

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

FRANCISCO TOMIO ARANTES

**ANÁLISE DOS DEPÓSITOS COSTEIROS DA PORÇÃO SUL DE GUARATUBA, COM O
USO DO MÉTODO GEOFÍSICO DE GEORRADAR - GPR**

CURITIBA

2017

FRANCISCO TOMIO ARANTES

**ANÁLISE DOS DEPÓSITOS COSTEIROS DA PORÇÃO SUL DE GUARATUBA, COM O
USO DO MÉTODO GEOFÍSICO DE GEORRADAR - GPR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof.Dr Carlos Conforti Ferreira
Guedes

CURITIBA

2017



“Não se conhece completamente uma ciência enquanto não se souber da sua história.”

Auguste Comte

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais Aimore e Joceli, por todo apoio durante o curso.

Aos meus amigos geólogos, pela convivência todos esses anos.

Ao meu orientador Prof. Dr Carlos Canforti Ferreira, pelo tempo dedicado.

Ao Laboratório de Estudos Costeiros da UFPR (LECOST), por fornecer todo o material necessário para a realização da monografia.

Por fim, ao Departamento de Geologia e a todos os professores que me abriram os olhos para a geologia

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo interpretar os modelos deposicionais da porção sul Baía de Guaratuba – PR, com o uso de perfis obtidos pelo método de geofísica de *Ground Penetration Radar* (GPR). As linhas de GPR são processadas com o *software* RADAN™ 6.6, utilizando filtros para remoção de ruídos (*FIR filter* e *background remove*) e ganho de sinal (*Range Gain*). A área de estudo compreende sedimentos do Pleistoceno Superior ao Holoceno, formados durante fases de transgressão e regressão do Quaternário. Com o apoio de trabalhos anteriores e utilizando o método de estratigrafia de radar, foram interpretados quatorze radarfácies e três principais superfícies de radar, que delimitam importantes truncamentos erosivos. As radarfácies foram separadas em oblíquas e subhorizontais além dos irregulares, onde seus refletores descontínuos, podem estar relacionados a depósitos argilosos. Através da associação das radarfácies e das superfícies de radar foram interpretados quatro eventos de sedimentação, com ambientes de deposição de faces litorânea, paleoestuarinos, cordões litorâneos, fluviais e dunas frontais. Assim com a interpretação dos dados foi possível elucidar o contexto deposicional da área de estudo.

Palavras chave: Baía de Guaratuba, GPR, Costeira.

ABSTRACT

The present study aims to interpret the depositional models of the southern portion Baía de Guaratuba – PR, with the use of profiles obtained by the geophysical method of Ground penetration Radar (GPR). The GPR lines are rendered with the Radan™ 6.6 software, using noise removal filters (FIR filter and background remove) and signal gain (Range gain). The study area comprises sediments of the Upper Pleistocene and Holocene, formed during phases of transgression and Quaternary regression. With the support of previous work and using the Stratigraphy radar method, fourteen radarfacies and three major radar surfaces have been interpreted, which delimit important erosive truncations. The radarfacies were separated in oblique and subhorizontal, in addition to the irregulars where their discontinuous reflectors are related to clay deposits. The Association of the radarfacies and the radar surfaces were interpreted four sedimentation events, with environments of deposition of shoreface, paleoestuarine, fluvial, foreshore and foredunes. With the interpretation of the details it was possible to elucidate the depositional context of the study area.

Keywords: Baía de Guaratuba, GPR, Coastal.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1:Localização da área de estudos e suas duas vias de acesso pelo município de Curitiba.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2: Mapa geológico modificado de Ângulo 1992 com a localização das linhas de GPR. A oeste está localizado o Rio Mirim, a norte a Baía de Guaratuba.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3: O quadrado vermelho representar área de estudos, onde é possível verificar um adensamento populacional (Fonte: Google Earth).</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4: Mapa geológico regional da Baía de Guaratuba, modificado de Angulo 1992.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5: fluxograma explicativo para o método de processamento dos arquivos .dzt antes de transformar em .jpeg.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6: Ilustração dos tipos de terminações das reflexões dos estrados. Onlap é representado por terminações na horizontal de encontro nos truncamentos. Downlap são refletores em terminação em truncamento subjacente. Toplap são refletores limitados por truncamento erosivo sobrejacente.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7: Localização dos dezenove linhas de GPR, que foram utilizados como radargramas.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8: Radargrama 011, onde é possível observar a radarfácies Fs-Sg com direção NE. A direita, as legendas das convenções adotados para as interpretações. Orientação da esquerda para a direita SW/NE.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9: Radargrama 017, onde é possível observado a radarfácies Fs-Sg mergulhando para a costa, logo a baixo Superfície de radar S2. Orientação da esquerda para a direita NW/SE.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10: Radargrama 014, onde é possível observar a radarfácies Fs-Tbi em downlap e toplap na superfície de radar S1. Orientação da esquerda para a direita SE/NW.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11: Radargramas 018, onde é possível observar os paleocanais da radarfície Fs-Ci. Eles estão principalmente limitados pelas superfícies de radar S1 e S2. Orientação da esquerda para a direita SW/NE.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 12: Radargrama 016, onde é possível observar as radarfácies Fs-Tbb acima da superfície de radar S3 com direção de seus refletores para o continente. Orientação da esquerda para a direita SE/NW.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 13: Radargrama 022, onde é possível observar as radarfácies Fs-Sd e Fs-On, acima da superfície de radar S1. Orientação da esquerda para a direita SW/NE.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 14: Radargrama 023, onde é possível observar as radarfácies Fs-Ch acima da superfície de radar S2. Orientação da esquerda para a direita SE/NW</i>	<i>22</i>
<i>Figura 15: Radargrama 018, onde é possível observar as radarfácies Fs-Cc, acima da superfície de radar S2. Orientação da esquerda para a direita SE/NW</i>	<i>22</i>
<i>Figura 16: Painel do radargrama 018, onde é possível observar refletores com pouco contraste, opacos e lisos, na porção SSW. Possivelmente ocasionados pela deposição argilosa dos manguezais. Orientação da esquerda para a direita SW/NE</i>	<i>23</i>
<i>Figura 17: Radargrama 018, subparalelo a Baía de Guaratuba. Orientação da esquerda para a direita SW/NE.....</i>	<i>24</i>

<i>Figura 18: Radargrama 015, subparalelo a linha de costa. Orientação da esquerda para a direita SE/NW.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 19: Radargrama 011, onde é possível observar a superfície de radar S2 com as principais radarfácies que ele separa. Orientação da esquerda para a direita SW/NE.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 20: Radargrama 016, onde é observado a superfície de radar S3. Orientação da esquerda para a direita SE/NW.....</i>	<i>27</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Tabela resumo das unidades descritas por Angulo (1992 e 2004).....</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 2: Tabela resumo com orientação das linhas de GPR, sua identificação feita no campo de julho de 2009 e seu comprimento.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 3: Tabela resumo dos tipos de refletores e as radarfácies que as compõem. Modificado de Bogo et al 2015.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 4: Tabela resumo dos radargramas que contém as superfícies de radar.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 5: Tabela resumo dos ambientes interpretados através da associação das radarfácies.....</i>	<i>27</i>

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO TEÓRICA	8
2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO	8
2.2. EVOLUÇÃO PALEOGEOGRÁFICA	11
2.3. BACIA DE GUARATUBA	12
3.1. GROUND PENETRATION RADAR - GPR	12
3. MATERIAS E MÉTODOS.....	13
4.RESULTADOS	14
5. CONCLUSÃO E DISCUSSÃO	28
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
7. REFERÊNCIAS.....	30
ANEXO I: Painéis com os radargramas	33

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo é referente ao Trabalho de Conclusão do curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná, no ano de 2017. O trabalho, visa interpretar a arquitetura dos depósitos costeiros da porção sul da Baía de Guaratuba. A interpretação foi realizada através de dezenove perfis, obtidos em julho de 2009 pela UFRGS, juntamente a laboratório de estudos costeiros da UFPR (LECOST), com método de georradar (*Ground Penetration Radar – GPR*).

A área de estudo está localizada no município de Guaratuba no Estado do Paraná, entre a divisa do Estado de Santa Catarina e o município de Matinhos (figura 1). A área é cortada pela rodovia estadual PR-412, que tem duas principais vias de acesso. Saindo de Curitiba, o primeiro acesso é feito pela rodovia BR-277 sentido Leste, onde após percorrer 78 km, no município de Paranaguá, a uma conversão para sul pela PR-508 até o município de Matinhos. No qual é necessária a travessia com *ferry-boat* pela Baía de Guaratuba. O segundo caminho é pela BR-376 saindo de Curitiba sentido sul. Após 94 km no município de Garuva – SC ao sair da BR-376 e entrar na SC-415 sentido Leste, a rodovia estadual na fronteira do Estado do Paraná recebera o nome de PR-412, sentido Norte para Guaratuba.

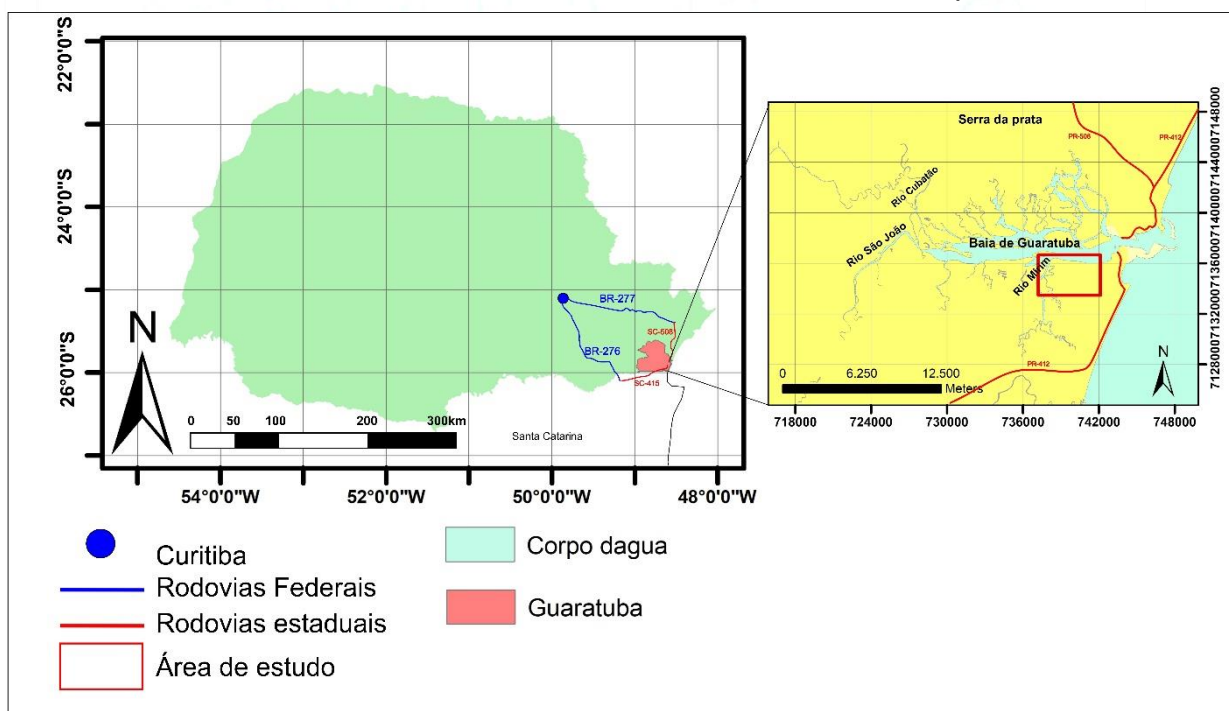


Figura 1:Localização da área de estudos e suas duas vias de acesso pelo município de Curitiba

O trabalho tem como objetivo reconhecer, interpretar e classificar as arquiteturas deposicionais dos depósitos da planície costeira, utilizando as linhas de GPR na região próxima ao Rio Mirim na Baía de Guaratuba (figura 2). Demonstrando a efetividade do uso do GPR em centros urbanos, a interpretação das radarfácies e os principais truncamentos erosivos da região.

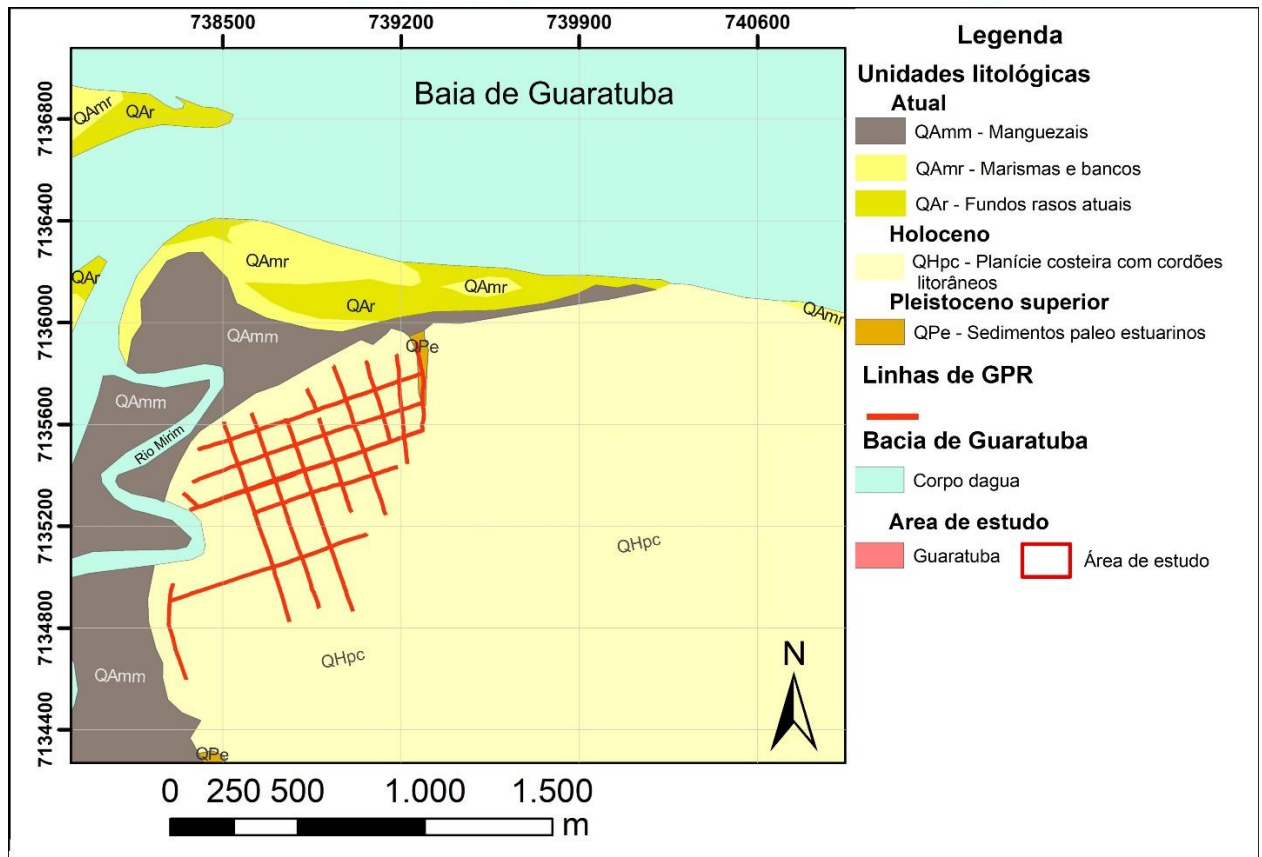


Figura 2: Mapa geológico modificado de Ângulo 1992 com a localização das linhas de GPR. A oeste está localizado o Rio Mirim, a norte a Baía de Guaratuba.

O uso da geofísica nas últimas décadas vem crescendo como um método acessível, utilizado muitas vezes como o primeiro recurso para estudos de prospecção mineral ou mapeamentos geológicos em áreas de difícil acesso. Da mesma forma, o método geofísico de georradar vem progredindo, utilizado amplamente na construção civil e na estratigrafia como os trabalhos de Harari 1996, Silva *et al.*, 2010, Bogo *et al.*, 2015, entre outros.

A área de estudo está inserida em um centro urbano (figura 3), restringindo e diminuindo a qualidade de afloramentos. Por ser uma técnica de baixo custo e

rápida execução, recorrer ao método de georradar, facilitou a obtenção dos dados geológicos. Assim, aprimorar as técnicas de interpretação dos radargramas irá auxiliar na divulgação e confiabilidade do método.



Figura 3: O quadrado vermelho representar área de estudos, onde é possível verificar um adensamento populacional (Fonte: Google Earth).

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO

O primeiro mapeamento geológico na região foi realizado por Bigarella em 1946, no qual separou três unidades geológicas; Sedimentares: formações arenosas (restingas e mangrovitos), sedimentação terrígena (aluviões terrestres e pantanais terrestres) e Manguezal (pantanais marinhos). Diversos outros trabalhos foram realizados na região, com destaque para Bigarella 1957 com o primeiro uso de fotos aéreas para mapear Guaratuba e os mapeamentos sistemáticos de 1968-

70 da Comissão da Carta Geológica do Estado do Paraná de escala 1:70000 (Angulo 1992).

O litoral paranaense é concebido dentro de três das cinco unidades geomorfológicas descritas por Maack (1968): A Serra do Mar, Primeiro Planalto e Planície Costeira (Angulo 1992 e 2004). As bacias hidrográficas de Paranaguá e Guaratuba, englobam setores da porção oriental do Primeiro Planalto, capturando drenagens que integravam a Bacia hidrográfica do Rio Iguaçu. Em relação a Serra do Mar, Fuck *et al.*, (1969) descreve lineamentos no embasamento cristalino com direção NE-SW, além dos grandes lineamentos do Arco de Ponta Grossa (Almeida 1976). Formado por grandes corpos ígneos em meio a rochas metamórficas do pré-cambriano, sua origem é relacionada ao soerguimento tectônico no Cretáceo Superior e Paleoceno, por eventos térmicos registrados em traços de fissão em minerais de apatitas (Ribeira 2012). De acordo com Almeida (1998), a forma atual da Serra do Mar é resultado de erosão diferencial, aproveitando-se da complexidade estrutural e litológica. Por fim a Planície Costeira é formada principalmente por sedimentos arenosos de idade Quaternária. Estende-se desde o sopé da Serra até o oceano, a planície tem comprimento máximo de 90km e largura máxima de 55km. Marcado por deposição de cordões litorâneos correspondentes a antigas linhas de praias e dunas frontais (Angulo 2004). Em relação aos sedimentos mesozoicos-cenozoicos marinhos a costa do Paraná está situada na borda da Bacia de Santo (Santos 2009).

O Litoral é subdivido em duas principais bacias hidrográficas: A Bacia de Paranaguá ao norte, com 3.882 km² e ao sul a Bacia de Guaratuba com 1.886 km². O litoral apresenta amplitudes inferiores a 2m nas marés de sizígia, caracterizando um regime de micromarés, onde através de estudos no porto de Paranaguá foi definido como marés semidiurna (Angulo 1992). As unidades de mapeamento foram divididas em duas principais unidades, baseado nos mapas geológicos (figura 4 e tabela 1) de Angulo de 1992.

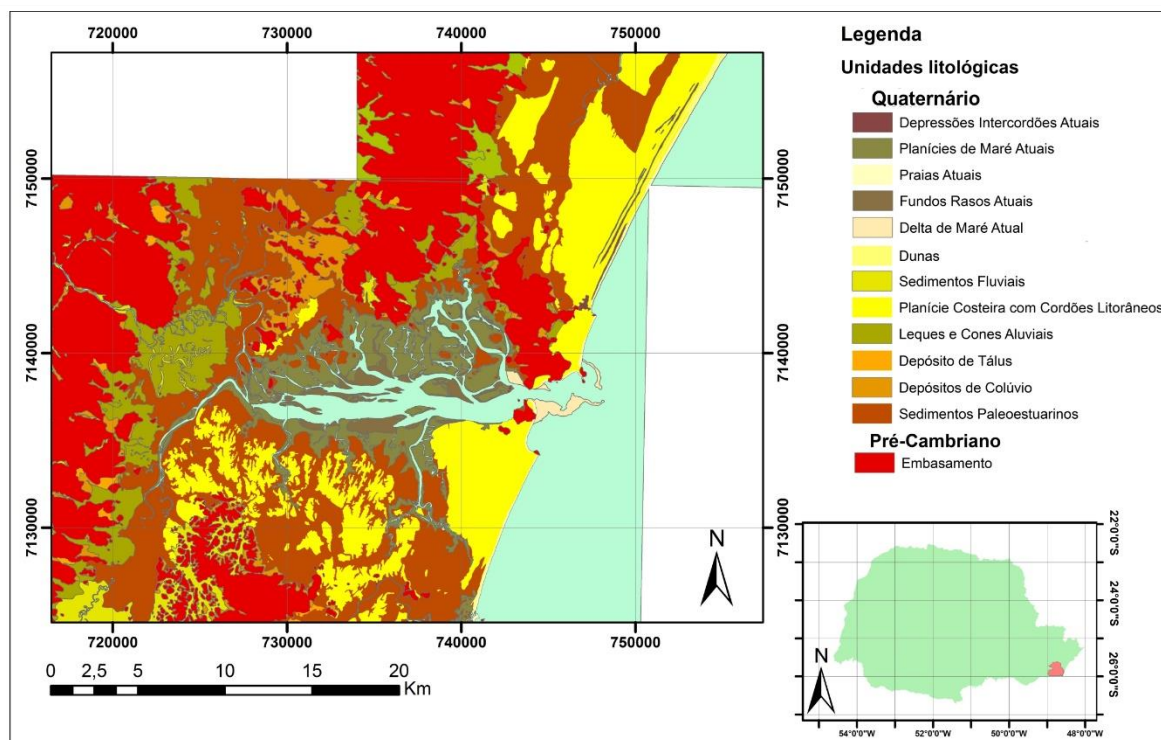


Figura 4: Mapa geológico regional da Baía de Guaratuba, modificado de Angulo 1992.

Tabela 1: Tabela resumo das unidades descritas por Angulo (1992 e 2004).

	Unidades	Descrição
Sedimentos Continentais	Formação Alexandra (Mioceno Inferior)	Ocorrem em colinas isoladas em torno de 30m acima do nível do mar, composto por sedimentos arenosos arcoseanos, lamas e em menor quantidade cascalhos. Formados em por fluxos gravitacionais do tipo fluxo de detritos e fluxo de lama
	Leques e Cones Aluviais (Plio-Quaternário)	Ocorrem associados as grandes vertentes da Serra do Mar, com raio de 100 a 400 m e declividade superior a 10°. Sobre seus cones formam drenagens secundárias que alcançam a planície costeira. Formados por areias arcoseanas, lamas, cascalhos formados por fluxos densos e trativo fluviais.
	Tálus (Quaternario)	Ocorrem frequentemente nas vertentes mais íngremes da serra, onde não há evidencia de processos fluviais
	Colúvios(Quaternário)	Sedimentos que ocorrem nas vertentes da serra, por transporte de fluxos de baixa viscosidade. Composto por areia e seixos, geralmente maciço
	Sedimentos Fluviais (Quaternário)	Ocorrem por toda a planície litorânea, formados por cascalhos clasto-suportados, com grânulos ate matações, canais preenchidos por areias pobremente selecionados, com estratificações cruzadas acanaladas e argilas maciças
Sedimentos Costeiros	Planície Costeira com Cordões Litorâneos (Pleistoceno Superior e Holoceno)	Ocorrem em todo o litoral, relacionado a antigas linhas de praia. São formados por areias finas a muito finas, moderadamente a bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo, estratificação cruzada acanalada, preenchimento de canal, entre outros
	Sedimentos Paleoestuarinos (Pleistoceno Superior e Holoceno)	Ocorrem em altitudes inferior a 7 m, interpretados como depósitos paleoestuarinos ou lagunar. Sua composição e rica em conchas de moluscos, além de sedimentos argilo-arenosos
	Planícies de Maré Atuais	Ocorrem dentro dessa unidade seis diferentes ambientes: manguezais, marismas e bancos não vegetados, manguezal com <i>Acrostichum</i> e <i>Hibiscus</i> , zona de <i>Cladium</i> , pântano de maré e brejo de maré. Compostos por sedimentos arenosos a argilas arenosas ricos em matéria orgânica
	Fundos Rasos Atuais	Ocorrem no interior de estuários, com profundidades inferiores a 2m, podendo ficar emerso nas marés mais baixas.
	Deltas de Maré Atuais	Ocorrem associados a desembocadura das baías de Guaratuba e Paranaguá, além dos Canal do Superaguí e do Mar do Ararapira. Ocorrem em regimes de micro e mesomaré, onde do lado do mar ocorrem a maré vazante e no interior a maré de enchente
	Dunas (Holoceno)	Sedimentos eólicos desenvolvidos paralelamente a linha de costa, com possível origem de dunas frontais com auxílio da vegetação
	Depressões Intercordões Atuais	Ocorrem na planície costeira em depressões rasas, alongadas, as vezes associadas a pequenas lagoas e cursos fluviais. Composto por sedimentos arenosos rico em matéria orgânica.
	Praias Atuais	Com extensão de 126km, as praias são constituída por areias finas a medias, bem selecionadas formado por quartzo além de biotólitos de carbonato

2.2. EVOLUÇÃO PALEOGEOGRÁFICA

Segundo Angulo (1995), os primeiros registros de deposição sedimentar no litoral paranaense, estão na Formação Alexandra do Mioceno Inferior. Composto por sedimentos arenosos arcoseanas, lamas e cascalhos, depositados em um sistema de leques aluviais com predomínio de fluxo de detritos e de lamas. O clima durante sua formação, possivelmente era mais seco que o atual, porém com a capacidade de manter pequenos corpos aquosos, onde foram depositados matéria orgânica. Até o Pleistoceno superior, não há registro de deposição, porém com o uso da geomorfologia é possível estabelecer uma cronologia relativa dos depósitos posteriores (Angulo 1992). Através do grau de dissecação desses depósitos foi estabelecido sua idade relativa, onde os mais sinuosos e dissecados foram posicionados no Plio-Pleistoceno, junto aos depósitos da Formação Iquererim, e os com menor grau de dissecação situados no Quaternário indiviso.

Durante a Transgressão Cananéia (120.00 A. P), o mar atingiu o sopé da Serra do Mar, com NRM máximo próxima a 4 m acima do nível do mar atual (Angulo 2002). Após a máxima transgressiva, começa uma fase de regressão forçada, depositando sucessões de cordões litorâneos, sobre os depósitos marinhos ao longo do litoral. O principal agente para a fase regressiva, foi a última glaciação do Pleistoceno, que ao aprisionar grandes quantidade de água oceânica em geleiras, ocasionou um intenso rebaixamento do nível relativo do mar por todo o planeta. Estimasse que o NRM, atingiu 120 m abaixo do nível atual, expondo a planície a uma intensa dissecação, apagando em quase toda a sua totalidade as evidências do contato entre a serra e a planície costeira do Pleistoceno (Angulo 1992).

No Holoceno, durante a máxima da Transgressão Santos (5.100 anos A.P) o NRM atingiu 4 m (Angulo 1992). Assim, novos depósitos de cordões litorâneos são formados, que durante a regressiva posterior, são erodidos formando novos terraços costeiros, porém localizados em cotas inferiores aos terraços formados no Pleistoceno (Angulo 2004). Com o rebaixamento constante do nível do mar, áreas de fundos rasos transformaram-se em planícies de marés e progressivamente em áreas emersa. A costa começou a tomar forma semelhantes ao atual, quando o nível do mar atingiu níveis próximos ao de hoje, com pequenas diferenças ocasionados pela dinâmica das bacias hidrográficas.

2.3. BACIA DE GUARATUBA

A Bacia de Guaratuba (figura 1) é um complexo estuarino, formado por três principais rios São João, Cubatão e Cubatãozinho (Angulo 1992). A bacia é um corpo de água rasa, formada por rios de antigos estuários menores. Sua extensão é de 16km e largura de próxima a 3km, podendo chegar a 10km durante a enchente de maré alta de sizígia. A porção interna do estuário, apresenta grande extensão de mangues, ocasionados pelo maior aporte de águas de rio, dificultando a salinização (Angulo 1992). A desembocadura do estuário é limitada por dois pontais rochosos; a Serra da Prata e o Morro de Guaratuba.

Maack (1968) descreve que a Baía de Guaratuba é controlada por alinhamentos NE-SW. O estuário de Guaratuba, junto ao de Paranaguá, são possivelmente os principais responsáveis pelo aporte de sedimentos mais grossos nos cordões litorâneos do litoral paranaense (Angulo 1992). Sua desembocadura forma um grande delta de maré vazante, em direção ao mar, onde são depositadas barras arenosas em forma de arcos que chegam até a Praia Brava de Caioba (figura 4). No interior do estuário não é observado as correntes de maré de enchente, porém a sedimentação em seu interior é dividida em três partes; A porção norte predomina sedimentos paleoestuarinos e de planície de maré; ao sul a sedimentação costeira com a formação de cordões litorâneos associados a sedimentos paleoestuarinos; por fim a sedimentação fluvial nos vales dos rios São João e Cubatãozinho (Angulo 1992).

3.1. GROUND PENETRATION RADAR - GPR

Segundo Daniels (2004), ainda não há um método completo para o estudo da sub-superfície, assim o GPR surge como uma alternativa, mais viável e atraente pelo seu baixo custo. Sua versatilidade é dada, pois é utilizado para diversas finalidades, como localização de canos e tubos, construção de estradas, arqueologia, geologia, etc. Além de fácil montagem e manuseio em campo. Sua criação é atribuída a Hiilmeyer em 1903 e amplamente utilizado nos anos de 1930 para a exploração de sal, água subterrânea entre outros. Na estratigrafia, o apoio do GPR auxilia na confecção de perfis com profundidades de até 30m, variando de acordo com a antena utilizada. De acordo com Souza (2006), o GPR funciona através da emissão de ondas eletromagnéticas, geradas através de pulsos de alta

frequência que se repetem radiando-as para dentro da terra por uma antena transmissora. Outra antena receptora registra o sinal das ondas refletidas pelo substrato, que são convertidas em sinal elétrico e gravadas no computador.

3. MATERIAS E MÉTODOS

Para o entendimento da área e o método de GPR, foi realizado uma etapa de pesquisa bibliográfica, que se estendeu por toda a duração do estudo. A revisão consistiu na leitura de artigos e teses de mestrado sobre a evolução paleogeográfica do litoral do Paraná (Angulo 1992 e 2004) além das porções sul de São Paulo (Suguio & Martin 1978) e norte de Santa Catarina (Souza *et al.* 2001). Junto a esses textos, livros como *Facies Models* de Walker (2006) e *Ground Penetrating Radar* Daniels (2006), serviram como base teórica para a compreensão dos artigos e desenvolvimento do trabalho subsequente. A consulta foi efetuada juntamente ao acervo da biblioteca da Universidade Federal do Paraná, além de *sites* como o SciELO, boletim paranaense de geociências, Elsevier entre outros.

Foram cedidos pelo Laboratório de Estudos Costeiros da UFPR (LECost), dezenove perfis realizados em julho de 2009, juntamente a UFRGS, pelo método geofísico de GPR (*Ground Penetration Radar*). A obtenção dos radargramas é feito pelo coletor SIR da GSSI™ (*Geophysical Survey Systems, Inc.*), registrando profundidades de até 28 m utilizando antena de frequência de 200MHz. Essas linhas foram previamente processadas, junto os dados de GPS para normalizar a topografia. Posteriormente com o uso do *software* RADAN™ 6.6 no Lecost, foram aplicadas correções utilizando a ferramenta *Position/Range*, para normalizar o topo dos radargramas, verificando o eixo Z. Após a correção é aplicado o *FIR Filter*, para remoção de ruídos, ajustando o *low* e o *high pass* em 350MHz e 100Mhz respectivamente e o *background removal* em 200. Para aumentar ou diminuir o ganho de sinal, com o intuito de destacar melhor os refletores, utiliza-se o *Range Gain* (figura 5)

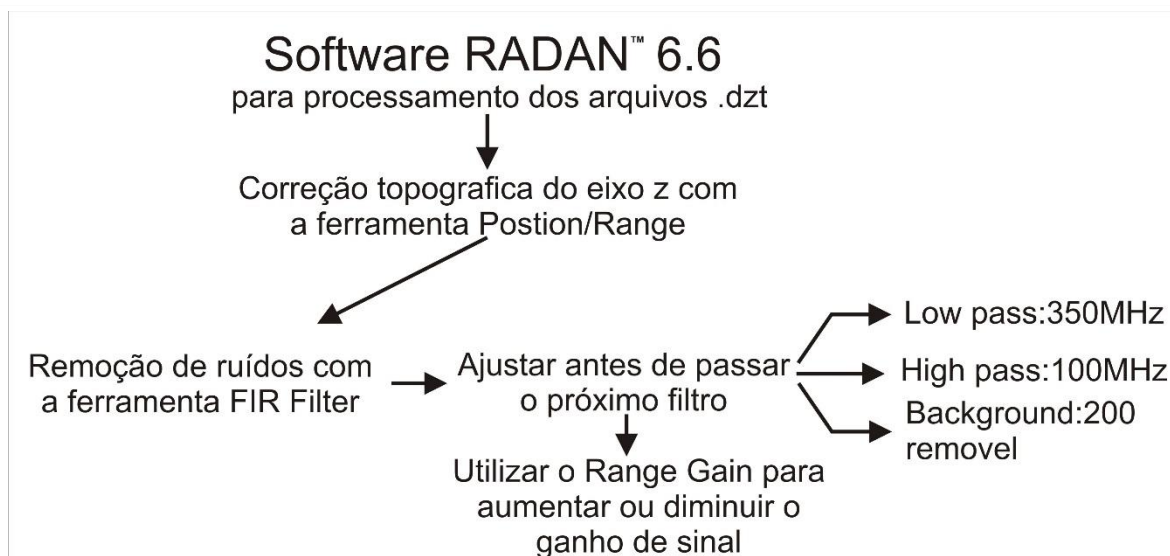


Figura 5: fluxograma explicativo para o método de processamento dos arquivos .dzt antes de transformar em .jpeg.

Posterior ao processamento os dados são salvos em .dzt que utilizando o software *rad2bmp* é convertido em .bmp. Assim utilizando o CorelDRAW X8 Graphics Suite 2017, foram elaborados quatorze painéis dos dezenove radargramas, pois dois deles passavam no mesmo local e os outros três continham ruídos, não sendo possível a interpretação. As radarfácies foram subdivididas com base nos conceitos de estratigrafia de radar de Bogó *et.al* (2015) modificado de Neal (2004), e a arquitetura dos refletores caracterizadas pelas suas terminações em *Onlap*, *Downlap*, *Toplap* (figura 6) ou truncamento erosivo. Assim, com as radarfácies caracterizadas, foram separados e interpretados cada uma das Superfícies de Radar da área de estudos.

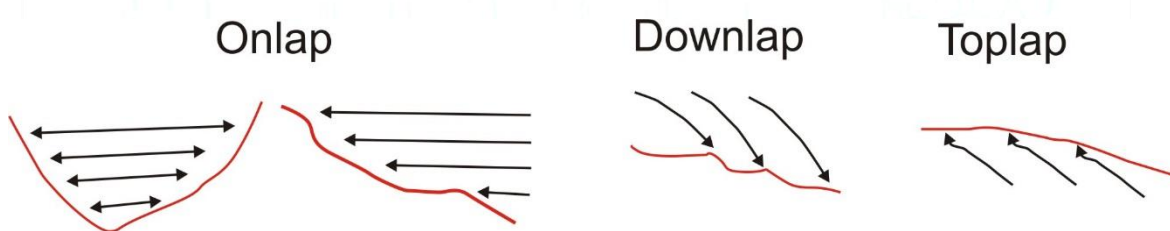


Figura 6: Ilustração dos tipos de terminações das reflexões dos estrados. Onlap é representado por terminações na horizontal de encontro nos truncamentos. Downlap são refletores em terminação em truncamento subjacente. Toplap são refletores limitados por truncamento erosivo sobrejacente

4.RESULTADOS

Após a fase de processamento dos radargramas e confecção dos quatorze painéis (tabela 2), foi possível classificar 3 tipos de refletores (tabela 3): os

refletores oblíquos, subhorizontais e irregulares. As radarfácies oblíquas e subhorizontais estão diretamente relacionadas com o arranjo geométrico dos estratos, indicando estruturas, direção e mergulho dos sedimentos. Porém os irregulares, divididos em descontínuos de baixo (aspecto opaco) e alto contraste e as hipérboles, são associados a variação composicional, como estratos argilosos ou texturais como bancos de conchas ou cascalhos (Bogo *et al.* 2015). Além disso o efeito pode ser causado por defeitos durante a coleta de dados ou na fase de processamento.

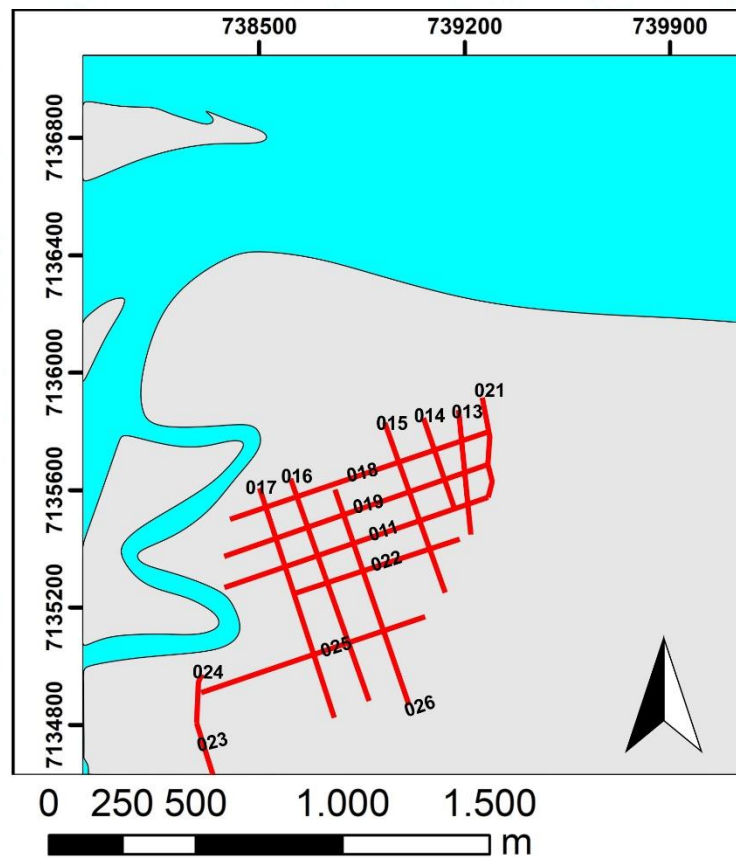













Figura 7: Localização dos dezenove linhas de GPR, que foram utilizados como radargramas.

Tabela 2: Tabela resumo com orientação das linhas de GPR, sua identificação feita no campo de julho de 2009 e seu comprimento

Identificação do radargrama	Comprimento
Radargrama 011	966 m
Radargrama 013	431 m
Radargrama 014	334 m
Radargrama 015	621 m

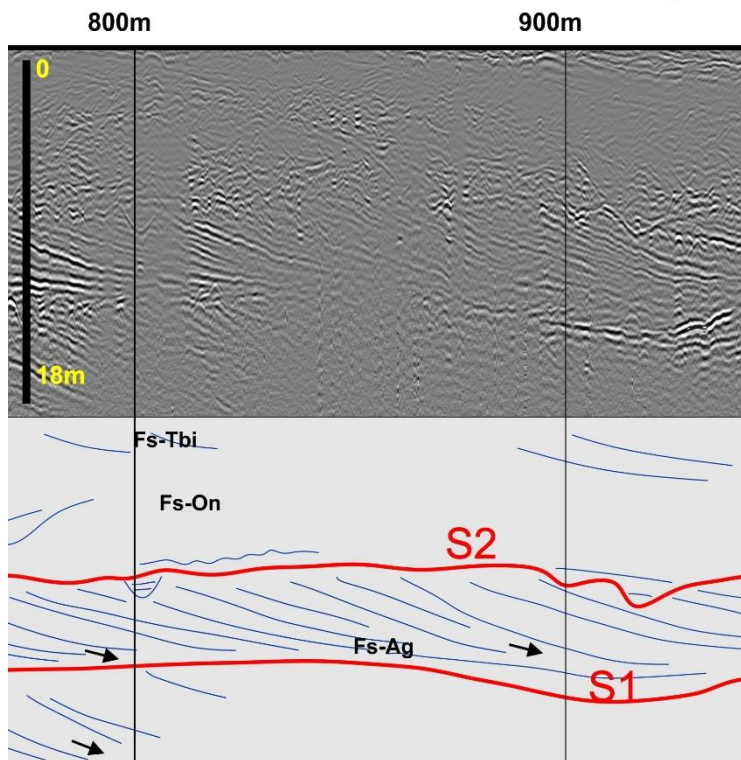
Radargrama 016	813 m
Radargrama 017	828 m
Radargrama 018	931 m
Radargrama 019	947 m
Radargrama 021	351 m
Radargrama 022	600 m
Radargrama 023	227 m
Radargrama 024	163 m
Radargrama 025	818 m
Radargrama 026	804 m

Tabela 3: Tabela resumo dos tipos de refletores e as radarfácies que as compõem. Modificado de Bogo et al 2015

Refletores oblíquos	
	Fs-Ag: Refletores com mergulho baixo, com forma acanalada e suas terminações tangenciando a superfícies abaixo. Grande continuidade lateral. Presente em: 11, 18, 19, 21, 22, 24, 25
	Fs-Sg: Refletores com mergulho variável, com forma sigmoidal, formando por vezes lentes restritas. Presente em: 13, 16, 17, 19, 23, 24, 25
	Fs-Tbi: Refletores contínuo, com mergulho mediá a alto, com forma tabular grande continuidade lateral, limitado ao topo por uma superfície erosiva. Presente em: 11, 13, 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 25
	Fs-Ci: Refletores com mergulho alto, restrito por canais com forma em V com truncamentos internos. Presente em: 11, 14, 18, 19, 21, 23
	Fs-Tbb: Refletores com grande continuidade lateral, tabulares e com terminações em downlap em superfície de entruncamento. Presente em: 13, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 25, 26
Refletores Subhorizontais	
	Fs-Tbh: Refletores contínuos, paralelos entre si e tabulares. Seu mergulho e baixo e tem grande continuidade lateral. Presente em: 13, 21, 24
	Fs-Lt: Refletores com forma lenticular, côncavo-convexo, com dimensões variáveis. Presente em: 11, 14, 15, 17, 18, 23, 25, 26
	Fs-Sd: Refletores ondulados e sinuosos, subhorizontais e descontínuos com dimensões de ate 2 a 3m. Presente em: 14, 21, 22
	Fs-On: Refletores subhorizontais, sinuosos e ondulados com dimensões superiores a 20m. Presente em: 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26
	Fs-Ch: Refletores subhorizontais em onlap dentro de paleocanais com forma em V. Presente em: 11, 14, 15, 16, 18, 21, 23, 25
	Fs-Cc: Refletores côncavos, concordantes ao paleocanal em forma de V. Presente em: 13, 17, 18

Os refletores oblíquos definem cinco radarfácies:

- Fs-Ag: Definida por refletores com forma acanalada, tangenciando truncamentos subjacentes. Sua direção é principalmente para N-NE, em um nível estratigráfico acima da superfície de radar S1 (figura 8)



Superfície de radar

Superfície-radar principal

S1

Superfície-radar secundária

S2

Fs-Sd Radarfácies



Terminação dos refletores

Figura 8: Radargrama 011, onde é possível observar a radarfácies Fs-Sg com direção NE. A direita, as legendas das convenções adotados para as interpretações. Orientação da esquerda para a direita SW/NE

- Fs-Sg: são refletores sigmoidais inclinados no sentido do mar preferencialmente, com mergulho variável, formando por muitas vezes lentes restritas. Essa radarfície foi descrita por Bogó *et al* (2015), como barras submersas em ambiente de face litorânea média a inferior;

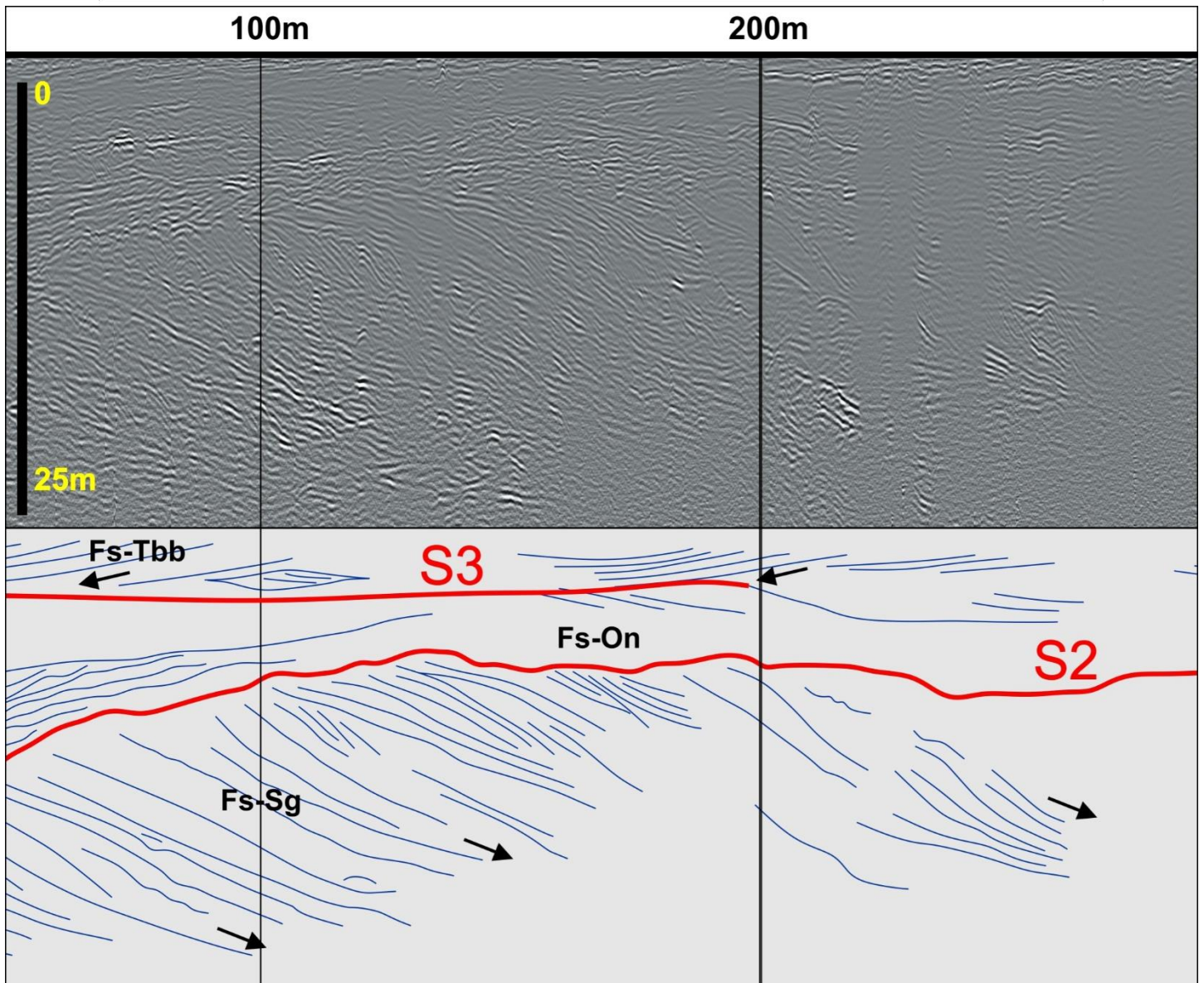


Figura 9: Radargrama 017, onde é possível observado a radarfácies Fs-Sg mergulhando para a costa, logo a baixo Superfície de radar S2. Orientação da esquerda para a direita NW/SE

- Fs-Tbi: são refletores contínuos tabulares, com uma superfície erosiva sobrejacente limitando o topo, Bogo *et al* (2015) descreveu essas fácies em planícies paleolagunares holocênicas;
- Fs-Ci: Tem feições de paleocanais, com refletores truncando o interior e seus principais representantes registrados próximo ao Rio Mirim;

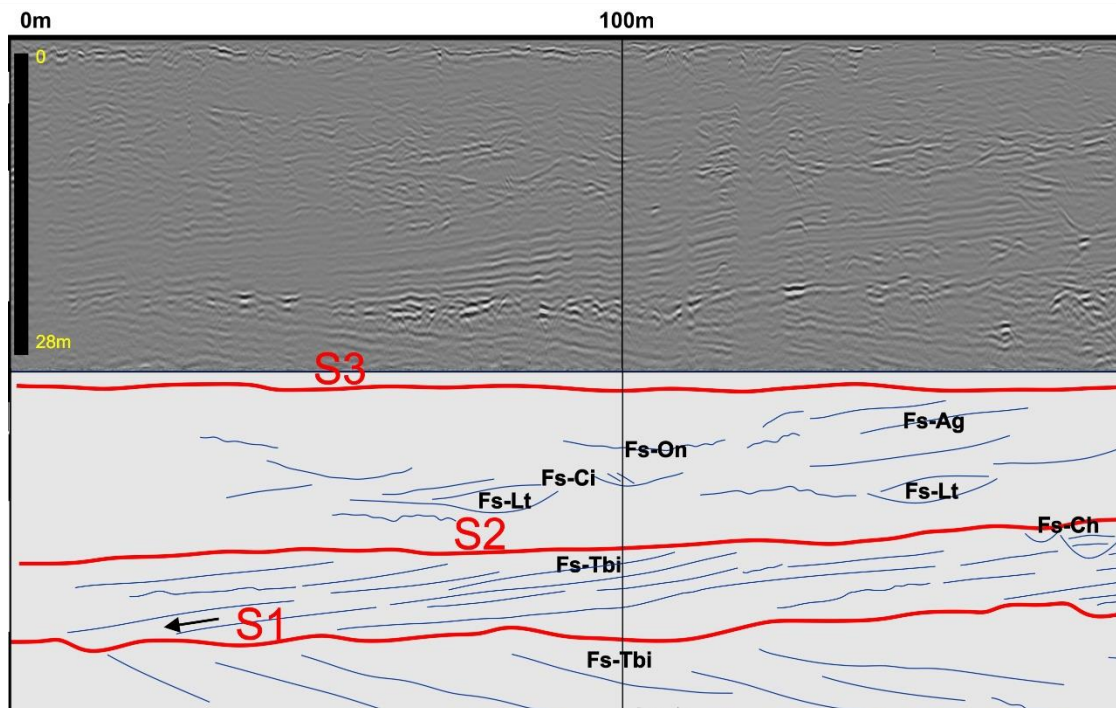


Figura 10: Radargrama 014, onde é possível observar a radarfácies Fs-Tbi em downlap e toplap na superfície de radar S1. Orientação da esquerda para a direita SE/NW

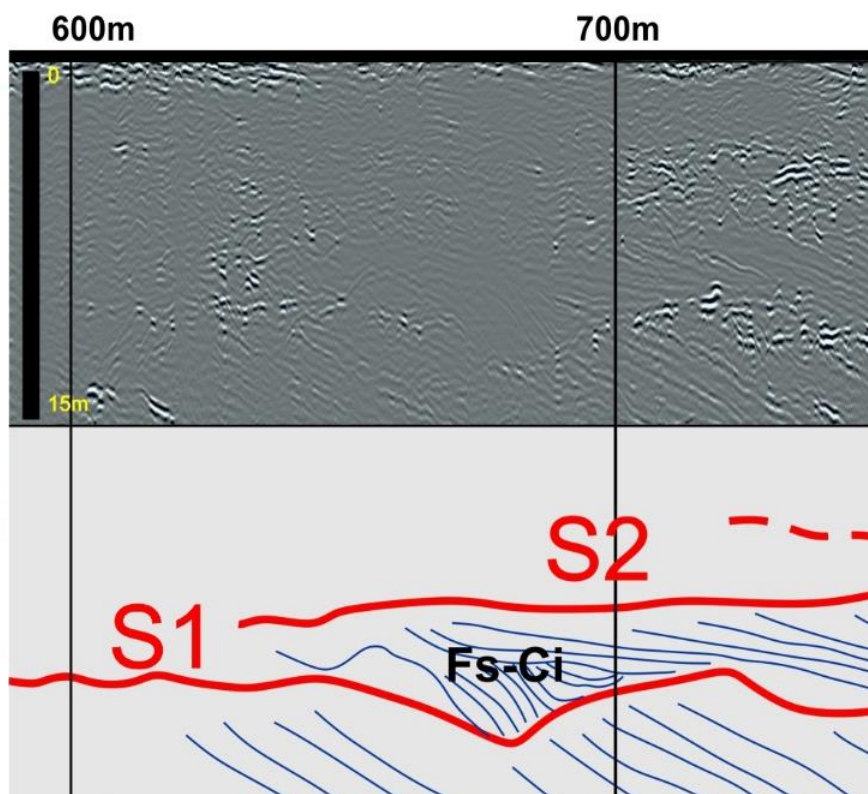


Figura 11: Radargramas 018, onde é possível observar os paleocanais da radarfácies Fs-Ci. Eles estão principalmente limitados pelas superfícies de radar S1 e S2. Orientação da esquerda para a direita SW/NE

- Fs-Tbb: São refletores tabulares contínuos, limitados por um truncamento sobrejacente, com suas terminações voltadas principalmente para o continente. Descrito por Bogó *et al.*, (2015) como uma associação a depósitos eólicos de dunas frontais.

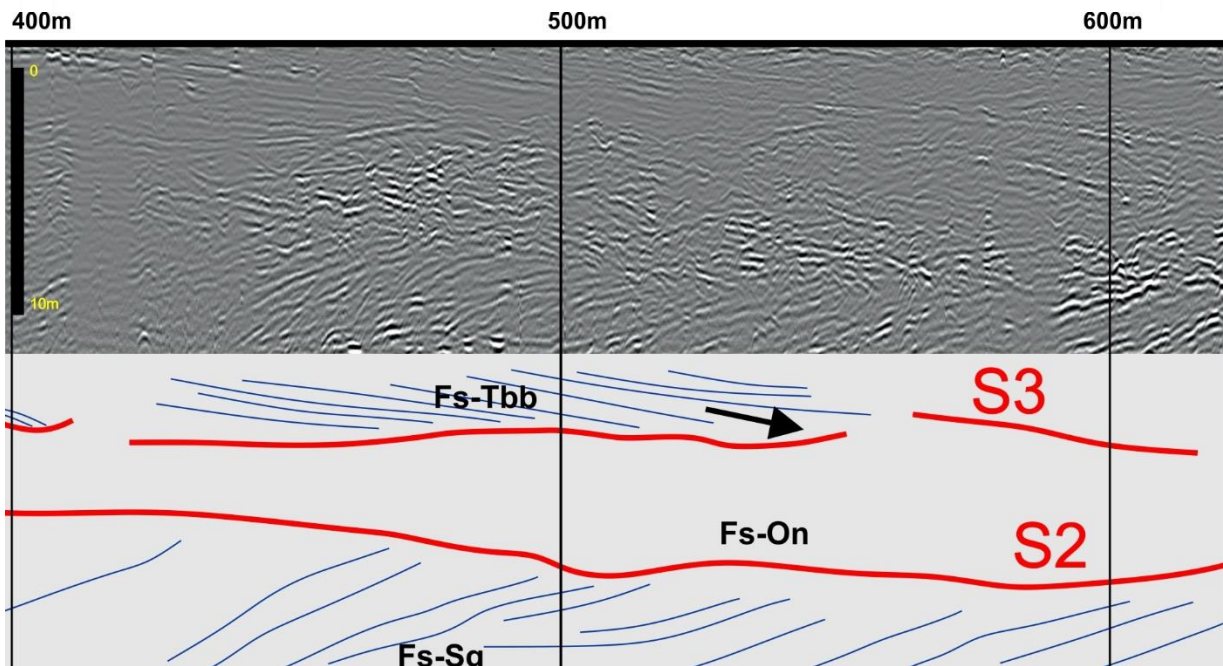


Figura 12: Radargrama 016, onde é possível observar as radarfácies Fs-Tbb acima da superfície de radar S3 com direção de seus refletores para o continente. Orientação da esquerda para a direita SE/NW

Os refletores subhorizontais definem seis radarfácies:

- Fs-Tbh: São refletores tabulares de pouca expressividade na área, com mergulho baixo e continuidade lateral grande;
- Fs-Lt: são refletores lenticulares, côncavo-convexos com dimensão variável, comumente localizados abaixo da superfície de radar S3. Foram descritos como fácies litorâneas na literatura;
- Fs-Sd e Fs-On são ondulados e sinuosos, diferenciando-se apenas por suas dimensões. Onde o Fs-On refere-se a depósitos de cordões litorâneos atingindo comprimentos superiores a 20m, enquanto o Fs-Sd pouco mais de 1m.

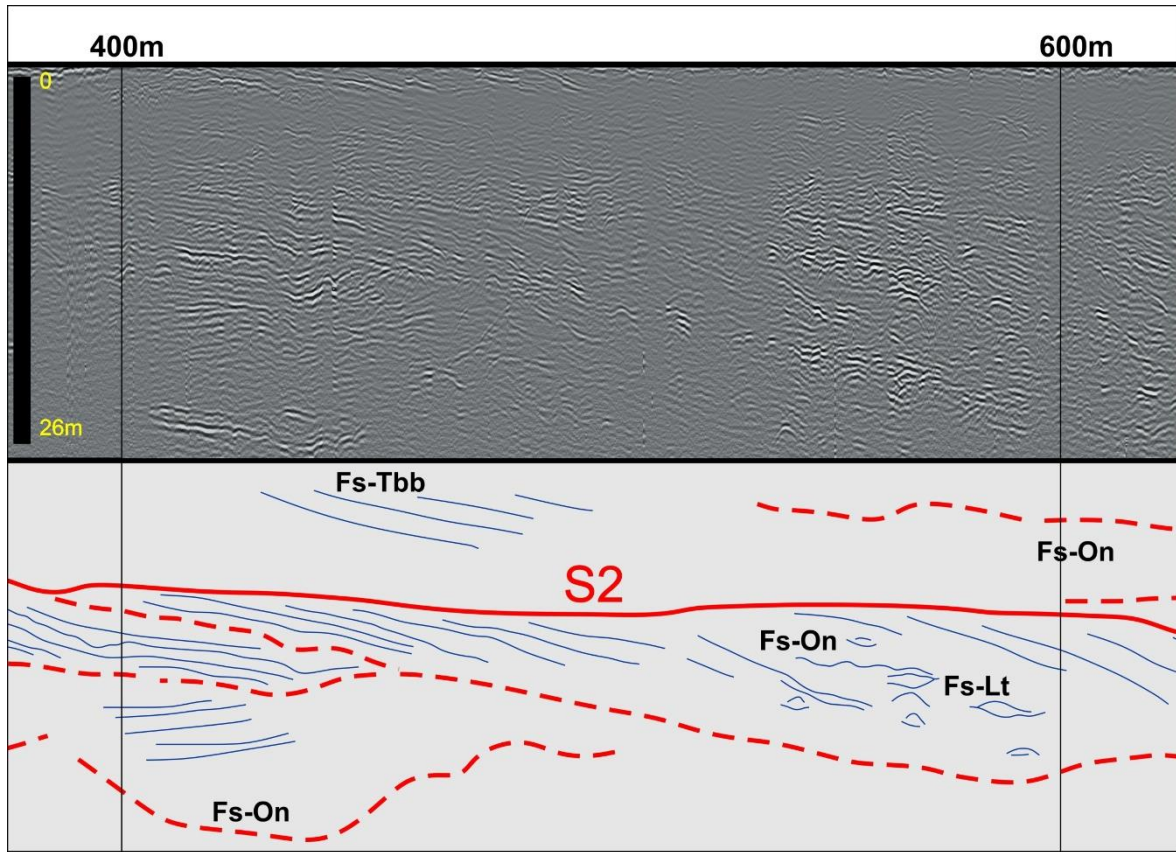


Figura 13: Painel do radargrama 025, onde é possível observar as radarfácies Fs-Lt, com direção de seus refletos semelhantes as adjacentes. Ele está contido abaixo da superfície de radar S2. Orientação da esquerda para a direita SW/NE

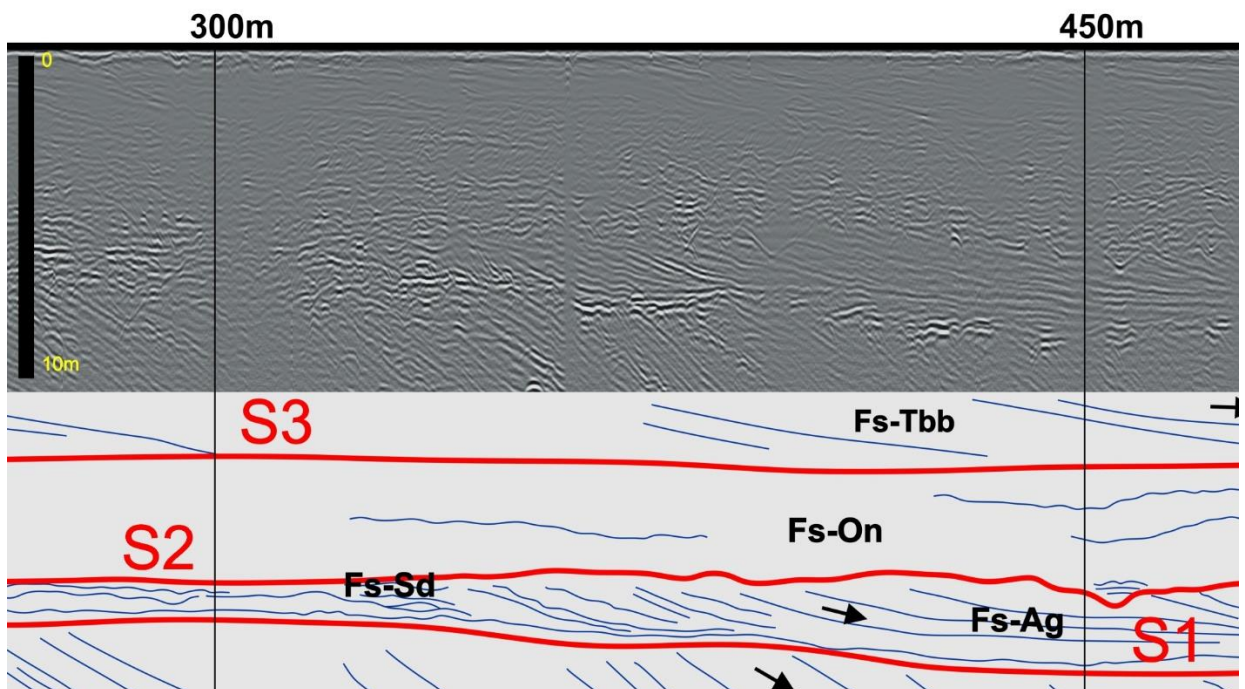


Figura 13: Radargrama 022, onde é possível observar as radarfácies Fs-Sd e Fs-On, acima da superfície de radar S1. Orientação da esquerda para a direita SW/NE

- Fs-Ch e Fs-Cc, são paleocanais, em forma de “V”, onde o primeiro tem seus refletores em Onlap dentro do canal e o segundo acompanhando sua forma. Ambos estão limitados na maioria dos casos pela radarfície Fs-On ou contidos nela.

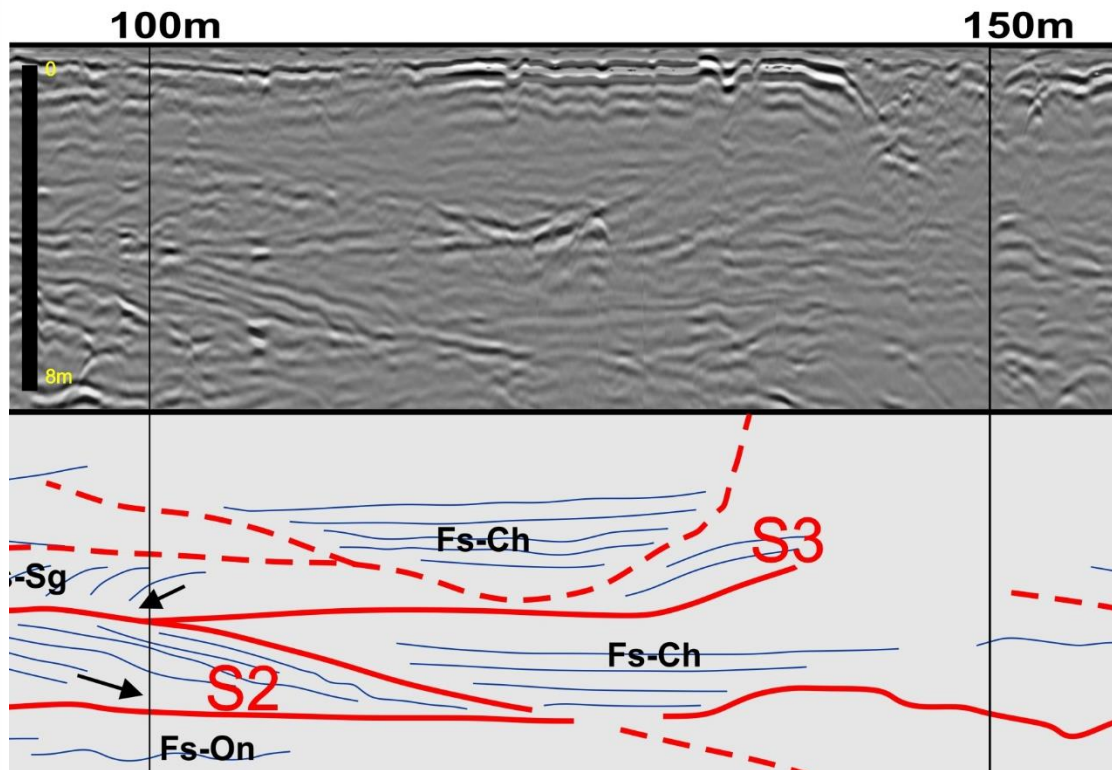


Figura 14: Radargrama 023, onde é possível observar as radarfácies Fs-Ch acima da superfície de radar S2. Orientação da esquerda para a direita SE/NW

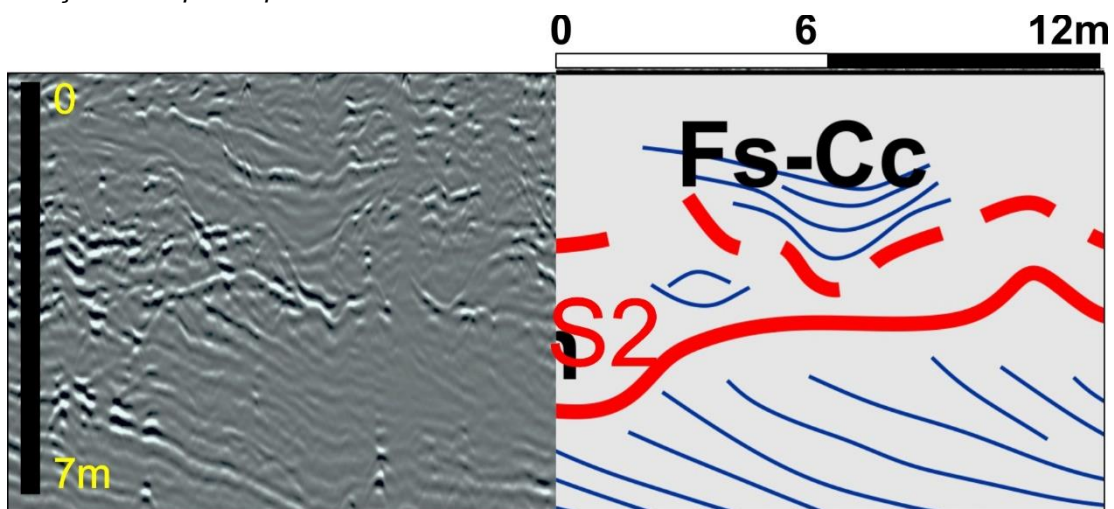


Figura 15: Radargrama 018, onde é possível observar as radarfácies Fs-Cc, acima da superfície de radar S2. Orientação da esquerda para a direita SE/NW

Já os refletores irregulares ocorrem com maior frequência próximo a unidade de manguezais do mapa do Angulo (1992), possivelmente ocasionado pela atenuação do sinal, ocasionada por de corpos argilosos como pode ser observado no radargrama 024:

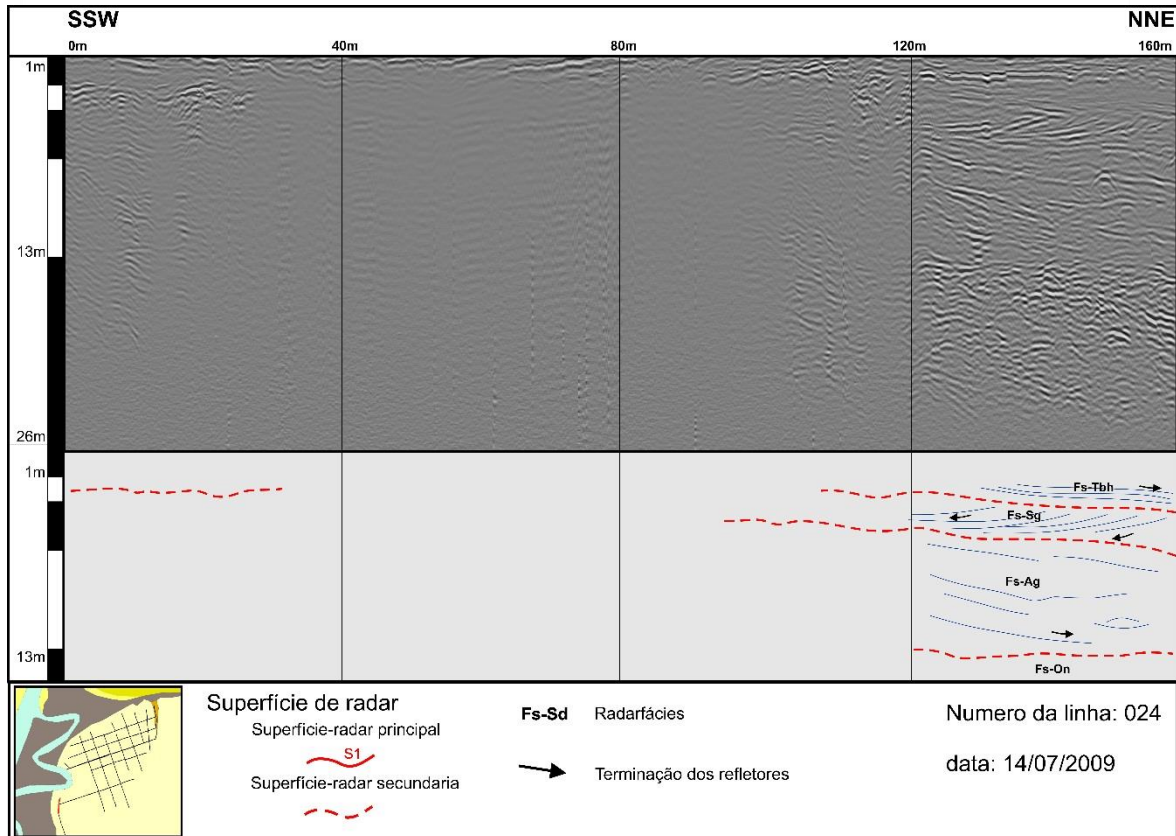


Figura 16: Painel do radargrama 018, onde é possível observar refletores com pouco contraste, opacos e lisos, na porção SSW. Possivelmente ocasionados pela deposição argilosa dos manguezais. Orientação da esquerda para a direita SW/NE

Assim como as radarfácies, três principais superfícies de radar (tabela 4), foram descritas e diferenciadas. Essas superfícies representam grandes truncamentos erosivos, presente em toda área:

Tabela 4: Tabela resumo dos radargramas que contém as superfícies de radar

Superfícies de Radar	Presente nos radargramas
S1	011,013,014,015,018,019,022,023 e 026
S2	011,013,014,015,016,017,018,019,022,023,025 e 026
S3	014,016,017,021,022 e 023

- S1: Superfície de radar marcada por forte erosão, mergulho leve com direção preferencial para NE (figura 17) nos radargramas subparalelos a Baía de Guaratuba e SE (figura 18) nos radargramas subparalelos a linha de costa (Os radargramas 013 e 023, ambos paralelos a linha de costa apresentam direção diferente de seu mergulho, respectivamente para SW e NW). Essa superfície, tem como principal característica as radarfácies Fs-Tbi em toplap, com direção de mergulho aparente para oeste nos radargramas paralelos a linha de costa e leste para os radargramas paralelos a baía de Guaratuba. Acima são caracterizados principalmente as radarfácies Fs-Tbh, Fs-Lt, Fs-Ag e Fs-On com direção para Leste.

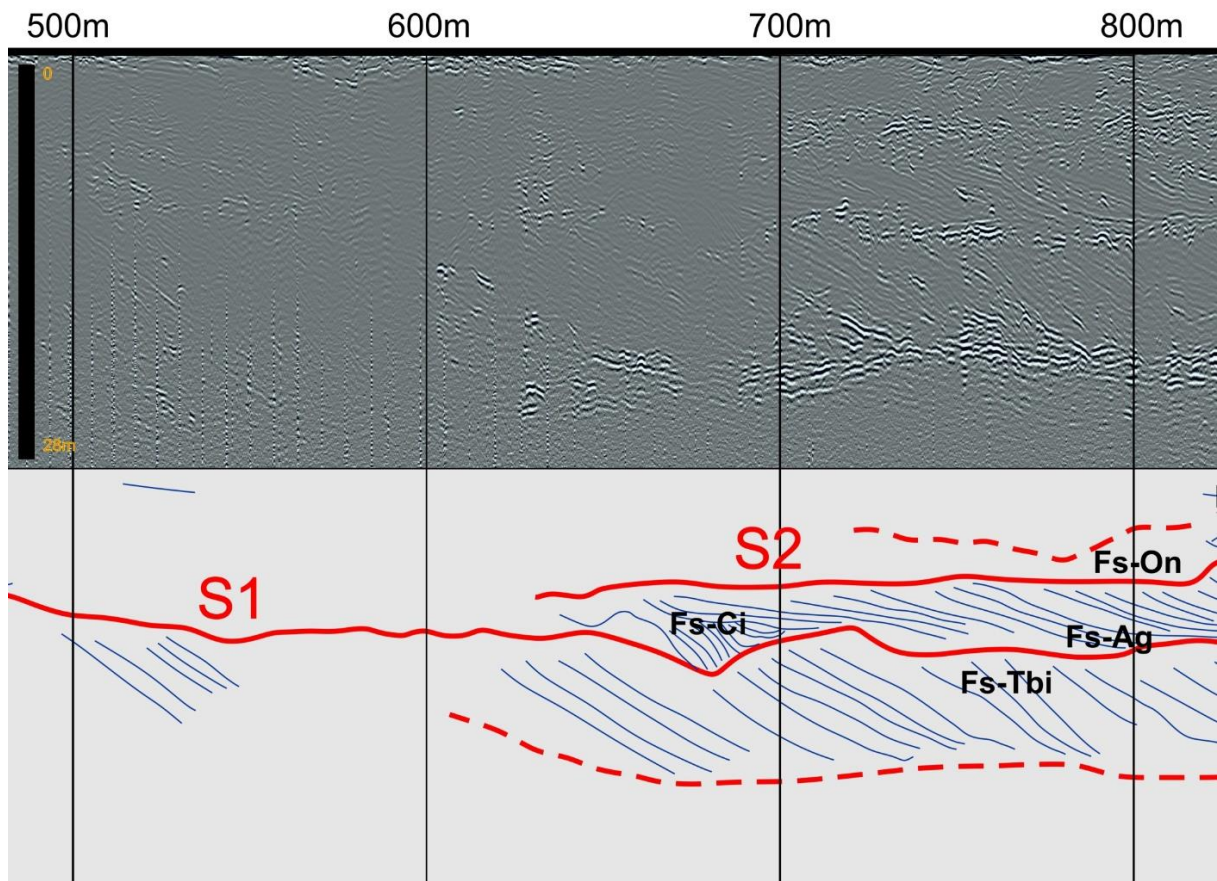


Figura 17: Radargrama 018, subparalelo a Baía de Guaratuba. Orientação da esquerda para a direita SW/NE

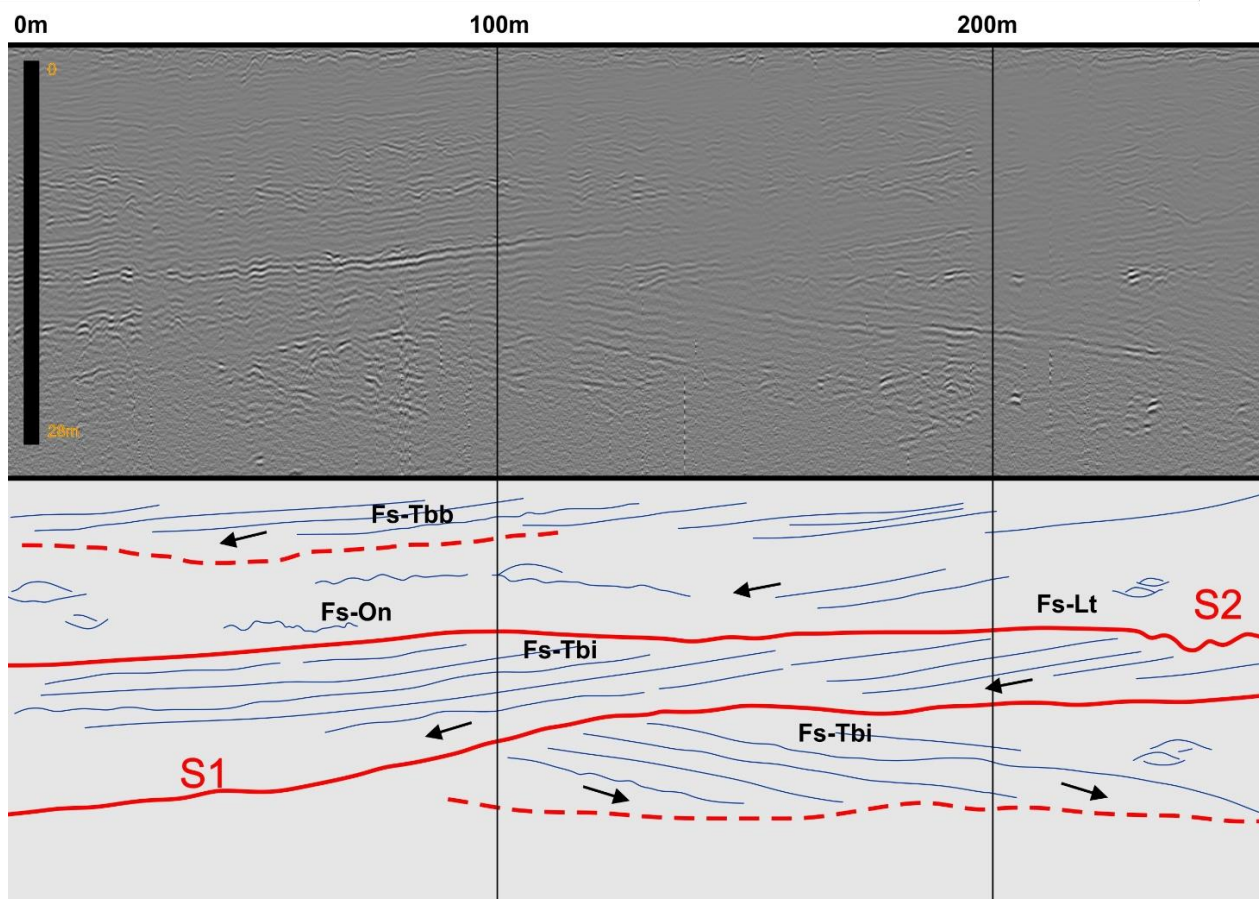


Figura 18: Radargrama 015, subparalelo a linha de costa. Orientação da esquerda para a direita SE/NW

- S2: Superfície de radar sub-horizontal, com leve mergulho para leste (figura 19). Essa superfície é marcada pela grande quantidade de paleocanais da radarfície Fs-Ci, Fs-Cc e Fs-Ch. As principais radarfácies abaixo são as Fs-Tbb, Fs-Tbi e Fs-Ag com direção de mergulho para leste. Acima as radarfácies Fs-On e Fs-Lt são as principais, além dos paleocanais descritos anteriormente.

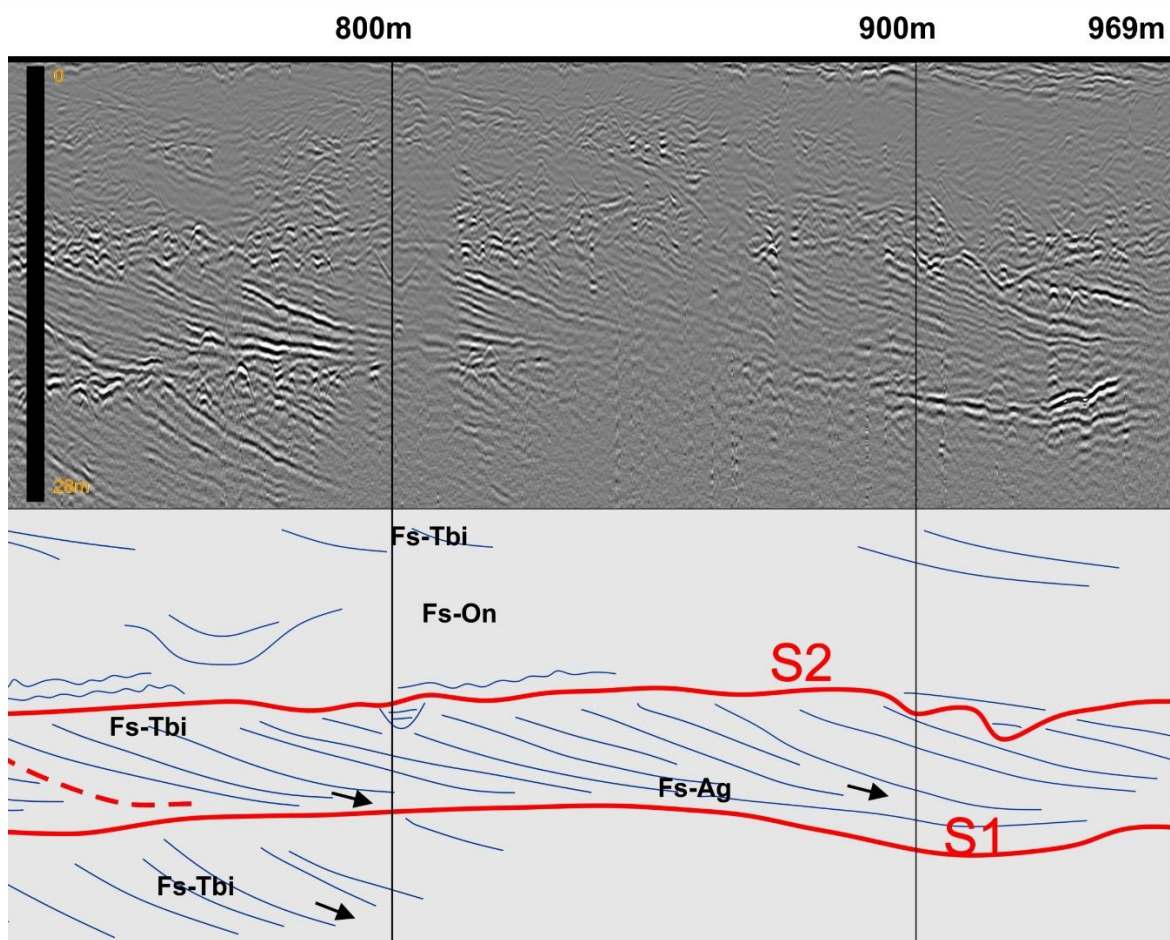


Figura 19: Radargrama 011, onde é possível observar a superfície de radar S2 com as principais radarfácies que ele separa. Orientação da esquerda para a direita SW/NE

- S3: Em menor expressão na área, e por muitas vezes descontínuo, seu mergulho é leve para Leste. Limitado em toplot na superfície, estão as radarfácies Fs-Ag, Fs-On e Fs-Lt principalmente, com mergulho para a linha de costa. Sobrejacente a superfície há a radarfície Fs-Tbb, com direção principal para Oeste, porém na radarfície 022 (única linha que contém essa superfície paralela a linha de costa), sua direção é para NE.

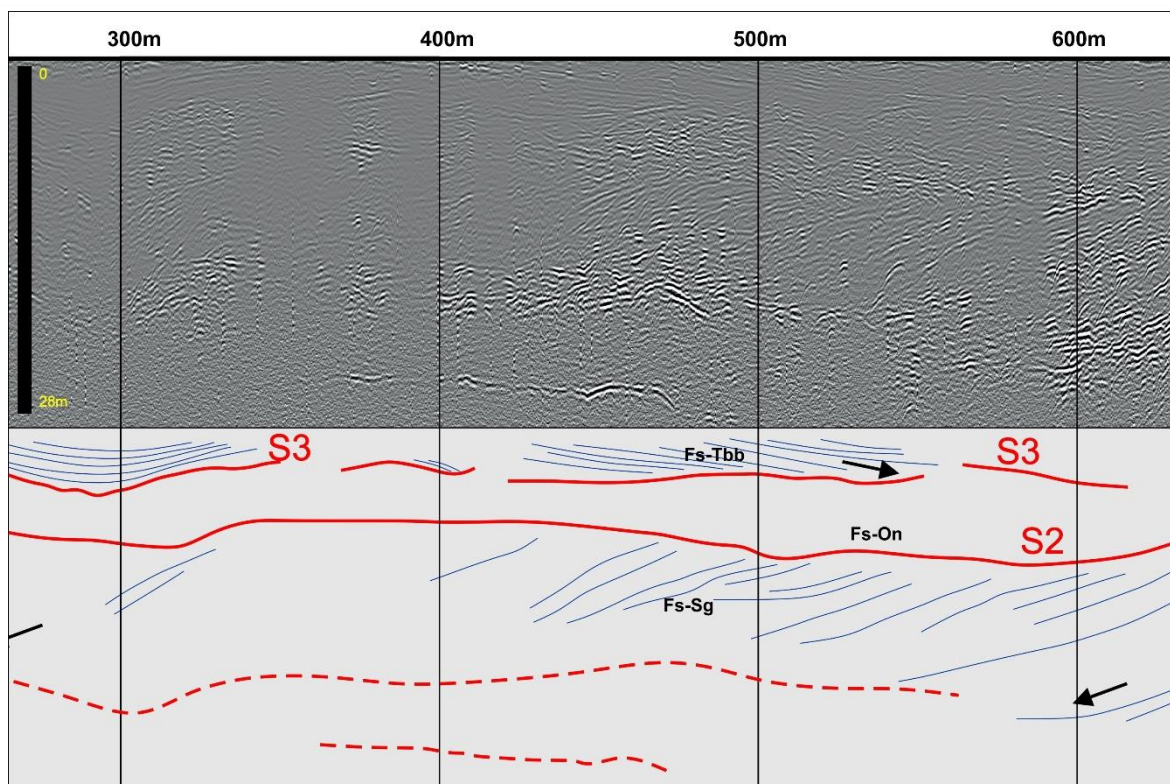


Figura 20: Radargrama 016, onde é observado a superfície de radar S3. Orientação da esquerda para a direita SE/NW

Após caracterizar cada radarfície, foi possível associa-las com base nas superfícies de radar que as limitam. Assim, utilizando da comparação de modelos levantados próximo a área de estudo, foram interpretados os seguintes ambientes deposicionais (tabela 5):

Tabela 5: Tabela resumo dos ambientes interpretados através da associação das radarfícies.

Unidades	Associação de radarfícies	Ambiente deposicional interpretado	Idades interpretadas
Unidade 1-Limitado ao topo pela S1	Fs-Tbi e Fs-Sg	Face litorânea, cordões litorâneos regressivos e canais fluviais.	Pleistoceno Superior
Unidade 2-Limitado ao topo pela S2	Fs-Sg, Fs-Tbi, Fs-Ag, Fs-Ci, Fs-Cc, Fs-Ch e Fs-On	Retrabalhamento dos cordões litorâneos e sedimentação fluvial	Holoceno
Unidade 3-Limitado ao topo pela S3	Fs-Ci, Fs-Cc, Fs-Ch, Fs-On, Fs-Lt, Fs-Sd, Fs-Sg	Paleoestuarino e sedimentação fluvial	Holoceno
Unidade-4Acima da S3	Fs-Tbb e Fs-On	Dunas frontais e processos pedogenéticos	Holoceno

5. CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

Através das dezenove linhas de GPR, foi possível interpretar as quatorze radarfácies e três principais superfícies de radar da área. Possibilitando a interpretar da evolução paleogeográfica dos depósitos sedimentares da porção sudeste da Baía de Guaratuba, próximo ao rio Mirim.

As associações das radarfácies permitiu a interpretação de quatro marcos paleogeográficos, separados por diferentes fases de transgressão-regressão do Pleistoceno e Holoceno na bacia sedimentar. As mudas no NRM, são derivadas de diversos fatores como a Transgressão Cananéia (Angulo 2004) e a Transgressão Santos (Angulo *et al* 2006).

- Unidade 1: Limitada ao topo pela superfície de radar S1, compreende os sedimentos da fase regressiva do Pleistoceno Superior, após a máxima Transgressão Cananéia (Angulo 1992). Essa unidade é definida pelas radarfácies Fs-Tbi e Fs-Sg, que foram interpretados como depósitos da face litorânea, formando cordões regressivos. Esses depósitos são marcados pelos refletores sigmoidais de baixo ângulo com mergulho para leste, por vezes retilíneos, com grande continuidade lateral, semelhantes a estratificações cruzadas acanaladas e planares de baixo ângulo. Essa associação é descrita pelos depósitos de dunas frontais, antepraia (*foreshore*) e face litorânea superior (*upper shoreface*), como descritos por Angulo (2004).
- Unidade 2: Limitado ao topo pela S2 é marcada pelas radarfácies Fs-Sg, Fs-Tbi, Fs-Ag e Fs-On. Esses sedimentos tem a característica principal os refletores em toplap na S2, tangenciando na maioria das vezes a S1, semelhantes a estratificação cruzada tabular de baixo ângulo. Por vezes são observados os paleocanais da radarfácies Fs-Ci, Fs-Cc e Fs-Ch, indicando uma intensa fase de dissecação dos cordões, durante a fase de mar baixo seguinte (Angulo 1992).

- Unidade 3: é limitada em sua base pela superfície de radar S2, onde as radarfácies de paleocanais são registradas. Essa unidade é associada depósitos paleoestuarinos, formados durante a fase de afogamento dos canais da base do S2, na Transgressão Santos. Que durante a regressão posterior a máxima transgressão é parcialmente erodida formando terraços holocênicos. Que com o avanço da regressão, são recobertos pelos sedimentos de planície costeira com cordões litorâneos (QHpc), como o descrito no mapa de Angulo (1992). Esses depósitos estão estratigraficamente acima dos depósitos paleoestuarinos, caracterizados pelas radarfácies Fs-Tbb, com ângulo de mergulho baixo para leste principalmente
- Unidade 4: ocupando profundidades mais rasas, com pouca expressividade na área e limitado na base pela superfície de radar S3. As radarfácies pertencentes a essa unidade são as Fs-Tbb, formada por refletores contínuos, limitados em downlap por uma superfície erosiva, descritas por Bogo et al (2015) como possivelmente de origem eólica. Porém, diversos refletores descontínuos são registrados nessa porção superior, podendo concluir que possivelmente, essa unidade teve alterações recentes, seja pela ocupação urbana, ou por modificações pedogenéticas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a interpretação dos depósitos costeiros foi utilizado o método de georradar (*Ground Penetration Radar – GPR*). Onde foram necessários a realização das seguintes etapas:

1. Processamento dos dados de GPR no programa *software* RADAN™ 6.6, onde foi utilizado filtros para ajustar a topografia, remoção de ruídos e ganho de sinais;
2. Conversão dos arquivos RADAN (.dzt) em imagens .bmp utilizando o rad2bmp;
3. Interpretação e construção de painéis dos radargramas com o uso do CorelDRAW X8 *Graphics Suite* 2017;
4. Agrupamento dos refletores semelhantes em diferentes radarfácies;

5. Utilizando as terminações das radarfácies para identificar as principais superfícies de radar
6. Associar as radarfácies limitadas pelas superfícies de radar, para distinguir os ambientes de sedimentação e assim interpretar a evolução estratigráfica da área de estudos.

Com os dados obtidos pode-se concluir que a evolução sedimentar da região teve início do Pleistoceno Superior, depositando sedimentos de cordões litorâneos regressivos (Unidade 1). Após essa fase, no Holoceno esses sedimentos são retrabalhados por canais fluviais que dessecam a planície durante NRM baixa (Unidade 2). Assim com o início da Transgressão Santos, esses canais são inundados, dando lugar a deposição paleoestuarina. Que por sua vez, são erodidos na regressiva posterior a máxima, sendo recobertos por sedimentos da planície costeira com cordões litorâneos (Unidade 3). Por fim uma a última unidade é associada a sedimentação eólica, com possível interferência da urbanização ou retrabalhamento pedogenética.

A necessidade de usar modelos análogos para comparação dos resultados obtidos, se dá principalmente pela ausência de dados de furo de sondagem. Porém o método se demonstrou muito eficaz para os estudos costeiros, mostrando sua versatilidade em zonas urbanas.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. D. System of continental rifts bordering Santos Basin, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 48, p. 15-26, 1976.
- ALMEIDA, F. F. M. de; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 135-150, jun. 1998.
- Angulo R. J. 1992. Geologia da planície costeira do estado do Paraná. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.

Angulo R.J. 1995. Caracterização e reavaliação da Formação Alexandra (Terciário) e de sedimentos continentais associados a vertentes no litoral do Estado do Paraná, Brasil. *Anais..., Acad. Bras. Ciências*, Rio de Janeiro, 67(4):443-463.

Angulo R. J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de geociências*, n 55, p. 25-42.

Angulo, R.J., Lessa, G.C. & Souza, M.C. 2006. A Critical Review of Mid- to Late Holocene Sea-level Fluctuations on the Eastern Brazilian Coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25:486-506.

Bigarella, J.J.; Doubek, R; Salamuni, R. Planta geológica provisória da Baía de Guaratuba. Conselho Nacional de Pesquisa. Curitiba, Paraná, v. 8, 1957.

Bogo, M. Arquitetura deposicional da barreira holocênica na região meridional da Ilha de São Francisco do Sul, SC. 134 f. (Mestrado em Geologia) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

Bigarella J. J. 1946. Contribuição ao Estudo da Planície Litorânea do Estado do Paraná. *Anais de Arquivos de Biologia e Tecnologia*, V. 1. Pág 75-111

Daniels D. J. 2004. *Ground Penetrating Radar - 2nd Edition*. In: *The Institution of Electrical Engineers*, Londres. p 1-11

FUCK, R. A. et al. Mapa geológico preliminar do litoral, da serra do mar e parte do primeiro planalto no Estado do Paraná. *Bol. Par. Geoc.*, Curitiba, v. 27, p. 123-152, 1969.

HARARI, Z. Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *Journal of Applied Geophysics*, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 43-52, 1996.

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

RIBEIRO, Marli Carina Siqueira et al. Evolução tectônica e denudacional da Serra do Mar (SE/Brasil) no limite entre o Cretáceo Superior e Paleoceno, utilizando

análises de traços de fissão e U-TH/HE em apatitas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, 2012.

Santos, Maria Eugênia de Carvalho Marchesini, and Marise Sardenberg Salgado de Carvalho. *Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís*. CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2009.

Silva, A. B. et al. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da planície costeira sul de Santa Catarina. *Gravel*, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2010.

Souza, M.C; Angulo, R.J; Passenda, L.C.R. Evolução paleogeográfica da planície costeira de Itapoá, litoral norte de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n. 2, p. 223-230, 2017.

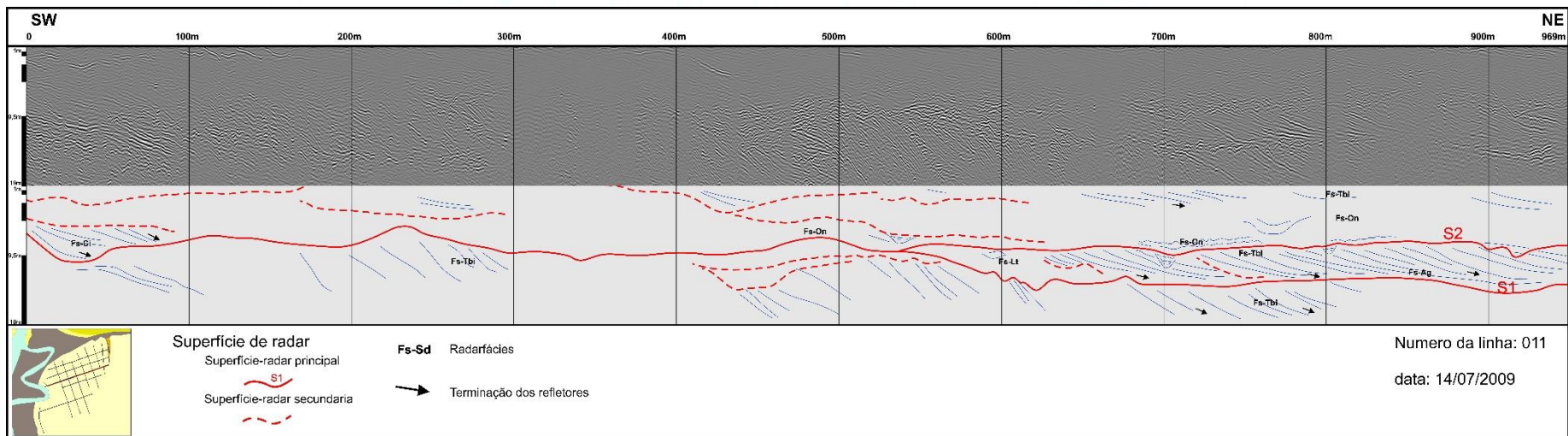
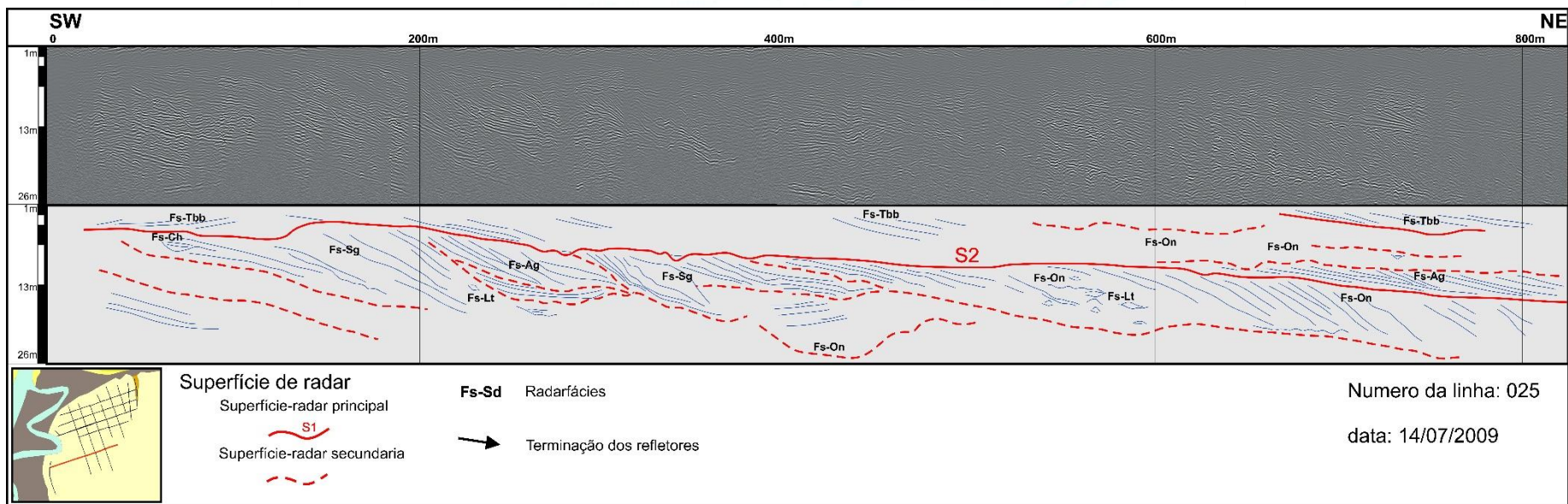
Souza M.M. 2006. *Uso do Georadar (GPR) em Investigações Ambientais*. Tese de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil- PUC-Rio

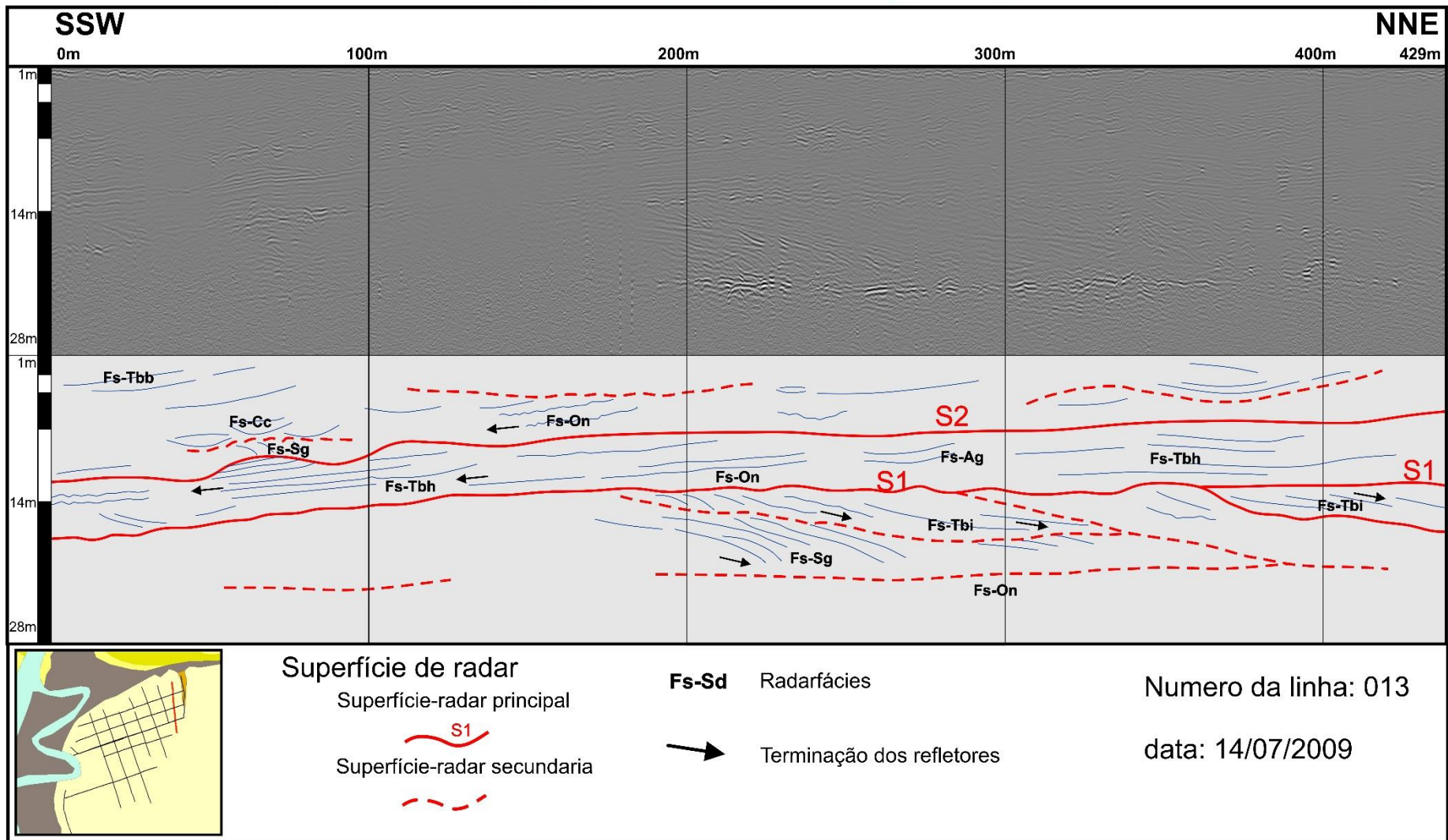
Souza L.A.P. 2006. *Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas*. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo - SP, 311 pp.

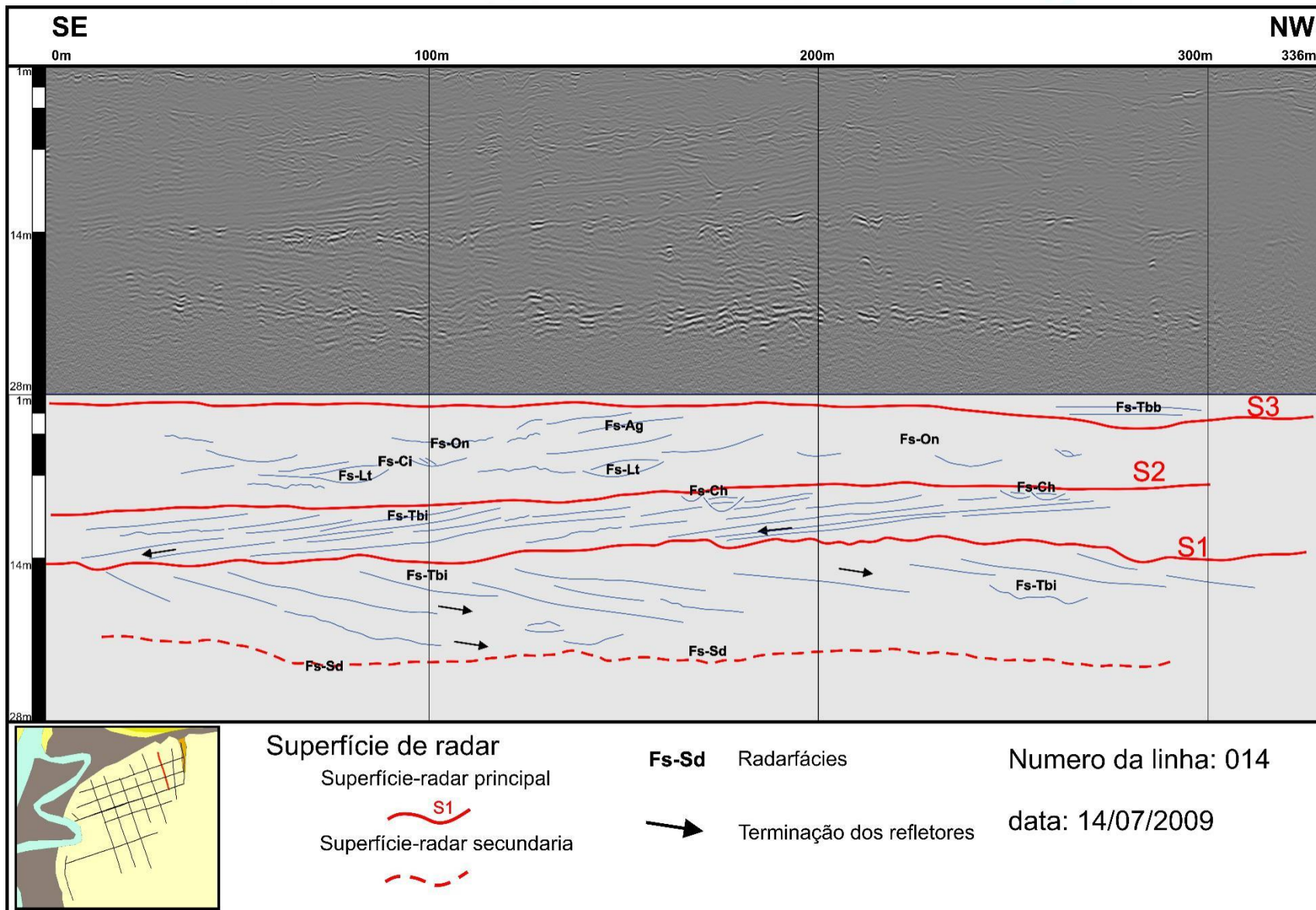
Souza M.C., Angulo R.J., Assine M.L., Castro D.L. 2012. *Sequence of facies at a Holocene storm-dominated regressive barrier at Praia de Leste, southern Brazil*. *Marine Geology*, 291-294:49-62.

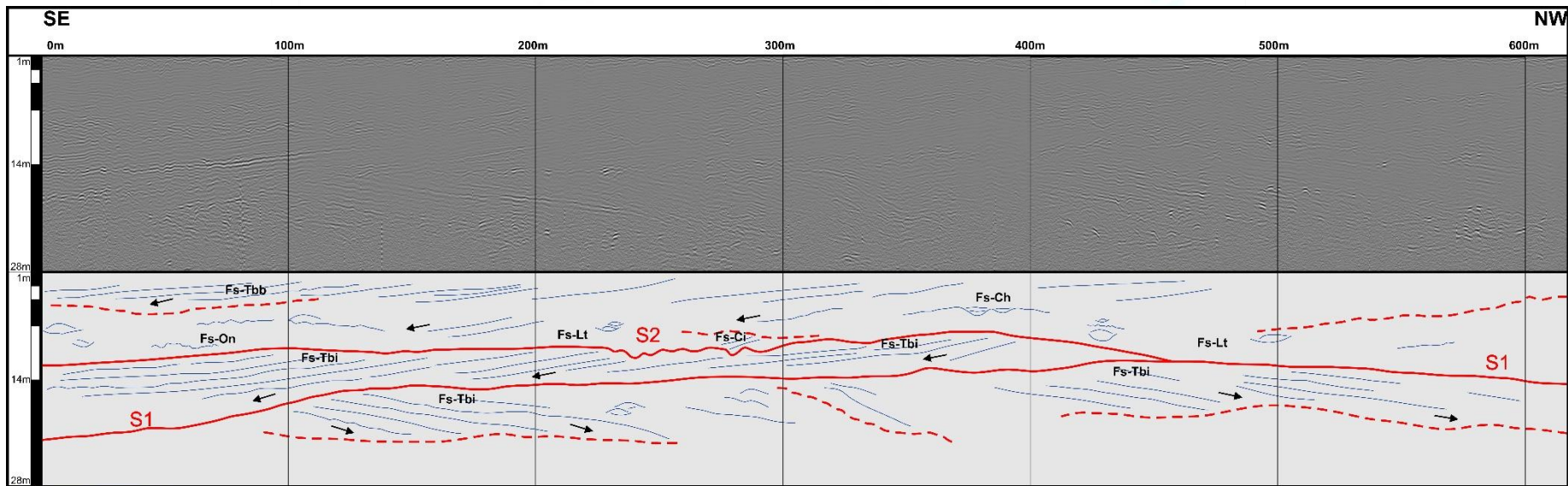
Walker R.G. (Ed.) 1979. *Facies models*. 2ed. Geological Association of Canada, Hamilton, 211 pp.

ANEXO I: Painéis com os radargramas









Superfície de radar

Superfície-radar principal

Superfície-radar secundária

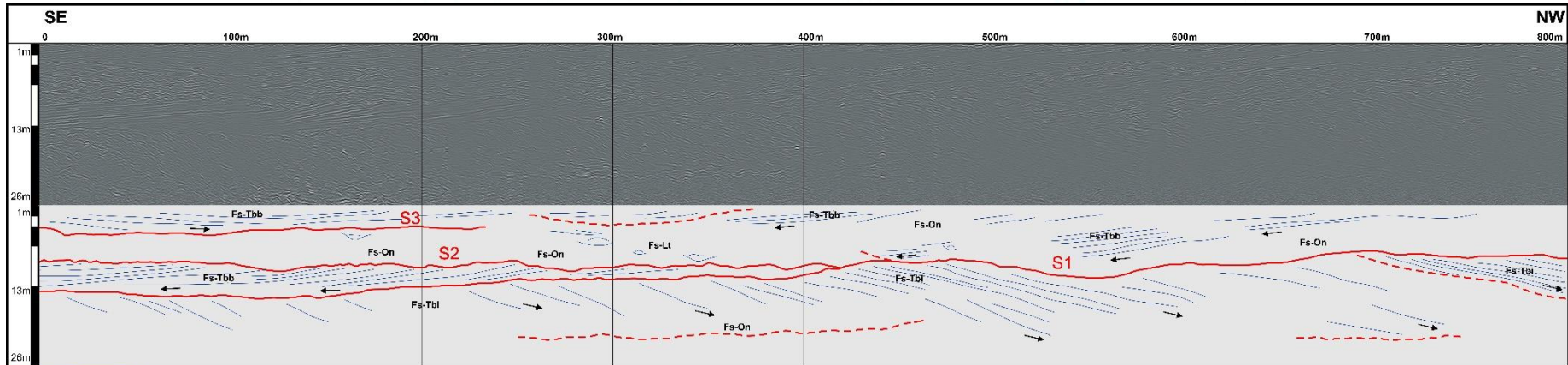


Fs-Sd Radarfácies

Terminação dos refletores

Numero da linha: 015

data: 14/07/2009



Superfície de radar

Superfície-radar principal

Superfície-radar secundária

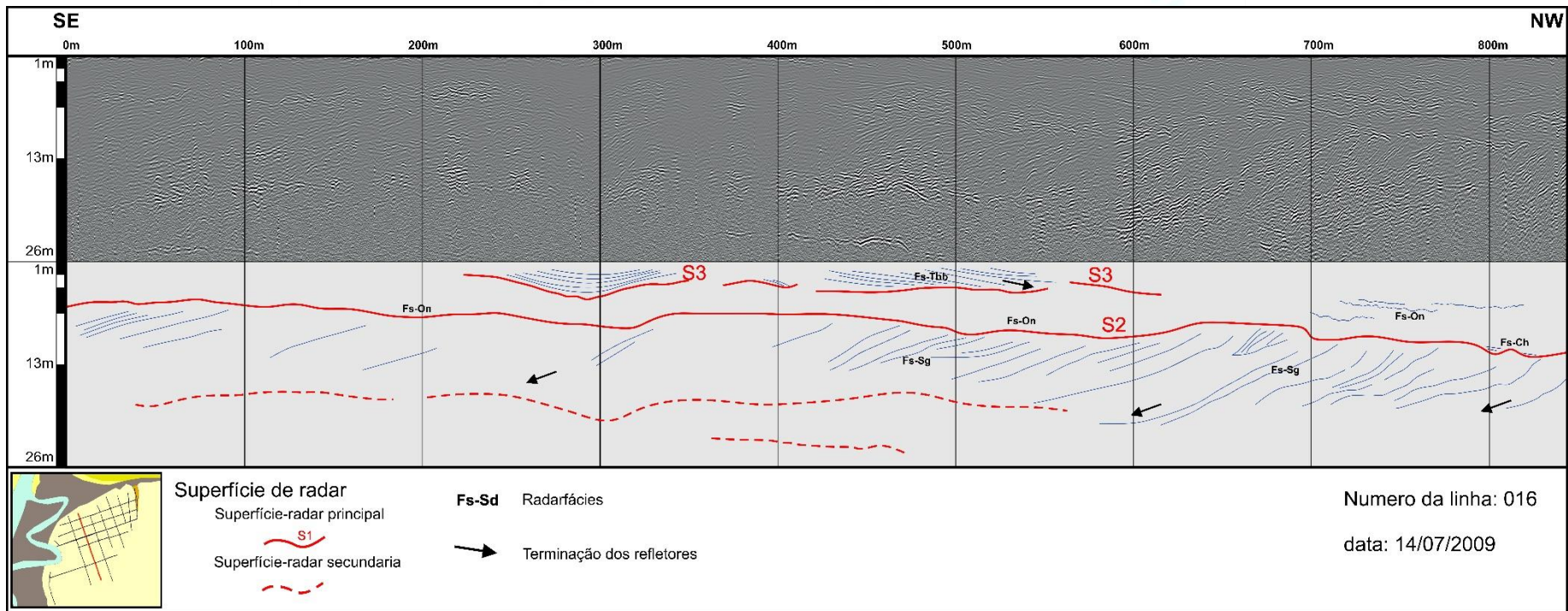


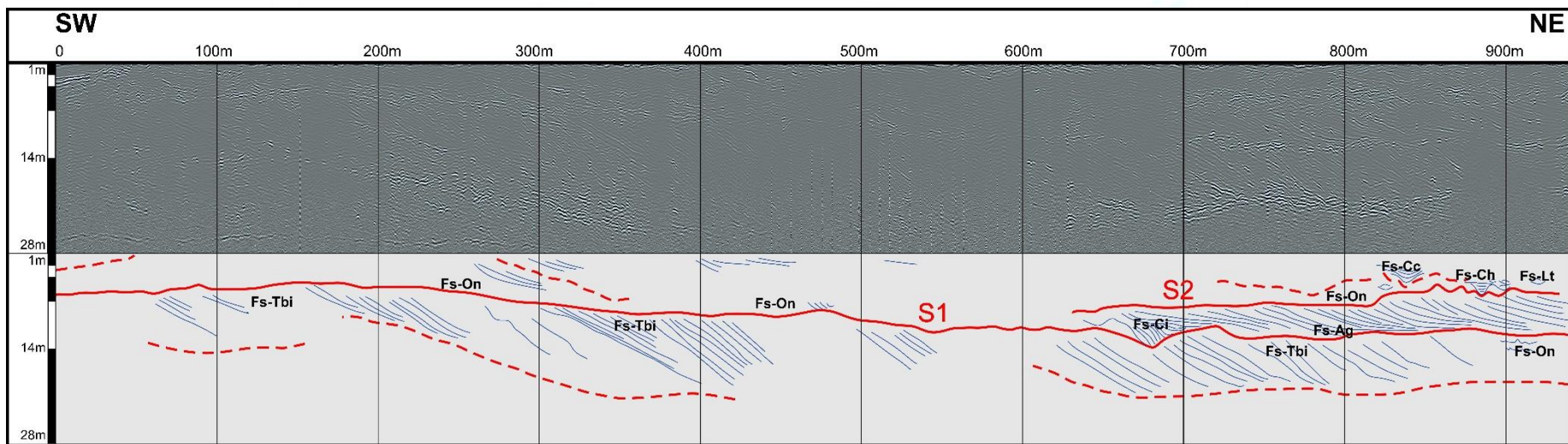
Fs-Sd Radarfácies

Terminação dos refletores

Numero da linha: 026

data: 14/07/2009





Superfície de radar

Superfície-radar principal

Superfície-radar secundaria

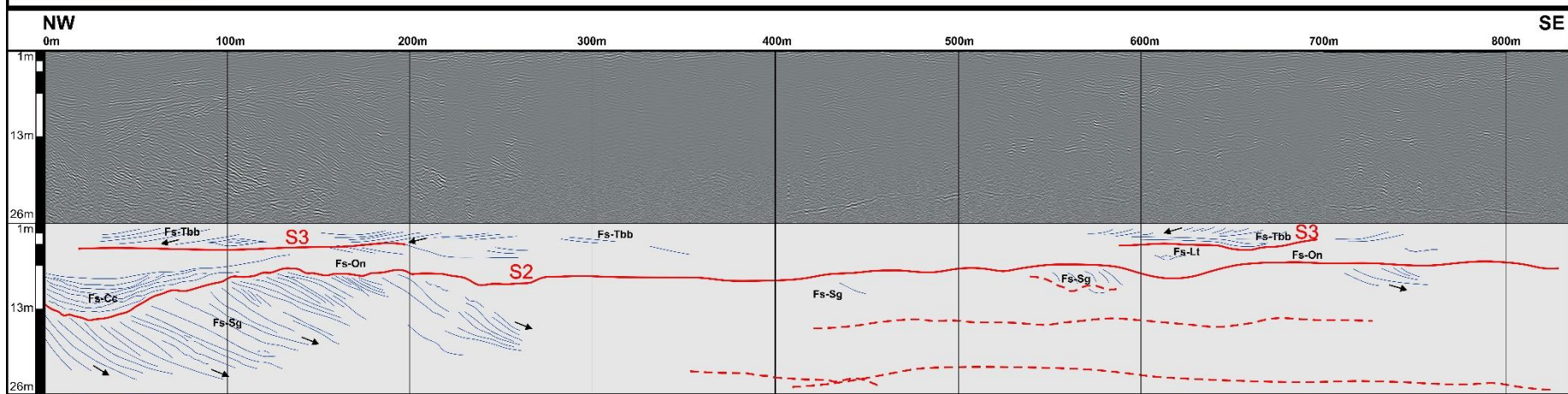


Fs-Sd Radarfácies

Terminação dos refletores

Numero da linha: 018

data: 14/07/2009



Superfície de radar

Superfície-radar principal

Superfície-radar secundaria

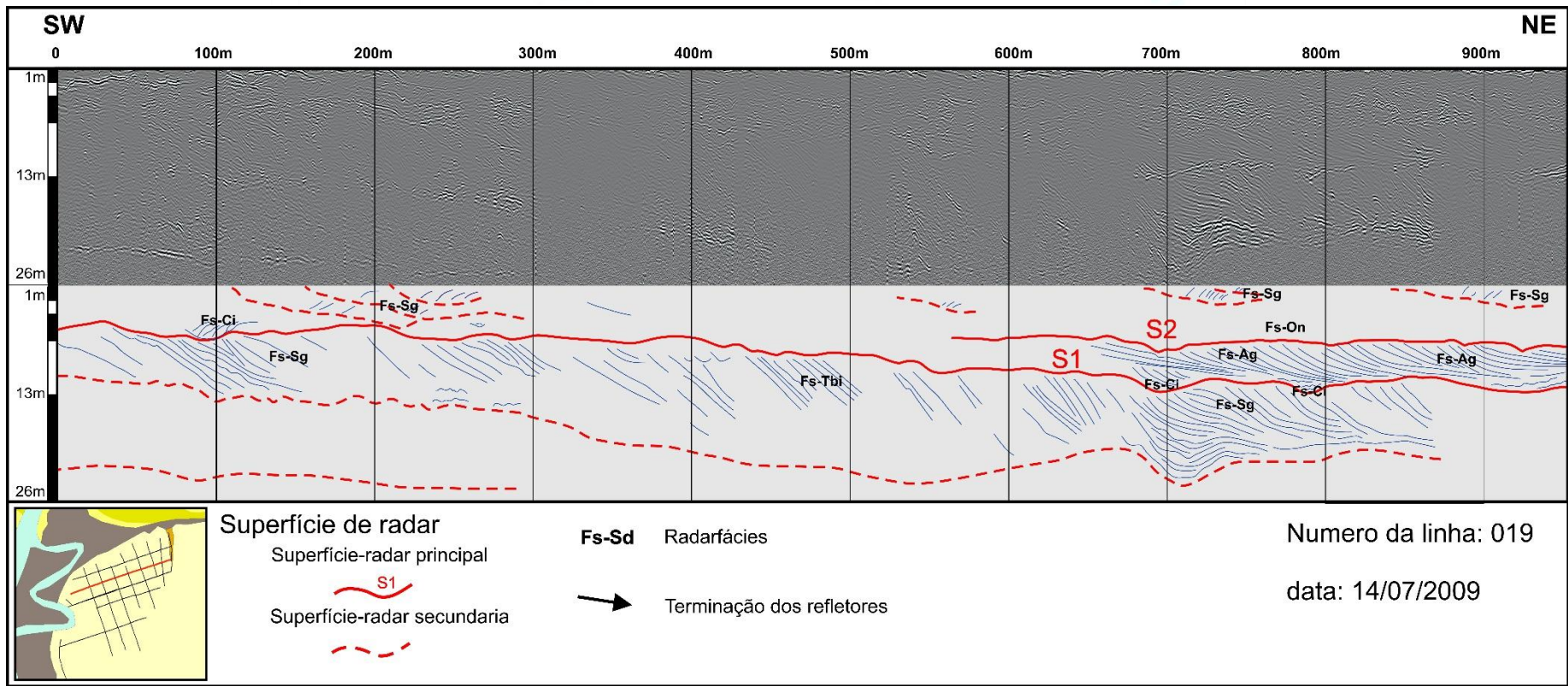


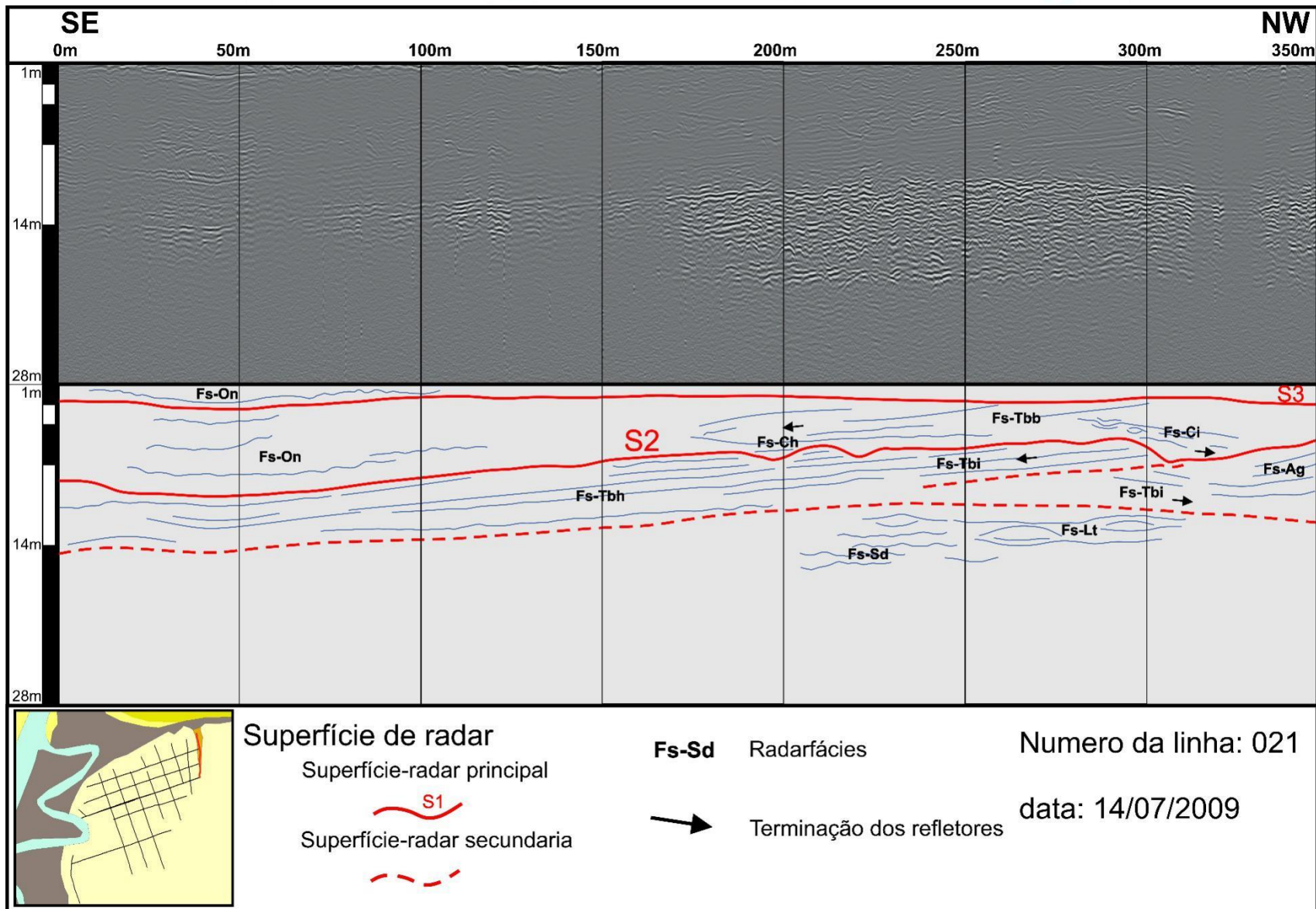
Fs-Sd Radarfácies

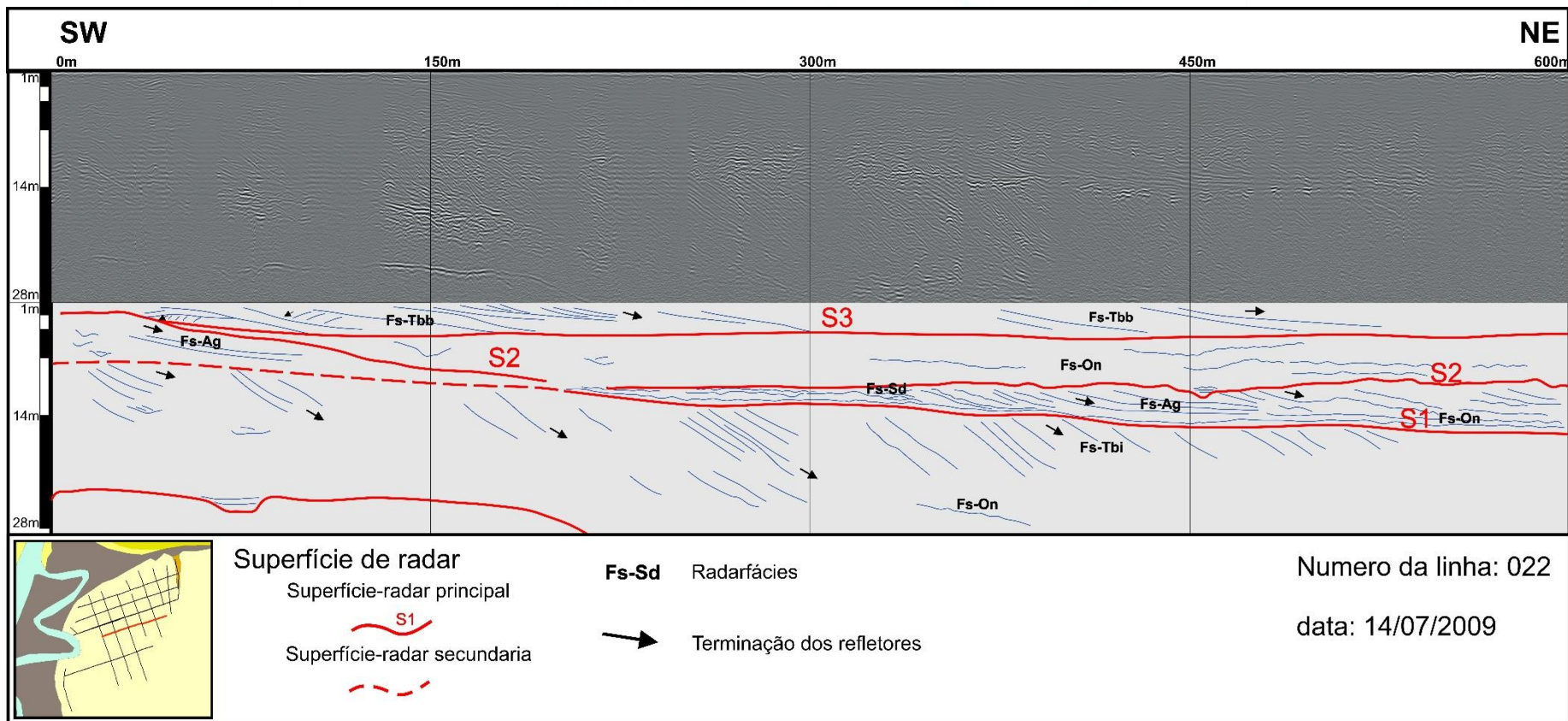
Terminação dos refletores

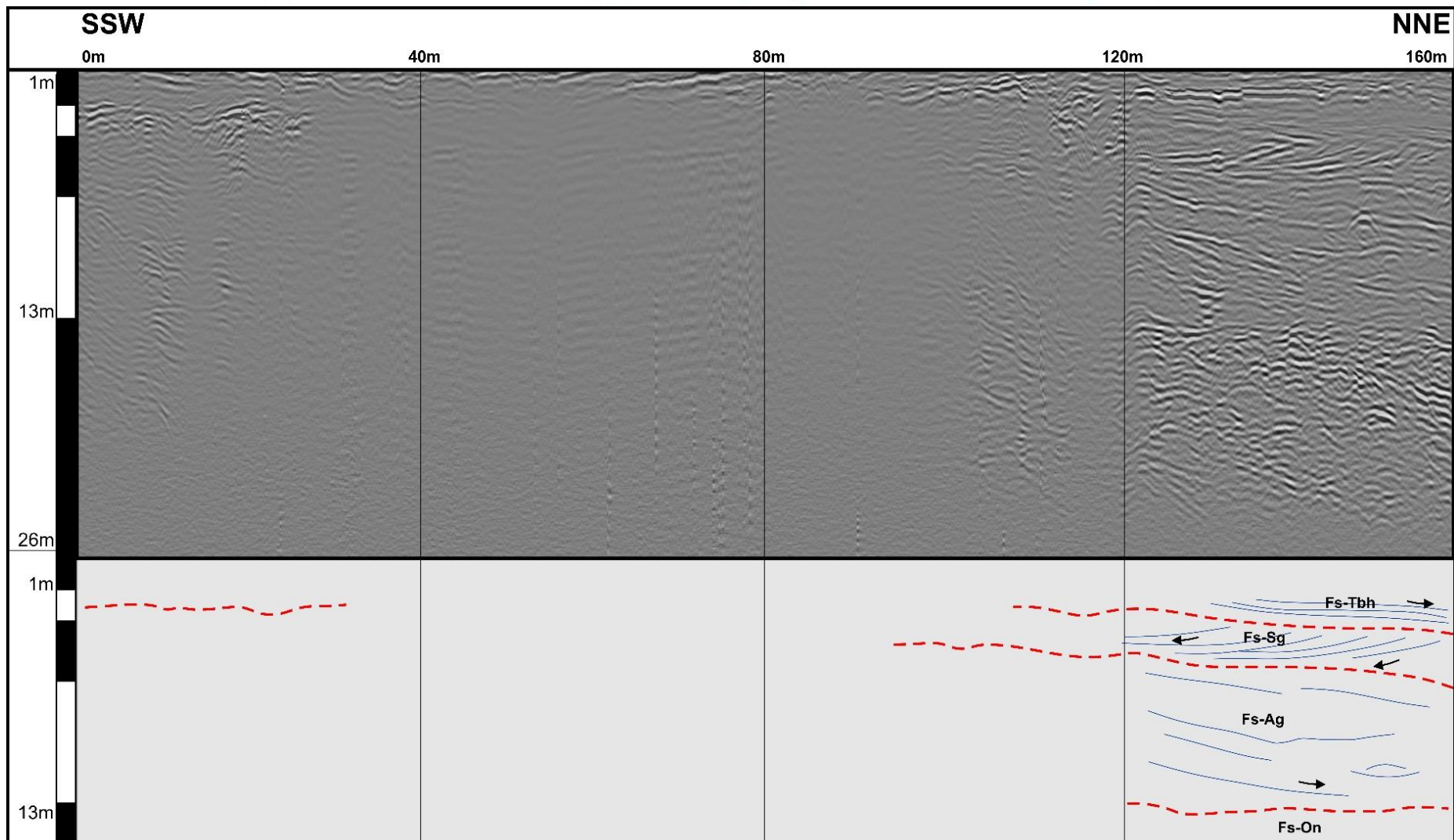
Numero da linha: 017

data: 14/07/2009









Superfície de radar

Superfície-radar principal



Superfície-radar secundaria



Fs-Sd Radarfácies

→ Terminação dos refletores

Numero da linha: 024

data: 14/07/2009