UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CAMPUS DARCY RIBEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Amanda Priscila Wolker Moraes

GEOFÍSICA APLICADA AO ESTUDO DE PALEOCANAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DA APA COSTA DAS ALGAS (ES)

BRASÍLIA
2022

Amanda Priscila Wolker Moraes

GEOFÍSICA APLICADA AO ESTUDO DE PALEOCANAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DA APA COSTA DAS ALGAS (ES)

Trabalho Final de conclusão do curso de Geofísica do Instituto de Geociências – IG pela Universidade de Brasília como exigência final para obtenção do título de Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Marco Ianniruberto.

BRASÍLIA

2022

Amanda Priscila Wolker Moraes

GEOFÍSICA APLICADA AO ESTUDO DE PALEOCANAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DA APA COSTA DAS ALGAS (ES)

Trabalho Final de conclusão do curso de Geofísica do Instituto de Geociências – IG pela Universidade de Brasília como exigência final para obtenção do título de Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Marco Ianniruberto.

Brasília, maio de 2022

BANCA
EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Ianniruberto
Universidade de Brasília
Orientador

Profª. Drª. Adriana Chatack Carmelo
Universidade de Brasília
Examinadora

Prof. Dr. Martino Giorgioni
Universidade de Brasília
Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais. Obrigada por não medir esforços para que eu e meu irmão pudéssemos ter acesso ao melhor da educação -mesmo que isso significasse morar a 1.500 km de casa.

Ao meu irmão, Gabriel, por fazer de nosso apartamento em Brasília um lar.

À minha segunda mãe, Rosa, por todo afeto e por sempre estar me esperando em casa com meu prato preferido.

À minha amizade mais duradoura, Wanessa, por mesmo de longe se fazer sempre presente.

Às amizades que fiz em Brasília, que tornaram essa caminhada muito mais leve e divertida e que quero levar para o resto da vida: Amanda, Alamim, Caio, Dani, Lany, Luisa, Aninha.

Ao meu orientador, Marco Ianniruberto, por toda paciência, atenção e conhecimento repassados ao longo desses meses. Obrigada por me fazer uma pessoa mais curiosa. Grazie per tutto ciò che hai fatto per me, maestro! Foi uma honra ser sua aluna.

A Gabriel Cordeiro pela atenção e ajuda com o manuseio do software, até nos finais de semana. Valeu, Gabigol!

A todos os cientistas que, ao longo dos anos, me fizeram ter ainda mais interesse pela geofísica e ciência marinha: grata pelo propósito e por mudar minha vida. Viva a ciência!

RESUMO

Alterações climáticas ocorridas durante o Período Quaternário fizeram com que o planeta passasse por eras glaciais e interglaciais, provocando assim flutuações do nível do mar. Em particular, o aumento do nível do mar após o Último Máximo Glacial (UMG), há cerca de 20.000 anos, provocou mudanças em regiões costeiras ao redor do mundo. No Brasil, evidências geofísicas e geológicas mostram que a plataforma continental do Espírito Santo sofreu a influência das alterações do nível do mar ao longo do Período Quaternário Tardio, culminando na formação de paleocanais, ou seja, canais inativos de rios muito antigos ou já inexistentes. A localização destes paleocanais na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (ES) foi possível através da sísmica de reflexão monocanal, método de alta resolução e que apresenta uma aquisição mais simples se comparada à sísmica multicanal, resultando em mais de 400 km de linhas sísmicas adquiridas. A fonte geradora de ondas sonoras escolhida foi o Boomer, equipamento largamente utilizado quando se trata de mapeamento de áreas sedimentares e arenosas. Através do processamento de dados, uma rede de paleodrenagem foi localizada e interpretada, sendo possível inferir um caminho por onde percorria o rio Piraquêaçu antes de ocorrer a transgressão do mar na época holocênica. Camadas sedimentares mais espessas sobre os paleocanais mais próximos a costa foram reveladas, indicando um processo de progradação na área estudada.

Palavras-chave: Paleocanais. Sísmica de reflexão. APA Costa das Algas.

ABSTRACT

Climate changes occured during the Quaternary Period caused the planet to go through glacial and interglacial eras, thus affecting the sea level. Particularly, the sea level rise succeeding the Last Glacial Maxium (LGM), around 20.000 years ago, shaped coastal regions around the world. In Brazil, geophysical and geological evidences shows that the continental shelf of Espírito Santo was also under the influence of sea level fluctuations during the Late Quaternary, resulting in the formation of paleochannels, channels of ancient rivers or rivers that no longer exists. The location of these paleochannels in the Costa das Algas Environmental Protection Area (ES) was made possible through the use of single-channel seismic reflection, a high resolution method that presents a simpler acquisition compared to multichannel, resulting in more than 400 km of acquired seismic lines. The source of sound waves chosen was the Boomer, equipment widely used when it comes to mapping sedimentary and sandy areas. Through seismic data processing, the paleodrainage was located and interpreted, revealing thicker sedimentary layers over the paleochannels closest to the coast, indicating a progradation process on the studied area. In addition, it was also inferred a possible path along which the Piraquêaçu River ran before the sea transgression during the Holocene.

Keywords: paleochannels. Reflection Seismology. Costa das Algas Environmental Protection Area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variações orbitais terrestres. 9
Figura 2 - Variação da temperatura mundial (a) e variações do nível do mar durante o Período Quaternário (b). 11
Figura 3 - Elevação do nível do mar após o Último Máximo Glacial. 12
Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo APA Costa das Algas. 14
Figura 5 - Unidades geomorfológicas do Espírito Santo. 15
Figura 6 - Foz dos rios Piraquêaçu e Piraquê-Mirim. 16
Figura 7 - Granulometria dos sedimentos encontrados ao longo da APA Costa das Algas. 17
Figura 8 - Esquema da aquisição de sísmica de reflexão monocanal. 19
Figura 9 - Exemplo de paleocanais detectados através de reflexão sísmica. 20
Figura 10 - Geo-Boomer 300-500 Geo-Resources 22
Figura 11 - Esquema de aquisição de dados de sísmica de reflexão utilizando a fonte Boomer. 23
Figura 12 - Fluxograma do processo de processamento de dados. 23
Figura 13 - Área de trabalho do GeoSuite AllWorks 24
Figura 14 - Filtro passa-banda 24
Figura 15 - Dado cru vs. Dado com aplicação de filtro passa-banda e ganho TVG. 25
Figura 16 - Dado com aplicação de filtro passa-banda e TVG versus dado com aplicação do comando Trace Equalization. 26
Figura 17 - Dado à direita com aplicação do comando Mute e marcação do paleocanal. 26
Figura 18 - Proposta de paleodrenagem do rio Piraquêaçu a partir da marcação dos paleocanais e numeração de linhas. 27
Figura 19 - Linha 1 28
Figura 20 - Linha 2 28
Figura 21 - Linha 3 29
Figura 22 - Linha 4 29
Figura 23 - Linha 5 30
Figura 24 - Linha 6 30
Figura 25 - Linha 7 31
Figura 26 - Linha 8 31
Figura 27 - Linha 9 32
Figura 28 - Linha 10 32
Figura 29 - Linha 11 33
Figura 30 - Linha 12 33
Figura 31 - Linha 13 34
Figura 32 - Linha 14 34
Figura 33 - Linha 15 35
Figura 34 - Linha 16 35
Figura 35 - Linha 17 36
Figura 36 - Linha 18 36
Figura 37 - Linha 19 37
Figura 38 - Linha 20 37
Figura 39 - Linha 21 38

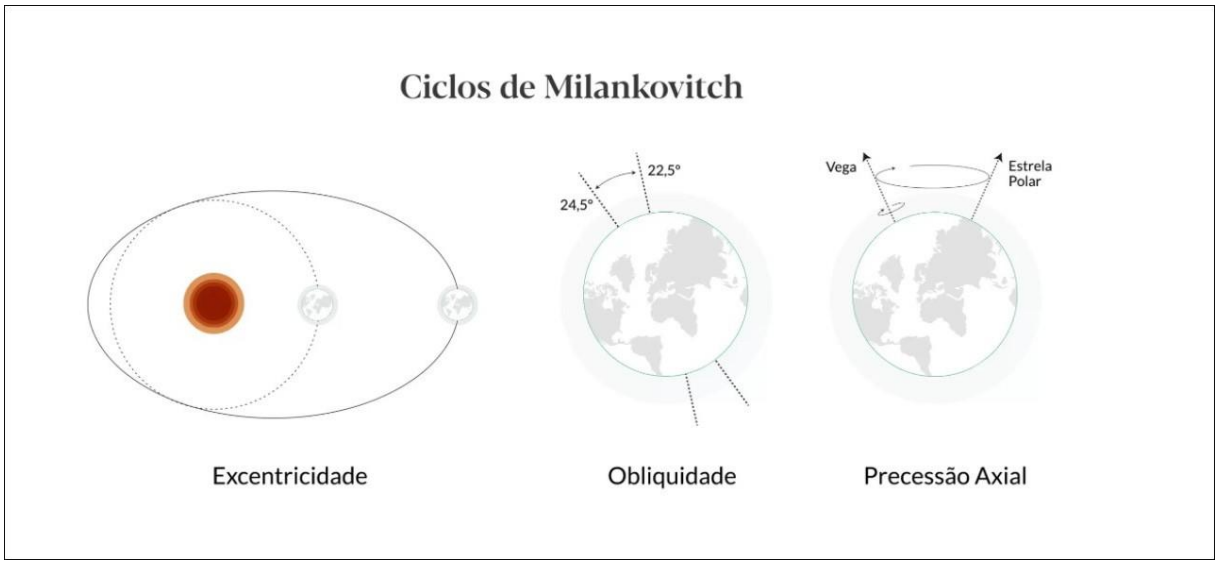
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
1.1 Objetivos 13
2 ÁREA DE ESTUDO 14
2.1 Contexto geológico-estrutural 15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 18
3.1 Sísmica de Reflexão 18
3.2 Formação e importância de Paleocanais 20
3.3 Aplicação do Método Sísmico Para a Detecção de Paleocanais 21
4 METODOLOGIA 21
4.1 Aquisição dos Dados Geofísicos 21
4.2 Processamento de Dados 23
5 RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO 27
6 CONCLUSÃO 39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 39

1 INTRODUÇÃO

O Período Quaternário iniciou-se há 2,58 milhões de anos (Quaternary Research Association, 2022) e é o último período geológico. É dividido entre as épocas do Pleistoceno (2,58 milhões de anos antes do presente – 11.700 anos antes do presente) e Holoceno (11.700 anos antes do presente – dias atuais), sendo um de seus traços mais marcantes as grandes oscilações climáticas. Acredita-se que tais oscilações ocorreram em razão da desaceleração do movimento de placas tectônicas durante o Pleistoceno, de modo que a taxa de consumo de sedimentos de calcário no manto fosse reduzida. Este processo contribuiu para a atenuação do metamorfismo, fazendo com que vulcões emitissem menos CO2, enfraquecendo o efeito estufa. Outro fator importante foi a movimentação do continente antártico para latitudes mais altas, aumentando a taxa de radiação solar emitida de volta para o espaço, além da influência de variações na órbita terrestre (Ciclos de Milankovitch, figura 1), causando mudanças na incidência de radiação solar nos hemisférios (WALLACE & HOBBS, 2006). Estes fatores fizeram com que a Terra passasse por períodos glaciais, com temperaturas extremas e grandes superfícies cobertas por gelo, e períodos interglaciais, apresentando temperaturas mais amenas, próximas ao que o planeta apresenta atualmente.

Figura 1 - Variações orbitais terrestres, um dos fatores responsáveis pelas variações climáticas ocorridas no Quaternário.

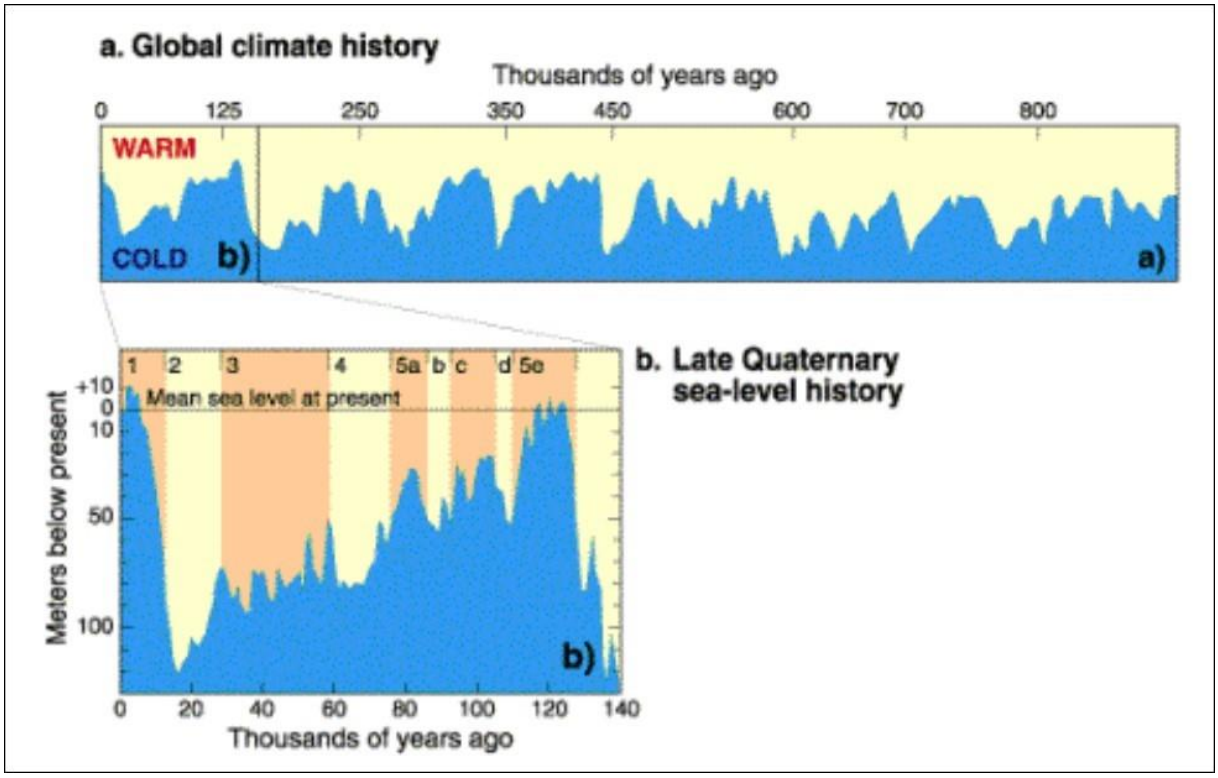


Fonte: Sociedade Científica (2020).

A figura 1 representa os Ciclos de Milankovitch, ciclos orbitais que relacionam a variação de temperatura e alterações climáticas (alternância entre eras glaciais e interglaciais) com alterações na órbita terrestre. A excentricidade representa a razão entre a distância máxima e a distância mínima entre a Terra e o Sol e tem período de 100.000 anos. A obliquidade é o movimento de inclinação do eixo de rotação da Terra, ocorrendo a cada 41.000 anos, e, por fim, a precessão axial é entendida como o deslocamento circular efetuado pelo planeta em torno do eixo de sua eclíptica (Física II, apostila USP) isto é, por uma mudança na orientação do eixo de rotação da Terra, que ocorre a cada 26.000 anos, aproximadamente. Para se ter uma ideia, o movimento é semelhante ao de um pião em desequilíbrio.

Durante o período de transição entre o Pleistoceno e o Holoceno, no hemisfério Norte, há cerca de 12.000 anos, houve um período de resfriamento após um período relativamente quente que durou por volta de 800 anos. Como consequência das diversas variações climáticas ocorridas, grandes eventos de glaciação e degelo resultaram em flutuações do nível do mar (figura 2). De acordo com K. Lambeck *et al.* (2014), a principal causa da mudança no nível do mar durante as eras glaciais foi a troca de água entre o gelo e o oceano: em períodos de glaciação, a água era sequestrada por mantos de gelo, e, portanto, o nível do mar diminuía; durante eventos de degelo, a água retornava ao estado líquido, provocando aumento do nível do mar. Estas variações foram responsáveis por diversas mudanças em regiões costeiras a nível mundial, moldando-as através da deposição de sedimentos, erosão, inundação e/ou exposição de plataformas continentais. Por exemplo, durante eventos de degelo, a elevação do nível do mar inundou terras que hoje são plataformas continentais e vales se tornaram estuários, como o Rio de la Plata, entre a Argentina e o Uruguai (Daniel F. Belknap, 2020).

Figura 2 - Variação da temperatura mundial (a) e variações do nível do mar durante o Período Quaternário (b).



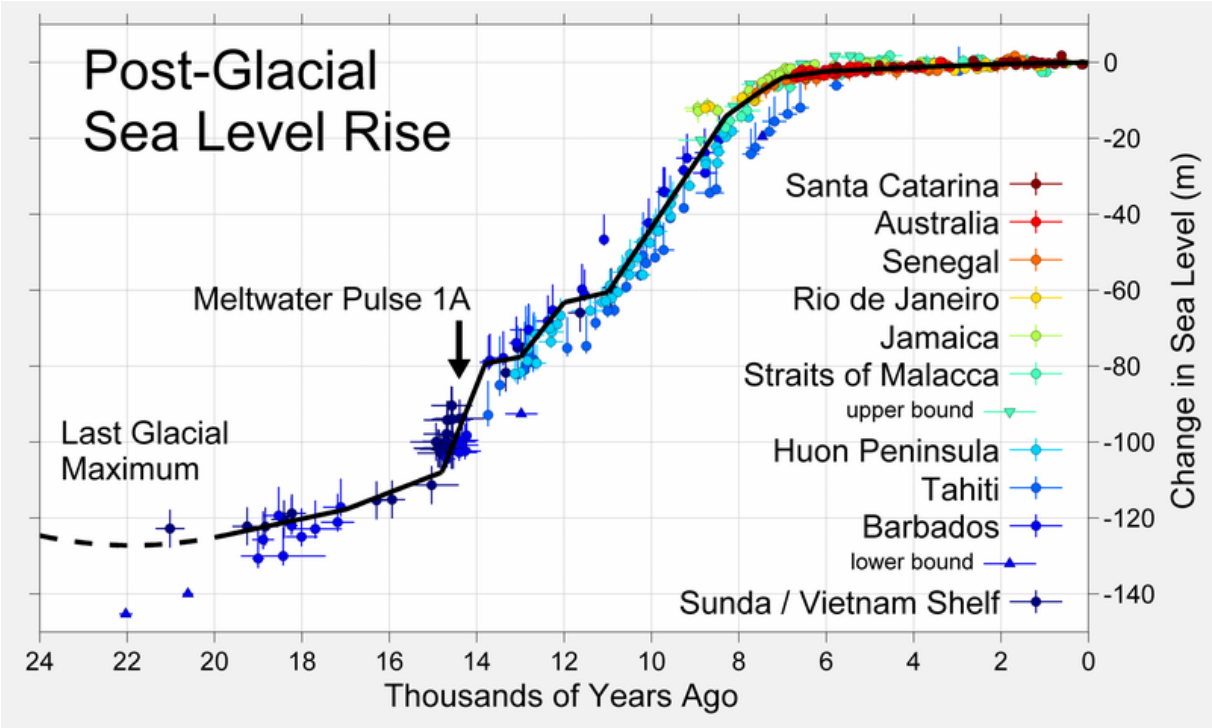
Fonte: Seminário USP.

A figura 2 explicita a influência de um dos ciclos de Milankovitch no histórico do clima global: a excentricidade. Em (a), o gráfico apresenta uma ciclicidade de 100.000 anos e observa-se a variação de temperatura seguindo os ciclos, ou seja, com a variação orbital, altera-se também a quantidade de radiação solar incidida planeta. Em (b) é apresentado o histórico das flutuações do nível do mar durante o Quaternário tardio. É notável a queda do nível do mar em torno de 18.000-20.000 anos atrás, período do Último Máximo Glacial, onde a água fora sequestrada pelos mantos de gelo, e a subida do nível do mar após este período até os dias atuais, onde tem-se temperaturas mais amenas. É interessante correlacionar os dois gráficos, onde os períodos mais quentes coincidem com nível alto do mar, enquanto períodos mais frios coincidem com nível mais baixo.

Diversos estudos foram desenvolvidos com o intuito de avaliar a relação entre a alternância de temperatura e a mudança no nível do mar a título mundial devido ao derretimento/formação de geleiras, expansão termal ou contração da água do mar, conhecido como nível eustático, durante o Último Máximo Glacial, e a evolução sedimentar de zonas costeiras. Num destes estudos, Fleming *et al.* (1998) considera locais “far field” (bacias

oceânicas distantes das margens originais dos mantos de gelo, onde os efeitos da glacioeustasia são menores) ao redor do mundo e sinaliza que, ao curso do Último Máximo Glacial, o nível eustático do mar era cerca de 125 ± 5 metros abaixo do nível atual (figura 3), consequência da água sequestrada pelos mantos de gelo, e desde os últimos 7.000 anos apresenta relativa estabilidade. Em lugares como Flórida e Bahamas, que possuem plataforma continental composta por carbonato, áreas expostas foram erodidas durante períodos de baixa no nível do mar. À medida que este nível subiu novamente, estas mesmas áreas um dia erodidas foram inundadas, formando sistemas de cavernas e grutas. Em Norfolk, Reino Unido, J. Andrews, I. Boomer, I. Bailiff *et al.* (2000) destacam que a elevação do mar durante o Holoceno fez com que ambientes como lamaçal marinho e sapal fossem desenvolvidos entre 7.000 e 6.000 prévios aos dias atuais, além de outros processos de formação da costa.

Figura 3 - Elevação do nível do mar após o Último Máximo Glacial.



Fonte: Rohde (2012), based on data from Fleming *et al.* (1998), Fleming (2000), Milne *et al.* (2005).

A figura 3 apresenta dados sobre a evolução do nível do mar ao redor do mundo. É observado no gráfico que, ao longo do Último Máximo Glacial, o nível do mar era cerca de 125 metros abaixo do atual, e, após este período, apresentou um aumento contínuo até atingir uma certa estabilidade há 7.000 - 6.000 anos, condizente com o aumento da temperatura mundial.

No Brasil, L. Martin *et al.* (1996) avaliou a região central do Brasil, que apresentou três altas do mar durante do Período Quaternário, permitindo que a reconstrução paleogeográfica fosse capaz relacionar a mudança de nível do mar e a formação das planícies costeiras brasileiras. Uma destas mudanças foram evidenciadas no estado do Rio de Janeiro, na bacia do Rio Una, onde foram encontradas camadas constituídas de fragmentos de conchas e bolachas do mar (A. Da Cunha *et al.*, 2017). Estudos mostram que a presença destas camadas bioclásticas indicam uma transgressão máxima do mar durante o Holoceno, há 5000 anos (Cunha *et al.*, 2012). Ainda na região sudeste, Castro *et al.* (2014) detectou registros de baixa do nível marinho a partir de rochas de praia que são capazes de marcar a linha de costa do passado, além da composição sedimentar de paleopraias do período de transição entre o Pleistoceno e o Holoceno. Entre 5.500-4.500 anos antes do presente, o nível relativo do mar atingiu um máximo, com altura de 2.8 metros acima do nível atual e, ao ocorrer a transgressão, terraços marinhos foram formados, moldando a zona costeira. No Rio Grande do Sul, J. Weschenfelder *et al.* (2019) aponta a existência de paleocanais que também foram formados a partir de transgressões marinhas ocorridas durante este período. Na região Nordeste, no estado do Rio Grande do Norte, datações de radiocarbono em organismos como corais e conchas evidenciaram que a curva do nível do mar indicou pelo menos uma oscilação após a alta durante o Holoceno, ocorrido por volta de 5.000 anos antes do presente (F. Bezerra *et al.*, 2003); estudos também mostram que ao longo da costa da mesma região, especificamente na Bahia, ocorreu o maior nível marinho atingido durante o período (Bittencourt *et al*., 1979).

No estado do Espírito Santo, local de interesse para este estudo, variados trabalhos foram publicados (Cetto *et al*., 2007, Suguio *et al*., 2015) com o intuito de avaliar qual o impacto das transgressões marinhas ocorridas durante o Quaternário na evolução de planícies costeiras e analisar vestígios de feições formadas neste mesmo período, que hoje encontram-se submersas.

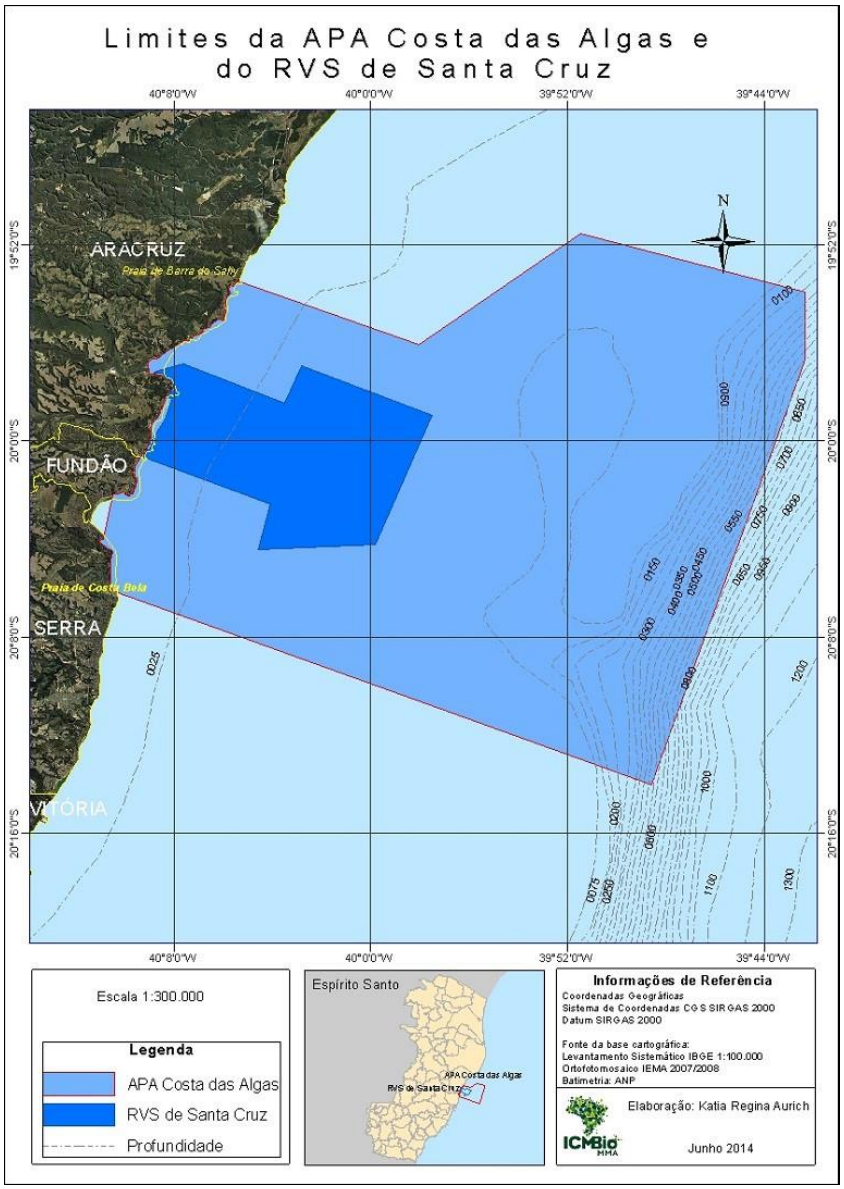
1.1 Objetivos

Estudo dos paleocanais ao longo da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas, na plataforma continental do estado do Espirito Santo, visando correlacionar com as variações do nível do mar no após o Último Máximo Glacial; proposta de reconstrução da paleodrenagem rio Piraquêaçu.

2 ÁREA DE ESTUDO

O local de interesse compreende a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas (figura 4), situada na plataforma continental do Espírito Santo, região costeira das cidades de Aracruz, Fundão e Serra. Possui uma área de 115.001,92 hectares e coordenadas 19° 57′ 14″ S, 40° 8′ 58″ W. Criada em 17 de junho de 2010 e administrada pelo ICMBio, possui o intuito de conservar o ambiente marinho e costeiro, além de deter uma das maiores extensões de banco de algas do mundo.

Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo APA Costa das Algas.

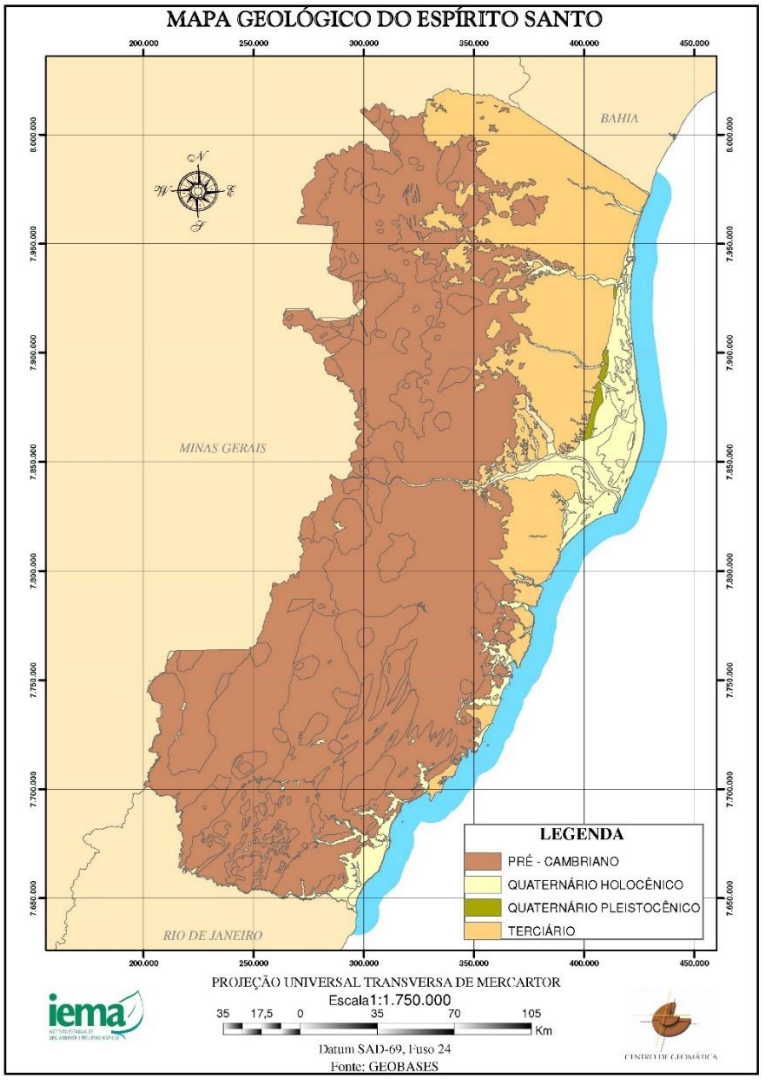


Fonte: ICMBio-MMA.

2.1 Contexto geológico-estrutural

Martin *et al*. (1996) divide os depósitos Quaternários da costa do Espírito Santo (figura 5) em duas unidades geomorfológicas: uma área de montanhas do Pré-Cambriano e um platô Terciário originado a partir de depósitos continentais da Formação Barreiras, sendo este último de interesse para o estudo aqui apresentado. A parte da Formação Barreiras que se estende até o oceano é geralmente reconhecida pela presença de vales e assoalho plano, assoreado por sedimentos do Quaternário. Estes depósitos possuem formatos descritos por Albino (2003) como de tabuleiros e falésias, podendo ser separados da linha de costa, pelo delta do Rio Doce ou falésias próximas ao litoral. A área de estudo é formada quase que em sua totalidade por sedimentos do Quaternário Holocênico bem distribuídos, como evidenciado na figura 5.

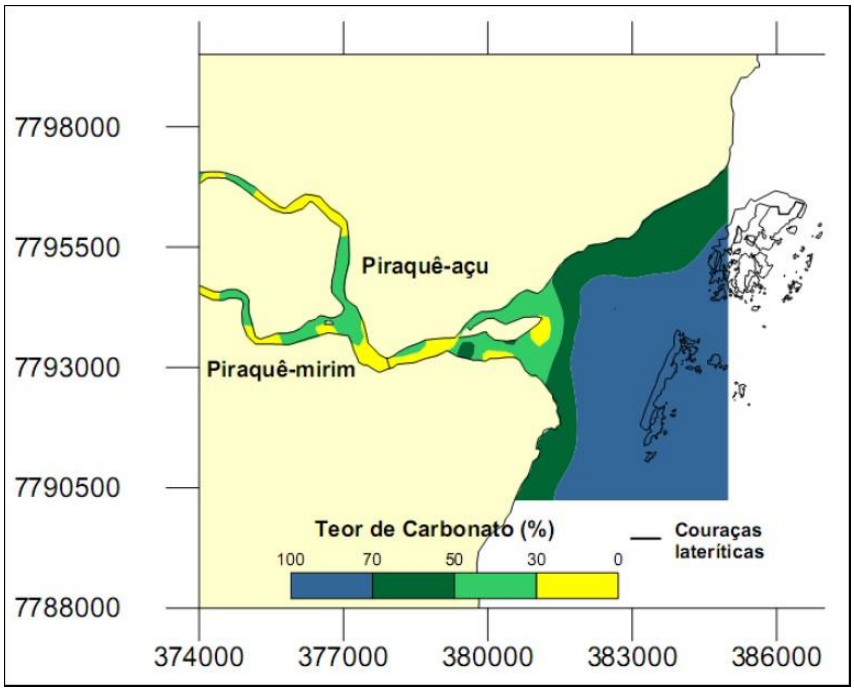
Figura 5 - Unidades geomorfológicas do Espírito Santo.



Fonte: IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo.

Em particular, a foz estuarina dos rios Piraquêaçu e Piraquê-Mirim (figura 6) é composta por sedimentos carbonáticos superficiais (Franco *et al.*, 2011).

Figura 6 - Foz dos rios Piraquêaçu e Piraquê-Mirim.

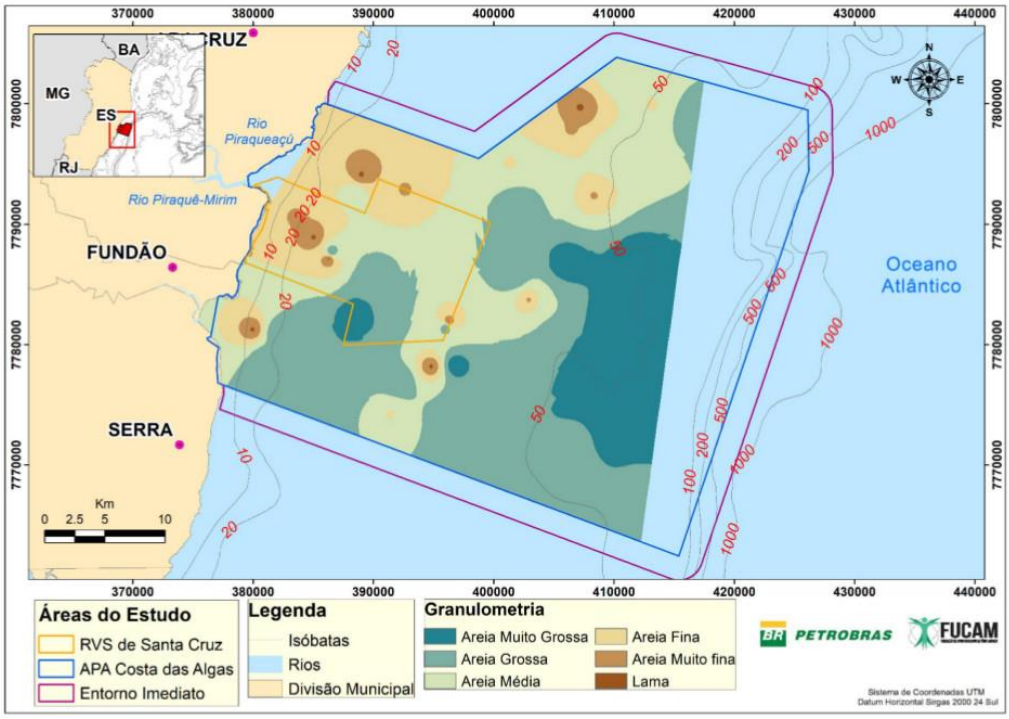


Fonte: Franco *et al.*, 2011.

A plataforma continental é definida como a porção do fundo oceânico que margeia os continentes, com profundidade de aproximadamente 200 metros em geral, tendo sua morfologia definida principalmente por processos de sedimentação resultantes de eventos de regressão e transgressão do mar ocorridos durante o Período Quaternário, condições climáticas, fornecimento de sedimentos e outros processos físicos (Bastos *et al*., 2015). A plataforma continental do Espírito Santo tem sua quebra em 80 metros e, ao ser analisada por Albino (2003) desde a desembocadura do Rio Doce até a cidade de Vila Velha (ES), concluiu-se que a plataforma é majoritariamente constituída por sedimentos biogênicos carbonáticos decorrentes da fragmentação de conchas e esqueletos de organismos marinhos. Estes sedimentos siliciclásticos são espalhados ao longo da faixa litorânea na plataforma rasa; por outro lado, nas proximidades da foz do Rio Doce, localizado ao norte da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas, é comum encontrar depósitos de lama e areia. O restante da plataforma é composto principalmente por sedimentos bioclásticos, lama, areia fina e areia grossa, sendo a parte externa constituída predominantemente por leitos de rodolitos (Bastos et al., 2015) (figura 7), formando uma morfologia irregular. O local de estudo, que engloba a foz dos rios Piraquêaçu

e Piraquê-Mirim, também é associado a paleocanais e fundo oceânico composto por sedimentos mais consolidados.

Figura 7 - Granulometria dos sedimentos encontrados ao longo da APA Costa das Algas.



Fonte: ICMBio-MMA.

Os rodolitos são algas calcárias, isto é, são organismos que sequestram o carbono em circulação da água do mar e o solidificam ao seu redor, gerando carbonato de cálcio. Isto torna os rodolitos importantes agentes do ciclo do carbono, além de indicadores de paleoambientes (Amado-Filho *et al.*, 2012). Cabe aqui tratar do desastre de Mariana (MG), ocorrido em 5 de novembro de 2015, onde o rompimento da barragem de Fundão fez com que rejeitos de mineração seguissem as redes de drenagem até chegar à plataforma continental, onde lama, água e dióxido de ferro foram despejados no mar (Espindola *et al.*, 2019). Visto que o crescimento de rodolitos é um processo lento e afetado principalmente por processos de sedimentação, o desastre de Mariana pode ter prejudicado o ecossistema da área estudada, apesar de não ser possível afirmar o verdadeiro impacto devido à falta de estudos prévios (Holz *et al.*, 2020).

Estudos foram conduzidos com o intuito de entender a morfologia da região costeira do Espírito Santo (Martin *et al.*, 1996) e da plataforma continental do Espírito Santo (Franco *et al.*, 2011) que acabaram por indicar a presença de paleocanais na região. Para os fins deste estudo, Weschenfelder (2010) explica que a formação destes paleocanais se dá, além de outros processos sedimentológicos, a partir de eventos de regressão. As superfícies um dia inundadas

são então expostas, incluindo vales e canais formados por sistemas fluviais, sofrendo os efeitos da erosão. Após a ocorrência de um novo evento, desta vez transgressivo, os canais são inundados e preenchidos, identificados por sísmica de reflexão através das superfícies de descontinuidade sismo-deposicional.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sísmica de Reflexão

A sísmica de reflexão é um dos métodos mais aplicados em prospecção geológica e pesquisas devido à alta resolução, precisão e capacidade de penetração no solo (TELFORD, 1990). É um dos meios de investigar o subsolo e analisar processos que influenciam a geomorfologia do assoalho oceânico (Kopp & Crutchley, 2018).

O método de reflexão sísmica consiste na geração artificial de ondas sonoras por uma fonte, onde um transdutor transforma um sinal elétrico em pulso acústico. São utilizadas informações de ondas P, visto que ondas S são ondas de cisalhamento e, portanto, não se propagam no meio líquido. Estas ondas viajam pela coluna de água, atingem o subsolo e refletem em camadas geológicas que possuem características distintas, como densidade e velocidade das ondas do meio. Este contraste entre as camadas é conhecido como impedância acústica, que é representada pela equação:

$$Z = V \cdot \rho$$

Onde Z representa a impedância acústica, V a velocidade da onda P de cada camada e ρ a densidade de cada camada. A impedância acústica dos sedimentos de fundo é determinada por sua mineralogia, porosidade e teor de água. Quanto maior for o contraste entre as camadas, maior é a refletividade entre duas áreas, como a primeira entre a coluna de água e a camada sedimentar, por exemplo. Esta refletividade é chamada de “coeficiente de reflexão” e é dado por:

$$\mathrm{RC} = \frac{(Z2 - Z1)}{(Z2 + Z1)}$$

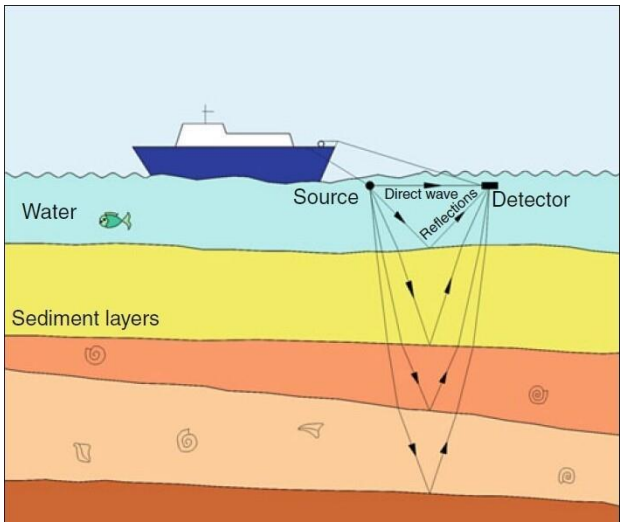
Onde RC é o coeficiente de reflexão, Z1 e Z2 as impedâncias acústicas das camadas 1 e 2, respectivamente. Dada uma região onde o sedimento é mais denso e mais compacto, menos poroso e que apresenta menor teor de água, a energia da onda acústica refletida será maior, visto que o contraste nesse caso será mais forte. O contrário também é verdade: quanto mais poroso,

saturado e de densidade próxima, mas pouco maior que a água, a energia da onda refletida será menor (A. Neto, 2001).

O tempo que uma onda leva para viajar da fonte para uma superfície refletora e de volta para o receptor é medido. Conhecidas as velocidades das ondas na coluna de água e em subsuperfície, é possível calcular a profundidade da superfície refletora através deste tempo duplo de percurso, conhecido como “two way travel time” ou TWTT (REYNOLDS, 1997). As informações de velocidades, variações de amplitude das ondas, frequências, fases e formas das ondas refletidas são então coletadas pelo receptor, onde o transdutor converte os pulsos acústicos (diferenças na pressão detectada na chegada) em pulsos elétricos. Estas informações são então processadas e interpretadas, tornando possível inferir informações relativas às propriedades físicas das rochas e geologia do subsolo, como falhas, mergulho de camadas e outras estruturas geológicas e presença de paleocanais, por exemplo.

Os levantamentos de sísmica de reflexão podem ser conduzidos utilizando configurações multicanal ou monocanal. Na utilização do multicanal, diversos canais, também chamados de receptores, são dispostos em localizações distintas, com distâncias fonte-receptor (ou offsets) diferentes (Tóth, 2011). Em caso de monocanal, configuração mais simples, utiliza-se apenas um receptor e a distância fonte-receptor é constante e praticamente nula, configurando uma situação de offset zero (figura 8). Neste tipo de disposição, são somadas as respostas dos hidrofones num único canal com o intuito de melhorar a razão sinal-ruído. Aqui, cada tiro fornece informação de apenas uma localidade em subsuperfície. Trata-se de uma configuração geralmente usada quando se exige penetração rasa, porém alta resolução.

Figura 8 - Esquema da aquisição de sísmica de reflexão monocanal.



Fonte: Tóth, T. (2011). Single and Multichannel Seismics. Encyclopedia of Earth Sciences Series.

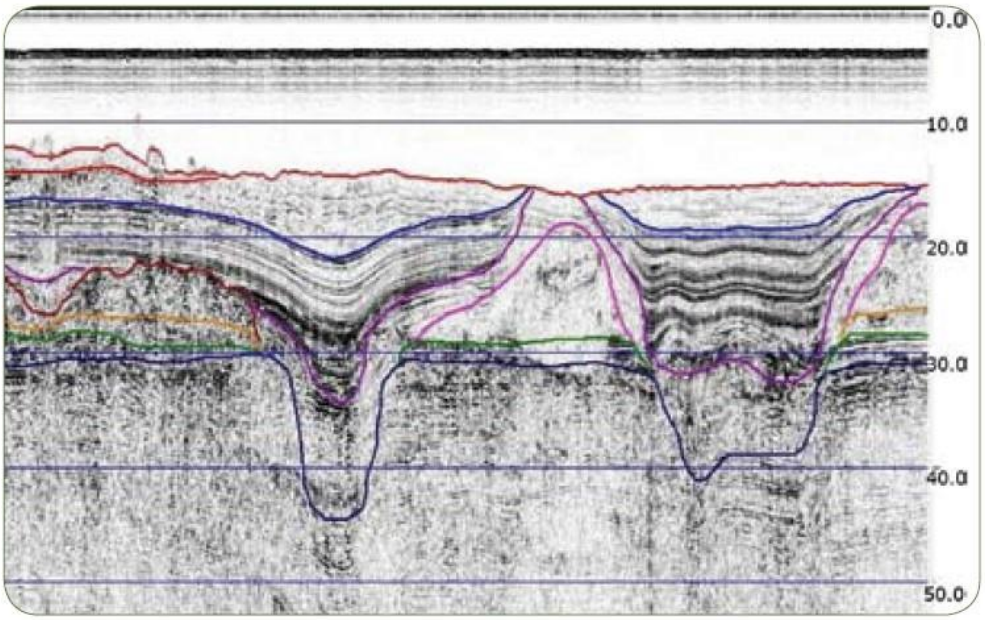
Um dos exemplos de fonte sísmica é o Boomer, utilizado para a aquisição de dados deste estudo. A utilização da fonte Boomer ou outras fontes que trabalham com faixa de alta frequência já foi realizada para diversos outros estudos, principalmente onde há a necessidade de enxergar camadas mais rasas e estruturas geológicas submersas.

3.2 Formação e importância de Paleocanais

De acordo com Ritambhara K *et al.* (2021), paleocanais (figura 9) são definidos como canais inativos de um rio antigo ou já inexistente, preenchidos ou semipreenchidos por sedimentos mais novos, consolidados ou não. R. Chopra *et al.* (2004) destaca que a formação destes se dá a partir de atividades tectônicas, antropogênicas, geomorfológicas e/ou mudanças climáticas, no caso deste estudo, ocorridas no Quaternário Tardio.

Paleocanais podem ser depósitos de minerais pesados, conhecidos pela geologia econômica como placeres, formados a partir de processos de transporte de sedimentos provocados por ações de ondas, correntes e flutuações do nível do mar ocorridos durante o Período Quaternário (Silva, 2000). Além da importância econômica, o estudo de paleocanais permite o entendimento de condições climáticas passadas, se tornando uma chave para estudos sobre mudanças climáticas e aquecimento global. Para o presente estudo, além da análise de modelos de sequência estratigráfica, é possível, através da detecção e continuidade de paleocanais, inferir o antigo sentido da rede de drenagem do rio Piraquêaçu.

Figura 9 - Exemplo de paleocanais detectados através de reflexão sísmica.



Fonte: Ramsey and Miller, 2010.

3.3 Aplicação do Método Sísmico Para a Detecção de Paleocanais

O uso da fonte Boomer para a detecção de paleocanais se faz presente em diversos estudos e diferentes regiões. Nos Estados Unidos, Colman *et al.* (1990) utilizou fonte do tipo Boomer para localizar paleocanais do rio Susquehanna, na Baía de Chesapeake, formados durante um período de baixa no nível do mar e que foram preenchidos posteriormente num evento transgressivo; Na Nova Zelândia, foi utilizada a sísmica de reflexão de alta resolução, também com fonte Boomer, para a localização de cânions submarinos e estudos sobre a evolução do cânion Waitaki, no sudeste do país (Abbey, 2017). No Brasil, onde o objetivo era detectar e estudar a evolução de paleocanais na região costeira do Rio Grande do Sul, Weschenfelder *et al.* (2019) recorreu ao uso de sísmica de reflexão de alta frequência. No estado do Rio de Janeiro, na Baía de Guanabara, Marino *et al.* (2013) utilizou o Boomer com configuração monocanal para o mapeamento de paleocanais fluviais afogados devido a variações no nível do mar. Em São Paulo, na Baía de Trapandé, Rodrigues *et al*. (2019) fez o uso da sísmica de reflexão de alta resolução, tendo como fonte o Boomer, aliada à batimetria para a reconstrução da paleotopografia da Baía, onde foram identificados paleocanais e depósitos aluviais do Quaternário.

A partir de análises bibliográficas nota-se que a sísmica de reflexão faz parte de estudos cujo o propósito é detectar feições geológicas submersas rasas, onde é necessária a alta resolução, boa penetração em subsolo, simplicidade de levantamento e um bom mapeamento de áreas sedimentares e arenosas, tornando coerente o uso do aparelho para a reconstrução de paleopaisagens. Por estas razões, se fez o uso do Boomer para aquisição de dados do presente estudo, que tem por objetivo a localização de paleocanais na plataforma continental do Espírito Santo.

4 METODOLOGIA

4.1 Aquisição dos Dados Geofísicos

Para a aquisição de dados foi utilizada a fonte Boomer. Edgerton e Hayward (1964) descrevem o Boomer como uma combinação de transdutor, fonte de alimentação eletrônica, banco de armazenamento de capacitor e um dispositivo de gatilho. O Boomer é uma fonte sísmica de funcionamento eletromagnético e é constituído por uma bobina plana e uma placa de metal coberta por uma membrana de borracha. Os capacitores descarregam uma alta tensão através da bobina, resultando numa forte corrente que percorre a placa. Esta corrente faz com

que a placa seja repelida pela bobina; deste modo, o deslocamento intenso da placa atua como uma fonte geradora de ondas sonoras (Carlson, 2011).

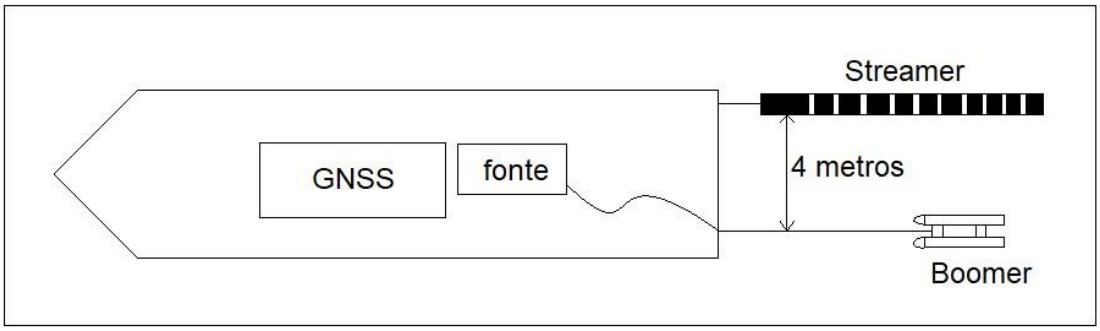
Durante a campanha foi utilizado o Geo-Boomer 300-500 da Geo-Resources® (figura 10). O aparelho opera com frequência entre 2000 e 4000 Hz e possui penetração de até 100 ms abaixo do fundo oceânico, além de ser usado em águas de profundidade de até 150 metros.

Figura 10 - Geo-Boomer 300-500 Geo-Resources utilizado para a aquisição de dados sísmicos.

Fonte: ficha técnica.

A aquisição foi realizada utilizando um offset de 4 metros entre o Boomer e o Streamer (hidrofones), como representado na figura 11. A fonte alimentadora do Boomer pode controlar a potência utilizada entre 100 – 500 J.

Figura 11 - Esquema de aquisição de dados de sísmica de reflexão utilizando a fonte Boomer.

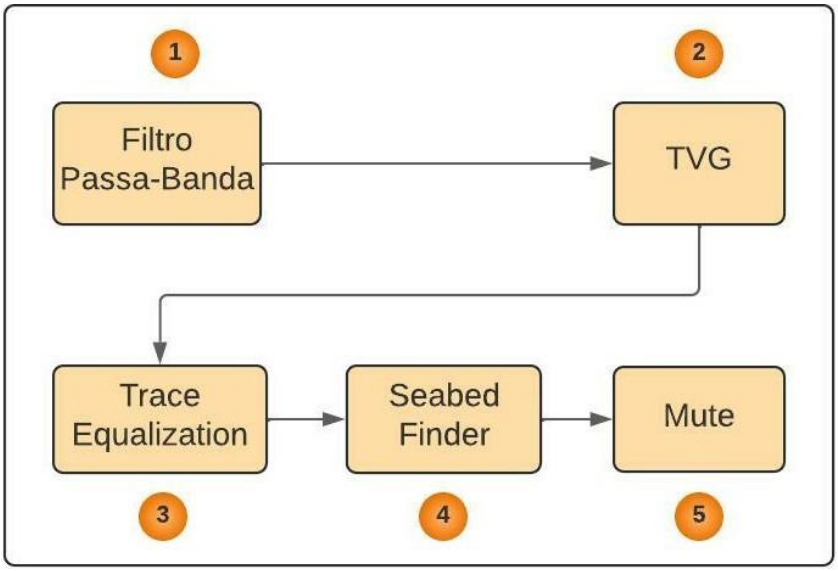


Fonte: autoria própria.

4.2 Processamento de Dados

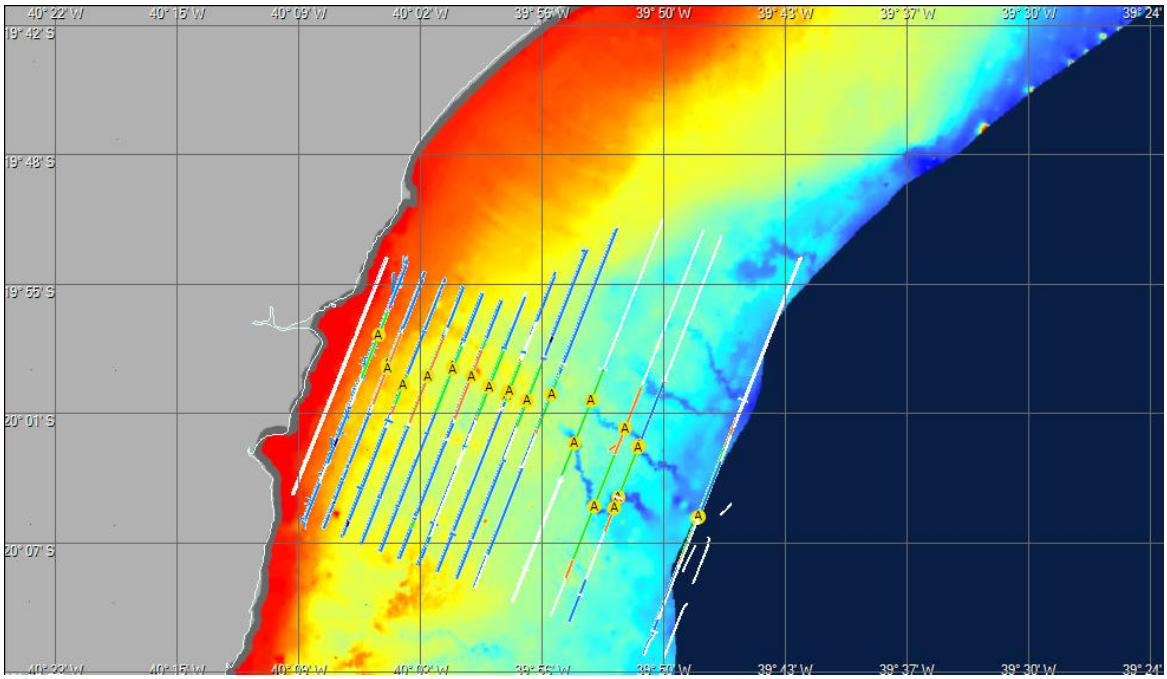
A etapa de processamento dos dados (figura 12) é de extrema importância: é nela que se adicionam filtros e ganhos ao sinal para que este seja interpretado de forma coerente nos perfis sísmicos. Para esta etapa, foi utilizado o software GeoSuite AllWorks 2020R2®, da GEO Marine Survey Sistems. O software permite a visualização dos 400 km das linhas de aquisição (figura 13) e o processamento dos perfis sísmicos.

Figura 12 - Fluxograma do processo de processamento de dados.



Fonte: autoria própria.

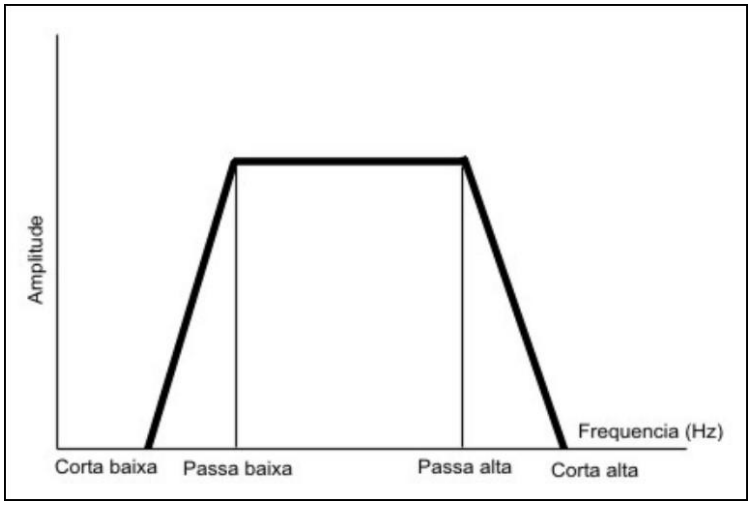
Figura 13 - Área de trabalho do GeoSuite AllWorks contendo os 400 km de aquisição.



Fonte: autoria própria.

Com as linhas já exportadas no GeoSuite AllWorks 2020R2®, para o processamento dos perfis foi utilizado primeiramente o filtro passa-banda (figura 14). O uso deste filtro se deve à necessidade de que apenas frequências numa faixa estabelecida possam ser lidas, isto é, qualquer frequência de sinal fora desta faixa é eliminado ou atenuado. Com isto, é possível eliminar ruídos e sons ambientes indesejáveis do seu sinal. Neste caso, a faixa de frequência escolhida foi a que o equipamento Boomer opera.

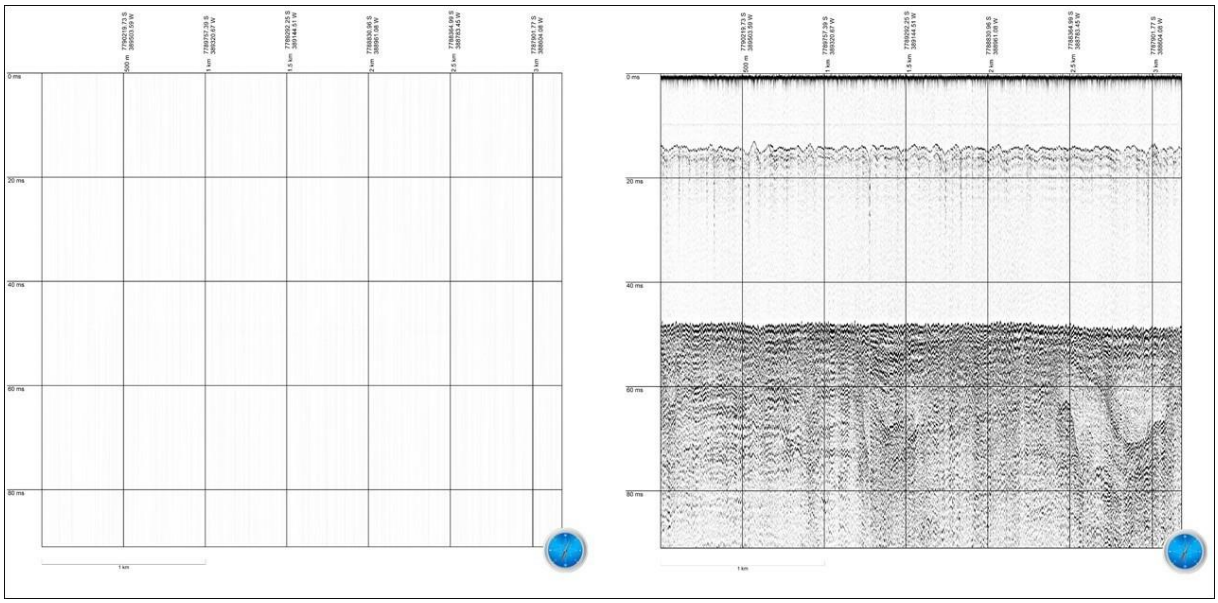
Figura 14 - Filtro passa-banda.



Fonte: Brunetta (2005).

Após o processo de filtragem do sinal, pode-se aplicar um ganho caso haja a necessidade de compensar perdas transmissivas. Isto ocorre devido aos sinais que percorrem mais tempo no meio e, por este motivo, são detectados pelo receptor, já atenuados. O ganho aplicado nestes dados foi o TVG (Time Variant Gain); na figura 15 verifica-se o dado cru versus o dado com a aplicação do filtro passa banda e ganho TVG, sendo possível assim interpretar as feições.

Figura 15 - Dado cru vs. Dado com aplicação de filtro passa-banda e ganho TVG.

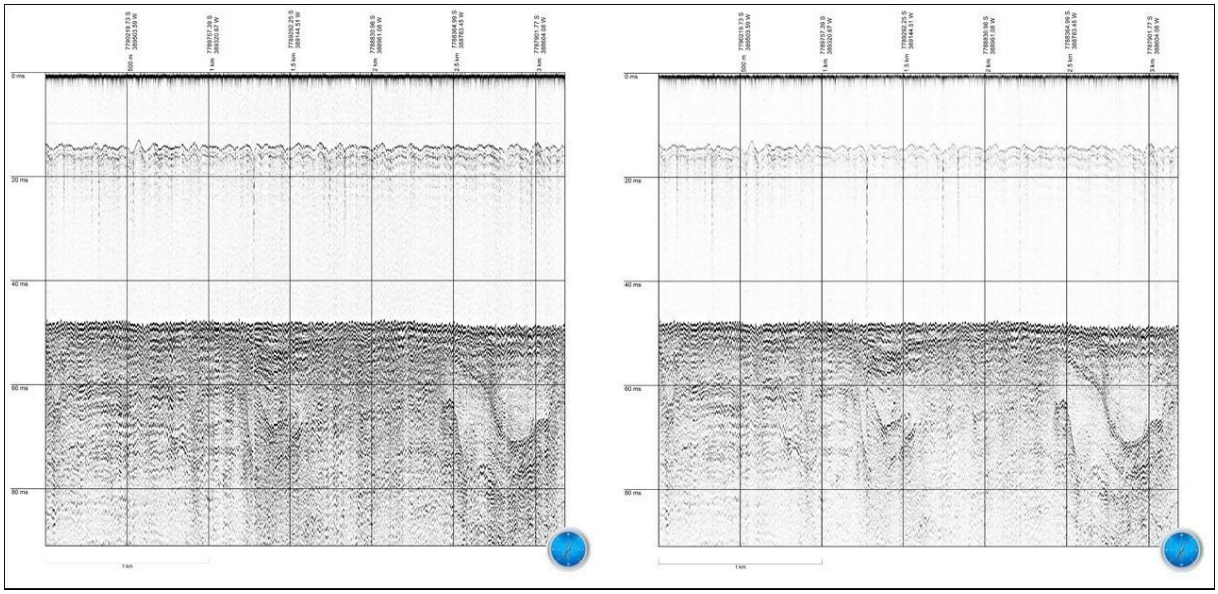


Fonte: autoria própria.

O TVG trabalha de tal forma que o tempo de percurso do sinal e o ganho aplicado são proporcionais: quanto menor for o percurso do sinal, menor será o ganho aplicado. Da mesma forma, quando o sinal percorre um caminho maior, ou seja, detecta alvos mais profundos, o ganho aplicado também será maior, visto que este sinal apresentará uma perda transmissiva mais expressiva quando for identificado pelo receptor. Este processo visa mostrar um sinal de mesma força para um mesmo alvo em diferentes profundidades (fonte: MARPORT, 2022).

Caso ainda seja necessário aplicar ganho ao sinal acústico, o Trace Equalization pode ser uma ferramenta interessante, porém, deve ser utilizada com cautela, pois pode modificar o sinal. Através da figura 16, é notável como o comando Trace Equalization “limpa” o sinal, facilitando a leitura da imagem. De acordo com o manual do software, o Trace Equalization compensa as variações de amplitude ao longo do perfil. É possível escolher a faixa de tempo em que se quer utilizar o ganho e definir a amplitude média do sinal.

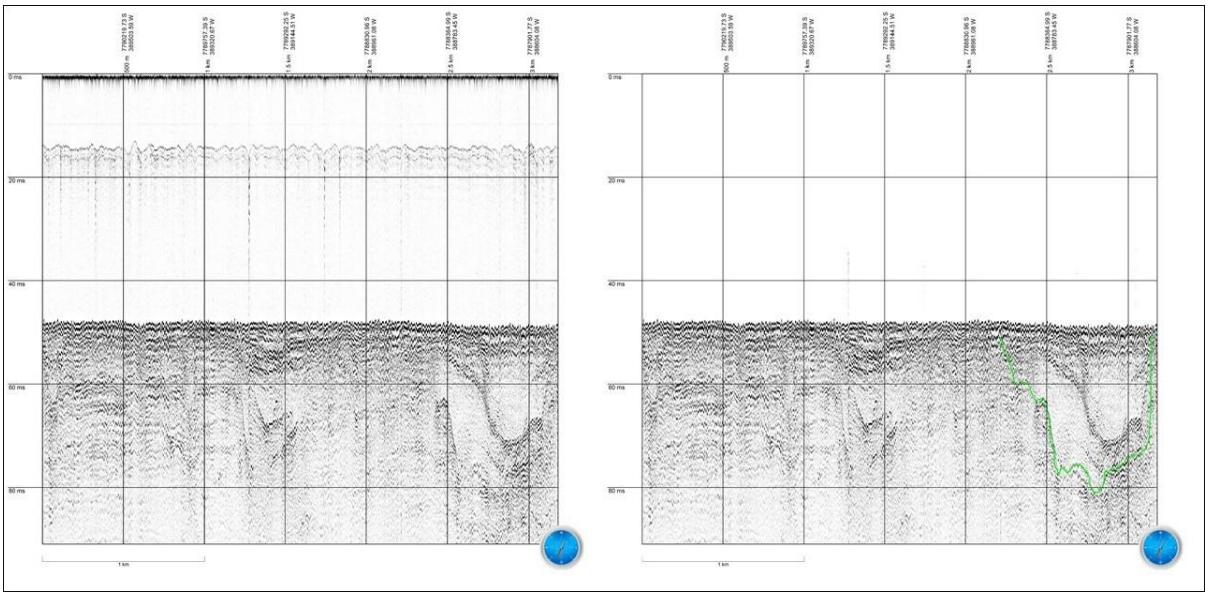
Figura 16 - Dado com aplicação de filtro passa-banda e TVG versus dado com aplicação do comando Trace Equalization.



Fonte: autoria própria.

Uma vez que os dados se mostram satisfatórios e prontos para a interpretação, é preciso demarcar o fundo oceânico a partir do comando Seabed Finder. Feito isto, o último comando utilizado será o Mute, como representado na figura 17, que elimina todos os sinais acima do fundo oceânico, restando apenas os sinais abaixo da demarcação, onde estão localizadas as feições de interesse.

Figura 17 - Dado à direita com aplicação do comando Mute e marcação do paleocanal.

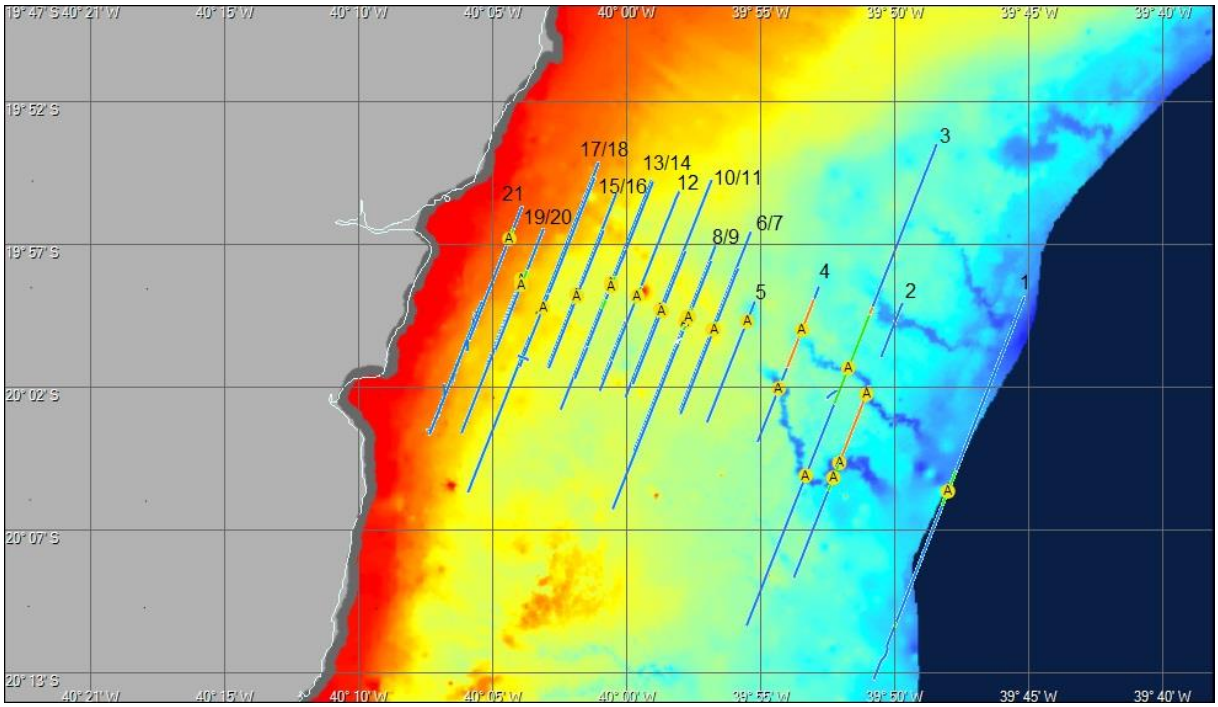


Fonte: autoria própria.

5 RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

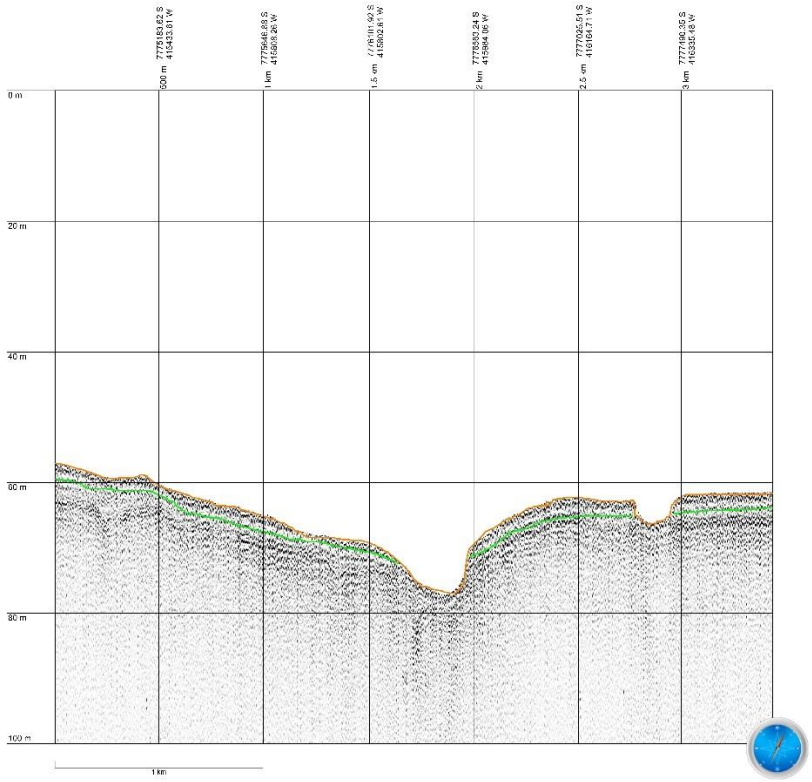
Após o processamento dos perfis sísmicos, os paleocanais encontrados em cada linha de aquisição foram marcados, representados por uma linha verde. Uma vez que um dos objetivos deste estudo é propor uma rede de paleodrenagem do rio Piraquêaçu (figura 18), os paleocanais foram marcados na área de trabalho do software GeoSuite para visualização espacial. Os dados de batimetria contidos na imagem foram retirados da plataforma GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans), onde dados batimétricos de variados lugares do mundo são disponibilizados para o público em geral. Além disso, os perfis foram organizados de forma a recriar uma "linha do tempo" a partir da parte mais profunda da plataforma continental do Espírito Santo até a linha da costa, junto à foz. Os resultados, além de valores de profundidade do assoalho, profundidade dos paleocanais, espessura das camadas sedimentares sobre os paleocanais e distância da linha de aquisição até a costa são apresentados a seguir.

Figura 18 - Proposta de paleodrenagem do rio Piraquêaçu a partir da marcação dos paleocanais e numeração de linhas.



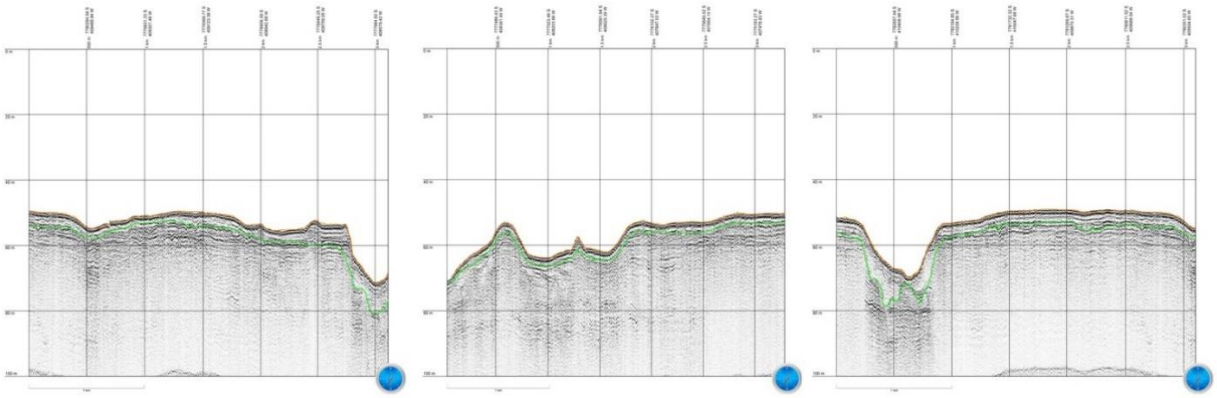
Fonte: autoria própria.

Figura 19 - Linha 1. Assoalho: 58 m. Profundidade: 20 m. Distância da costa: 38 km.



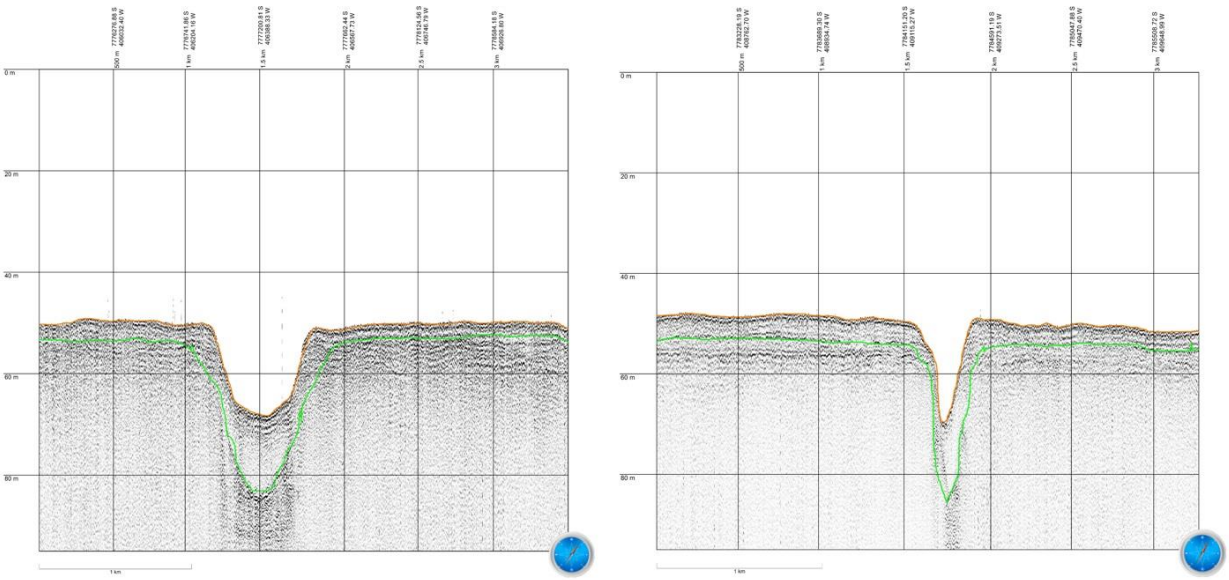
Fonte: autoria própria.

Figura 20 - Linha 2. Assoalho: 50 m. Profundidade: 28 a 32 m. Distância da costa: 30 km.



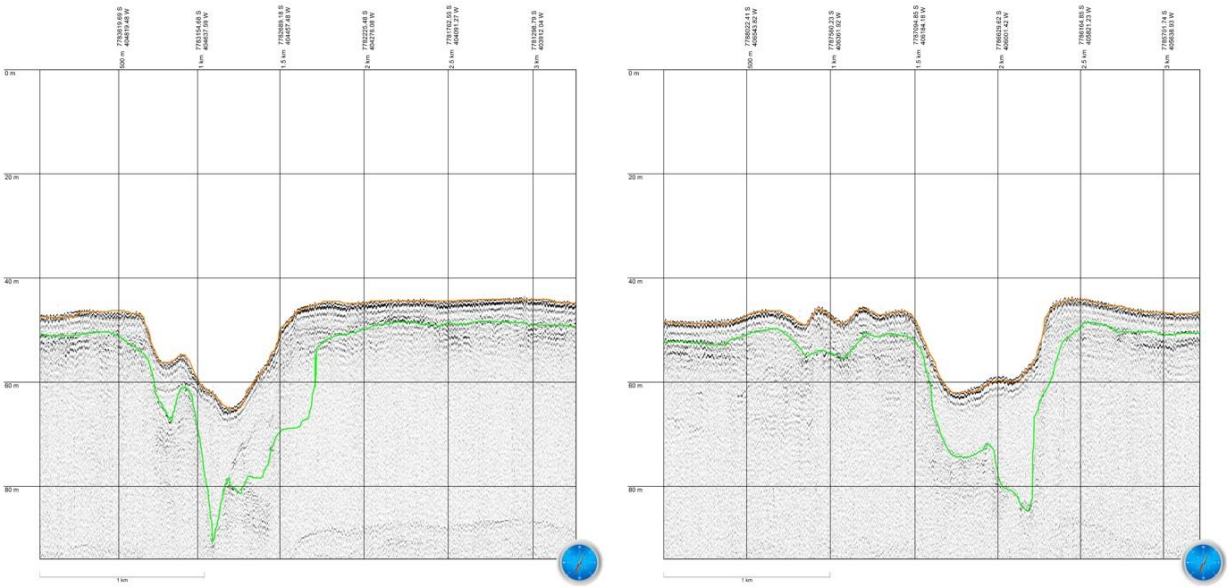
Fonte: autoria própria.

Figura 21 - Linha 3. Assoalho: 49 m. Profundidade: 33 a 35 m. Distância da costa: 28 km.



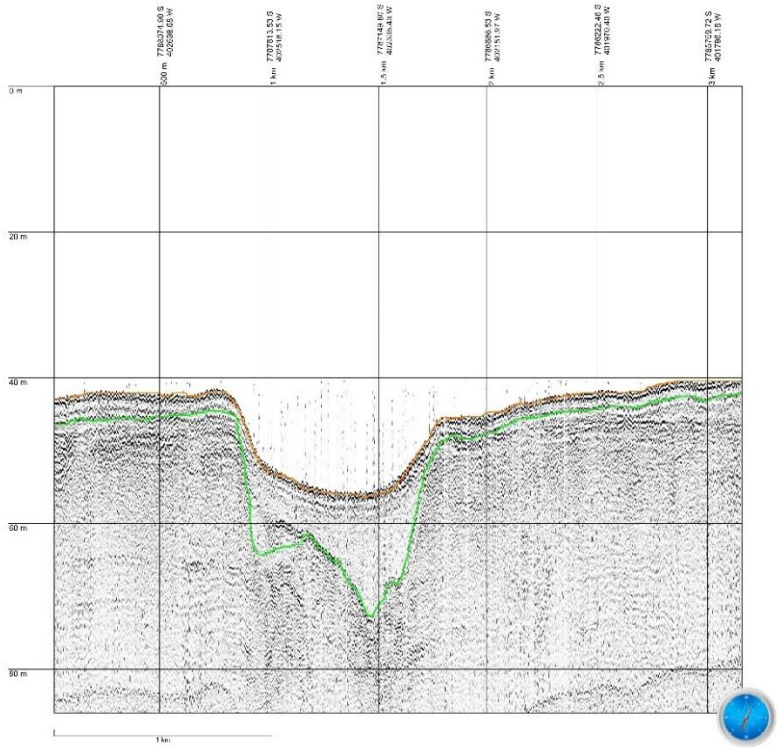
Fonte: autoria própria.

Figura 22 - Linha 4. Assoalho: 44 m. Profundidade: 38 a 43 m. Distância da costa: 25 km.



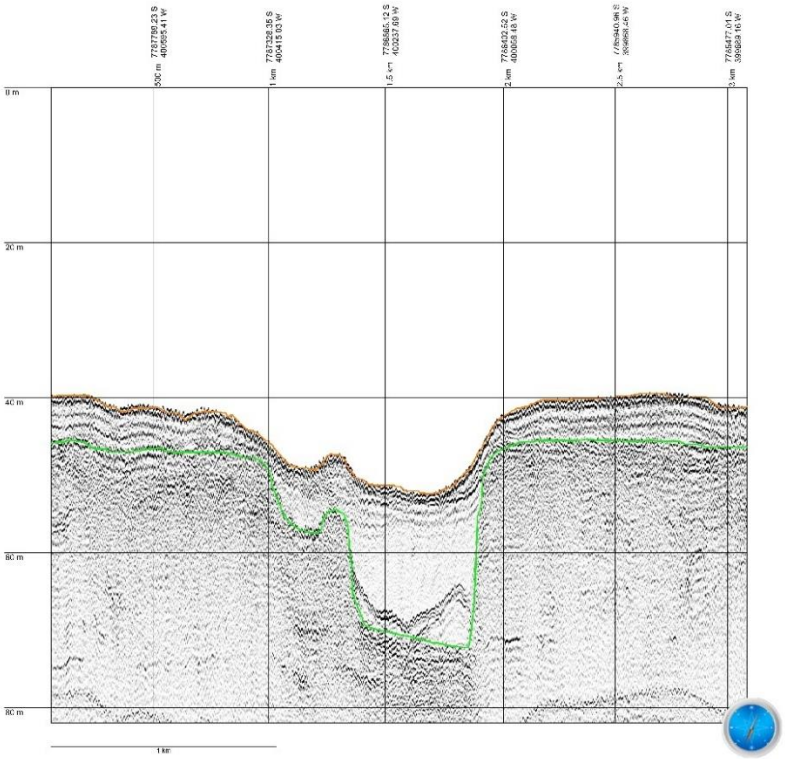
Fonte: autoria própria.

Figura 23 - Linha 5. Assoalho: 42 m. Profundidade: 20 m. Distância da costa: 22 km.



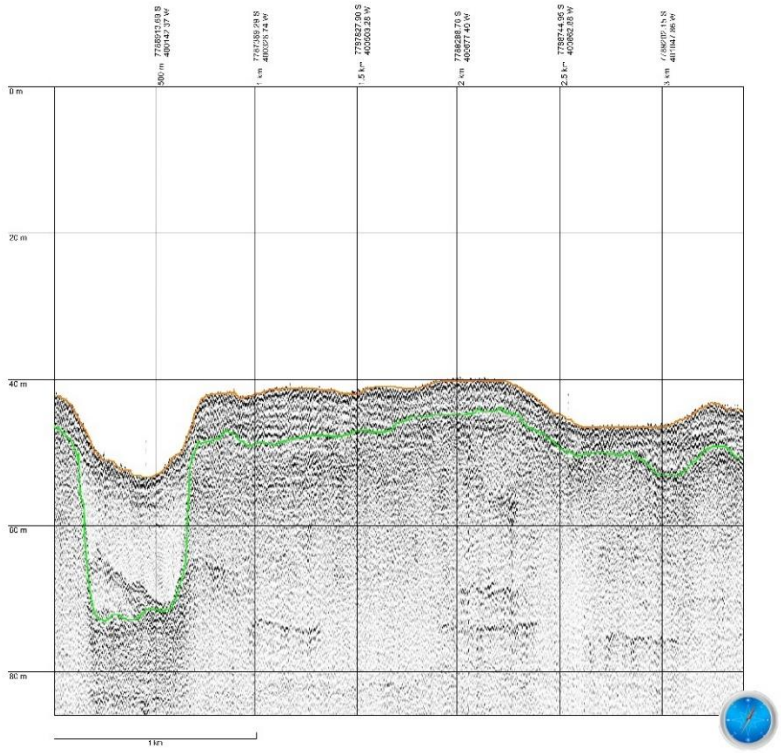
Fonte: autoria própria.

Figura 24 - Linha 6. Assoalho: 40 m. Profundidade: 17 m. Distância da costa: 20 km.



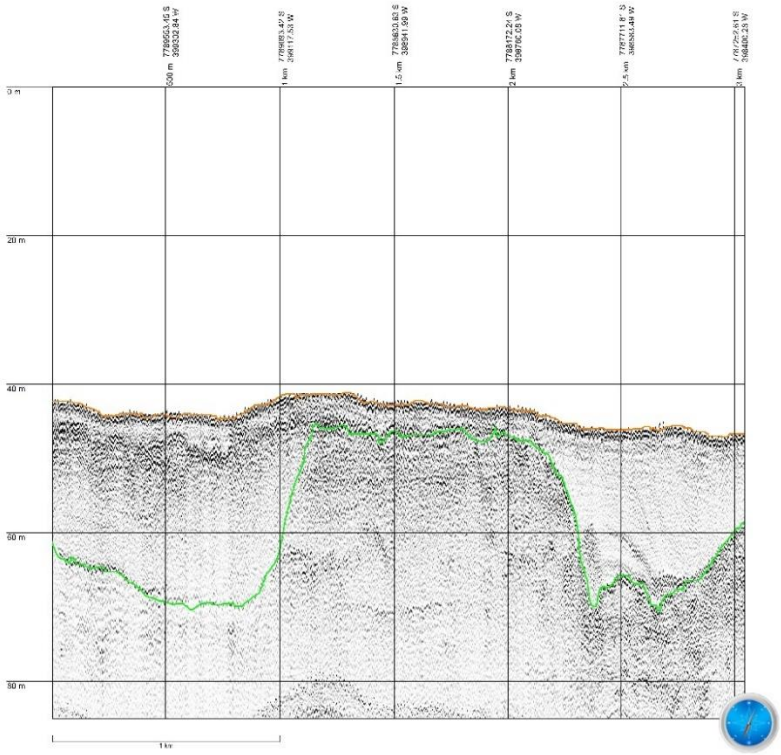
Fonte: autoria própria.

Figura 25 - Linha 7. Assoalho: 40 a 42 m. Profundidade: 20 m. Distância da costa:19 km.



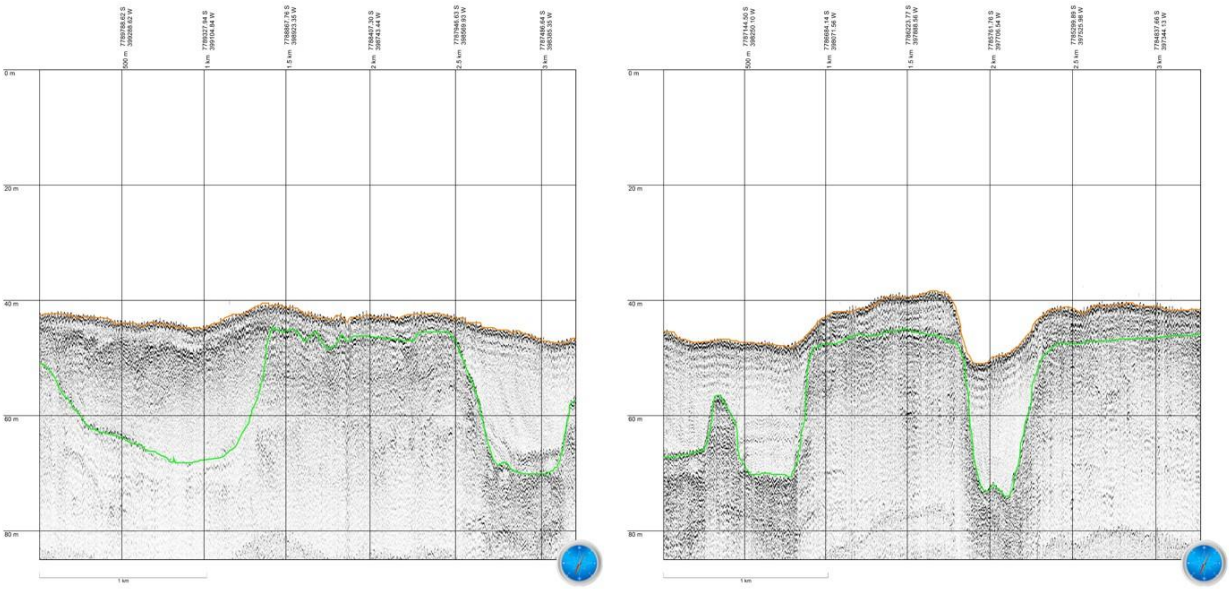
Fonte: autoria própria.

Figura 26 - Linha 8. Assoalho: 42 a 46 m. Profundidade: 24 m. Distância da costa: 17 km.



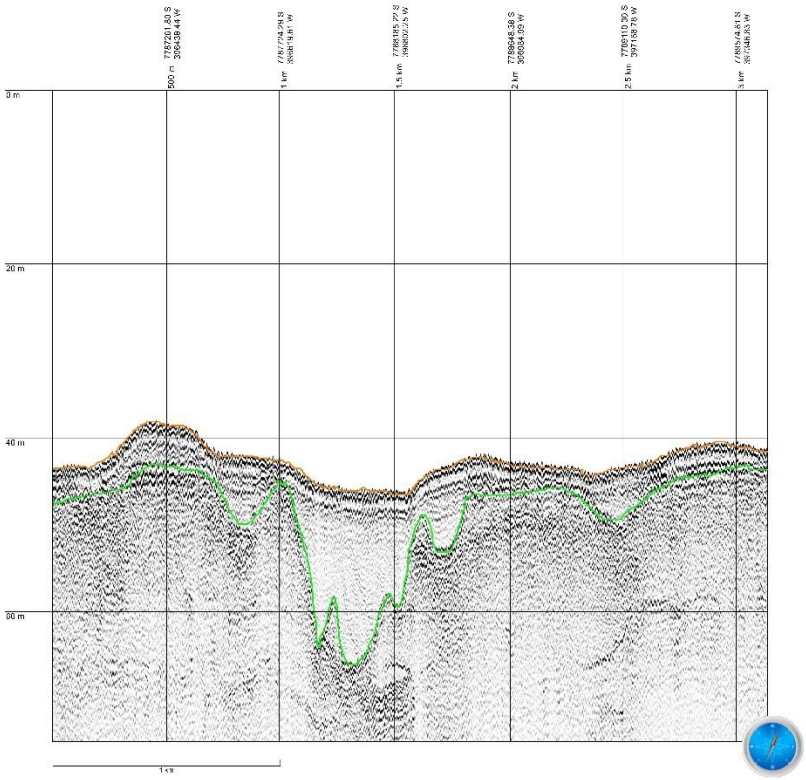
Fonte: autoria própria.

Figura 27 - Linha 9. Assoalho: 40 m. Profundidade: 23 a 24 m. Distância da costa: 17 km.



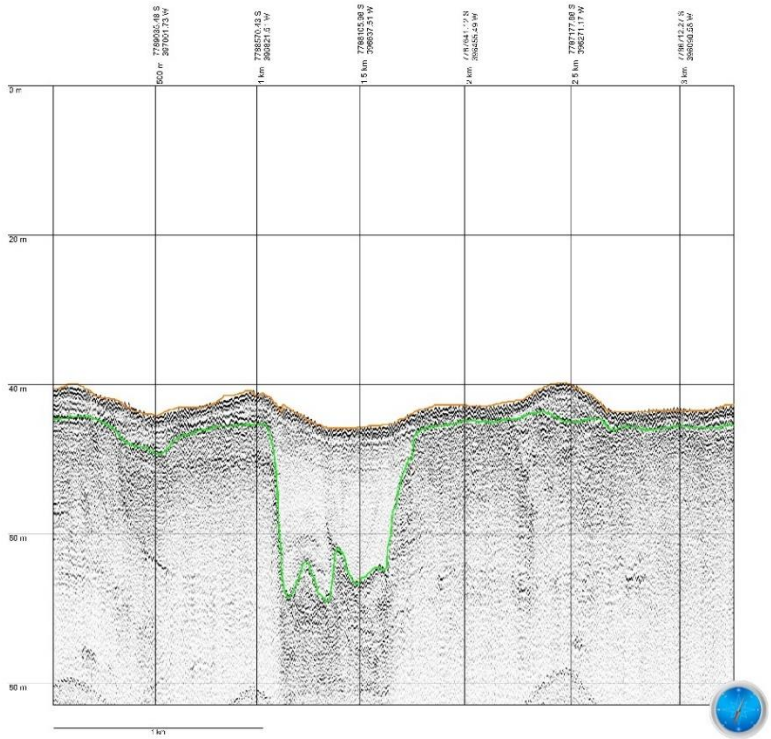
Fonte: autoria própria.

Figura 28 - Linha 10. Assoalho: 43 m. Profundidade: 20 m. Distância da costa: 15 km.



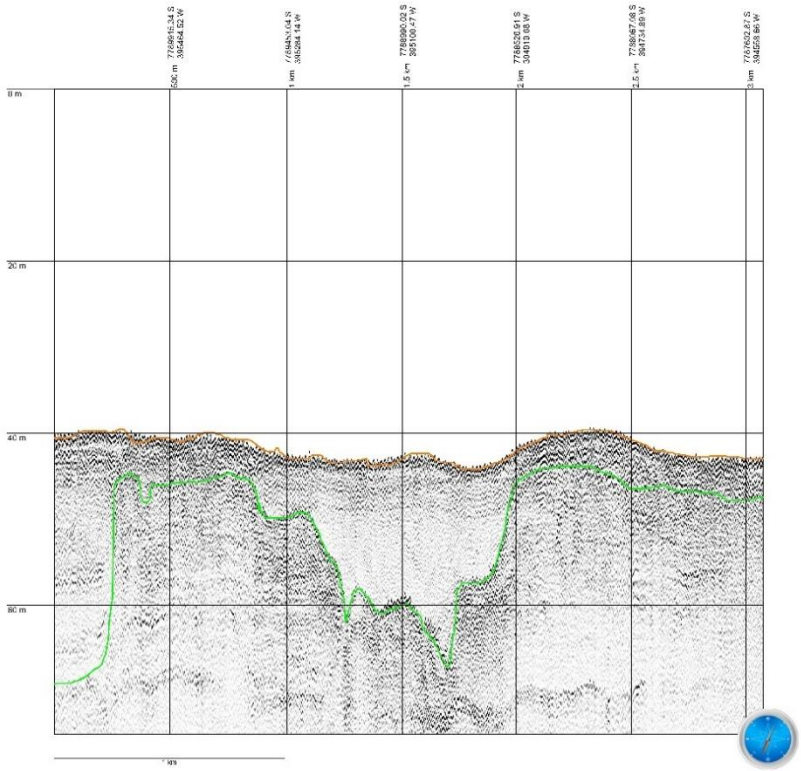
Fonte: autoria própria.

Figura 29 - Linha 11. Assoalho: 41 m. Profundidade: 25 m. Distância da costa: 15 km.



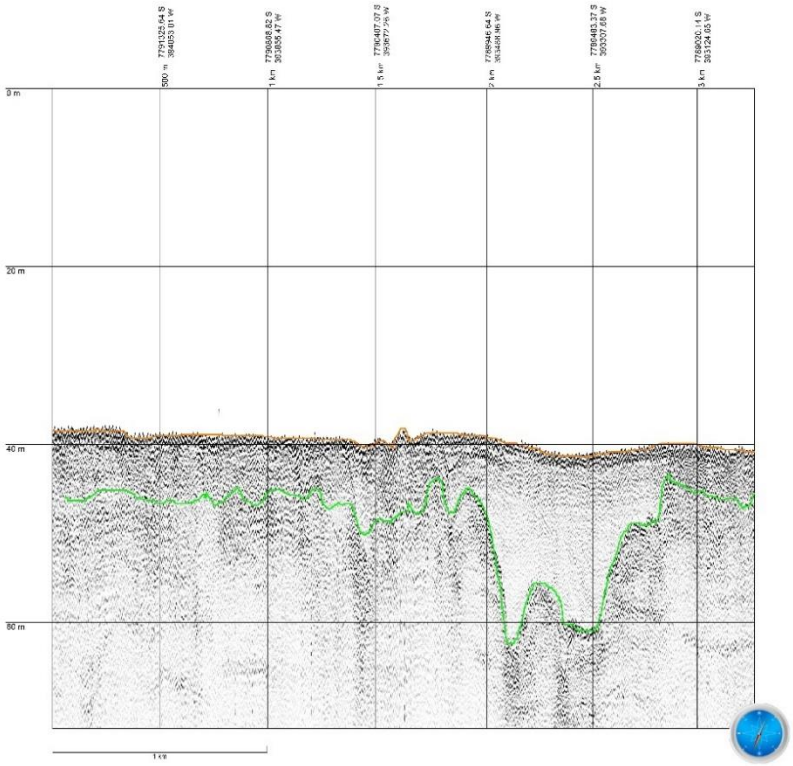
Fonte: autoria própria.

Figura 30 - Linha 12. Assoalho: 40 m. Profundidade: 20 m. Distância da costa: 13 km.



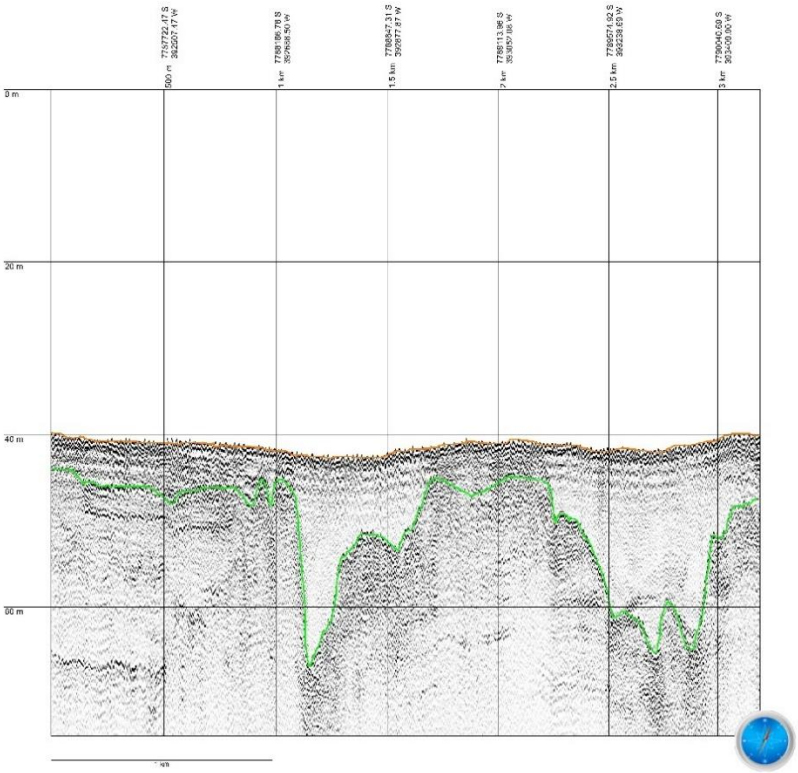
Fonte: autoria própria.

Figura 31 - Linha 13. Assoalho: 39 m. Profundidade: 23 m. Distância da costa: 12 km.



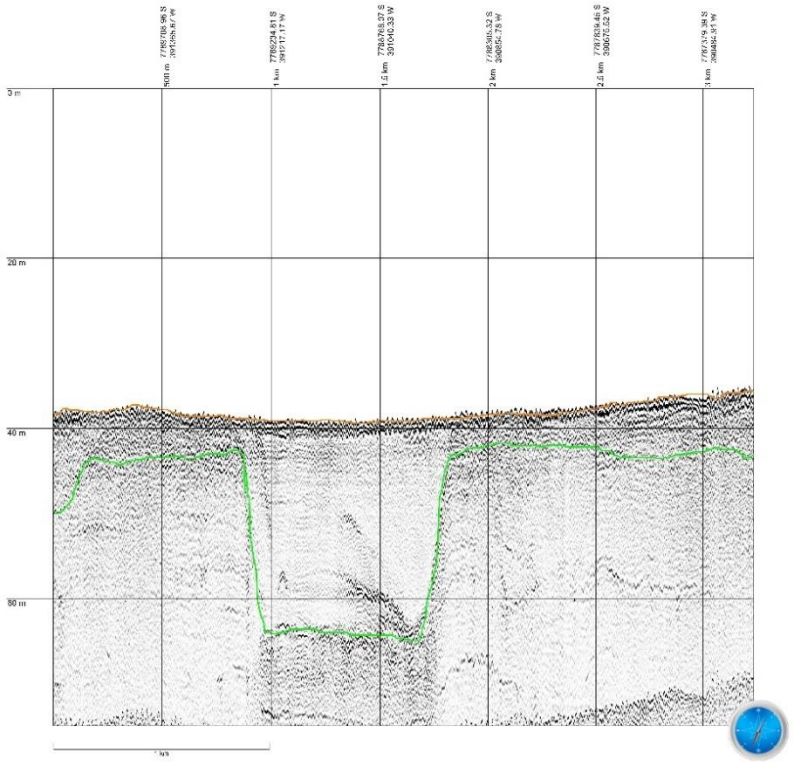
Fonte: autoria própria.

Figura 32 - Linha 14. Assoalho: 41 m. Profundidade: 24 m. Distância da costa: 12 km.



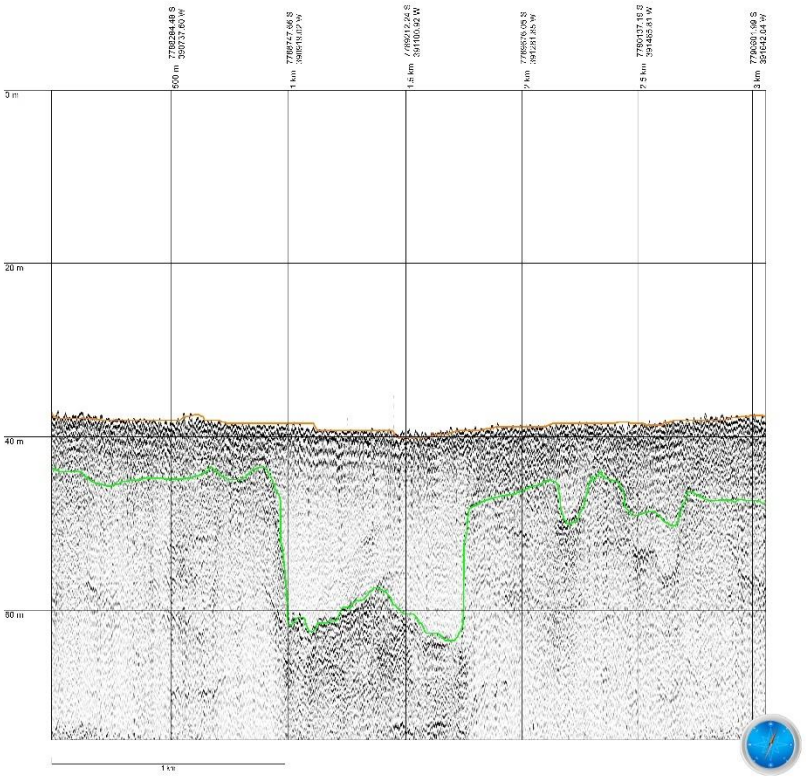
Fonte: autoria própria.

Figura 33 - Linha 15. Assoalho: 38 m. Profundidade: 25 m. Distância da costa: 10 km.



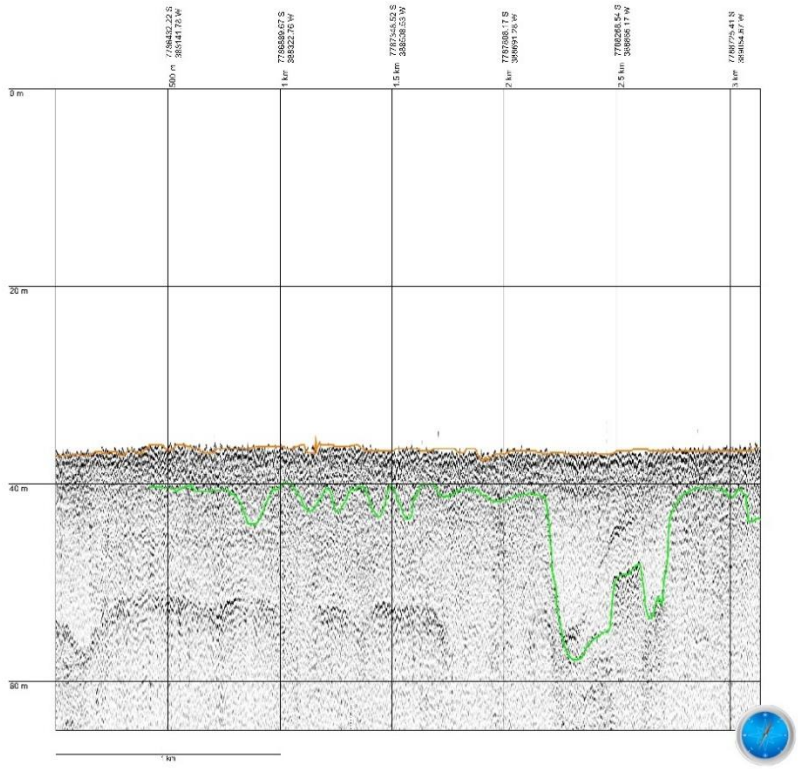
Fonte: autoria própria.

Figura 34 - Linha 16. Assoalho: 38 m. Profundidade: 23 m. Distância da costa: 10 km.



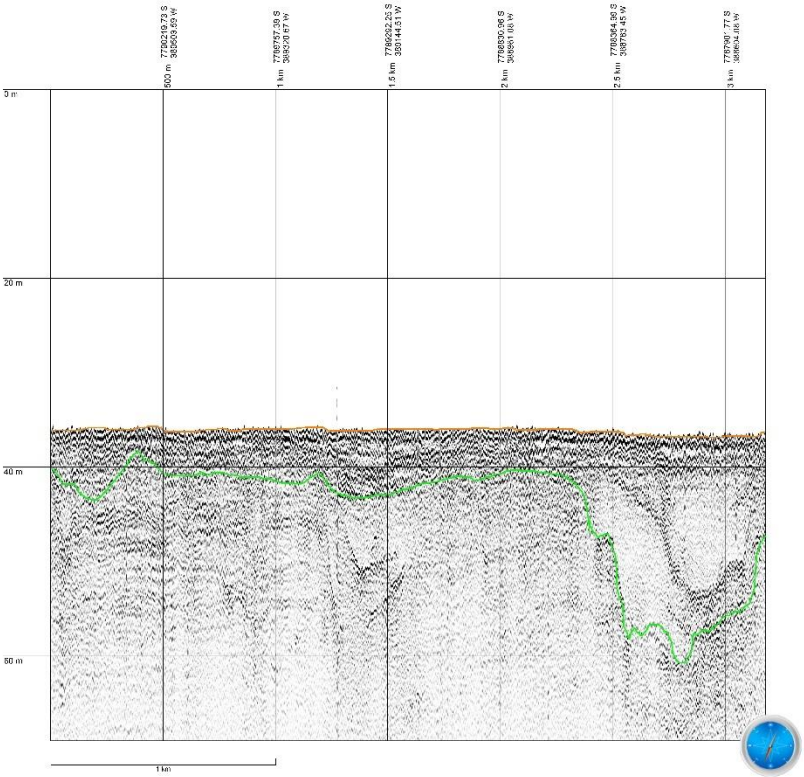
Fonte: autoria própria.

Figura 35 - Linha 17. Assoalho: 37 m. Profundidade: 20 m. Distância da costa: 8 km.



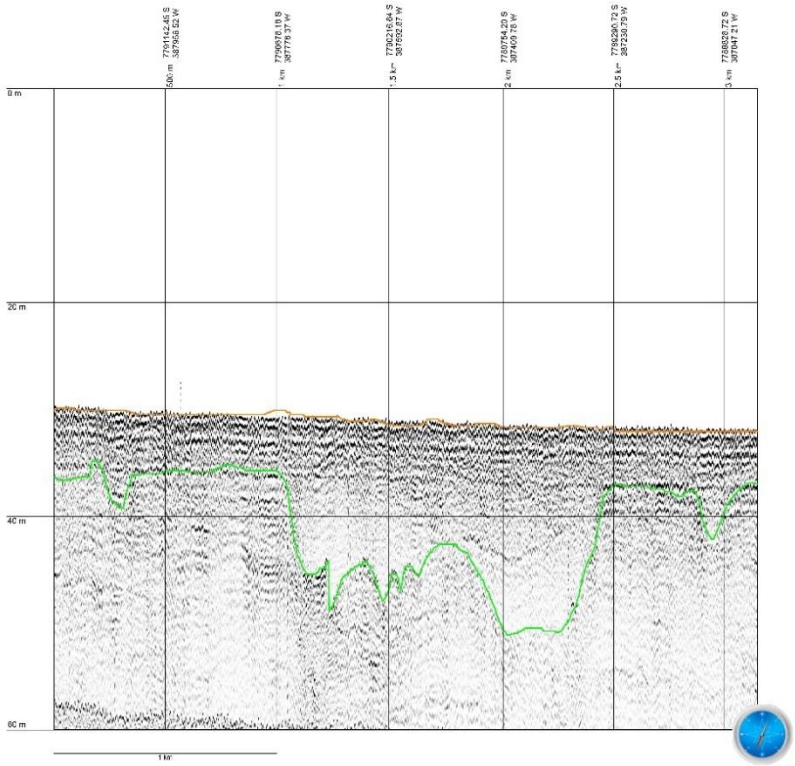
Fonte: autoria própria.

Figura 36 - Linha 18. Assoalho: 35 m. Profundidade: 21 m. Distância da costa: 6 km.



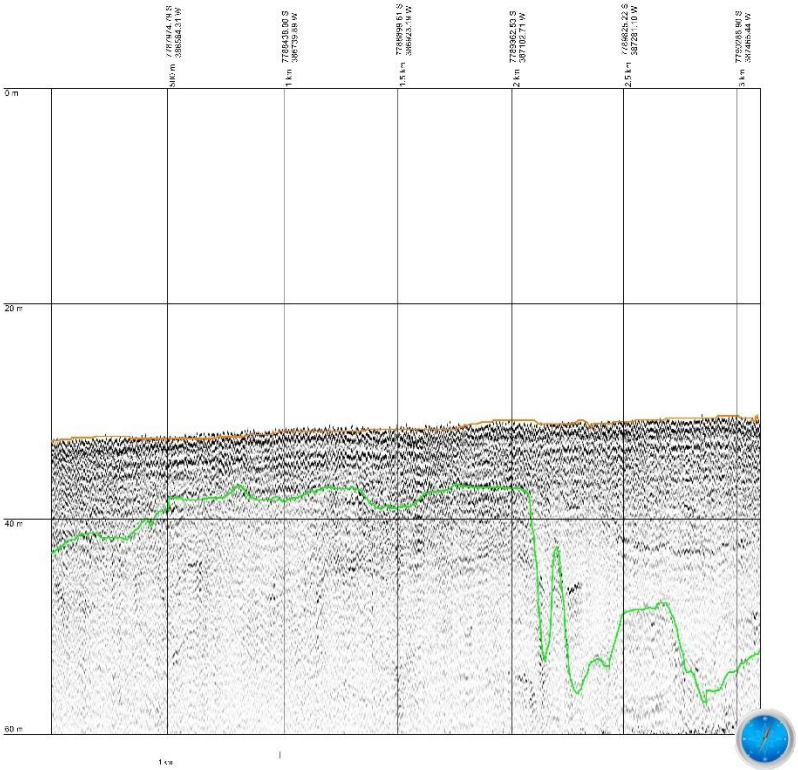
Fonte: autoria própria.

Figura 37 - Linha 19. Assoalho: 30 m. Profundidade: 20 m. Distância da costa: 6 km.



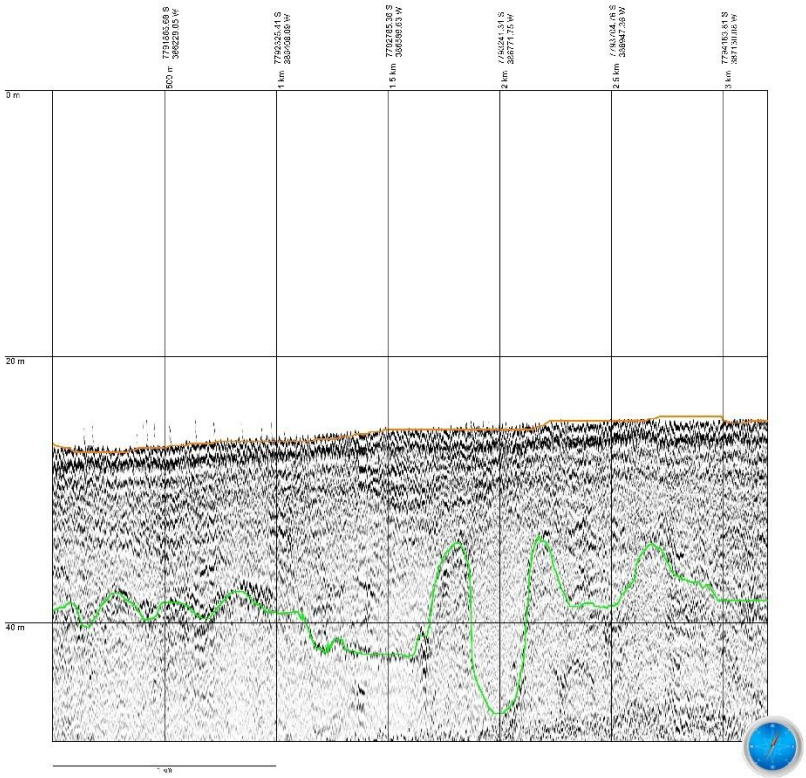
Fonte: autoria própria.

Figura 38 - Linha 20. Assoalho: 31 m. Profundidade: 24 m. Distância da costa: 6 km



Fonte: autoria própria.

Figura 39 - Linha 21. Assoalho: 25 m. Profundidade: 19 m. Distância da costa: 4 km.



Fonte: autoria própria.

Os paleocanais mais afastados da costa se encontram a uma profundidade aproximada de 58 metros, enquanto os mais próximos se encontram a 25 metros. Cada paleocanal apresenta profundidade similar, entre 20 e 25 metros, salvo algumas exceções que superam este intervalo de valor, como nas figuras 21 e 22, paleocanais mais afastados da costa. É perceptível através da batimetria da proposta de paleodrenagem apresentada pela figura 18 que existe um canal principal, partindo da costa, que se estende até o ponto em que se bifurca. A partir da análise dos perfis sísmicos, estes paleocanais se mostram não preenchidos ao afastar-se da costa (exemplo: figura 19), a semi preenchidos (exemplo: figura 24) e completamente preenchidos ao aproximar-se do litoral (exemplo: figura 36). Este fato pode ser esclarecido a partir da figura 3: após o Último Máximo Glacial, a subida do nível do mar ocorreu, inicialmente, de forma rápida e depois apresentou ascenção lenta e estável. Isto explica a camada de sedimentos maior sobre os paleocanais mais próximos à costa, que vêm sofrendo progradação, isto é, o avanço gradual dos sistemas deposicionais proximais sobre os distais (R. Almeida, G. Geraldo) em virtude da taxa de sedimentação se tornar mais alta do que a geração de espaço de acomodação.

Nota-se a existência de uma superfície refletora contínua nos perfis, representadas pela linha verde, seguindo o paleocanal, se referindo possivelmente ao fundo oceânico pretérito à

transgressão holocênica. A linha em laranja indica o assoalho atual e representa, portanto, os sedimentos depositados durante a transgressão do mar após o Último Máximo Glacial. É interessante notar que, quanto mais próximo à costa, mais espessa se torna a camada sedimentar sobre os paleocanais: as espessuras variam de 3 a 16 metros em média, aumentando conforme a proximidade da costa.

Os perfis mostram que os paleocanais mais próximos à foz apresentam característica caótica, heterogênea, e a área é composta predominantemente por sedimentos bioclásticos, porém, a morfologia do assoalho é plana. Os perfis de paleocanais mais distantes da costa apresentam perfil mais homogêneo em consequência dos sedimentos bem consolidados, além de uma morfologia irregular, provável produto da presença de rodolitos. Segundo Cetto *et al*. 2021, a distância da foz do Rio Doce é um outro fator determinante para a morfologia irregular do assoalho, configurando um local com menos fluxo de energia e, por consequência, menor aporte sedimentar. A morfologia irregular também se dá pela presença de couraças lateríticas (relevo positivo) e a presença dos paleocanais (relevo negativo) (Franco *et al*., 2011).

6 CONCLUSÃO

A porção da plataforma continental estudada é conhecida pela deficiência de aporte sedimentar, caracterizando assim um regime de espaço de acomodação (local onde há muito espaço disponível para a acomodação de sedimentos devido ao baixo aporte sedimentar) (Bourguignon *et al*., 2018). A preservação dos paleocanais na porção mais externa da plataforma se deve também ao baixo fluxo sedimentar, onde a espessura das camadas sobre os paleocanais são menores; em contrapartida, a espessura da camada sedimentar sobre os paleocanais próximos à costa são maiores devido à ocorrência de progradação na região, sustentando a hipótese de um episódio de transgressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. DA CUNHA; J. DE ALENCAR CASTRO; F. DE MELO BARRETO PEREIRA *et al*.. Variações do nível relativo do mar durante o holoceno na bacia do rio una, Cabo Frio - Rio de janeiro: Aspectos sedimentológicos, faciológicos e geocronológicos**. Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 143-154, 2017.

ABBEY, C. J. The Waitaki Canyon - An investigation of the Late Quaternary Development of a Shelf-Indenting Submarine Canyon Using High-Resolution Boomer Seismic Data (**Thesis, Master of Science**). University of Otago. 2017.

ALBINO, J. Mapa Faciológico dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Interna da Porção Centro - Norte do Estado do Espírito Santo – Brasil. **II Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**, p.2, 2003.

AMADO-FILHO, G., PEREIRA-FILHO, G. Rhodolith beds in Brazil: A new potential habitat for marine bioprospection. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 22, n. 4, p. 782-788, 2012.

ANDREWS, J.; BOOMER, I.; BAILIFF, I. et al.. Sedimentary evolution of the north Norfolk barrier coastline in the context of Holocene sea-level change. **Geological Society Special Publication**, v. 166, p. 219-251, 2000.

ARTHUR AYRES NETO. Uso da Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e Da Sonografia Na Exploração Mineral Submarina. **Revista Brasileira de Geofisica**, v. 18, n. 3, p. 241-256, 2001.

APA Costa das Algas, **ICMBio**. Disponível em <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-costa-das-algas>. Acesso em 12 de setembro de 2021.

BASTOS, A.C., QUARESMA, V.S., MARANGONI, M.B., D'AGOSTINI, D.P., BOURGIGNON, S.N., CETTO, P.H., SILVA, A.E., AMADO FILHO, G.M., MOURA, R.L., COLLINS, M. Shelf morphology as an Indicator of Sedimentary Regimes: A Synthesis From a Mixed Siliciclastic-Carbonate Shelf on the Eastern Brazilian Margin. **Journal of South American Earth Sciences**, 2015.

Belknap, Daniel F.. "Quaternary". **Encyclopedia Britannica**, 2 Apr. 2020. Disponível em <https://www.britannica.com/science/Quaternary>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN LOUIS, VILAS BOAS, G.S., FLEXOR, J.M. Quaternary Marine Formations of the Coast of the State of Bahia (Brazil). **International symposium on coastal evolution in the quaternary**, p. 232-253, 1979.

BOURGUIGNON, S. N.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S.; VIEIRA, F. V.; PINHEIRO, H.; AMADO-FILHO, G. M.; DE MOURA, R. L.; TEIXEIRA, J. B. Seabed morphology and sedimentary regimes defining fishing grounds along the eastern Brazilian shelf. **Geosciences (Switzerland)**, v. 8, n. 3, 2018.

BRUNETTA, R. O processamento da sísmica de reflexão rasa – desafio encontrados no estudo de modelos análogos a reservatórios fraturados. **Dissertação de mestrado Universidade Federal do Paraná**. 85 p. 2005.

CETTO, P., BASTOS, A., IANNIRUBERTO, M. Morphological Evidences of Eustatic Events in the Last 14,000 Years in a Far-Field Site, East-Southeast Brazilian Continental Shelf. **Marine Geology**, v. 442, 2021.

COLMAN, S., HALKA, J., HOBBS, C. et al.. Ancient Channels of the Susquehanna River Beneath Chesapeake Bay and the Delmarva Peninsula. **Geological Society of America Bulletin**, v. 102, n. 9, p. 1268-1279, 1990.

CUNHA, A.M.; DIAS, F.F.; FONSECA, V.M.M. & CASTRO, J.W.A. Assembleia de Moluscos da Região do Pântano do Ramalho, Cabo Frio, RJ: Indicadores Biológicos de

Variação do Nível Relativo do Mar Durante o Holoceno. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 34, n. 2, p. 46-52. 2011.

EDGERTON, H.; HAYWARD, G. The 'Boomer' Sonar Source For Seismic Profiling. **Journal of Geophysical Research**, v. 69, n. 14, p. 3033-3042, 1964.

ESPÍNDOLA, H.; NODARI, E.; SANTOS, M. Rio Doce: riscos e incertezas a partir do desastre de Mariana (MG). **Revista Brasileira de História**, v. 39, n. 81, p. 141-162, 2019.

F. BEZERRA; A. BARRETO; K. SUGUIO. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. **Marine Geology**, v. 196, n. 1-2, p. 73-89, 2003.

Ficha Técnica Geo-Boomer 300-500. Electromechanical Transducer Systems.

FRANCO, T., SILVA, A., NASCIMENTO, K. et al.. Morfologia de fundo da desembocadura do Estuário do Piraquê-açu e da Plataforma Continental Interna Adjacente, Aracruz – ES. **International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil**, August 15-18, 2011.

FLEMING, K.; JOHNSTON, P.; ZWARTZ, D. et al.. Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far- and intermediate-field sites. **Earth and Planetary Science Letters,** v. 163, n. 1-4, p. 327-342, 1998.

GEBCO - **General Bathymetric Chart of the Oceans**. Disponível em: <https://www.gebco.net/>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

Guia da Biodiversidade Marinha da APA Costa das Algas. **ICMBio**. Disponível em <https://www.icmbio.gov.br/apacostadasalgas/images/stories/Guia_editado_Optimized.pdf>. Acesso em: 12 de setembro de 2021.

HOLZ V.; BAHIA, R.G.; KAREZ, C.S.; VIEIRA, F.V.; MORAES, F.C.; VALE, N.F.; SUDATTI, D.B.; SALGADO L.T.; MOURA, R.L.; AMADO-FILHO, G.M.; BASTOS, A.C. Structure of Rhodolith Beds and Surrounding Habitats at the Doce River Shelf (Brazil). **Diversity**, v. 12, n.2, p. 1-19, 2020.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (mapa geológico do ES). Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/mapas/1390-mapa-geologico-do-espirito-santo>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

Kleber Brandão Damasceno, Rafael Peron de Marchi, Renan Almeida. **Físca II, apostila USP**. IFSC.

KOPP; CRUTCHLEY. Submarine Geomorphology - Sidescan Sonar. Submarine Geomorphology, **Springer Geology**, p. 13-25, 2018.

LAMBECK, K.; ROUBY, H.; PURCELL, A. et al.. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 43, p. 15296-15303, 2014.

LONG, A. Mid-Holocene sea-level change and coastal evolution. **Progress in Physical Geography**, v. 25, n. 3, p. 399-408, 2001.

MALTA, J.; CASTRO, J.; OLIVEIRA, de C. et al.. Rochas de Praia "Beachrocks" da Ilha do Cabo Frio - Litoral do estado do Rio de Janeiro - Sudeste Brasileiro: Gênese e geocronologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n.2, p. 397-409, 2017.

MARINO, I.; SANTOS, M.; SILVA, C. Processing of high-resolution, shallow seismic profiles, Guanabara Bay - Rio de Janeiro state, Brazil. **Revista Brasileira de Geofisica**, v. 31, n. 4, p. 579-594, 2013.

MARPORT, 2022. About Time Variable Gain. Disponível em: <https://www.marport.com/documentation.html?https://www.marport.com/doc_web/speedSensors/user/oxy_ex-2/HDTE/UserManual/topics/c-TVG.html>. Acesso em: 29 de março de 2022.

MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the Central Brazilian Coast: consequences on coastal plain construction. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68(3), p. 303-354, 1996.

MARTIN, Louis; SUGUIO, Kenitiro; FLEXOR, Jean-Marie; ARCHANJO, Júlio David. Coastal quaternary formations of the southern part of the state of Espírito Santo (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3 , p. 389-404, 1996. Disponível em: < http://memoria.bn.br/DocReader/158119/33988 >.

O que são os ciclos de Milankovitch e como afetam o clima da Terra, 2020. **Sociedade Científica**. Disponível em <https://socientifica.com.br/o-que-sao-os-ciclos-de-milankovitch-e-como-afetam-o-clima-da-terra/>. Acesso em: 30 de agosto de 2021.

R. ALMEIDA, G. GERALDO. Notas de aula da disciplina de Estratigrafia - 6 **ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS.** Disponível em < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5224244/mod_resource/content/1/Apostila%20estratigrafia%20de%20sequ%C3%AAncias.pdf#:~:text=Quando%20a%20taxa%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20espa%C3%A7o%20%C3%A9%20positiva%2C%20pode,aporte%20%3C%20%CE%94Espa%C3%A7o%2C%20ocorre%20retrograda%C3%A7%C3%A3o. >. Acesso em: 16 de Abril de 2022.

R. CARLSON. **Encyclopedia of Solid Earth Geophysics**, 2011.

R. Chopra; C. Bhatt; P. Sharma. Elucidation of Palaeochannels in Parts of Punjab (India) Using Remote Sensing and Geographical Information System.

Ritambhara K. Upadhyay, Naval Kishore & Mukta Sharma. Delineation and mapping of palaeochannels using remote sensing, geophysical, and sedimentological techniques: A comprehensive approach, **Water Science,** 2021.

RAMSEY, P.; MILLER, W.; **MARINE GEOSOLUTIONS.** Surveying Multibeam and Sub-Bottom Profiling Surveys For Major Port Expansions. 2010.

REYNOLDS, J. M. **An introduction to applied and environmental geophysics.** [S.l.]: John Wiley & Sons, 1997.

RODRIGUES, V.; ALVES, D.; JOVANE, L. Seismic Stratigraphy of Trapandé Bay (Southern Brazil) To Study Sea-Level Changes and Deposition Evolution in the Upper Quaternary. **Revista Brasileira de Geofisica**, v. 37, n.4, p. 357-368, 2019.

ROVERE, A.; STOCCHI, P.; VACCHI, M.. Eustatic and Relative Sea Level Changes. **Current Climate Change Reports**, v. 2, n. 4, p. 221-231, 2016.

Seminário USP. Disponível em < http://web.letras.up.pt/asaraujo/seminário/Aula5.html>. Acesso em: 30 de agosto de 2021.

SILVA, Cleverson G. Placeres Marinhos. **Revista Brasileira de Geofísica,** 18 (3), 327, 336, 2000.

SUGUIO, K; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. Evolução da planície costeira do Rio Doce durante o Quaternário. **Atas do IV Simpósio do Quaternário do Brasil**, p. 93-116, 1982.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. & KEYS, D. A., **Applied Geophysics**. Cambridge University Press, 1990

TÓTH, T. (2011). Single and Multichannel Seismics. **Encyclopedia of Earth Sciences Series**, 1366–1373.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. **Atmospheric science: an introductory survey. Elsevier**, vol 92, 2006.

WESCHENFELDER, J. CORRÊA, I. Evolução dos Paleocanais da Região Costeira do Rio Grande do Sul Durante o Quaternário Tardio. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 1-7, 2019.

What is The Quaternary? **Quaternary Research Association**. Disponível em <https://www.qra.org.uk/what-is-the-quaternary/>. Acesso em: 07 de maio de 2022.