHMANN, F. S. C. Tafonomia e taxonomia dos bioclastos encontrados na praia dos Concheiros, RS. In: XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, 23., 2013, Gramado. **Resumos...** Gramado: 2013. p. 303-304.

CRUZ, E. A.; DILLENBURG, S. R.; BUCHMANN, F. S. C. 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**, v. 19, n. 3, p. 425-438, 2016. DOI: 10.4072/rbp.2016.3.08

DANJO, T.; KAWASAKI, S. Characteristics of beachrocks: a review. **Geotech. Geol. Eng.**, v. 32, n. 2, p. 215-246, 2013. DOI: 10.1007/s10706-013-9712-9

DELANEY, P. J. V. Fisiografia e geologia de superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial, Instituto de Geociências**, v. 6, p. 1-63, 1965.

DILLENBURG, S. R. O potencial de preservação dos registros sedimentares do Sistema Depositional Laguna/Barreira IV na costa do Rio Grande do Sul. **Notas**

Técnicas, v. 9, p. 1-11, 1996.

DILLENBURG, S. R.; ROY, P. S.; COWELL, P. J.; TOMAZELLI, L. J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation Barrier Model (STM). **Journal of Coastal Research**, v. 16, p. 71-81, 2000.

DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; BARBOZA, E. G. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, v. 203, p. 43-56, 2004. DOI:10.1016/S0025-3227(03)00330-X

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; CLEROT, L. C. P.; AYUP-ZOUAIN, R. N. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (Ed.). **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil**. Springer, 2009. p. 53-91.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A. O. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka. **Marine Geology**, v. 390, p. 106-119, 2017. DOI:10.1016/j.margeo.2017.06.007

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; BITENCOURT, J. B. Changes in the littoral drift system of the Uruguayan coast during the Holocene and its influence in the continuing erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 95, p. 453-457, 2020.

DÜRR, S. D. Quick estimation of pebble volumes. Research methods papers. **Journal of Sedimentary Research**, v. 64, n. 3, p. 665-668, 1994.

ESTEVEES, L. S.; TEIXEIRA, P. S.; WILLIAMS, J. Managing coastal erosion: from long-term coastal evolution to seasonal shoreline changes. **IAHS-AISH publication**, v. 325, p. 516-523, 2008.

FACHIN, S. **Caracterização do perfil de equilíbrio da antepraia na costa**

do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998. 114p.

FIGUEIREDO, A. G. **Geologia dos depósitos calcários bioclásticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1975. 72p.

FRISON, G. C.; TODD, L. C. **The Colby Mammoth Site: taphonomy and archaeology of a Clovis Kill in northern Wyoming.** Albuquerque: University of New Mexico Press, 1986. 238p.

GOULART, E. S. **Morfodinâmica da antepraia adjacente ao Farol da Conceição: litoral médio do RS.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Curso de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2010. 99p.

GUEDES, R. M. C.; CALLIARI, L. J.; PEREIRA, P. S. Morfodinâmica da praia e zona de arrebenção do Cassino, RS através de técnicas de vídeo imageamento e perfis de praia. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 2, p. 165-180, 2009.

HOPLEY, D. Beachrock as a sea-level indicator. In: VAN DER PLASSCHE, O. (Ed.). **Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data.** Norwich: GeoBooks, 1986. p. 157-173.

KOERNER, K. F. **Variação espaço-temporal em médio e curto termo da orla do balneário Hermenegildo, RS.** Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2009. 63p.

KOWSMANN, R. O.; COSTA, M. P. A. **Bancos arenosos holocênicos da Plataforma continental Brasileira: gênese e potencial mineral.** Rio de Janeiro: CPRM, 1979.

KOWSMANN, R. O.; COSTA, M. P. A.; VICALVI, M. A. Modelo de sedimentação holocênica na plataforma continental Sul-Brasileira. **Projeto REMAC - Evolução sedimentar holocênica da plataforma continental e talude do sul do Brasil**, v. 2, p. 7-26, 1997.

LIMA, S. F.; ALMEIDA, L. E. S. B.; TOLDO, E. E. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 99-107, 2001.

LIMA, L. G.; DILLENBURG, S. R.; MEDEANIC, S.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; TOMAZELLI, L. J. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 42, p. 27-38, 2013. DOI:10.1016/j.jsames.2012.07.002

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F.; ITUSARRY, M. E. G. S. Tafonomia dos fósseis de vertebrados (megafauna extinta) encontrados ao longo das barrancas do Arroio Chuí e linha de costa, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 67-73, 2001.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F. Taphonomic analysis of Pleistocene mammals from deposits submerged along southern Rio Grande do Sul Coastal Plain, Brazil. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 66, p. 213-229, 2008.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C. Pleistocene mammals from the southern Brazilian continental shelf. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, p. 17-27, 2010. DOI:10.1016/j.jsames.2010.11.003

LOPES, R. P.; OLIVEIRA, L. C.; FIGUEIREDO, A. M. G.; KINOSHITA, A.; BAFFA, O.; BUCHMANN, F. S. C. ESR dating Pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Quaternary International**, v. 212, p. 213-222, 2010. DOI:10.1016/j.quaint.2009.09.018

LOPES, R. P.; DILLENBURG, S. R.; SCHULTZ, C. L.; FERIGOLO, J.; RIBEIRO, A. M.; PEREIRA, J. C.; HOLANDA, E. C.; PITANA, V. G.; KERBER, L. The

sea-level highstand correlated to marine isotope stage (MIS) 7 in the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, p. 1573-1595, 2014. DOI:10.1590/0001-3765201420130274

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J.; MELO, E.; KLEIN, A. H. F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 105-114, 2010.

MARTINHO, C. T. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008. 241p.

MARTINHO, C. T.; DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 25, p. 285-293, 2009.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; EICHLER, B. B. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental Sul-Brasileira e Uruguaia. In: XXI Congresso Brasileiro de Geologia, 21., 1967, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 1967. p. 29-43.

MARTINS, L. R.; MELO, U.; FRANÇA, A. M. C.; SANTANA, I.; MARTINS, I. R. Distribuição faciológica da margem continental Sul Rio-Grandense. In: XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, 26., 1972, Belém. **Anais...** Belém: 1972. p. 115-132.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, I. R. Late Quaternary processes along the Rio Grande do Sul continental shelf (southern Brazil). **Notas Técnicas**, v. 9, p. 62-68, 1996.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; MARTINS, I. R. Modelos deposicionais marinhos e recursos minerais associados. **Gravel**, v. 1, p. 106-130, 2003.

MOTTA, L. M.; TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NUNES, J. C. Sandy

sediment budget of the midcoast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Marine Research**, v. 73, p. 49-69, 2015.

NORDSTROM, K. F.; JACKSON, N. L. Distribution of surface pebbles with changes in wave energy on a sandy estuarine beach. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 63, n. 6, p. 1152-1159, 1993.

PIMENTA, F. M. **Caracterização dos regimes de refração de onda ao longo da zona costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 1999. 71p.

ROSA, M. L. C. C.; BARBOZA, E. G.; ABREU, V. S.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, n. 2, p. 183-207, 2017. DOI:10.1590/2317-4889201720160138

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Bathymetric lenses and localized coastal erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 34, p. 209-215, 2001.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In: MUEHE, D. (Ed.). **Erosão e progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 446-454.

TOLDO, E. E.; DILLENBURG, S. R.; ALMEIDA, L. E. S. B.; MARTINS, R. R.; CUNHA, L. O. B. P. Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 27-32, 1993.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Considerações sobre o ambiente praias e deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.; DILLENBURG, S. R.; BACHI, F. A.;

DEHNHARDT, B. A. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 221-229, 1998.

TOZZI, H. A. M.; CALLIARI, L. J. Morfodinâmica da praia do Cassino, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 27, n. 1, p. 29-42, 2000.

VARA, S. S. **Análise numérica da propagação de ondas na costa do Rio Grande do Sul entre Arroio Chuí e Sarita**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Curso de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2012. 190p.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 8, p. 1-45, 1995.

VOORHIES, M. R. Taphonomy and population dynamics of an Early Pliocene fauna, Knox County, Nebraska. In: UNIVERSITY OF WYOMING (Ed.). **Contributions to Geology, Special Paper**. 1^a Ed. Florida: Laramie Wyo, 1969. p. 1-69. DOI.org/10.2113/gsrocky.8.special_paper_1.1

VOUSDOUKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. **Earth Science Review**, v. 85, p. 23-46, 2007.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.

CAPÍTULO 4

Artigo Científico “The Holocene barrier evolution and the distribution of fossil bioclasts on the beaches of southern Brazil”, submetido aos Anais da Academia Brasileira de Ciências.

THE HOLOCENE BARRIER EVOLUTION AND THE DISTRIBUTION OF FOSSIL BIOCLASTS ON THE BEACHES OF SOUTHERN BRAZIL

Erick Antal Cruz¹, Francisco Sekiguchi Buchmann², Sérgio Rebello Dillenburg³ & Volney Junior Borges De Bitencourt⁴

ABSTRACT

The fossil bioclasts analyzed here were collected along the entire emerged beach system of the Holocene barrier of RS. The objective of the present work was to analyze, on a regional scale, the relationship between the evolutionary behavior of the barrier and the occurrence (distribution) of fossil bioclasts, correlated with the morphological features present on the shoreface and continental shelf. The results showed a clear relationship. Along stretches of the coast where the barrier behaves as retrogradant (transgressive coastline), there is a greater amount of fossil bioclasts. While along stretches where the barrier behaves as progradant (regressive coastline), the amount of fossil bioclasts is considerably less or absent. It is concluded that the former emerged coastal plain (antecedent topography) was determinant in the evolution of the barrier and in the evolution of the submerged fossiliferous deposits, since the distribution of fossil bioclasts on the current shoreface and continental shelf should follow the past distribution of fossil bioclasts in the former emerged coastal plain.

Key-words: Coastal Evolution, Coastal Erosion, Coastal Morphodynamics, Holocene

4.1. Introduction

Differences of a few minutes of degree in the inclination of the continental shelf, the substrate over which the Holocene barrier migrated, generate significant wave energy gradients (DILLENBURG et al., 2000; SCHWAB et al., 2000; CECILIO; DILLENBURG, 2019) and consequently it generates variations in the sediment budget which conditioned a differentiated evolution of the Holocene barrier of Rio Grande do Sul (RS) in the final stages of the Post-Glacial Marine Transgression (PMT) (DILLENBURG et al., 2000; MARTINHO et al., 2009; BITENCOURT et al., 2020a,b).

There is strong evidence that the temporal long-term coexistence of regressive (progradational) and transgressive (retrogradational) stretches of the Holocene barrier of RS could be a product of variations in the sediment budget which in turn were determined by variations in the energy flow along the coast (DILLENBURG et al., 2000; LIMA et al., 2001; MARTINHO, 2008).

Previous work has indicated that there is a greater amount of fossil bioclasts on the beaches along the southern portion of the coastal projections where transgressive stretches of the barrier dominate. In coastal embayments where the regressive stretches of the barrier dominate, the occurrence of these bioclasts is insignificant on the beaches (BUCHMANN, 1994a,b, 2002; CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016; CRUZ et al., 2021, no prelo). However, these relationships have never been examined.

Therefore, the objective of the present work was to analyze, on a regional scale, involving coastal extensions equal to or greater than 100 km (2nd order scale of INMAN; NORDSTRON, 1971), the relationship between the evolutionary behavior of the Holocene barrier of RS and the occurrence (distribution) of fossil bioclasts on its sandy beaches, correlated with the morphological features present on the shoreface and continental shelf.

4.2. Study Area

4.2.1. Coastal Plain of Rio Grande do Sul

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRS) was formed after the split between South America and Africa in the Late Cretaceous (STICA; ZALÁN; FERRARI, 2014; DILLENBURG et al., 2017).

Between the Neogene and the Quaternary, the morphology of the CPRS was affected by sea-level oscillations which led to the formation of two large depositional systems: the Alluvial Fan System, active mainly in the periods of sea-level lowstands, and the Barrier-Lagoon System whose records were formed during sea-level highstands (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; LOPES et al., 2014, ROSA et al., 2017)

(Fig. 1).

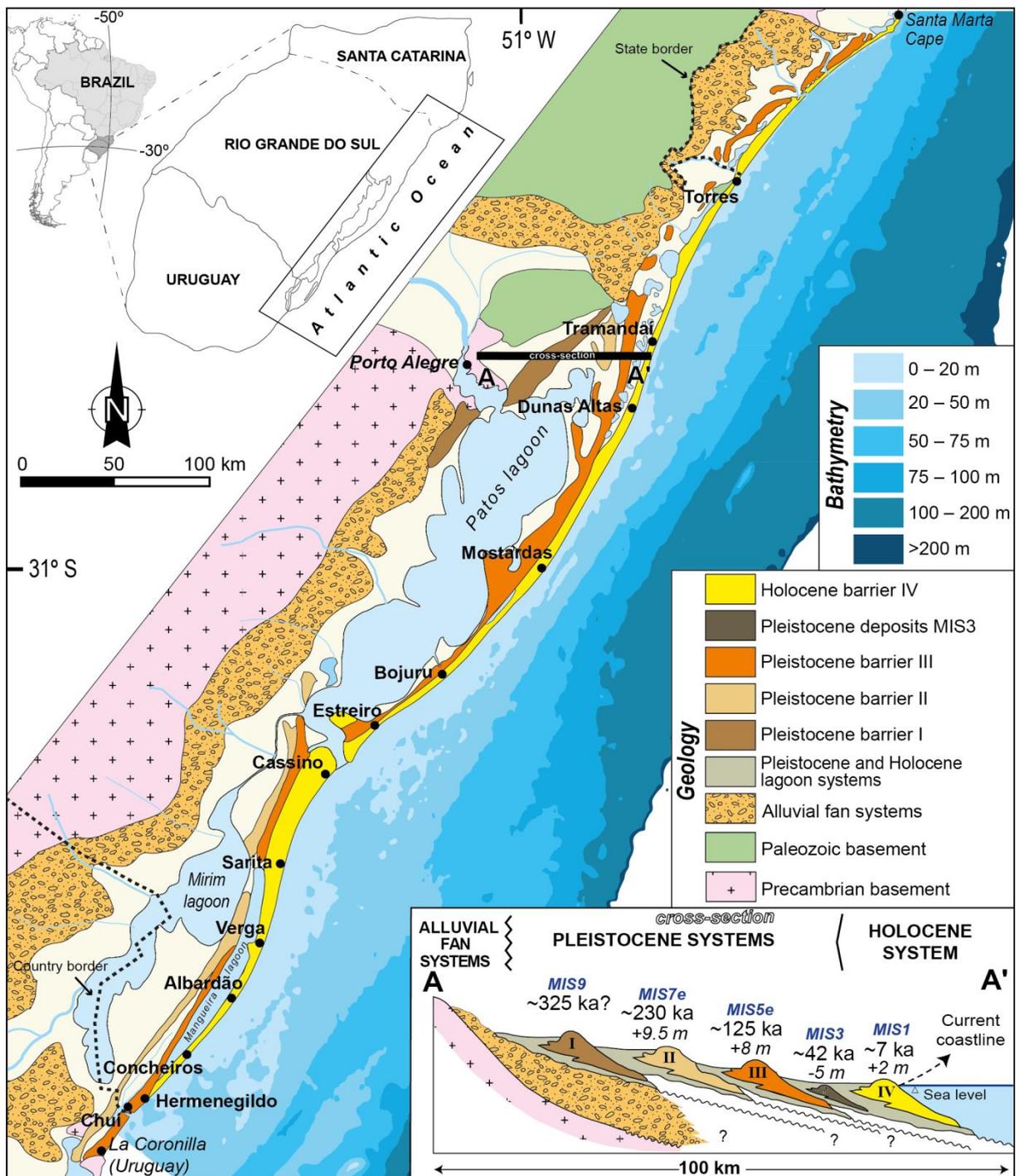


Figure 21. Geology and bathymetry of the continental margin of RS, showing the fossil bioclasts sampling locations. The insertion shows the schematic stratigraphy of the cross-section, corresponding to the A-A' profile, located between Porto Alegre and Tramandaí, with emphasis on the four barrier-lagoon systems and their respective marine isotopic stages and ages (modified from BITENCOURT; DILLENBURG, 2020; BITENCOURT et al., 2020a).

The CPRS is 620 km long (longitudinal) and it is characterized by a set of coastal barriers oriented to NE-SW. At the northern end of the coastal plain, the highlands consist of volcanic and sedimentary rocks from the Paleozoic and Mesozoic of the Paraná Basin while to the South, igneous and metamorphic rocks from the Precambrian shield occur (TOMAZELLI; DILLENBURG; VILLWOCK, 2000).

Coastal sediments are essentially siliciclastic, well-sorted and mature sands, with small amounts of organic matter, biogenic carbonate, diagenetic clays and concentrations of heavy minerals (VILLWOCK et al., 1979; VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; DILLENBURG; TOMAZELLI; BARBOZA, 2004).

The Barrier-Laguna System is subdivided into four barrier-lagoon subsystems. Each of them formed during the marine transgressions correlated to the interglacial episodes (marine isotopic stages) that occurred during the Upper Pleistocene-Holocene (TOMAZELLI; DILLENBURG; VILLWOCK, 2000).

Villwock and Tomazelli (1995) correlated the barriers ages with the oxygen peaks of the isotopic curve proposed by Imbrie et al. (1984). Subsequently, with the achievement of geochronological ages by Thermoluminescence and Electron Spin Resonance, the Pleistocene barriers I and II were respectively repositioned in the stages 9 (325 ka) e 7e (220-240). The Pleistocene barrier III corresponds to the isotopic stage 5e (120 ka) and the Holocene barrier IV to the stage 1 (6 ka) (LOPES et al., 2014) (Fig. 1).

The Holocene Barrier System extends throughout the coastal zone of RS and morphologically consists of two large projections (convexities) towards the sea and two embayments (concavities) towards the continent, corresponding to stretches under retrogradation and progradation, respectively (Fig. 2) (DILLENBURG et al., 2000, 2009; DILLENBURG; BARBOZA, 2014).

The origin, evolution and current geographic positioning of the RS coastline reflects its antecedent topography (geological heritage) (DILLENBURG et al. 2000) which was inundated by the rising sea-level related to PMT, started about 18 ka ago, when the sea-level was positioned about 120 meters below the current level (CORRÊA et al., 1996; WESCHENFELDER et al., 2014).

About 6 ka ago, the sea-level reaches approximately 2-3 meters above the current level, followed since then by a gentle fall to the present (ANGULO; LESSA, 1997; ANGULO et al., 1999; ANGULO; LESSA; SOUZA, 2006; BARBOZA; TOMAZELLI, 2003; MARTIN; DOMINGUEZ; BITTENCOURT, 2003; DILLENBURG et al., 2009, 2017). On the coast of RS, it is estimated that the sea-level reached altitudes close to 2 meters (DILLENBURG et al., 2017).

The study area comprises the entire beach system of RS coastline, totaling approximately 620 km in length. The Holocene barrier occurs along this entire length, being interrupted (segmented) only in two places: at the Patos lagoon and Tramandaí inlets (Fig. 1).

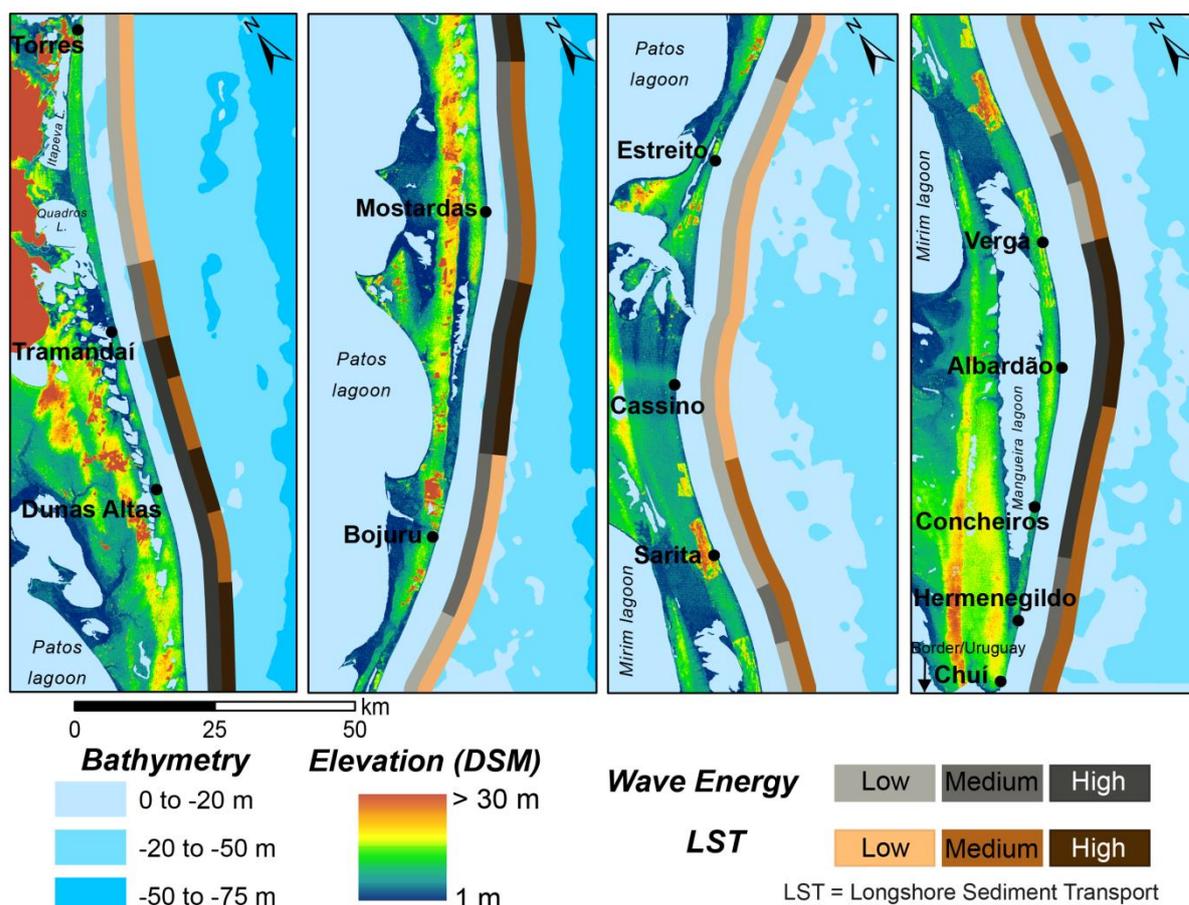


Figure 22. Embayments and projections of the CPRS, showing the general bathymetry and wave energy gradients (modified from BITTENCOURT; DILLENBURG, 2020).

4.2.2. Oceanographic and Meteorological Settings

According to the classification proposed by Wright and Short (1984), the beaches in RS can be dissipative, intermediate and reflective, depending on the gradient of the shoreface substrate and the mechanical composition (granulometry) of the beach sediments.

Calliari and Toldo (2016) stated that the RS coast can be divided into three coastal stretches: North, Middle and South Littoral. On the North and Middle Littoral, the beaches have intermediate characteristics with a tendency to dissipative. The beaches along the South Littoral have intermediate characteristics with a tendency to reflective due to the granulometric variations (medium to coarse siliciclastic sand and bioclastic gravel). Strictly dissipative beaches are located on coastal embayments (e.g. Tramandaí river inlet, in the North, and Patos lagoon inlet, in the South).

Regardless of the morphodynamic characteristics of the beaches, there is an accretion period, between November and March, determined mainly by events of lower wave energy (swells), and an erosion profile, between April and October, due to higher energy wave regimes (storms) (FIGUEIREDO, 1975).

According to Cecilio and Dillenburg (2019), the average wave height is between 1.25 and 1.50 m and the wave regime has a primary predominance of SSE/SO with peak power between S/SSW, generated by cyclones and cold fronts. Secondly, it has ENE/E wave regime, generated by post-frontal winds. During autumn and winter storms (April to July), the wave height can exceed over 2.0 m and the water-level can rise up to 1.3 m along the coast (CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; BARLETTA; CALLIARI, 2001; MOTTA et al., 2015).

The RS coast is classified as dominated by waves, so the astronomical tides, semidiurnal of up to 0.5 m, are insignificant in the coastal dynamics of the study area while the meteorological tides (temporary water-level elevations) are more important (ANDRADE et al., 2018).

Therefore, erosion, transport and deposition of siliciclastic sediments and fossil bioclasts, along the coast, are carried out by waves and currents generated by

waves which produce a coastal drift with a resultant towards to Northeast (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; TOLDO et al., 1993) with occasional seasonal changes in its direction throughout the year (MOTTA et al., 2015).

4.2.3. Continental Shelf of Rio Grande do Sul

The current morphology of the continental shelf of RS is considered a geological heritage, little modified, from the antecedent topography and it is relatively wide (>100 km), shallow (<150 m) and with a slope that varies between 0.03° and 0.08° (DILLENBURG et al., 2000).

Dillenburg et al. (2000) through the STM - Shoreface Translation-Barrier Model (COWELL et al., 1992; ROY et al., 1994) examined, on a large spatial and temporal scale, the influence of the continental shelf morphology (considered as the geological heritage and/or antecedent topography), that was the substrate over which the barrier migrated during the Holocene, on the geological evolution of the barrier itself.

With the modeling, the authors were able to reconstruct the current physiography of the RS coastline, demonstrating that small differences in the slope (a few minutes of degree) of the continental shelf generate significant wave energy gradients and, consequently, variations in the sediment budget which conditioned a differentiated evolution of the Holocene barrier of RS (DILLENBURG et al., 2000; MARTINHO et al., 2009; BITENCOURT et al., 2020a,b).

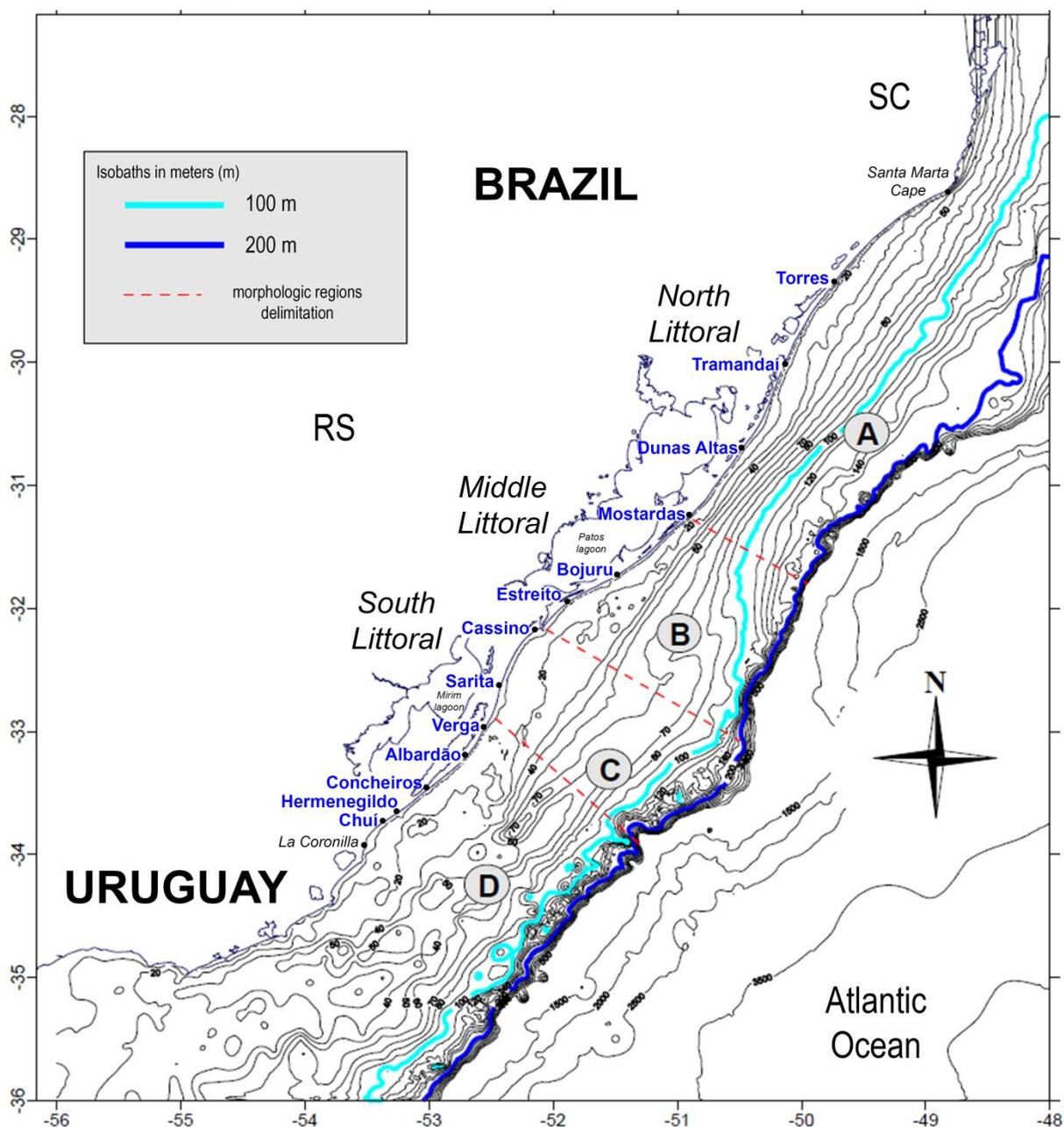
Therefore, there is a correlation between the continental shelf morphology and the coastline configuration where the latter is a geological heritage of the former. Along coastal embayments, the platform is wider and has a gentle slope, while along coastal projections, it is narrower and steeper, in a few minutes of degree (DILLENBURG et al., 2000) (Fig. 1).

Pimenta (1999) stated that the continental shelf of RS can be divided into four regions according to the distinct characteristics of its morphology (Fig. 3).

Regions A (Fig. 4) and C are homogeneous with a smooth bathymetry and

without significant morphological irregularities, being characterized by isobaths parallel to each other and aligned to the coast.

Regions B (Fig. 5) and D (Fig. 6) are heterogeneous, being characterized by the remarked presence of large linear shoals (sand ridges), rocky outcrops of beachrocks and coquinas, and large morphological depressions.



The current morphology of region D can be defined as a "palimpsest" surface where relic features have been partially modified by current hydrodynamics (FIGUEIREDO, 1975).

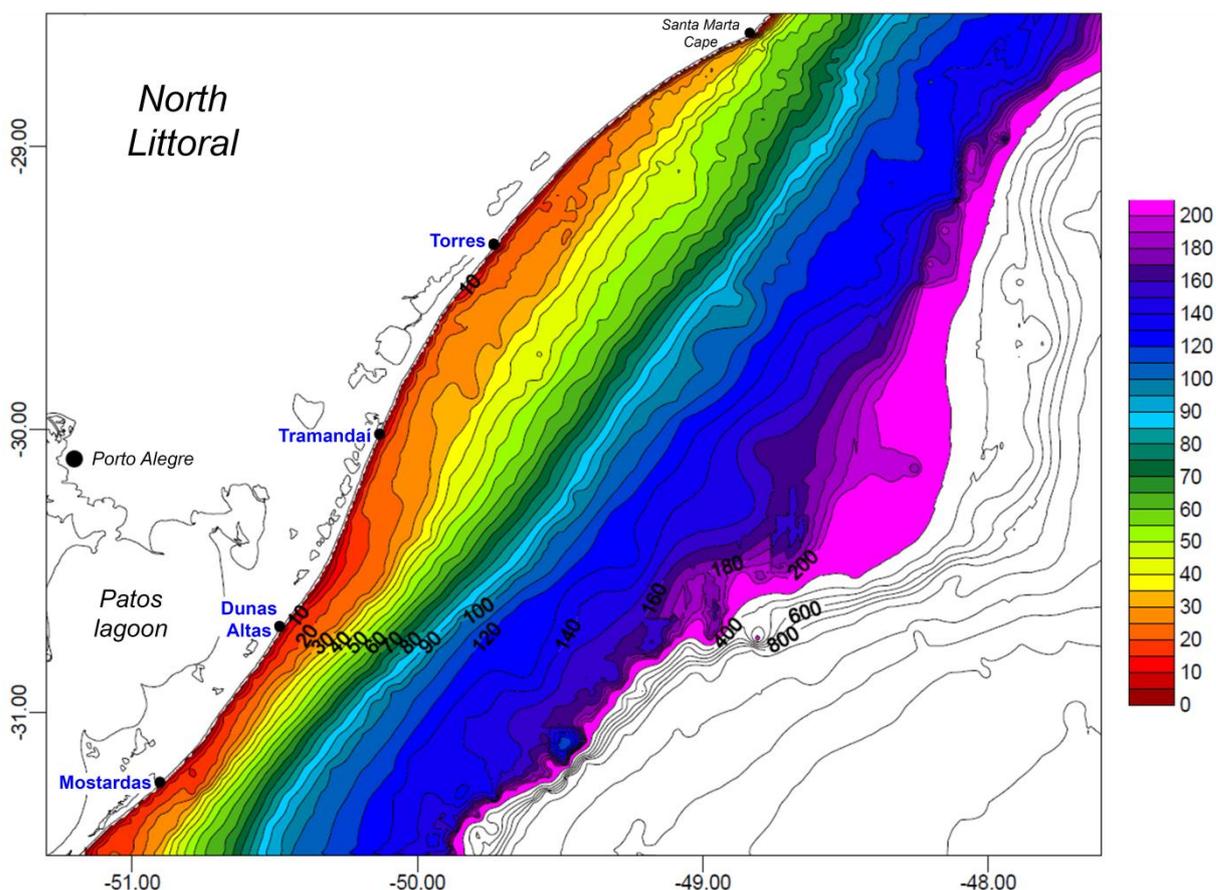


Figure 24. Bathymetry of the shoreface and continental shelf of the North Littoral of RS, showing the homogeneity of the continental shelf of region A in Fig. 3 (colored scale in meters; modified from PIMENTA, 1999).

In view of the more regional aspect of this work analysis, it is highlighted here that regions A-C and B-D are directly linked to the coastal embayments and projections of the Holocene barrier, respectively.

The linear shoals, present in regions B and D of the continental shelf, are formed by quartz sand, displaying bioclastic remains in the upper parts of the shoal and carbonate carapaces in its pits (PIMENTA, 1999).

The beachrocks reflect the sea-level fluctuations, during the Quaternary, and make it possible to identify former coastlines. They are composed of beach

sediments cemented by calcium carbonate and have a different granulometry, from fine sand to large blocks, producing beach conglomerates (CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003).

Along with the beachrocks, heavily cemented coquinas are found, containing fossils of terrestrial and marine vertebrates as well as slightly fragmented and rounded marine mollusks, often recrystallized by microspastic and spastic calcite (DELANEY, 1965; CALLIARI; ABREU, 1984; CALLIARI et al., 1994; BUCHMANN et al., 2001; BUCHMANN; TOMAZELLI, 2003).

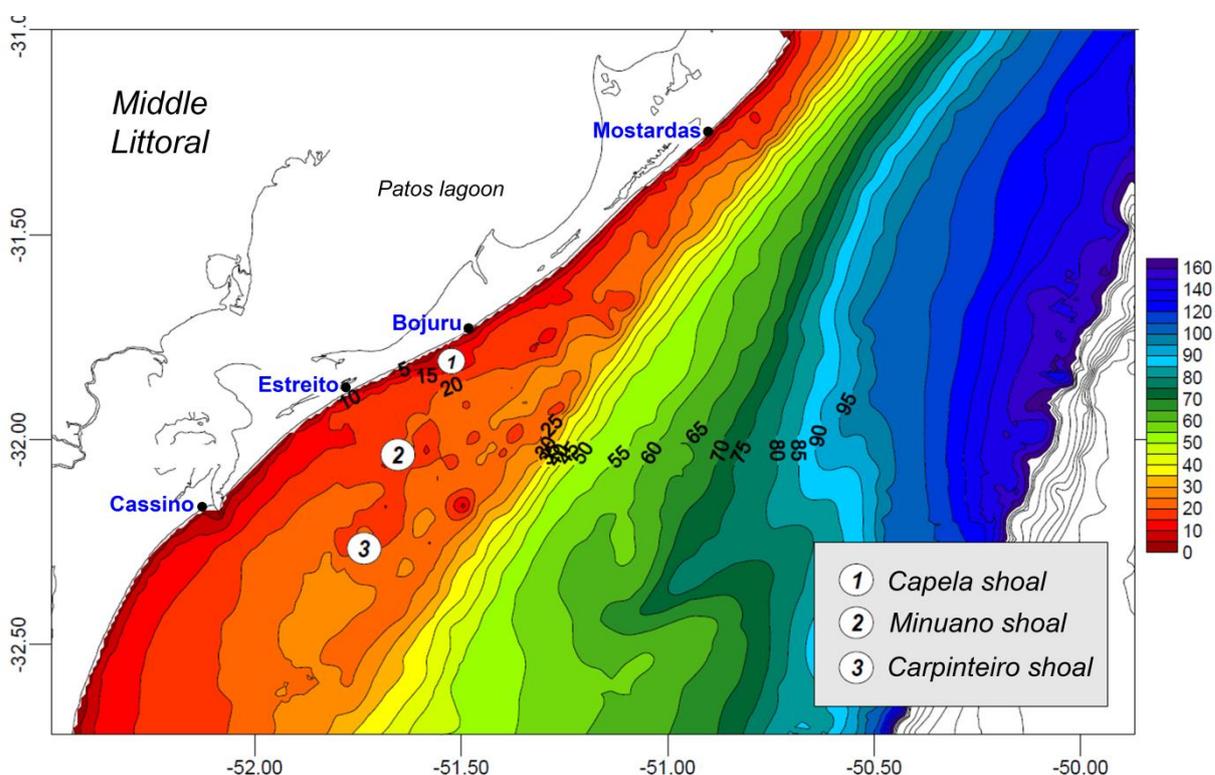


Figure 25. Bathymetry of the shoreface and continental shelf of the Middle Littoral of RS, showing the presence of unconsolidated bathymetric highs (shoals), consolidated bathymetric highs (beachrocks and coquinas) and depressions of region B of Fig. 3 (colored scale in meters; modified from PIMENTA, 1999).

The bathymetric and morphological characteristics of regions B and D (associated with the coastal projections), on a local scale (more punctual), promote the accumulation of bioclastic remains in submerged morphological features (FIGUEIREDO, 1975; CORRÊA; PONZI, 1978; CORRÊA, 1983; MARTINS et al., 1996; ASP et al., 1998; CALLIARI; CORRÊA; ASP, 1999; MARTINS; URIEN; MARTINS, 2003; CORRÊA, 2010), mainly around shoals, as well as promote local

changes (small spatial scale) in wave energy (CALLIARI et al., 1994; CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; CALLIARI; TOZZI; KLEIN, 1998; PIMENTA, 1999; SPERANSKI; CALLIARI, 2000, 2006; VARA, 2012), concentrating or diverging the wave rays, and hence modifying the coastal sediments transportation (NORDSTROM; JACKSON, 1993).

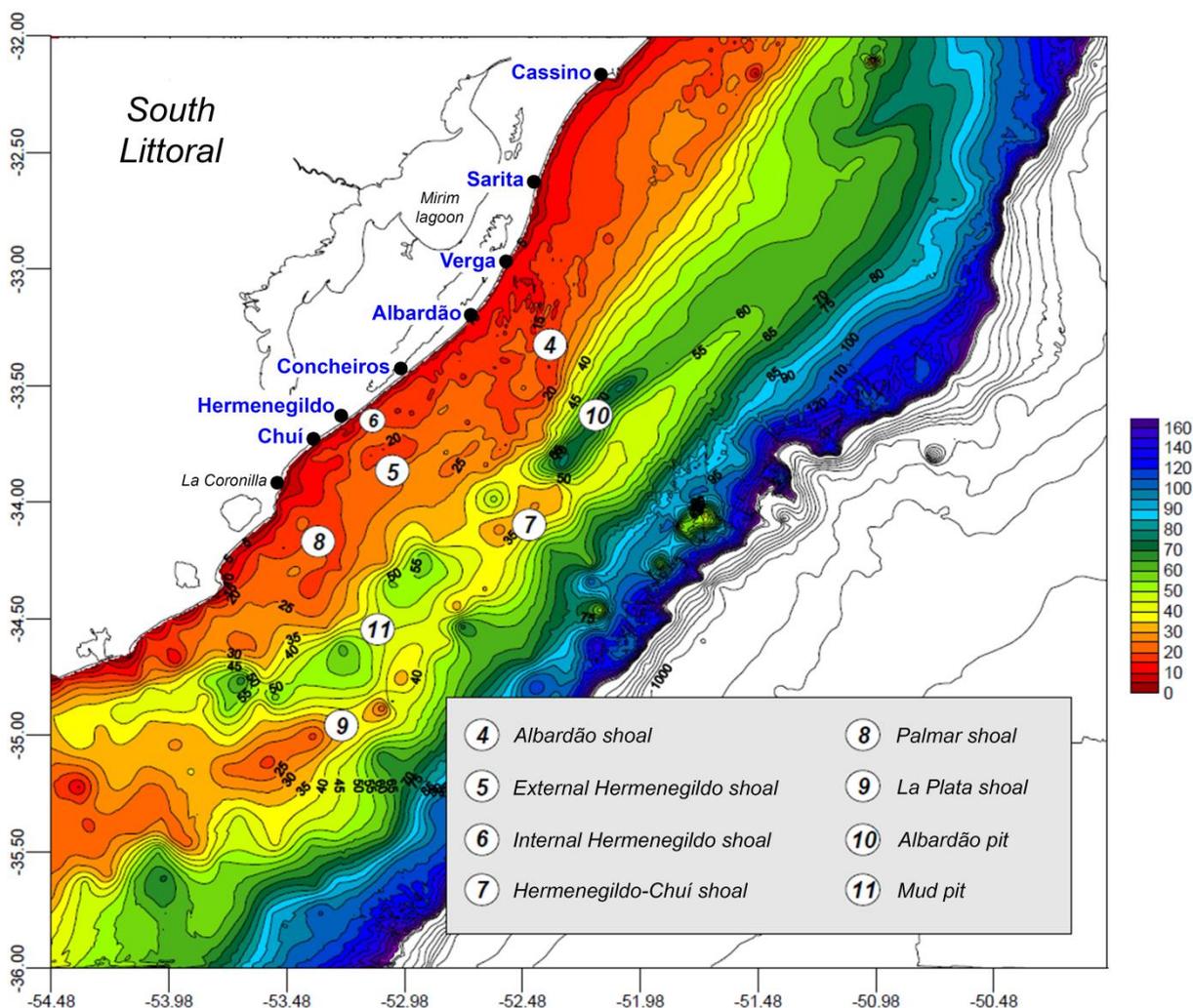


Figure 26. Bathymetry of the shoreface and continental shelf of the South Littoral of RS, showing the presence of unconsolidated bathymetric highs (shoals), consolidated bathymetric highs (beachrocks and coquinas) and depressions of region D of Fig. 3 (colored scale in meters; modified from PIMENTA, 1999).

4.3. Materials and Methods

The fossil bioclasts analyzed here were collected along the entire beach system of the Holocene barrier of RS (Fig. 1), comprising the foreshore, backshore and frontal dunes (beach-frontal dune system) of each beach along the coastline.

In order to better outline the results and discussion, the RS coastline was segmented into North, Middle and South Littoral, and the behavior of the Holocene barrier, located on the coastline, was discussed based on the characteristics of regions A, B, C and D of Pimenta (1999) (Fig. 3).

The samplings of fossil bioclasts were concentrated in regions B, C and D (Fig. 3) since previous observations (*e.g.* BUCHMANN, 2002) indicated the rarity or absence of fossil bioclasts in region A.

In the discussion of the results, the terms projection (convex shoreline) and embayments (concave shoreline) were used to designate the conformation of the coastline (Fig. 2), where there is a tendency for certain evolutionary behaviors of the Holocene barrier in the long-term scale.

4.4. Results

The results showed that the vast majority of fossil bioclasts are skeletal remains fragmented and rounded by coastal hydrodynamics, representing a mixture of terrestrial and marine fauna. The terrestrial vertebrate fauna is composed of skeletal remains of extinct terrestrial mammals (megafauna) representing the orders Edentata, Notoungulata, Litopterna, Proboscidea, Artiodactyla, Perissodactyla, Carnivora and Rodentia. The marine vertebrate fauna is composed of bony and cartilaginous fish, cetaceans, turtles and birds similar to the current fauna, associated with fossil invertebrates such as crustaceans, echinoderms and mollusks.

The fossil bioclasts samplings, along the entire Holoceno barrier of RS, more specifically in its emerged beach system, showed that a higher concentration of fossil bioclasts occurs in:

(1) locations on the coast where the barrier behaves as retrogradant where there is long-term coastline transgression;

(2) locations on the coast where the barrier behaves as retrogradant, located in the southern portion of the coastal projections;

(3) locations on the coast where the barrier behaves as retrogradant, located in the southern portion of the coastal projections and where there are bathymetric highs and morphological depressions on the adjacent shoreface and continental shelf.

Stretches of the Holocene barrier with absence or low occurrence of fossil bioclasts

On the North Littoral, the beaches adjacent to region A (Fig. 4) have an absence or low occurrence of fossil bioclasts. The limit of this characteristic is the stretch of the coastline in which an inflection (change of orientation) occurs, located between regions A and B (Fig. 3).

In the great embayment of the South Littoral, the beaches adjacent to region C (Fig. 3) have a low occurrence of fossil bioclasts, being represented by only a few fossil specimens of terrestrial and marine vertebrates.

The occasional occurrence of fossil bioclasts that are found on Cassino beach, in region C (Fig. 3), have a well-selected granulometry, indicating greater distance from the source-area and, consequently, greater reworking by waves (CRUZ, 2012). These fossil bioclasts come from bathymetric highs and morphological depressions, located in the adjacent shoreface and continental shelf of region D in Figure 3 (detail in Fig. 6), and they are transported by SW waves, following the resultant coastal drift to Northeast (CRUZ et al., 2021, in press).

Stretches of the Holocene barrier with high occurrence of fossil bioclasts

On the Middle Littoral, the beaches adjacent to region B (Fig. 4) have a differentiated distribution of fossil bioclasts. On the beaches South of Mostardas, there is a dominance of fossil bioclasts of crustaceans, associated with beachrocks cemented by carbonate (BUCHMANN et al., 1998).

Also in region B, on the beaches of Bojuru and Estreito, there is a predominance of fossil bioclasts of echinoderms. The presence of fossils bioclasts of

extinct terrestrial mammals becomes more concentrated on the Estreito beach (southern portion of the coastal projection).

According to Buchmann (2002), the differentiated distribution of fossil bioclasts, in region B, is related to the existence of several source-areas on the adjacent shoreface and continental shelf which would be composed of different sedimentary facies deposited during the Quaternary.

On the South Littoral, the beaches adjacent to region D (Fig. 6) have a dominance of fossil bioclasts of extinct terrestrial vertebrates (megafauna), followed by marine vertebrates, both associated with fossil marine shells.

According to Cruz et al. (2021, in press), the terrestrial vertebrate fauna overlaps the marine vertebrate fauna probably due to the presence of terrestrial environments such as wetlands, lagoons and rivers which favor better conditions for terrestrial vertebrate fossilization when compared to shallow marine environments, since terrestrial environments are less energetic and more sheltered.

Although the highest concentration of fossil bioclasts, both in regions B and D (Fig. 3), is restricted to the southern portion of the coastal projections, there is a difference between these regions where region D has 80% more fossil bioclasts when compared to region B (CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016).

4.5. Discussion

The occurrence (distribution) of fossil bioclasts, throughout the beach system of the Holocene barrier, can be explained by the evolutionary behavior of the barrier itself (Fig. 1) and by the morphological characteristics of the adjacent shoreface and continental shelf (Fig. 3), since such morphologies represent the antecedent topography that influenced the evolution of the barrier and, consequently, the distribution of fossil bioclasts.

According to Dillenburg et al. (2009), the term “antecedent topography” represents the ancient emerged coastal morphology which is completely or partially

submerged in conditions of sea-level rise. This is generally referred to as a “geological heritage” factor that influenced the evolution of the coastal barrier.

This coastal morphology, now submerged, represented by the current shoreface and continental shelf, over which the barrier migrated during the sea-level rise, influenced the evolution of the barrier, providing the substrate slope and the general morphology of the continental shelf which in turn controls the wave energy and, consequently, the sediment budget.

The results of the present work indicated that this antecedent topography was crucial in the distribution of fossil bioclasts along the entire emerged beach system of the Holocene barrier. They were previously deposited in the morphological features present on the shoreface and continental shelf (formerly emerged coastal plain) before being transported by waves onto the beaches.

In the beach system of the Holocene barrier adjacent to regions A and C (Fig. 3), the absence or low occurrence of fossil bioclasts can be explained by the progradant behavior of the Holocene barrier, during the last millennia (approximately 6 ka) (DILLENBURG et al., 2000, 2009, 2017; BARBOZA et al., 2011; ROSA et al., 2011, 2017; DILLENBURG; BARBOZA, 2009, 2014; BITENCOURT et al., 2020a,b). In other words, the predominant depositional behavior of these stretches of the barrier has promoted, on a long-term scale, the burial and/or dilution of fossil bioclasts due to a large load of siliciclastic sediments that promoted, according to Dillenburg et al. (2016), the progradation of up to 5 km in the barrier of region A and 17 km in the barrier of region C.

In addition, the accumulation and bottling of siliciclastic sediments that occurs on the coastline inflection (region A and B boundary in Fig. 3) (TOLDO et al., 1999, 2004, 2006) hinders the availability of fossil bioclasts for transportation, since siliciclastic sediments bury the fossil bioclasts available on the adjacent shoreface (southern portion of region A in Fig. 3).

Based on GPR records, Bitencourt et al. (2020a,b) analyzed some data and reinterpreted a long-term progradational evolutionary trend (centuries) for the Holocene barrier in this stretch of the coastline inflection, suggesting that this

accumulation and bottling of siliciclastic sediments operate on a long-term scale.

In the beach system adjacent to regions B and D (Fig. 3), the high occurrence of fossil bioclasts was restricted to the southern portion of the coastal projections of the barrier. The retrogradant behavior (transgressive coastline) of the Holocene barrier (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1989; DILLENBURG et al., 2000, 2009, 2020; CARON et al., 2007, 2011; BARBOZA et al., 2011; ROSA et al., 2011, 2017; LIMA et al., 2013, 2020; DILLENBURG; BARBOZA, 2014; BARBOZA; ROSA, 2014), in the southern portion of coastal projections, was resulted by a negative balance of sediments, caused by the incidence angle of waves coming from the southern quadrant which reach over the coastal projections with greater energy (DILLENBURG et al., 2000; LIMA; ALMEIDA; TOLDO, 2001; MARTINHO, 2008).

The high flow of energy along the southern portion of the coastal projections, on a temporal long-term scale, which determines the retrogradational behavior of the Holocene barrier, has favored the erosion of fossil bioclasts from the morphological features present on the shoreface and continental shelf, since these features were reached by the transgressive sea (Post-Glacial Marine Transgression) about 7-6 ka ago, and also their transport onto the beach.

According to Dillenburg (1994, 1996), during the sea-level rise, the sedimentary deposits of terrestrial environments, in the process of submersion, may have been eroded up to 10 m of their thickness, thus resulting in the exposure of paleolagoons and paleochannels present on the shoreface and continental shelf as suggested by the morphological features of regions B and D (Figs. 5 and 6). The outcrop of lagoon mud and peat on the foreshore and backshore of the southern portion of the coastal projections shows the long-term erosion trend (TOMAZELLI et al., 1998; DILLENBURG et al., 2004).

The long-term erosive events in regions B and D intensified the removal of the modern sedimentary coverage, exposing Pleistocene sediments from lower layers (DILLENBURG; TOMAZELLI; BARBOZA, 2004) and causing a temporal mixture of fossil bioclasts, between 18 and 650 ka, present in the morphological features on the shoreface and continental shelf (LOPES et al., 2010). In other words, the mixture of fossil bioclasts was due to the various sea-level oscillations during the Quaternary

which eroded and mixed them.

The skeletal elements of Pleistocene terrestrial vertebrates, preserved in fluvial paleochannels and continental paleolagoons, were eroded and reworked during the transgressive coastline migration just like the elements of marine vertebrates and invertebrates (BUCHMANN; TOMAZELLI, 1999, 2001, 2003; BUCHMANN, 2002; LOPES et al., 2001, 2010; LOPES; BUCHMANN, 2010; CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016). Currently, these fossil bioclasts are being concentrated on the shoreface and are transported by waves and currents onto the beach system of the Holocene barrier adjacent to regions B and D (Fig. 3).

The current occurrence (distribution) of fossil bioclasts, found in the beach system of the barrier adjacent to regions B and D, reflect the past distribution of fossil bioclasts in the former emerged coastal plain (current continental shelf). Most likely, their occurrence (distribution) on the current continental shelf should follow the past distribution of the living species in their natural environments and the paleoenvironmental conditions of post-mortem preservation and fossilization, evidenced mainly by the morphological depressions on the shoreface and continental shelf where at sea-level lowstands they represented lagoons and fluvial channels (CRUZ et al., 2021, in press).

The presence of lagoon mud and peat on the beaches of region D due to the intense processes of coastal erosion, influenced by the deficit of sediments (TOMAZELLI et al., 1998; DILLENBURG et al., 2000; CARON et al., 2007, 2011; LIMA et al., 2013, 2020), suggest the presence of lagoon features present and outcropping on the shoreface and continental shelf which are represented by the morphological depressions, illustrated in Figure 6, and where the fossil bioclasts are deposited. Something similar occurs with the fossil bioclasts that outcrop in the banks of the Arroio Chuí, located in the southern of the South Littoral (Uruguay border), where the fossils are found in fluvial facies of the Pleistocene barrier-lagoon system III (LOPES et al., 2001, 2009; BUCHMANN, 2002; AIRES; LOPES, 2012; LOPES, 2013).

The analysis on a spatial and temporal long-term scale allows us to conclude that the shoreface and continental shelf have been a source-area of fossil bioclasts

since the last 7-6 ka when the sea-level assumed its current position. More precisely, it is noteworthy that, with the sea-level dropping by approximately 2 meters, in the last 6-5 ka (DILLENBURG et al., 2017), and with the consequent lowering of the wave action base-level (approximately of 2 meters), it was produced an erosion of at least 2 meters of the adjacent shoreface and continental shelf thickness, thus increasing the availability of fossil bioclasts for transport towards the beach.

The greater concentration of fossil bioclasts in the beach system of the barrier adjacent to region D seems to be related, in an important way, with the morphology of the adjacent shoreface since the shoreface of region D (Fig. 6) has a greater amount of bathymetric highs which concentrate the fossil bioclasts and waves rays (CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998; PIMENTA, 1999; SPERANSKI; CALLIARI, 2000, 2006; VARA, 2012), and has a greater amount of morphological depressions that represent former fluvial channels, coastal lagoons and wetlands, which are favorable environments for fossilization of skeletal elements (CRUZ; DILLENBURG; BUCHMANN, 2016; CRUZ et al., 2021, in press).

Thus, it seems clear that there is a close relationship between the occurrence (distribution) of fossil bioclasts in the beach system of the Holocene barrier and the evolution of the barrier itself. The fossil bioclasts data showed that a higher concentration of fossil bioclasts occurs in an increasing order (from 1 to 3) under the following conditions:

(1) places on the coastline where the barrier behaves as retrogradant where there is long-term coastline transgression due to the high rates of coastal erosion and sediment removal;

(2) places on the coastline where the barrier behaves as retrogradant, located in the southern portion of the coastal projections, where there are long-term coastline transgression and high rates of coastal erosion due to the incidence of more energetic southern waves;

(3) places on the coastline where the barrier behaves as retrogradant, located in the southern portion of the coastal projections, where there are presence of bathymetric highs and morphological depressions on the adjacent shoreface and

continental shelf. The bathymetric highs concentrate the fossil bioclasts and wave rays and the morphological depressions represent former fluvial channels, coastal lagoons and wetlands which are favorable environments for fossilization of skeletal elements.

4.6. Conclusions

The occurrence (distribution) and concentration of fossil bioclasts, along the entire emerged beach system of the Holocene barrier of RS, are closely related to the geological evolution of the barrier itself and to the morphological features present on the adjacent shoreface and continental shelf.

Along stretches of the coast where the Holocene barrier behaves as retrogradant (transgressive coastline), located mainly in the southern portion of the coastal projections, there is a greater amount of fossil bioclasts. While, along stretches where the barrier behaves as progradant (regressive coastline), located mainly in the coastal embayments, the amount of fossil bioclasts is considerably less or there is an absence of them.

The differentiated distribution of fossil bioclasts, found on the beaches in the southern portion of the coastal projections (places with a greater amount of fossil bioclasts), where the Holocene barrier behaves as retrogradant, reflect the past distribution of the living species in their natural environments and the paleoenvironmental conditions of post-mortem preservation and fossilization, evidenced mainly by the morphological depressions present on the shoreface and continental shelf (former emerged coastal plain) where at sea-level lowstands they represented fluvial channels, coastal lagoons and wetlands.

It is concluded that the morphology of the former emerged coastal plain (antecedent topography) was determinant in the evolution of the Holocene barrier and in the evolution of the submerged fossiliferous deposits, since the distribution of fossil bioclasts on the current continental shelf should follow the past distribution of fossil bioclasts in the former emerged coastal plain.

4.7. REFERENCES

AIRES, A. S. S.; LOPES, R. P. Representativity of Quaternary mammals from the southern Brazilian continental shelf. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 15, p. 57-66, 2012. DOI:10.4072/rbp.2012.1.05

ALBUQUERQUE, M. G. **Análise espaço-temporal das causas de variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013. 127p.

ANDRADE, M. M.; TOLDO, E. E.; NUNES, J. C. R. Tidal and subtidal oscillations in a shallow water system in southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 3, p. 245-254, 2018.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. **Marine Geology**, v. 140, p. 141-166, 1997. DOI:10.1016/S0025-3227(97)00015-7

ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C. F.; SUGUIO, K.; PESSEDA, L. C. R. The relative sea-level changes in the last 5,500 years southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina state) based on vermetid ¹⁴C ages. **Marine Geology**, v. 159, p. 327-339, 1999.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of the mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, v. 25, n. 5/6, p. 486-506, 2006.

ASP, N. E. **Avaliação da potencialidade de depósitos de calcário biodetrítico da plataforma interna e linha de costa do sul do RS**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1996. 72p.

ASP, N. E.; SIEGLE, E.; CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S. Sedimentos da região do Parcel do Carpinteiro, Rio Grande do Sul. In: XI Semana Nacional de

Oceanografia, 11., 1998, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: 1998. p. 503-505.

BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J. Erosional features of the eastern margin of the Patos lagoon, southern Brazil: significance for Holocene history. **Journal of Coastal Research**, **SI**, v. 35, p. 260-264, 2003.

BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; HESP, P. A.; DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Evolution of the Holocene coastal barrier of Pelotas Basin (southern Brazil) - a new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 646-650, 2011.

BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C. Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul, Brasil. In: GOSO, C. (Ed.). **Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros: sur de Brasil, Uruguay y Argentina**. Montevideo: DIRAC, 2014. v. 1, p. 83-98.

BARLETTA, R. C.; CALLIARI, L. J. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 117-124, 2001.

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R. Application of multivariate statistical techniques in alongshore differentiation of coastal barriers. **Marine Geology**, v. 419, p. 106077, 2020. DOI: 10.1016/j.margeo.2019.106077

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; MANZOLLI, R. P. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, p. 529-548, 2020a. DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1789

BITENCOURT, J. B.; DILLENBURG, S. R.; MANZOLLI, R. P.; BARBOZA, E. G. Control factors in the evolution of Holocene coastal barriers in southern Brazil. **Geomorphology**, v. 360, p. 107180, 2020b. DOI:10.1016/j.geomorph.2020.107180

BUCHMANN, F. S. C. **Estudo microfossilífero na porção sul da Planície**

Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1994a. 82p.

BUCHMANN, F. S. C. Distribuição dos fósseis pleistocênicos na zona costeira e plataforma continental interna no Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 17, p. 355-364, 1994b.

BUCHMANN, F. S. C.; BOND-BUCKUP, G.; TOMAZELLI, L. J. Tafonomia de crustáceos quaternários na plataforma continental interna, RS, Brasil: um estudo preliminar. **Nauplius**, v. 6, p. 169-183, 1998.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Fósseis da megafauna terrestre coletados na plataforma continental interna, RS, Brasil, e sua relação com a dinâmica costeira passada e atual. In: VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 7., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: 1999. 3p.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. A influência do substrato pré-holocênico na distribuição de bioclastos carbonáticos ao longo da linha de costa (pós-praia) do Rio Grande do Sul. In: VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8., 2001, Imbé. **Anais...** Imbé: 2001. p. 58-59.

BUCHMANN, F. S. C.; SEELIGER, M.; ZANELLA, L. R.; MADUREIRA, L. S. P.; TOMAZELLI, L. J.; CALLIARI, L. J. Análise batimétrica e sedimentológica no estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia pleistocênica na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 109-115, 2001.

BUCHMANN, F. S. C. **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) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002. 120p.

BUCHMANN, F. S. C.; TOMAZELLI, L. J. Relict nearshore shoals of Rio

Grande do Sul, southern Brazil: origin and effects on nearby modern beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 35, p. 318-322, 2003.

CALLIARI, L. J.; ABREU, J. G. N. Litologia da plataforma continental interna adjacente à cidade do Rio Grande (RS), através da interpretação de registros de sonar de varredura lateral e amostragem superficial. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1984. p. 1553-1564.

CALLIARI, L. J.; ESTEVES, L. S.; OLIVEIRA, C. P. L.; TOZZI, H. A. M.; PEREIRA, R. S.; CARDOSO, J. N. Padrões sonográficos e sedimentológicos de um afloramento de “beachrock” na plataforma interna do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 7, p. 27-32, 1994.

CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N.; BOUKAREVA, I. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, v. 26, p. 19-23, 1998.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. M.; KLEIN, A. H. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil, Rio Grande to Chuí, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 231-247, 1998.

CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S.; ASP, N. E. Inner shelf and beach seashell resources in southern Brazil. In: MARTINS, L. R. S.; SANTANA, C. I. (Ed.). **Non-living resources of the southern Brazilian coastal zone and continental margin**. Porto Alegre: Osnir/Serg/Seco/UFRGS, 1999. p. 39-49.

CALLIARI, L. J.; TOLDO, E. E. Ocean beaches of Rio Grande do Sul. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. (Ed.). **Brazilian beach systems**. Springer, 2016. p. 507-541.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; DEHNHARDT, B. A.; MEDEANIC, S.; DILLENBURG, S. R. A transgressão marinha pós-glacial na região de desembocadura do Arroio Chuí, Planície Costeira do Rio Grande do Sul: implicações paleogeográficas. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 11., 2007, Belém. **Resumos...** Belém: 2007. p. 6.

CARON, F.; TOMAZELLI, L. J.; LIMA, L. G.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; DILLENBURG, S. R. Características estratigráficas da barreira transgressiva holocênica na praia dos Concheiros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 13., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: 2011. p. 107-111.

CECILIO, R. O.; DILLENBURG, S. R. An ocean wind-wave climatology for the southern Brazilian shelf. Part II: variability in space and time. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 88, p. 101103, 2019. DOI:10.1016/j.dynatmoce.2019.101103

CORRÊA, I. C. S.; PONZI, V. R. Depósitos de calcário biodetríticos das regiões do Albardão e Mostardas na plataforma interna do Rio Grande do Sul. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: 1978. 16p.

CORRÊA, I. C. S. Depósitos de material carbonático em la plataforma Interna del Rio Grande do Sul. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS MARINOS DEL PACÍFICO, 1983, Viña del Mar. **Actas...** Viña del Mar: 1983. p. 155-163.

CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, L. R. S.; KETZER, J. M. M.; ELIAS, A. R. D.; MARTINS, R. Evolução sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sudeste e sul do Brasil. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 51-61, 1996.

CORRÊA, I. C. S. Mapeamento e recursos minerais na plataforma continental e área oceânica internacional. In: LXII Reunião Anual da SBPC, 62., 2010, Natal. **Anais...** Natal: 2010. 5p.

COWELL, P. J.; ROY, P. S.; JONES, R. A. Shoreface translation model: computer simulation of coastal sand body response to sea level rise. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 33, p. 603-608, 1992.

CRUZ, E. A. **Estudo tafonômico e taxonômico dos fósseis pleistocênicos**

da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Vicente. 2012. 216p.

CRUZ, E. A.; DILLENBURG, S. R.; BUCHMANN, F. S. C. 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**, v. 19, n. 3, p. 425-438, 2016. DOI: 10.4072/rbp.2016.3.08

CRUZ, E. A.; DILLENBURG, S. R.; BUCHMANN, F. S. C.; BITENCOURT, V. J. B.; CARON, F. A morfologia da antepraia (*shoreface*) e plataforma continental controlando a distribuição de bioclastos fósseis nas praias arenosas do RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2021. No prelo.

DELANEY, P. J. V. Fisiografia e geologia de superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial, Instituto de Geociências**, v. 6, p. 1-63, 1965.

DILLENBURG, S. R. **A laguna de Tramandaí: evolução geológica e aplicação do método geocronológico da termoluminescência na datação de depósitos sedimentares lagunares.** Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1994. 142p.

DILLENBURG, S. R. O potencial de preservação dos registros sedimentares do Sistema Depositional Laguna/Barreira IV na costa do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 9, p. 1-11, 1996.

DILLENBURG, S. R.; ROY, P. S.; COWELL, P. J.; TOMAZELLI, L. J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation Barrier Model (STM). **Journal of Coastal Research**, v. 16, p. 71-81, 2000.

DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; BARBOZA, E. G. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, v. 203, p. 43-56,

2004. DOI:10.1016/S0025-3227(03)00330-X

DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; BARBOZA, E. G.; CLEROT, L. C. P.; SILVA, D. B. Stratigraphy and evolution of a prograded, transgressive dunefield barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, n. 1, p. 132-135, 2006.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G. Long- and short-term progradation of a regressive barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 56, p. 599-601, 2009.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; CLEROT, L. C. P.; AYUP-ZOUAIN, R. N. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (Ed.). **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil**. Springer, 2009. p. 53-91.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G. The strike-fed sandy coast of southern Brazil. **Geological Society, Special Publications**, v. 388, p. 333-352, 2014.

DILLENBURG, S. R.; HESP, P.; CECILIO, R.; MIOT, G. S. Wave energy as a control on dune development on two regressive barriers in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, p. 273-277, 2016. DOI:10.2112/SI75-55.1

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A. O. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka. **Marine Geology**, v. 390, p. 106-119, 2017. DOI:10.1016/j.margeo.2017.06.007

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; BITENCOURT, J. B. Changes in the littoral drift system of the Uruguayan coast during the Holocene and its influence in the continuing erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 95, p. 453-457, 2020.

ESTEVEES, L. S.; TEIXEIRA, P. S.; WILLIAMS, J. Managing coastal erosion:

from long-term coastal evolution to seasonal shoreline changes. **IAHS-AISH publication**, v. 325, p. 516-523, 2008.

FIGUEIREDO, A. G. **Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1975. 72p.

IMBRIE, J.; HAYS, J. D.; MARTINSON, D. G.; MCINTYRE, A.; MIX, A. C.; MORLEY, J. J.; PISIAS, N. G.; PRELL, W. L.; SHAKLETON, N. J. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of marine 18O record. In: BERGER, A. L.; IMBRIE, J.; HAYS, J.; KUKLA, G.; SALTZMAN, B. (Ed.). **Milankovitch and climate, Part 1**. Springer Netherlands, 1984. v. 126, p. 269-305. DOI:10.1007/978-94-017-4841-4

INMAN, D. L.; NORDSTROM, E. On the tectonic and morphologic classification of coasts. **The Journal of Geology**, v. 79, n. 1, p. 1-21, 1971.

KOERNER, K. F. **Variação espaço-temporal em médio e curto termo da orla do balneário Hermenegildo, RS**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2009. 63p.

LIMA, S. F.; ALMEIDA, L. E. S. B.; TOLDO, E. E. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 99-107, 2001.

LIMA, L. G.; DILLENBURG, S. R.; MEDEANIC, S.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; TOMAZELLI, L. J. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 42, p. 27-38, 2013. DOI:10.1016/j.jsames.2012.07.002

LIMA, L. G.; DILLENBURG, S. R.; BUCHMANN, F. S. C.; PARISE, C. O significado paleogeográfico das turfeiras costeiras do Rio Grande do Sul. **Revista Geociências**, v. 39, n. 2, p. 393-410, 2020.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F.; ITUSARRY, M. E. G. S. Tafonomia dos fósseis de vertebrados (megafauna extinta) encontrados ao longo das barrancas do Arroio Chuí e linha de costa, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 67-73, 2001.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F.; ITUSARRY, M. E. G. S. Barrancas fossilíferas do Arroio Chuí, RS - importante megafauna pleistocênica no extremo sul do Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S. (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. CPRM, 2009. v. 2, p. 355-362.

LOPES, R. P.; BUCHMANN, F. S. C. Pleistocene mammals from the southern Brazilian continental shelf. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, p. 17-27, 2010. DOI:10.1016/j.jsames.2010.11.003

LOPES, R. P.; OLIVEIRA, L. C.; FIGUEIREDO, A. M. G.; KINOSHITA, A.; BAFFA, O.; BUCHMANN, F. S. C. ESR dating Pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Quaternary International**, v. 212, p. 213-222, 2010. DOI:10.1016/j.quaint.2009.09.018

LOPES, R. P. Biostratigraphy of the Pleistocene fossiliferous deposits of southern Brazilian coastal area. **Journal of Mammalian Evolution**, v. 20, p. 69-82, 2013b. DOI: 10.1007/s10914-011-9173-y

LOPES, R. P.; DILLENBURG, S. R.; SCHULTZ, C. L.; FERIGOLO, J.; RIBEIRO, A. M.; PEREIRA, J. C.; HOLANDA, E. C.; PITANA, V. G.; KERBER, L. The sea-level highstand correlated to marine isotope stage (MIS) 7 in the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, p. 1573-1595, 2014. DOI:10.1590/0001-3765201420130274

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, v. 19, p. 101-124, 2003.

MARTINHO, C. T. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008. 241p.

MARTINHO, C. T.; DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 25, p. 285-293, 2009.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; CORRÊA, I. C. S.; MARTINS, I. R. Late Quaternary processes along the Rio Grande do Sul continental shelf (southern Brazil). **Notas Técnicas**, v. 9, p. 62-68, 1996.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; MARTINS, I. R. Modelos deposicionais marinhos e recursos minerais associados. **Gravel**, v. 1, p. 106-130, 2003.

MOTTA, L. M.; TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NUNES, J. C. Sandy sediment budget of the midcoast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Marine Research**, v. 73, p. 49-69, 2015.

NORDSTROM, K. F.; JACKSON, N. L. Distribution of surface pebbles with changes in wave energy on a sandy estuarine beach. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 63, n. 6, p. 1152-1159, 1993.

PIMENTA, F. M. **Caracterização dos regimes de refração de onda ao longo da zona costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Curso de Graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 1999. 71p.

ROSA, M. L. C. C.; BARBOZA, E. G.; DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; AYUP-ZOUAIN, R. N. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 686-690, 2011.

ROSA, M. L. C. C.; BARBOZA, E. G.; ABREU, V. S.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, n. 2, p. 183-207, 2017. DOI:10.1590/2317-4889201720160138

ROY, P. S.; COWELL, M. A.; FERLAND, M. A.; THOM, B. G. Wave-dominated coasts. In: CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. (Ed.). **Coastal evolution - Late Quaternary shoreline morphodynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 121-186.

SCHWAB, W. C.; THIELER, E. R.; ALLEN, J. R.; FOSTER, D. S.; SWIFT, B. A.; DENNY, J. F. Influence of inner-continental shelf geologic framework on the evolution and behavior of the barrier-island system between Fire Island inlet and Shinnecock inlet, Long Island, New York. **Journal of Coastal Research**, v. 16, p. 408-422, 2000.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Bathymetric lenses and localized coastal erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 34, p. 209-215, 2000.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In: MUEHE, D. (Ed.). **Erosão e progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 446-454.

STICA, J. M.; ZALÁN, P. V.; FERRARI, A. L. The evolution of rifting on the volcanic margin of the Pelotas Basin and the contextualization of the Paraná-Etendeka LIP in the separation of Gondwana in the South Atlantic. **Marine and Petroleum Geology**, v. 50, p. 1-21, 2014.

TOLDO, E. E.; DILLENBURG, S. R.; ALMEIDA, L. E. S. B.; MARTINS, R. R.; CUNHA, L. O. B. P. Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 27-32, 1993.

TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; BARROS, C. E.; BAITELLI, R.;

MARTINS, L. R. S.; NICOLODI, J. L. Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone, Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). **Non Living resources of the southern Brazilian coastal zone and continental margin**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1999. p. 62-68.

TOLDO, E. E.; NICOLODI, J. L.; ALMEIDA, L. E. S. B.; CORRÊA, E. C. S. Coastal dunes and shoreface width as a function of longshore transport. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 390-394, 2004.

TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NICOLODI, J. L.; MARTINS, L. R. S. Erosão e acreção da zona costeira. In: MUEHE, D. (Ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. v. 1, p. 468-476.

TOMAZELLI L. J.; VILLWOCK J. A. Processos erosivos na costa do Rio Grande do Sul, Brasil: evidências de uma provável tendência contemporânea de elevação do nível relativo do mar. In: II Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2., 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1989. p. 16.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Considerações sobre o ambiente praias e deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.; DILLENBURG, S. R.; BACHI, F. A.; DEHNHARDT, B. A. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 221-229, 1998.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J. A. Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul Coastal Plain, southern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 470-472, 2000.

VARA, S. S. **Análise numérica da propagação de ondas na costa do Rio Grande do Sul entre Arroio Chuí e Sarita**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Curso de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do

Rio Grande, Rio Grande. 2012. 190p.

VILLWOCK, J. A.; LOSS, E. L.; DEHNHARDT, E. A.; TOMAZELLI, L. J.; HOFFMEISTER, T. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. In: Memorias del Seminario sobre Ecología Bentónica y Sedimentación de la Plataforma Continental del Atlántico Sur, 1979, Montevidéo. **Memórias...** Montevidéo: 1979. p. 407-414.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 8, p. 1-45, 1995.

WESCHENFELDER, J.; BAITELLI, R.; CORRÊA, I. C. S.; BORTOLIN, E. C.; SANTOS, C. B. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 55, p. 83-93, 2014. DOI:10.1016/j.jsames.2014.07.004

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.

CAPÍTULO 5

Considerações Finais

5.1. Considerações Finais

A distribuição dos bioclastos fósseis, ao longo de todo o sistema praias da barreira holocênica do RS, está intimamente relacionada à evolução geológica da barreira e às feições morfológicas presentes na antepraia e plataforma continental.

Ao longo de trechos da costa onde a barreira se comporta como retrogradante (linha de costa transgressiva), localizadas, principalmente, ao sul das projeções costeiras, somado a erosão de longo prazo por déficit de sedimentos nestes locais, há uma maior quantidade de bioclastos fósseis.

Enquanto que, ao longo de trechos onde a barreira se comporta como progradante (linha de costa regressiva), localizadas, principalmente, nos embaiamentos costeiros, somado a abundância de sedimentos siliciclásticos nestes locais, a quantidade de bioclastos fósseis é consideravelmente menor ou há ausência dos mesmos.

A topografia antecedente representada pela antiga planície costeira emergente, que agora está submersa (atual plataforma continental), foi o substrato por sobre o qual a barreira migrou, durante a subida do nível do mar, influenciando na evolução da barreira e na evolução dos depósitos fossilíferos submersos.

A análise em larga escala espacial e temporal, permite concluir que a antepraia e plataforma continental vêm sendo fonte de bioclastos fósseis desde os últimos 7-6 ka, quando o nível do mar assumiu sua atual posição, após as várias oscilações de natureza glacio-eustática do nível do mar, ocorridas no Quaternário Médio e Tardio.

A distribuição diferenciada de bioclastos fósseis, encontrados nas praias ao sul das projeções costeiras, onde a barreira holocênica se comporta como retrogradante, reflete a distribuição pretérita das espécies vivas em seus ambientes naturais e as condições ambientais de preservação e fossilização *post mortem*.

Os eventos erosivos de longo prazo, que ocorrem ao sul das projeções costeiras (barreiras transgressivas), intensificaram a remoção da cobertura

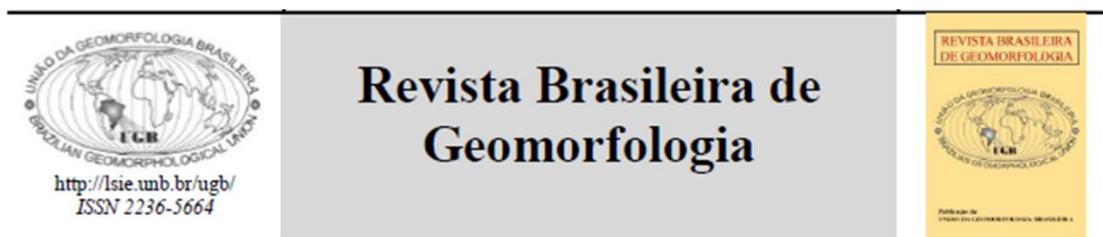
sedimentar moderna, expondo sedimentos pleistocênicos de camadas inferiores, ocasionando uma mistura temporal dos bioclastos fósseis presentes em feições morfológicas na antepraia e plataforma continental.

Os bioclastos fósseis representam uma mistura de vertebrados terrestres e vertebrados e invertebrados marinhos, associados a depósitos de conchas marinhas fósseis. Entretanto, a maioria dos bioclastos fósseis são espécimes de vertebrados terrestres extintos (megafauna), em função dos ambientes terrestres favorecerem melhores condições para a fossilização em comparação com os ambientes marinhos rasos, uma vez que os ambientes terrestres são menos energéticos e mais abrigados.

Os elementos esqueléticos de vertebrados terrestres, presentes em feições morfológicas da antepraia e plataforma continental (antigos ambientes terrestres), foram retrabalhados pelas oscilações do nível do mar e, modernamente, estão sendo concentrados na antepraia e transportados por ondas e correntes para o sistema praiado de alguns trechos da barreira holocênica do RS.

ANEXOS

I) Comprovante de submissão dos artigos 1 e 2



Declaração

Em nome da Revista Brasileira de Geomorfologia, declaro para os devidos fins que o senhor **Erick Antal Cruz** submeteu para avaliação os artigos **“Variação temporal (20 anos) da distribuição e grau de preservação dos fósseis de vertebrados pleistocênicos na linha de costa do extremo sul do Brasil”** e **“A morfologia da antepraia (shoreface) e plataforma continental controlando a distribuição de bioclastos fósseis nas praias arenosas do RS”**.

No momento o site da revista encontra-se em manutenção e assim que a situação for normalizada os artigos seguirão para avaliação.

Curitiba, 14 de abril de 2021.

Atenciosamente,

Leonardo J. C. Santos

Leonardo José Cordeiro Santos
Editor-chefe da
Revista Brasileira de Geomorfologia

II) Comprovante de submissão do artigo 3

15/04/2021

ScholarOne Manuscripts



Anais da Academia Brasileira de Ciências

[Home](#)[Author](#)

Submission Confirmation

[Print](#)

Thank you for your submission

Submitted to

Anais da Academia Brasileira de Ciências

Manuscript ID

AABC-2021-0574

Title

The Holocene barrier evolution and the distribution of fossil bioclasts on the beaches of southern Brazil

Authors

Antal Cruz, Erick

Buchmann, Francisco

Dillenburg, Sergio

Borges De Bitencourt, Volney Junior

Date Submitted

15-Apr-2021

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
Controles geológicos e oceanográficos da distribuição de bioclastos fósseis no sistema praiial da barreira holocênica do sul do Brasil
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autor: Erick Antal Cruz
Orientador: Prof. Dr. Sergio Rebello Dillenburg
Examinador: Prof. Dr. Rogerio Portantiolo Manzolli
Data: 25/05/2021
Conceito: B (Bom)
PARECER:
<p>A Tese de Erick Antal Cruz é uma investigação que integra várias abordagens, tanto de caráter Oceanográficos quanto geológicos, para tentar compreender a distribuição de fósseis na área de praia do litoral médio e sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Desta maneira, o autor propôs uma hipótese baseada na compreensão da ocorrência e distribuição espacial dos fósseis como subsídio para o entendimento do balanço sedimentar diferencial presente na costa do RS. Esta abordagem foi seguida transversalmente pela proposição de objetivos bem delineados. Através da análise da distribuição espacial somada a descrição taxonômica dos fósseis e sua correlação com as condições meteoceanográficas, para o período de estudo, com as características geomorfológicas da antepraia e da plataforma continental, o autor interpreta que existe uma inter-relação entre os fatores.</p> <p>Apesar do esforço amostral ter sido intenso, pelo número de pontos de coleta, pela extensão da área de estudo e pelo período amostral (+ de 20 anos), o autor poderia ter apresentado mais detalhes das amostras de fósseis encontrados. Também, as correlações com as condições meteoceanográficas ficaram pouco evidentes, uma vez que o autor fez uso apenas de dados secundários e com uma defasagem temporal. As correlações geológicas e geomorfológicas da antepraia e da plataforma continental se mostraram satisfatórias para a compreensão da</p>

ocorrência pontual da maior concentração de fosseis.

Neste sentido, como pontos a serem melhorados, caso seja necessário revisar os artigos submetidos:

1º explorar melhor os dados estatísticos das amostras de fosseis, com uma análise mais aprofundada.

2º aperfeiçoar as discussões dos resultados, fazendo uso de outros trabalhos que correlacionem o transporte de matérias da antepraia em direção à praia.

3º Integrar dados mais recentes das condições meteoceanográficas e, também, de dados atuais da variação da linha de costa nas áreas de estudo, com a finalidade de enfatizar a correlação dos processos erosivos com a ocorrência dos fosseis na área de praia.

Finalmente, considero que a Tese apresentada possui uma boa relevância científica, no qual contribui a continua busca do entendimento dos processos evolutivos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

Avalio que **Erick Antal Cruz** está **APTO** a obter o título de **Doutor em Ciências** pelo **Programa de Pós-Graduação Geociências** da **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**.



Assinatura:

Data: 25/05/2021

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
Controles geológicos e oceanográficos da distribuição de bioclastos fósseis no sistema praiado da barreira holocênica do sul do Brasil	
Área de Concentração: Geologia Marinha	
Autor: Erick Antal Cruz	
Orientador: Prof. Dr. Sergio Rebello Dillenburg	
Examinador: Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto	
Data: 25/05/2021	
Conceito: B - Bom	
PARECER:	
<p>A tese aborda um tema que, para mim, é de grande interesse e relevância científica, sendo também desafiador. O candidato e orientadores estão de parabéns por enfrentar este desafio. Em função das dificuldades intrínsecas do tema, a presente tese necessita de modificações estruturais e de conteúdo, mas que não comprometem neste momento a sua aprovação. A tese integra uma grande quantidade de dados amostrais de bioclastos fósseis na zona costeira do Rio Grande do Sul e usa sua distribuição espaço-temporal, diversidade taxonômica, de estado de preservação e tamanho, para inferir inclusive sobre a evolução da barreira holocênica, onde dois aspectos fundamentais se destacam: O papel das áreas-fonte do substrato, num contexto mais geológico (i), e o papel da dinâmica atual na distribuição dos bioclastos, num aspecto mais oceanográfico (ii). Considero a tese APROVADA e encaminho em anexo documento com uma série de comentários e sugestões.</p>	
Assinatura: 	Data: 25/05/2021
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
Controles geológicos e oceanográficos da distribuição de bioclastos fósseis no sistema praiial da barreira holocênica do sul do Brasil	
Área de Concentração: Geologia Marinha	
Autor: Erick Antal Cruz	
Orientador: Prof. Dr. Sergio Rebello Dillenburg	
Examinador: Prof. Dr. Guilherme Borges Fernandez	
Data: 25/05/2021	
Conceito: B	
PARECER:	
<p>O trabalho versa sobre a ocorrência de sedimentos de origem biogênica, distribuídos ao longo de parte da costa do RS. Tal distribuição foi associada a diferentes fatores de ordem geológica e oceanográfica. O estudante apresentou os resultados em formato de três artigos, sendo dois na mesma revista e um num formato mais no prelo. Na parte introdutória, o candidato poderia explorar mais os aspectos relacionados a flutuações no nível do mar e geologia antecedente, além da dinâmica costeira e processos hidrodinâmicos, separando, portanto, aspectos relacionados ao tempo geológico e ao tempo histórico. Os artigos 1 e 2 provavelmente serão ser agrupados em um artigo em que versaria sobre os processos de ordem histórica em termos de espaço e tempo, associados a distribuição dos bioclastos. O segundo artigo, ainda em fase de preparação, deve incorporar resultados antes da discussão. Em função do documento apresentado, em que se verifica ainda necessidade de melhor elaboração final, o conceito B está justificado. Ressalto que o trabalho tem mérito para o grau de Doutor, sendo apenas necessário uma melhor elaboração dos artigos.</p>	
	
Assinatura:	
Data: 25/05/2021.	
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	