

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

GEORRADAR E ANÁLISE GEOLÓGICA DO DEPÓSITO MINERAL TIPO *PLACER* NA
REGIÃO DO RETIRO E ESTREITO (SÃO JOSÉ DO NORTE – RS)

por

BRUNO SILVA DA FONTOURA

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica

Rio Grande, Fevereiro, 2018

GEORRADAR E ANÁLISE GEOLÓGICA DO DEPÓSITO MINERAL TIPO *PLACER* NA
REGIÃO DO RETIRO E ESTREITO (SÃO JOSÉ DO NORTE – RS)

Por

BRUNO SILVA DA FONTOURA
Mestre em Engenharia Oceânica

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Área de Concentração: Engenharia Costeira

Orientador: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Co-orientador: Prof. Dr. Adelir José Strieder

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Jose Antonio Scotti Fontoura

PPGEO/FURG

Prof. Dra. Elaine Siqueira Goulart

LOG/FURG

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

CECO/UFRGS

Prof. Dr. Liércio André Isoldi

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

Rio Grande, 07, Fevereiro de 2018

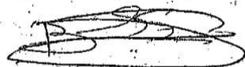


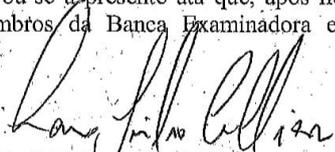
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Caixa Postal 474, 96201-900 Rio Grande, RS, Brasil
e-mail: ceno@furg.br
www.engenhariaoceanica.furg.br

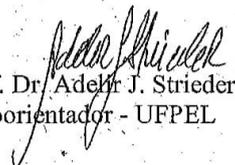


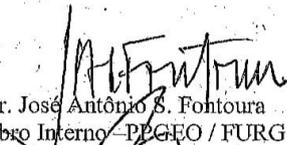
ATA DE DEFESA Nº 01/2018

Aos sete dias do mês de fevereiro de dois mil e dezoito, no Mini-auditório do LOG, no Campus Carreiros, com início às 14:00 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Lauro J. Calliari (Orientador – presidente/FURG), Prof. Dr. Adélio J. Strieder (Coorientador - UFPEL), Prof. Dr. José Antônio S. Fontoura (FURG), Profa. Dra. Elaine S. Goulart (FURG) e Prof. Dr. Iran Carlos S. Corrêa (UFRGS), para avaliar a dissertação de mestrado de BRUNO SILVA DA FONTOURA intitulada “GEORRADAR E MODELAGEM GEOLÓGICA DO DEPÓSITO MINERAL TIPO PLACER NA REGIÃO DO RETIRO (SÃO JOSÉ DO NORTE – RS)”. Dando início à defesa pública, o Prof. Dr. Lauro J. Calliari, fez a apresentação do(a) candidato(a) e dos integrantes da Banca Examinadora, esclarecendo o procedimento de avaliação: o(a) candidato(a) teria cinquenta minutos para a apresentação e, em seguida, cada examinador teria trinta minutos para os questionamentos pertinentes. Após a apresentação da dissertação, os examinadores fizeram questionamentos e observações e, posteriormente, reuniram-se em reservado para concluir a avaliação. Como resultado, os membros da Banca Examinadora solicitaram algumas alterações, estabelecidas conforme parecer em anexo, que foram aceitas pelo orientador e pelo(a) candidato(a), para incorporação na versão final que deverá ser encaminhada à Coordenação de Curso no prazo de trinta dias após a defesa, sem as quais o(a) candidato(a) não receberá o diploma de Mestre em Engenharia Oceânica. O(A) candidato(a) foi assim considerado(a) APROVADO. O presidente da Banca Examinadora agradeceu a presença de todos, dando por encerrada a reunião. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata que, após lida e aprovada, recebeu as assinaturas do(a) mestrando(a), dos membros da Banca Examinadora e do Coordenador do PPGeo.

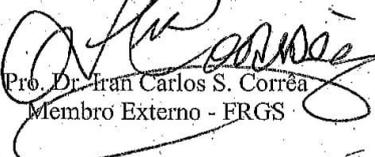

Bruno Silva da Fontoura
Mestrando


Prof. Dr. Lauro J. Calliari
Orientador


Prof. Dr. Adélio J. Strieder
Coorientador - UFPEL


Prof. Dr. José Antônio S. Fontoura
Membro Interno - PPGeo / FURG


Profa. Dra. Elaine S. Goulart
FURG


Prof. Dr. Iran Carlos S. Corrêa
Membro Externo - UFRGS

Parecer da banca examinadora: A BANCA DELIBERA QUE AS DISCUSSÕES E RESULTADOS BEM COMO AS CONDIÇÕES SEJAM EXPANDIDAS. ADICIONALMENTE AS FIGURAS DEVEM SER MELHORADAS.


Prof. Dr. Inercio André Isoldi
Coordenador do PPGeo

“How many roads must a man walk down
Before you can call him a man?
Yes, and how many seas must a white dove sail
Before she sleeps in the sand?
Yes, and how many times must cannonballs fly
Before they're forever banned?

The answer, my friend, is blowin' in the wind
The answer is blowin' in the wind”

BOB DYLAN, 1963

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado com recursos da CAPES e pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG), aos quais agradeço pelo total apoio.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Lauro J. Calliari, pela incessante colaboração e conhecimentos científicos fornecidos ao longo deste trabalho. A sua experiência profissional foi de grande valia para o desenvolvimento dessa dissertação. Obrigado Lauro!

Ao meu co-orientador e amigo Prof. Dr. Adelir J. Strieder, que em meados de 2014 começamos a desenvolver o assunto desta pesquisa e, desde então, sempre se mostrou disposto a contribuir com o seu vasto conhecimento científico e profissional. Sempre em busca de mais conhecimento me ensinou que devemos ter prazer pelas coisas que fazemos. Que o tempo é relativo e o que fazemos da meia-noite às 6 horas manhã?!?!

À empresa Rio Grande Mineração S/A e mais especificamente ao geólogo Aureliano Nóbrega pelos conhecimentos geológicos da região e pelo apoio nas saídas de campo. Sem sua ajuda em toda logística o trabalho seria muito mais árduo.

Ao geólogo Paulo Mendes pela sua disponibilidade e parceira em ceder os equipamentos e, realizar os levantamentos geofísicos, fundamentais para a concretização deste trabalho.

Aos professores e amigos Miguel e Christian pela disponibilidade e realização do trabalho de campo com o GPS Geodésico e, incansável disposição em me ajudar.

Aos meus colegas de mestrado e do LEC/FURG (Laboratório de Engenharia Costeira) Gabriel, Finato, Andrei, Arthur, Nicole, Marine, Veri e Marcelo.

À minha mãe Rosa, amiga e companheira pelo incondicional suporte que sempre obtive com relação aos meus estudos. Ao meu pai Zé, amigo, professor e conselheiro. Sempre me orientando em qual o melhor caminho a seguir. E, a minha irmã Julia, sempre me apoiando e torcendo por mim. Amo todos vocês!

Por fim, agradeço a pessoa mais maravilhosa que conheci, minha mulher Marcela, que me deu o melhor presente de todos, minha filha Marine. Sem teu amor, amizade e o companheirismo seria mais complicado.

RESUMO

Os depósitos minerais do tipo *placer* destacam-se pela sua grande abrangência tanto em áreas emersas como submersas da Terra. O minério é proveniente de sedimentos em que minerais detríticos pesados são concentrados durante a deposição. O depósito *placer* do Retiro (São José do Norte – RS) localiza-se na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. O objetivo desse trabalho é identificar a estruturação interna e compreender a formação do depósito tipo *placer* na localidade do Retiro (São José do Norte, RS) e, além disso, investigar a presença de falhas gravitacionais normais e sua influência no controle estrutural da sedimentação e do depósito mineral. Com o auxílio das empresas Rio Grande Mineração S.A. (RGM) e HIDROSERV (Hidrogeologia e Geofísica Ltda.), foi realizado um levantamento geofísico por meio do método de prospecção *Ground Penetrating Radar* (GPR) e, ainda, através da disponibilidade dos furos de sondagem da área cedidos pela empresa Rio Grande Mineração S.A. (RGM) foi produzida uma análise geológica destes furos de sondagem. O depósito mineral do Retiro (RS) é estruturalmente controlado por falhas gravitacionais normais sintéticas e antitéticas. As falhas normais, de natureza gravitacional e rotacional, fazem parte de uma estrutura regional que condiciona os sistemas lagunares da Lagoa do Peixe e da Lagoa Retiro – Estreito. Essas falhas normais também controlam o tipo de sedimentação presente na região. A estrutura interna dos radarfácies está disposta, preferencialmente, através de uma estratificação plano-paralela. A sedimentação é de origem eólica, principalmente dos ventos vindos de NE, predominantes na região de estudo. A interpretação dos radargramas identificaram a presença de estruturas de *onlap* e *downlap*. As estruturas de *onlap* e *downlap* mostram que o depósito mineral em questão é formado por sedimentos que se depositaram através de uma estratificação plano-paralela com predominância de baixo a médio ângulo.

Palavras Chave: prospecção geofísica (GPR); depósito *placer* Retiro; análise geológica; Estratificação plano-paralela

ABSTRACT

The placer type mineral deposits are distinguished by their large coverage in both emerged and submerged area on Earth planet. The ore derives from sediments, in which heavy detrital minerals are concentrated during the deposition. The Retiro placer is located in the Coastal Plain of the Rio Grande do Sul state (Brazil). The aim of this study is to identify an internal structure and understand the formation of placer type mineral in the Retiro locality (São José do Norte – RS) and also to investigate a presence of normal gravitational faults and their influence in the structural control of sedimentation and as mineral deposit. With the help of Rio Grande Mineração SA (RGM) and HIDROSERV (Hidrogeologia e Geofísica Ltda.), were carried out geophysical surveys by the Ground Penetrating Radar (GPR) prospecting method and, through the availability of the drilling holes of the area by the company Rio Grande Mineração SA (RGM) was produced a geological analysis. The mineral deposit of the Retiro (RS) is structurally controlled by synthetic and antithetic normal gravitational faults. These normal faults show features related to gravitational and rotational tectonics ones. The normal faults control lagoon systems (Lagoa do Peixe and Lagoa Retiro – Estreito). These normal faults also control the type of sedimentation present in the region. The internal structure of the radarfacies is organized through a plane-parallel stratification. The sedimentation has a wind origin, mainly of the winds coming from NE, predominant in the studied region. The interpretation of the radargrams identified the presence of onlap and downlap structures. The onlap and downlap structures show that the mineral deposit are formed by sediments deposited through of a plane-parallel stratification with low to medium angle predominant.

Keywords: geophysical method (GPR); Retiro placer deposit; geological analysis; plane-parallel stratification

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Depósitos de placeres de minerais pesados no mundo	3
1.2. Objetivos do trabalho	5
1.2.1. Objetivo geral.....	5
1.2.2. Objetivo específicos.....	5
1.2.3. Justificativa	6
2. ÁREA DE ESTUDO	7
2.1. Características gerais da área de estudo	8
2.2. Geologia Regional.....	9
2.3. Geologia Local	12
2.3.1. Geologia local da região de São José do Norte.....	12
2.3.2. Geologia local do Depósito de minerais pesados de Bujuru.....	13
2.4. Geomorfologia local	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4. METODOLOGIA	24
4.1. Levantamento geofísico por Georradar.....	25
4.1.1. Técnicas de processamento de dados por GPR.....	29
4.2. Levantamento com GPS Geodésico.....	32
4.3. Análise geológica	34
5. RESULTADOS	39
5.1. Análise e descrição das estruturas geológicas nos radargramas.....	39
5.1.1. Radargramas da região do Retiro	39
5.1.2. Radargramas da região do Estreito	43
5.2. Análise e geológica dos furos de sondagem.....	46
6. DISCUSSÕES.....	50
7. CONCLUSÃO	57
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXO 1 – Banco de dados cedidos pela empresa Rio Grande Mineração S.A.	67

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Distribuição global dos recursos minerais marinhos conhecidos. Modificado de Rona (2008 *apud* Scott, 2008) 2
- Figura 2.1 – Localização da área de estudo, evidenciando a geologia regional (Modificado de Tomazelli e Villwock 1996)..8
- Figura 2.1.1 – Mapa do Rio Grande do Sul evidenciando as regiões do Retiro, Estreito e Bujuru (*Modificado do Google Earth*)..9
- Figura 2.2.1 – Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul com suas fácies sedimentares associadas (Modificado de Tomazelli & Villwock, 2005)..11
- Figura 2.3.2.1 – Seção estratigráfica transversal do sistema laguna-barreira holocênico (Barreira IV) no bloco Bujuru Norte (Modificado de Dillenburg *et al.*, 2000)...13
- Figura 2.4.1 – Mapa geológico-geomorfológico da região de São José do Norte (Modificado de Tagliani, 2002)...14
- Figura 3.1 – Furos de sondagem do depósito de Bujuru (imagem modificada do *Google Earth*)...17
- Figura 3.2 – Furos de sondagem do depósito de Bujuru. Autorizada a publicação pela Rio Grande Mineração S.A...18
- Figura 3.3 – Radargramas dos levantamentos com GPR 50 MHz em Bujuru, RS....19
- Figura 3.4 – Imagem em alta resolução da região do Estreito (São José do Norte, RS, Brasil) mostrando o modelo de controle estrutural em escala real da região de estudo (imagem modificada do *Google Earth*)....20
- Figura 3.5 – Modelo de controle estrutural dos depósitos *placer* em Bujuru (São José do Norte, RS), evidenciando falha gravitacional, as dobras de arrasto e a rotação de blocos. Autoria própria....22
- Figura 3.6 – Modelo de controle estrutural do depósito *Placer* em Bujuru-RS, evidenciando os processos que ocorrem no bloco. Autoria própria....23
- Figura 4.1 – Fluxograma dos procedimentos de investigação que serão realizados para a construção deste trabalho....25
- Figura 4.1.1 – Receptor utilizado no levantamento....26
- Figura 4.1.2 – Localização dos perfis de levantamento geofísico na localidade do Retiro (São José do Norte, RS)....27
- Figura 4.1.3 – Localização dos perfis de levantamento geofísico na localidade do Estreito (São José do Norte, RS)....28
- Figura 4.1.4 – Antena todo terreno (RTA) não blindada, tipo *snake*, de 50 MHz do GPR MALA-RAMAC utilizado no trabalho de campo. Equipamento da empresa HIDROSERV – Hidrogeologia e Geofísica Ltda....29
- Figura 4.1.1.1 – Perfil ilustrativo sem o corte do *delay time* e das ondas diretas de superfície e subsuperfície. A) Janela que mostra o traço da onda EM recebida e identifica o traço zero e as ondas diretas. B) Radargrama composto por todos os traços da onda EM recebida (pulsos emitidos) ao longo do perfil de levantamento ilustrativo....30
- Figura 4.2.1 – Antena acoplada na lateral do carro usado para o serviço....33
- Figura 4.2.2 – Base fixa do GPS Geodésico utilizada no levantamento....33
- Figura 4.3.1 – Localização dos furos de sondagem disponibilizados pela empresa Rio Grande Mineração S.A (imagem modificada do *Google Earth*)....35
- Figura 4.3.2 – Perfis geofísicos e seções geológicas analisadas. (Imagem modificada do *Google Earth*)....36
- Figura 4.3.3 – Seção geológica 7N....37
- Figura 4.3.4 – Seção geológica 7N interpretada....38
- Figura 5.1.1.1 – Perfil Retiro Lagoa-BR sem e com interpretação....40

- Figura 5.1.1.2 – Perfil Retiro Estaleiro sem e com interpretação....41
- Figura 5.1.1.3 – Perfil Retiro BR-Praia sem e com interpretação....42
- Figura 5.1.1.4 – Perfil Retiro Mata-Curto sem e com interpretação....43
- Figura 5.1.2.1 – Perfil Estreito BR-Praia sem e com interpretação....44
- Figura 5.1.2.2 – Perfil Estreito Lagoa-BR (até o cemitério) sem e com interpretação....45
- Figura 5.1.2.3 – Perfil Estreito Lagoa-BR (a partir do cemitério) sem e com interpretação....46
- Figura 5.2.1 – Localização das seções geológicas e perfis geofísicos analisados (Imagem modificada do *Google Earth*)....47
- Figura 5.2.2 – Seção geológica 0.75S interpretada....48
- Figura 5.2.3 – Seção geológica 0.75S (Furos de sondagem)....48
- Figura 5.2.4 – Seção geológica 7N interpretada....49
- Figura 5.2.5 – Seção geológica 7N (Furos de sondagem)....49
- Figura 6.1 – Diagrama com os tipos de refletores (Modificado de Emery & Myers, 1996)....50
- Figura 6.2 – Comportamento do nível do mar na costa brasileira nos últimos 6 ka (Modificado de Angulo *et al.*, 2006)....51
- Figura 6.3 – Perfil geofísico (GPR) na Praia do Hermenegildo (RS). Antena de 70 MHz. a) Radargrama não interpretado. b) Interpretação dos radarfácies. (Modificado de Lima *et al.*, 2013)....52
- Figura 6.4 – Radargrama da Praia do Cassino, evidenciando os limites de radarfácies (Modificado de Dillenburg *et al.*, 2017)....53
- Figura 6.5 – Mapa de localização da área de estudo. Em detalhe a imagem de satélite onde se observa cristas (tonalidade mais clara) e cavas (mais escuras) que representam a paleotopografia de cordões de dunas frontais (Modificado de Silva *et al.*, 2010)....54
- Figura 6.6 – a) Em torno de 2,5 m, um refletor diacrônico que corta os outros refletores representa o nível do lençol freático. b) As radarfácies delimitadas não representam superfícies de tempo, as quais encontram-se em posição inclinada/obliqua com relação as estas delimitações (Modificado de Silva *et al.*, 2010)....55
- Figura 6.7 – a) Perfil de GPR em Curumim (RS) com uma antena de 70 MHz. b) Perfil de GPR em Pinheira (SC) com uma antena de 200 MHz (Modificado de Barbosa *et al.*, 2009)....56

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ka	mil anos
Ma	Milhões de anos
m	metros
m ³	metros cúbicos
km	quilômetros
km ²	quilômetros quadrados
ton	toneladas
Hz	hertz
MHz	mega hertz
n.m.m	Nível Médio do Mar
HM	<i>Heavy Mineral</i>
<i>Inc.</i>	<i>Incorporation</i>

1. INTRODUÇÃO

O fundo marinho e as planícies costeiras são importantes fontes de riquezas minerais usadas nas atividades humanas. Atualmente, os recursos minerais continentais são, em sua maioria, os que possuem grandes investimentos e tecnologia avançada para a sua extração. Entretanto, os recursos minerais costeiros do tipo *placers* são amplamente disseminados em todo o planeta e normalmente não requerem investimentos em extração e proteção ambiental tão significativos quanto outros depósitos metálicos.

Os depósitos tipo *placers* são formados pela concentração mecânica de partículas minerais detríticas em ambientes subaquosos e podem ocorrer em rios, lagos, praias e assoalho marinho (Kuenen, 1950). Os seus constituintes derivam do intemperismo sobre rochas e minerais de veio dentro da bacia de drenagem de rios e córregos e são sedimentados seletivamente em relação aos minerais detríticos mais leves. Depois de atingir a zona costeira, os grãos tamanho areia podem ser movidos ao longo da mesma (litoral) pela ação do vento, ondas e marés.

Os depósitos tipo *placers* conhecidos em plataformas continentais foram concentrados mecanicamente por água corrente (Figura 1.1) como consequência da alta densidade relativa ($> 3,2 \text{ g/cm}^3$) de alguns minerais resistentes para a massa de minerais detríticos que possui, em sua maioria, quartzo e feldspato ($2,5$ a $2,7 \text{ g/cm}^3$). A resistência de um mineral (dureza, clivagem, densidade e solubilidade) à ação mecânica durante o transporte determina a distância que ele pode ser transportado a partir de sua fonte (Kudrass, 2000; Yim, 2000). A distância média de transporte da fonte (*bedrock*) para um depósito tipo *placer offshore* é 8 km (Emery & Noakes, 1968).

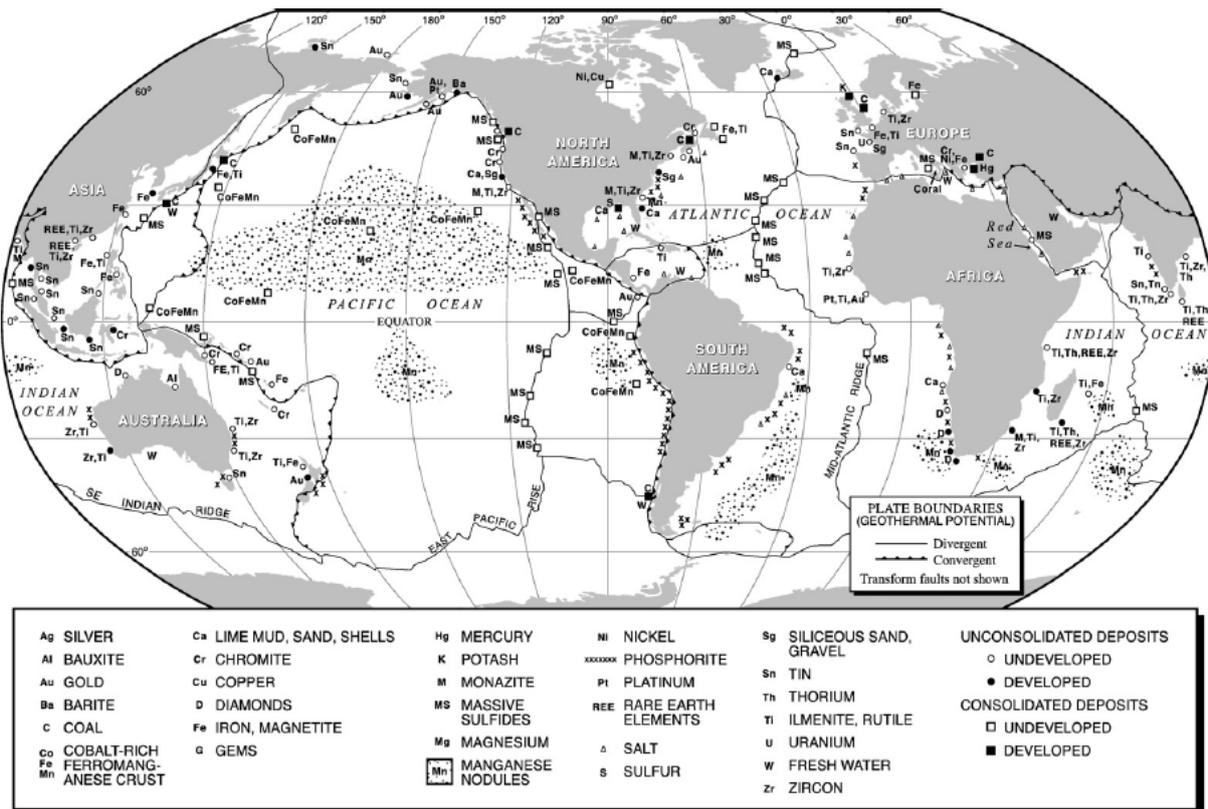


Figura 1.1 – Distribuição global dos recursos minerais marinhos conhecidos. Modificado de Rona (2008 *apud* Scott, 2008).

Existem algumas formas de classificar os tipos de depósitos de *placer*, entre elas, Earney (1990) e Mero (1965) e Emery & Noakes (1968) que classificam os placeros em: minerais pesados "pesados" (gravidade específica entre 21 e 6,8 g/cm³), minerais pesados "leves" (gravidade específica entre 5,3 e 4,2g/cm³) e em gemas (gravidade específica entre 4,1 e 2,9g/cm³). Mas, será apresentada a classificação de Kudrass (2000), pois melhor representa este tipo depósito e é usado pela maioria dos pesquisadores. Os depósitos de *placer* podem ser de três tipos genéricos segundo Kudrass (2000):

- placers* de praia disseminados, geralmente contendo minerais pesados leves (densidade < 6 g/cm³, como: rutilo, ilmenita, magnetita, monazita, zircão, silimanita e granada), que são concentrados por ondas e correntes *longshore*;
- placers* fluviais de fundo, compreendendo areia grossa e cascalho. Eles cobrem o fundo de canais de rios contendo metais pesados (por exemplo: ouro); e, por fim,
- depósitos aluvionares que também contêm metais pesados.

Os depósitos de *placer* podem estar acima, no e abaixo do nível do mar e estão relacionados

à história de mudanças regionais e eustáticas desse nível base. Nos registros geológicos, os placeres fluviais são atualmente os mais importantes do ponto de vista econômico (Minter & Craw, 1999). Por exemplo: os depósitos de ouro do arqueano na Bacia de Witwatersrand na África do Sul (Frimmel *et al.*, 2005) são entendidos como depósitos em leque na entrada de um rio que desemboca dentro de um lago intracratônico (Pretorius, 1991), embora uma origem hidrotermal tenha sido recentemente defendida (Law & Phillips, 2005).

Com relação à mineração, deve-se notar que muitos minérios do leito oceânico são relativamente mais ricos do que os depósitos continentais. A própria tecnologia de extração para os depósitos tipo *placers*, baseado em métodos essencialmente gravimétricos, requer instalações e equipamentos de menor custo e pode produzir impactos ambientais significativamente menores. Além disso, a água proporciona um meio de transporte relativamente mais barato, tanto em termos de logística, como em termos de distribuição e de instalação (os portos para carga e descarga dos produtos já se encontram normalmente prontos). Entretanto, a distância do local da mina ao mercado pode ser de milhares de quilômetros e isso implica em custos de transporte. Também ocorrem custos associados a interrupções devido a problemas meteorológicos. A mineração *onshore* a céu-aberto também deve considerar possíveis conexões de aquíferos, e mudanças de padrões de transmissividade, fatores que devem ser investigados para as situações específicas que se apresentam. RS).

1.1. Depósitos de placeres de minerais pesados no mundo

Na Austrália, serão apresentados 2 (dois) exemplos principais. O primeiro é o depósito tipo *placer* na Bacia de Eucla, no sul australiano. Este *placer* praiial está associado com uma série parcialmente enterrada da barreira de areia costeira cenozoica, formada na margem da bacia por um arco de 2000 km de comprimento, que alcança 320 km para o interior da costa atual. O depósito possui dominância de zircão sobre a ilmenita e, em menor quantidade, o rutilo e o leucoxênio. Este *placer* foi descoberto a partir dos depósitos de minerais pesados de Jacinth e Ambrosia. Esses depósitos são constituídos por rochas formadas a partir de uma deposição marinha que ocorreu durante o Eoceno Médio (~ 42,5 Ma), o Eoceno Médio Tardio (39 – 36 Ma), o Eoceno Tardio (36 – 34 Ma) e o Mioceno-Plioceno (15 – 2,6 Ma), conforme Hou *et al.* (2011). O segundo, é o depósito de *placer* praiial na Bacia de Murray, no sudeste da Austrália, que compreende uma sucessão sedimentar cenozoica. Neste depósito, foram analisados e separados 32 minerais pesados, cada um com aproximadamente 2000 grãos, através do *AutoGeoSEM* (*Automatic Geological Scanning*

Electron Microscope). Esse processo analítico é executado pela diferença de densidade dos minerais. Esse tipo de análise foi realizado para estudar a influência do ambiente deposicional sobre a distribuição de minerais pesados na sequência costeira regressiva do Plioceno. A maioria desses minerais foram separados nas areias de Loxton-Parilla e predominam os minerais de zircão, rutilo, ilmenita e turmalina. Além disso, existe a ocorrência de silimanita, andalusita, topázio, cromita e monazita (Paine *et al.*, 2005).

Na Rússia, também serão apresentados 2 (dois) exemplos de depósitos minerais. O primeiro é o depósito tipo *placer* de Val'kumei, no leste do mar siberiano. O mineral predominante é o estanho (cassiterita). Segundo Lalomov & Tabolich (2004), o *placer* de Val'kumei está situado no limite da zona de movimentos tectônicos negativos estáveis (Bacia de Chaun) e o soerguimento do maciço granitoide Val'kumei. O material do depósito deriva das zonas de veio mineralizado e de um setor com minério de cassiterita-silicato disseminado associado ao Maciço Val'kumei. Os parâmetros da proveniência do estanho foram baseados em pesquisas litogeoquímicas de halos secundários dentro do campo de minério Val'kumei (Lalomov, 2003). O segundo depósito está localizado na região da bacia ártica, a principal fonte primária de minerais de *placer* é representada por rochas cristalinas antigas da Fennoscandia na parte oeste. Essas rochas fornecem minerais acessórios altamente resistentes (zircão, ilmenita, monazita, rutilo e cianita) para dentro do *placer*. O Complexo de xistos-verde Riphean no Soerguimento Timan serve como a fonte subordinada de ilmenita e ouro. As rochas alcalinas e ultramáficas (kimberlitos, lamporitos, sienitos nefelinos e carbonatitos) relacionadas com a reativação da Plataforma Europeia Leste são fontes de diamantes e metais raros (Patyk-Kara, 2005). Já, na parte central bacia ártica, os minerais pesados são derivados principalmente do complexo de rochas neoproterozoicas, no flanco leste da Plataforma Barents-Kara, sendo eles do grupo da platina (PGM).

Na Índia, as ocorrências de depósitos de *placer* são muito frequentes. Um estudo foi realizado por *Ground Penetrating Radar* (GPR) para avaliar as características das dunas costeiras, utilizando imagens e análises sedimentológicas na costa leste da Índia (Devi *et al.*, 2013). O trabalho foi feito em Gopalpur e Paradeep (Sul de Odisha) e na costa de Sagarnagar (Distrito de Viskhapatnam), identificando a existência de camadas de quartzo em uma zona rica em minerais pesados. Tais minerais foram coletados em dunas a uma profundidade de aproximadamente 2 m na costa de Visakhapatnam e Odisha; essas dunas foram datadas em 1050 ± 50 e 260 ± 10 anos (Devi *et al.*, 2013), respectivamente. Através do georradar, descobriu-se que eventos de alta energia tem afetado a costa e, além disso, são constituídas de três unidades estratigráficas (Devi *et al.*, 2013). Com as análises sedimentológicas por *Scanning Electron Microscope* (SEM), revelou-se que os minerais pesados presentes nas dunas são principalmente silimanita, ilmenita, granada, piroxênio,

rutilo, biotita, hornblenda, zircão, monazita e magnetita (Devi *et al.*, 2013). Ademais, os estudos demonstraram a origem das areias das dunas por efeito de vários fenômenos naturais em diferentes idades ao longo da costa leste da Índia (Devi *et al.*, 2013).

Ainda na Índia, outro depósito importante situa-se na costa central de Tamil Nadu, no sul do país. A fonte está em rochas cristalinas do Arqueano, que incluem charnoquitos e condalitos, granitos gnaisses e granitos atravessados por rochas básicas. Os minerais pesados predominantes na região são ilmenita, magnetita, granada e zircão (Angusamy *et al.*, 2011).

No Brasil, os depósitos de *placer* ocorrem em toda zona costeira nas áreas emersas e submersas. Os principais minerais encontrados são ilmenita, rutilo, monazita e zircão. Destacam-se os depósitos de monazita em Itabapoana (RJ) com teores superiores a 1 %, ilmenita, monazita e zircão em Cumuruxatiba (BA), Mataraca (PB) (Lima, 2011), além do depósito do Retiro com teores de 3 % e de Bujuru (RS) com teores de até 2,4 %.

1.2. Objetivos do trabalho

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é identificar a estruturação interna e compreender a formação do depósito tipo *placer* na localidade do Retiro (São José do Norte, RS).

1.2.2. Objetivos Específicos

a) Mapear a continuidade espacial e o estilo de sedimentação por meio da definição de radarfacies;

b) Investigar a presença de falhas gravitacionais normais e sua influência no controle estrutural da sedimentação e do depósito mineral.

c) Análise geológica para discussão do modelo geológico na região do Retiro, São José do Norte (RS);

1.2.3. Justificativa

O trabalho se faz necessário para a comprovação da hipótese de um regime de falhas gravitacionais na região de São José do Norte (RS), dentre outras razões, pois poderia-se abrir uma nova perspectiva para ajudar a explicar a evolução de determinados setores da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se na Planície Costeira do Rio Grande Sul e constitui uma ampla área emersa da Bacia de Pelotas que está situada entre a cordilheira rebaixada do Batólito de Pelotas (ou Cinturão Dom Feliciano) e o Oceano Atlântico (Villwock, 1972). Essa unidade geológica foi formada a partir de 4 episódios de transgressão e de regressão marinha, marcados pela organização de cordões de sistemas dunas (barreiras) e lagunas ao longo dos últimos 400 ka (Villwock & Tomazelli, 1995; Tomazelli & Villwock, 2000), conforme mostrado na figura 2.1. Entre as barreiras III (120 ka) e IV (5 ka) – mais próximo aos 5 mil anos – formou-se um depósito mineral tipo *placer* litorâneo constituído de “areias negras” (minerais escuros a opacos, resistentes e densos), descritos nos trabalhos de Munaro (1994) e Dillenburg *et al.* (2000).

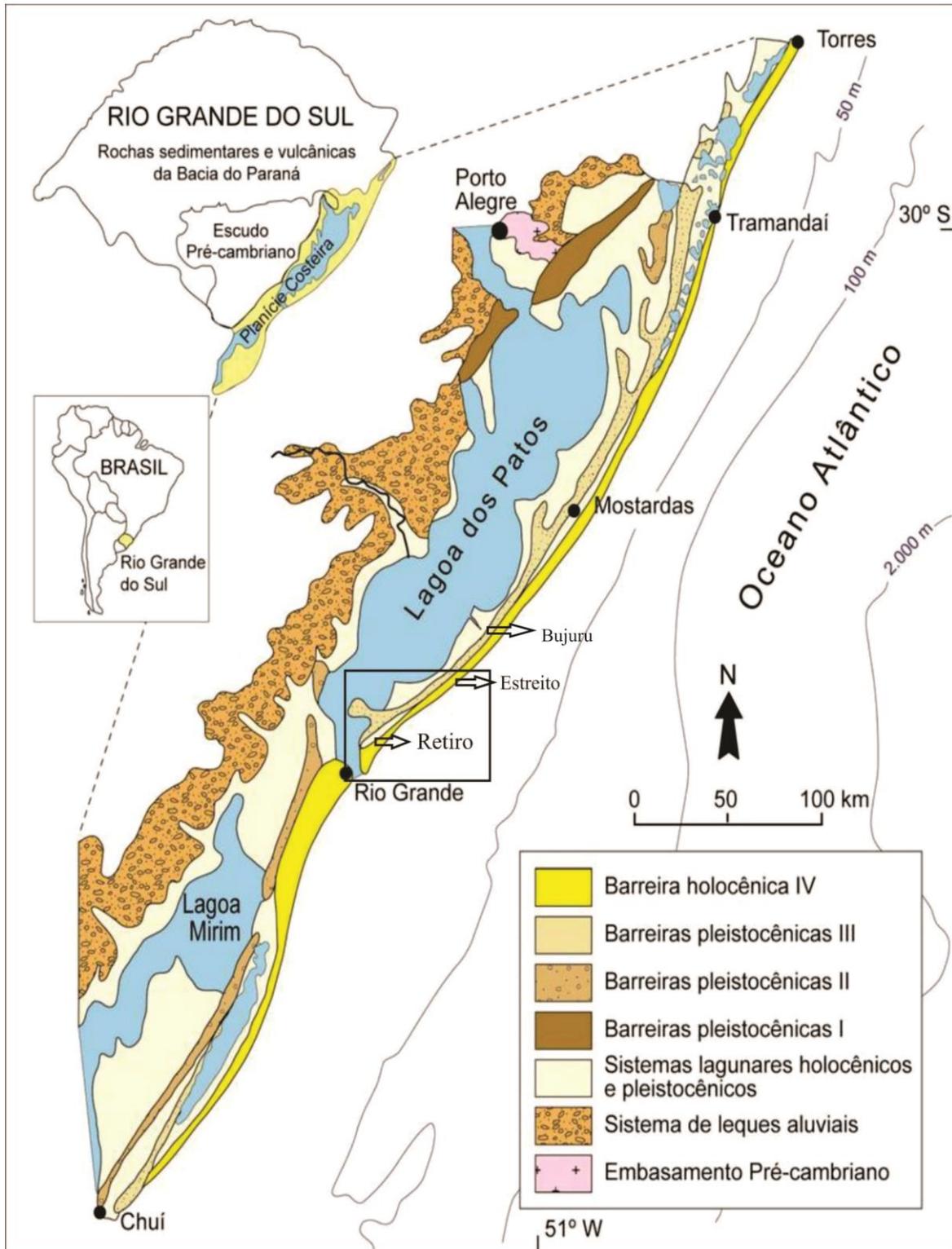


Figura 2.1 – Localização da área de estudo, evidenciando a geologia regional (Modificado de Tomazelli e Villwock 1996).

2.1. Características gerais da área de estudo

O depósito localiza-se na localidade do Retiro, município de São José do Norte, na região sul do Estado do Rio Grande do Sul. As áreas com potenciais rentáveis para a extração de minerais pesados são o Retiro, Estreito, Bujuru e Bujuru Norte e situam-se ao longo da faixa de areia entre o Oceano Atlântico e a Lagoa dos Patos (Figura 2.1.1).

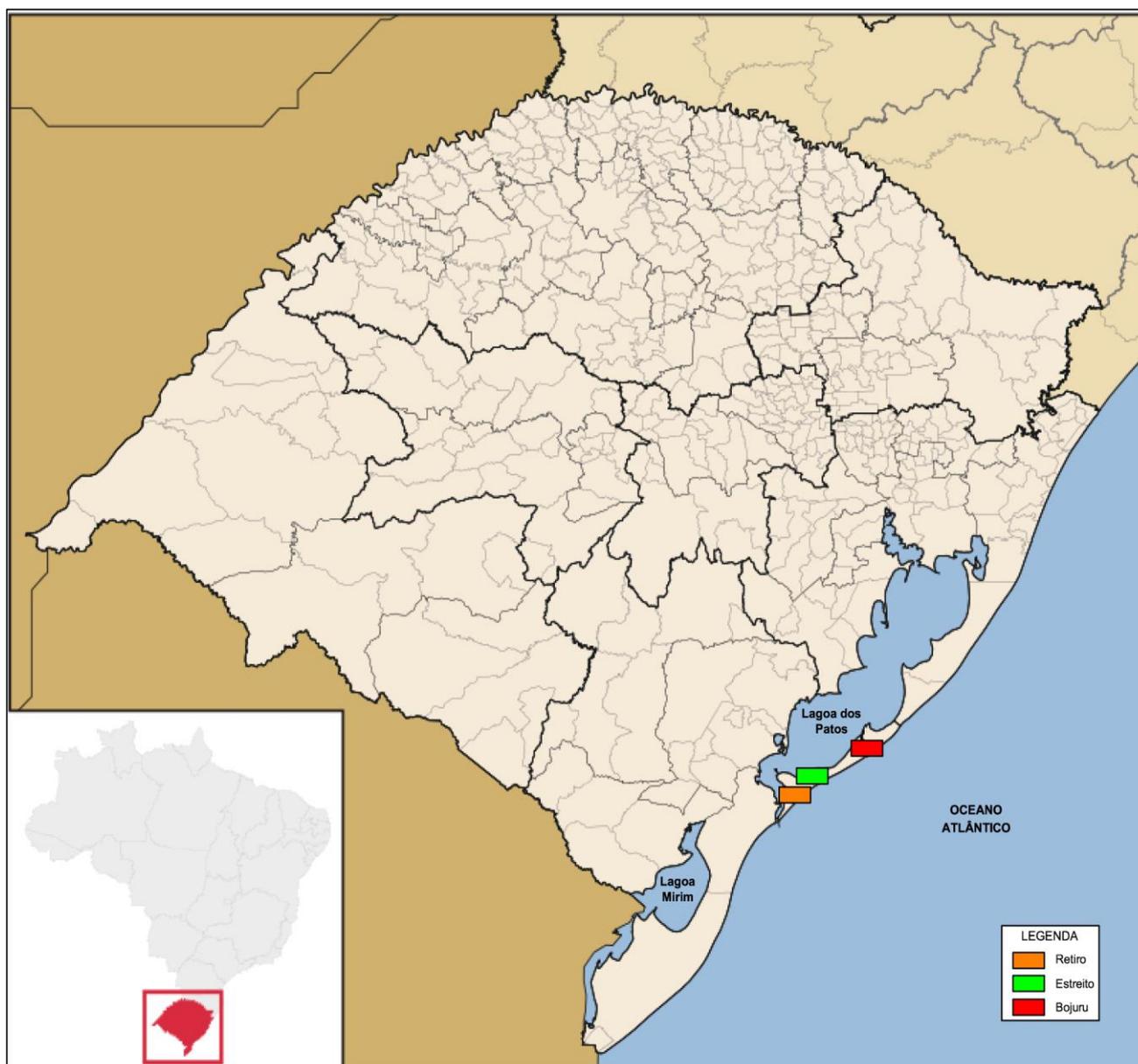


Figura 2.1.1 – Mapa do Rio Grande do Sul evidenciando as regiões do Retiro, Estreito e Bujuru (Modificado do Google Earth).

2.2. Geologia Regional

A área de estudo está inserida na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, que é limitada, a oeste, pelo Complexo Cristalino Pré-Cambriano que constitui o Escudo Sul-Rio-Grandense e pelas

sequências sedimentares e vulcânicas paleozoicas e mesozoicas da Bacia do Paraná, e a leste pelo Oceano Atlântico (Villwock, 1972). Segundo Villwock & Tomazelli (1995), a Província Costeira do Rio Grande do Sul é constituída por dois importantes componentes geológicos: O Embasamento e a Bacia de Pelotas.

O pacote sedimentar que se acumulou na Bacia de Pelotas assenta-se sobre rochas antigas que constituem seu embasamento. Em sua maior parte, elas pertencem ao Escudo Sul-Rio-Grandense, parte integrante da Plataforma Sul-Americana. Ao norte do paralelo que passa pela cidade de Porto Alegre, ele repousa sob as sequências sedimentares e vulcânicas, paleozoicas e mesozoicas, integrantes da Bacia do Paraná (Villwock & Tomazelli, 2007).

Trabalhos de Fernandes *et al.* (1995) e Chemale (2000) (*apud* Villwock & Tomazelli, 2007) sintetizam os conhecimentos geológicos existentes sobre o escudo e procuram entender sua evolução a partir dos conceitos da tectônica de placas. Segundo essas propostas, observa-se ali uma unidade geotectônica gerada no Ciclo Brasileiro (Proterozoico Superior – Eo-Paleozoico), denominada de Cinturão Dom Feliciano, que é uma faixa móvel de direção NE-SW, desenvolvida na borda leste do Craton do Rio de La Plata (Arqueano – Proterozoico Inferior), e que delimita uma zona de colisão com o antigo Craton do Kalahari.

O Cinturão Dom Feliciano é constituído por diversas associações petrotectônicas: sequências metamórficas de baixo grau (filitos, xistos, quartzitos e mármore), granitos e migmatitos, cobertas por sequências sedimentares de características molássicas afetadas por vulcanismo pós-orgênico (Villwock & Tomazelli, 2007).

A porção central do cinturão Dom Feliciano é constituída pelo Batólito de Pelotas (César *et al.*, 1986) (*apud* Villwock & Tomazelli, 2007), uma estrutura polifásica, composto por múltiplas intrusões, cuja evolução magmática, metamórfica e deformacional ocorreu entre 850 e 550 Ma, mas com atividades magmáticas terminais que se estenderam até 450 Ma. Os terrenos constituídos pelas rochas predominantemente graníticas do Batólito de Pelotas têm sido a fonte principal dos materiais clásticos que se acumulam na província costeira (Villwock & Tomazelli, 2007).

Segundo Villwock & Tomazelli (2007), a origem da Bacia de Pelotas está indiscutivelmente relacionada com os acontecimentos geotectônicos que conduziram a abertura do Oceano Atlântico Sul, a partir do Jurássico, e que resultaram na ruptura do bloco continental gondwânico e a posterior separação dos continentes africano e sul-africano.

Estudos de Fontana (1987, 1990a, 1990b) (*apud* Villwock & Tomazelli, 2007) mostram que, desde o início de sua formação, a Bacia de Pelotas vêm sendo preenchida por um pacote de sedimentos com mais de 10 000 m de espessura, em que os folhelhos predominam sobre arenitos,

calcilutitos e conglomerados. Essas litologias estão assentadas parte sobre a crosta continental, parte sobre rochas vulcânicas extrudidas no início da fase “*rift*” e, na zona mais distal, sobre o assoalho oceânico.

A partir de trabalhos desenvolvidos por Villwock & Tomazelli (1995) e Tomazelli & Villwock (2000) (*apud* Tomazelli & Villwock, 2005), os depósitos aflorantes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul acumularam-se em sistemas deposicionais específicos desenvolvidos na região durante o Paleógeno e, principalmente durante o Quaternário: (1) um sistema de leques aluviais ocupa uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da Planície Costeira e, (2) quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira (Figura 2.2.1). Os sedimentos do sistema de leques foram retrabalhados pelos diversos eventos transgressivos-regressivos gerados dos sistemas de barreiras. Cada barreira, provavelmente, originou-se no limite atingido por uma transgressão e foi preservada devido à regressão da linha de costa forçada por uma queda glacio-eustática do nível do mar. Os quatro sistemas laguna-barreira são interpretados como formados durante os últimos 400 ka, assumindo-se uma correlação com os períodos de mar alto representados pelos últimos maiores picos na curva do registro isotópico de oxigênio (Tomazelli & Villwock, 2005).

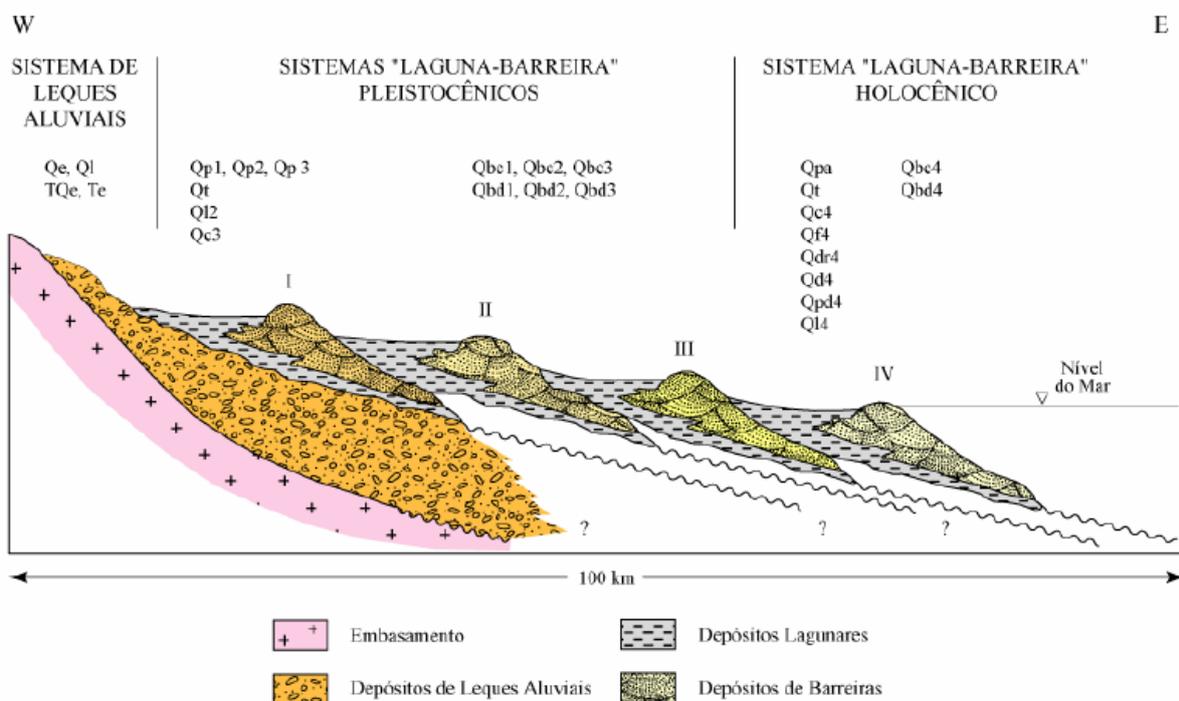


Figura 2.2.1 – Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul com suas fácies sedimentares associadas (Modificado de Tomazelli & Villwock, 2005).

2.3. Geologia local

A geologia local abrange os depósitos de minerais pesados do Retiro e Bujuru. No primeiro, como não há estudos focados especificamente neste depósito, a geologia local compreende a região de São José do Norte. Já o segundo, vem sendo estudado por diferentes pesquisadores há alguns anos, conforme é apresentado no item 2.3.2.

2.3.1. Geologia local da região de São José do Norte

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul é uma região geológica jovem, com deposição e modelamento de depósitos sedimentares recentes. A formação de suas lagoas e lagunas costeiras possui origem nos processos transgressivos-regressivos do mar relacionados aos períodos glaciais e interglaciais, que ocorreram nas épocas geológicas do Pleistoceno (1,8 Ma) e do Holoceno (0,01 Ma).

Após os eventos de transgressão e regressão marinha, formou-se a região de São José do Norte (RS) nos sistemas denominados de Laguna-barreira III e IV, originadas no final do Pleistoceno e início do Holoceno, respectivamente. O Sistema Laguna-barreira III é responsável pela formação dos terraços marinhos arenosos e pela configuração final da Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim. O Sistema Laguna-barreira IV corresponde ao mais recente evento transgressivo-regressivo para a formação do ambiente costeiro atual. Durante esse período, ocorreu o surgimento de uma barreira transgressiva que progradiu durante a fase regressiva que se seguiu (Tomazelli *et al.*, 2000), sob a forma de planícies de cordões litorâneos regressivos.

2.3.2. Geologia local do Depósito de minerais pesados de Bujuru

A geologia local do Depósito de minerais pesados de Bujuru (São José do Norte, RS) contempla a sua datação radiométrica, os aspectos sedimentológicos e estratigráficos, bem como a sua evolução geológica, além das características específicas do depósito mineral (incluindo teores e reservas).

A idade do depósito de minerais pesados de Bujuru é baseada nas análises de litofácies e na datação em radiocarbono e foi descrita por Dillenburg *et al.* (2004). Os dados litológicos com

ênfase na textura sedimentar, estruturas sedimentares e assembleias de moluscos foram obtidos de 278 furos de 5 m em média, feitos na barreira holocênica Bujuru (Barreira IV) durante a campanha de prospecção para minerais pesados (Munaro, 1994), bem como nas amostras de 10 sondagens *vibrocores* rasos, de 2 a 5 m, também realizados na barreira holocênica.

Usando quase 280 furos de sondagem, Munaro (1994) reconstruiu a estratigrafia e a evolução das barreiras de Bujuru. Devido à falta de datações radiocarbono, Dillenburg *et al.* (2000) realizaram uma série de novas sondagens para obter amostras adicionais para análises paleontológicas e de radiocarbonos. Como resultado, Dillenburg *et al.* (2000) propuseram uma nova seção estratigráfica e um novo modelo estratigráfico para a área dos depósitos de minerais pesados de Bujuru (Figura 2.3.2.1).

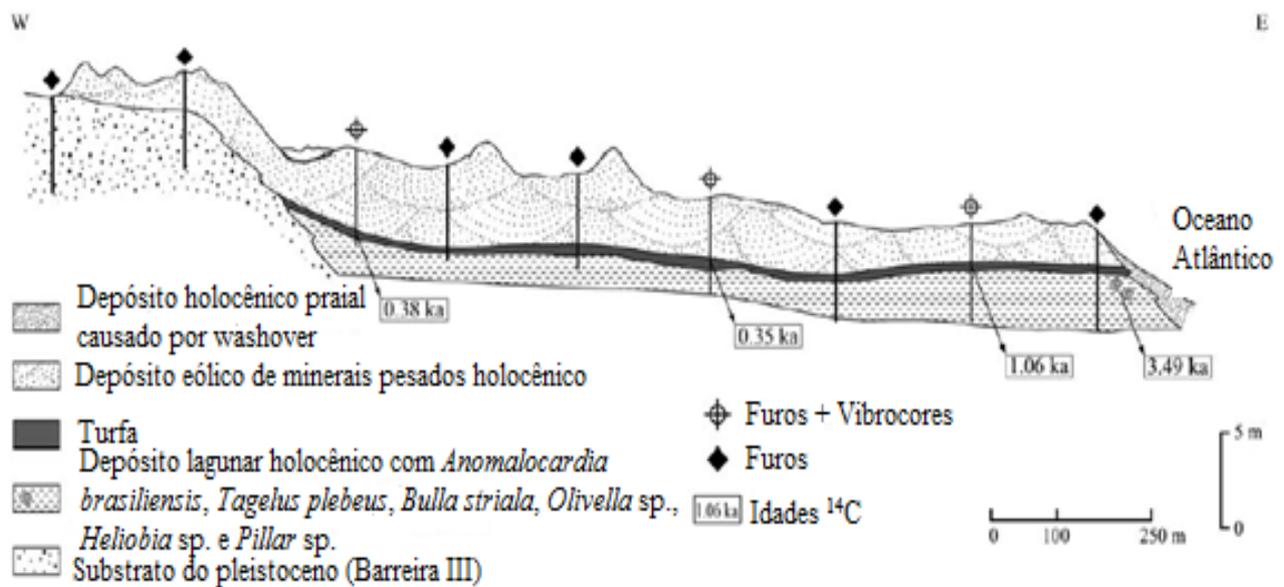


Figura 2.3.2.1 – Seção estratigráfica transversal do sistema laguna-barreira holocênica (Barreira IV) no bloco Bujuru Norte (Modificado de Dillenburg *et al.*, 2000).

O modelo evolutivo para a barreira Holocênica de Bujuru, conforme proposto por Dillenburg *et al.* (2000) mostra que dois fatores parecem ter concorrido para a formação deste depósito de minerais pesados. O primeiro fator é a condição hidráulica pesada de curto prazo, que promoveu a segregação diária dos minerais pelo arrastamento seletivo e a triagem produzida pelo transporte cisalhante. O segundo fator envolve a erosão costeira de longo prazo e a reciclagem de areias recentes do Pleistoceno, pois grandes volumes de areias litorâneas são fracionadas em areias enriquecidas e em minerais pesados que não conseguem alcançar longas distâncias.

2.4. Geomorfologia local

A geomorfologia da região de São José do Norte (RS) é dividida em (Figura 2.4.1):

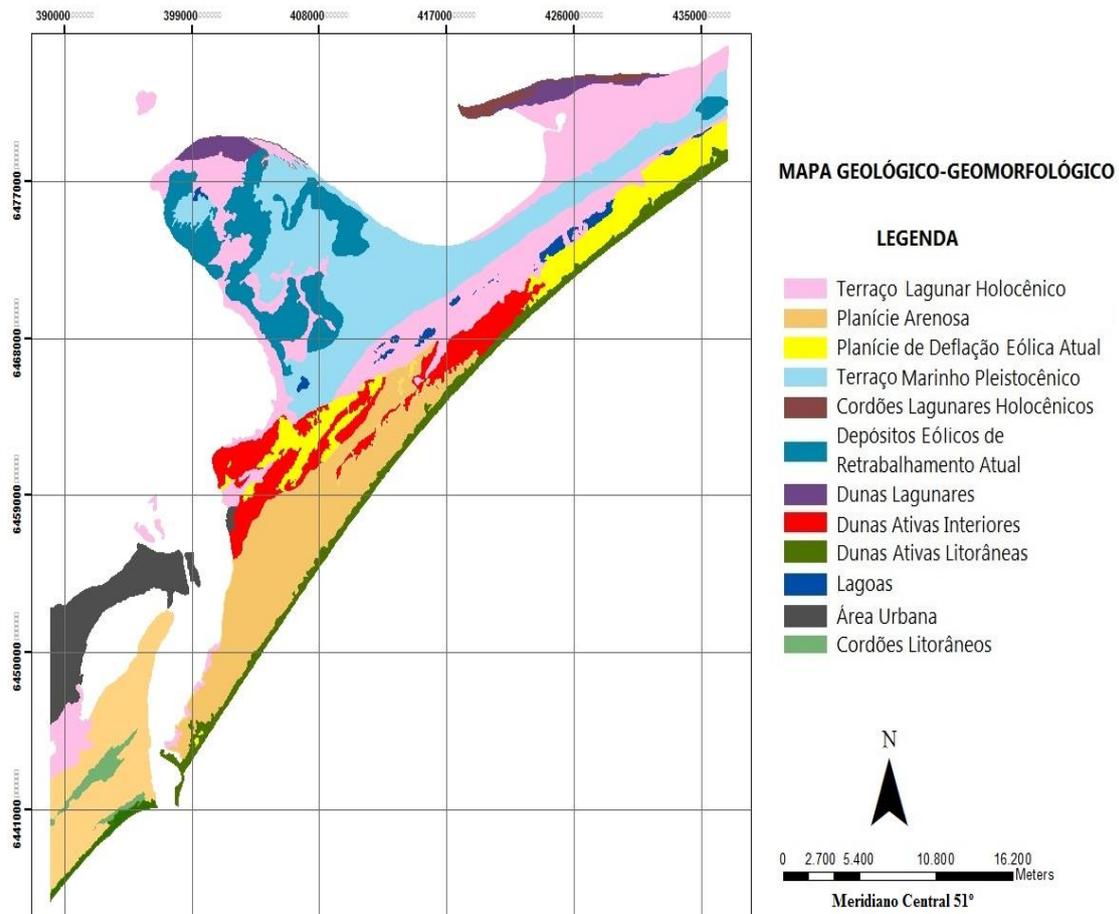


Figura 2.4.1 – Mapa geológico-geomorfológico da região de São José do Norte (Modificado de Tagliani, 2002).

a) *Planície Arenosa*: localizada ao sul do município de São José do Norte prolonga-se desde a margem do estuário da Lagoa dos Patos até as proximidades do Estreito e é constituída de Terraços Holocênicos suavemente ondulados, possivelmente pela presença de feixes arenosos (cordões litorâneos) (Zeltzer,1976).

b) *Planície de Deflação Eólica Atual*: apresenta uma série de depósitos onde predominam areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, cores claras e bem arredondadas. São áreas relativamente planas, úmidas e frequentemente vegetadas.

c) *Depósitos Eólicos Ativos Litorâneos*: são geralmente vegetados e, em direção ao continente, compreendem dunas embrionárias, dunas frontais, *nebkhas* e lençóis arenosos.

d) *Depósitos Eólicos Ativos Interiores*: são corpos arenosos maiores que podem apresentar uma grande variedade de tipos de dunas superimpostas tais como: dunas barcanas, cadeias barcanóides, dunas transversais e lobos deposicionais. Geralmente são separadas da praia por áreas de deflação eólica de largura variável.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta informações somente do depósito mineral de Bujuru (RS), devido ao fato de que não existem dados do depósito mineral do Retiro (RS) publicados. Esta dissertação está trazendo informações inéditas do Retiro (RS).

Nesta situação estamos fazendo uma revisão do condicionamento estrutural do depósito mineral referente a Bujuru (RS) para futuramente estabelecer uma relação mais aproximada da continuidade do depósito mineral da região do Retiro (RS) até Bujuru (RS).

O levantamento geofísico utilizando *Ground Penetrating Radar* (GPR) sobre a região de São José do Norte (RS) foi realizado no distrito de Bujuru (RS) por Fontoura (2015), Strieder *et al.* (2015), Fontoura *et al.* (2015) e Fontoura *et al.* (2017). De acordo com Munaro (1994) e Dillenburg *et al.* (2004), o distrito de Bujuru apresenta areias holocênicas (3.5 ka), turfa (1.4 ka) e areias ricas em minerais pesados (<1.0 ka) aflorando na praia e no pós-praia. Durante o estudo, a camada de turfa previamente detectada em furos de sondagem (Munaro, 1994) demonstrou ser uma excelente radar-facie a fim de caracterizar as unidades estratigráficas e as características estruturais na costa. Através de estudos realizados com *Ground Penetrating Radar* (GPR) identificou-se na Planície Costeira do Rio Grande do Sul um sistema de falhas gravitacionais denominadas de Falha da Lagoa do Peixe e Falha de Rio Grande, onde o distrito de Bujuru encontra-se na extremidade de ambas as falhas e, nesta região, os rejeitos são mínimos e tendem a zero.

Os trabalhos com GPR foram desenvolvidos no sentido de investigar essas estruturas deformacionais, bem como avaliar as características observadas por estes autores. As linhas realizadas com o GPR foram adquiridas perpendicularmente à linha de costa e paralelamente as seções de furos de sondagem.

A descrição e a análise geológica do depósito de *placer* de Bujuru pode ser encontrada em (Dillenburg *et al.*, 2004). Esses modelos anteriores interpretam que o depósito *placer* de minerais pesados está principalmente confinado na área da laguna entre a barreira III e IV e é de origem eólica.

Em vista disso, foi criado o modelo geológico para o depósito de *placer* de minerais pesados de Bujuru com o auxílio de seções de furos de sondagem. A observação de algumas seções geológicas construídas com base nas sondagens e visitas em campo, fizeram com que as ações fossem definidas no sentido de utilizar método geofísico de prospecção (GPR) para avaliar a continuidade espacial da camada de turfa existente na região.

Segundo Fontoura (2015), Strieder *et al.* (2015) e Fontoura *et al.* (2017), três seções geológicas no distrito Bujuru chamam a atenção. Essas seções correspondem às linhas de sondagem denominadas PB-01, PB-05 e PB-13 respectivamente abaixo (Fig. 3.1). Os perfis de sondagem foram executados na direção ESSE – WNW, mostram que a camada de turfa é descontínua e que pode ser encontrada em diferentes cotas altimétricas (Fig. 3.2).



Figura 3.1 – Furos de sondagem do depósito de Bujuru (imagem modificada do *Google Earth*).

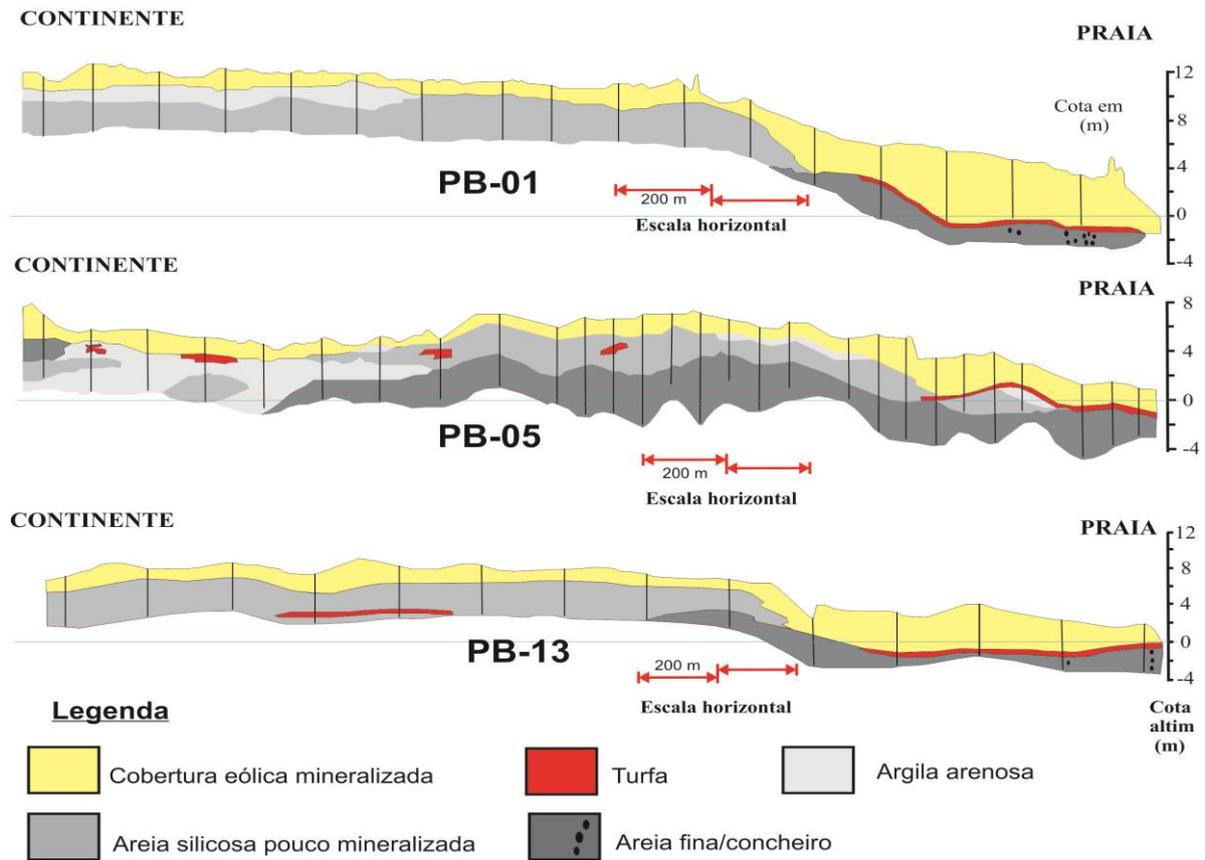


Figura 3.2 – Furos de sondagem do depósito de Bujuru. Autorizada a publicação pela Rio Grande Mineração S.A.

Com o auxílio do *software* Reflex W foi possível realizar o tratamento das imagens obtidas em campo. A figura 3.3 apresenta os radargramas para as linhas de levantamento com GPR denominadas PB-01 e PB-013. Ambos radargramas mostram a camada de turfa mergulhando em direção ao continente (Fig. 3.3a,b) e deslocado por uma falha normal de alto ângulo. A camada guia de turfa visivelmente mergulha em direção ao continente, e é cortada por falhas normais que mergulham ora para o continente, ora em direção à praia. O movimento em cada bloco de falha é também acomodado por dobras de arrasto (*drag folds*) sobre sedimentos não consolidados.

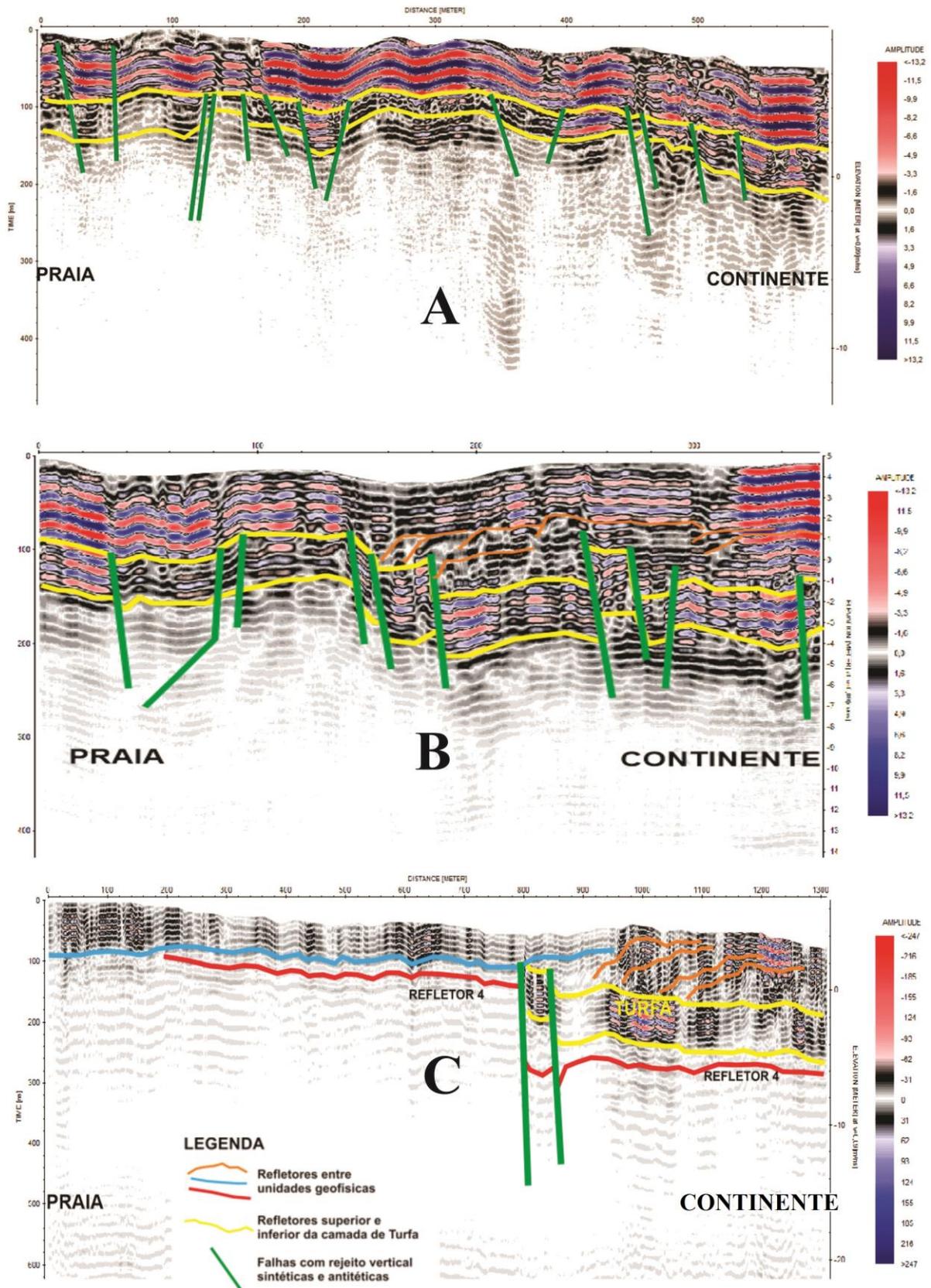


Figura 3.3 – Radargramas dos levantamentos com GPR 50 MHz em Bujuru, RS.

As figuras 3.3a,b acima mostram que a camada de turfa está inclinada em direção ao continente como resultado do falhamento normal. Na figura 3.3a, a camada guia de turfa visivelmente mergulha em direção ao continente, e é cortada por falhas normais que mergulham ora para o continente, ora em direção à praia. Além disso, na figura 3.3b identifica-se o refletor retrogradante cavalgante acima da camada de turfa (linhas em laranja), que marca as dunas gradativamente migrando do litoral (praia) para o interior.

Na figura 3.3c é possível notar que as linhas refletoras retrogradantes correspondentes às dunas quaternárias e as falhas normais são mais claramente observadas nessa figura. Do mesmo modo, a descontinuidade do radarfacies da camada de turfa no bloco Oeste pode ser identificada. As linhas refletoras do radarfacies superior (dunas) tem continuidade em ambos os blocos e não sugerem ruptura após a sua deposição.

Conforme discutido no trabalho de Strieder *et al.* (2015), a figura 3.4 mostra claramente que os sedimentos dos cordões lagunares e das dunas retrogradantes preenchem gradativamente a depressão lagunar. Os cordões lagunares, provavelmente, foram formados pelo rebaixamento do nível médio do mar após a última glaciação. Os sedimentos eólicos, por outro lado, sobrepõem-se aos sedimentos dos cordões lagunares, como pode ser verificado pelo truncamento que as linhas de limite das dunas exercem sobre as linhas dos cordões.



Figura 3.4 – Imagem em alta resolução da região do Estreito (São José do Norte, RS, Brasil) mostrando o modelo de controle estrutural em escala real da região de estudo (imagem modificada do *Google Earth*).

Conforme mostra a figura 3.5, em escala dos grandes blocos de falha, a rotação promove o abatimento do bloco de teto (*hangingwall*) e a formação de uma depressão estrutural. Porém, na outra extremidade do bloco, há o soerguimento e a formação de um alto estrutural, que pode produzir uma outra escarpa de falha.

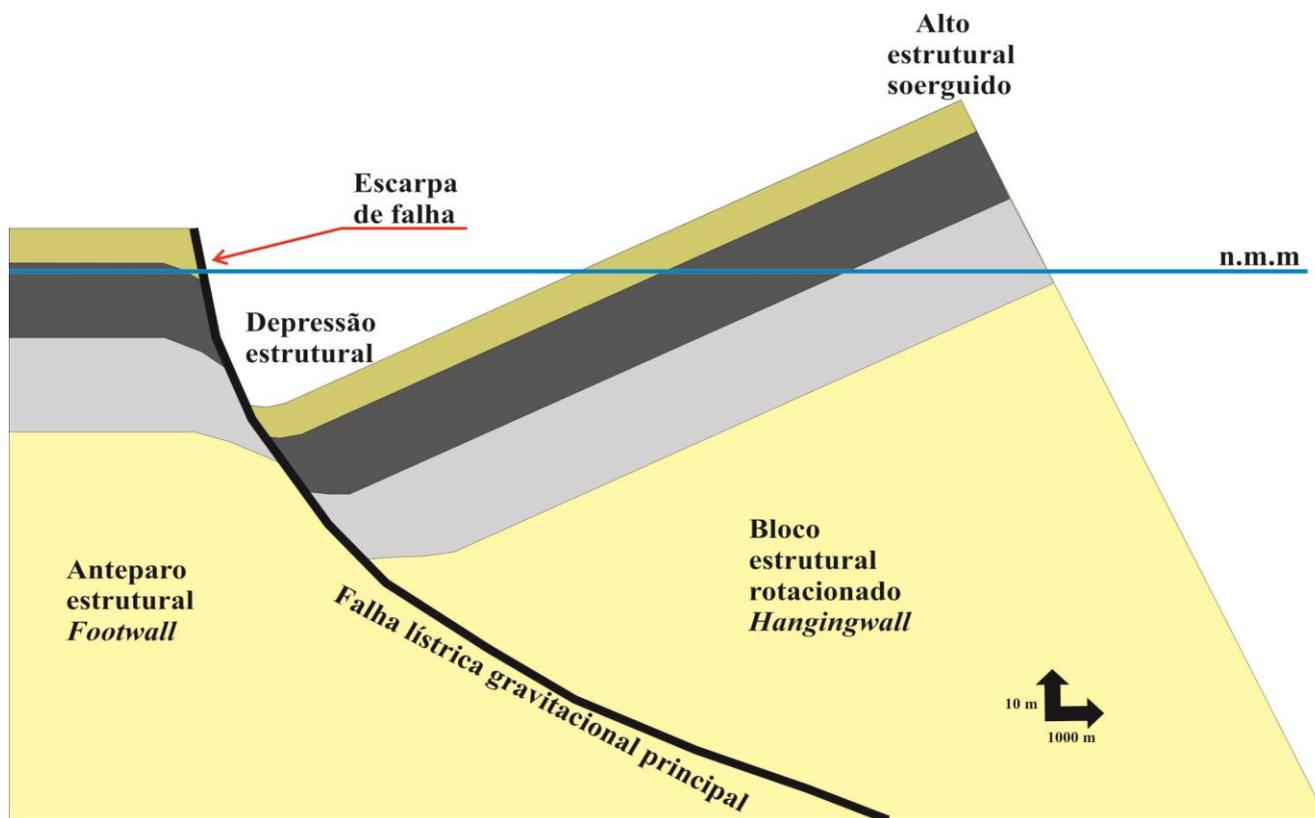


Figura 3.5 – Modelo de controle estrutural dos depósitos *plácer* em Bujuru (São José do Norte, RS), evidenciando falha gravitacional, as dobras de arrasto e a rotação de blocos. Autoria própria.

Esse modelo estrutural responde pelos extensos alinhamentos geomorfológicos registrados (escarpas de falha listrica principal), pelo basculamento da camada guia de turfa e pelo espessamento da camada arenosa hospedeira dos minerais pesados (camada mineralizada) no limite oeste dos depósitos. A depressão estrutural é ocupada pela Lagoa do Peixe (não completamente preenchida) e pela Lagoa Retiro – Estreito (quase completamente preenchida). O alto estrutural soerguido encontra-se junto à linha de praia e constitui a fonte dos sedimentos e anteparo estrutural para o estabelecimento do cordão de dunas junto ao litoral.

Os processos geológicos-estruturais que ocorrem no bloco rotacionado são mostrados simplificadaamente na forma do bloco-diagrama da figura 3.6. O anteparo estrutural (*footwall*) sofre erosão em duas frentes: i) erosão eólica e formação de pequenas dunas quaternárias, e ii) erosão junto à escarpa das falhas gravitacionais listricas para formar os cordões lagunares paralelos à direção da falha e preenchimento da depressão lagunar adjacente. O alto estrutural formado pela

rotação do bloco na linha de praia, por outro lado, sofre erosão principalmente a partir de ventos NE que sopram na região. Assim, a erosão na porção superior do alto estrutural rotacionado transporta e deposita a areia gradativamente sobre a estrutura basculada, dando origem às dunas retrogradantes que vão gradualmente preenchendo o sistema lagunar.

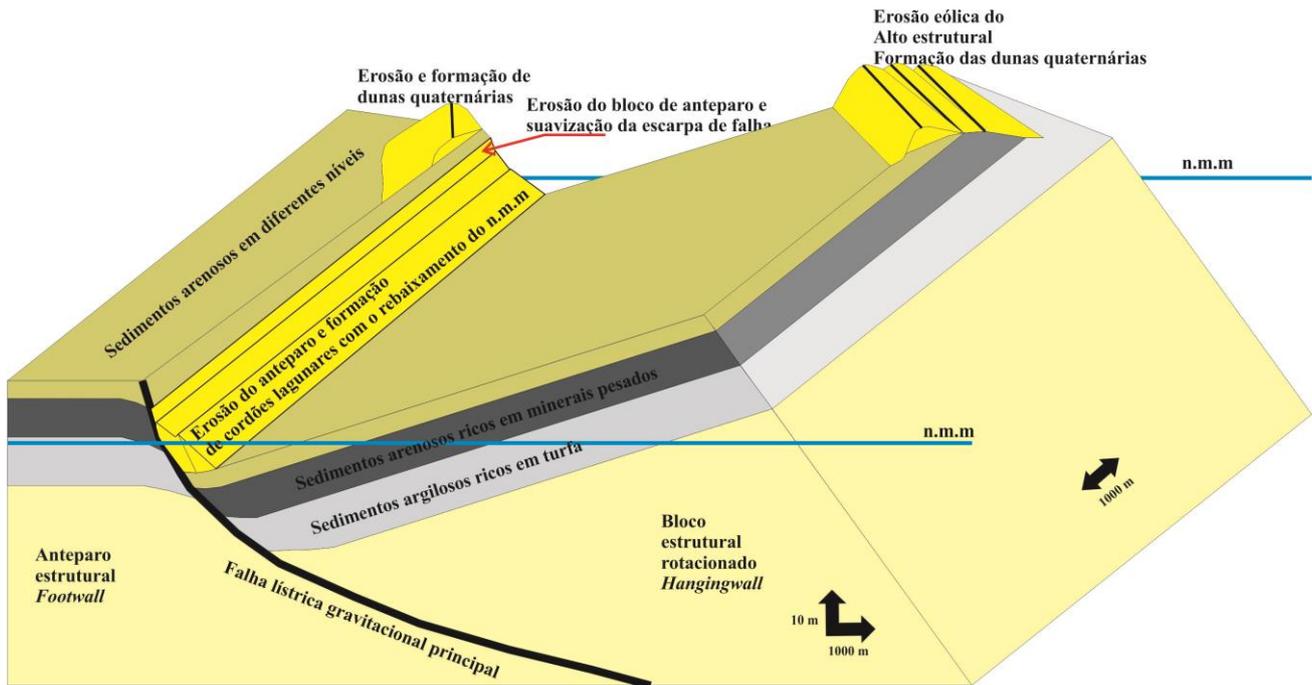


Figura 3.6 – Modelo de controle estrutural do depósito *Placer* em Bujuru-RS, evidenciando os processos que ocorrem no bloco. Autoria própria.

Deste modo, os levantamentos geofísicos (GPR) na região de Bujuru (São José do Norte, RS) mostram que o *placer* dos depósitos de minerais pesados da região são estruturalmente controlados por falhas normais (sintéticas e antitéticas), que causaram dobras de arrasto (*drag folds*) e basculamento sobre a camada guia de turfa. Essa camada de turfa está sotoposta à camada de areia fina a média que contém os minerais pesados (HM) e está mergulhando em direção ao continente (basculamento).

Os primeiros trabalhos descritos acima tiveram o objetivo principal de identificar o controle estrutural do depósito *placer* de minerais pesados no distrito de Bujuru. Por conseguinte, o estudo que se segue tem a função de realizar uma investigação de maior detalhe na região do Retiro em São José do Norte (RS).

4. METODOLOGIA

Este capítulo é dedicado a mostrar os procedimentos metodológicos que irão embasar a investigação ora apresentada. O processo que inicia a construção deste trabalho originou-se da consulta à empresa Rio Grande Mineração S.A. (RGM) para patrocínio de um trabalho de conclusão de curso para investigar o controle estrutural do depósito *placer* de Bujuru (RS) em meados de 2015. Com o trabalho realizado, fez-se a necessidade de ampliar os estudos, de modo a obter mais dados para a continuidade do estudo.

A metodologia de trabalho constará, portanto, na avaliação das seções geológicas e, conseqüente, planejamento e levantamento dos perfis geofísicos (GPR) e geodésicos. Com os perfis de GPR construídos e analisados, foi possível interpretar e correlacionar os resultados dos furos de sondagem cedidos pela empresa Rio Grande Mineração S.A., conforme mostrado no fluxograma da figura 4.1.

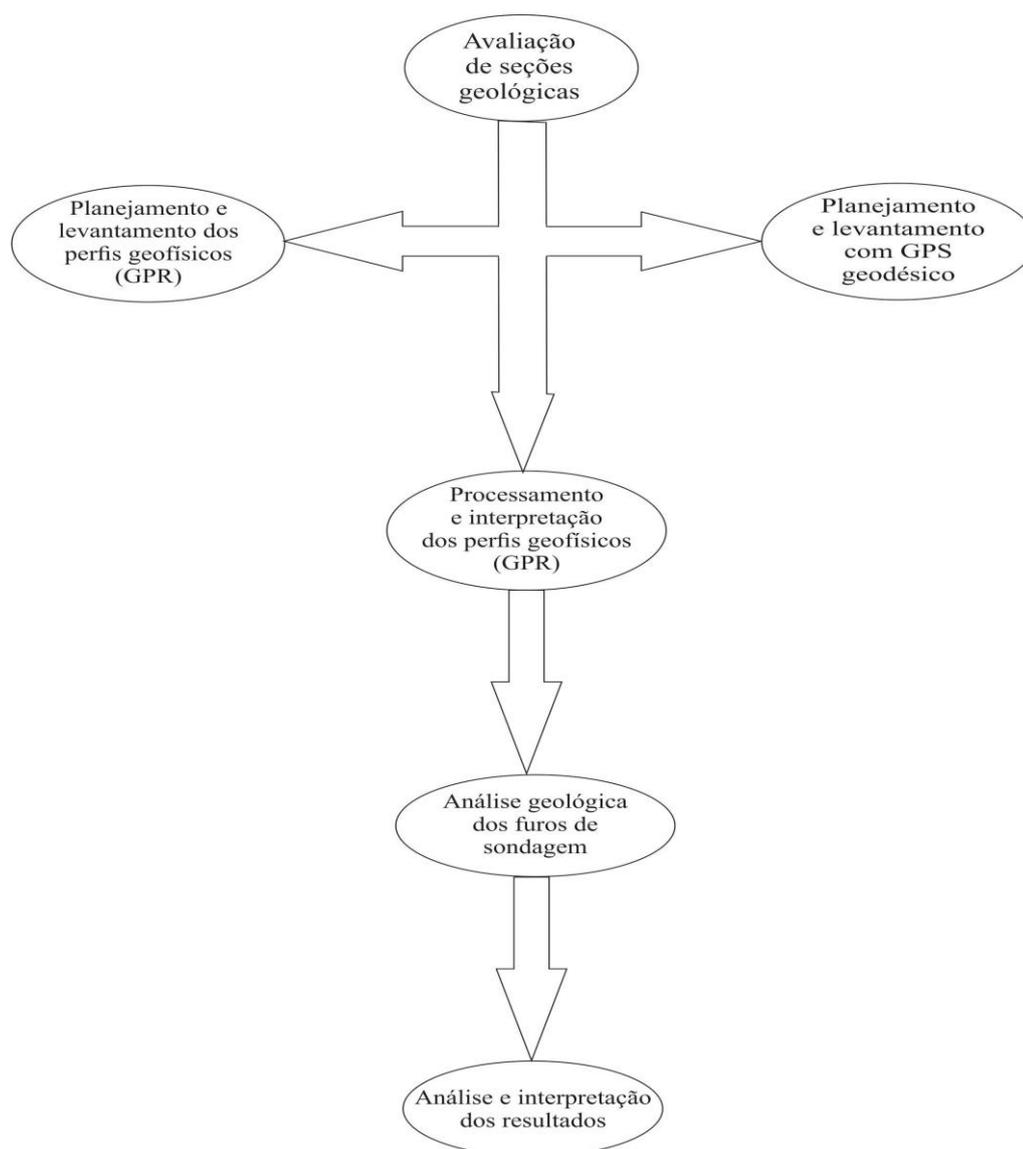


Figura 4.1 – Fluxograma dos procedimentos de investigação que serão realizados para a construção deste trabalho.

4.1. Levantamento geofísico por Georradar

O georradar é um dispositivo dos métodos geofísicos eletromagnéticos (EM), que se utiliza dos fenômenos de propagação de ondas para identificar estruturas em sub-superfície (Strieder, 2004). O comprimento de onda utilizado pertence ao intervalo entre 10 MHz e 2000 MHz (ondas radar) do espectro EM. Além disso, Strieder (2004) acrescenta que o georradar é um dispositivo que, através de uma antena emissora, gera ondas eletromagnéticas, as quais são refletidas e/ou refratadas pelo meio geológico até alcançarem uma antena ligada a um receptor (Figura 4.1.1). Esse receptor processa eletronicamente os sinais captados pela antena e torna-os visíveis, através de uma

tela de computador.

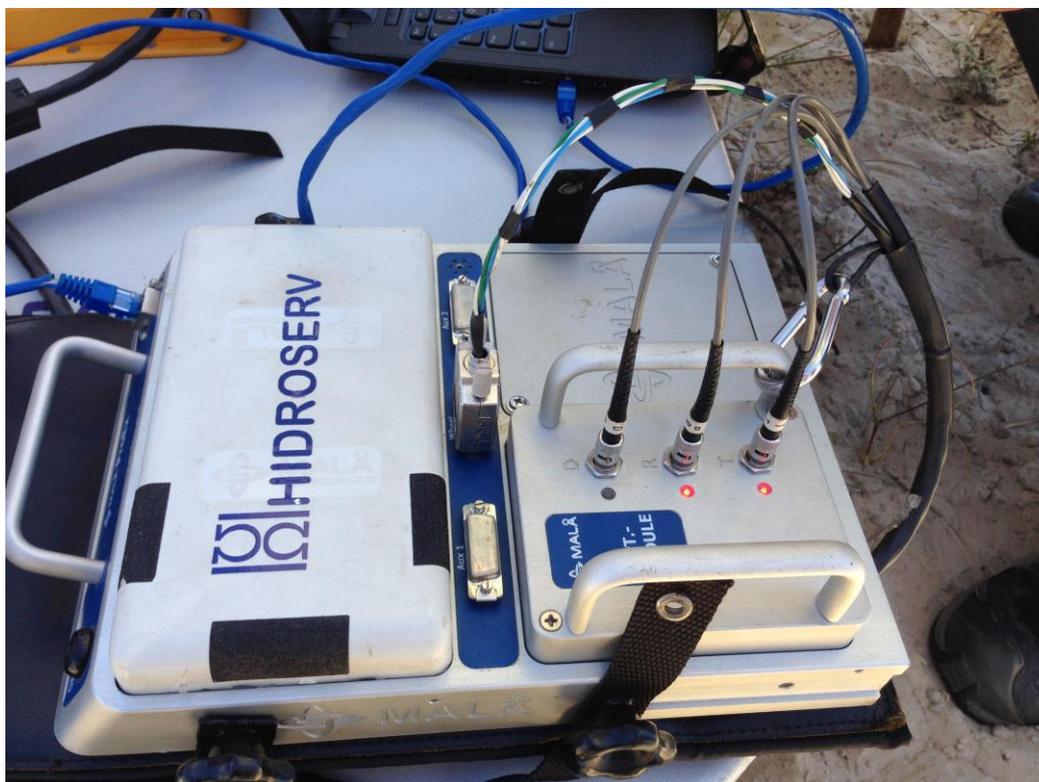


Figura 4.1.1 – Receptor utilizado no levantamento

O levantamento por GPR (*Ground Penetrating Radar*) foi realizado nos dias 29 e 30 de abril e 1º de maio de 2017 através de 6 (seis) perfis aproximadamente perpendiculares à linha de praia e ao alinhamento geomorfológico Bujuru – Retiro – Rio Grande, descrito por Fontoura (2015). Foram realizados 4 (quatro) perfis na localidade do Retiro (Figura 4.1.2) e 2 (dois) na região do Estreito (Figura 4.1.3), no município de São José do Norte (RS).

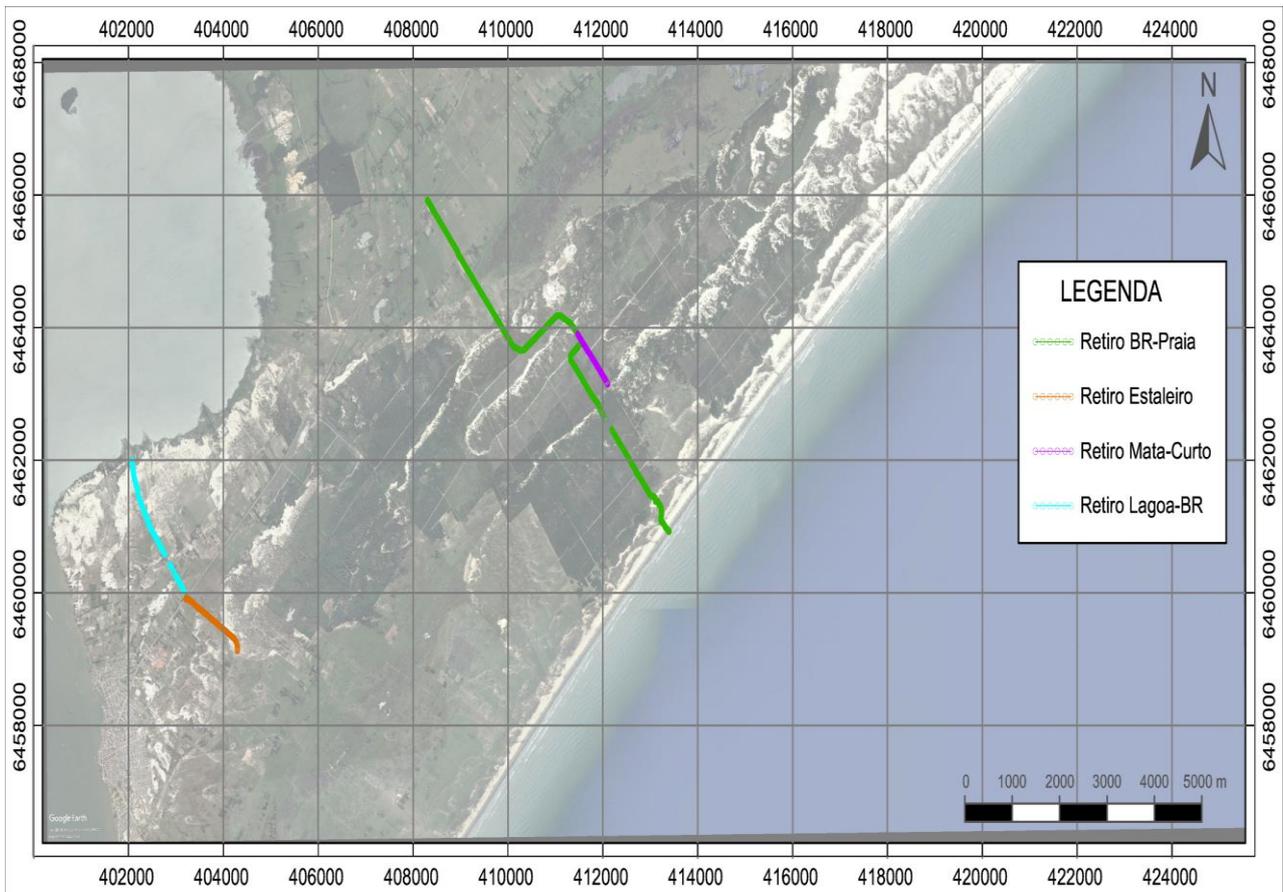


Figura 4.1.2 – Localização dos perfis de levantamento geofísico na localidade do Retiro (São José do Norte, RS).

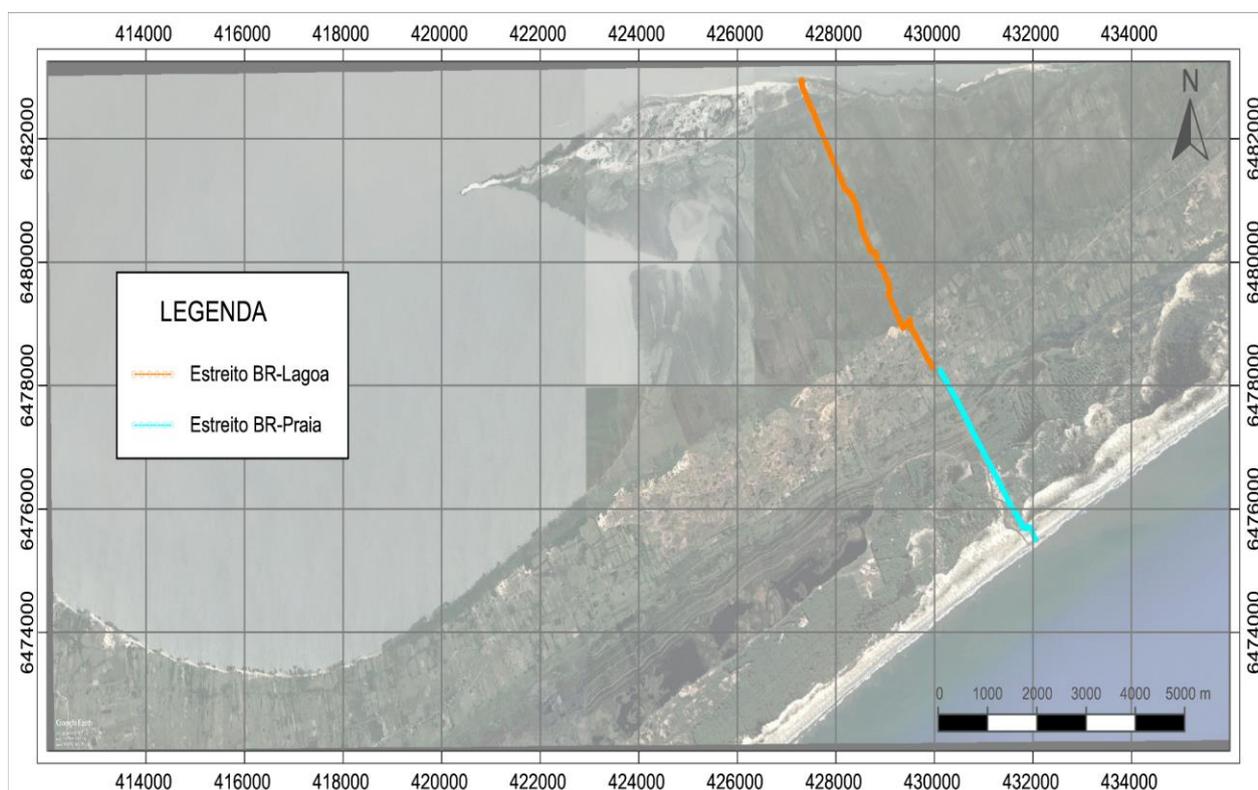


Figura 4.1.3 – Localização dos perfis de levantamento geofísico na localidade do Estreito (São José do Norte, RS).

O levantamento geofísico foi realizado nas localidades do Retiro e Estreito (São José do Norte, RS) com um georradar da marca MALA-RAMAC, modelo Pro-EX System, e o *software* usado para a visualização dos resultados em campo foi o *Ground Vision* da também empresa MALÂ. Esses equipamentos foram gentilmente disponibilizados pelo Geólogo Paulo Mendes, proprietário da empresa HIDROSERV – Hidrogeologia e Geofísica Ltda., de Porto Alegre (RS). O GPR foi acoplado na camionete e arrastado durante todos os perfis e a coleta dos pontos no GPS foi feita pelos integrantes da expedição. Todas essas etapas foram realizadas com a supervisão do professor orientador Lauro J. Calliari, do professor co-orientador Adelir J. Strieder e do geólogo Paulo Mendes (HIDROSERV).

A profundidade de penetração do georradar e a sua respectiva resolução são parâmetros inversamente proporcionais. Quanto maior a frequência da onda eletromagnética, menor é a profundidade de penetração da onda; porém, a resolução do georradar será maior. Ao passo que, quanto menor a frequência utilizada, maior a profundidade e menor será a resolução dos dados obtidos.

Nessa campanha de prospecção geofísica, foi utilizada uma antena de 50 MHz RTA tipo

Snake (Figura 4.1.4) que atinge uma penetratividade de 20 a 23 m de profundidade.



Figura 4.1.4 – Antena todo terreno (RTA) não blindada, tipo *snake*, de 50 MHz do GPR MALA-RAMAC utilizado no trabalho de campo. Equipamento da empresa HIDROSERV – Hidrogeologia e Geofísica Ltda.

4.1.1. Técnicas de processamento de dados por GPR

O processamento dos dados pode ser dividido em duas etapas segundo Strieder (2004): 1) processamento básico e 2) pós-processamento. O processamento básico é aplicado em tempo real e gera a exibição durante a aquisição, como forma de avaliar a qualidade dos dados que estão sendo adquiridos e planejar a execução conforme as feições de interesse estejam aparecendo. No pós-processamento, os dados são tratados em laboratório e são aplicados operadores não casuais para remover ruídos, e para salientar as características de interesse.

A partir dos dados que foram coletados em campo, o pós-processamento foi realizado por meio do *software* Reflex W. Os dados foram divididos em dois grupos; primeiro, aqueles em que

possuem hipérboles de difração no perfil. As hipérboles de difração são causadas pelas "ondas diretas no ar", que são refletidas no caule das árvores, pois os perfis foram realizados parcialmente dentro de plantações de *Pinus* (*Pinus* spp.). O segundo grupo contém os perfis que não mostram a interferência das hipérboles, pois foram coletados em campo aberto.

A etapa de pós-processamento é mostrada a seguir:

a) Determinar o tempo de corte do *delay time* e das ondas diretas de superfície e subsuperfície

O *delay time* é o tempo que a antena receptora começa o registro, mas a antena transmissora ainda não emitiu a onda EM e, quando emite, ela ainda não alcança a antena receptora (Figura 4.1.1.1; traço zero).

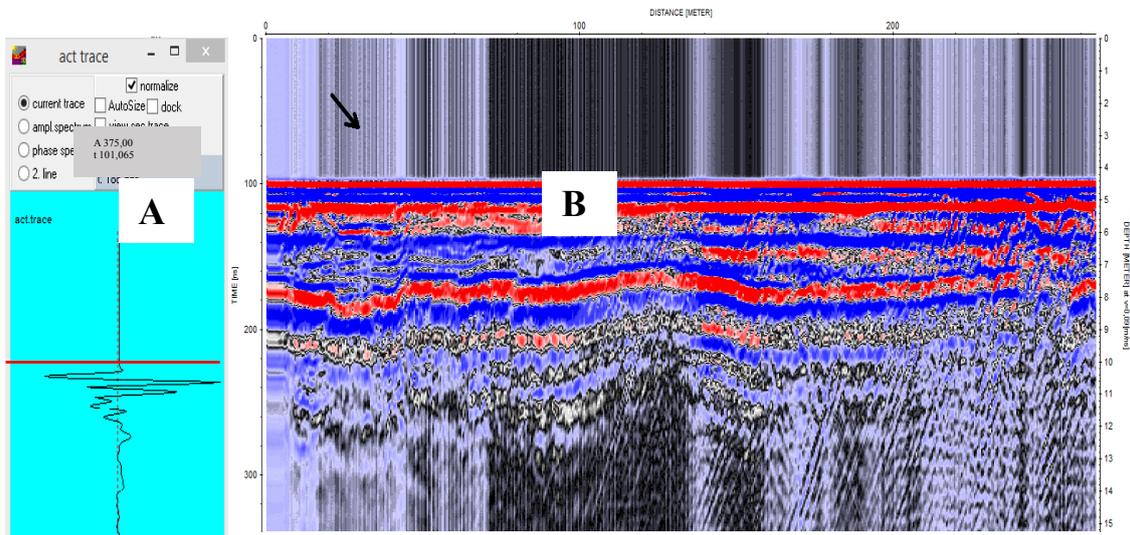


Figura 4.1.1.1 – Perfil ilustrativo sem o corte do *delay time* e das ondas diretas de superfície e subsuperfície. A) Janela que mostra o traço da onda EM recebida e identifica o traço zero e as ondas diretas. B) Radargrama composto por todos os traços da onda EM recebida (pulsos emitidos) ao longo do perfil de levantamento ilustrativo.

b) Processo de filtragem de baixas frequências (*dewow*)

O processo comumente chamado de *dewowing* é a filtragem temporal para remover componentes de frequência muito baixas dos dados. Segundo Strieder (2004), o *Wow* é um ruído de frequência muito baixa presente em algumas gravações de radar. Esse ruído acontece tipicamente como resultado da saturação da parte eletrônica do instrumento gravador pela grande amplitude da onda do ar e direta.

c) Processo de filtragem de frequências próximas do valor de aquisição dos dados

O principal objetivo da filtragem é remover sinais não desejados (ruído) dos dados, deixando somente as reflexões, na faixa de frequência em que o levantamento foi realizado e, que tenham algum significado geológico. Duas propriedades do ruído podem ser usadas como base da sua separação do sinal: a frequência e a velocidade aparente. Um filtro pode ser especificado no domínio da frequência, por zonas de passa-rejeita, ou no domínio do tempo (Strieder, 2004).

d) Processo de migração

Segundo Strieder (2004), a migração é um processo que tenta resolver o problema da distorção de refletores não horizontais e planos (posição aparente) definindo a posição real de um refletor observado em um ponto particular de um traço (*wiggle*) do radargrama. A posição real do refletor encontra-se em algum lugar ao longo de um arco imaginário que atravessa a posição aparente. Os princípios fundamentais da migração são todos baseados em conceitos geométricos.

e) Processo de correção topográfica

O processamento de correção topográfica 3D facilita o deslocamento estático dos pulsos (traços de onda EM em que cada posição ao longo do perfil de levantamento) de acordo com a ondulação topográfica do terreno. Isso significa um deslocamento vertical de cada traço no tempo. A correção de cada traço na direção tempo (vertical) está baseada na velocidade média observada para o perfil e nas coordenadas topográficas 3D armazenadas em um arquivo *ASCII*.

f) Processo migração topográfica

Segundo Pestana & Botelho (1997), a migração topográfica têm como principais objetivos corrigir as distorções nas estruturas geológicas, mover a energia das difrações para os seus pontos de origem e obter o modelo em profundidade (x-z), que corresponde ao modelo geológico de subsuperfície.

Por outro lado, os perfis que não apresentam hipérbolos de difração devido à reflexão das ondas aéreas nos troncos dos Pinus são tratados de maneira distinta. O item a) e b) foram realizados de forma idêntica. São acrescentados, no entanto, testes com dois métodos adicionais de filtragem

passa banda, que utilizam 2 frequências de corte, ao invés de 4 frequências como anteriormente. Esses métodos são aplicados sobre o processo de filtragem de baixas frequências (*dewow*) e constituem o item c).

Concluído esses processamentos, deve-se escolher entre os quatro resultados dos processos de filtragens produzidos o perfil que apresente a melhor visualização das estruturas geológicas. Com isso, deve-se realizar os itens e) e f) subsequentes.

4.2. Levantamento com GPS Geodésico

O levantamento utilizando um GPS Geodésico se fez necessário devido ao fato de que as cotas de altitude dos pontos são extremamente importantes para a veracidade da interpretação das linhas geofísicas processadas. O levantamento foi realizado no dia 03 de Junho de 2017, percorrendo os mesmos trajetos feitos no levantamento geofísico. O equipamento foi cedido em regime de colaboração pelo Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque (IFRS – Instituto Federal do Rio Grande/Campus Rio Grande), além da orientação do Prof. Dr. Christian Garcia Serpa (FURG). O equipamento utilizado no campo foi o LEICA VIVA GS15 RTK + CS15 c/ GLONASS. A antena foi acoplada na lateral do carro usado para o serviço (Figura 4.2.1) e transportada durante o trajeto. Para cada linha geofísica foi fundeada uma base fixa próxima a um marco geodésico conhecido (Figura 4.2.2).



Figura 4.2.1 – Antena acoplada na lateral do carro usado para o serviço.



Figura 4.2.2 – Base fixa do GPS Geodésico utilizada no levantamento.

Além disso, foi calculado as alturas de cada ponto desconsiderando a altura do topo até a base da antena (2 m) + a altura até o chão (0,361 m), resultando em uma altura de 2,361 m. Com isso, os dados foram inseridos no site <http://www.ppp.ibge.gov.br> para a realização do pós-processamento, sendo georreferenciados no Sistema de Referência Geocêntricos para as Américas

(SIRGAS 2000). Após, os dados foram inseridos no *software* AutoCAD 2014 para excluir os pontos excedentes, deixando os pontos levantados com o GPS Geodésicos compatíveis com as linhas geofísicas.

Deste modo, os dados foram agrupados juntamente com os arquivos dos perfis geofísicos para formar os arquivos topográficos, posteriormente inseridos no processamento do GPR.

4.3. Análise geológica

O presente trabalho apresenta a análise geológica do depósito *placer* da localidade do Retiro (São José do Norte, RS). Conforme mostra o Anexo 1, a empresa Rio Grande Mineração S.A. disponibilizou um banco de dados com as seguintes informações: coordenadas UTM X, Y, Z, seção geológica, furo de sondagem e descrição litológica de cada furo de sondagem. Não foram repassados pela empresa os dados de teor. O banco de dados possui 5 seções geológicas e 71 furos de sondagem.

A partir do banco de dados cedido (Figura 4.3.1), foi criado no *software* AutoCAD 14 a representação dos furos de sondagem em 2D. Através das descrições litológicas de cada furo, confeccionou-se 5 seções geológicas distintas.

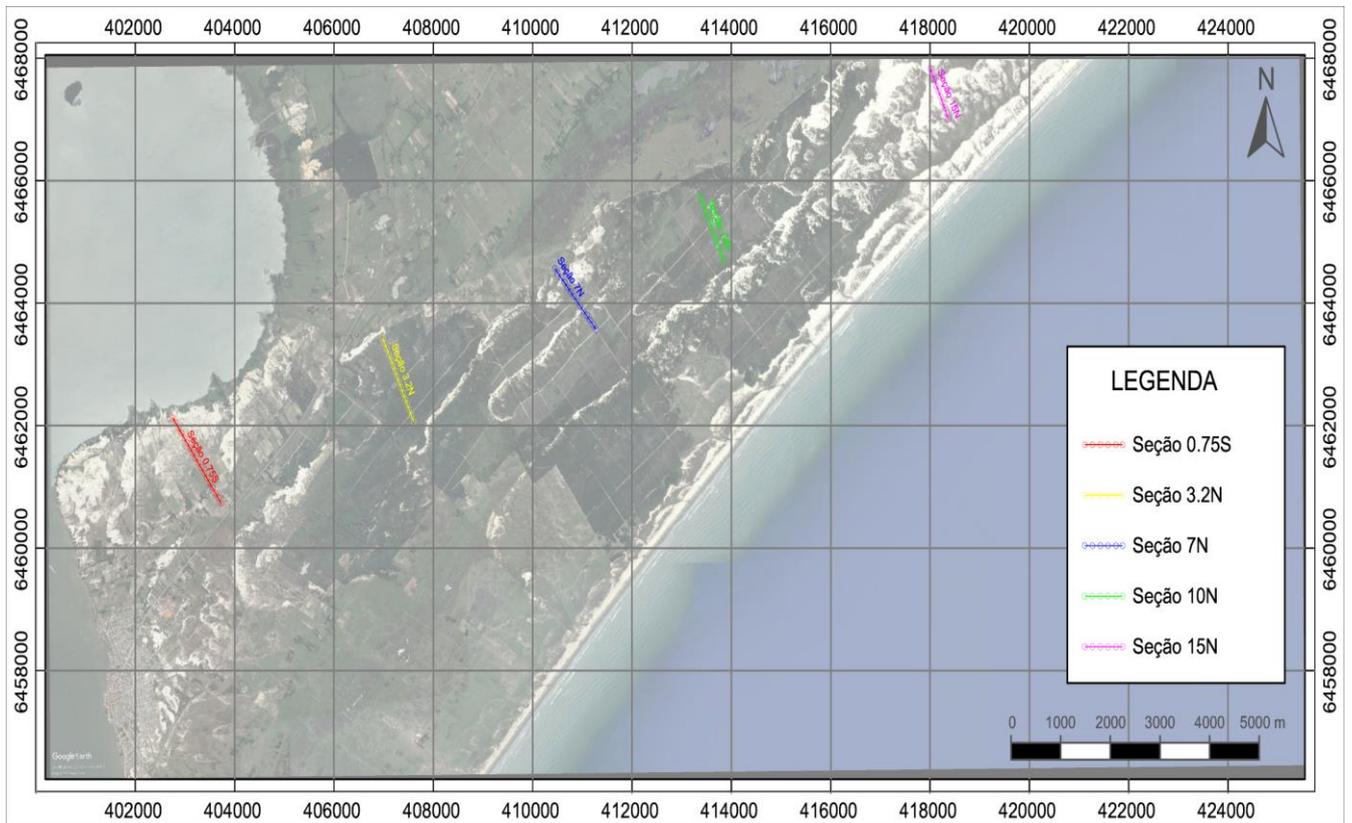


Figura 4.3.1 – Localização dos furos de sondagem disponibilizados pela empresa Rio Grande Mineração S.A (imagem modificada do *Google Earth*).

Deste modo, através do perfil de GPR produzido, interpretou-se e correlacionou-se os furos de sondagem que se encontravam próximos ao levantamento geofísico (Figura 4.3.2), usando a lógica que verificou-se a estruturação dos radarfácies para a construção de uma seção geológica interpretativa que mostra a continuidade espacial em corte das unidades estratigráficas com e sem mineralização dos perfis geofísicos analisados. Essa interpretação foi baseada no tipo de estruturação detectada nos radargramas, interpretando os radarfácies e sua estrutura geológica interna.

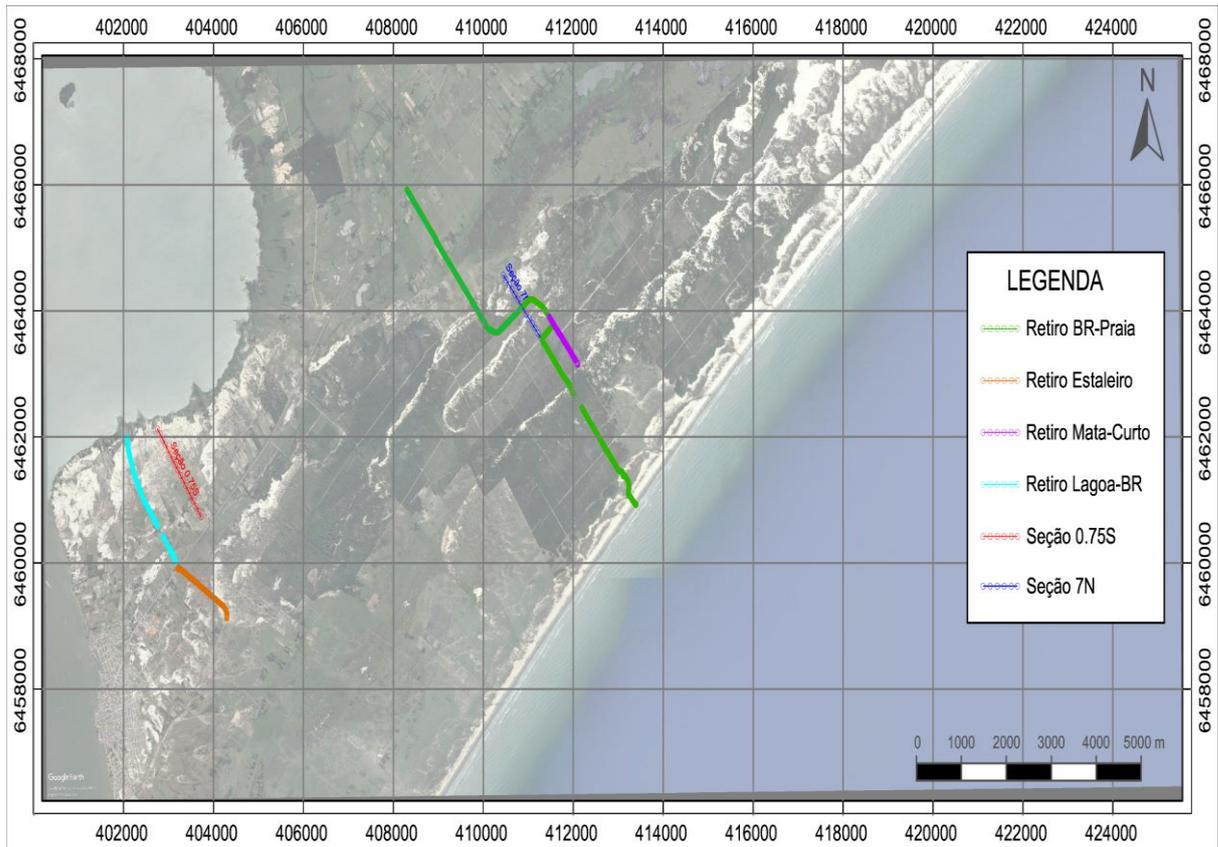


Figura 4.3.2 – Perfis geofísicos e seções geológicas analisadas. (Imagem modificada do *Google Earth*).

Com isso, para cada seção geológica, como por exemplo a seção 7N, foi criado no *software* AutoCAD 14 uma legenda com cores distintas a partir do banco de dados cedido pela empresa Rio Grande Mineração S.A. Além disso, a representação dos furos de sondagem desta seção foi construída respeitando as distâncias entre cada uma das litologias, a escala topográfica da boca do furo, bem como as distâncias entre os furos de sondagem (100 m) (Figura 4.3.3). O exagero vertical utilizado para esta seção geológica 7N foi de 50 vezes para que as litologias ficassem bem representativas nos furos de sondagem.

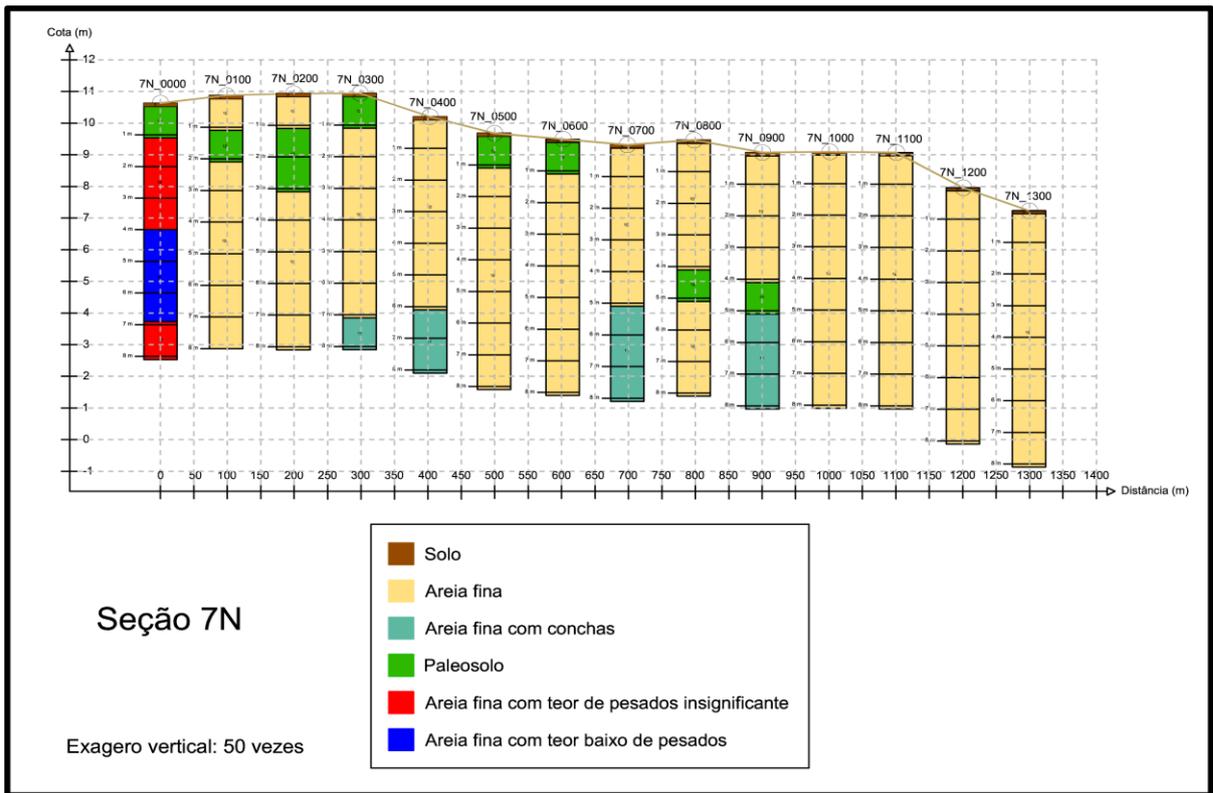


Figura 4.3.3 – Seção geológica 7N.

Por fim, foi realizado também a correlação entre os furos de sondagem, de modo a tornar visível a interpretação de cada seção geológica (Figura 4.3.4), relacionadas através dos resultados da interpretação dos perfis geofísicos. A correlação foi produzida através de uma interpolação manual, ou seja, supervisionada dos furos de sondagem. O exagero vertical utilizado para esta análise geológica foi de 10 vezes para que as estruturas geológicas obtivessem uma apresentação adequada.

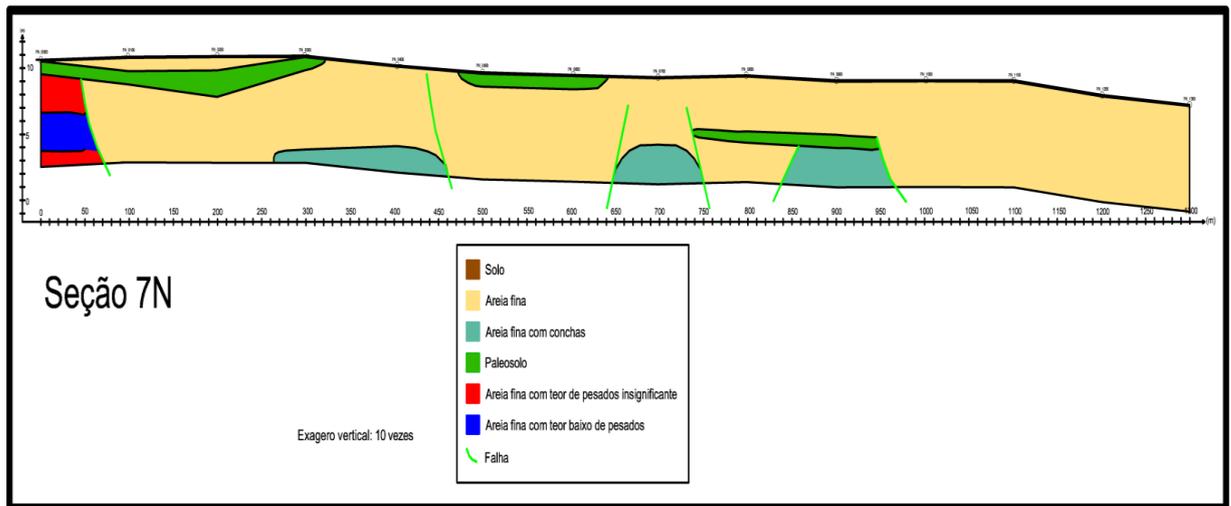


Figura 4.3.4 – Seção geológica 7N interpretada.

5. RESULTADOS

A turfa que se mostrou ser uma excelente radarfície na identificação das estruturas geológicas, presentes nos trabalhos realizados no Distrito de Bujuru (RS), não foi detectada neste estudo. Com isso, a análise e descrição das estruturas geológicas nos radargramas, neste caso, mostrou os limites e a estrutura interna dos radarfícies apresentando um padrão de sedimentação característico e estruturas de *onlap* e *downlap* nos perfis geofísicos.

Portanto, este capítulo apresenta todos os resultados obtidos através dos dados geofísicos levantados em campo e, ainda, pelas informações dos furos de sondagem cedidos pela empresa Rio Grande Mineração S.A. A seguir, serão mostrados os resultados obtidos pela correlação entre os perfis geofísicos e a interpretação das seções geológicas.

5.1. Análise e descrição das estruturas geológicas nos radargramas

Os dados geofísicos foram coletados na orientação W-E, ou seja, os perfis geofísicos começam sempre do continente e avançam em direção a linha de costa. Primeiro, serão apresentados os resultados encontrados na região do Retiro, onde há seções geológicas próximas e, em seguida, os resultados obtidos da região do Estreito, onde não há furos de sondagem realizados. Os radargramas serão apresentados sem e com interpretação para que a análise produzida não induza a visão do leitor. As estruturas estratigráficas são definidas pela relação geométrica entre os refletores marcados.

Os furos de sondagem são importantes para realizar a correlação com os dados geofísicos, porém, a campanha executada no Estreito com GPR se fez necessária para aumentar a quantidade de informações geofísicas da região para a construção de uma análise geológica mais consistente, mesmo sendo apenas com o levantamento geofísico. Além disso, na região do Retiro, foi confeccionado apenas duas seções geológicas, devido ao fato de que as outras 3 (três) restantes não estão localizadas próximas as linhas geofísicas realizadas e, portanto, não teriam significado geológico expressivo em termos de comparação com os dados de GPR.

5.1.1. Radargramas da região do Retiro

Os perfis geofísicos em questão estão situados em 5 unidades geomorfológicas distintas (Terraço Lagunar Holocênico, Planície de Deflação Eólica Atual, Dunas Ativas Interiores, Planície Arenosa e, Dunas Ativas Litorâneas) (Figura 2.4.1). O perfil denominado Retiro Lagoa-BR mostra um conjunto de 4 (quatro) falhas normais antitéticas (verde) interpretadas, devido ao fato de que as radarfácies estão deslocadas umas em relação as outras, conforme é possível analisar na figura 5.1.1.1. A estrutura interna dos radarfácies (amarelo) representa o tipo de sedimentação que ocorre, no sentido estratigráfico. Na figura abaixo, nota-se um comportamento dessas estruturas paralelas ao regime de falhas normais (porção inferior da imagem), de alto ângulo e descontínuas. Na parte superior da figura, é possível analisar que as estruturas internas dos radarfácies estão dispostas de maneira plano-paralela ao processo de deposição dos sedimentos. Da mesma forma, os limites dos radarfácies (vermelho) apresentam-se plano-paralelos e contínuos em todo o perfil.

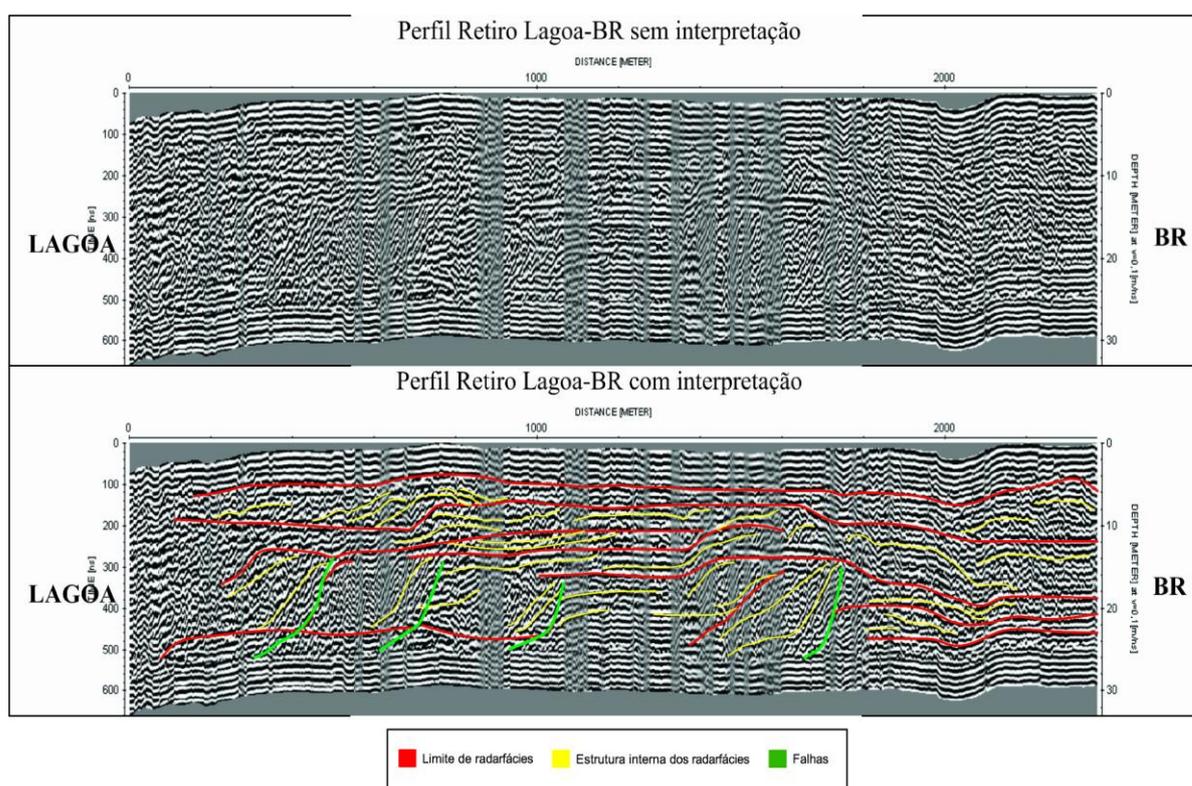


Figura 5.1.1.1 – Perfil Retiro Lagoa-BR sem e com interpretação.

No perfil denominado Retiro Estaleiro (Figura 5.1.1.2), é possível identificar uma falha gravitacional lítrica (verde) que controla o regime deposicional ao longo do radargrama. Os limites de radarfácies (vermelho) e as estruturas internas dos radarfácies (amarelo) encontram-se descontínuos e com médio ângulo e, estão dispostos no sentido NE-SW o que corrobora

estratigrafia local. No perfil abaixo, percebe-se, também, uma ausência de interpretação ao longo dos 400 m iniciais, isso ocorre, pois houve uma perda de sinal considerável neste intervalo, talvez por uma diferença de cotas altimétricas, produzida no levantamento topográfico. Portanto, a interpretação dos radarfácies e possíveis falhas gravitacionais ficaram comprometidas nessa região do radargrama.

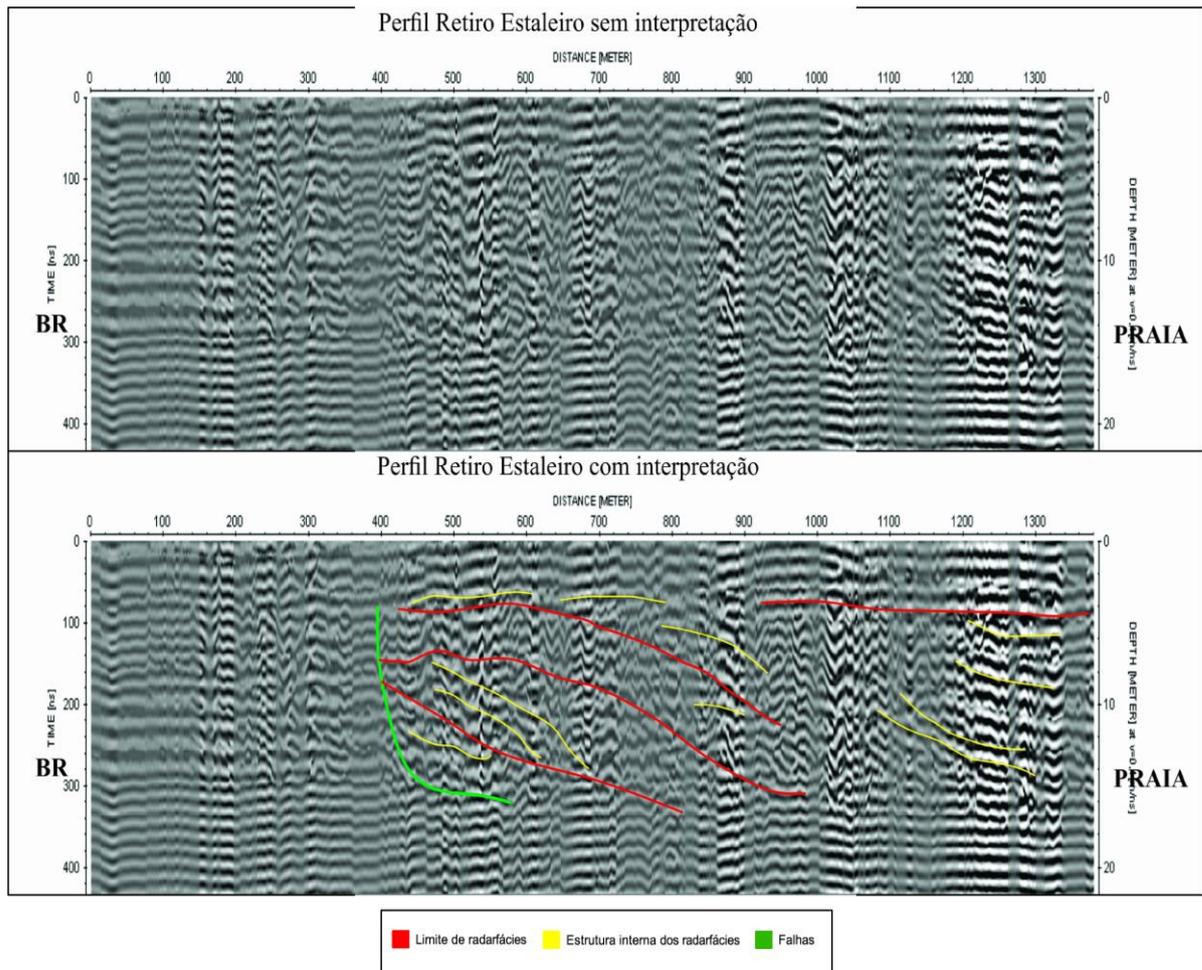


Figura 5.1.1.2 – Perfil Retiro Estaleiro sem e com interpretação.

Na figura 5.1.1.3, nota-se uma falha normal (verde) de aproximadamente de 12 m de profundidade controlando a deposição sedimentar. Os limites dos radarfácies (vermelho) e as estruturas internas dos radarfácies (amarelo) começam indicando uma sedimentação plano-paralela com refletores contínuos e de baixo ângulo, durante os 1,9 km iniciais. A medida que os mesmos se aproximam da falha, o padrão de sedimentação se altera, com as refletores descendo perfil abaixo, o que corrobora a existência dessa falha gravitacional.

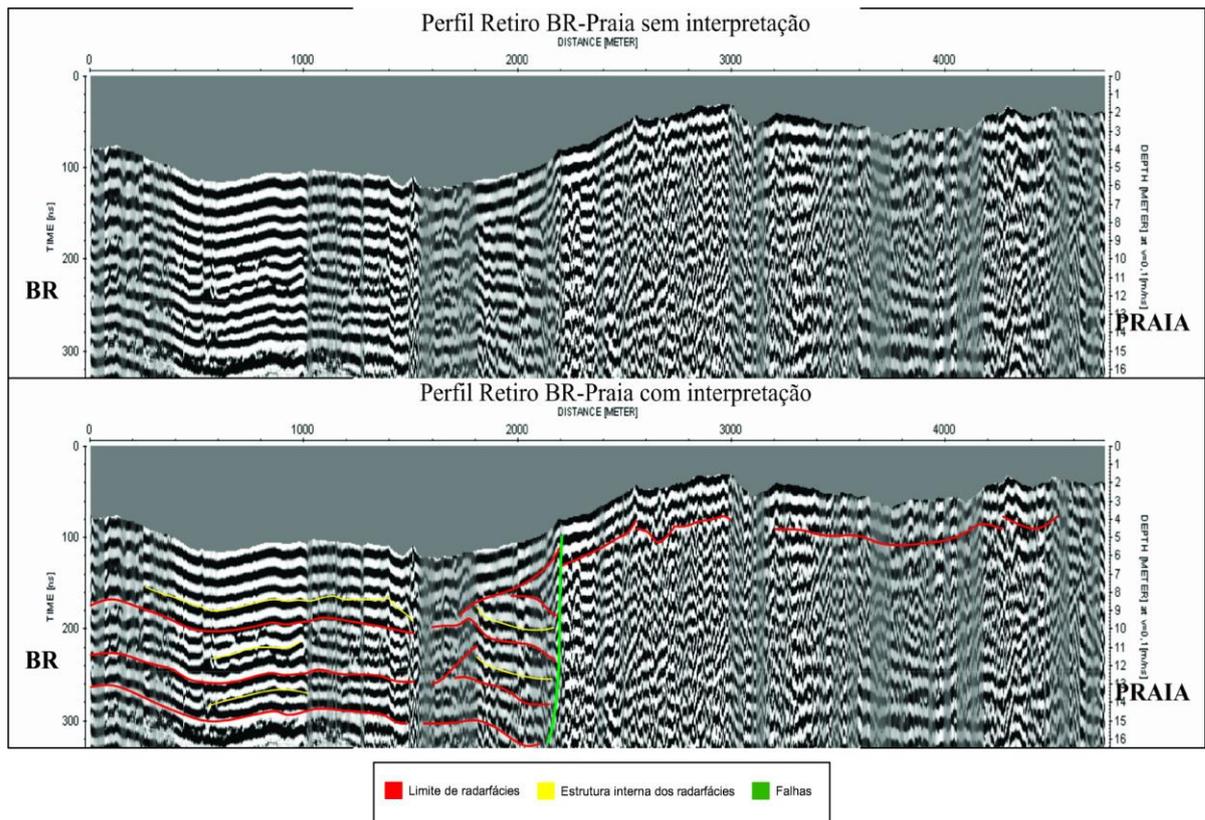


Figura 5.1.1.3 – Perfil Retiro BR-Praia sem e com interpretação.

No perfil denominado Retiro Mata-Curto (Figura 5.1.1.4), a disposição dos refletores apresenta-se de forma variada. Este radargrama é o que está mais próximo de uma seção geológica estudada (seção 7N). Nos primeiros 140 m, ocorre uma falha gravitacional antitética principal (verde) que possui 3 ramificações. Os limites dos radarfácies (vermelho) são contínuos e curvados, identificando uma bacia de deposição. A estrutura interna dos radargramas (amarelo) estão formados plano-paralelamente de baixo ângulo e descontínuos. A partir dos 320 m, o regime de falhas normais torna-se sintética e, o limite dos radarfácies é contínuo e de baixo ângulo durante todo o perfil. A estrutura interna dos radarfácies mostra-se controlada pelas falhas sintéticas, de médio a alto ângulo e segmentadas. O radargrama apresenta uma riqueza de detalhes em comparação aos outros perfis devido a sua pequena distância (980 m).

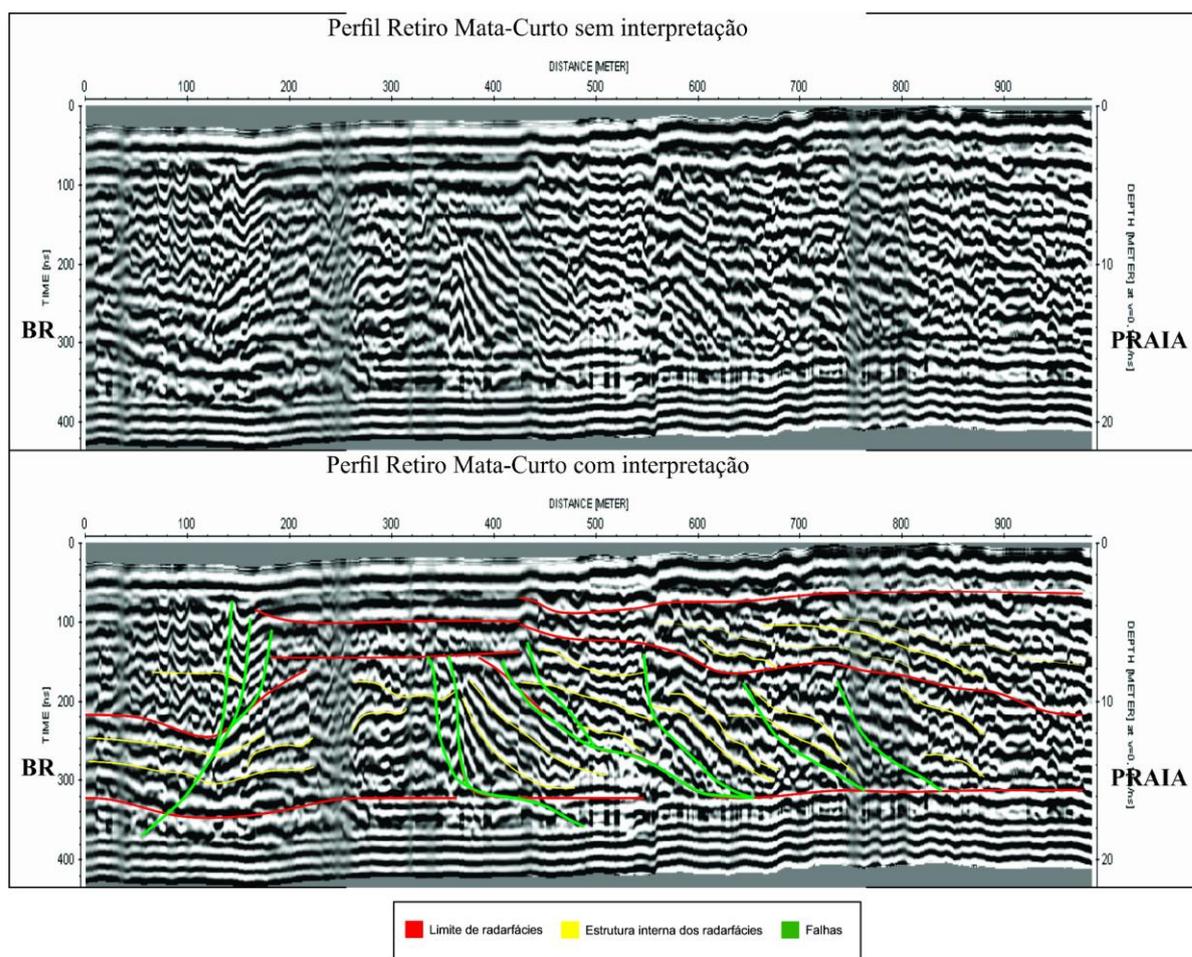


Figura 5.1.1.4 – Perfil Retiro Mata-Curto sem e com interpretação.

5.1.2. Radargramas da região do Estreito

Os levantamentos geofísicos por GPR dessa região de estudo estão situados em 6 unidades geomorfológicas distintas (Cordões Lagunares Holocênicos, Dunas Lagunares, Terraço Lagunar Holocênico, Terraço Marinho Pleistocênico, Planície de Deflação Eólica Atual e, Dunas Ativas Litorâneas) (Figura 2.4.1). O perfil Estreito BR-Praia (Figura 5.1.2.1) é controlado por falhas gravitacionais normais sintéticas e antitéticas (verde). Conforme observado na figura abaixo, entre os 2 km e 2,4 km, há a ocorrência de uma região de deposição sedimentar controlada por essas falhas normais, marcadas por estruturas internas de radarfácies (amarelo) descontínuas de baixo ângulo formando sinformes entre as falhas. A segunda metade do perfil está com dificuldade de interpretação, devido a problemas na topografia.

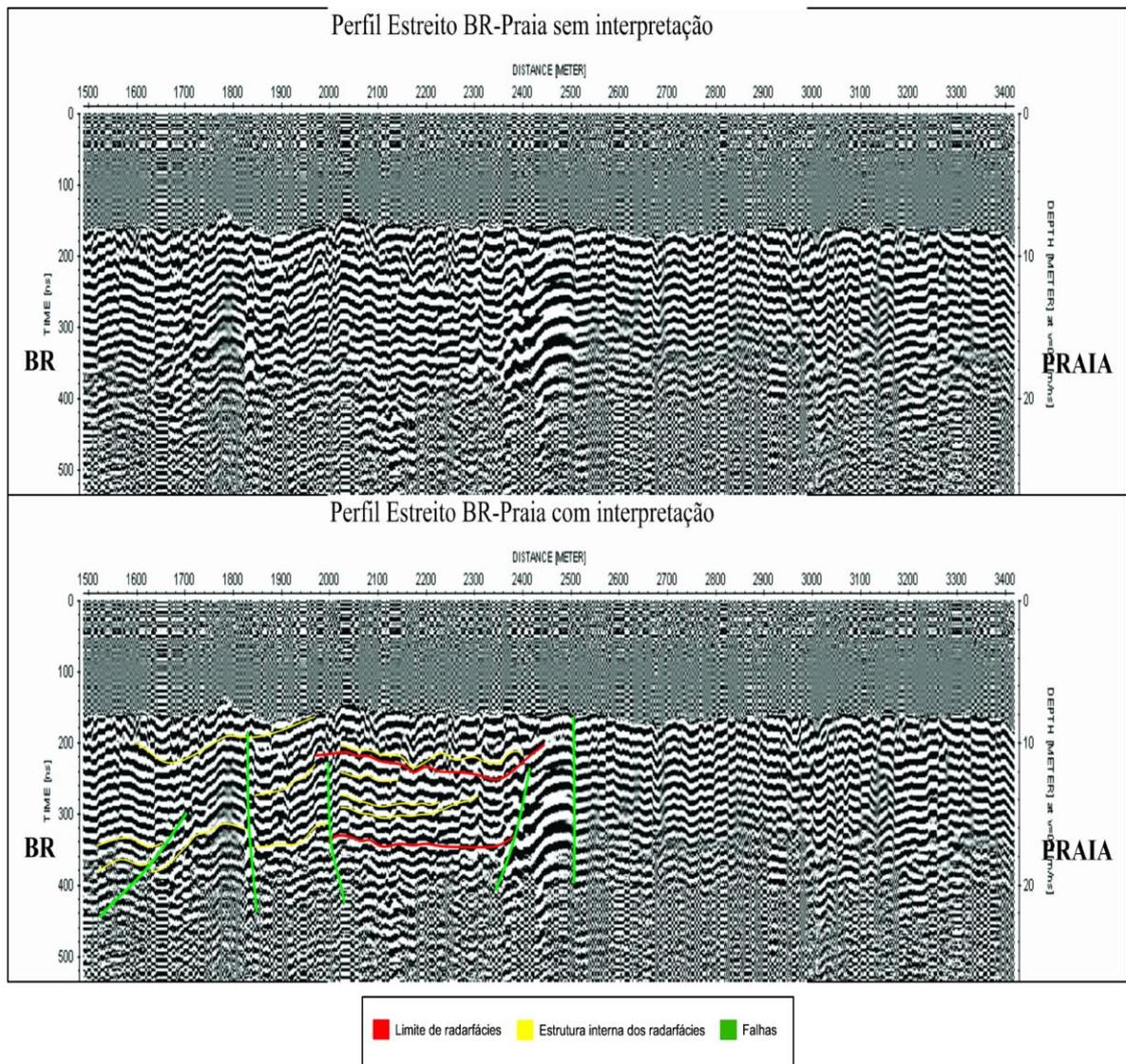


Figura 5.1.2.1 – Perfil Estreito BR-Praia sem e com interpretação.

No perfil Estreito Lagoa-BR (até o cemitério) (Figura 5.1.2.2), o limite entre os radarfácies (vermelho) é segmentado, plano-paralelo e cortado por falhas gravitacionais normais sintéticas e antitéticas (verde).

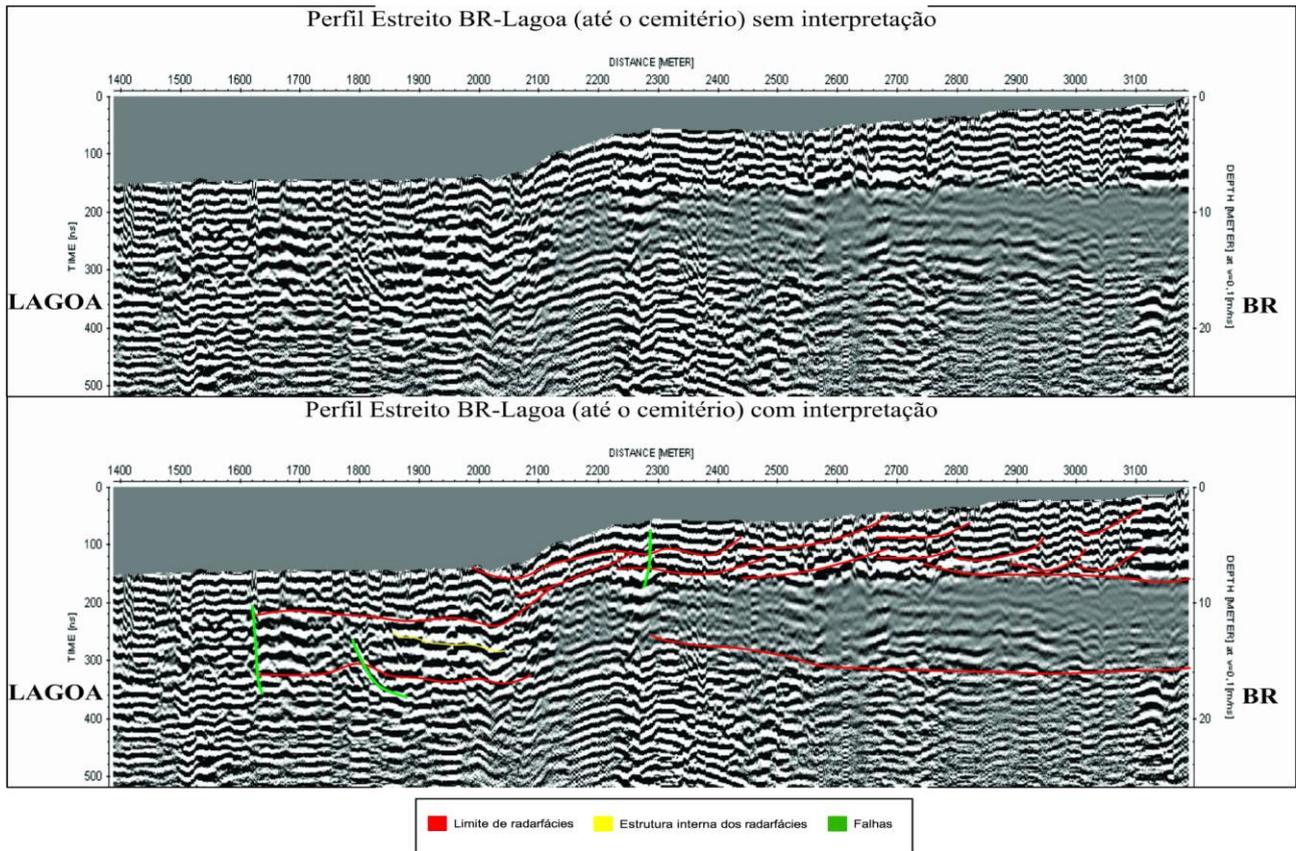


Figura 5.1.2.2 – Perfil Estreito Lagoa-BR (até o cemitério) sem e com interpretação.

A figura 5.1.2.3 abaixo é a continuação do perfil geofísico apresentado acima, desta forma, as características dos refletores estão mostrando as mesmas estruturas geológicas da figura 5.1.2.2.

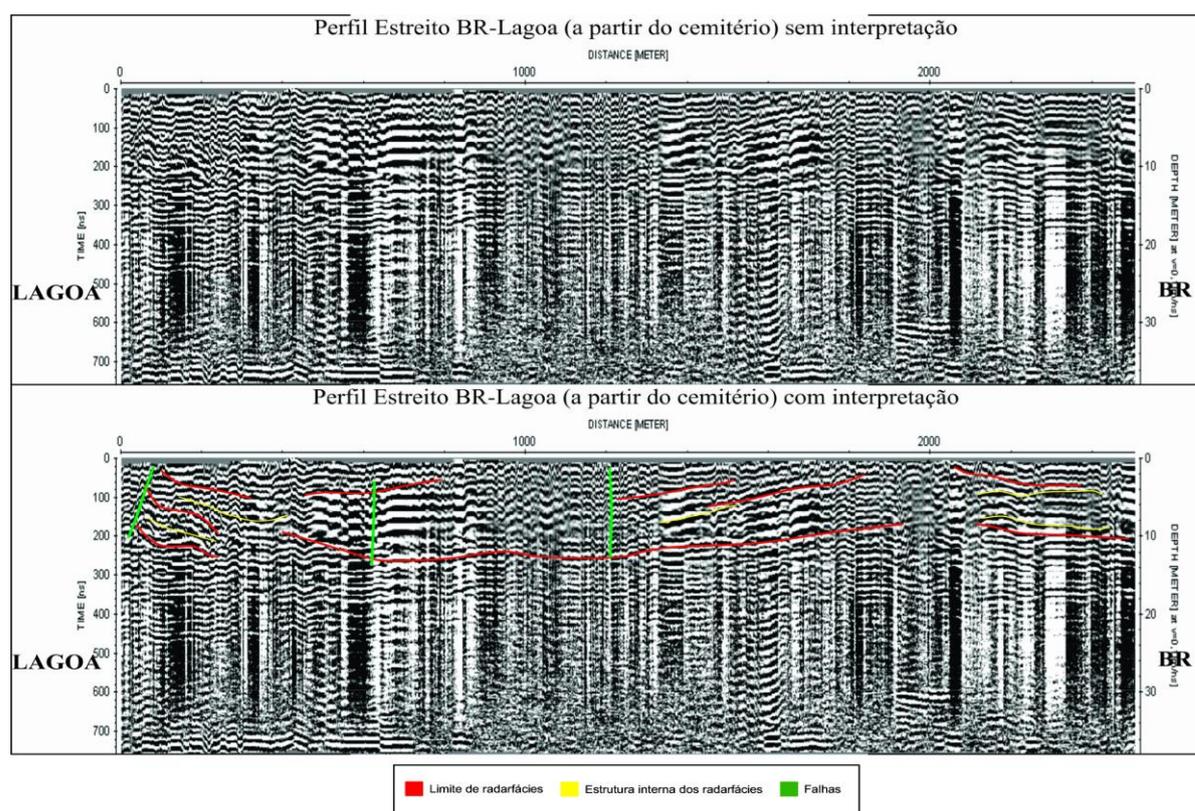


Figura 5.1.2.3 – Perfil Estreito Lagoa-BR (a partir do cemitério) sem e com interpretação.

5.2. Análise geológica dos furos de sondagem

Os perfis geofísicos realizados na região do Retiro (São José do Norte – RS), tornaram possível a correlação e interpretação dos furos de sondagem cedidos pela empresa Rio Grande Mineração S.A. As seções geológicas denominadas de 0.75S e 7N foram correlacionadas e interpretadas através dos resultados obtidos nos perfis geofísicos (GPR) (mostrados na figura 5.2.1). A correlação e interpretação dessas seções geológicas foram baseada na proximidade entre os dados geofísicos e os furos de sondagem.

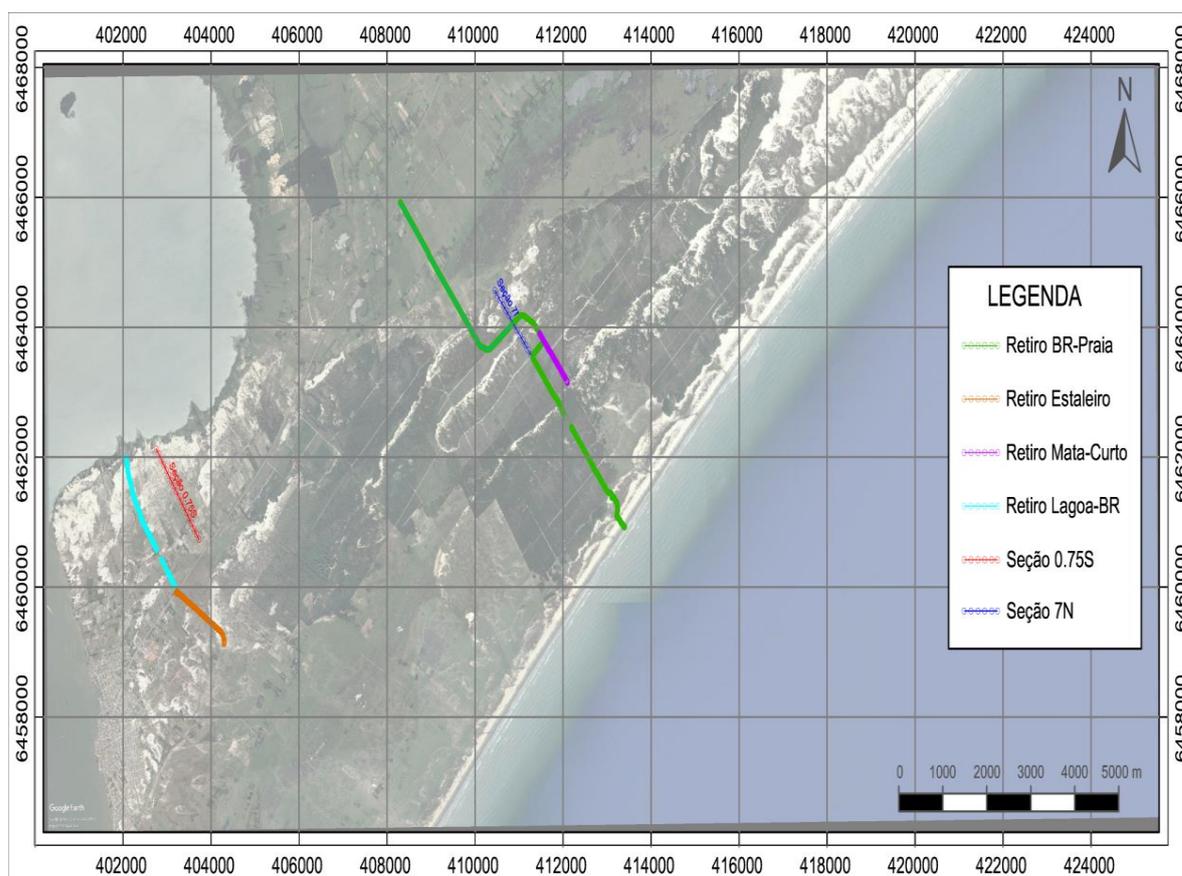


Figura 5.2.1 – Localização das seções geológicas e perfis geofísicos analisados (Imagem modificada do *Google Earth*).

Na seção geológica 0.75S (Figuras 5.2.2 e 5.2.3), encontra-se a predominância de areia fina com baixo teor de pesados no início da seção, ou seja, próximo a Lagoa dos Patos. Este corpo de minério está segmentado por uma falha gravitacional normal sintética. A seguir, a areia fina com baixo teor de pesados penetra uma areia fina com teor médio de pesados, além de ser nitidamente cortada por 2 falhas normais sintéticas e antitéticas. E, por fim, uma falha normal antitética delimita o início dos furos de sondagem totalmente preenchidos por areia fina. O exagero vertical utilizado na interpretação (Figura 5.2.2) foi de 10 vezes e, na representação dos furos de sondagem (Figura 5.2.3) foi de 50 vezes.

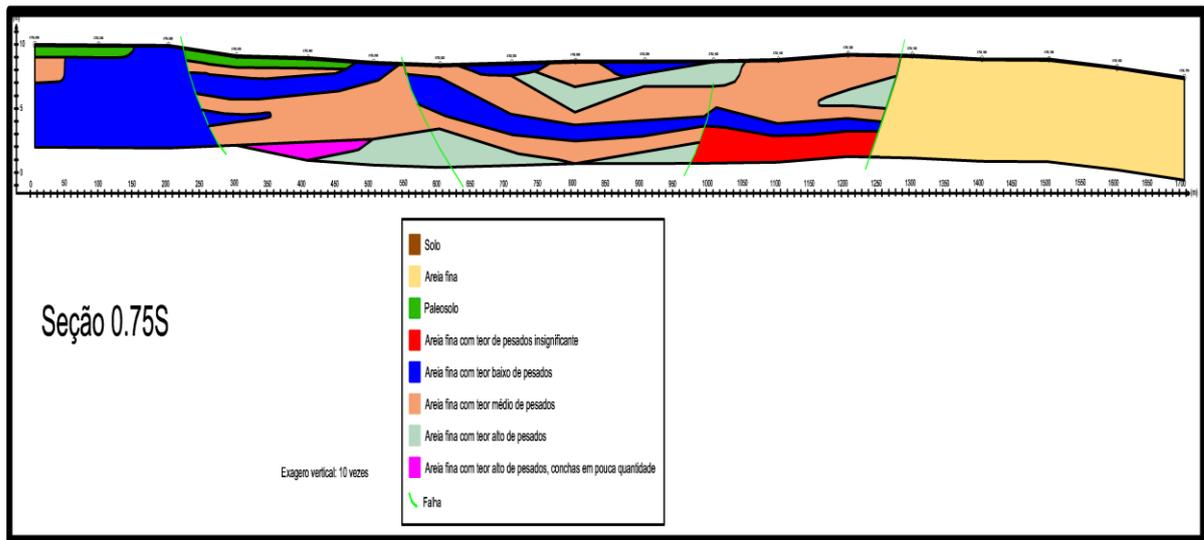


Figura 5.2.2 – Seção geológica 0.75S interpretada.

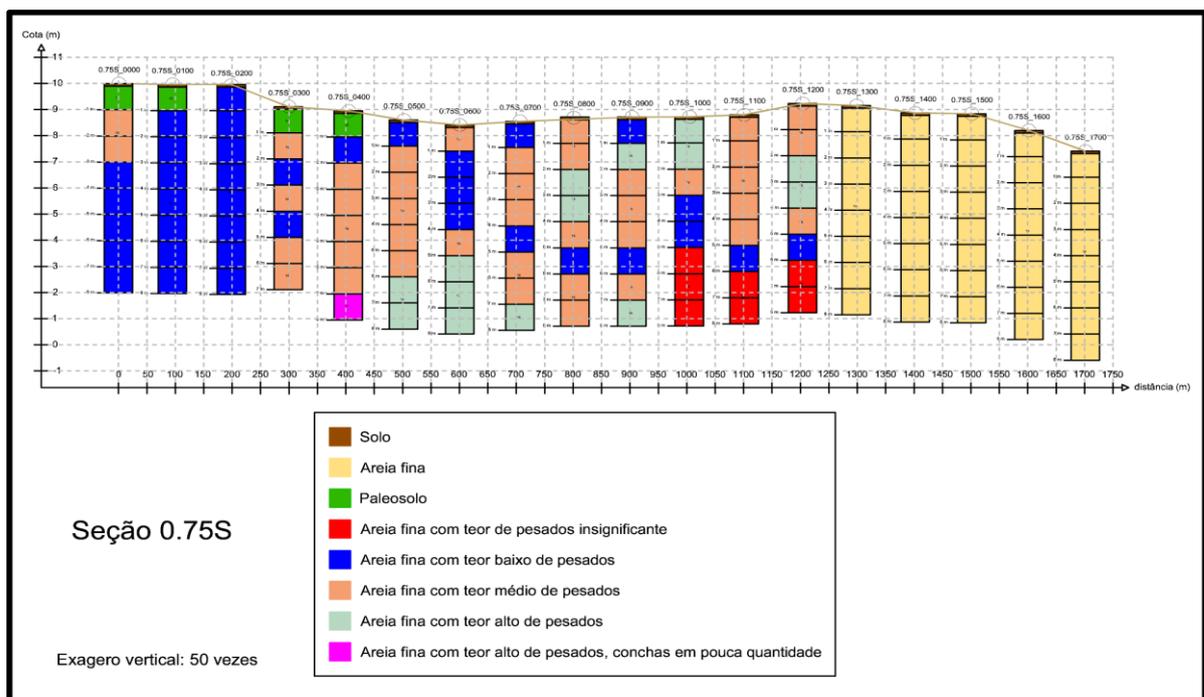


Figura 5.2.3 – Seção geológica 0.75S (Furos de sondagem).

A seção geológica 7N (Figuras 5.2.4 e 5.2.5), apresenta uma predominância de areia fina, provavelmente devido ao fato de que os furos foram distribuídos fora do corpo de minério principal que acredita-se estar mais na direção NE, pois somente o 1º furo de sondagem mostra teores de pesados (figura abaixo). Além disso, detectou-se 4 falhas gravitacionais normais sintéticas e antitéticas. As 3 últimas falhas em direção ao oceano delimitam um paleosolo. Este paleosolo configura a região como sendo do Sistema Depositional Laguna-Barreira III. Mantendo o mesmo

padrão adotado, o exagero vertical utilizado na interpretação (Figura 5.2.4) foi de 10 vezes e, na representação dos furos de sondagem (Figura 5.2.5) foi de 50 vezes.

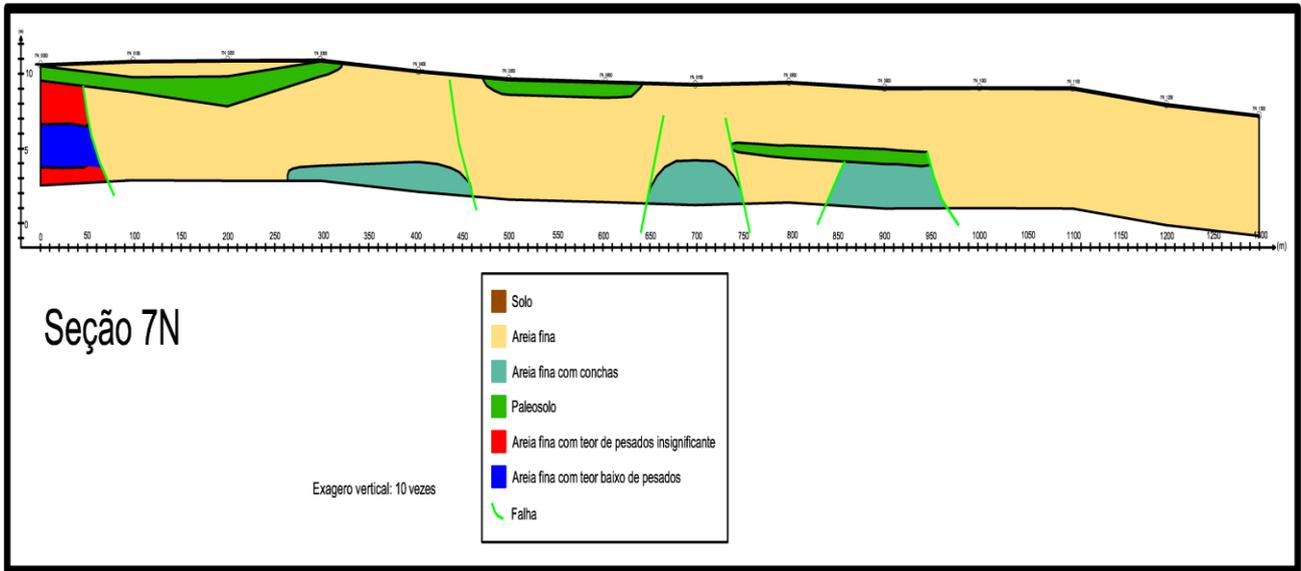


Figura 5.2.4 – Seção geológica 7N interpretada.

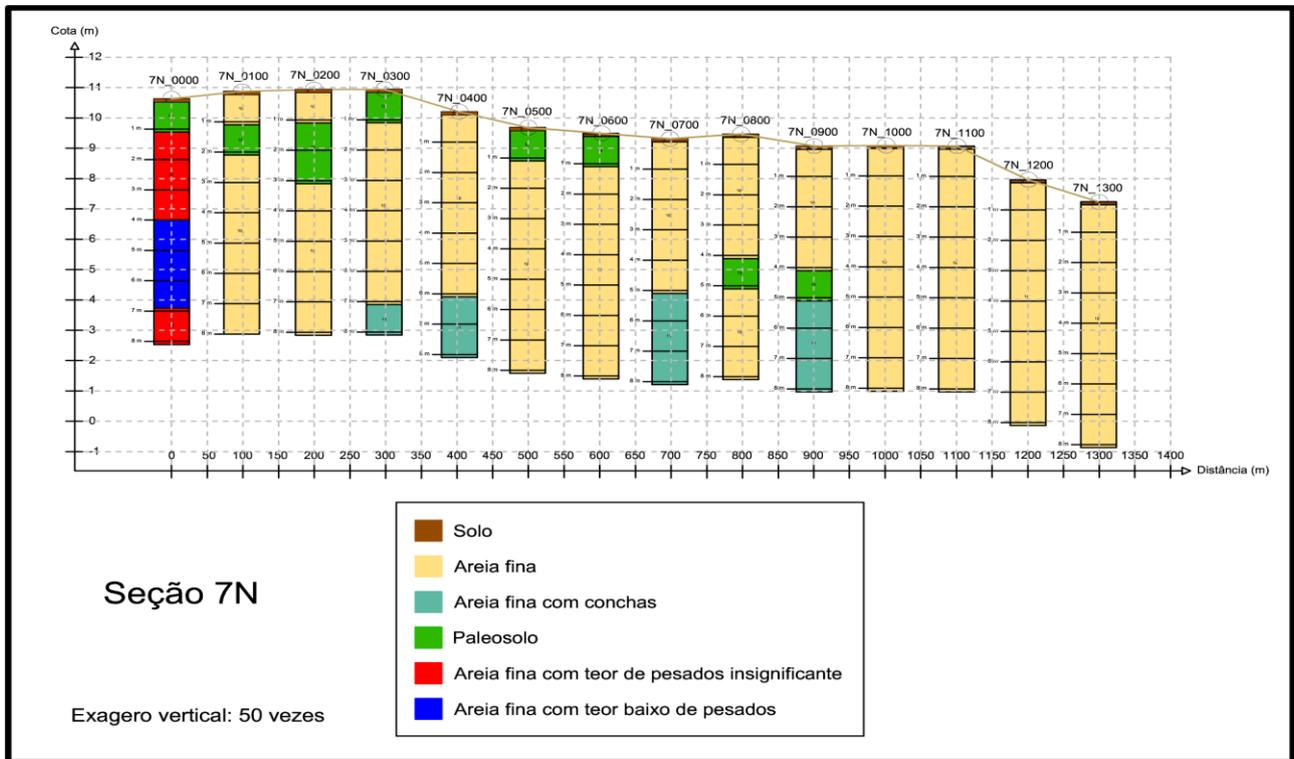


Figura 5.2.5 – Seção geológica 7N (Furos de sondagem).

6. DISCUSSÕES

De acordo com a análise geológica apresentada, juntamente com os perfis geofísicos interpretados, discute-se a possibilidade dos furos de sondagem analisados não terem recoberto a camada mineralizada do depósito *placer* de minerais pesados do Retiro (RS), como pode ser observado na seção geológica 7N (Figura 5.2.5). Com isso, a turfa que é um importante marcador da camada mineralizada poderia ter sido erodida ou estar numa profundidade mais elevada, sendo assim, a zona mineralizada não foi atingida na sua totalidade nos furos de sondagem obtidos.

A partir dos furos de sondagens (principalmente a seção 7N) obtidos e investigação geológica e geomorfológica em campo, as seções geológicas produzidas apresentaram indícios de que foram localizadas em um alto estrutural. Devido a isto, o corpo de minério (produto a ser prospectado) encontra-se no baixo estrutural, onde provavelmente deveria ter sido sondado mais fortemente em direção a NW, região de um baixio topográfico de grande extensão.

O levantamento geofísico com *Ground Penetrating Radar* (GPR) apresentou nos radargramas estruturas de *downlap* e *onlap*. O diagrama de Emery & Myers (1996) (Figura 6.1) exemplifica os termos utilizados. O termo *Onlap* destina-se aos refletores que cavalgam sobre e em direção a um refletor principal. Já o termo *Downlap* é quando refletores mergulham sobre e em direção a um refletor principal.

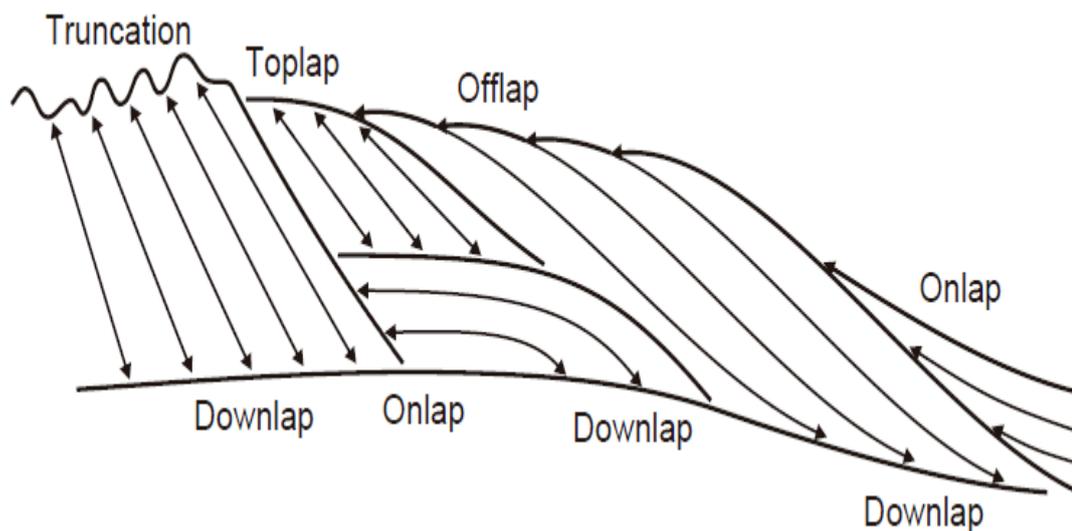


Figura 6.1 – Diagrama com os tipos de refletores (Modificado de Emery & Myers, 1996).

Essas estruturas de *onlap* e *downlap* são importantes devido ao fato de que indicam o modo

como a sedimentação, ou seja, a estratificação está ocorrendo. Os radargramas interpretados, apresentaram uma estratificação plano-paralela segmentada por falhas gravitacionais normais sintéticas e antitéticas.

A sedimentação transgressiva encontrada na região é de origem eólica, principalmente dos ventos vindos de NE, predominantes na área. Esse regime de ventos influencia também a formação e a localização do depósito mineral existente.

Lima *et al.* (2013) verificou um padrão de sedimentação transgressiva na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, na Praia do Hermenegildo (RS). De acordo com o gráfico de Angulo *et al.* (2006), o nível do mar na costa brasileira durante os últimos 6 ka está caindo, o que contribui para a retrogradação da barreira arenosa na região de estudo. Esse padrão retrogradacional é formado por um déficit no balanço sedimentar.

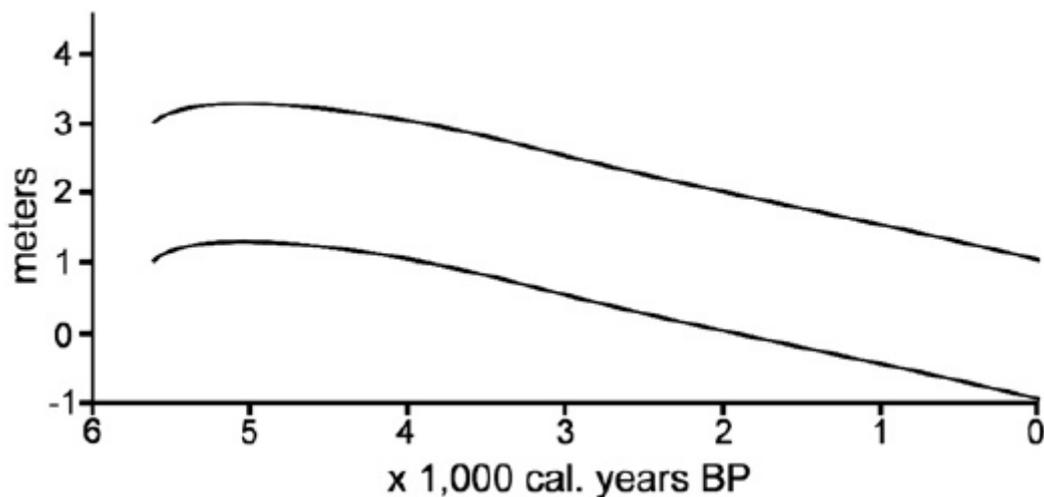


Figura 6.2 – Comportamento do nível do mar na costa brasileira nos últimos 6 ka (Modificado de Angulo *et al.*, 2006).

A interpretação dos radarfácies, segundo os autores, mostram os refletores tendo um comportamento retrogradacional (Figura 6.3). O substrato sedimentar penetrado pelo GPR é de origem holocênica, não alcançando uma cobertura de sedimentos mais antigos devido a frequência do sinal (70 MHz) ser elevada, com isso, atinge profundidades menores. É possível constatar a presença de refletores *onlap* e *downlap* no radargrama, controlando o processo estratigráfico local.

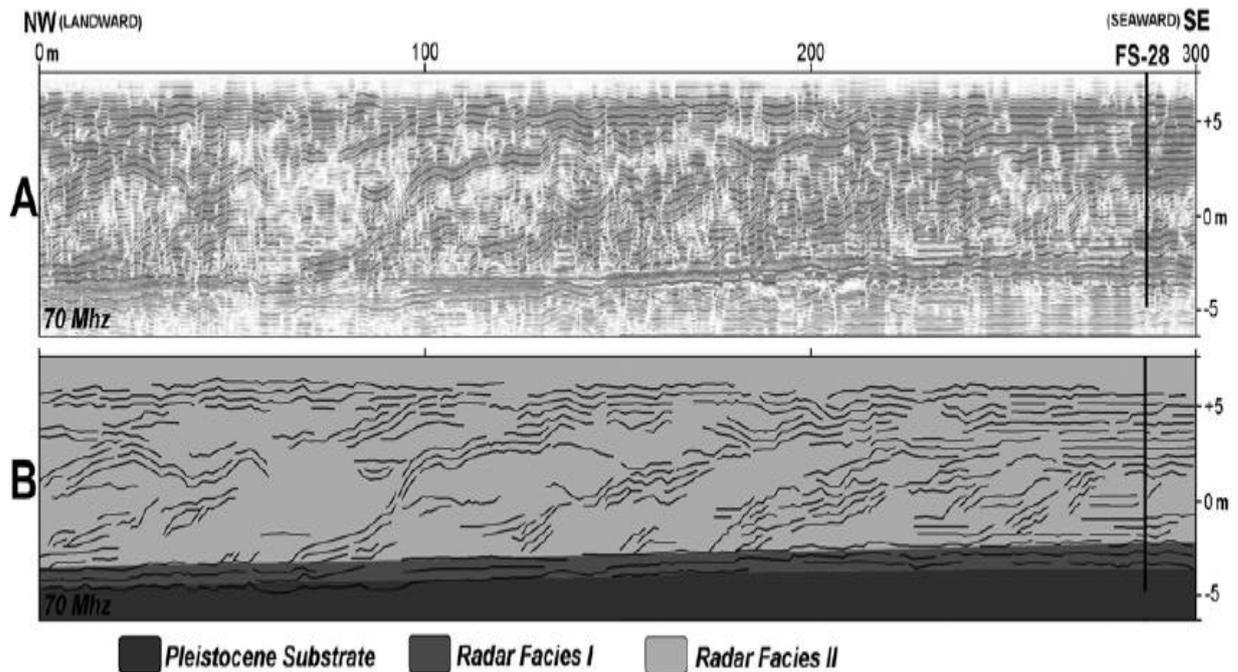


Figura 6.3 – Perfil geofísico (GPR) na Praia do Hermenegildo (RS). Antena de 70 MHz. a) Radargrama não interpretado. b) Interpretação dos radarfácies. (Modificado de Lima *et al.*, 2013).

Na mesma área de estudo de Lima *et al.* (2013), Caron (2014) traçou a estrutura e a arquitetura dos sistemas deposicionais costeiros, entre outras formas, por análise de radarfácies. De acordo com os seus resultados, os radarfácies apresentaram refletores paralelos e subparalelos em *downlap*, perpendiculares a barreira costeira e mergulhando em direção ao continente, sob um fundo lagunar em um processo progradacional peculiar. O Sistema Depositional Laguna-barreira IV é encontrado em locais de baixa topografia, ou seja, zonas de planícies próximos a linha de costa.

Com isso, nota-se uma semelhança de características geológicas entre a Praia do Hermenegildo (RS) e o depósito mineral do Retiro (RS) nesse aspecto. As estruturas geológicas obtidas coexistem, embora a região do extremo sul do Rio Grande do Sul seja uma projeção com um padrão erosivo mais intenso e a região do Retiro (RS) compreender uma zona intermediária entre a relação projeção/embaçamento, mas os regimes de sedimentação e substratos presentes são equivalentes.

Por outro lado, Dillenburg *et al.* (2017) utilizaram o método de prospecção geofísica *Ground Penetrating Radar* (GPR) na porção norte da Praia do Cassino (RS) para a caracterização das estruturas geológicas e estratigráficas da área. A barreira arenosa é progradante, formada por sedimentos que se acumulam na linha de costa e causam avanço da linha de costa e aparente recuo

do nível do mar. Os perfis de GPR (Figura 6.4) mostraram diversos limites entre radarfácies, distinguindo superfícies deposicionais peculiares da barreira. Estavam presentes estruturas de *onlap* e *downlap* nos radargramas que constituíam uma deposição eólica na parte superior do perfil.

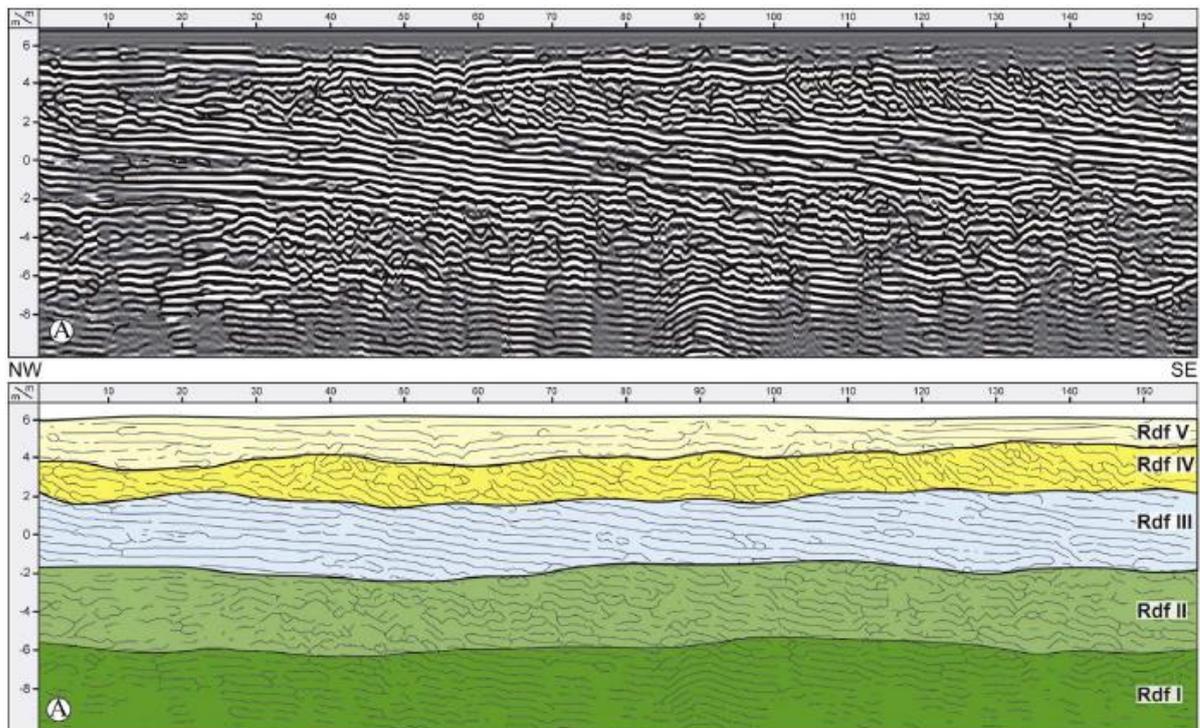


Figura 6.4 – Radargrama da Praia do Cassino, evidenciando os limites de radarfácies (Modificado de Dillenburg *et al.*, 2017).

A Praia do Cassino se assemelha tanto estratigráfica quanto geologicamente com o depósito do Retiro (RS) devido a sua proximidade geográfica. Quanto ao depósito de minerais pesados, a constituição mineralógica entre as duas regiões se equiparam. Long & Paim (1987) reconstituíram as etapas que marcaram a evolução dos cordões de dunas ao sul e ao norte da barra do Rio Grande e definiram o assentamento da série dos sete feixes de cordões litorâneos (cada um deles caracterizado por um grau de concavidade dos diferentes cordões) e a migração do canal principal sob influência dos processos costeiros de fluxo lagunar, corrente litorânea e incidência de ondas. De acordo com os autores, a formação da Ilha dos Marinheiros (RS) e a separação do que hoje é São José do Norte (RS) ocorreu com o rompimento de um desses feixes do tipo flecha que cresceu na direção nordeste para sudoeste e desviava o fluxo lagunar para margem oeste formando um forte meandramento do canal. Sendo assim, os dados levantados por Dillenburg *et al.* (2017) corroboram os resultados obtidos nessa dissertação.

O GPR é uma importante ferramenta para identificar estruturas sedimentares em subsuperfície com uma aquisição eficaz e de alta resolução (até 1000 MHz). Silva *et al.* (2010) utilizaram este equipamento para a caracterização de depósitos sedimentares em um setor da Planície Costeira Sul de Santa Catarina (Figura 6.5). O perfil de GPR estudado, corta no sentido de migração feições geomorfológicas de cristas e cavas, que representam a paleotopografia de dunas frontais, as quais marcam antigas linhas de costa (Silva *et al.*, 2010).

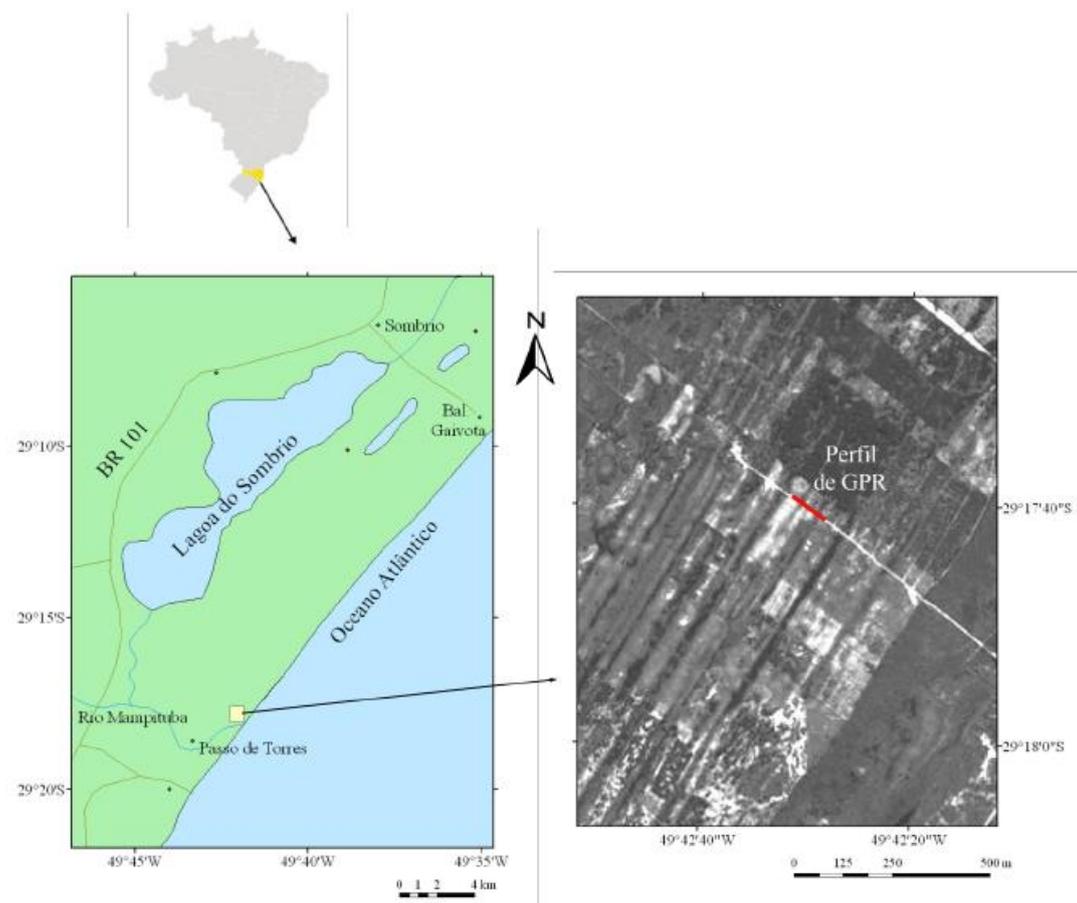


Figura 6.5 – Mapa de localização da área de estudo. Em detalhe a imagem de satélite onde se observa cristas (tonalidade mais clara) e cavas (mais escuras) que representam a paleotopografia de cordões de dunas frontais (Modificado de Silva *et al.*, 2010).

De acordo com os autores, o perfil analisado apresenta um padrão progracional da barreira holocênica, onde fácies eólicas recobrem fácies praias e marinhas. É possível verificar esse padrão deposicional através das 4 (quatro) radarfácies distintas identificadas no perfil de GPR (Figura 6.6) em que refletores mostram-se predominantemente descontínuos, irregulares e ondulados. A estrutura de *downlap* é fortemente encontrada, principalmente no radarfácie (D), evidenciando o recobrimento de sedimentos eólicos de dunas frontais sobre sedimentos praias e marinho raso.

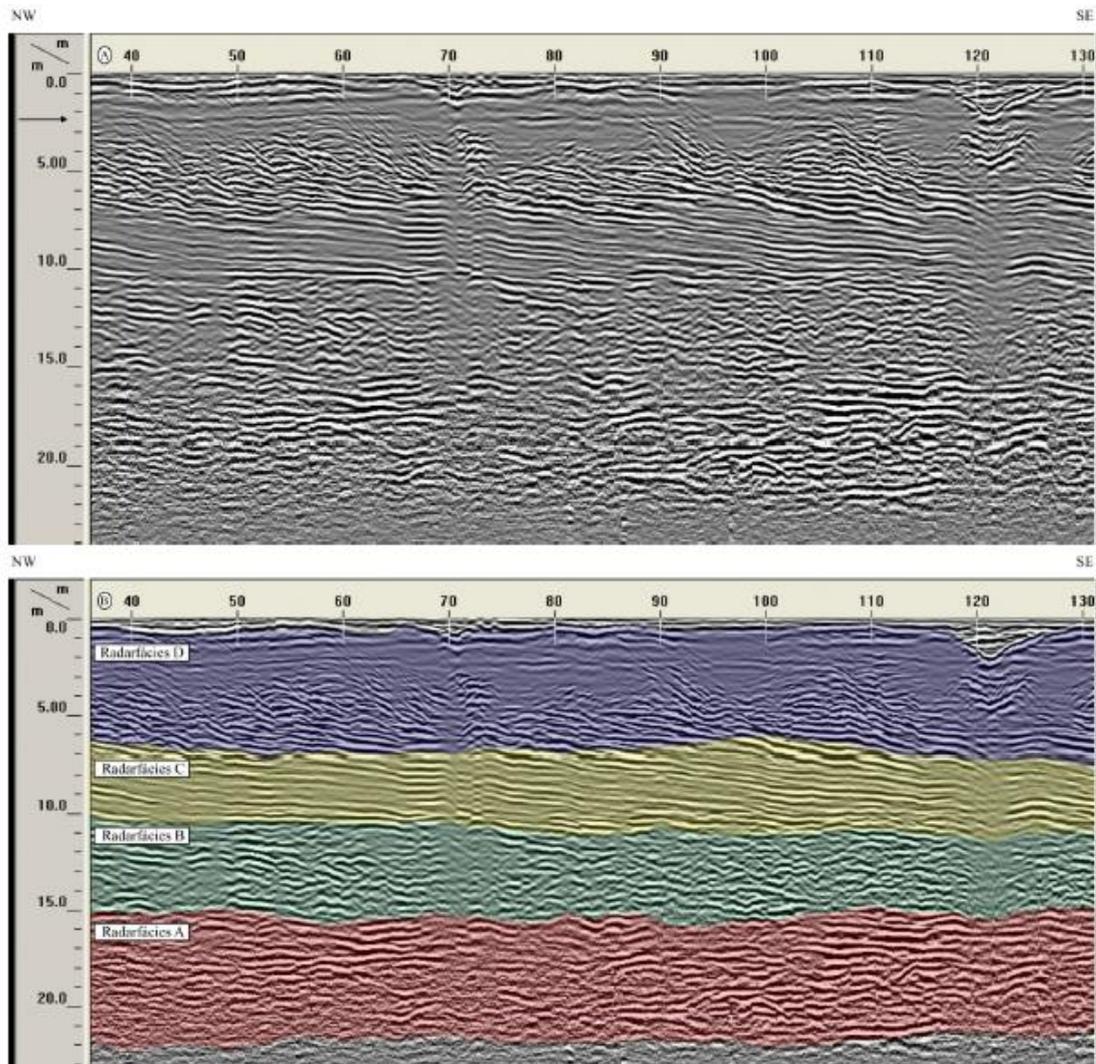


Figura 6.6 – a) Em torno de 2,5 m, um refletor diácrono que corta os outros refletores representa o nível do lençol freático. b) As radarfácies delimitadas não representam superfícies de tempo, as quais encontram-se em posição inclinada/obliqua com relação a estas delimitações (Modificado de Silva *et al.*, 2010).

Além disso, Barbosa *et al.* (2009) utilizou o radar de penetração no solo (GPR) para caracterizar as barreiras holocênicas em Curumim (RS) com uma antena de 70 MHz e em Pinheira (SC) com uma antena de 200 MHz (Figura 6.7). Os resultados mostraram que ambos os perfis apresentam semelhanças em relação aos seus sistemas de deposição progradacional, mas são distintos pela presença na unidade D de campos de dunas transgressivos em Curumim e pela geometria e padrão da configuração interna dos refletores de cliniformas (unidade B) de Curumim e Pinheira. Com isso, verifica-se estruturas de *downlap* nos radarfácies semelhantes ao depósito do Retiro (RS), provavelmente pelo carácter progradacional das regiões.

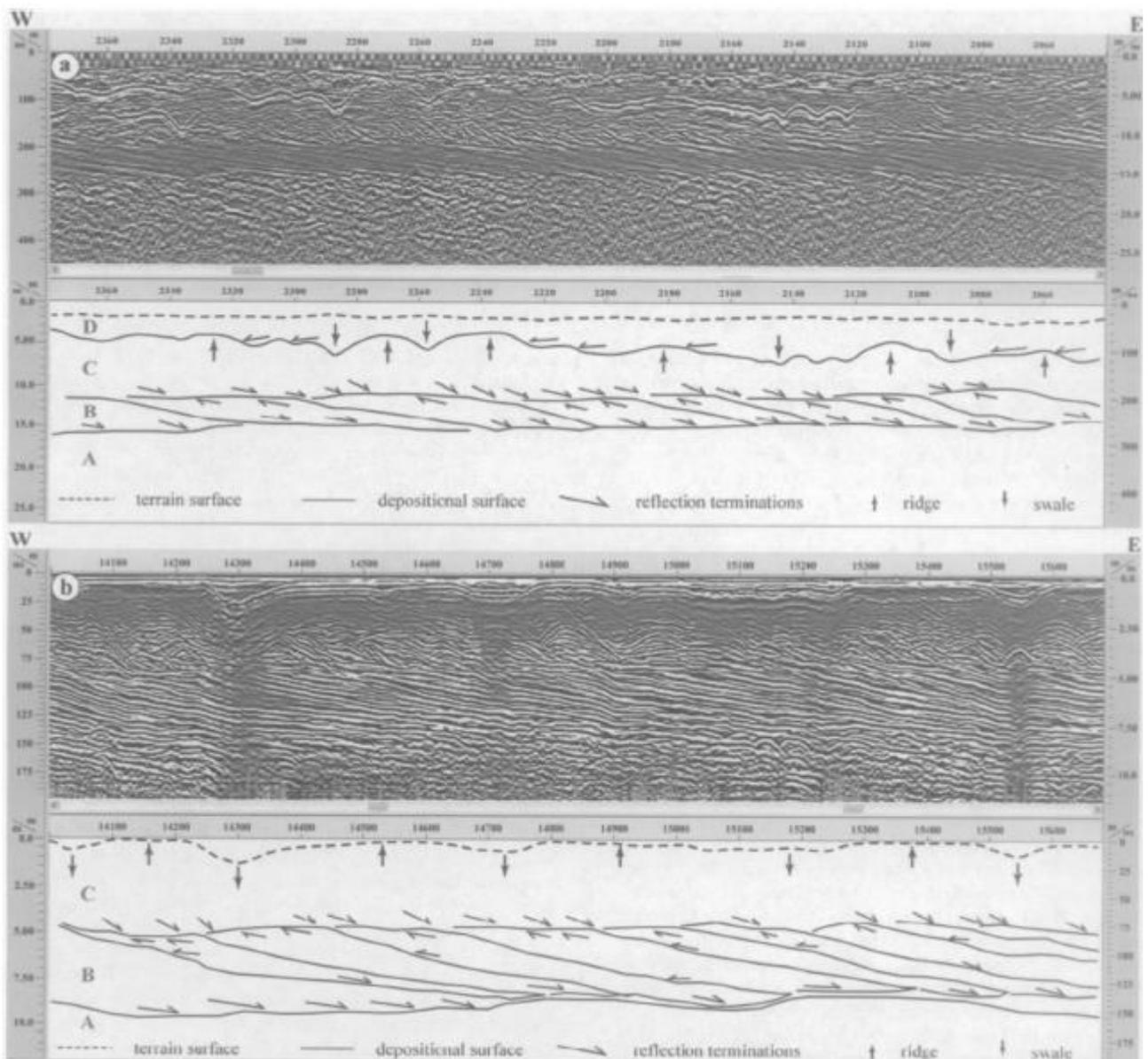


Figura 6.7 – a) Perfil de GPR em Curumim (RS) com uma antena de 70 MHz. b) Perfil de GPR em Pinheira (SC) com uma antena de 200 MHz (Modificado de Barbosa et al., 2009).

7. CONCLUSÃO

O depósito de minerais pesados do tipo *placer* da região do Retiro em São José do Norte (RS) está segmentado por um regime de falhas gravitacionais normais sintéticas e antitéticas. Essas falhas normais também controlam o tipo de sedimentação presente na região, devido ao fato de que áreas onde encontram-se falhas normais sintéticas seguidas por falhas normais antitéticas são formadas por regiões rebaixadas topograficamente que concentram uma maior quantidade de sedimentos plano-paralelamente. Ao passo que áreas soerguidas por duas falhas normais antitéticas, concentram uma quantidade menor de sedimentos. Foi possível realizar esta análise através das estruturas de *onlap* e *downlap* presentes nos radarfácies.

O regime de falhas gravitacionais normais sintéticas e antitéticas presentes no depósito *placer* do Retiro (RS) é o mesmo encontrado no depósito do tipo *placer* de Bujuru (RS) – outrora estudado – embora haja muitos aspectos a serem detalhados ainda.

As estruturas de *onlap* e *downlap* mostram que o depósito mineral do Retiro (RS) é formado por sedimentos que se depositaram através de uma estratificação plano-paralela com predominância de baixo a médio ângulo. Os trabalhos de diversos autores em regiões próximas, mostraram resultados de GPR semelhantes.

Alguns pesquisadores (Contreras *et al.*, 2010; Bueno *et al.*, 2007; López, 2009; Rosa, 2009 e Cardozo, 2011) apontam para um regime de falhas gravitacionais e dobras na Bacia de Pelotas e, mais especificamente, no Cone do Rio Grande. Bueno *et al.* (2007) afirma que o abundante suprimento de sedimentos finos correspondentes à feição do Cone do Rio Grande ocasionou instabilidades na região do talude, propiciando movimentos gravitacionais de grandes massas pouco consolidadas em direção à bacia. Com isso, os dados encontrados apontam que o regime de falhas gravitacionais normais presentes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul é semelhante ao encontrado na Plataforma Continental e Talude Continental, levando a caracterização de uma neotectônica na região.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O Trabalho de Conclusão de Curso e os artigos produzidos a partir de então, descritos por Fontoura (2015), Strieder *et al.* (2015), Fontoura *et al.* (2015) e Fontoura *et al.* (2017), utilizaram as ferramentas de uma forma mais sucinta para o depósito mineral *placer* de Bujuru (RS), situado mais a N-NE, que nesta dissertação foi investigado e explorado o depósito mineral tipo *placer* do Retiro (RS) que é quase um prolongamento a S-SW do depósito mineral de Bujuru (RS) e que os elementos geológicos-estruturais permitem esboçar algumas ideias sobre o controle estrutural e o modelo evolutivo para o depósito mineral. No entanto, em nível de mestrado não é possível explorar por completo o assunto e chegar a um modelo evolutivo finalizado. Com isso, o restante será investigado e explorado em trabalhos futuros.

Deste modo, sugere-se realizar um levantamento geofísico (GPR) nas regiões em que ocorrem desníveis topográficos consideráveis para verificar se há a presença da camada de turfa, bem como de minerais pesados. Ainda, produzir um levantamento geológico e geomorfológico aprofundado na região do Retiro (RS) para entender melhor o controle geológico-estrutural do local através das prospecções geológicas e geofísicas realizadas. E, por fim, retirar e analisar em laboratório amostras reais do subsolo com vibracore para reforçar as ideias já propostas neste trabalho.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE. **Avaliação ecológica rápida – Lagoa da Paurá**. Projeto RS Biodiversidade. Site: www.abg-ambiental.com.br. 2015.
- ALMEIDA, L.E.S.B., LIMA, S.F., TOLDO JR., E.E. Estimativa da capacidade de transporte de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. **Resumos do 8º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. P. 59 – 60, 2001.
- ANGULO, R.J., GIANNINI, P.C.F., SUGUIO, K., PESSENDA, L.C.R. Relative sea-level changes in the last 5500 years in southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid ¹⁴C ages. **Mar. Geol**, v. 159, p. 323–339, 1999.
- ANGULO, R.J., LESSA, G.C. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranagua and Cananea regions. **Mar. Geol**, v. 140, p. 141–166, 1997.
- ANGULO, R.J., LESSA, G.C & SOUZA, M.C. A critical review of mid- to late holocene sea-level fluctuations on the eastern brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25:486-506. 2006.
- ANGUSAMY, N. Placer Deposits of Southern Tamil Nadu Coast, India. **Marine Georesources and Geotechnology**, v. 24, p. 77–102, 2006.
- ANGUSAMY, N., SAHAYAM, D., GANDHI, M. S., RAJAMANICKAM, G.V. Coastal Placer Deposits of Central Tamil Nadu, India. **Marine Georesources and Geotechnology**, v. 23, p. 137–174, 2001.
- BARLETTA, R.C., CALLIARI, L.J. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesqui. Geociências**, v. 28, p. 117–124, 2001.
- BUCHMANN, F.S.C., TOMAZELLI, L.J. Relict nearshore shoals of Rio Grande do Sul, southern Brazil: origin and ejects on nearby modern beaches. **J. Coast. Res., Special Issue of the Brazilian Sandy Beaches Symposium (in press)**. 2000.
- BUENO, G.V. ZACHARIAS. A. A., OREIRO, S. G., CUPERTINO, J. A., FALKENHEIN, F. U. H., NETO, M. A. M. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da Petrobras**. v. 15, nº2, p. 551-559. 2007.
- CALLIARI, L.J., KLEIN, A.H.F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesqui. Geociências**, v. 20, p. 48–56, 1993.
- CALLIARI, L.J., TOZZI, H.A.M., KLEIN, A.H.F. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil - Rio Grande to Chuí, RS. **Anais Acad. Bras. Cienc**, v. 70, p. 231–247, 1998A.

- CALLIARI, L.J., SPERANSKI, N., BOUKAREVA, I. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. **J. Coast. Res.**, v. 26, p. 19–23, 1998b.
- CARDOZO, T.. 2011. **Caracterização do Arcabouço Estrutural da Bacia de Pelotas e da área emersa adjacente**. Rio Claro. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlia de Mesquita Filho. 112p.
- CARON, F. 2014. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na região costeira de Santa Vitória do Palmar, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CATUNEANU, O. Principles of Sequence Stratigraphy. **Elsevier**. 375 pp. 2006.
- CLIFTON, H.E. Beach lamination: nature and origin. **Mar. Geol.**, v. 7, p. 553–559, 1969.
- CONTRERAS, J.; ZÜHLKE, R.; BOWMAN, S.; BECHSTÄDT, T. Seismic stratigraphy and subsidence analysis of the southern Brazilian margin (Campos, Santos and Pelotas basins). **Marine and Petroleum Geology**. vol. 27, 1952-1980p. 2010.
- COOPER, W.S., 1958. Coastal sand dunes of Oregon and Washington. **Geol. Soc. Am. Mem.**, v. 72, 169 pp.
- CORREA, I.C.S., 1990. **Analyse Morphostructurale et Evolution Paleogeographique de la Plata-Forme Continentale Atlantique Sud-Bresilienne (Rio Grande do Sul - Bresile)**. Universite de Bordeaux I, Dissertation (docteur), 314 pp.
- CORREA, I.C.S. 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. **Mar. Geol.**, v. 130, p. 163–178, 1995.
- DEVI, K., RAICY, M.C., TRIVEDI, D., SRINIVASAN, P., MURTHY, S.G.N., GOBLE, R.J. & NAIR, R.R. Assessment of coastal dune characteristics using georadar imaging and sedimentological analysis: Odisha and Visakhapatnam, India. **Journal Coast Conserv.** v. 17, p. 729–742, 2013.
- DILLENBURG, S.R. Evidências de sedimentação deltaica pleistocênica no bordo da plataforma continental do Rio Grande do Sul. **Resumos do 1º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. P. 49 – 60, 1987.
- DILLENBURG, S.R. Oscilações Holocênicas do Nível Relativo do Mar Registradas na Sucessão de Fácies Lagunares na Região da Laguna de Tramandaí, RS. **Pesqui. Geociências**, v. 23, p. 17–24, 1996.
- DILLENBURG, S.R., BARBOZA E.G., ROSA, M.L.C.C., CARON, F. SAWAKUCHI, A.O. The complex prograded Cassino barrier in the southern Brazil: Geological and morphological

- evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka. **Marine Geology**. v. 390. p. 106-119. 2017.
- DILLENBURG, S.R., ROY, P.S., COWELL, P.J., TOMAZELLI, L.J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). **J. Coast. Res**, v. 16, p. 71–81, 2000.
- DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., BARBOZA E.G., 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Mar. Geol.** v. 203, p. 43–56, 2004.
- DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J, MARTINS, L.R., BARBOZA, E.G. Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. **Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO/IG/UFRGS**. p. 9-14, 2005.
- EARNEY, F.C.F. **Mineral Marine Resources**. Routledge (pubs.) London & New York, 325 pp, 1990.
- ELS, G., ERIKSSON, P. Placer formation and placer minerals. **Ore Geology Reviews**, v. 28, p. 373–375, 2006.
- EMERY, D. & MYERS, K. J. Sequence Stratigraphy. **Blackwell**. 304 pp. 1996.
- EMERY, K.O. & NOAKES, L.C. **Economic placer deposits of the continental shelf**. In: Technical bulletin. **Economic commission for Asia and Far East**. P. 95 – 111, 1968.
- FERREIRA, K.R.S. 2006. **Caracterização do Concentrado de Ilmenita produzido na Mina de Guaju, Paraíba, visando identificar Inclusões de Monazita e outros Contaminantes**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FRIMMEL, H.E., GROVES, D.I., KIRK, J., RUIZ, J., CHESLEY, J., MINTER, W.E.L. The formation and preservation of the Witwatersrand goldfields, the largest gold province in the world. In: HEDENQUIST, J.W., THOMPSON, J.F.H., GOLDFARB, R.J., RICHARDS, J.P. (ed), **Economy Geologists**, Littleton, P. 769 – 797, 2005.
- FOCKEMA, P.D. **The heavy mineral deposits north of Richards Bay**. In: Anhaeusser, C.R., Mask, S. (Eds.), Mineral Deposits of Southern Africa. **Geol. Soc. S. Afr., Johannesburg**. P. 2301 – 2307, 1986.
- FONSECA, V.P., 2006. **Estudos morfotectônicos aplicados à planície costeira do Rio Grande do Sul e adjacências**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FONTANA, E.L. Investigações geofísicas preliminares sobre o Cone de Rio Grande, Bacia de Pelotas - Brasil. **Acta Geol. Leopold**, v. 13, p. 161–170, 1990.

- FONTOURA, B.S., 2015. **Controle geológico-estrutural do depósito placer de Bujuru (São José do Norte, RS)**. Trabalho de Graduação Curso de Engenharia Geológica, Universidade Federal de Pelotas.
- FONTOURA, B.S., STRIEDER, A.J, BEHLING, J.S., WETZEL, R.S., DUARTE Jr, R.S.S., SILVA, T.C., MENDES, P., NÓBREGA, A.V.V., CALLIARI, L.J. Structural control of HM placer deposits at RGS (Brazil) Coastal Plain using Ground Penetrating Radar. **IWAGPR**, 2015.
- FONTOURA, B.S., STRIEDER, A.J, BEHLING, J.S., WETZEL, R.S., DUARTE Jr, R.S.S., SILVA, T.C., MENDES, P., NÓBREGA, A.V.V., CALLIARI, L.J. Controle estrutural do depósito placer de minerais pesados na região praial ao norte da desembocadura da lagoa dos patos (Bujuru, Brasil). **Revista de Engenharia e Tecnologia**, 2017.
- HAMILTON, N.T.M., COLLINS, L.B. Placer formation in a Holocene barrier system, southwestern Australia. **J. Coast. Res**, v. 14, p. 240 – 255, 1998.
- HESP, P.A. & THOM, B.G. Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. In: NORDSTROM, K.F.; PSUTY, N.P.; CARTER, R.W.G. (Eds.) **Coastal Dunes: Form and Process**. Chichester, John Wiley & Sons Ltd. P. 253 – 287, 1990.
- HESP, P.A., SHORT, A.D. Barrier Morphodynamics. In: Short, A.D. (Ed.), **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. John Wiley and Sons, Chichester. P. 307 – 333, 1999.
- HOU, B., KEELING, J., REID, A., FAIRCLOUGH, M., WARLAND, I., BELOUSOVA, E., FRAKES, L., HOCKING, R. Heavy Mineral Sands in the Eucla Basin, Southern Australia: Deposition and Province-Scale Prospectivity. Society of Economic Geologists, Inc. **Economic Geology**, v. 106, p. 687–712, 2011.
- JABOYEDOFF, M., PENNA, I., PEDRAZZINI, A., BAROŇ, I., CROSTA, G.B. An introductory review on gravitational-deformation induced structures, fabrics and modeling. **Tectonophysics**, v. 605, p. 1–12, 2013.
- KOMAR, P.D., WANG, C. Processes of selective grain transport and the formation of placers on beaches. **J. Geol**, v. 92, p. 637–655, 1984.
- KUDRASS, H.R. Marine placer deposits and sea-level changes. In: CRONAN, D.S. (Ed.), **Handbook of Marine Mineral Deposits**. CRC Press, Boca Raton. P. 3 – 26, 2000.
- KUENEN, P.H. **Marine Geology**. New York, John Wiley and Sons, 568 p, 1950.
- LALOMOV, A.V. Differentiation of Heavy Minerals in the Alongshore Debris Flow and Modeling of Processes of Coastal-Marine Placer Formation. **Lithology and Mineral Resources**, v. 38, n. 4, p. 306–313, 2003.
- LALOMOV, A.V., TABOLISH S. E. Dating of the Val’kumei Coastal-Marine Placer (East Siberian

- Sea). **Lithology and Mineral Resources**, v. 39, n. 4, p. 317–321, 2004.
- LAW, J.D.M., PHILLIPS, G.N. Hydrothermal Replacement Model for Witwatersrand Gold: **Economic Geology**. 100TH Anniversary Volume, P. 799 – 811, 2005.
- LIMA, E.S. 2011. **Avaliação do potencial de formação de pláceres diamantíferos na região do delta do Rio Jequitinhonha e plataforma continental adjacente no sul da Bahia**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia.
- LIMA, L.G, DILLENBURG, S.R, MEDEANIC, S., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., TOMAZELLI, L.J., DEHNHARDT, B.A., FELIPE, C. Sea-level rise and sediment budget controlling of evolution of transgressive barrier in southern Brazil. **Journal of South American of Earth Sciences**. v. 42. p 27-38. 2013.
- LONG, T. & PAIM, P.S. Modelo de evolução histórica e holocênica da Lagoa dos Patos, RS. I **Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, ABEQUA**. p. 227 – 248, 1987.
- LÓPEZ, L. A. C. 2009. **Interpretação Sismoestratigráfica e Geomorfologia Sísmica do Cone de Rio Grande, Bacia de Pelotas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 159p.
- MACDONALD, W.G., ROZENDAAL, A. The Geelwal Karoo heavy mineral deposit: a modern day beach placer. **Journal of African Earth Sciences**, v. 21. n. 1, p. 187–200, 1995.
- MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.M. Le Quaternaire marin du littoral brésilien entre Cananéia (SP) et Barra de Guaratiba (RJ). **Proceedings of the International Symposium on coastal evolution in the Quaternary**. São Paulo, Brasil, P. 296–331, 1979.
- MARTINHO, C.T., 2008. **Morfodinâmica e Evolução de Campos de Dunas Transgressivos Quaternários do Litoral do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MERO, J.L. The Mineral Resources of the Sea. **Elsevier (pubs.)** Amsterdam, 312 pp, 1965.
- MINTER, W.E.L., CRAW, D. A special issue on placer deposits. **Economic Geology**, v. 94. p. 603–604, 1999.
- MOTTA, V.F., 1969. **Relatório Diagnóstico Sobre a Melhoria e o Aprofundamento do Acesso pela Barra do Rio Grande**. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 144 pp.
- MUNARO, P., 1991. **Relatório de avaliação das reservas geológicas de minerais pesados**. Paranapanema Mineração. São Paulo, 12 pp.

- MUNARO, P., 1994. **Geologia e Mineralogia do depósito de minerais pesados de Bujuru-RS**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PAINE, M.D. Sedimentology of the Bondi Main heavy mineral beach placer deposit, Murray Basin, southeastern Australia. **Sedimentary Geology**, v. 174, p. 177–195, 2005.
- PAINE, M.D., ANAND, ASPANDIAR, M., FITZPATRICK, R.R., VERRALL, M.R. Quantitative Heavy-Mineral Analysis of a Pliocene Beach Placer Deposits in Southeastern Australia Using the AUTOGEOSEM. **Journal of Sedimentary Research**, v. 75, p. 742–759, 2005.
- PATYK-KARA, N.G. Evolution of Placer Formation in Shelf Regions of Russia. **Lithology and Mineral Resources**, v. 40, n. 5, p. 389–400, 2005.
- PESTANA, R.C. & BOTELHO, M.A.B. Migração de dados de radar (GPR) com correção topográfica simultânea. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 15, n. 1997.
- PRETORIUS, D.A. The source of Witwatersrand gold: conjecture of the unknown. In: HUTCHINSON, R.W., GRAUCH, R.I. (Eds.). *Historical Perspectives of Genetic Concepts and Case Histories of Famous Discoveries*: Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado. **Economic Geology**, v. 8, p. 139–163, 1991.
- RONA, P.A. Heavy Mineral Placers. In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. **ECOR**, p. 18–21, 2008.
- ROSA, M. L. C. C. 2009. **Análise Gravimétrica e Magnetométrica da região sul da província costeira do Rio Grande do Sul, setor sudoeste da Bacia de Pelotas**. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 79p.
- ROY, P.S., COWELL, P.J., FERLAND, M.A., THOM, B.G. Wave Dominated Coasts. In: Carter, R.W.G., Woodrøe, C.D. (Eds.), *Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. **Cambridge University Press, Cambridge**, p. 121–186, 1994.
- ROY, P.S. Heavy mineral beach placers in Southeastern Australia: their nature and genesis. **Econ. Geol**, v. 94, p. 567–588, 1999.
- SCOTT, S.D. *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. **ECOR**, 36 p, 2008.
- SEELIGER, U. Coastal foredunes of southern Brazil: Physiography, habitats, and vegetation. In: SEELIGER, Ulrich; MOONEY Harold. (ed.) *Coastal Plant Communities of Latin America*. **California: Academic Press**, p. 367–379, 1992.
- SEMENIUK, V., MEAGHER, T.D. The geomorphology and surface processes of the Australind-Leschenault inlet coastal area. **J. R. Soc. West Austr**, v. 64, 33–51, 1981.

- SIEGLE, E., 1996. **Distribuição sedimentar ao longo do litoral Sul Riograndense (trecho: F. da Conceição a Arroio Chuí) e fatores condicionantes**. Trabalho de Graduação, Curso de Oceanologia, Fundação Universidade do Rio Grande.
- SILVA, C.G. Placeres marinhos. **Revista Brasileira de Geofísica**. 18(3):327–336, 2000.
- SLINGERLAND, R.L. The effects of entrainment on the hydraulic equivalence relationships of light and heavy minerals in sand. **J. Sediment. Petrol**, v. 47, p. 753–770, 1977.
- STRIEDER, A.J. **Georradar e suas aplicações em investigações de sub-solo**. Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 43–56, 2004.
- STRIEDER, A.J, FONTOURA, B.S., BEHLING, J.S., WETZEL, R.S., DUARTE Jr, R.S.S., SILVA, T.C., MENDES, P., NÓBREGA, A.V.V., NIENCHESKI, L.F.H., CALLIARI, L.J. Gravitational tectonics evidences at RGS (Brazil) Coastal Plain using Ground Penetrating Radar. **IWAGPR**, 2015.
- TAGLIANI, C.R.A., 2002. **A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOMAZELLI, L.J., 1977. **Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOMAZELLI, L.J., 1978. Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul. **Acta Geol. Leopold**, v. 3, p. 103–159.
- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A. Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesqui. Geociências**, v. 19, p. 3–12, 1992.
- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A. Quaternary Geological Evolution of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil. **An. Acad. bras. Ci.**, 68(3): 373-382, 1996.
- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., DILLENBURG, S.R., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais Acad. Bras. Ciênc**, v. 70, p. 221–229, 1998.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. p. 375–406, 2000.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da

- costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, Porto Alegre, v. 3, p. 109–115, 2005.
- URIEN, C.M., MARTINS, L.R., MARTINS, I.R., 1978. Modelos Deposicionales en la Plataforma Continental de Rio Grande do Sul, Uruguay y Buenos Aires. **Actas, 7 Congreso Geologico Argentino, Neuquen**, v. 2, p. 639–658.
- USGS. Mineral Commodity Summaries 2016. U.S. Department of the Interior. **U.S. Geological Survey**. Virginia (USA), p. 173, 2014.
- VILLWOCK, J.A. 1972. **Contribuição a Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VILLWOCK, J.A., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., TOMAZELLI, L.J., HOMEISTER, T. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. Memorias del seminário sobre ecologia bentonica y sedimentacion de la plataforma continental del atlantico sur. **Montevideo**. P. 407 – 414, 1979.
- VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN FILHO, N.O., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, v. 4, p. 79–97, 1986.
- VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, 8:1–45, 1995.
- VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. IN: BECKER, F.G., RAMOS, R.A., MOURA, L.A. (ed.). Biodiversidade: Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Ministério do Meio Ambiente e Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul**. Brasília (DF), p. 20–33, 2007.
- YIM, W.W.S. Tin placer deposits on continental shelves. In: CRONAN, D.S. (Ed), Handbook of Marine Mineral Deposits. **CRC Press**. p. 27 – 66, 2000.
- ZELTZER, F., 1976. **Geologia e Paleogeografia da Restinga da Laguna dos Patos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANEXO 1 – Banco de dados cedidos pela empresa Rio Grande Mineração S.A.

Anexo A

X (EXEC) (UTM)	Y (EXEC) (UTM)	Z (EXEC) (m)	REGIÃO	SEÇÃO	FURO	De (m)	Até (m)	DESCRIÇÃO
407650	6462108	8,816	RES	3,2N	0000	0,0	1,5	Areia fina marrom claro
407650	6462108	8,816	RES	3,2N	0000	1,5	2,5	10 cm de turfa. Areia fina, marrom claro
407650	6462108	8,816	RES	3,2N	0000	2,5	2,7	Turfa
407650	6462108	8,816	RES	3,2N	0000	2,7	8,0	Areia fina, marrom claro a cinza claro
407650	6462108	8,816	RES	3,2N	0000	8,0	10,0	Areia fina cinza claro esverdeada
407610	6462208	8,944	RES	3,2N	0100W	0,0	0,5	Areia fina marrom claro
407610	6462208	8,944	RES	3,2N	0100W	0,5	8,0	10 cm de turfa. Areia fina, cinza claro
407610	6462208	8,944	RES	3,2N	0100W	8,0	10,0	Níveis finos de argila cinza intercaladas em areia fina cinza claro
407563	6462300	8,815	RES	3,2N	0200W	0,0	0,5	Areia fina marrom claro
407563	6462300	8,815	RES	3,2N	0200W	0,5	8,0	10 cm de turfa. Areia fina marrom claro a cinza claro
407563	6462300	8,815	RES	3,2N	0200W	8,0	10,0	Intercalações de argila cinza em areia fina cinza claro
407359	6462750	8,019	RES	3,2N	0300W	0,0	1,1	Areia fina marrom a marrom amarelada
407359	6462750	8,019	RES	3,2N	0300W	1,1	1,5	Turfa
407359	6462750	8,019	RES	3,2N	0300W	1,5	10,0	Areia fina cinza claro
407402	6462662	8,82	RES	3,2N	0400W	0,0	10,0	Areia fina marrom claro a cinza claro
407445	6462571	8,876	RES	3,2N	0500W	0,0	6,5	Areia fina marrom claro a cinza claro
407445	6462571	8,876	RES	3,2N	0500W	6,5	7,5	Areia média cinza claro esverdeado com níveis argilosos
407445	6462571	8,876	RES	3,2N	0500W	7,5	10,0	5 cm argila marrom acinzentada. Areia média cinza claro esverdeada com níveis argilosos
407483	6462479	8,8	RES	3,2N	0600W	0,0	6,5	Areia fina marrom claro a cinza claro
407483	6462479	8,8	RES	3,2N	0600W	6,5	10,0	Areia fina a média cinza claro esverdeado
407524	6462391	8,243	RES	3,2N	0700W	0,0	8,0	Areia fina marrom claro
407524	6462391	8,243	RES	3,2N	0700W	8,0	10,0	Areia média cinza claro esverdeado com fragmentos de concha no início (topo) e verde clara no final
407316	6462844	8,695	RES	3,2N	0800W	0,0	2,5	Areia fina marrom claro
407316	6462844	8,695	RES	3,2N	0800W	2,5	6,0	5 cm de turfa. Areia fina marrom claro a cinza claro
407316	6462844	8,695	RES	3,2N	0800W	6,0	10,0	Areia média cinza claro esverdeada com níveis verdes

407282	6462931	8,469	RES	3,2N	0900W	0,0	5,9	Areia fina cinza claro amarronzado
407282	6462931	8,469	RES	3,2N	0900W	5,9	10,0	5 cm de turfa. Areia média cinza claro esverdeada a verde
407236	6463023	8,465	RES	3,2N	1000W	0,0	3,5	Areia fina cinza claro amarronzado
407236	6463023	8,465	RES	3,2N	1000W	3,5	4,8	Argila marrom escuro disseminada na areia
407236	6463023	8,465	RES	3,2N	1000W	4,8	10,0	Areia média cinza claro a cinza claro esverdeada, níveis compactos
407197	6463111	8,386	RES	3,2N	1100W	0,0	4,5	Areia fina cinza claro amarronzado
407197	6463111	8,386	RES	3,2N	1100W	4,5	5,4	5 cm de turfa. Areia fina cinza claro
407197	6463111	8,386	RES	3,2N	1100W	5,4	10,0	5 cm de turfa. Areia média cinza claro esverdeada com níveis verde escuro. Níveis de areia compacta
407154	6463206	8,169	RES	3,2N	1200W	0,0	1,5	Areia fina marrom claro
407154	6463206	8,169	RES	3,2N	1200W	1,5	3,5	Argila marrom escuro disseminada na areia
407154	6463206	8,169	RES	3,2N	1200W	3,5	5,2	Areia fina cinza claro amarelo
407154	6463206	8,169	RES	3,2N	1200W	5,2	5,4	Turfa
407154	6463206	8,169	RES	3,2N	1200W	5,4	6,6	Areia fina
407154	6463206	8,169	RES	3,2N	1200W	6,6	7,9	Argila cinza intercalada com areia fina. Níveis verdes
407154	6463206	8,169	RES	3,2N	1200W	7,9	10,0	Areia fina cinza claro com níveis verde escuro
407112	6463298	8,072	RES	3,2N	1300W	0,0	1,5	Areia fina marrom claro
407112	6463298	8,072	RES	3,2N	1300W	1,5	4,5	Argila marrom escuro disseminada na areia
407112	6463298	8,072	RES	3,2N	1300W	4,5	6,5	Areia fina marrom claro
407112	6463298	8,072	RES	3,2N	1300W	6,5	7,4	Argila cinza com pouca areia
407112	6463298	8,072	RES	3,2N	1300W	7,4	10,0	Areia fina com intercalações finas de argila cinza, conchas
407070	6463387	7,862	RES	3,2N	1400W	0,0	1,5	Areia fina cinza claro amarronzado
407070	6463387	7,862	RES	3,2N	1400W	1,5	2,7	Argila marrom escuro disseminada na areia
407070	6463387	7,862	RES	3,2N	1400W	2,7	7,0	Areia fina cinza claro amarronzado
407070	6463387	7,862	RES	3,2N	1400W	7,0	10,0	Argila pouco arenosa cinza
407029	6463476	7,632	RES	3,2N	1500W	0,0	1,5	Areia fina cinza claro amarronzado
407029	6463476	7,632	RES	3,2N	1500W	1,5	4,0	Argila marrom escuro disseminada em areia, raízes
407029	6463476	7,632	RES	3,2N	1500W	4,0	6,2	Areia fina cinza claro
407029	6463476	7,632	RES	3,2N	1500W	6,2	8,8	Argila pouco arenosa cinza
407029	6463476	7,632	RES	3,2N	1500W	8,8	10,0	Areia média cinza claro a cinza claro levemente esverdeada com níveis argilosos finos
413899	6464727	10,336	RES	10N	0000	0,0	6,0	Areia fina cinza claro amarelado a cinza claro
413899	6464727	10,336	RES	10N	0000	6,0	8,0	Magnetita!
413899	6464727	10,336	RES	10N	0000	8,0	12,0	Areia fina cinza claro a cinza claro esverdeado. Níveis argilosos cinza

413868	6464805	10,432	RES	10N	0100W	0,0	8,5	Areia fina cinza claro amarronzada a cinza claro
413868	6464805	10,432	RES	10N	0100W	8,5	12,0	Areia fina cinza claro esverdeada a verde escuro com níveis de argila intercaladas (finos)
413828	6464907	10,41	RES	10N	0200W	0,0	8,5	Areia fina cinza
413828	6464907	10,41	RES	10N	0200W	8,5	12,0	Areia fina cinza claro a cinza claro esverdeado
413782	6464993	10,244	RES	10N	0300W	0,0	9,0	Areia fina, cinza claro amarelado a cinza claro
413782	6464993	10,244	RES	10N	0300W	9,0	12,0	Areia fina cinza claro esverdeada. Níveis finos de argila cinza. Níveis verde escuro
413741	6465084	10,398	RES	10N	0400W	0,0	7,4	Areia fina cinza claro amarelada a cinza claro
413741	6465084	10,398	RES	10N	0400W	7,4	12,0	10 cm turfa. Areia fina cinza claro esverdeado
413702	6465176	10,287	RES	10N	0500W	0,0	7,1	Areia fina marrom claro a cinza claro amarronzado
413702	6465176	10,287	RES	10N	0500W	7,1	7,2	Turfa
413702	6465176	10,287	RES	10N	0500W	7,2	12,0	Areia fina cinza claro esverdeada com intercalações de camadas finas de argila cinza
413662	6465264	9,674	RES	10N	0600W	0,0	7,6	Areia fina marrom claro a cinza claro amarronzado
413662	6465264	9,674	RES	10N	0600W	7,6	12,0	5 cm de turfa. Areia fina cinza claro esverdeada com finas camadas de argila cinza. Níveis verde escuro
413623	6465358	9,469	RES	10N	0700W	0,0	4,9	Areia fina marrom claro a cinza claro amarelado
413623	6465358	9,469	RES	10N	0700W	4,9	5,0	Turfa
413623	6465358	9,469	RES	10N	0700W	5,0	7,6	Areia fina cinza claro
413623	6465358	9,469	RES	10N	0700W	7,6	7,7	Turfa
413623	6465358	9,469	RES	10N	0700W	7,7	12,0	Areia fina cinza claro a cinza claro esverdeado. Finas camadas de argila cinza
413557	6465461	8,542	RES	10N	0800W	0,0	6,5	Areia fina marrom claro
413557	6465461	8,542	RES	10N	0800W	6,5	6,8	Turfa
413557	6465461	8,542	RES	10N	0800W	6,8	12,0	Areia fina cinza claro esverdeado a verde escuro
413543	6465548	8,678	RES	10N	0900W	0,0	5,4	Areia fina marrom claro
413543	6465548	8,678	RES	10N	0900W	5,4	5,6	Turfa
413543	6465548	8,678	RES	10N	0900W	5,6	12,0	Areia fina cinza claro esverdeada. Níveis argilosos finos cinza escuro. Níveis verde escuro
413494	6465626	6,985	RES	10N	1000W	0,0	1,6	Areia fina marrom claro
413494	6465626	6,985	RES	10N	1000W	1,6	1,8	Turfa (M.O)
413494	6465626	6,985	RES	10N	1000W	1,8	2,9	Areia fina marrom claro
413494	6465626	6,985	RES	10N	1000W	2,9	3,0	Turfa
413494	6465626	6,985	RES	10N	1000W	3,0	4,8	Areia fina marrom claro
413494	6465626	6,985	RES	10N	1000W	4,8	5,0	Turfa

413494	6465626	6,985	RES	10N	1000W	5,0	12,0	Areia fina cinza claro esverdeada. Níveis finos argilosos cinza esverdeado. Níveis verde escuro
413461	6465724	6,401	RES	10N	1100W	0,0	1,8	Areia fina marrom claro
413461	6465724	6,401	RES	10N	1100W	1,8	2,0	Turfa (M.O)
413461	6465724	6,401	RES	10N	1100W	2,0	4,5	Areia fina marrom claro
413461	6465724	6,401	RES	10N	1100W	4,5	4,8	Turfa (M.O)
413461	6465724	6,401	RES	10N	1100W	4,8	12,0	Areia fina cinza claro esverdeado com finas intercalações de argila cinza. Níveis verde escuro
413406	6465807	5,809	RES	10N	1200W	0,0	1,5	Areia fina marrom claro
413406	6465807	5,809	RES	10N	1200W	1,5	3,0	Areia fina marrom claro
413406	6465807	5,809	RES	10N	1200W	3,0	4,0	Turfa (M.O) com areia disseminada
413406	6465807	5,809	RES	10N	1200W	4,0	10,5	Areia fina cinza claro esverdeado. Níveis verde escuro
413406	6465807	5,809	RES	10N	1200W	10,5	12,0	Intercalações de argila cinza esverdeada e areia verde escuro
418423	6467053	8,257	RES	15N	0000	0,0	4,0	Areia fina cinza claro amarelada
418423	6467053	8,257	RES	15N	0000	4,0	6,5	Areia fina cinza média
418423	6467053	8,257	RES	15N	0000	6,5	7,5	Turfa em camada muito estreita
418423	6467053	8,257	RES	15N	0000	7,5	11,5	Turfa (M.O). Areia fina cinza claro com argila cinza. Níveis cinza claro esverdeada. Fragmentos de ossos de peixe e conchas
418382	6467144	9,027	RES	15N	0100W	0,0	8,5	Areia fina cinza claro amarelada
418382	6467144	9,027	RES	15N	0100W	8,5	12,0	Areia fina, cinza claro a cinza claro esverdeado com níveis finos argilosos cinzas
418358	6467233	9,122	RES	15N	0200W	0,0	1,5	Areia fina marrom claro a cinza claro
418358	6467233	9,122	RES	15N	0200W	1,5	7,7	Areia fina cinza com alto teor de pesados e magnetita
418358	6467233	9,122	RES	15N	0200W	7,7	12,0	5 cm de turfa (M.O). Areia fina cinza claro a cinza claro esverdeado com níveis finos de argila cinza. Níveis verde escuro
418301	6467325	9,522	RES	15N	0300W	0,0	1,6	Areia fina marrom clara amarelada
418301	6467325	9,522	RES	15N	0300W	1,6	1,7	Turfa (M.O)
418301	6467325	9,522	RES	15N	0300W	1,7	8,4	Areia fina cinza claro. Níveis finos de turfa intercaladas com areia
418301	6467325	9,522	RES	15N	0300W	8,4	8,5	Turfa
418301	6467325	9,522	RES	15N	0300W	8,5	12,0	Areia fina cinza clara a cinza claro esverdeada. Níveis argilosos fino cinza
418262	6467415	10,296	RES	15N	0400W	0,0	9,4	Areia fina cinza claro amarelado. Finas camadas de M.O
418262	6467415	10,296	RES	15N	0400W	9,4	9,5	Turfa (M.O)
418262	6467415	10,296	RES	15N	0400W	9,5	12,0	Areia fina cinza claro esverdeado com níveis finos de argila cinza
418219	6467508	10,19	RES	15N	0500W	0,0	8,4	Areia fina cinza claro amarelado a cinza claro. Níveis finos de M.O. intercaladas
418219	6467508	10,19	RES	15N	0500W	8,4	8,5	Turfa (M.O)

418219	6467508	10,19	RES	15N	0500W	8,5	12,0	Areia fina cinza claro a cinza claro esverdeado. Níveis finos de argila cinza
418176	6467597	10,875	RES	15N	0600W	0,0	9,6	Areia fina marrom claro a cinza claro. Níveis finos de turfa
418176	6467597	10,875	RES	15N	0600W	9,6	9,7	Turfa (M.O)
418176	6467597	10,875	RES	15N	0600W	9,7	12,0	Areia fina cinza claro esverdeado com níveis finos de argila cinza
418141	6467698	9,289	RES	15N	0700W	0,0	8,9	Areia fina cinza claro amarelado a cinza claro
418141	6467698	9,289	RES	15N	0700W	8,9	9,0	Turfa (M.O)
418141	6467698	9,289	RES	15N	0700W	9,0	10,9	Areia fina cinza claro esverdeado. Níveis finos de argila cinza
418141	6467698	9,289	RES	15N	0700W	10,9	11,0	Argila cinza compacta
418099	6467782	9,806	RES	15N	0800W	0,0	8,4	Areia fina cinza claro amarelado a cinza claro. Níveis finos de turfa (M.O) intercalados
418099	6467782	9,806	RES	15N	0800W	8,4	8,6	Turfa (M.O)
418099	6467782	9,806	RES	15N	0800W	8,6	11,1	Areia fina cinza esverdeada. Camadas finas de argila cinza
418099	6467782	9,806	RES	15N	0800W	11,1	11,4	Argila cinza compacta
418057	6467874	9,14	RES	15N	0900W	0,0	6,4	Areia fina cinza claro amarelado a cinza claro com níveis finos de turfa (M.O)
418057	6467874	9,14	RES	15N	0900W	6,4	6,7	Turfa (M.O)
418057	6467874	9,14	RES	15N	0900W	6,7	8,0	Areia fina cinza claro
418057	6467874	9,14	RES	15N	0900W	8,0	8,2	Turfa (M.O)
418057	6467874	9,14	RES	15N	0900W	8,2	10,6	Areia fina cinza claro a cinza claro esverdeado
418057	6467874	9,14	RES	15N	0900W	10,6	10,8	Argila cinza compacta
403778	6460779	10,155	RES	0,75S	0000	0,0	1,0	Areia fina com matéria orgânica (solo)
403778	6460779	10,155	RES	0,75S	0000	1,0	3,0	Areia fina com teor de pesados intermediário
403778	6460779	10,155	RES	0,75S	0000	3,0	8,0	Areia fina com baixo teor de pesados
403729	6460860	10,130	RES	0,75S	0100W	0,0	1,0	Areia fina com acúmulo de matéria orgânica (solo)
403729	6460860	10,130	RES	0,75S	0100W	1,0	8,0	Areia fina com baixo teor de pesados
403668	6460943	10,106	RES	0,75S	0200W	0,0	7,0	Areia fina com baixo teor de pesados
403610	6461026	9,283	RES	0,75S	0300W	0,0	1,0	Areia fina com matéria orgânica (solo)
403610	6461026	9,283	RES	0,75S	0300W	1,0	2,0	Areia fina com teor intermediário de pesados
403610	6461026	9,283	RES	0,75S	0300W	2,0	3,0	Areia fina com teor baixo de pesados
403610	6461026	9,283	RES	0,75S	0300W	3,0	4,0	Areia fina com teor médio de pesados
403610	6461026	9,283	RES	0,75S	0300W	4,0	5,0	Areia fina com baixo teor de pesados
403610	6461026	9,283	RES	0,75S	0300W	5,0	8,0	Areia fina com teor intermediário de pesados
403549	6461112	9,117	RES	0,75S	0400W	0,0	1,0	Areia fina, matéria orgânica (solo), baixo THM
403549	6461112	9,117	RES	0,75S	0400W	1,0	2,0	Areia fina, baixo THM
403549	6461112	9,117	RES	0,75S	0400W	2,0	7,0	Areia fina, médio THM

403549	6461112	9,117	RES	0,75S	0400W	7,0	8,0	Areia fina, alto THM, conchas em pouca quantidade
403491	6461190	8,776	RES	0,75S	0500W	0,0	1,0	Areia fina, baixo THM
403491	6461190	8,776	RES	0,75S	0500W	1,0	6,0	Areia fina, médio THM
403491	6461190	8,776	RES	0,75S	0500W	6,0	8,0	Areia fina, alto THM
403434	6461270	8,570	RES	0,75S	0600W	0,0	1,0	Areia fina, médio THM
403434	6461270	8,570	RES	0,75S	0600W	1,0	4,0	Areia fina, baixo THM
403434	6461270	8,570	RES	0,75S	0600W	4,0	5,0	Areia fina, médio THM
403434	6461270	8,570	RES	0,75S	0600W	5,0	8,0	Areia fina, alto THM
403375	6461358	8,710	RES	0,75S	0700W	0,0	1,0	Areia fina, baixo THM
403375	6461358	8,710	RES	0,75S	0700W	1,0	4,0	Areia fina, médio THM
403375	6461358	8,710	RES	0,75S	0700W	4,0	5,0	Areia fina, baixo THM
403375	6461358	8,710	RES	0,75S	0700W	5,0	7,0	Areia fina, médio THM
403375	6461358	8,710	RES	0,75S	0700W	7,0	8,0	Areia fina, alto THM
403320	6461435	8,854	RES	0,75S	0800W	0,0	2,0	Areia fina, médio THM
403320	6461435	8,854	RES	0,75S	0800W	2,0	4,0	Areia fina, alto THM
403320	6461435	8,854	RES	0,75S	0800W	4,0	5,0	Areia fina, médio THM
403320	6461435	8,854	RES	0,75S	0800W	5,0	6,0	Areia fina, baixo THM
403320	6461435	8,854	RES	0,75S	0800W	6,0	8,0	Areia fina, médio THM
403260	6461518	8,887	RES	0,75S	0900W	0,0	1,0	Areia fina, baixo THM
403260	6461518	8,887	RES	0,75S	0900W	1,0	2,0	Areia fina, alto THM
403260	6461518	8,887	RES	0,75S	0900W	2,0	5,0	Areia fina, médio THM
403260	6461518	8,887	RES	0,75S	0900W	5,0	6,0	Areia fina, baixo THM
403260	6461518	8,887	RES	0,75S	0900W	6,0	7,0	Areia fina, médio THM
403260	6461518	8,887	RES	0,75S	0900W	7,0	8,0	Areia fina, alto THM
403203	6461602	8,894	RES	0,75S	1000W	0,0	2,0	Areia fina, alto THM
403203	6461602	8,894	RES	0,75S	1000W	2,0	3,0	Areia fina, médio THM
403203	6461602	8,894	RES	0,75S	1000W	3,0	5,0	Areia fina, baixo THM
403203	6461602	8,894	RES	0,75S	1000W	5,0	8,0	Areia fina, THM insignificante
403150	6461682	8,971	RES	0,75S	1100W	0,0	5,0	Areia fina, médio THM
403150	6461682	8,971	RES	0,75S	1100W	5,0	6,0	Areia fina, baixo THM
403150	6461682	8,971	RES	0,75S	1100W	6,0	8,0	Areia fina, THM insignificante
403090	6461766	9,398	RES	0,75S	1200W	0,0	2,0	Areia fina, médio THM
403090	6461766	9,398	RES	0,75S	1200W	2,0	4,0	Areia fina, alto THM
403090	6461766	9,398	RES	0,75S	1200W	4,0	5,0	Areia fina, médio THM
403090	6461766	9,398	RES	0,75S	1200W	5,0	6,0	Areia fina, baixo THM
403090	6461766	9,398	RES	0,75S	1200W	6,0	8,0	Areia fina, THM insignificante
403035	6461843	9,313	RES	0,75S	1300W	0,0	2,0	Areia fina
403035	6461843	9,313	RES	0,75S	1300W	2,0	3,0	Areia fina
403035	6461843	9,313	RES	0,75S	1300W	3,0	5,0	Areia fina
403035	6461843	9,313	RES	0,75S	1300W	5,0	6,0	Areia fina
403035	6461843	9,313	RES	0,75S	1300W	6,0	8,0	Areia fina
402975	6461927	9,039	RES	0,75S	1400W	0,0	1,0	Areia fina
402975	6461927	9,039	RES	0,75S	1400W	1,0	3,0	Areia fina

402975	6461927	9,039	RES	0,75S	1400W	3,0	4,0	Areia fina
402975	6461927	9,039	RES	0,75S	1400W	4,0	5,0	Areia fina
402975	6461927	9,039	RES	0,75S	1400W	5,0	8,0	Areia fina
402916	6462007	9,003	RES	0,75S	1500W	0,0	2,0	Areia fina
402916	6462007	9,003	RES	0,75S	1500W	2,0	5,0	Areia fina
402916	6462007	9,003	RES	0,75S	1500W	5,0	8,0	Areia fina
402861	6462091	8,363	RES	0,75S	1600W	0,0	1,0	Areia fina
402861	6462091	8,363	RES	0,75S	1600W	1,0	3,0	Areia fina
402861	6462091	8,363	RES	0,75S	1600W	3,0	4,0	Areia fina
402861	6462091	8,363	RES	0,75S	1600W	4,0	5,0	Areia fina
402861	6462091	8,363	RES	0,75S	1600W	5,0	7,0	Areia fina
402861	6462091	8,363	RES	0,75S	1600W	7,0	8,0	Areia fina
402803	6462172	7,587	RES	0,75S	1700W	0,0	1,0	Areia fina
402803	6462172	7,587	RES	0,75S	1700W	1,0	3,0	Areia fina
402803	6462172	7,587	RES	0,75S	1700W	3,0	4,0	Areia fina
402803	6462172	7,587	RES	0,75S	1700W	4,0	5,0	Areia fina
402803	6462172	7,587	RES	0,75S	1700W	5,0	8,0	Areia fina
411326	6463612	10,802	RES	7N	0000	0,0	1,0	Areia fina, matéria orgânica (solo)
411326	6463612	10,802	RES	7N	0000	1,0	4,0	Areia fina, THM insignificante
411326	6463612	10,802	RES	7N	0000	4,0	7,0	Areia fina, baixo THM
411326	6463612	10,802	RES	7N	0000	7,0	8,0	Areia fina, THM insignificante
411264	6463689	11,038	RES	7N	0100W	0,0	1,0	Areia fina, duna
411264	6463689	11,038	RES	7N	0100W	1,0	2,0	Areia fina, matéria orgânica (solo sob duna)
411264	6463689	11,038	RES	7N	0100W	2,0	3,0	Areia fina
411264	6463689	11,038	RES	7N	0100W	3,0	5,0	Areia fina
411264	6463689	11,038	RES	7N	0100W	5,0	7,0	Areia fina
411264	6463689	11,038	RES	7N	0100W	7,0	8,0	Areia fina
411198	6463765	11,100	RES	7N	0200W	0,0	1,0	Areia fina, duna
411198	6463765	11,100	RES	7N	0200W	1,0	3,0	Areia fina, matéria orgânica (solo sob duna)
411198	6463765	11,100	RES	7N	0200W	3,0	6,0	Areia fina
411198	6463765	11,100	RES	7N	0200W	6,0	7,0	Areia fina
411198	6463765	11,100	RES	7N	0200W	7,0	8,0	Areia fina
411141	6463846	11,106	RES	7N	0300W	0,0	1,0	Areia fina, matéria orgânica (solo)
411141	6463846	11,106	RES	7N	0300W	1,0	2,0	Areia fina
411141	6463846	11,106	RES	7N	0300W	2,0	3,0	Areia fina
411141	6463846	11,106	RES	7N	0300W	3,0	5,0	Areia fina
411141	6463846	11,106	RES	7N	0300W	5,0	6,0	Areia fina
411141	6463846	11,106	RES	7N	0300W	6,0	7,0	Areia fina
411141	6463846	11,106	RES	7N	0300W	7,0	8,0	Areia fina, conchas
411069	6463922	10,361	RES	7N	0400W	0,0	5,0	Areia fina
411069	6463922	10,361	RES	7N	0400W	5,0	6,0	Areia fina
411069	6463922	10,361	RES	7N	0400W	6,0	8,0	Areia fina, conchas

411006	6463995	9,850	RES	7N	0500W	0,0	1,0	Areia fina, matéria orgânica (solo)
411006	6463995	9,850	RES	7N	0500W	1,0	2,0	Areia fina
411006	6463995	9,850	RES	7N	0500W	2,0	4,0	Areia fina
411006	6463995	9,850	RES	7N	0500W	4,0	6,0	Areia fina
411006	6463995	9,850	RES	7N	0500W	6,0	8,0	Areia fina
410944	6464077	9,662	RES	7N	0600W	0,0	1,0	Areia fina, matéria orgânica (solo raízes)
410944	6464077	9,662	RES	7N	0600W	1,0	5,0	Areia fina
410944	6464077	9,662	RES	7N	0600W	5,0	8,0	Areia fina
410883	6464151	9,478	RES	7N	0700W	0,0	1,0	Areia fina
410883	6464151	9,478	RES	7N	0700W	1,0	2,0	Areia fina
410883	6464151	9,478	RES	7N	0700W	2,0	4,0	Areia fina
410883	6464151	9,478	RES	7N	0700W	4,0	5,0	Areia fina
410883	6464151	9,478	RES	7N	0700W	5,0	8,0	Areia fina, conchas
410816	6464225	9,628	RES	7N	0800W	0,0	3,0	Areia fina
410816	6464225	9,628	RES	7N	0800W	3,0	4,0	Areia fina
410816	6464225	9,628	RES	7N	0800W	4,0	5,0	Areia fina, matéria orgânica (turfa)
410816	6464225	9,628	RES	7N	0800W	5,0	6,0	Areia fina
410816	6464225	9,628	RES	7N	0800W	6,0	8,0	Areia fina
410750	6464303	9,237	RES	7N	0900W	0,0	1,0	Areia fina
410750	6464303	9,237	RES	7N	0900W	1,0	2,0	Areia fina
410750	6464303	9,237	RES	7N	0900W	2,0	4,0	Areia fina
410750	6464303	9,237	RES	7N	0900W	4,0	5,0	Areia fina, matéria orgânica (turfa)
410750	6464303	9,237	RES	7N	0900W	5,0	7,0	Areia fina, conchas
410750	6464303	9,237	RES	7N	0900W	7,0	8,0	Areia fina, conchas
410688	6464383	9,259	RES	7N	1000W	0,0	5,0	Areia fina
410688	6464383	9,259	RES	7N	1000W	5,0	8,0	Areia fina
410623	6464458	9,233	RES	7N	1100W	0,0	8,0	Areia fina
410559	6464535	8,126	RES	7N	1200W	0,0	8,0	Areia fina
410497	6464612	7,395	RES	7N	1300W	0,0	8,0	Areia fina