



**EVOLUÇÃO COSTEIRA JUNTO AO BALNEÁRIO ARROIO
CORRENTE, JAGUARUNA/SC**

Porto Alegre, 2015

GABRIEL SOCCOL

**EVOLUÇÃO COSTEIRA JUNTO AO BALNEÁRIO ARROIO
CORRENTE, JAGUARUNA/SC**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Porto Alegre, 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“EVOLUÇÃO COSTEIRA JUNTO AO BALNEÁRIO ARROIO CORRENTE, JAGUARUNA/SC”**, elaborado por **“GABRIEL SOCCOL”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dra. Carla Ennes Barros

Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Prof. Dr. Ricardo Baitelli

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta monografia. A minha família, amigos e namorada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde, força e discernimento para superar todas as dificuldades enfrentadas ao longo desta jornada.

A toda a minha família, em especial a minha mãe e ao meu pai, Ana e Rony, por terem sido a base para que tudo isso pudesse acontecer, por me guiarem sempre pelo caminho certo e apoio incondicional nos estudos.

Ao meu dentista e amigo, Luiz Carlos Regenin, por estar sempre, mesmo de longe, torcendo muito por mim para que este sonho se concretizasse.

Aos meus amigos e amigas de curta e longa data que sempre estiveram ao meu lado nos momentos bons e, principalmente, nas horas mais difíceis.

Ao meu distante amigo Dudu (Jujo), por ter me estimulado a realizar este curso e me mostrado esta linda e espetacular ciência que é a Geologia. Ao meu grande amigo Marco, geólogo e parceiro de longa data, que sempre me acompanhava nas Horas Felizes, mesmo antes de entrarmos juntos no curso em 2007.

A UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) por ser esta grande e conceituada instituição e que me proporcionou tantos aprendizados e oportunidades durante a vida acadêmica.

A todos meus colegas de curso, por toda a amizade, boas risadas, confraternizações, conversas, eventos e trabalhos de campo que realizamos durante estes nove anos de faculdade. Em especial, Amós e Bruno (Arvorezinha), por contribuírem com seus conhecimentos geológicos e estarem sempre prontos para me auxiliar no que fosse preciso.

A todos os professores e professoras que passaram pela minha vida, que proporcionaram aprendizado e colaboraram para ser quem sou hoje.

A todos os funcionários da UFRGS por manter a ordem e tentar construir uma universidade melhor a cada dia. A todos os chefes que me deram bolsa e oportunidade de trabalhar em diferentes áreas dentro da faculdade, em especial, a Sandra, que me deu o primeiro emprego no meio acadêmico na biblioteca do IPH. Aos funcionários do RU pelas inúmeras refeições. Aos funcionários responsáveis pela limpeza por proporcionar um ambiente mais agradável. Aos motoristas, que de tanto nos acompanhar nos campos, se tornaram companheiros e amigos, em especial, Armando e Claudinho. Aos funcionários da xerox do DAEMA, Alexandre,

Marcos e Rudson, por estarem sempre muito dispostos e facilitar nossa busca de materiais para estudos.

Aos meus amigos do Carbonero Futebol Clube (Futebol do SESC), que me acompanham desde o início da graduação e sempre me ajudaram a esquecer um pouco os problemas jogando futebol e dando boas risadas antes e depois dos jogos. Aos meus colegas de CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) pelas oportunidades e que muito me ensinaram sobre geologia e procedimentos laboratoriais.

Aos meus grandes professores orientadores, Eduardo Barboza e Nelson Gruber, por terem acreditado em mim, me dando a oportunidade de realizar este trabalho de conclusão sob sua orientação. Agradeço pelas experiências, oportunidades, ensinamentos e por despertarem em mim o interesse pela Geologia Costeira e Marinha. Também por toda a atenção, cobranças e esclarecimentos.

A professora Maria Luiza, por ter ajudado e esclarecido diversas questões desde o Projeto Temático em Geologia I, sempre muito prestativa e motivacional, me supervisionando e guiando para ter um melhor entendimento desta pesquisa.

A todo o pessoal do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica), em especial, Ana, Bóris, Gabi, Ina, Julio, Laura, Renato, Sami e Volney, por terem auxiliado muito na concretização deste trabalho, através do seu bom humor, conhecimentos e disposição a clarear as ideias para tomar as melhores decisões.

Aos meus colegas Gabriel Bonfada (Marra) e Lucas Crippa, pela amizade, por compartilharem seus conhecimentos e por toda a troca de ideias que fizemos durante este um ano e meio que ficamos bem próximos, sob orientação do professor Eduardo Barboza.

A minha amada companheira e amiga de todas as horas, meu anjo Taís, por ter ajudado a despertar a minha essência, as minhas virtudes e o melhor do meu Ser; por me mostrar o caminho do Amor; por todo o amor, carinho e dedicação nos meus momentos mais difíceis; pela compreensão nos momentos distantes e por toda a paciência com os meus delírios geológicos.

Gratidão ao Universo por ter conspirado ao meu favor e ter trazido todas essas pessoas especiais ao meu convívio, que carregarei para sempre dentro do coração.

Todos estes fazem parte de minha vida e ajudaram de alguma maneira no desenvolvimento desta monografia.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

A área de estudo é a região do balneário Arroio Corrente, localizado na porção sudeste do estado de Santa Catarina, na zona costeira do município de Jaguaruna. A problemática consiste em justificar a ausência da laguna entre os sistemas laguna-barreira III e IV nesta área, que apresenta-se de modo diferente de setores adjacentes. A hipótese seria que o sistema IV (holocênico) encontra-se em retrogradação. O objetivo fundamental deste trabalho é propor um modelo evolutivo costeiro para a região do balneário Arroio Corrente e obter uma interpretação para a ausência da laguna holocênica da barreira IV. Os métodos utilizados nesta pesquisa foram: revisão bibliográfica, a fim de adquirir informações sobre a área; sensoriamento remoto com a finalidade de interpretar e comparar imagens de satélite em escala multitemporal para caracterizar as alterações na geomorfologia, definir a evolução e observar a influência antrópica no campo de dunas, além de confeccionar perfis topográficos para analisar a morfologia do sistema de dunas; o geoprocessamento objetivando a organização e integração de informações e Georradar para determinar o padrão de empilhamento dos sistemas deposicionais em subsuperfície. Dados de sensoriamento remoto apresentaram uma diminuição do campo de dunas através da comparação de duas imagens de satélite (1985 e 2005), que está associada à influência antrópica. Através da análise da morfologia deste sistema de dunas, foi constatada sua orientação preferencial NE-SW e a tipologia é configurada pelo sistema eólico (cadeias barcanóides). Nas seções obtidas com Georradar foram identificadas estruturas de sistemas deposicionais retrogradantes, gerados em ambientes subaquosos. Foi possível a identificação de um depósito fluvial (paleocanal), o que justifica a ausência da laguna, que sofreu uma migração lateral forçada no sentido do continente devido à retrogradação da barreira IV, sendo colmatado por sedimentos provenientes do sistema eólico. Este fato denota a disponibilidade de sedimentos que está associada à erosão da costa. Dentre outros fatores, um que também comprova a retrogradação é o avanço do campo de dunas sobre pequenos corpos d'água remanescentes (meandros abandonados) deste paleocanal. Através da identificação destas estruturas sedimentares nos depósitos em subsuperfície foi possível propor um modelo evolutivo costeiro e elucidar questões a fim de buscar uma melhor compreensão geológica da área de estudo.

Palavras-Chave: Laguna-barreira. Transgressão da linha de costa. Retrogradação. Georradar. Quaternário.

ABSTRACT

The study area of this work is the region of Arroio Corrente beach, located in southeast of Santa Catarina state, coastal zone of Jaguaruna municipality. The main issue is to justify the absence of a lagoon between the lagoon-barrier systems III and IV in this area, which occurs in a different configuration than in adjacent sectors of the coast. The hypothesis is that the lagoon-barrier system IV (holocenic) is in a retrogradational phase. The main aim of this research is to propose a coastal evolutionary model for the region of Arroio Corrente beach and get an interpretation for the absence of the lagoon in the Holocene lagoon-barrier system. The methods used in this study are: literature review, in order to acquire information about the area; remote sensing to interpret and compare satellite images in a multi-temporal scale to characterize alterations in geomorphology, define the evolution and observe the anthropic influence in the dunefield, and obtain topographic profiles to analyze the dune system morphology; geomatic techniques to organize and integrate data; and Ground Penetrating Radar (GPR) to determine the stacking pattern of depositional systems in the subsurface. Remote sensing data showed a decrease in the dunefield area when compared two satellite images (1985 and 2005), which is associated to anthropic influence. By analyzing the morphology of the dunes system, it was found the preferential orientation NE-SW and the typology is eolian barcanoids chains. In the GPR profiles, it was identified sedimentary structures from retrogradational depositional systems, originated in subaqueous environments. It was possible to identify a fluvial deposit (paleochannel) that justifies the absence of the lagoon, which suffered a lateral forced migration towards the continent due to the barrier IV retrogradation, being filled by eolian sediments. This fact indicates the availability of sediment that is associated with coastal erosion. Another factor that proves the retrogradation is the dunefield advance over this paleochannel's remaining small water bodies (abandoned meanders). By identifying these sedimentary structures in the subsurface deposits, it was possible to propose a coastal evolutive model and clarify issues in order get a better geological understanding of the study area.

Keywords: Lagoon-barrier. Coastline transgression. Retrogradation. GPR. Quaternary.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Município de Jaguaruna: localização das principais vias de acesso, recursos hídricos e balneários. Fonte: Gruber <i>et al.</i> (2014).....	17
Figura 2: Localização da Bacia de Pelotas. Fonte: extraído do site do Instituto de Geociências - USP.....	18
Figura 3: Carta estratigráfica da Bacia de Pelotas. Fonte: extraído do site da CPRM.....	20
Figura 4: Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Horn Filho (2010).....	21
Figura 5: Na região do balneário Arroio Corrente, há somente registro das barreiras III e IV. Fonte: TOMAZELLI, L.J., & VILLWOCK, J.A., 2000).....	27
Figura 6: Obtenção de imagens via sensoriamento remoto. Fonte: extraído do site Parque da Ciência.....	29
Figura 7: O espectro eletromagnético representa distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência. Os comprimentos de onda visíveis se encontram entre 380 e 750 nanômetros. Ondas mais curtas (ou com maiores frequências) abrigam o ultravioleta, os raios-X e os raios gama. Ondas mais longas (com menores frequências) contêm o infravermelho, o calor, as ondas microondas e as ondas de rádio e televisão. Fonte: extraído do site Universo Racionalista.....	31
Figura 8: Bandas espectrais do sensor TM, satélite Landsat-5. Fonte: INPE.....	35
Figura 9: Perfil de Georradar em trabalho de campo (15/12/2014).....	41
Figura 10: Ilustração da constelação dos satélites GPS. Fonte: extraído do site POPA.....	43
Figura 11: Comparação entre as imagens de 1985 e 2005, satélite Landsat-5, sensor TM, banda 4.....	45

Figura 12: Imagem SRTM geradora do perfil do campo de dunas, paralelo à linha de costa. A linha vermelha demarca o perfil traçado.....	46
Figura 13: Perfil altimétrico do campo de dunas, paralelo à linha de costa.....	46
Figura 14: Imagem tridimensional da região de pesquisa.....	46
Figura 15: Localização dos treze perfis de Georradar realizados na área de estudo. Imagem do satélite Landsat-5, sensor TM, banda 4.....	47
Figura 16: Localização dos dois perfis de Georradar interpretados e apresentados neste estudo. Fonte: Google Earth.....	48
Figura 17: Seção bruta de Georradar (sem correção).....	50
Figura 18: Dado pós-processamento sem a delimitação das radarfácies.....	50
Figura 19: Seção com radarfácies delimitadas (imagem com sentido reverso para melhor visualização das estruturas no mapa).....	50
Figura 20: Seção bruta de Georradar (sem correção).....	51
Figura 21: Dado pós-processamento sem a delimitação das radarfácies.....	51
Figura 22: Seção com radarfácies delimitadas (imagem com sentido reverso para melhor visualização das estruturas no mapa).....	51
Figura 23: Ondulação de S/SE incidindo frontalmente na área de estudo. Fonte: Google Earth Pro.....	53
Figura 24: Rio Araranguá em 26/09/2005 (fase 1). Progradação do rio para nordeste, paralela à linha de costa. Fonte: Google Earth Pro.....	55
Figura 25: Rio Araranguá em 01/06/2011 (fase 2). Rompimento da barra causada pela erosão das ondas, gerando uma nova desembocadura. É possível observar também leques de sobrelavagem na porção sul da barra. Início do confinamento. Fonte: Google Earth Pro.....	55
Figura 26: Rio Araranguá em 10/07/2012 (fase 3). Confinamento total do antigo canal/desembocadura, deixando um pequeno corpo d'água. Fonte: Google Earth Pro.....	56

Figura 27: Rio Araranguá em 27/04/2013 (fase 4). Diminuição deste corpo d'água devido a continuidade da colmatção (até mesmo depois do confinamento). Este preenchimento do meandro abandonado é realizado pelos leques de sobrelavagem e sedimentos provenientes do sistema eólico. Fonte: Google Earth Pro.....56

Figura 28: Rio Araranguá em 27/03/2014 (fase 5). Avanço da colmatção e diminuição significativa do meandro abandonado. Fonte: Google Earth Pro.....57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESE	13
1.2. JUSTIFICATIVA.....	14
1.3. OBJETIVOS E METAS	14
1.3.1. Objetivo geral	14
1.3.2. Objetivos específicos	15
2. GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA.....	16
2.1. LOCALIZAÇÃO.....	16
2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	18
2.3. HIDROGRAFIA.....	21
2.4. CLIMA.....	22
2.5. CORRENTES, MARÉS, ONDULAÇÃO E VENTOS.....	23
3. ESTADO DA ARTE	24
4. METODOLOGIA E APLICAÇÃO.....	28
4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
4.2. SENSORIAMENTO REMOTO.....	29
4.2.1. Aplicação	34
4.3. GEOPROCESSAMENTO.....	36
4.3.1. Aplicação	37
4.4. GEORRADAR	38
4.4.1. Aplicação	39
4.5. SISTEMAS DE POSICIONAMENTO: GNSS.....	41
4.5.1. Aplicação	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1. SENSORIAMENTO REMOTO.....	44
5.2. GEORRADAR	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo é a região do balneário Arroio Corrente, localizado na porção sudeste do estado de Santa Catarina, no município de Jaguaruna. A região de interesse deste trabalho tem uma extensão de 1,6 km de orla marítima e abrange toda a barreira holocênica. Essa área tem formação geológica recente e apresenta uma grande suscetibilidade a ações que alterem os processos e elementos envolvidos na dinâmica costeira.

O grande problema relacionado à evolução geológica consiste em justificar a ausência de lagunas entre as barreiras III e IV. A partir dessa questão foi gerada uma hipótese para explicar essa configuração na região do balneário.

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESE

Na planície costeira da área estudada, há somente registros dos dois últimos Sistemas Laguna-Barreira, originados das variações do NMR nos períodos pleistocênico e holocênico, respectivamente: Barreira III (125 mil anos) e Barreira IV (a partir de 7 mil anos atrás). Todavia, no balneário Arroio Corrente, não encontramos o sistema laguna-barreira ideal, mas sim, a ausência de um dos componentes deste tipo de sistema.

Este componente se refere à laguna, a qual se esperaria estar presente na retaguarda da barreira holocênica, mas, atualmente, não se observa um sistema de barreira/laguna como ocorre ao norte da área de estudo. A partir disso, gerou-se uma interrogação do por que desta configuração, caracterizando a grande questão deste trabalho. Tendo em vista que o Arroio Corrente apresenta este arranjo

incomum de linha de costa, foi gerada uma hipótese para justificar a problemática desta pesquisa.

A hipótese para configuração da linha de costa desta maneira, com a ausência da laguna, estaria relacionada a um padrão retrogradacional do sistema costeiro, promovendo assim, a migração da barreira holocênica sobre possíveis depósitos lacustres. Dessa forma, a barreira IV poderia estar encobrindo os sedimentos lagunares, caracterizando a morfologia atual da planície costeira do balneário Arroio Corrente.

1.2. JUSTIFICATIVA

A área de estudo foi escolhida devido à sua peculiaridade no que se refere à evolução costeira, onde se espera a presença de laguna entre as barreiras. No entanto, não é esta configuração que vemos em balneário Arroio Corrente, justificando a execução deste trabalho.

Além disso, o pequeno número de trabalhos de detalhamento geológico e geomorfológico da Planície Costeira Sul de Santa Catarina (setor norte da Bacia de Pelotas), área na qual encontram-se importantes registros da evolução costeira, foi também um fator determinante para a escolha da região de estudo. Dessa maneira, para um melhor entendimento dos fatores que controlaram essa evolução, esta pesquisa propõe os seguintes objetivos citados a seguir.

1.3. OBJETIVOS E METAS

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa é propor um modelo evolutivo costeiro para o balneário Arroio Corrente, além de elucidar questões e obter uma interpretação para a ausência da laguna holocênica da barreira IV.

1.3.2. Objetivos específicos

- Coletar o máximo de informações possíveis acerca da geologia da área de estudo através de revisão bibliográfica;
- Interpretar e comparar imagens de satélite em escala multitemporal para caracterizar as alterações na geomorfologia, definir a evolução e observar a influência antrópica no campo de dunas, além de confeccionar perfis topográficos para analisar o sistema de dunas da região através do sensoriamento remoto;
- Organizar e integrar informações através da construção de um banco de dados em SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e realizar Processamento Digital de Imagens (PDI) através de geoprocessamento;
- Identificar o empilhamento de sistemas deposicionais a fim de detectar depósitos lacustres em subsuperfície, através da coleta de informações a partir de perfis com Georradar em trabalho de campo;
- Posicionar geograficamente os perfis de Georradar através da utilização do sistema GNSS.

2. GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA

2.1. LOCALIZAÇÃO

O município de Jaguaruna localiza-se no sudeste do estado de Santa Catarina e está limitado: pelos municípios de Içara, ao sul; Sangão e Treze de Maio, ao oeste; Tubarão e Laguna, ao norte; e pelo Oceano Atlântico, ao leste. As principais vias de acesso rodoviário são a BR-101, a SC-442 e a SC-443; enquanto que o acesso ferroviário é possível pela linha férrea que liga as cidades catarinenses de Siderópolis e Imbituba.

Além da cidade de Jaguaruna, destacam-se as localidades de Costa da Lagoa, Garopaba do Sul, Olho D'água, Riachinho e os balneários Camacho, Arroio Corrente, Campo Bom e Esplanada. Os corpos hídricos mais proeminentes são: a lagoa Jaguaruna, a lagoa Garopaba do Sul, a lagoa do Laranjal e a lagoa Arroio Corrente.

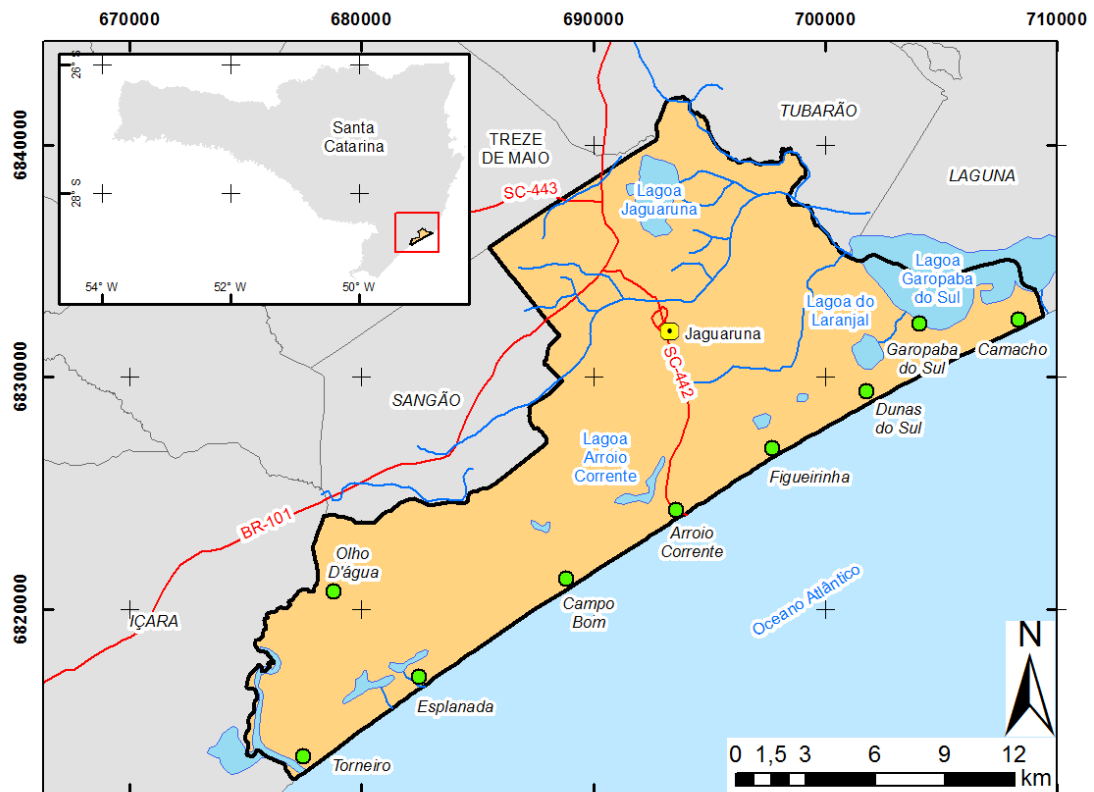


Figura 1: Município de Jaguaruna: localização das principais vias de acesso, recursos hídricos e balneários. Fonte: Gruber *et al.* (2014).

A região de pesquisa está inserida na Bacia de Pelotas, que é uma das principais bacias sedimentares brasileiras e está localizada no extremo sul da Margem Continental Brasileira. Ao norte, é limitada pelo Alto de Florianópolis, em Santa Catarina, que a divide da Bacia de Santos. Ao sul, é limitada pelo Alto de Polônio, no Uruguai, que a divide da Bacia de Punta Del Este. A sua extensão compreende uma área de, aproximadamente, 210.000 km².

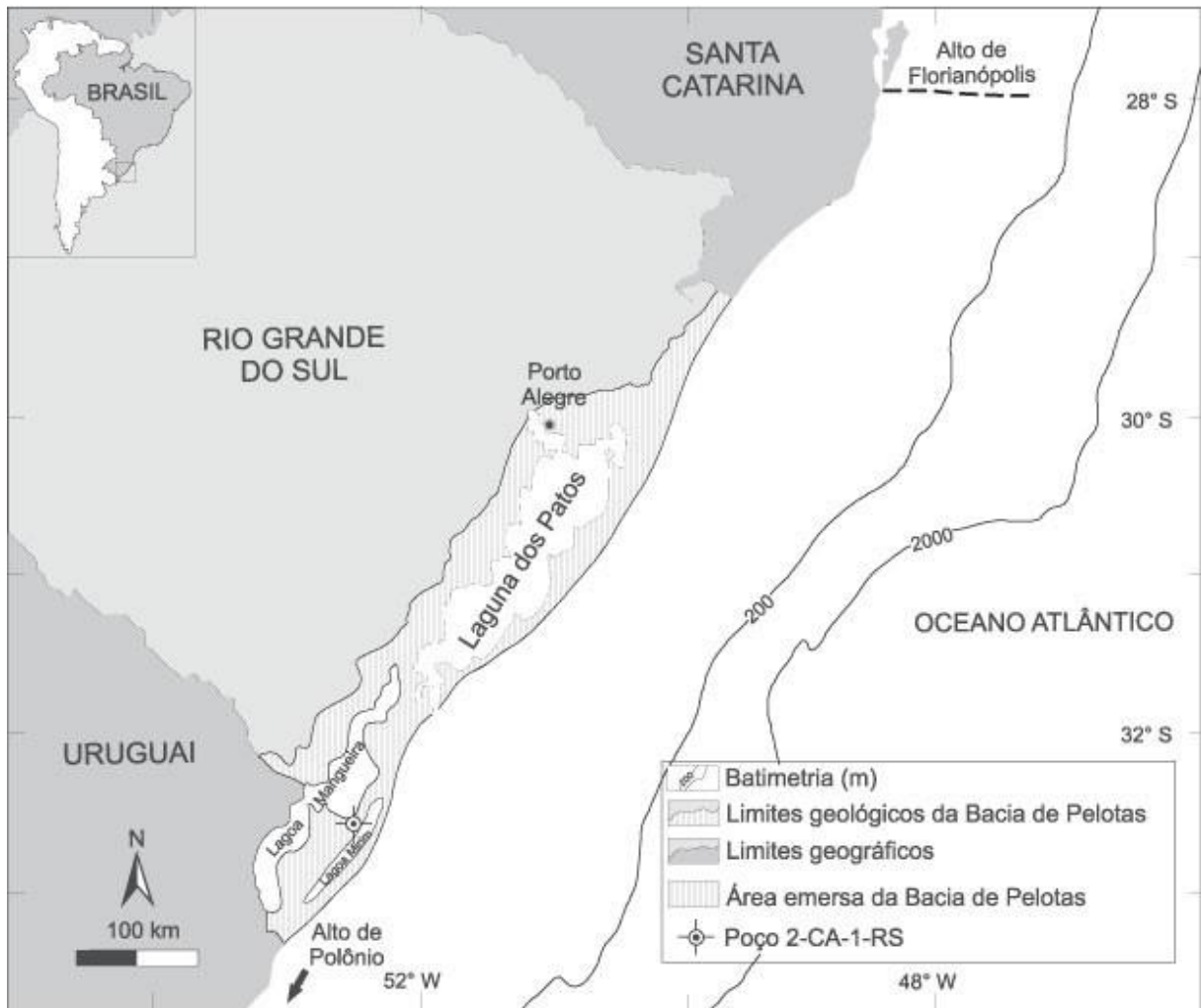


Figura 2: Localização da Bacia de Pelotas. Fonte: extraído do site do Instituto de Geociências - USP.

2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

De uma forma geral, a geologia da região do município de Jaguaruna é composta por sequências clásticas continentais e transicionais da Bacia de Pelotas superpostas às sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e ao Escudo Cristalino Catarinense. A gênese desta bacia está associada com os movimentos tectônicos que culminaram com a abertura do Oceano Atlântico Sul, a partir do Jurássico.

O embasamento da região é constituído por formações Proterozóicas do Escudo Catarinense e Paleozoicas da Bacia do Paraná. O Escudo Catarinense é resultante de uma sucessão de processos geotectônicos do Arqueano e,

posteriormente, afetado pelo Ciclo Brasileiro do Proterozóico superior ao Eo-Paleozóico. Segundo Milani *et al.* (2007), a Bacia do Paraná evoluiu de uma bacia intracratônica do Gondwana para uma bacia que ocupa 1,5 milhões de km², aproximadamente, na América do Sul, com um pacote sedimentar em torno de 7 mil metros, cuja base sedimentar atinge registros do período Ordoviciano (aproximadamente, há 460 milhões de anos).

O desenvolvimento da bacia pode ser dividido em três megassequências ou fases principais de evolução tectônica. A megassequência pré-rifte corresponde a sedimentos e vulcânicas do Paleozóico e Mesozóico da Bacia do Paraná. Esses sedimentos são reconhecidos apenas na área da Sinclinal de Torres, onde a seção paleozoica da Bacia do Paraná está sotoposta ao pacote cenozoico da Bacia de Pelotas (Dias *et al.* 1994a). A megassequência sinrifte (Neocomiano-Barremiano) é caracterizada por falhamentos antitéticos que definem meio-grábens na plataforma continental, com interpretação (Dias *et al.* 1994b) de que a magnitude dos falhamentos aumenta para leste. Esta megassequência foi amostrada em poucos poços em situação de gráben proximal, constituindo-se de conglomerados com fragmentos de basalto (Formação Cassino). A base dessa sequência assenta-se sobre rochas vulcânicas (basaltos toleíticos, com datação de 124 Ma pelo método K-Ar, Dias *et al.* 1994a), representadas pela Formação Imbituba. A megassequência transicional, que nas bacias a norte do lineamento de Florianópolis incluem evaporitos com halita (Formação Ariri), é reconhecida apenas na região da Plataforma de Florianópolis, onde se constatou anidrita.

A megassequência pós-rifte, que representa a sedimentação marinha da bacia, pode ser subdividida em algumas sequências principais (Dias *et al.* 1994a): 1) sequência do Albiano/Aptiano, com sua porção superior coincidente com o topo da seção de calcários do Eo/Meso/Albiano (Formação Porto Belo); 2) sequência do Cretáceo Superior, composta por sedimentos pelíticos responsável pela deposição de areias na área do baixo de Mostardas e de margas e folhelhos na plataforma continental (Formação Atlântida); 3) sequência do Cretáceo Superior-Terciário Inferior, constituída por folhelhos e delgadas camadas de arenitos; 4) sequência do Eoceno/Oligoceno Inferior, composta por clásticos na área do baixo de Mostardas e por folhelhos na plataforma (Formação Imbé); e 5) sequência do Oligoceno Superior ao Recente, de caráter progradante e composição pelítica.

No estudo apresentado por Dias *et al.* (1994), os autores reconhecem nove formações litoestratigráficas na Bacia de Pelotas. São elas: Formação Imbituba, Formação Cassino, Formação Curumim, Formação Ariri, Formação Portobelo, Formação Tramandaí, Formação Atlântida, Formação Cidreira e Formação Imbé.

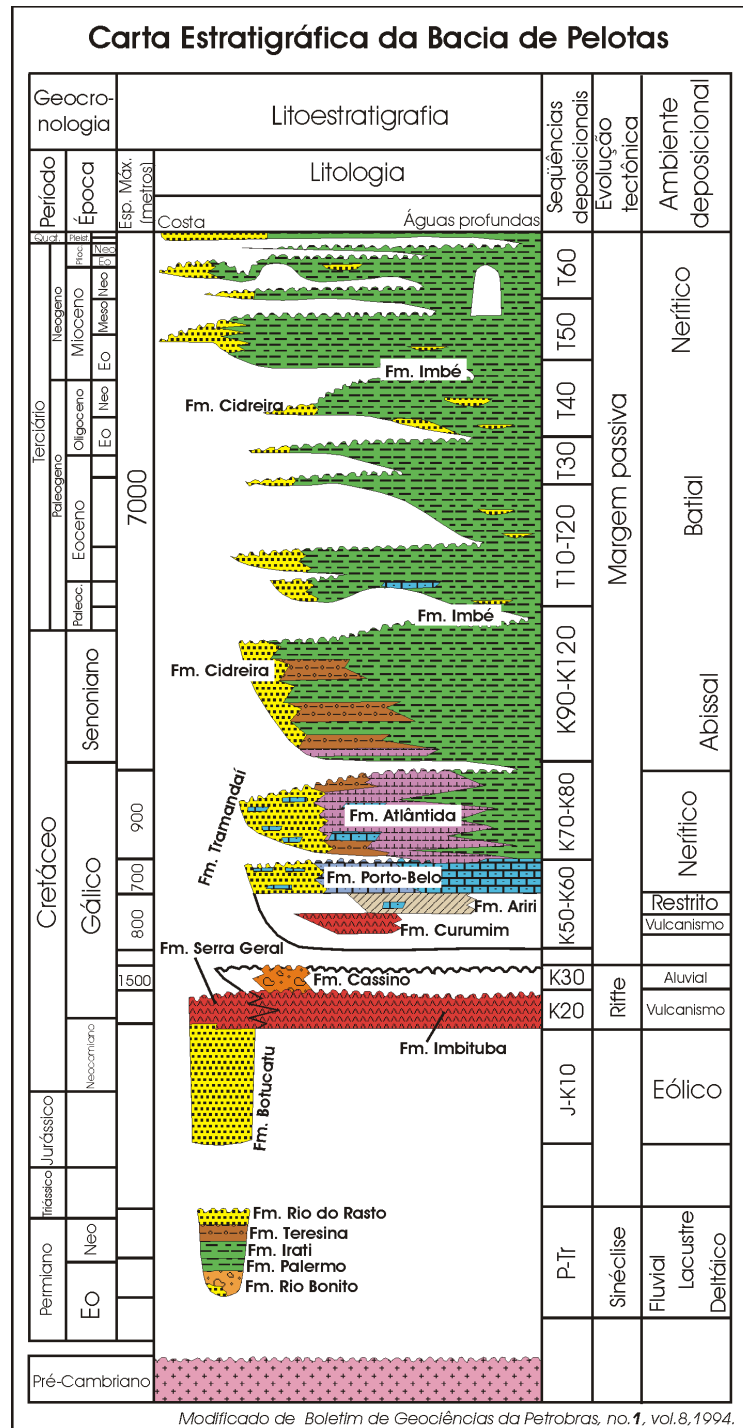


Figura 3: Carta estratigráfica da Bacia de Pelotas. Fonte: extraído do site da CPRM.

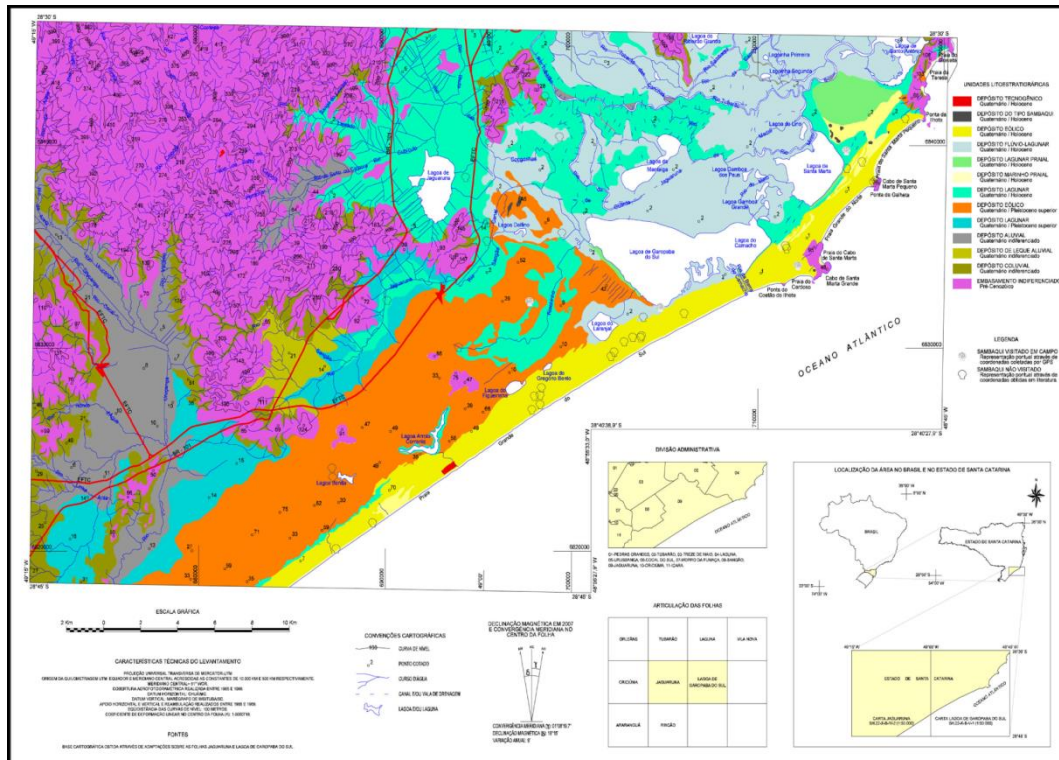


Figura 4: Mapa geológico da região de estudo. Fonte: Horn Filho (2010).

2.3. HIDROGRAFIA

Segundo Gruber *et al.* (2014), vários corpos hídricos fazem-se presentes na região de estudo. As ligações mais importantes desse sistema com o mar aberto acontecem através de três desembocaduras. São elas:

- i) Laguna de Garopaba do Sul: posicionada no setor norte da zona costeira do município e a sua comunicação com o oceano é estabelecida por meio do canal do Camacho;
- ii) Arroio Corrente: localiza-se na porção central da zona de costa e a sua ligação com o mar dá-se por meio da desembocadura do Arroio Corrente;
- iii) Rio Urussanga: localizado ao sul da zona costeira e a sua conexão com o oceano ocorre em sua foz.

O trecho anterior à foz do Arroio Camacho, junto ao distrito de mesmo nome, foi fixada (canalização). Este fato modificou a dinâmica natural local de avulsão do

leito do curso fluvial, transporte de sedimento subaéreo e subaquático e morfodinâmica costeira.

O trecho final e a foz do Arroio Corrente apresentam aspectos naturais, inclusive com a preservação da formação vegetal adjacente (comumente denominada “mata ciliar”). Entretanto, tanto o curso hídrico como a “mata ciliar” encontram-se pressionados pela ação antrópica (poluição) e confinados pela ocupação urbana do balneário Arroio Corrente.

A desembocadura mais meridional, correspondente ao rio Urussanga, pode ser considerada a mais conservada, com ocorrência da “mata ciliar” ao longo de todo o tramo final do curso fluvial e dinâmica de avulsão do canal preservada. Nesse local, a pressão antrópica observada é menos acentuada quando comparada com a realidade dos demais contatos acima citados.

2.4. CLIMA

O clima da região sul de Santa Catarina, segundo Nimer (1979), é definido como mesotérmico úmido, apresentando umidade relativa média do ar por volta de 82,1%. A temperatura média anual é de 19,1°C, conservando a temperatura média das máximas de 24,6°C e das mínimas de 14°C. As maiores temperaturas são verificadas próximo ao setor litorâneo, diminuindo paulatinamente em direção ao continente (oeste).

A região litorânea do estado de Santa Catarina, de acordo com Diehl & Horn (1996), tem influência do Anticlone do Atlântico e do Anticlone Migratório Polar Atlântico. O primeiro integra-se na fonte geradora da Massa Tropical Atlântica e o segundo da Massa Polar Atlântica. A Frente Polar Atlântica, resultado do contato entre as duas massas é a causadora de uma parcela da precipitação do litoral, controlada pela presença da Serra do Mar, das serras do Leste Catarinense e da Serra Geral. As precipitações totais anuais são superiores na zona norte do litoral (1.800 mm) e inferiores na sul, local do estudo (1.400 mm).

2.5. CORRENTES, MARÉS, ONDULAÇÃO E VENTOS

A costa catarinense denota uma amplitude de maré inferior a 2 m, característico de regime de micromarés (Horn *et al.*, 2004). Devido ao fato da área de estudo estar localizada de maneira adjunta a Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul, a amplitude de maré assemelha-se mais da planície gaúcha, com valores que não excedem a 0,5 m. Dessa maneira, a região sul da Planície Costeira de Santa Catarina encaixa-se em uma costa dominada por ondas.

As ondulações são originadas, principalmente, pelos ventos de sudeste do cinturão subpolar do Atlântico Sul, e as correntes litorâneas proporcionam uma deriva resultante de nordeste. Os ventos prevaletentes são gerados de nordeste, sudoeste e sudeste, responsáveis pela configuração das dunas litorâneas pretéritas e atuais (Horn *et al.*, 2004).

3. ESTADO DA ARTE

Segundo Horn Filho *et al.* (2007), alguns modelos desenvolvidos na costa centro-sul catarinense (SUGUIO *et al.*, 1985; GIANNINI, 1993; CARUSO JR., 1995) tentam reconstituir a dinâmica dos sistemas deposicionais costeiros, com o intuito de entender os principais processos e formas envolvidas na atual configuração da planície costeira catarinense.

Segundo Horn Filho *et al.* (2007), a configuração paleogeográfica da planície costeira em estudo apresenta similaridade com o modelo evolutivo de sistemas laguna-barreira do Estado do Rio Grande do Sul (VILLWOCK, 1984), principalmente ao sul do cabo da Santa Marta. No entanto, não foi possível a correlação com os sistemas mais antigos, laguna-barreira I e II, devido à ausência de depósitos correlatos na planície costeira da região de Jaguaruna.

Os depósitos do sistema laguna-barreira III, correlacionáveis à transgressão e regressão do nível médio do mar durante o Pleistoceno superior (120 ka AP), são constituídos por depósitos eólicos recobrendo em sua maior parte depósitos marinhos também pleistocênicos, e na retro barreira, ocorrem depósitos lagunares, com altitudes variáveis em torno de 8 m (Horn Filho *et al.* 2007).

Os depósitos do sistema laguna-barreira IV, correlacionáveis à última grande transgressão pós-glacial, durante o Holoceno (5,4 ka AP), são mapeados como depósitos eólicos e depósitos marinhos, sob a forma de *strand plains*, além de depósitos flúvio-lagunares, formados por terrenos paludiais (pântanos) associados ao delta intralagunar do rio Tubarão e depósitos lagunares com presença de conchas de moluscos, sendo a espécie dominante *Anomalocardia brasiliiana*, o que evidencia ambiente típico da parte inferior da planície de maré ou fundos rasos (Horn Filho *et al.* 2007).

Ao todo, foram identificadas 12 unidades litoestratigráficas do Quaternário costeiro: depósitos de leques aluviais de clima árido (pedimento), depósitos coluviais e depósitos fluviais, com idades do Quaternário indiferenciado; depósitos lagunares e depósitos eólicos com idades do Pleistoceno superior (± 120 ka AP); depósitos lagunares, depósitos flúvio-lagunares (incluindo as fácies de deltas intralagunares), depósitos eólicos, depósitos marinhos (do tipo planície de cordões regressivos e do tipo praias atuais), depósitos lagunares (na forma de terraços e de praia atuais), assim como depósitos antropogênicos do tipo sambaqui e depósitos tecnogênicos do Holoceno (Horn Filho *et al.*, 2007).

Segundo Horn Filho *et al.* (2007), de acordo com as relações processo/forma ocorrentes entre os ambientes de deposição e os depósitos correlativos gerados, suas idades e formas de ocorrência, estas unidades litoestratigráficas foram classificadas e agrupadas em 3 tipos: depósitos continentais (abarcando os depósitos de leques aluviais, coluviais e fluviais), depósitos litorâneos (constituído pelos depósitos lagunares, flúvio-lagunares, eólicos, lagunares e marinhos, holocênicos e pleistocênicos) e depósitos antropogênicos (abarcando os depósitos antrópicos do tipo sambaqui e tecnogênicos).

Segundo Horn Filho *et al.* (2007), destacam-se, ainda, afloramentos incipientes dos depósitos eólicos com idades inferidas do Pleistoceno médio e inferior, que jazem sob as unidades eólicas dos sistemas litorâneos mais recentes, onde se pode observar a ocorrência generalizada de estruturas de dissipação formando lateritas ou crostas ferruginosas, apresentando também a ocorrência de arenitos ferruginosos com aspecto botrioidal ou reniforme originados a partir de processos epigenéticos de diagênese sobre estes sedimentos eólicos antigos.

Dois grandes compartimentos geomorfológicos integram a Província Costeira: Terras Altas (agrupam o Escudo Sul-Rio-Grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias) e Terras Baixas (Planície Costeira e Plataforma Continental). Os domínios geomorfológicos que ocorrem em Jaguaruna podem ser classificados em:

- Terras Altas, referente ao compartimento embasamento cristalino;
- Terras Baixas, referente aos compartimentos aluviais, lagunares, praias e eólicos.

O modelo paleogeográfico da área de estudo pode ser sintetizado em 5 estádios evolutivos, na seguinte ordem: (I) – regressão do Pleistoceno inferior; (II) – transgressão do Pleistoceno superior; (III) – regressão após o máximo do Pleistoceno superior; (IV) – transgressão do Holoceno; (V) – regressão do Holoceno.

Durante o Estádio (I), o nível médio do mar esteve abaixo ou próximo do atual, ocorrendo a formação de leques aluviais associados às vertentes do embasamento, representado pelos depósitos de leques aluviais de clima árido. A parte exposta do leque aluvial representa a porção proximal ou média do leque, já que as partes mais distais mergulham sob depósitos mais recentes lagunares pleistocênicos e holocênicos.

Quanto ao evento transgressivo do Pleistoceno superior (Estádio II), ocorrido aproximadamente a 120 ka AP, a área de estudo estaria praticamente toda submersa e sob a ação marinha. Provavelmente, neste período ocorreu a formação de barreiras, ou lagunas-barreira transgressivas, proporcionando o isolamento parcial de corpos aquosos, que formaram ambientes lagunares na retro barreira. Ainda, durante este evento transgressivo, ocorreu a erosão das bordas e eventualmente o retrabalhamento dos sedimentos de leques aluviais anteriormente depositados, conservando somente os depósitos em cotas altimétricas mais elevadas.

Mais interiormente, nas áreas próximas ao embasamento, ocorreu o desenvolvimento dos colúvios, devido ao clima mais úmido, sobre os depósitos de leques aluviais de clima árido (pedimentos) e a formação dos depósitos fluviais do rio Urussanga, em contato com os depósitos lagunares pleistocênicos.

Durante o Estádio (III), o nível médio do mar regrediu até, aproximadamente, (-) 120 m, ocasionando principalmente a dissecação dos depósitos marinhos e lagunares pleistocênicos, com a consequente formação de vales encaixados nos depósitos pré-existentes. Os depósitos marinhos pleistocênicos regressivos na forma de *strand plains*, foram as principais formas deposicionais desta região, ficando expostas extensas planícies de cordões regressivos, que propiciaram o aporte de sedimentos arenosos para o posterior retrabalhamento eólico.

Durante o máximo da transgressão do Holoceno a aproximadamente 5,1 ka AP (Estádio IV), o nível médio do mar (NMM) alcançou 2,1 m de altitude (ANGULO *et al.*, 1997) em relação ao nível atual. Durante este período houve o retrabalhamento dos depósitos pleistocênicos e a formação dos deltas intralagunares associados ao rio Tubarão. Estas características da planície costeira muito se assemelham com o sistema laguna-barreira IV proposto por Villwock (1984) na planície costeira do Rio Grande do Sul.

Após o máximo transgressivo a 5,1 ka AP, a regressão do NMM (Estádio V) propiciou a construção de terraços marinhos a partir da ilha-barreira formado no estágio anterior, o que resultou na progradação da linha de costa, com a formação de planície de cordões regressivos (*strand plains*). A regressão também causou o confinamento de algumas lagunas, transformando-as em lagoas de águas salobras.

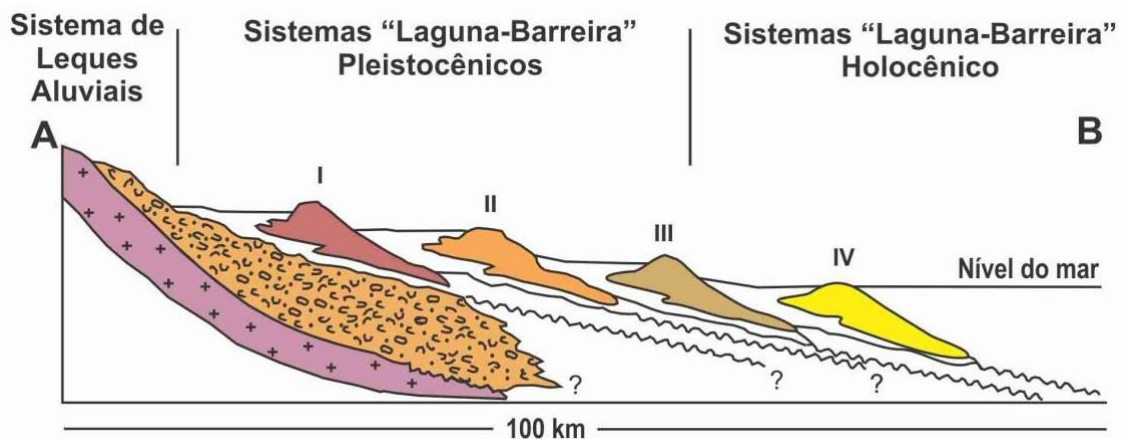


Figura 5: Na região do balneário Arroio Corrente, há somente registro das barreiras III e IV. Fonte: TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A., 2000.

4. METODOLOGIA E APLICAÇÃO

Os métodos utilizados nesta pesquisa foram ferramentas geotecnológicas que possibilitaram a aquisição, processamento, interpretação e representação de dados referenciados espacialmente. Essas ferramentas foram aplicadas no estudo da superfície terrestre (sensoriamento remoto, geoprocessamento e sistemas de posicionamento), bem como também em subsuperfície (Georradar). Neste capítulo encontramos a descrição dos métodos utilizados nesta pesquisa e a sua respectiva aplicação.

4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi o passo inicial na construção efetiva desta investigação científica. É uma etapa fundamental neste trabalho acadêmico e que influenciará em todas as fases desta pesquisa, na medida em que deu o embasamento teórico em que se baseará o trabalho. Consistem no levantamento, seleção, fichamento e arquivamento de informações relacionadas à pesquisa. Sua finalidade é colocar o autor em contato com o que já se produziu e registrou a respeito do tema estudado.

Dados bibliográficos preexistentes relacionados ao assunto e do local de estudo foram compilados, como artigos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. A pesquisa foi realizada no portal de periódicos da CAPES, na biblioteca do Instituto de Geociências da UFRGS, no Google Acadêmico, sites relacionados ao tema do trabalho e tutoriais sobre como operar certos programas para processar dados pertinentes à pesquisa.

4.2. SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo *sensoriamento* refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). O termo *remoto*, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre, como ilustrado na Figura 5. O processamento, a análise e interpretação desses dados também integram o sensoriamento remoto, considerado uma ciência por autores como Jensen (2010), entre outros (Florenzano, 2011).

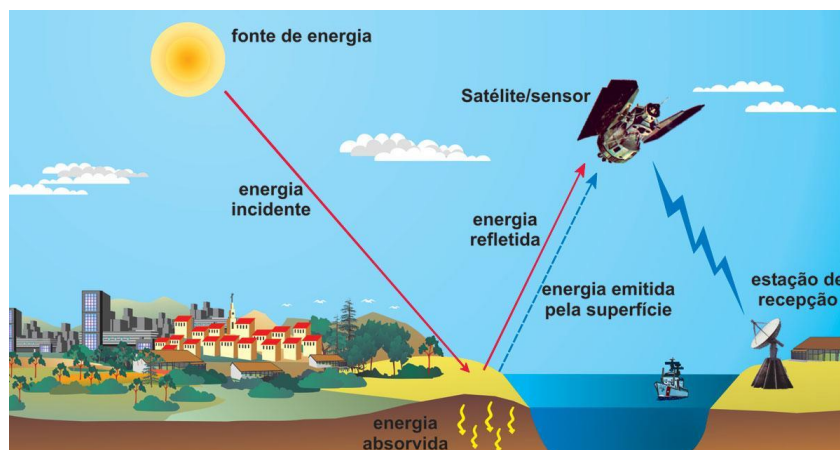


Figura 6: Obtenção de imagens via sensoriamento remoto. Fonte: extraído do site Parque da Ciência.

Segundo Florenzano (2011), a origem do sensoriamento remoto vincula-se ao surgimento da fotografia aérea. Assim, sua história pode ser dividida em dois períodos: um, de 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas, e outro, de 1960 aos dias de hoje, caracterizado também por uma variedade de tipos de imagens de satélite. A história do sensoriamento remoto está estreitamente vinculada ao uso militar. Em 1862, durante a guerra civil americana, fez o reconhecimento de tropas confederadas com fotografias aéreas. Em 1909, surgem as fotografias tiradas de aviões, e na Primeira Guerra Mundial seu uso intensificou-

se. Durante a Segunda Guerra Mundial, houve um grande desenvolvimento do sensoriamento remoto. Posteriormente, durante o período da Guerra Fria, vários sensores de alta resolução foram desenvolvidos para fins de espionagem e, recentemente, com o fim da Guerra Fria, muitos dados considerados segredo militar foram liberados para o uso civil.

O principal foco do sensoriamento remoto está nos alvos presentes na superfície e na atmosfera terrestre. As informações são obtidas por meios de sensores que adquirem e registram uma forma de energia provenientes dos alvos. No caso específico do sensoriamento remoto, esta energia é a radiação eletromagnética (REM), que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz (300.000 km por segundo) e é medida em frequência em unidades de *hertz* (Hz). Segundo Florenzano (2011), a frequência de onda é diretamente proporcional à velocidade de propagação e inversamente proporcional ao comprimento de onda. Quanto maior a frequência, maior também a intensidade de energia.

As características das diferentes faixas do espectro definem a sua aplicação no sensoriamento remoto ou em outras áreas como, por exemplo, a radiação gama e os raios-X na medicina. Para as aplicações no estudo da superfície terrestre é essencial que seja satisfeita a trajetória da REM partindo da sua fonte, encontrando os objetos de estudo, interagindo e sendo refletida pelos mesmos para que possa ser captada por um sensor. Os elementos presentes nesta trajetória representam as bases para que seja possível a geração de produtos passíveis de interpretação (Rosa, 2012).

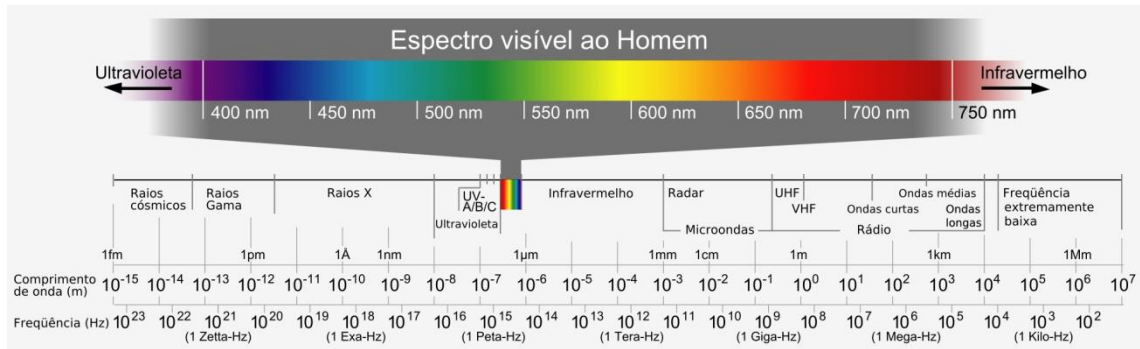


Figura 7: O espectro eletromagnético representa distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência. Os comprimentos de onda visíveis se encontram entre 380 e 750 nanômetros. Ondas mais curtas (ou com maiores frequências) abrigam o ultravioleta, os raios-X e os raios gama. Ondas mais longas (com menores frequências) contêm o infravermelho, o calor, as ondas microondas e as ondas de rádio e televisão. Fonte: extraído do site Universo Racionalista.

Quanto à fonte, qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto emite REM. Contudo, para os estudos terrestres, algumas faixas do espectro são mais importantes. Isto se relaciona com a trajetória da REM para que possam ser gerados produtos a partir da sua captação pelos sensores (Florenzano, 2007). Assim, as imagens e produtos são obtidos principalmente nas faixas do ultravioleta, visível e infravermelho próximo. Além da geração, o segundo pré-requisito para que a REM cumpra sua trajetória é que ela não seja bloqueada pela atmosfera. É por este motivo que as faixas do ultravioleta, do visível, do infravermelho (sensores ópticos) e das micro-ondas (radares), conhecidas como janelas atmosféricas, são as mais exploradas (Rosa, 2012).

Atualmente, o sensoriamento remoto é constituído por uma razoável constelação de satélites que oferecem imagens para atender as necessidades de uma ampla demanda de usuários. Para aqueles usuários que necessitam de uma observação detalhada do tamanho e das formas dos objetos, há os sensores que detectam áreas unitárias inferiores a 1 m, e com meios para visualização estereoscópica tridimensional, muito úteis para levantamentos cadastrais multifinalitários, urbanos e cartografia digital. Os interessados em monitoração para o acompanhamento da evolução e de mudanças da paisagem podem recorrer aos sensores com alta taxa de revisita à área. Já os que se interessam em determinar a

composição ou constituição dos minerais ou rochas, a procura é pelos sensores com um grande número de bandas espectrais. Por isso, uma forma de se abordar as potencialidades de um sensor é pelo dimensionamento de suas resoluções (Meneses, 2012).

Devido à limitação que o sensor orbital tem para transmitir grandes volumes de dados para as estações terrestres de rastreamento de satélites, as imagens que recobrem grandes áreas, de dezenas de milhares de quilômetros quadrados, como as do satélite Landsat e CBERS, são associadas com resoluções espaciais pequenas (30 a 20 m), e as imagens que recobrem pequenas áreas, como as imagens Ikonos e Orbview, são associadas com resoluções espaciais grandes (1 m). Conseqüentemente, as imagens de pequena resolução espacial, por não mostrarem os detalhes dos alvos, servirão para estudos em escalas mais regionais, enquanto as imagens com grande resolução espacial se prestarão para estudos locais de detalhe (Meneses, 2012).

Quatro formas de medidas são descritas a seguir em termos de resoluções. São denominadas de resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. Elas atuam em conjunto, num processo interativo, nem sempre facilmente percebido pelo analista, o que é, também, o motivo de frequentes dúvidas ao se tentar explicar por que pequenos objetos são surpreendentemente identificados nas imagens.

- Resolução Espacial: a resolução espacial é um importante parâmetro do sensor porque ela determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem. Por definição, um objeto somente pode ser detectado quando o tamanho deste é, no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução no terreno, ou seja, da resolução espacial. Segundo Novo (1989), ela mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos. Quando um sistema possui uma resolução de 30 m, como o sensor TM (*Thematic Mapper*) do Landsat, significa que objetos distanciados entre si menos que 30 m não serão, em geral, discriminados pelo sistema. Assim, quanto menor a resolução espacial do sistema, maior o poder de resolução, ou seja, maior o seu poder de distinguir entre objetos muito próximos. Segundo Rosa (2012), a resolução espacial relaciona-se com o tamanho representado por cada *pixel* (*picture element*) no terreno. Em uma imagem com resolução espacial de 10 m, os pixels representam um espaço de 10 x 10 m, sendo

possível distinguir somente feições com dimensões superiores a esta medida. Já uma imagem com resolução de 1 m, permite definir alvos menores, portanto, a sua resolução espacial é superior.

- Resolução Espectral: indica o número e a largura das bandas espectrais que o sensor pode discriminar. Assim, um sensor será tanto mais sensível quanto maior o número de bandas que ele tiver, uma vez que isto facilita a caracterização espectral das distintas coberturas (Chuvienco, 1996). Uma alta resolução espectral é obtida quando as bandas de um sistema sensor são estreitas e/ou quando se utiliza um maior número de bandas espectrais. O sistema TM opera em sete faixas espectrais do espectro eletromagnético, possuindo, portanto, uma resolução espectral melhor do que o sistema MSS. Paralelamente, as bandas do TM são mais estreitas que as do MSS (Rosa, 1992).

- Radiométrica: a medida pelos detectores da intensidade de radiância da área de cada pixel unitário é denominada de resolução radiométrica. Maior será a resolução radiométrica, quanto maior for a capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância. Quanto maior for essa capacidade, maior será a resolução radiométrica. Ela define o número de níveis de radiância que o detector pode discriminar. Em função da intensidade da radiação de entrada no sensor, a resposta de saída dos detectores é convertida eletronicamente em um número digital discreto. Também se dá o nome de quantização à medida da resolução radiométrica. Em termos práticos, a quantização do sinal é medida pelo intervalo de número de valores digitais usados para expressar os valores de radiância medidos pelo detector. A quantização é normalmente expressa em termos de números de dígitos binários (bits). Quanto maior é a quantização, maior será a qualidade visual da imagem. Por exemplo, uma imagem de 8 bits ($2^8 = 256$ níveis de cinza), tem detalhes visuais melhores que as imagens de menores resoluções radiométricas de 6, 4 e 2 bits. A imagem de 2 bits possui apenas 4 níveis de cinza.

- Resolução Temporal: é o intervalo de vezes que o satélite observa uma mesma área do terreno em um determinado período. A resolução temporal refere-se à periodicidade com que o sistema sensor adquire imagens da mesma porção da superfície terrestre. A sequência temporal dos sistemas varia de acordo com os objetivos fixados para o sensor. Os satélites meteorológicos são obrigados a

oferecer informações em períodos curtos de tempo, pois se dedicam a observar um fenômeno muito dinâmico, por esta razão, sua resolução temporal é de 30 minutos (Meteosat, GOES, etc.) ou de 12 horas como o do satélite NOAA. Os satélites de recursos naturais oferecem uma periodicidade muito maior, pois não estão coletando informações de fenômenos tão dinâmicos como os meteorológicos. Assim, a resolução temporal destes satélites está entre os 16 dias do Landsat (sensor TM), 26 dias do SPOT (sensor HRV) e 31 dias do satélite ERS (Chuvienco, 1996).

Segundo Rosa (2012), as imagens obtidas nem sempre se referem somente ao espectro óptico, representando a reflectância oriunda da parte refletida da REM pelos alvos. O valor correspondente a cada *pixel* pode também representar outras grandezas, como é o caso das altitudes nos Modelos Digitais de Elevação do Terreno (MDET). Um projeto no qual foram obtidas, de forma indireta, as altitudes de aproximadamente 80% da superfície do planeta é o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), um projeto internacional liderado pelas agências espaciais Norte Americanas (NG-IA e NASA).

A SRTM consiste num sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do Endeavour (ônibus espacial) durante os 11 dias da missão STS-99, em fevereiro de 2000. Para adquirir os dados de altimetria esteresocópica, a SRTM contou com dois reflectores de antenas de radar. Um reflector-antena estava separado do outro 60 m graças a um extensor que ampliava a envergadura do shuttle no espaço. A técnica utilizada conjuga software interferométrico com radares de abertura sintética (SAR).

4.2.1. Aplicação

A aplicação do sensoriamento remoto teve como finalidade a comparação de imagens de satélite em escala multitemporal para caracterizar a migração, definir a evolução e observar a influência antrópica no campo de dunas na área de estudo. Também foi possível analisar geomorfologicamente o sistema de dunas através da confecção de perfis topográficos elaborados a partir de um modelo digital de elevação do terreno, obtidos a partir do SRTM.

As imagens do SRTM (segunda versão) foram obtidas de forma gratuita no site Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) contendo a topografia da área de estudo. O programa Global Mapper® v14.0 foi utilizado para a confecção de perfis topográficos e mapa tridimensional que auxiliaram na análise da geomorfologia da região de pesquisa a partir do modelo digital de elevação do terreno do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

As imagens de satélite foram obtidas de forma gratuita no site do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.inpe.br/>) a fim de realizar a comparação de imagens antigas e atuais. O satélite escolhido foi o Landsat-5, sensor eletrônico multiespectral TM, pois é um sistema de varredura que capta dados em sete diferentes bandas espectrais (três da região do visível - azul, verde e vermelho - e quatro da região do infravermelho) e possui imagens de satélite desde 1984 até 2011 da área de estudo. Para o estudo geodinâmico no sistema do campo de dunas, foi utilizada a banda quatro (infravermelho próximo), devido à maior reflectância do quartzo permitindo uma melhor visualização do campo de dunas e ao escurecimento de corpos d'água devido à grande absorção da energia.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(B2) VERDE	0.50 - 0.60 μm				
	(B3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm	120 m			
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 μm	30 m			

Figura 8: Bandas espectrais do sensor TM, satélite Landsat-5. Fonte: INPE.

Para a comparação das imagens, foi utilizado o programa ArcGIS® v10.1, onde através da elaboração de polígonos foi delimitada a área total do campo de dunas em duas imagens, uma de 14/11/1985 e outra de 20/10/2005, possibilitando, assim, a comparação entre elas.

4.3. GEOPROCESSAMENTO

De acordo com Rosa (2012), o desenvolvimento tecnológico associado à informática tornou possível armazenar, representar e manipular em ambientes computacionais informações relativas à distribuição geográfica de fenômenos e características terrestres. Nesse contexto, o termo geoprocessamento refere-se ao emprego de técnicas matemáticas e computacionais que possibilitam, através dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a realização de análises complexas e a integração de dados de diversas origens (Câmara *et al.*, 2012).

Além de dados geométricos e espaciais, os Sistemas de Informação Geográfica possuem atributos alfanuméricos (atributos dos dados espaciais ou atributos georreferenciados). Os atributos alfanuméricos são associados com os elementos gráficos, fornecendo informações descritivas sobre eles. Os dados alfanuméricos e os dados gráficos são armazenados, geralmente, em bases separadas.

O SIG reúne uma série de características descritas a seguir:

- Capacidade de adquirir e processar dados espaciais obtidos a partir de fontes diversas, por exemplo: levantamentos de campo (incluindo o sistema GPS), mapas existentes, fotogrametria, imagens de satélite, sensoriamento remoto e outros;
- Capacidade para armazenar, recuperar, atualizar e corrigir os dados processados de uma forma eficiente e dinâmica;
- Capacidade para permitir manipulações à realização de procedimentos de análise dos dados armazenados, com possibilidade de executar diversas tarefas, tais como, alterar a forma dos dados através de regras de agregação definidas pelo usuário, ou produzir estimativas de parâmetros e restrições para modelo de simulação e gerar informações rápidas a partir de questionamentos sobre os dados e suas inter-relações.

Os dados utilizados em SIG podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Dados geográficos, espaciais (vetorial ou matricial) ou geográficos, que descrevem as características geográficas da superfície (forma e posição) e;

- Dados não gráficos, alfanuméricos ou descritivos, que descrevem os atributos destas características.

A estrutura de um SIG envolve o computador (*hardware*), os programas computacionais (*software*), os dados, os métodos e os recursos humanos. De acordo com Câmara & Queiroz (2001), os componentes de um SIG englobam a interface com o usuário, a entrada e integração de dados, as funções de processamento gráfico e de imagens, a visualização e plotagem e, por fim, o armazenamento e recuperação de dados. Esses elementos compõem a arquitetura dos SIG e se relacionam de forma hierárquica (Rosa, 2012).

Atualmente, existe um grande número de Sistemas de Informações Geográficas, com as características mais variadas possíveis em termos de tipos de estruturas de dados, modelo de banco de dados, sistemas de análise e outras. Apesar de possuírem habilidades diferentes, existem alguns módulos presentes na maioria destes programas. Estes módulos são:

- Sistema de Aquisição e Conversão de Dados;
- Banco de Dados Espaciais e de Atributos;
- Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD);
- Sistema de Análise Geográfica;
- Sistema de Processamento Digital de Imagens;
- Sistema de Modelagem Digital de Elevação do Terreno (MDT);
- Sistema de Análise Estatística;
- Sistema de Apresentação Cartográfica.

4.3.1. Aplicação

Os instrumentos de geoprocessamento foram aplicados com duas finalidades diferentes. Primeiramente, as informações foram organizadas e integradas através da construção de um banco de dados em um Sistema de Informação Geográfica

(SIG). Também houve o processamento, a comparação e a interpretação dos dados de sensoriamento remoto. Os dados foram organizados no sistema operacional Windows e continham mapas geológicos, perfis de caminhamentos de Georradar, imagens de satélite, fotos aéreas, modelo digital de elevação do terreno, artigos, figuras, ilustrações, fotos de campo, entre outras informações.

Utilizando um sistema de Processamento Digital de Imagens (PDI) com a finalidade de interpretar e comparar imagens de satélite em escala multitemporal para caracterizar a migração, definir a evolução e observar a influência antrópica no campo de dunas, foi utilizado o programa ArcGIS® v10.1, onde, primeiramente, duas imagens de anos distintos (1985 e 2005) foram devidamente georreferenciadas com o auxílio do programa Google Earth® em virtude da ausência de pontos de controle no local da área de estudo. Após este processo, foram criados polígonos delimitando a área total do campo de dunas em cada uma das imagens, possibilitando, assim, a comparação entre elas, inclusive no mesmo período sazonal mantendo a mesma intensidade pluviométrica, para assim, cumprir com o objetivo proposto nesta pesquisa. As *shapefiles* de polígonos foram devidamente organizadas em uma pasta no ArcCatalog®, onde estavam disponibilizadas e puderam ser acessadas e gerenciadas.

O banco de dados contendo as imagens de satélite foi padronizado e a projeção cartográfica utilizada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM), no fuso 22 sul, correspondente à região de pesquisa, e o sistema de referência geocêntrico o WGS-84 (*World Geodetic System*). O WGS-84 foi escolhido por corresponder ao sistema de referência das efemérides operacionais do sistema de posicionamento global (GPS) e por ser, ao nível de precisão de 1 cm, essencialmente idêntico ao SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que é o sistema de referência oficial adotado no Brasil.

4.4. GEORRADAR

O Georradar (*Ground Penetrating Radar* - Radar de Penetração no Solo) ou Georradar é um método geofísico de aquisição de dados que revela um registro longo, contínuo e de alta resolução e que permite a visualização da geometria dos

corpos sedimentares em subsuperfície (Manzoli, 2010). Esse equipamento possui capacidade de adquirir grande quantidade de informação num tempo reduzido.

Segundo Manzoli (2010), este método é o mais indicado para investigações de depósitos sedimentares rasos como, por exemplo, os depósitos holocênicos, consistindo na irradiação de pulsos curtos de energia eletromagnética de radiofrequência na subsuperfície através de uma antena transmissora. O sinal emitido pelo radar sofre reflexões, refrações e difrações em descontinuidades presentes no meio de propagação. Estas descontinuidades são representadas por diferenças nas propriedades dielétricas do subsolo.

Segundo Rosa (2012), existem sete etapas envolvidas na obtenção dos dados de Georadar. O pulso é gerado e emitido pela antena transmissora. A energia se propaga em subsuperfície até encontrar superfícies com contrastes nas propriedades elétricas. Estas descontinuidades provocam a reflexão da onda que é captada pela antena receptora. Os sinais são enviados para o coletor, onde são registrados, obtendo-se assim as seções ou radargramas.

As antenas utilizadas normalmente variam entre 50 e 500 MHz. Antenas de alta frequência geram dados mais detalhados e com maior resolução, porém não tem grande alcance em profundidade.

De acordo com Manzoli (2010), pode-se considerar sua aplicabilidade em diversos tipos de estudos como, por exemplo, obras civis, gerenciamento ambiental e demais atividades onde seja necessário o levantamento de informações imediatas sobre o substrato raso. A flexibilidade operacional permite cobrir extensas áreas, com grande detalhe em um curto período de tempo, quando comparado a qualquer outro método geofísico de investigação (Gandolfo *et al.*, 2001).

4.4.1. Aplicação

Estudos ao longo de sistemas costeiros utilizando esse método geofísico tem sido empregados com resultados excelentes. Para a Bacia de Pelotas, trabalhos que apresentam resultados que caracterizam a evolução costeira do sistema holocênico

no setor norte da Bacia, utilizando esse método, são apresentados por Rosa (2012); Bitencourt *et al.* (2013, 2014) em Terra de Areia, Barboza *et al.* (2009, 2010, 2011, 2013) em Curumim, Rockett *et al.* (2013, 2014) em Torres, Barboza *et al.* (2014); Biancini da Silva *et al.* (2010, 2013, 2014) em Passo de Torres, Oliveira & Barboza, (2014); Oliveira *et al.* (2015) em Campo Bom e no Camacho (Fornari *et al.*, 2012).

O trabalho com o Georradar foi dividido em três fases: a coleta, o processamento e a interpretação dos dados. A metodologia utilizada na aquisição e processamento dos dados foi proposta por Barboza *et al.* (2014) e a interpretação seguiu a proposta de Neal (2004) para Georradar. Esse método de interpretação foi baseado na terminação (*onlap*, *downlap*, *toplap* e truncamentos), na geometria e na configuração dos refletores (Mitchum Jr. *et al.*, 1977; Catuneanu *et al.*, 2009; Abreu *et al.*, 2010).

Durante a aquisição de dados deste trabalho, foram coletados treze perfis. O equipamento utilizado na pesquisa foi um Georradar modelo SIR-3000 da marca GSSI™ (*Geophysical Survey Systems, Inc.*), utilizando antenas com a frequência central de 150 e 200 MHz acoplada a um GNSS topográfico. Os perfis traçados foram obtidos com o equipamento sendo transportado a pé, mantendo-se uma velocidade constante. Alguns levantamentos foram feitos com antenas de contato, devendo ser posicionada diretamente sobre o solo, enquanto outros, foram realizados com antenas aéreas, mantendo determinada distância do substrato.

O processamento dos radargramas foi executado com a aplicação do software Radan™ v6.0 (*Radar Data Analyser*), onde através do filtro *fir* foram eliminadas as ondas diretas. Após este processamento, foi utilizado o software Prism® v2.60.01, onde foi elevado o ganho do sinal e foram eliminados os ruídos de alta e baixa frequências através do filtro *ormsby-bandpass*.

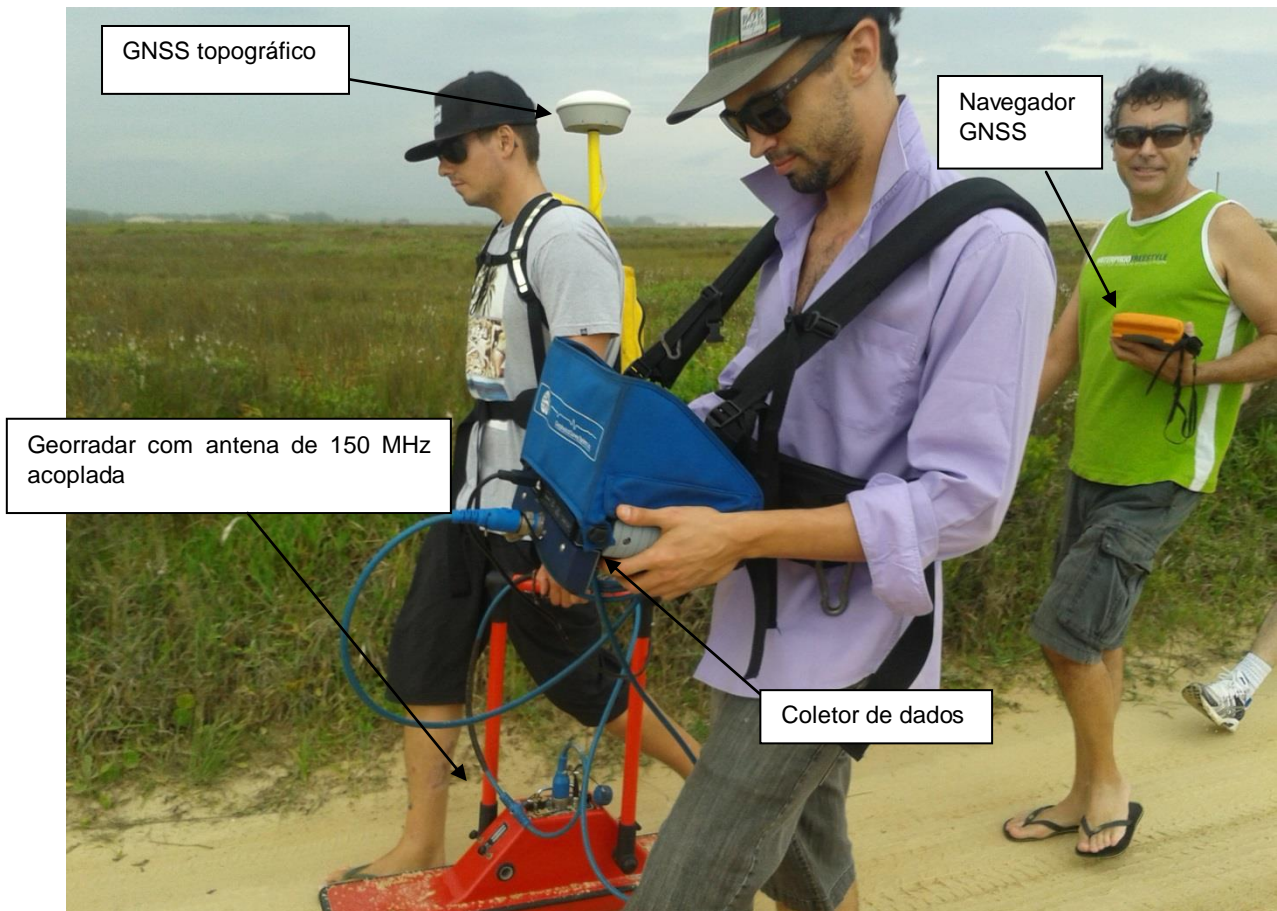


Figura 9: Perfil de Georradar em trabalho de campo (15/12/2014).

4.5. SISTEMAS DE POSICIONAMENTO: GNSS

São sistemas que estabelecem o posicionamento geoespacial autônomo através do uso de satélites artificiais. Estes sistemas permitem que receptores sobre a superfície terrestre possam determinar a sua localização em comparação com os sinais dos satélites, adquirindo sua posição em um sistema de referência espacial conveniente. A acurácia da localização será dada conforme o tipo de técnica de posicionamento utilizada. Quando um sistema de navegação por satélite possui a capacidade de oferecer posicionamento em qualquer ponto da superfície terrestre, adota-se a nomenclatura de Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*).

Segundo Monico (2000), a concepção do sistema GNSS permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próximo a ela, tenha à sua

disposição, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados. Esse número de satélites permite que se realize um posicionamento em tempo real. O GNSS pode ser utilizado sob quaisquer condições climáticas.

Inicialmente, o sistema de radionavegação GPS, ou NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite with Time And Ranging*) foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América - DoD (*Department of Defense*) para fins militares, com o intuito de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas. Posteriormente, as necessidades de posicionamento para uso civil nos diversos segmentos como agricultura de precisão, sistemas de transportes e afins levaram ao surgimento de aplicações específicas neste sentido.

O princípio básico de navegação pelo GNSS consiste na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. Do ponto de vista geométrico, apenas três distâncias, desde que não pertencentes ao mesmo plano, seriam suficientes. Nesse caso, o problema se reduziria à solução de um sistema de três equações, a três incógnitas. A quarta medida é necessária em razão do não sincronismo entre os relógios dos satélites e o do usuário, adicionando uma incógnita ao problema (Monico, 2000).

O segmento espacial consiste de satélites distribuídos em planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, numa altitude aproximada de 20.200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao Equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Dessa forma, a posição dos satélites se repete, a cada dia, quatro minutos antes que a do dia anterior. Essa configuração garante que, no mínimo, quatro satélites GNSS sejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre, a qualquer hora (Monico, 2000). A figura a seguir, ilustra a constelação dos satélites GPS.

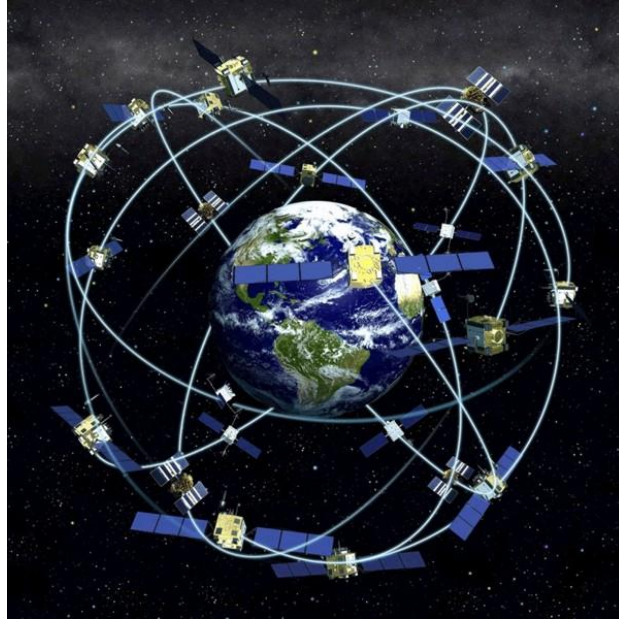


Figura 10: Ilustração da constelação dos satélites GPS. Fonte: extraído do site POPA.

Segundo Rosa (2012), juntamente com o NAVSTAR-GPS (sistema estadunidense), o sistema russo (GLONASS), já em operação, e os sistemas europeu (GALILEU) e chinês (COMPASS), em desenvolvimento, constituem o sistema global de navegação por satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*).

4.5.1. Aplicação

Todos os dados de posicionamento em campo nesta pesquisa foram obtidos através de um GNSS topográfico, modelo Trimble® ProXRT, com precisão pós-processada de centimétrico a decimétrico, cedido pelo Laboratório de Sismoestratigrafia/DPE/IGEO-UFRGS. Os dados que foram obtidos correspondem a perfis de caminhamentos de Georradar que foram realizados a pé com o intuito de identificar feições estratigráficas em subsuperfície.

De acordo com o posicionamento de cada uma, as linhas de Georradar foram plotadas no programa ArcGIS®, o que permitiu a visualização de todos os caminhamentos realizados na área de estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Gruber *et al.* (2013), o município de Jaguaruna, localizado no litoral sul de Santa Catarina, insere-se na APA da Baleia Franca e apresenta 37 km de extensão de orla. Apresenta diversos balneários com um vasto patrimônio ambiental e arqueológico. Os setores praias têm apresentado uma série de conflitos de gestão e utilização nas suas Áreas de Preservação Permanente (APPs). Diante dessa situação, houve um embargo do Ministério Público Federal (MPF) no ano de 2011 a novos setores de urbanização. Foram observados distintos graus de povoamento em cada balneário e proeminência de habitações de segunda moradia (ocupação sazonal para veranismo).

Através da utilização do método de sensoriamento remoto, foram obtidos alguns resultados por meio de comparação entre duas imagens de satélite, uma do ano de 1985 (14/11/1985) e outra de 2005 (20/10/2005). No ano de 1985, o campo de dunas apresentava uma área total de 21,7 km². Já no ano de 2005, este mesmo campo de dunas apresentava, aproximadamente, 12,7 km² de área total. Isso mostra que houve uma perda de sedimentos muito grande, cerca de 9 km², o que pode estar associado à mudanças climáticas ou possível influência antrópica.

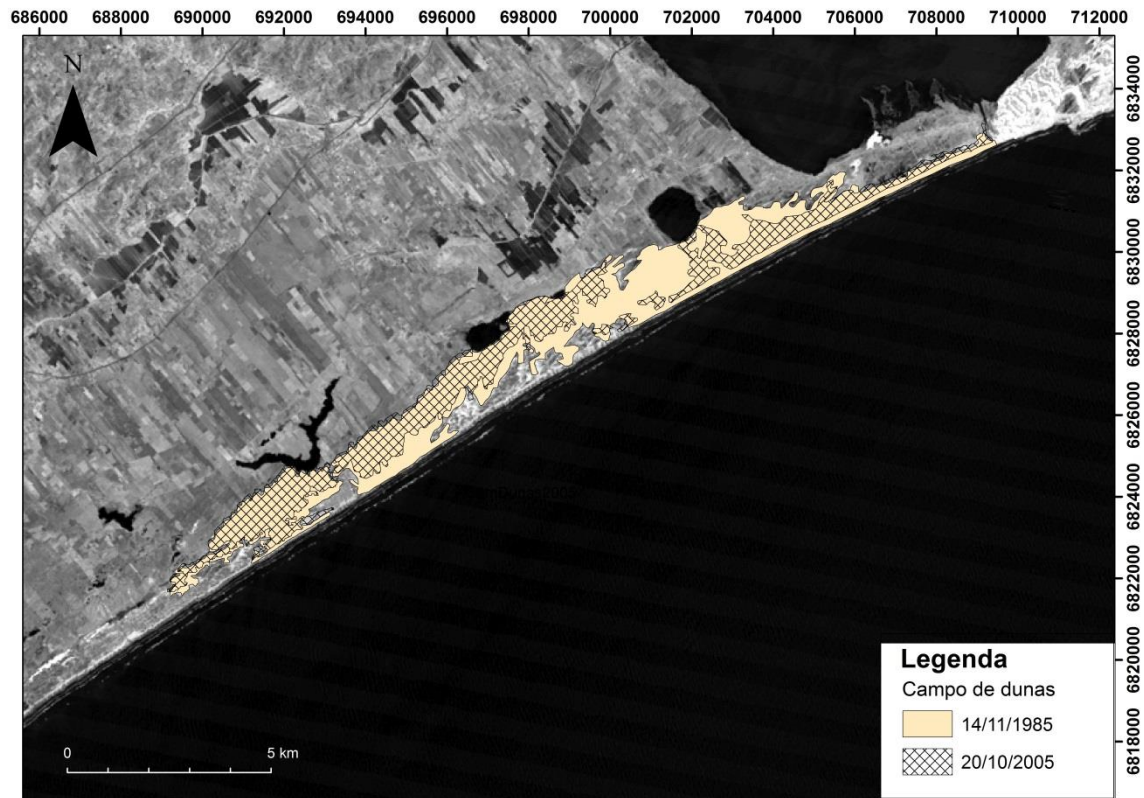


Figura 11: Comparação entre as imagens de 1985 e 2005, satélite Landsat-5, sensor TM, banda 4.

Para a análise e descrição morfológica do extenso campo de dunas presente na região de pesquisa, foram utilizadas imagens obtidas através do site Earth Explorer. Foram elaborados perfis topográficos e um mapa tridimensional da área de estudo. Essa observação das feições morfológicas que compõem esse sistema foi de grande importância, pois foi possível notar a orientação preferencial do campo de dunas no sentido NE-SW e a tipologia principal de cadeias barcanóides configurada pelo sistema eólico.

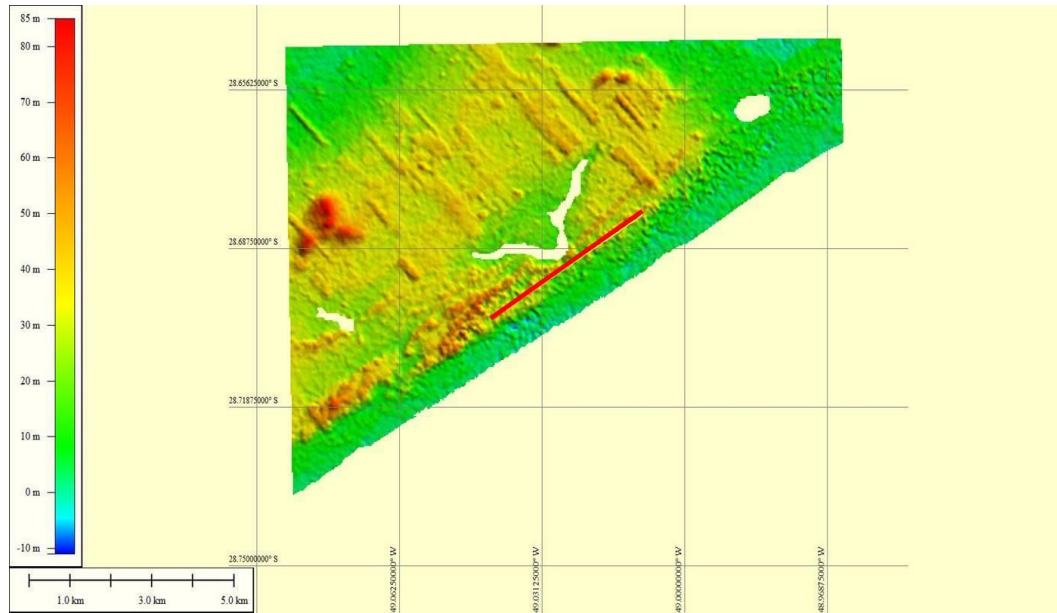


Figura 12: Imagem SRTM geradora do perfil do campo de dunas, paralelo à linha de costa. A linha vermelha demarca o perfil traçado.

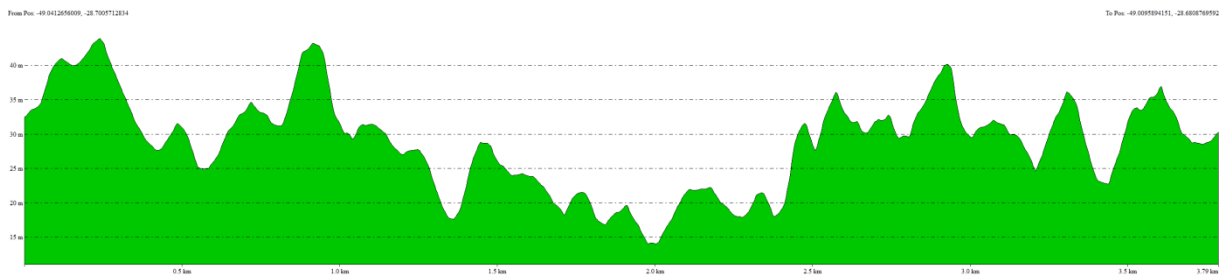


Figura 13: Perfil altimétrico do campo de dunas, paralelo à linha de costa.

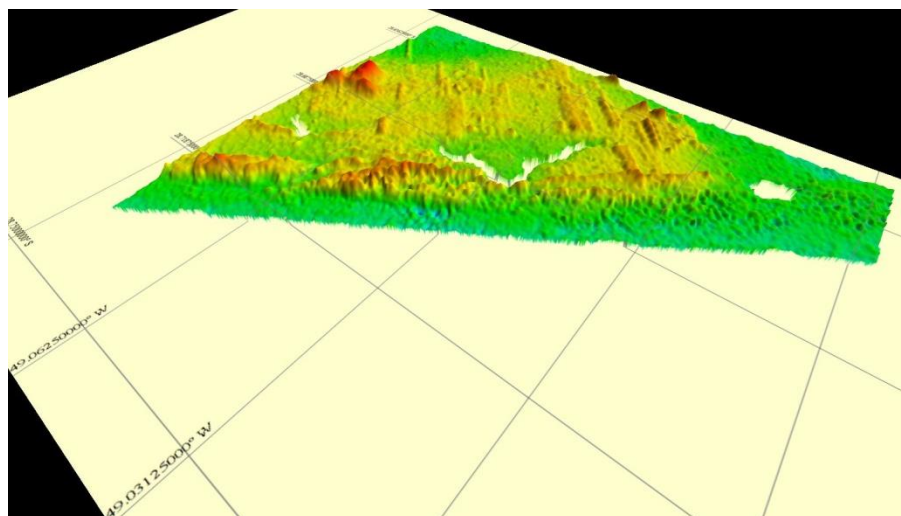


Figura 14: Imagem tridimensional da região de pesquisa.

5.2. GEORRADAR

Através da utilização do Georradar, identificaram-se diferentes radarfácies bem delimitadas. Foram realizados, no total, treze perfis, dos quais quatro perpendiculares e nove paralelos à linha de costa. Todos passaram por processamento e análise, contudo, apenas dois foram escolhidos para interpretação por apresentarem melhor qualidade e permitirem a melhor visualização das estruturas a serem averiguadas nesta pesquisa.

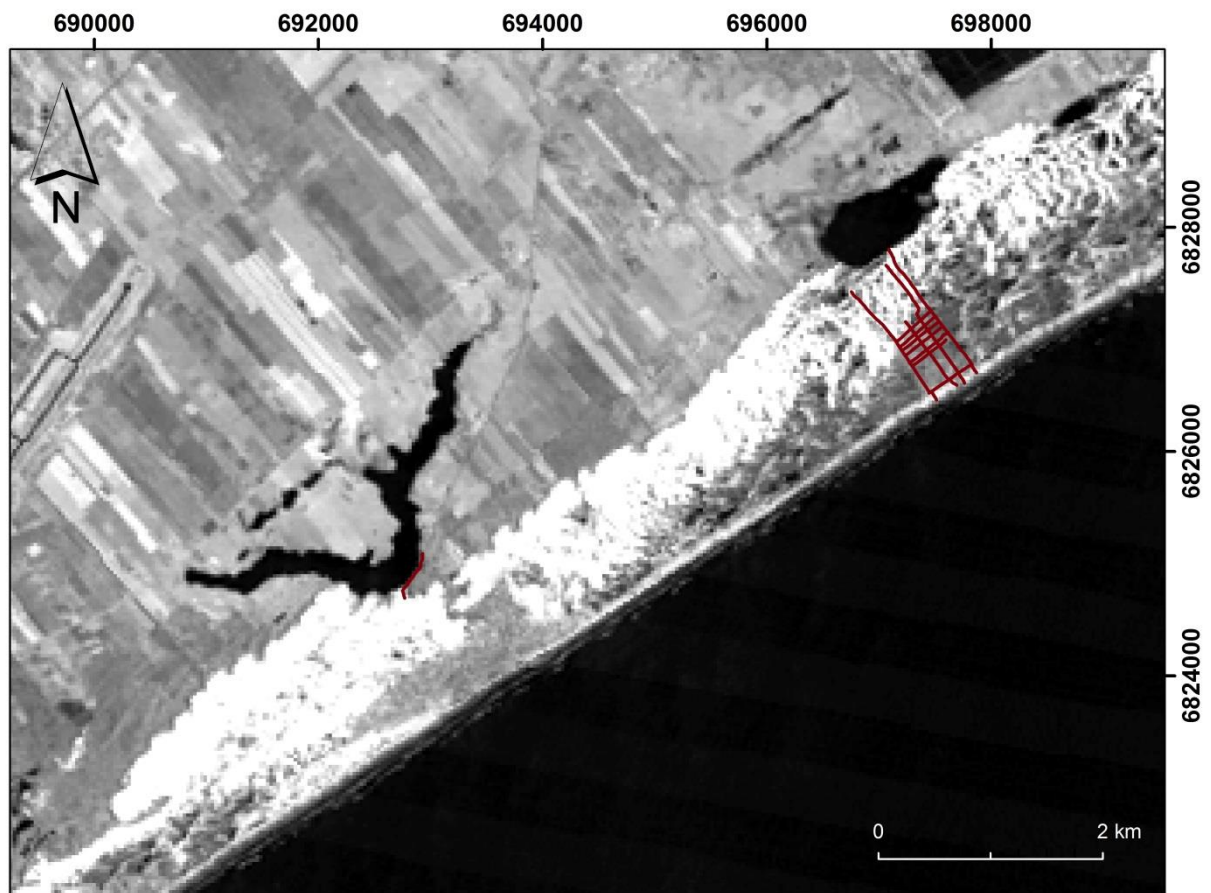


Figura 15: Localização dos treze perfis de Georradar realizados na área de estudo. Imagem do satélite Landsat-5, sensor TM, banda 4.



Figura 16: Localização dos dois perfis de Georradar interpretados e apresentados neste estudo.

Fonte: Google Earth.

No reconhecimento dos perfis de Georradar foram reconhecidas três radarfácies nomeadas com as letras A, B e C (RFA, RFB e RFC). O perfil 1 foi executado paralelamente à linha de costa, no sentido nordeste-sudoeste e possui 420 m de extensão e 21 m de profundidade.

O perfil 2 foi executado de maneira perpendicular à linha de costa, no sentido sudeste-noroeste e possui extensão de 765 m e profundidade de 21 m. As mesmas radarfácies identificadas e interpretadas na seção anterior também foram encontradas e são correlacionáveis.

Na base das duas seções de Georradar é descrita a RFA, onde são observados refletores contorcidos e ondulados com grande comprimento de onda que podem estar representando depósitos gerados em ambiente marinho de antepraia, mais raso e coberto por água (*shoreface superior*). Esse depósito pode estar associado a um embasamento pleistocênico. Conjunto de refletores similares

são descritos por Silva *et al.* (2010); Dillenburg *et al.* (2011) e Barboza *et al.* (2009, 2010, 2011).

Entre, aproximadamente, 16 m e 15 m de profundidade, refletores contínuos subparalelos, com mergulho unidirecional de baixo ângulo, com grande contraste e continuidade lateral por mais de 400 m foram observadas no perfil 1. Estes representam uma superfície erosiva, interpretada como a base de um paleocanal. Os refletores da superfície erosiva truncam os refletores que constituem a RFA. Este mesmo padrão também é observado no perfil perpendicular (perfil 2).

O preenchimento da calha deste paleocanal é representado pela RFB. No perfil 1, observa-se um pacote de refletores não contínuos e sigmoidais com a terminação em *downlap* que truncam na superfície erosiva, sendo indicadas pelas linhas vermelhas na Figura 20. Estas indicam a progradação deste paleocanal (depósito fluvial) no sentido nordeste. Na porção superior desta radarfácies, os refletores tendem a ficar mais paralelizados, podendo indicar uma diminuição da energia de fluxo associada ao confinamento e à parte final da colmatação.

No perfil 2, os refletores da RFB referente aos depósitos fluviais não apresentaram boas definições, mas esta seção possibilitou a visualização de refletores em *downlap* com a superfície erosiva. Estes indicam uma deposição na margem leste do paleocanal (leques de sobrelavagem) e, conseqüentemente, uma migração lateral para oeste do sistema fluvial.

No perfil 1, o último estágio do preenchimento do paleocanal é representado por um conjunto de refletores subparalelos, contínuos e que não apresentam um forte contraste (RFC). Isso sugere que o fim do preenchimento (colmatação) foi completado pelo sistema eólico. No perfil 2, estes refletores (representados por linhas vermelhas na Figura 23) mergulham no sentido do continente, indicando uma possível retrogradação.

A seguir, são apresentados os radargramas adquiridos nos dois perfis:

Perfil 1 (paralelo à linha de costa)

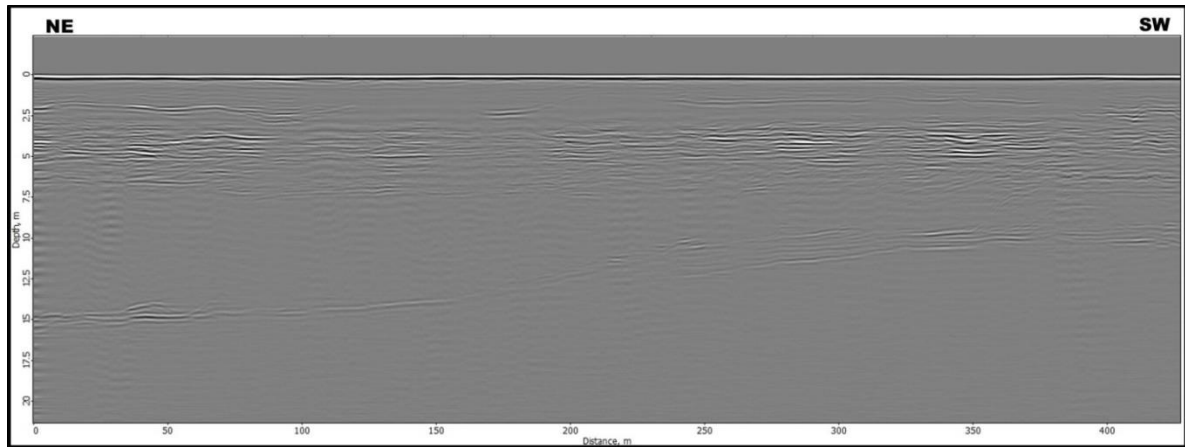


Figura 17: Seção bruta de Georradar (sem correção).

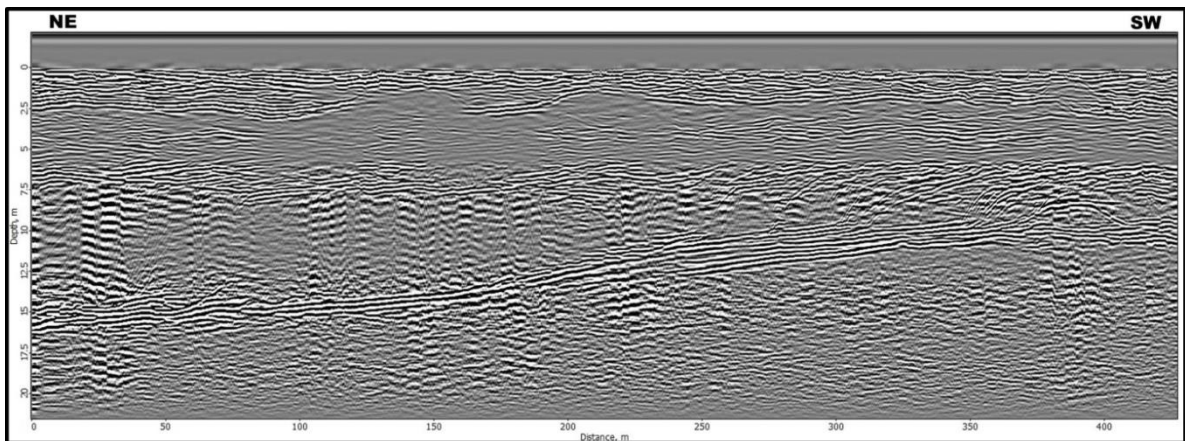


Figura 18: Dado pós-processamento sem a delimitação das radarfácies.

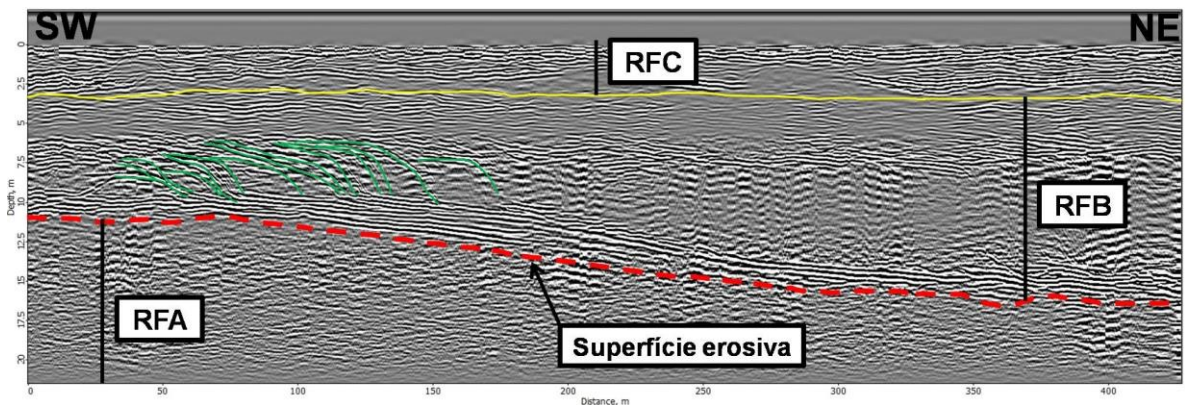


Figura 19: Seção com radarfácies delimitadas (imagem com sentido reverso para melhor visualização das estruturas no mapa).

Perfil 2 (perpendicular à linha de costa)

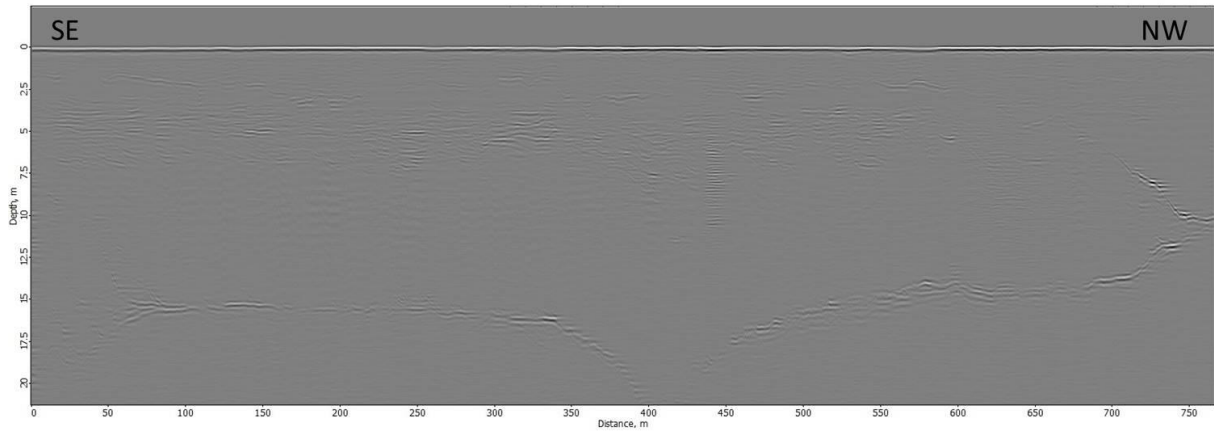


Figura 20: Seção bruta de Georradar (sem correção).

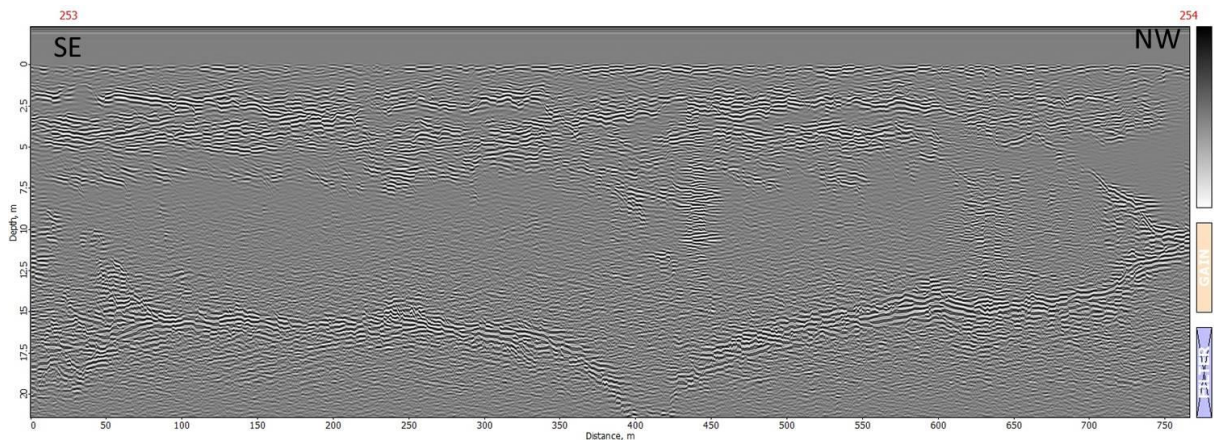


Figura 21: Dado pós-processamento sem a delimitação das radarfácies.

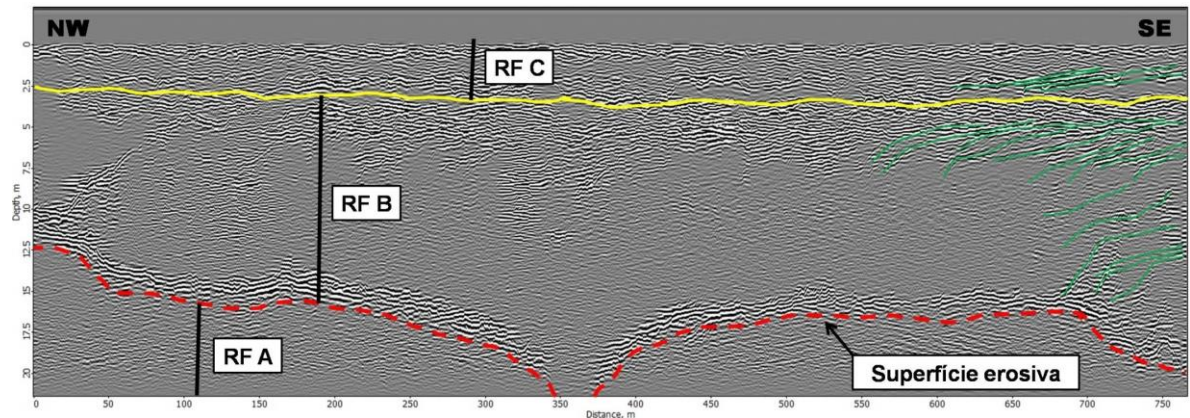


Figura 22: Seção com radarfácies delimitadas (imagem com sentido reverso para melhor visualização das estruturas no mapa).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Dillenburg *et al.* (2011), há cerca de 18 ka o nível do mar começava a sua subida ao longo da costa sul e sudeste brasileira, desde as atuais profundidades de 120 - 130 m (Corrêa, 1995). No início do Holoceno (~11 - 12 ka), ainda em processo de elevação, o nível do mar situava-se a vários metros abaixo do nível que encontra-se atualmente. Há cerca de 7 ka, reduziu a sua velocidade de elevação e alcançou seu nível atual, excedendo-o e alcançando seu nível máximo (2 a 5 m) entre 6 e 5 ka. Diante deste máximo, o nível do mar iniciou um comportamento geral de lenta descida até hoje em dia (Martin *et al.*, 1979; Martin *et al.*, 2003; Angulo & Lessa, 1997; Angulo *et al.*, 2006). Entre 18 e 7 ka, a subida do nível do mar deu-se a índices elevados (1 - 1,5 cm/ano). Nesse período, o comportamento do nível do mar foi extremamente influente na evolução costeira, ocasionando a transgressão da linha de costa e a conseqüente translação, no sentido do continente, dos sistemas deposicionais costeiros.

Segundo Dillenburg *et al.* (2011), em detrimento da maior declividade da plataforma continental no sul da Planície Costeira de Santa Catarina (PCSC), em comparação com outras áreas, as ondas incidem com maior energia na zona de arrebatamento. Isso se deve a um melhor reaproveitamento da energia da onda, pois não a perde pelo atrito com o fundo marinho. Em regiões de mais baixa declividade, a onda vem perdendo energia, pois o tempo de interação com o fundo (atrito) é maior, fazendo com que perca a sua velocidade.

Associado a isso, a orientação da linha de costa (N45°E) na área de pesquisa favorece o impacto frontal dessa ondulação proveniente de sul/sudeste, conforme Figura 24, onde a dissipação da energia é menor, ocasionando maior erosão. Por

isso, esses segmentos costeiros estão subordinados durante um extenso período de tempo e com uma condição de balanço negativo de sedimentos a fatores que são determinantes na retrogradação destes sistemas. É importante ressaltar que esta transgressão da linha de costa ocorre mesmo na atual situação de lento rebaixamento do nível do mar, pois a taxa de retirada de sedimentos, inferindo um balanço negativo, é superior à taxa de rebaixamento do nível do mar.



Figura 23: Ondulação de S/SE incidindo frontalmente na área de estudo. Fonte: Google Earth Pro.

O transporte eólico também é um agente importante na evolução costeira da área de estudo. As ressacas removem uma grande quantidade de sedimentos (erosão). Estes, provenientes do sistema praiial, estão disponíveis e são transportados, quando secos, através dos corredores de alimentação (Tomazelli, 1994), para o interior do continente pela atuação do vento preferencialmente vindo de direção nordeste, alimentando e construindo os extensos campos de dunas costeiras presentes na região. Estes campos de dunas são bastante significativos e estão diretamente relacionados com o comportamento transgressivo da linha de

costa. Migram no sentido sudoeste e sua morfologia principal são cadeias barcanóides e, secundariamente, barcanas e cadeias transversais.

O que observamos na área de estudo é a barreira IV se aproximando da barreira III, mas sem a presença da laguna entre estas, mas sim, um sistema fluvial. O deslocamento da barreira holocênica fez com que seus sedimentos fossem depositados na margem leste, iniciando a colmatação, e no interior do paleocanal, promovendo a sua lenta migração lateral (para oeste), confinamento e colmatação.

O paleocanal estendia-se paralelamente à linha de costa (direção SW-NE) até seu encontro com o mar. Após seu confinamento, o canal abandonado seria representado por pequenos corpos d'água isolados e semicirculares (como observado nas regiões análogas atuais). O sistema eólico tem ação direta no recobrimento das margens destes corpos d'água remanescentes.

O paleocanal analisado apresenta as mesmas características morfológicas análogas aos atuais rios Araranguá e Mampituba, com evolução dos depósitos fluviais para nordeste. Esta característica estaria relacionada com a ação conjunta da deriva litorânea e do próprio sistema fluvial.

Para um melhor entendimento da evolução do paleocanal, foi elaborado um mosaico de fotos com imagens de satélite do Google Earth Pro. As figuras mostram a evolução do rio Araranguá nos últimos anos como forma análoga a da região de pesquisa. É importante lembrar que a escala de tempo a qual o paleocanal está relacionado (aproximadamente 7 mil anos) é muito maior do que a apresentada nas fotos a seguir (10 anos).



Figura 24: Rio Araranguá em 26/09/2005 (fase 1). Progradação do rio para nordeste, paralela à linha de costa. Fonte: Google Earth Pro.



Figura 25: Rio Araranguá em 01/06/2011 (fase 2). Rompimento da barra causada pela erosão das ondas, gerando uma nova desembocadura. É possível observar também leques de sobrelavagem na porção sul da barra. Início do confinamento. Fonte: Google Earth Pro.



Figura 26: Rio Araranguá em 10/07/2012 (fase 3). Confinamento total do antigo canal/desembocadura, deixando um pequeno corpo d'água isolado. Fonte: Google Earth Pro.



Figura 27: Rio Araranguá em 27/04/2013 (fase 4). Diminuição deste corpo d'água devido a continuidade da colmatação (até mesmo depois do confinamento). Este preenchimento do meandro abandonado é realizado pelos leques de sobrelavagem e sedimentos provenientes do sistema eólico. Fonte: Google Earth Pro.



Figura 28: Rio Araranguá em 27/03/2014 (fase 5). Avanço da colmatação e diminuição significativa do meandro abandonado. Fonte: Google Earth Pro.

Associado a transgressão da linha de costa, algumas análises de campo também representam outros fatores que estão ligados à retrogradação do sistema e ajudam a corroborar a hipótese desta pesquisa. São eles:

- Formação de um grande campo de dunas livres em constante migração (Barboza & Rosa, 2014);
- Desenvolvimento de pequenas ravinas na beira da praia em determinados períodos, originadas pelas ressacas marinhas que removem e disponibilizam sedimentos (erosão) que, quando secos, são transportados para o sistema de dunas;
- Exsudações freáticas junto a face de praia são muito comuns na região de estudo. A presença de muitos banhados e regiões alagadiças também podem ser indicadores de retrogradação dos sistemas deposicionais.

Visto isso, foi constatado que diversas áreas habitadas próximas à zona de costa estão correndo riscos de alagamentos e também encontram-se na rota de migração do sistema de dunas. Dessa maneira, visa-se o desenvolvimento de um

plano de gerenciamento costeiro e manejo habitacional sem afetar o crescimento da economia do município, promovendo um desenvolvimento sustentável para esta região.

A partir da aquisição dos radargramas, das observações em campo e da análise de imagens de satélite, diferentes ambientes foram reconhecidos e diagnosticados. Os perfis de Georradar estudados na região do balneário Arroio Corrente identificaram depósitos fluviais em subsuperfície, justificando a ausência da laguna.

Também foi observado o preenchimento do paleocanal proveniente de leste e, desta maneira, comprovando um padrão retrogradacional na área de estudo, mas que não está relacionado com a ausência dos depósitos lagunares. A averiguação destas seções juntamente com o uso do sensoriamento remoto marcam um grande avanço na compreensão de modelos costeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, V.S., NEAL, J. & VAIL, P.R., 2010. **Integration of sequence stratigraphy concepts**. In: Abreu, V.S., Neal, J., Bohacs, K.M. and Kalbas, J.L. (eds.), *Sequence stratigraphy of siliciclastic systems – The ExxonMobil Methodology: atlas of exercises*, 209-224.
- ANGULO, R.J. & LESSA, G.C., 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. **Marine Geology**, 140:141-166.
- ANGULO, R.J.; LESSA, G.C. & SOUZA, M.C., 2006. A critical review of mid- to late Holocene sea level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Review** 25, p.486-506.
- BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C., 2014. **Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul**. In: César Goso. (Org.). *Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros*. Ed. Montevideo: DIRAC - Facultad de Ciencias, 2014, v.1, p.83-98.
- BARBOZA, E.G., DILLENBURG, S.R., ROSA, M.L.C.C., TOMAZELLI, L.J. & HESP, P.A., 2009. Ground penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 56, 579-583.
- BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., DILLENBURG, S.R. & TOMAZELLI, L.J., 2010. **The Holocene coastal barrier of Rio Grande do Sul (southern Brazil): an evaluation based on GPR data**. In: 2010 Meeting of the Americas. *Eos Trans. AGU, Meet. Am. Suppl.*, 91, NS11A-03.
- BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., HESP, P.A., DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J. & AYUP-ZOUAIN, R.N., 2011. Evolution of the Holocene coastal barrier of Pelotas Basin (southern Brazil) - a new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research**, SI 64, 646-650.
- BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., DILLENBURG, S.R. & TOMAZELLI, L.J., 2013. Preservation potential of foredunes in the stratigraphic record. **Journal of Coastal Research**, SI 65, 1265-1270.
- BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C. & CARON, F., 2014. **Metodologia de aquisição e processamento em dados de Georradar (GPR) nos depósitos quaternários da porção emersa da Bacia de Pelotas**. In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, 2014, Porto Alegre-RS. *Resumos Expandidos*, v. 1. p.1-6.
- BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., DILLENBURG, S.R., BIANCINI DA SILVA, A. & TOMAZELLI, L.J., 2014. Stratigraphic analysis applied on the recognition of the interface between marine and fluvial depositional systems. **Journal of Coastal Research**, SI 70, 687-692.
- BIANCINI DA SILVA, A., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C. & FRACALOSI, F.G., 2010. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da Planície Costeira Sul de Santa Catarina. **Gravel**, v. 8, p. 1-7.
- BIANCINI DA SILVA, A., BARBOZA, E.G., MARTINHO, C.T. & ROSA, M.L.C.C., 2013. **Análise estratigráfica de um paleocanal holocênico na barreira regressiva sul-catarinense**. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2013, Natal-RN. *Resumos de Trabalhos*, v. CD.
- BIANCINI DA SILVA, A., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C. & DILLENBURG, S.R., 2014. Meandering fluvial system influencing the evolution of a Holocene regressive barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 70, 205-210.
- BITENCOURT, V.J.B., DILLENBURG, S.R., CARON, F. & BARBOZA, E.G., 2013. **Caracterização morfológica e estratigráfica das cristas de praia da lagoa dos Quadros, Rio Grande do Sul, Brasil - Resultados Preliminares**. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Natal-RN. *Resumos de Trabalhos*, 2013. v. CD.
- BITENCOURT, V.J.B., DILLENBURG, S.R., BARBOZA, E.G., CARON, F., MANZOLLI, R.P. & BIANCINI DA SILVA, A., 2014. **Morfologia e estratigrafia de uma planície de cristas de praia lacustres no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil**. In: XIX Congreso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. *Actas*, v. CD - S12-5.

CATUNEANU O., ABREU, V.S., BHATTACHARYA, J.P., BLUM, M.D., DALRYMPLE, R.W., ERIKSSON, P.G., FIELDING, C.R., FISHER, W.L., GALLOWAY, W.E., GIBLING, M.R., GILES, K.A., HOLBROOK, J.M., JORDAN, R., KENDALL, C.G.ST.C, MACURDA, B., MARTINSEN, O.J., MIALL, A.D., NEAL, J.E., NUMMEDAL, D., POMAR, L., POSAMENTIER, H.W., PRATT, B.R., SARG, J.F., SHANLEY, K.W., STEEL, R.J., STRASSER, A., TUCKER, M.E. & WINKER, C., 2009. Towards the standardization of sequence stratigraphy. **Earth-Science Reviews**, 92, 1-33.

CORRÊA, I.C.S., 1995. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. **Marine Geology**, 130:163-178.

CHUVIECO, E., 1996. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid, Rialp. 3ed. 568p.

DIAS, J.L., SAD, A.R.E., LATGÉ, M.A.L. & SILVEIRA, D.P., 1994a. Bacia de Pelotas: estado da arte e perspectivas exploratórias. In: PETROBRAS, Seminário de Interpretação Exploratória, 2, Rio de Janeiro, **Anais...**, p.270-275.

DIAS, J.L., SAD, A.R.E., FONTANA, R.L. & FEIJÓ, F.J., 1994b. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências Petrobras**, 8:235-245.

DIEHL, F.L. & HORN, Fº, N.O., 1996. Compartimentação geológico-geomorfológico da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. **Notas Técnicas 9**, CECO, UFRGS. Porto Alegre, p.39-50.

DILLENBURG, S.R., BARBOZA, E.G., HESP, P.A. & ROSA, M.L.C.C., 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standart Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 64, 651-655.

DILLENBURG, S.R., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C. & TOMAZELLI, L.J., 2011. Oscilações do nível do mar e a evolução costeira durante o Holoceno no sul do Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Armação dos Búzios. **Anais...**, p.1308-1312.

FLORENZANO, T.G., 2007. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo, Oficina de Textos. 2ed. 101p.

FLORENZANO, T.G., 2011. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo, Oficina de Textos. 3ed. 128p.

FORNARI, M., GIANNINI, P. C. F. & NASCIMENTO JUNIOR, D. R., 2012. Facies associations and controls on the evolution from a coastal bay to a lagoon system, Santa Catarina Coast, Brazil. **Marine Geology**, 323-325, 56-68.

GRUBER, N.L.S., PORTZ, L.C., ROCKETT, G.C., MARTINS, E.M., CRISTIANO, S.C., OLIVEIRA, R.M., VILELLA, M.M., BOFILL, L. & FONTES J.L., 2013. **Ánalyse dos conflitos de uso na área da APA da Baleia Franca no município de Jaguaruna, Santa Catarina, sul do Brasil**. In: XV Congresso Latinoamericano de Ciencias Del Mar, Punta Del Este. Resumos.

GRUBER, N.L.S., BARBOZA, E.G., PORTZ, L., STROHAECKER, T.M., MARTINS, E.M., ROCKETT, G.C., OLIVEIRA, J.F., CRISTIANO, S.C., MANZOLLI, R.P., *et al.*, 2014. **Projeto diagnóstico e plano de manejo das dunas frontais do município de Jaguaruna: arcabouço teórico-conceitual**. Projeto.

HORN Fº, N.O. & FERREIRA, E., 2004. Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira adjacente à enseada dos Currais, Santa Catarina, Brasil. **Gravel (2)**, p.25-39.

HORN Fº, N.O., VIEIRA, C.V., FELIX, A., FUCK, C.F.R., BAPTISTA, E.M.C. & RIBEIRO, D., 2007. Paleogeografia da planície costeira das folhas Jaguaruna e lagoa de Garopaba do Sul, sul de Santa Catarina - Brasil. Florianópolis. 3p. **Anais do XI Congresso da ABEQUA**.

HORN Fº, N.O., FELIX, A., VIEIRA, C.V., BAPTISTA, E.M.C., 2010. **Geologia da planície costeira das folhas Jaguaruna e lagoa de Garopaba do Sul, SC, Brasil**. Revista Discente Expressões Geográficas, nº 06, ano VI, p.90-110. Florianópolis, junho de 2010.

<http://mundogeo.com/blog/2012/02/14/geoprocessamento-com-utilizacao-do-satelite-landsat-5-tm-para-estudo-de-caso-do-municipio-de-betim/> (Divisão e geração de imagens INPE) visitado em 17/06/2014.

<http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/07/como-funciona-e-para-que-serve-o.html> (Parque da Ciência) visitado em 19/04/2014.

http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?pid=S1519-874X2011000100009&script=sci_arttext (Instituto de Geociências - USP) visitado em 30/09/2015.

http://www.cprm.gov.br/gis/carta_pelotas.htm (CPRM) visitado em 22/09/2015.

<http://earthexplorer.usgs.gov/> visitado em 16/07/2015

<https://www.google.com/earth/> visitado em 17/11/2015.

<http://www.inpe.br/> (INPE) visitado em 14/07/2015

http://www.popa.com.br/_2008/cronicas/gps/funcionamento_do_gps.htm (POPA) visitado em 27/05/2014.

<https://www.universoracionalista.org/redshift-e-efeito-doppler/> visitado em 16/08/2014.

MANZOLLI, R.P., 2010. **Geomorfologia do complexo de cordões litorâneos lagunares do Pontal da Feitoria - margem oeste sul da laguna dos Patos**. Porto Alegre. 83p., Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MARTIN, L., SUGUIO, K. & FLEXOR, J.M., 1979. Le Quaternaire marin du littoral brésilien entre Cananéia (SP) et Barra de Guaratiba (RJ). In: International symposium of coastal evolution in the Quaternary, **Proceedings**, São Paulo, Brasil, p.296-331.

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

MITCHUM JR., R.M., VAIL, P.R. & SANGREE, J.B., 1977. **Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphy interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences**. In: Payton, C.E. (ed.), *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, AAPG, 26, 117-133.

NEAL, A., 2004. Ground penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth Science Reviews**, 66, 261-330.

MENESES, P.R. & ALMEIDA, T., 2012. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília. 266p.

MONICO, J.F.G., 2000. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo, Editora da UNESP. 287p.

NIMER, E., 1979. **Climatologia do Brasil**. 2ed., IBGE, 422p.

NOVO, E.M., 1989. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, Ed. Edgar Blucher. 308p.

OLIVEIRA, J.F. & BARBOZA, E.G., 2014. **A dinâmica costeira no litoral de Jaguaruna, Santa Catarina**. In: XIX Congreso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. Actas, v. CD - S12-17.

OLIVEIRA, J.F., BARBOZA, E.G. & BENAVENTE, J., 2015. **Evolución de la barrera costera Holocena al sur del Cabo de Santa Marta, estado de Santa Catarina, Brasil**. In: VIII Jornadas de Geomorfología de Litoral, Marbella-Espanha. Geo-Temas. Salamanca-ES: Sociedad Geológica de España. v. 15. p.173-176.

ROCKETT, G.C., BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C., 2013. **Estimativa da espessura sedimentar e relações estratigráficas na região da planície de deflação do campo de dunas de Itapeva/RS, através de dados de Georradar**. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Natal-RN. Resumos de Trabalhos, v. CD.

ROCKETT, G.C., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C. & GRUBER, N.L.S., 2014. **Caracterização geológica e geomorfológica do campo de dunas de Itapeva, RS, Brasil**. In: XIX Congreso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. Actas, v. CD - S12-36.

ROSA, R., 1992. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 2ed. Uberlândia, Editora Edufu. 109p.

ROSA, M.L.C.C., 2012. **Geomorfologia, estratigrafia de seqüências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. Tese de Doutorado. 246p. <<http://hdl.handle.net/10183/66367>>.

SILVA, A.B., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C. & FRACALOSSO, F.G., 2010. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da Planície Costeira Sul de Santa Catarina. **Gravel** 8, 1-7.

TOMAZELLI, L.J., 1994. Morfologia, organização e evolução do campo eólico costeiro do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, 21:64-71.

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A., 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (eds) **Geologia do Rio Grande do Sul**, Edições CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.375-406.