

Universidade Federal Fluminense
Departamento de Geologia/Lagemar
Curso de Graduação em Geofísica

ECOCARÁTERES SÍSMICOS E CORRELAÇÃO
SEDIMENTAR NA MARGEM CONTINENTAL DO
ARQUIPÉLAGO DAS SHETLAND DO SUL, ANTÁRTICA.

FABIO JOSÉ GUEDES MAGRANI

Niterói
2011

FABIO JOSÉ GUEDES MAGRANI

ECOCARÁTERES SÍSMICOS E CORRELAÇÃO
SEDIMENTAR NA MARGEM CONTINENTAL DO
ARQUIPÉLAGO DAS SHETLAND DO SUL, ANTÁRTICA.

Projeto Final II apresentado ao curso de
Graduação em Geofísica para obtenção
do título de Bacharel em Geofísica
da Universidade Federal Fluminense.

Orientador: Arthur Ayres Neto

Niterói
2011

M 212 Magrani, Fabio José Guedes
 Ecocaráteres sísmicos e correlação sedimentar na margem
 continental do arquipélago das Shetland do Sul, Antártica / Fabio
 José Guedes Magrani. - Niterói: [s.n.], 2011.
 60f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica)
– Universidade Federal Fluminense, 2011.

1. Estreito de Bransfield. 2. Antártica. 3. Ecocaráter. 4. Sísmica
de alta resolução. 5. Análise Sedimentar. I. Título.

CDD 551

FABIO JOSÉ GUEDES MAGRANI

ECOCARÁTERES SÍSMICOS E CORRELAÇÃO SEDIMENTAR NA MARGEM
CONTINENTAL DO ARQUIPÉLAGO DAS SHETLAND DO SUL, ANTÁRTICA.

Projeto Final II apresentado ao curso de
Graduação em Geofísica para obtenção
do título de Bacharel em Geofísica
da Universidade Federal Fluminense.

Aprovado em 8 de Julho de 2011.

BANCA EXAMINADORA:

ELIANE DA COSTA ALVES - LAGEMAR/UFF

ARTHUR AYRES NETO - LAGEMAR/UFF

ROSEMARY VIEIRA – DEP. GEOGRAFIA/UFF

NITERÓI
2011

À natureza, por nos fornecer subsídios
para a sua investigação.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Arthur Ayres pela oportunidade única de participar no projeto antártico SEASOAM e seu exemplo como pessoa e profissional. Agradeço profundamente por suas contribuições na orientação nesta dissertação monográfica, assim como seu precioso tempo que por diversas vezes me presenteou, figurando entre as raras pessoas que elevam o mundo.

Agradeço à Marinha do Brasil e à tripulação do NapOc Ary Rongel (H-44) pelo suporte prestado durante a campanha OPERANTAR XXVIII na Antártica. Ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) por viabilizar o projeto.

Aos professores do Lagemar, em especial à Eliane Alves, Cleverson Guizan, Susanna Sichel, Guilherme Fernandez, Maria Augusta, Gilberto Dias, André Ferrari, Alberto Figueiredo, José Antônio, Luiz Gamboa, Marco Polo Buonora, Isa Brehme, Marcus Gorini e Rogério dos Santos pelo apoio e ensinamentos compartilhados ao longo dos anos da graduação.

Aos meus pais, Bartira e Sylvio pelo incomensurável carinho, amor e suporte, sempre presentes em todos os momentos de minha vida e os quais devo meus mais profundos e sinceros agradecimentos. Ao meu irmão, Eduardo pela companhia em nossa longa jornada. Aos meus primos e amigos pela amizade e maravilhosos momentos de alegria. À minha avó Lucy, pelo carinho, calma e bom humor. Aos avós Ana e Sylvio pela confiança e aos meus tios por seu carinho.

Ao grande amigo Arlindo Fiorentin por compartilhar de sua sabedoria e brindar-me com sua amizade, abrindo portas as quais jamais atravessaria sem sua ajuda. Agradeço aos companheiros Liorno Werneck e Carlos Alberto por nossos grandes momentos de reflexão, tão fundamentais à minha evolução.

Aos amigos da graduação, em especial à amiga Danielle Marques, companheira a qual pude sempre contar dentro e fora de sala, e às amigas Carina Ramos e Denise Furtado pela amizade e companheirismo.

*“A TERRA DEIXA APENAS VESTÍGIOS, RESTOS DE SUA EVOLUÇÃO,
RESQUÍCIOS COM OS QUAIS TENTAMOS MONTAR O
INTRICADO QUEBRA-CABEÇAS DE CONSTRUIR A
ARTE DE DESCRREVÊ-LA E
CONTAR SUA HISTÓRIA.”*

Marcus Aguiar Gorini.

RESUMO

O trabalho consiste na interpretação integrada da sísmica de alta resolução, com amostragem geológica, a fim de caracterizar a geologia do fundo, na região da margem continental das Ilhas Shetland do Sul, Estreito de Bransfield - Antártica. Os dados foram obtidos em novembro de 2009, durante a OPERANTAR XXVIII, e totalizam 350km de linhas sísmicas coletadas com equipamento *Sub-Bottom Profiler* EdgeTech 3200 e cinco testemunhos geológicos obtidos por meio de testemunhador do tipo *testemunhador à gravidade*. A caracterização da geologia é realizada através da análise de ecocaráteres e mapas de amplitude sísmica e a correlação destes com os sedimentos coletados. Os diferentes ecocaráteres foram, posteriormente, agrupados em categorias distintas a fim de se gerar mapas da geologia do fundo marinho. Dessa forma, é possível estabelecer uma relação direta entre os tipos de ecocaráteres obtidos e a geologia de fundo correspondente.

Cinco diferentes ecocaráteres foram identificados e classificados. Ecos I e II demonstram boa resolução e são caracterizados por ecos contínuos e nítidos com reflexões sub-paralelas. Ecos III e IV são caracterizados por ecos muito prolongado e ausência de refletores sub-paralelos. O Eco V/Hiperbólico está associado a depósitos glaciais, em respostas ao degelo e o transporte de grãos grossos em uma matriz mais fina, e demonstra grandes hipérboles irregulares sobrepostas.

Palavras chave: Estreito de Bransfield, Antártica, Ecocaráter, Sísmica de Alta-resolução, Análise Sedimentar.

ABSTRACT

The present work tries to characterize the geology of the South Shetland's continental margin, Bransfield Strait – Antarctica and its sedimentary distribution through the interpretation of high resolution seismic profiles and geological samples analysis, acquired by Gravity Corer. The data were collected in november 2009, with the Sub-Bottom Profiler Edgetech 3200 during the Operantar XXVIII, on a total of 350 km of seismic lines and five geological samples. The geological characterization was made through echo-character analysis, maps of seismic amplitude and its correlation with the collected sediments. Different echo-characters are, then, grouped into distinct categories in order to generate maps from the sediments covering the seafloor. Thus, it is possible to establish a direct relationship between echo-characters and its correspondent geology.

Five different echo types have been identified and classified. Echo types I and II have good seismic resolution and are characterized by continuous sharp bottom echoes with sub-parallel reflexions. Echoes III and IV are characterized by very prolonged bottom echoes with no sub-bottom reflectors. Echo V/Hyperbolic are associated to glacial deposits, in response to deglaciation and the transport of coarse grains in a muddy matrix, and shows large irregular overlapping hyperbolae.

Key Words: Bransfield Strait, Antarctica, Echo-character, High-resolution Seismic, Sedimentary analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Localização da área de estudo.....	15
FIGURA 2:	Mapa da região Antártica. Em destaque, região da Península Antártica.....	16
FIGURA 3:	Elementos tectônicos principais e limites das placas litosféricas, entre a América do Sul e a Península Antártica.....	18
FIGURA 4:	Modelo digital de terreno do <i>rift</i> de Bransfield.....	20
FIGURA 5:	Linha sísmica migrada e com soma de traços, transversal à zona de subducção e o arco das Shetland do Sul e a Bacia de Bransfield.....	21
FIGURA 6:	Visão panorâmica de geleira na Baía do Almirantado, Antártica.....	26
FIGURA 7:	Variações de temperatura calculadas entre o período de 1981 e 2007 utilizando dados de satélites na faixa do infra-vermelho termal.....	28
FIGURA 8:	<i>Sub-Bottom Profiler</i> em operação na Antártica.....	29
FIGURA 9:	Linhas sísmica levantadas durante a OPERANTAR XXVIII.....	30
FIGURA 10:	Testemunhador à gravidade utilizado durante a amostragem.....	33
FIGURA 11:	Pontos de amostragem realizados na região do Estreito de Bransfield.....	35
FIGURA 12:	Transmissão e reflexão do sinal sísmico de acordo com a variação da impedância acústica das camadas.....	36
FIGURA 13:	Mapeamento de horizonte de fundo para criação de mapas de amplitude....	41
FIGURA 14:	Registro sísmico nas imediações da Amostra AM-01.....	44
FIGURA 15:	Registro sísmico nas imediações da Amostra AM-02.....	44
FIGURA 16:	Registro sísmico nas imediações da Amostra AM-04.....	45
FIGURA 17:	Registro sísmico nas imediações da Amostra AM-14.....	45
FIGURA 18:	Registro sísmico nas imediações da Amostra AM-17.....	46
FIGURA 19:	Granulometria percentual das amostras geológicas.....	47
FIGURA 20:	Perfis sísmicos mostrando os cinco diferentes ecocaráteres encontrados..	49
FIGURA 21:	Mapa de ecocaráteres com coordenadas UTM.....	50
FIGURA 22:	Mapa de amplitudes com coordenadas UTM.....	51
FIGURA 23:	Gráfico com conteúdo granulométrico da amostra AM-02 e intercalações areia-lama.....	53
FIGURA 24:	Gráfico com conteúdo granulométrico da amostra AM-17 e intercalações areia-lama.....	53
FIGURA 25:	Mapa de distribuição sedimentar da área de estudo.....	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Relatório das operações de levantamento sísmico.....	31
TABELA 2: Relatório de operações: amostragem por testemunhador à gravidade.....	34
TABELA 3: Impedâncias médias.....	43
TABELA 4: Granulometria das amostras.....	46

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACC	Antarctic Circumpolar Current.
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
Cm	Centímetros.
GPS	Global Positioning System.
Kg	Quilogramas.
KHz	Quilohertz.
Km	Quilômetros.
Ma	Milhões de anos.
MSCL	Multi Sensor Core Logger.
OPERANTAR	Operação Antártica.
PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
SEASOAM	Estudos da Separação da Antártica e América do Sul.
TGV	Time Varying Gain
USDA	United States Department of Agriculture.
UTM	Antarctic Circumpolar Current.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
	1.1 OBJETIVO.....	14
2.	ÁREA DE ESTUDO: EXEMPLO DE APLICAÇÃO	15
3.	GEOLOGIA REGIONAL	17
	3.1 SEDIMENTAÇÃO.....	20
	3.2 VULCANISMO E MAGMATISMO.....	22
4.	AMBIENTES GLACIOMARINHOS	24
5.	METODOLOGIA	29
	5.1 AMOSTRAGEM.....	32
	5.2 SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO.....	36
	5.2.1 ECOCARÁCTERES.....	39
	5.2.2 AMPLITUDE SÍSMICA.....	41
6.	RESULTADOS	
	6.1 ANÁLISE SEDIMENTAR.....	43
	6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA.....	48
	6.3 ECOCARÁTERES.....	48
7.	DISCUSSÃO	52
8.	CONCLUSÃO	55
9.	REFERÊNCIAS	57
10.	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	60

1. INTRODUÇÃO

Durante muitos séculos, grande parte do planeta permaneceu inacessível, principalmente em sua porção marinha, devido à falta de tecnologia necessária à sua investigação.

O advento de métodos indiretos de investigação geofísica, ciência que estuda a Terra através da medição de suas propriedades físicas, tornou possível o estudo de alvos antes inacessíveis.

Atualmente, a Antártica é palco de uma série de projetos científicos, muitos desenvolvidos em função do Ano Polar Internacional (2007-2008). As atividades no continente são orientadas pelo Tratado Antártico, instituído em 1959, o qual determina o uso do continente para fins pacíficos e estabelece uma cooperação entre as nações para intercâmbio de informações científicas.¹

Atualmente, a Península Antártica tem sido foco de uma série de estudos, uma vez que a região é uma das áreas mais afetadas pelo aquecimento global.

O conhecimento das características geodinâmicas da Antártica são de fundamental importância para a compreensão dos processos atuantes no planeta, assim como o entendimento de eventos pretéritos globais.

Neste contexto, com o apoio da Universidade Federal Fluminense, a Marinha do Brasil e o CNPq, foi desenvolvido o projeto SEASOAM, *Estudos da Separação da Antártica e América do Sul, suas implicações geológicas e biológicas*. O projeto foi realizado em duas operações antárticas, nos OPERANTAR XXVII (2008) e XXVIII (2009) sob tutela dos professores Arthur Ayres Neto e Luiz Antônio Pierantoni Gamboa. O SEASOAM está inserido no projeto “*Plates and Gates*”, com sede na Universidade de Estocolmo.²

O projeto realizou levantamentos geofísicos, a partir da sísmica de alta resolução e magnetometria, além da coleta de testemunhos de sedimentos marinhos por testemunhador à gravidade, afim de se investigar a evolução geológica na região da Bacia de Bransfield, compreender as seqüências deposicionais regionais,

1 United States. Congress. Senate. Foreign Relations: The Antarctic Treaty. Washington, 1959. Artigos I e III. Cf.: <http://www.ats.aq/e/ats.htm>, acessado em 01/10/10.

2 Ver: <http://platesgates.geo.su.se/>, acessado em 01/11/2010.

mapeando sua distribuição, e analisar as variações climáticas do hemisfério sul.

1.1 OBJETIVO

A presente dissertação monográfica tem por objetivo a compreensão e caracterização da geologia do fundo na região da margem continental das Ilhas Shetland do Sul, Estreito de Bransfield – Antártica. A partir de mapas de amplitude sísmica, sua correlação com os ecocaráteres e testemunhos geológicos, é possível gerar mapas que correlacionem os padrões de reflexão da sísmica de alta resolução (3.5 kHz) à distribuição sedimentar na margem continental do arquipélago.

2. ÁREA DE ESTUDO: EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A Península Antártica é uma extensão de cerca de 1.300 Km do continente Antártico, avançando em direção à América do Sul. O relevo montanhoso tem seu ponto culminante no Monte Jackson (4190m).

Localizado na margem pacífica da Península Antártica, entre o arquipélago das Shetland do Sul (Figura 1) e a Península Antártica (Figura 2), a área de estudo situa-se na região do Estreito de Bransfield.

A região é caracterizada por um *rift* de retro-arco recente, formando o Estreito de Bransfield e sua bacia, (Barker, 1982 ; Barker e Austin, 1998) com profundidades máximas da ordem de 2.500 metros,³ largura média de aproximadamente 100 Km e extensão de 470 Km, da Ilha Clarence à Ilha Low.

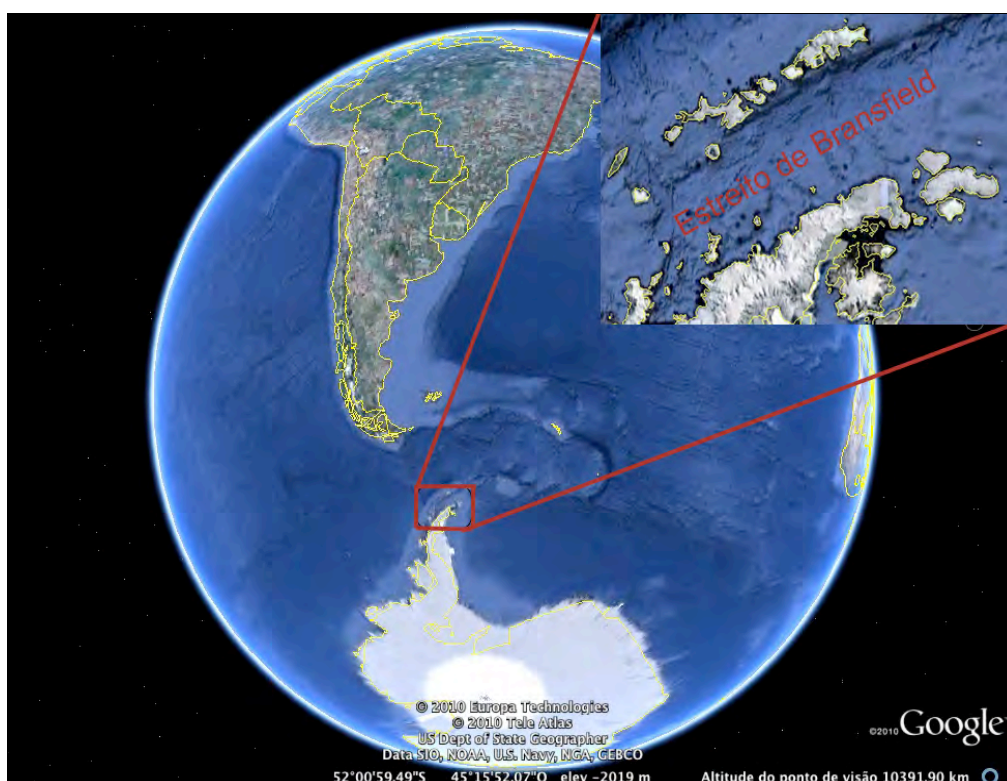


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Google Earth, 2010. Acessado em 30/10/2010.

3 Congresso Brasileiro de Geologia. 1988, Belém. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia. GAMBÔA, L.A.P; BARROCAS, S.L; MALDONADO, P.R. Investigações Geofísicas no Estreito de Bransfield e Mar de Bellingshausen – Antártica. Belém, PA. p. 2343-2357. 1988.

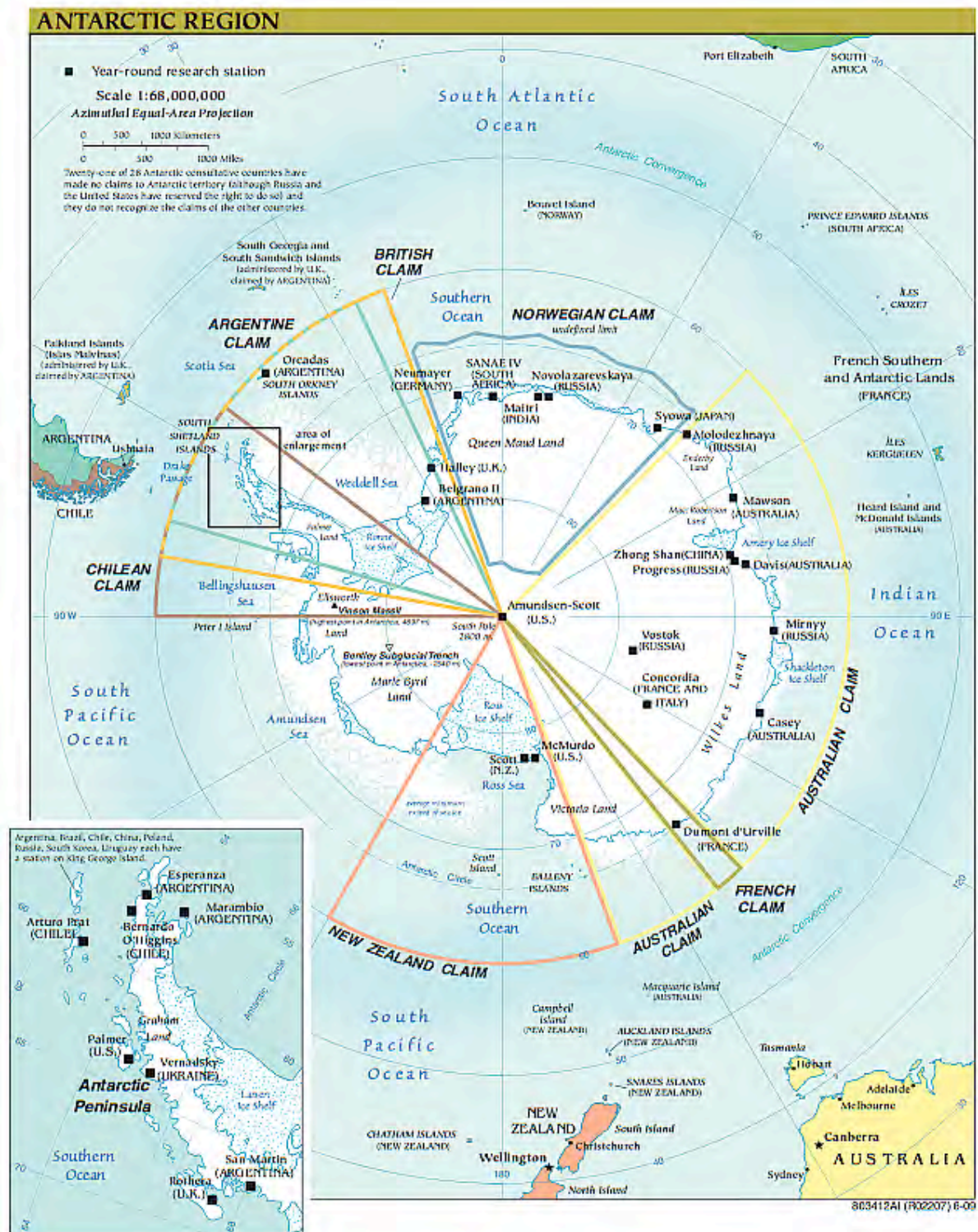


Figura 2: Mapa da região. Em destaque, região da Península Antártica. Fonte: CIA.GOV - https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/maps/refmap_time_zones.html, acessado em 26/01/2011.

3. GEOLOGIA REGIONAL

Durante os últimos 150 Ma e provavelmente desde antes da quebra do Gondwana, a Península Antártica tem sido o local de subducção da litosfera oceânica do Pacífico.⁴

A subducção da Placa do Pacífico sob a Placa Antártica originou um extensivo arco magmático, cujos remanescentes formam o que hoje constitui a Península Antártica.⁵

A abertura da Passagem de Drake, entre a América do Sul e Península Antártica possibilitou o início da circulação da Corrente Circumpolar Antártica (ACC). A datação para a abertura da passagem é, entretanto, controversa, embora estimativas variem entre 40 Ma e 17 Ma.⁶

O arquipélago da Shetland do Sul constituem formações magmáticas Jurássicas-Quaternárias, sobre o embasamento siálico de xistos e rochas sedimentares.

A Bacia de Bransfield é uma bacia de retaguarda de arco (*back-arc basin*), cuja formação se teve em resposta ao consumo de crosta oceânica na zona de subducção das Shetland do Sul, ainda ativa. Sua origem relaciona-se a processos extensionais dentro de um regime compressional com extensão na região da retaguarda do arco vulcânico.⁷

Sua bacia é um análogo às Bacias Cretáceas, invertida no regime de compressão tectônica que iniciou a Cordilheira dos Andes.⁸

Segundo Gamboa et al. (1988), o desenvolvimento da margem sul, adjacente à Península Antártica, se deu de maneira semelhante a uma margem continental passiva, tanto em termos de estruturas como em termos de seqüências estratigráficas.

4 BARKER, P.F.; CAMERLENGHI, A. Glacial History of the Antarctic Peninsula from Pacific Margin Sediments. 2002.

5 FRANCIS, J. E.; PIRRIE, D. & CRAME, J. A. *Cretaceous-Tertiary High-Latitude Palaeoenvironments: James Ross Basin, Antarctica*. Geological Society, Special Publications. London, 258p. 2006.

6 TURNER et al., 2009. p. 26.

7 GAMBOA et al., 1988. p. 2343-2357.

8 BARKER, D.H.N.; CHRISTESON, G.L.; AUSTIN, J.A.; DALZIEL, I.W.D. Backarc Basin Evolution and Cordilleran Orogenesis : Insights from New Ocean-bottom Seismograph Refraction Profiling in Bransfield Strait, Antarctica. *Geology*, 31(2): 107-110. 2003.

A atividade de subducção na Fossa das Shetland do Sul, ao longo da Península Antártica, resultou numa bacia de retaguarda de arco com geometria bastante organizada e eixo de espalhamento paralelo à zona de subducção (Figura 3). Tendo sua formação culminado na separação entre as Ilhas Shetland do Sul e a Península Antártica.⁹

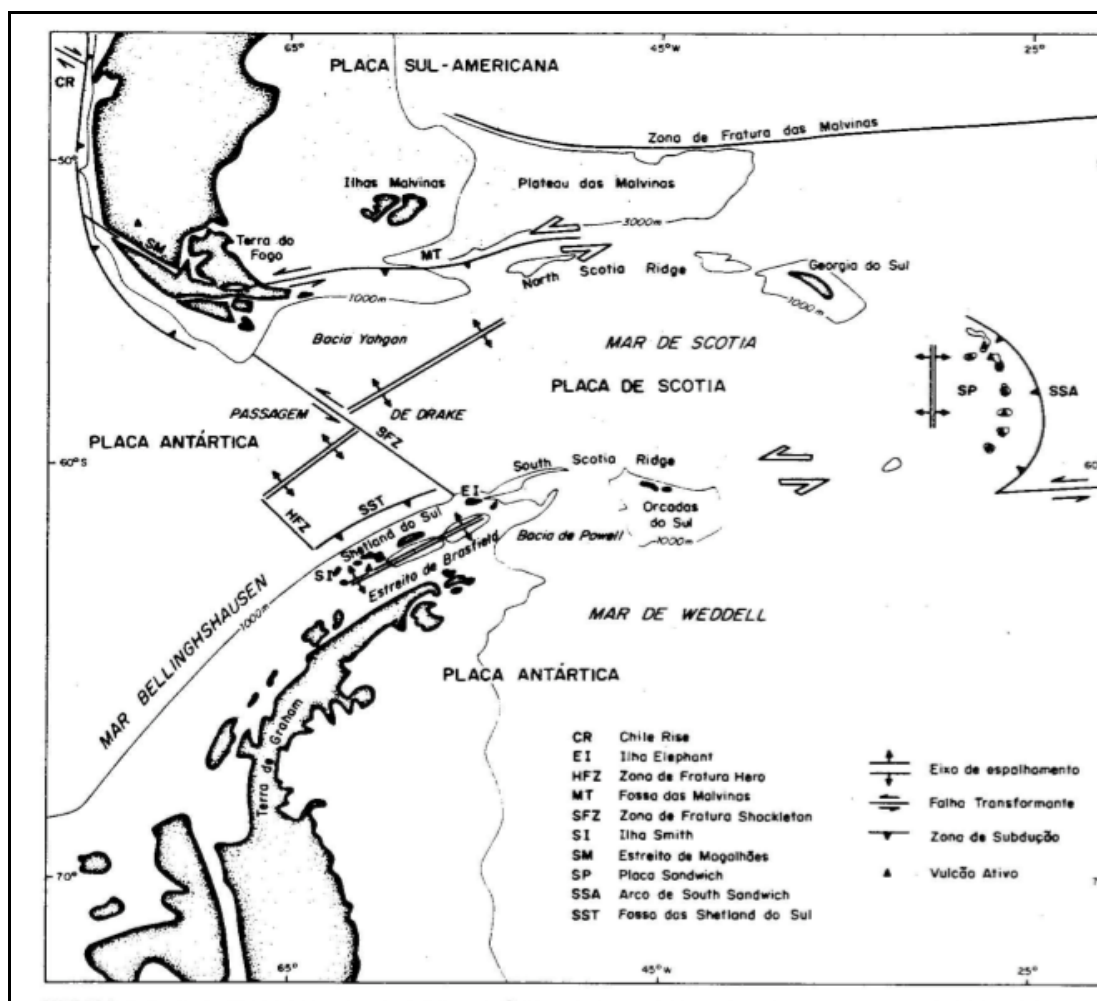


Figura 3: Elementos tectônicos principais e limites das placas litosféricas, entre a América do Sul e a Península Antártica. Baseado em Dalziel (1983), modificado de Gamboa et al. (1988).

Segundo Barker e Burrell (1977) e Barker (1982), a idade da Bacia de Bransfield não ultrapassaria 4 Ma. Nesta época, houve acentuada diminuição na

⁹ ZALDÍVAR, J. G.; GAMBOA, L.; MALDONADO, A.; NAKAO, S.; BOCHU Y. Bransfield Basin Tectonic Evolution. 2006.

razão de formação da crosta oceânica na Passagem de Drake.¹⁰

A partir desta época, o centro de espalhamento da Passagem de Drake tornou-se inativo ou muito lento (Barker e Burrell, 1977, Barker, 1982).¹¹

De acordo com Roach (1978), o início do espalhamento, ou a criação de crosta oceânica entre a Península Antártica e as Shetland do Sul, se deu há 1,3Ma. Porém, os falhamentos normais e a subsidência das margens da Bacia de Bransfield aparentemente iniciaram-se no Neo-Plioceno.¹²

A Bacia de Bransfield apresenta um perfil transversal assimétrico. Além disso, a declividade da margem do Arquipélago das Shetland do Sul é mais acentuada do que a da margem da Península Antártica, ao longo da qual depositou-se uma espessa cunha sedimentar.¹³

Segundo BIRKENMAJER (2003), o modelo tectônico vigente possui dinâmica de zona de subducção, com bacias de retro-arco e um rift ativo no Estreito de Bransfield (Figura 4).

10 GAMBOA et al., 1988. p. 2343-2357.

11 BARKER, P.F.; FILIPPELLI, G.M.; FLORINDO, F.; MARTIN, E.E.; SCHER, H.D. Onset and Role of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep Sea Research II*, 54/21-22: 2388-2398. 2007.

12 ROACH, P. J. The nature of back-arc extension in Bransfield Strait. *Royal Astronomical Society Geophysical Journal*, v.53, 165p. 1978.

13 GAMBOA et al., 1988. p. 2345.

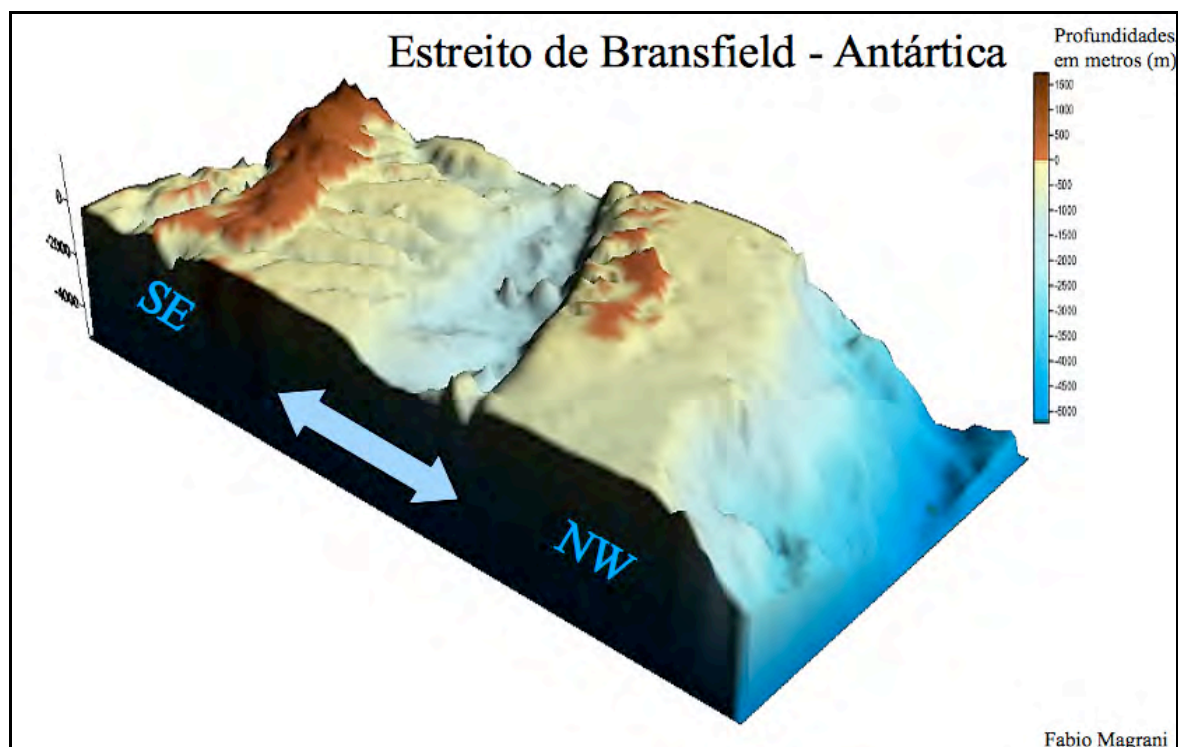


Figura 4: Modelo de terreno 3D do *rift* de Bransfield, Dados batimétricos da base de dados ETOPO1, processados no *software* SURFER. Fonte: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>, acessado em 18/01/2011.

3.1 SEDIMENTAÇÃO

As porções centrais na Bacia de Bransfield atingem profundidades superiores à 2000 metros. Segundo Gamboa et al. (1988), o fundo oceânico é caracterizado por relevo suave e pacote sedimentar com reflexões plano paralelas, depositado acima do embasamento oceânico (Figura 5).

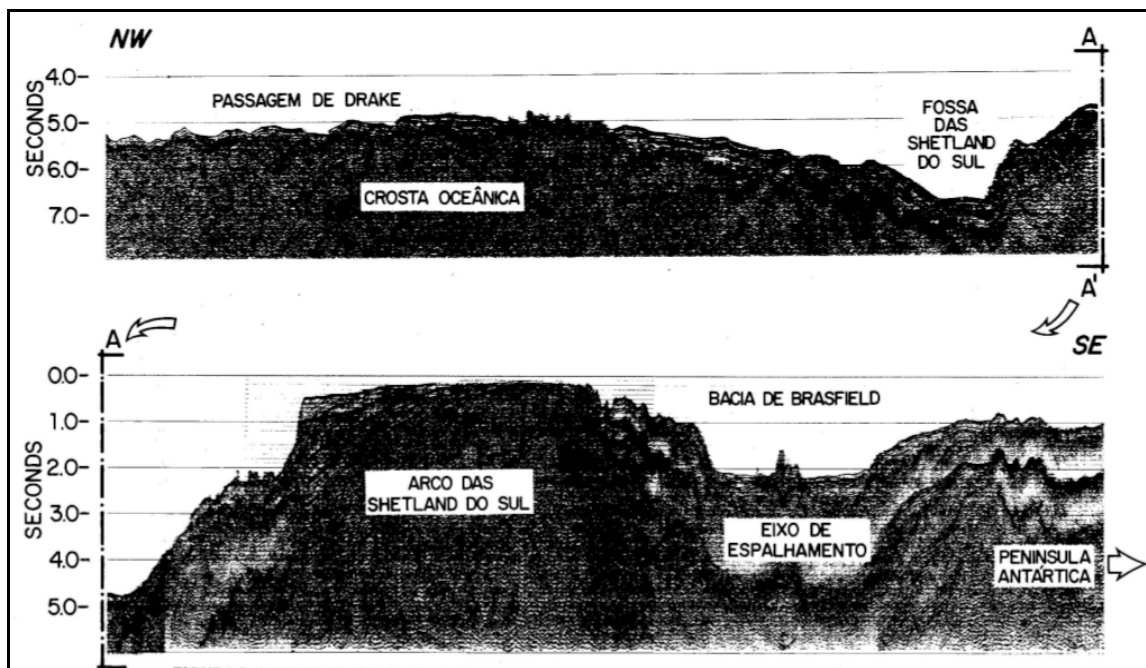


Figura 5: Linha sísmica migrada e com soma de traços, transversal à zona de subducção e o arco das Shetland do Sul e a Bacia de Bransfield. Perfil de aproximadamente 400km. Modificado de Gamboa et al. (1988).

As reflexões demonstram razoável continuidade lateral e alternância entre sedimentação pelágica e turbiditos na porção central da bacia.

O eixo de formação de crosta oceânica é uma feição contínua e serve de barreira para os sedimentos originários nas margens da bacia, que são transportados em direção às partes profundas.

Estendendo-se da Península Antártica até a profundidades de 200 metros, aflora um “embasamento acústico”, ou com cobertura sedimentar restrita, conforme estudado em seções sísmicas por Barker e Griffiths (1972).

A partir desta região, observa-se um conjunto de reflexões fortemente inclinadas em direção ao centro da bacia, que formam faixas de larguras variáveis entre 5 e 15 Km, ao longo da qual acumulam-se sedimentos relacionados com a história inicial da Bacia.¹⁴

A cunha sedimentar pode ser subdividida em duas seqüências, separadas por uma discordância angular. Na seqüência inferior há ocorrência de refletores falhados e basculados em direção ao continente e limitados em sua porção mais distal por um

¹⁴ Ibid. p. 2346.

alto externo paralelo ao eixo de espalhamento da bacia. Na seqüência superior ocorrem refletores plano paralelos nas partes profundas da bacia até o seu eixo vulcânico e camadas inclinadas em direção ao eixo da bacia, devido ao talude íngreme, compõe a morfologia da margem continental da Península Antártica.¹⁵

3.2 VULCANISMO E MAGMATISMO

O vulcanismo na região se deve à subducção da crosta oceânica do Pacífico sob a crosta continental da Antártica. A composição das lavas variam de andesitos basálticos à riolitos e a cloritização é comum neste grupo.¹⁶

O vulcanismo ativo associado ao *rift* de Bransfield ocorre ao longo de seu eixo de espalhamento, aflorando nas Ilhas de Deception, Penguin, Bridgeman, e em vulcões submarinos.

O eixo do *rift* é definido por um centro de espalhamento, associado aos vulcões das ilhas de Deception, Penguin e Bridgeman e a outros vulcões submarinos. Sua taxa de espalhamento é estimada entre 0,25 – 0,75 cm/ano.¹⁷

Diversos trabalhos interpretam o magmatismo das Ilhas de Deception e Bridgeman como sido gerados pela fusão de partes rasas do manto, possuindo características típicas de basaltos das cadeias mesa-oceânicas, como baixos teores de K e baixa razão $87\text{Sr}/86\text{Sr}$.¹⁸

Devido a grande atividade biológica sazonal no Estreito de Bransfield e ao elevado gradiente geotérmico, hidrocarbonetos estão sendo formados atualmente nos sedimentos superficiais das partes mais profundas da bacia (Whiticar et al. (1985); Soldan et al. (1987)).¹⁹

Apesar da pequena espessura aparente e a pouca idade desses sedimentos desencorajarem à pesquisa de reservas comerciais de hidrocarbonetos na bacia, o

15 Ibid. p. 2346.

16 BIRKENMAJER K. Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica): A geological monograph. *Studia Geologica Polonica*. v. 120, p. 5–73. 2003.

17 THOMSON, M.R.A.; CRAME, J.A.; THOMSON, J. W. Geological evolution of Antarctica. Cambridge, UK. Cambridge University Press, 1991. 722 pp. 5th SCAR/IUGS Symposium on Antarctic Earth Sciences, Cambridge, UK, 1987.

18 GAMBOA et al., p. 2346.

19 *Apud* Gamboa et. al (1988), p. 2346.

conhecimento da evolução sedimentar desta região pode vir a ser um modelo para o entendimento da geração de hidrocarbonetos em margens continentais do tipo Atlântico.²⁰

²⁰ Ibid. p. 2348.

4. AMBIENTES GLACIO-MARINHOS

O local de estudo localiza-se abaixo do paralelo 60° sul, em ambiente glacial dominado por processos glacio-marinhos. Sendo, destarte, influenciado por interações de processos glaciais e marinhos.

Nos ambientes glaciais (*latu sensu*) o gelo e a água de degelo são os principais agentes de erosão, transporte e deposição de sedimentos. Sua distribuição abrange ambientes em contato direto (glaciogênicos), adjacentes ou influenciados por geleiras (proglaciais).

Nos ambientes glaciogênicos (glaciais *stricto sensu*), os sedimentos estão em contato com a geleira e são depositados pelo gelo ou por águas de degelo. De acordo com sua posição relativa. Seus sedimentos podem ser subdivididos em subglacial (na base da geleira), supraglacial (sobre a geleira, onde os efeitos sazonais são mais sentidos) e englacial (dentro da geleira).²¹

Além dos sedimentos, os ambientes glacio-marinhos podem ser subdivididos de acordo com a posição em relação à geleira:

- 1) subglacial (processos e depósitos diretamente vinculados à dinâmica da geleira);
- 2) proglacial proximal (processos sofrem grande influência da margem da geleira);
- 3) proglacial distal (dominam os processos marinhos).²²

A chuva de detritos (*rain-out*) é um dos processos mais importantes no ambiente glacio-marinho, quando a água de degelo, carregada de sedimentos, é expulsa da geleira e penetra nos corpos d'água, parte da carga sedimentar (normalmente a mais fina), ascende na forma de plumas e permanece em suspensão na água. A decantação da fração fina, combinada à queda de clastos de *Icebergs* ou de plataformas de gelo, gera diamictitos maciços ou pouco estratificados.²³

A deposição por correntes subaquosas de água de degelo envolve fluxos

21 ASSINE, M.L. & VESELY, F.F, 2008. p. 1.

22 Ibid. p.22

23 Ibid. p. 24.

contínuos de alta energia, que depositam a fração mais grossa sob a forma de lobos. Devido à alta taxa de sedimentação e à granulometria grossa das partículas, os leques podem apresentar aludes deposicionais íngremes, mesmo onde a deposição é inteiramente subaquosa.

A ressedimentação é outro fenômeno comum em ambientes glacio-marinhas. Depósitos gerados por remobilização dos detritos trazidos pelas geleiras, talude abaixo, são de grande importância, pois constituem grande parte das sucessões glácio-marinhas preservadas no registro estratigráfico (Visser (1983), Eyles (1987), Gama Jr. *et al.* (1992)).²⁴ A ressedimentação ocorre numa gama contínua de processos gravitacionais, desde deslizamentos e escorregamentos até correntes de turbidez (Lowe 1979, Lowe 1982, Pickering *et al.* 1986, Nemeč 1990, Mutti 1992).²⁵

Os constituintes básicos dos ambientes glaciais são as geleiras (Figura 6). As geleiras são importantes elementos de erosão e formação do relevo terrestre e estão estreitamente associadas às águas de degelo e detritos (Reineck & Singh, 1975).

As geleiras, massas de gelo formadas a partir da acumulação de neve, são originadas a partir da posterior compactação dos flocos acumulados, em decorrência do peso das camadas que à ela se sobrepõe e sua recristalização.

²⁴ *Apud* ASSINE, M.L. & VESELY, F.F, 2008. p. 23.

²⁵ *Id.*



Figura 6: Visão panorâmica de geleira na Baía do Almirantado, Antártica.

As geleiras se movimentam gradiente abaixo pela ação da gravidade e são formadas a partir de uma combinação de fatores, como baixas temperaturas, alta taxa de precipitação e baixíssima taxa de evaporação. Além disso, são abastecidas acima da linha de neve, onde a acumulação é maior que seu degelo.²⁶

O padrão primário da erosão abaixo de uma geleira é controlado pelo regime termal basal. Ou seja, as variações de temperatura controlam as taxas de deformação do gelo e da quantidade de água de degelo, que lubrificará o substrato.

A deposição sedimentar varia de acordo com a distância em relação à margem da geleira. Deste modo, os sedimentos podem ser depositados pelas geleiras ou transportados por *icebergs*, ou remobilizados por correntes de acordo com os processos atuantes no interior do corpo d'água (Assine & Vesely, 2008).

A sedimentação em ambientes glaciais pode ocorrer diretamente a partir da geleira ou a frente, onde os agentes de transporte e deposição são correntes de água de degelo e fluxos de gravidade.

Devido à grande competência das geleiras em remobilizar sedimentos, são

²⁶ REINECK & SINGH, 1975.

esperadas acumulações de cascalho, areias e lamas próximos às frentes do gelo, em função da movimentação das geleiras e correntes de água de degelo subglacial.²⁷

Na zona subglacial as geleiras desempenham o papel principal na deposição sedimentar, construindo principalmente as feições de morainas. As morainas são importantes feições do ambiente glacial, constituindo depósitos formados por ação direta de geleiras em feições de cristas lineares de detritos glaciais que acompanham lateralmente a geleira, ou arqueada, junto à sua margem frontal indicando a movimentação de suas frentes (Reineck & Singh, 1975). Podem ser classificadas em terminais, laterais e medianas (encontro de duas geleiras). As morainas terminais formam-se pelo acúmulo de detritos nas margens estagnadas de geleiras à medida que há o degelo. Com o recuo da geleira, formam-se cristas que registram o limite máximo atingido pelas últimas fases de avanço glacial.

Morainas são constituídas por sedimentos clásticos (*till*), comumente grossos, com baixa seleção granulométrica, aspecto maciço e abundância de clastos facetados e/ou estriados. Dessa forma, o aspecto mais comum do *till* é a presença de clastos de diferentes formas e tamanhos (de grânulos a matacões), dispersos numa matriz fina.

Depósitos glaciais sujeitos à exposição subaérea podem ser retrabalhados também pelo vento, que transporta as partículas mais finas em suspensão por grandes distâncias originando, por exemplo, depósitos de *loess* em áreas periglaciais.²⁸

Sedimentos da zona proglacial são provenientes de material transportado pela geleira, que é retrabalhado por correntes de água de degelo e por fluxos de gravidade subaquosos, ou por plumas de suspensão. As fácies sedimentares resultantes surgem da combinação de três processos: tração, ressedimentação gravitacional e chuva de detritos (*rain-out*).²⁹

No local de estudo, em áreas distantes da influência direta das geleiras, predomina a sedimentação mais fina, de caráter argiloso, em resposta aos

²⁷ Apud CONCEIÇÃO, F. V. 2009. p. 31.

²⁸ ASSINE & VESELY, 2008. p. 12.

²⁹ Ibid. p. 23.

processos marinhos dominantes no local.

Em outros estudos (Simões et al., 2004), amostras de gelo tem sido de fundamental importância para a análise de paleoclimas e variações climáticas na Antártica. Nos últimos cinquenta anos, a Península Antártica tem experienciado mudanças climáticas acima da média global, ocasionando o desprendimento de plataformas de gelo e o recuo acelerado de geleiras (Figura 7).

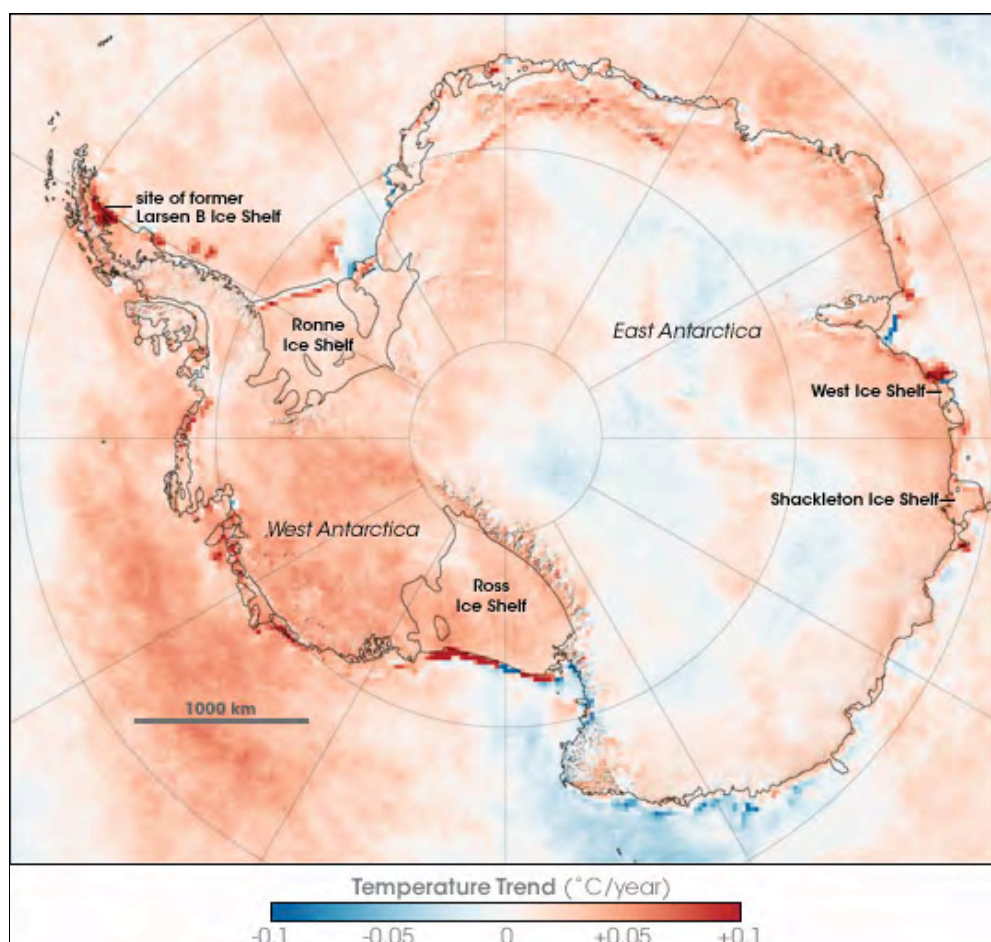


Figura 7: Variações de temperatura calculadas entre o período de 1981 e 2007 utilizando dados de satélites na faixa do infra-vermelho termal. As temperaturas referem-se aos primeiros milímetros de terra, mar ou gelo, e não à temperaturas do ar. Fonte: nasa.gov, acessado em 28/01/2011. Imagem por Robert Simmon baseado nos dados de Joey Comiso – GSFC.

5. METODOLOGIA

A aquisição de dados foi realizada durante a OPEANTAR XXVIII, a bordo do NApOc Ary Rongel (H-44), com apoio da Marinha do Brasil e do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).

Os dados sísmicos foram adquiridos pelo Perfilador de Sub-fundo (*Sub-Bottom Profiler*, 3.5KHz, EdgeTech 3200) entre os dias onze e treze de novembro de 2009, na região do Estreito de Bransfield, Baías do Almirantado, Maxwell e Rei George (Figura 8).

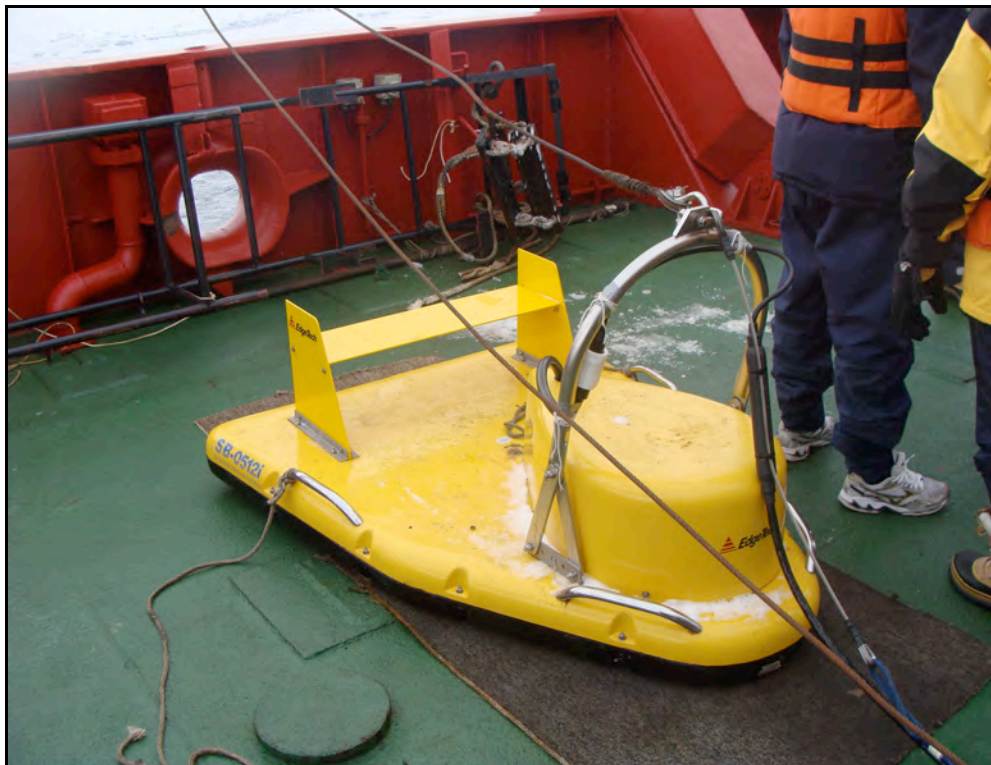


Figura 8: *Sub-Bottom Profiler* 3.5KHz EdgeTech 3200 durante operação na Antártica em novembro de 2009.

O perfilador de sub-fundo foi regulado com ganho e TGV variáveis, pulso entre 50ms e 100ms, potência fixa a 100% e frequências utilizadas em duas janelas: 0.5 - 2.7 kHz e 0.5 – 4.5 kHz.

Durante a aquisição foi percorrido um total de 350 Km de linhas sísmicas (Figura 9) recobrando uma área de aproximadamente 2.500 Km².

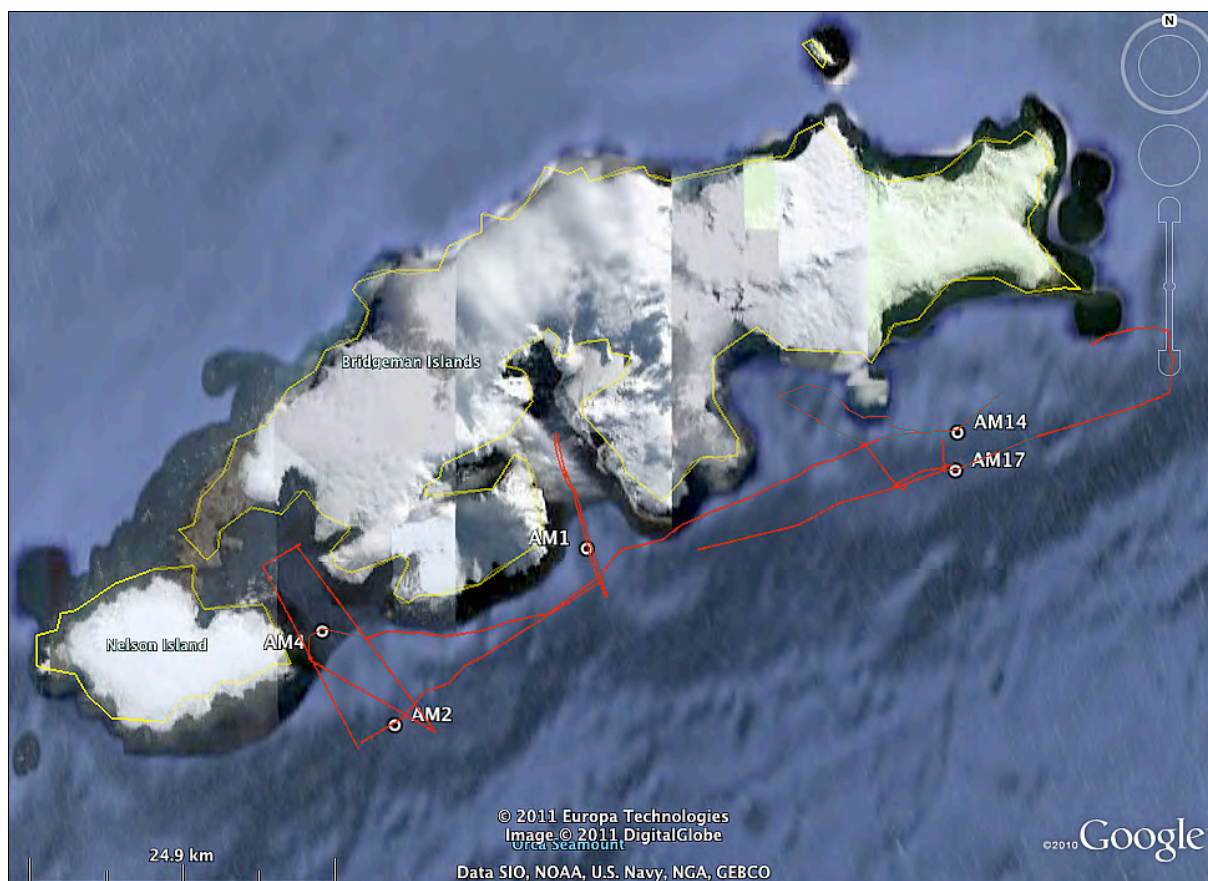


Figura 9: Linhas sísmicas levantadas durante OPERANTAR XXVIII, Antártica – 2009. A linha vermelha representa as linhas navegadas durante a aquisição. As linhas amarelas representam linhas de contorno com o limite da porção emersa.

Os dados foram analisados durante a aquisição sísmica e gerada uma tabela de aquisição. (Tabela 1).

Os testemunhos foram coletados por meio de testemunhador à gravidade, com peso aproximado de 400 Kg.

Tabela 1: Relatório das operações de levantamento sísmico.

OPERANTAR XXVIII
Projeto Seasmom

Relatório de Operações - Levantamento Sísmico

Data	Local	Nome da linha	Hora Inicial	Lat. Iní	Long. Iní.	Hora Final	Lat. Final	Long. Final
11/11/2009	Bala do Almirantado	Alm - L2	12:23	62°11.941' S	058°23.163' W	13:23	62°15.360' S	058°18.900' W
11/11/2009	Estreito de Bransfield	Guinada L2 - L7a	13:24	62°15.360' S	058°18.900' W	13:34	62°15.235' S	058°18.937' W
11/11/2009	Estreito de Bransfield	Brans - L7a	13:34	62°15.235' S	058°18.937' W	16:42	62° 22.156' S	058° 19.362' W
11/11/2009	Estreito de Bransfield	Guinada L7a - L4	16:42	62° 22.156' S	058° 19.362' W	16:54	62° 21.940' S	058° 38.650' W
11/11/2009	Bala de Maxwell	Max - L4	16:54	62° 21.940' S	058° 38.650' W	19:18	62°14.982' S	058° 21.521' W
11/11/2009	Bala de Maxwell	Guinada MaxL4 - MaxL3	19:18	62°14.982' S	058° 21.521' W	19:39	62°14.689' S	058° 51.757' W
11/11/2009	Bala de Maxwell	Max - L43	19:39	62°14.689' S	058° 51.757' W	19:59	62°13.976' S	058°49.250' W
11/11/2009	Bala de Maxwell	Guinada L43	19:59	62°13.976' S	058°49.250' W	20:14	62°13.974' S	058°49.286' W
11/11/2009	Bala de Maxwell	Max - L3	20:14	62°13.974' S	058°49.286' W	23:12	62°21.390' S	058°32.484' W
11/11/2009	Estreito de Bransfield	Guinada Max L3 - L8	23:12	62°21.390' S	058°32.486' W	23:27	62°21.168' S	058°32.517' W
11/11/2009	Estreito de Bransfield	Brans - L38	23:27	62°21.168' S	058°32.517' W	1:05	62°18.594' S	058°45.426' W
12/11/2009	Estreito de Bransfield	Guinada L38	1:05	62°18.594' S	058°45.426' W	1:21	62°18.627' S	058°45.690' W
12/11/2009	Estreito de Bransfield	Brans - L8	1:21	62°18.627' S	058°45.690' W	9:52	62°06.888' S	057°41.872' W

Operações interrompidas para apoio a EACF

12/11/2009	Bala do Almirantado	Alm L2-1	18:39	62°09.341' S	058° 26.276' W	20:20	62°15.103' S	058°19.055' W
12/11/2009	Bala do Almirantado	Guinada Alm L2-1 Alm L7B	20:20	62°15.103' S	058°19.055' W	20:53	62°15.662' S	058°18.112' W
12/11/2009	Estreito de Bransfield	Brans L7b	20:53	62°15.662' S	058°18.112' W	2:59	62°07.255' S	057°27.273' W
12/11/2009	Estreito de Bransfield	Guinada L7B	2:59	62°07.255' S	057°27.273' W	3:58	62°04.434' S	057°30.938' W
12/11/2009	Estreito de Bransfield	Brans - L8b	3:58	62°04.434' S	057°30.938' W	6:14	62°08.475' S	057°50.141' W
12/11/2009	Estreito de Bransfield	Guinada L8b - L5a	6:14	62°08.475' S	057°50.141' W	6:28	62°08.373' S	057°50.046' W
12/11/2009	Bala Rei George	George L5a	6:28	62°08.373' S	057°50.046' W	7:40	62°06.169' S	058°01.043' W
12/11/2009	Bala Rei George	Guinada George L5a - L6	7:40	62°06.169' S	058°01.043' W	7:51	62°06.093' S	058°00.899' W
12/11/2009	Bala Rei George	George L5a - L6	7:51	62°06.093' S	058°00.899' W	8:07	62°06.368' S	058°03.101' W
12/11/2009	Bala Rei George	Guinada George L6	8:07	62°06.368' S	058°03.101' W	8:11	62°06.511' S	058°03.284' W
12/11/2009	Bala Rei George	George L6	8:11	62°06.511' S	058°03.284' W	9:52	62°11.226' S	057°51.962' W
12/11/2009	Estreito de Bransfield	George L6-George L5B	9:52	62°11.226' S	057°51.962' W	10:39	62°09.3365' S	057°48.4407' W

OBS: Horário em GMT

Concomitante à aquisição, foram gravadas as posições das linhas sísmicas, com o auxílio do GPS. Os dados fornecidos pelos dois equipamentos foram repassados ao *software* EdgeTech *DISCOVER*, e posteriormente ao *software* de interpretação sísmica SMT KINGDOM.

5.1 AMOSTRAGEM

As amostragens sub-superficiais envolvem a coleta de sedimentos desde a superfície do fundo marinho até dezenas de metros. Sua principal característica é a preservação da estratigrafia dos sedimentos. Os amostradores sub-superficiais se dividem em duas categorias principais: amostradores caixa que recuperam um bloco de sedimento de pequeno comprimento e os testemunhadores que podem recuperar longas seções de sedimento. Estes últimos, podem ser divididos em “com pistão” e “sem pistão”, também chamados de testemunhadores a gravidade (*gravity corer*). Outras classes de testemunhadores são os testemunhadores com “vibrador” e testemunhadores com “martetele de impacto”.³⁰

Ainda, segundo Figueiredo & Brehme (2000), os testemunhadores à gravidade são os dispositivos mais simples dentre os testemunhadores. Alguns destes testemunhadores possuem uma válvula na parte superior do tubo e outra na parte inferior. A válvula no topo evita a entrada de água e assim a lavagem do sedimento, enquanto a válvula inferior, chamada de “válvula retentora” ou “aranha” impede a saída do sedimento durante a retirada do fundo. Uma das partes importantes do testemunhador é o cortador que vai preso na ponta do tubo. Este cortador deve ser dimensionado para ter um perfil que cause o menor atrito possível durante a penetração no sedimento e assim permita uma boa penetração com bastante recuperação. Este tipo de testemunhador é usualmente descido ao fundo com o guincho sob controle a 1 – 1,5 m/s. Quando faltam poucos metros o guincho pode ser totalmente liberado para que com a descida mais rápida haja maior penetração. Testemunhador pode variar entre 100 e 1000 kg, e o limite máximo de profundidade

³⁰ Figueiredo & Brehme, 2000. p. 274.

da ordem de 6000 m. Os testemunhadores a gravidade possuem entre 3 à 20 m de comprimento e são adequados para testemunhagem de areia e lama.

A amostragem geológica foi realizada no período de novembro de 2009, durante a OPERANTAR XXVIII na região da Península Antártica.

Foram coletadas dez amostras no interior das Baías do Almirantado, Maxwell e Rei George. A coleta foi realizada por meio de testemunhador à gravidade (Figura 10), com seis metros de comprimento e peso aproximado de 400Kg.

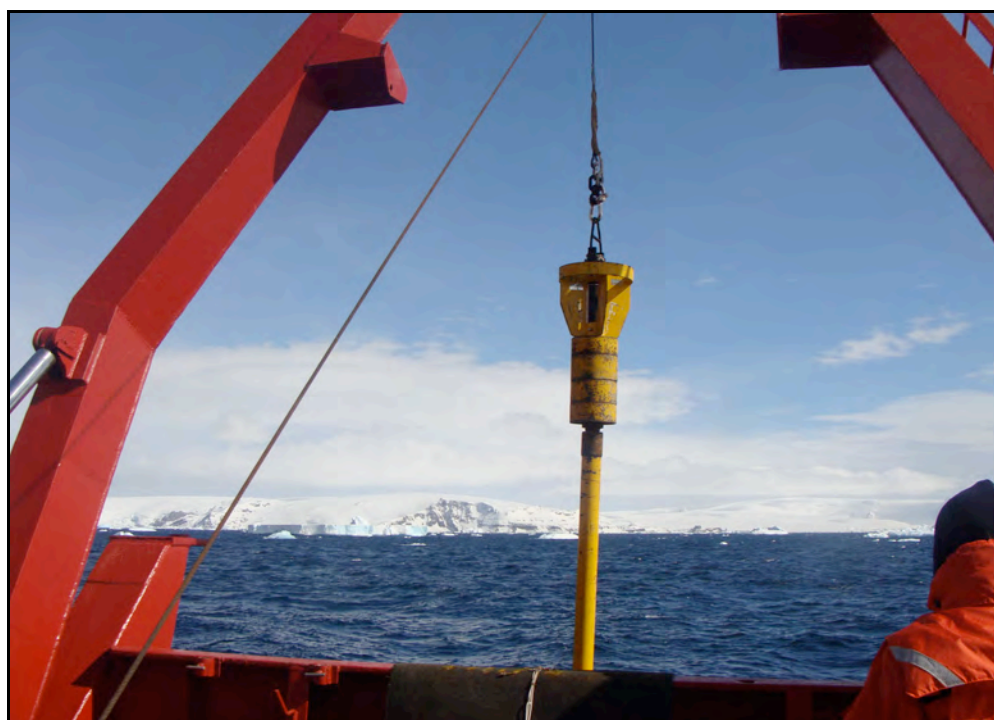


Figura 10: Testemunhador à gravidade sendo baixado para coleta de amostras, Antártica, 2009.

Os pontos amostrados foram selecionados a partir dos dados sísmicos e planejados dezoito pontos para coleta de sedimentos de fundo.

Foram realizadas dez amostragens, com recuperação de sete testemunhos, em oito posições diferentes. Houve repetição nos procedimentos para retirada de testemunhos por dificuldades na recuperação das amostras.

A planilha de controle contendo os pontos executados na amostragem encontram-se a seguir (Tabela 2).

Tabela 2: Relatório de operações: amostragem por testemunhador à gravidade. Pontos executados.

OPERANTAR XXVIII													
Projeto SEASOAM													
Relatório de Operações - Amostragem													
Local	Amostra	Latitude	Longitude	Prof. (m)	Penetração (m)	Recuperação (m)	Prof. Perf. (m)	hora início	tempo descida	velocidade descida (m/min)	hora fim	tempo subida	velocidade subida (m/min)
Baía do Almirantado	AM-01	62°12.98'S	058°22.37'W	490 m	3.7	2.82	466.9	0:14	0:11	42.45	0:34	0:09	51.88
Baía de Maxwell	AM-02	62°20.7725'S	058°40.4884' W	576 m	Não identificável	0.84	660.1	5:16	0:13	50.78	5:43	0:12	55.01
Baía de Maxwell	AM-04	62°16.6375'S	058°47.3542' W	285 m	4.56	3.22	465.2	3:54	0:13	35.78	4:15	0:08	58.15
Baía Rei George	AM-14	62°07.7276'S	057°47.5272' W	305 m	3.1	2.44	310.9	10:10	0:07	44.41	10:23	0:06	51.82
Baía Rei George	AM-17	62°09.3973'S	057°47.6891' W	531 m	4.05	2.36	502.4	11:13	0:11	45.67	11:33	0:09	55.82
OBS: Horário em GMT													

Os pontos de amostragem foram plotados em mapas georreferenciados, onde foi possível observar sua distribuição ao longo da área de estudo (Figura 11).

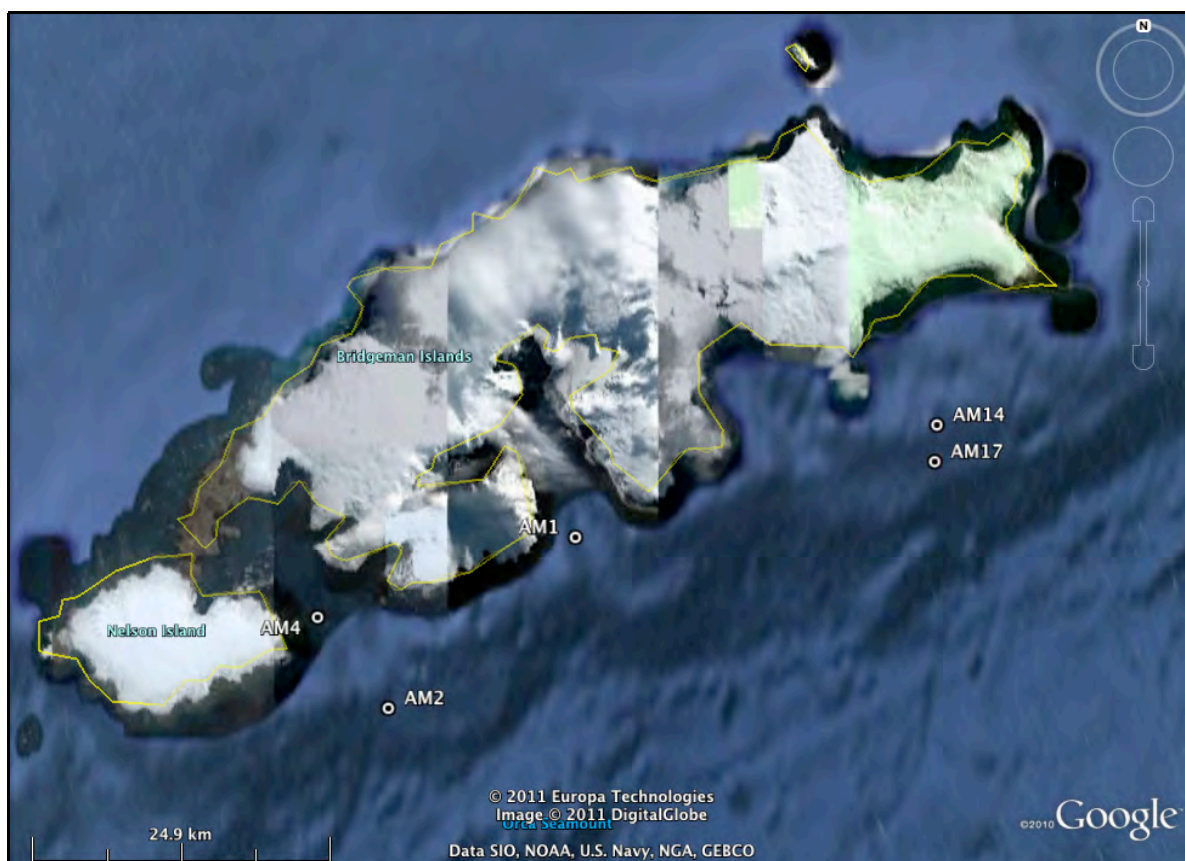


Figura 11: Pontos de amostragem por testemunhador à gravidade na região do Estreito de Bransfield, Península Antártica.

As amostras foram perfiladas no *Multi-Sensor Core Logger*, no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), onde se obtiveram os valores de velocidades das ondas P (primárias, compressionais) densidade e impedância ao longo dos testemunhos.

Em etapa seguinte, os testemunhos foram abertos, laminados e descritos, com base em sua granulometria, cor e textura.

5.2 SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

A geofísica é uma importante ferramenta para a investigação indireta do fundo e sub-fundo marinho devido à qualidade de seus resultados e facilidade de aplicação de seus métodos. Hodiernamente, as ondas acústicas são o único meio prático para coletar informações do fundo marinho. Elas consistem em vibrações mecânicas que se propagam com facilidade na água e compensam as limitadas capacidades das ondas eletromagnéticas e ópticas nos oceanos (Lurton, 2002).

A sísmica de alta resolução é um método geofísico baseado na emissão de ondas acústicas, sua transmissão e reflexão (Figura 12) entre dois ou mais meios físicos de propriedades elásticas distintas. Dessa forma, a partir da geração de ondas sísmicas por uma fonte acústica, o sinal é refletido sempre que encontra meios de diferentes impedâncias acústicas. A energia não refletida ou espalhada, será transmitida às camadas abaixo.³¹

Segundo Mosher e Simpkin (1988), a impedância acústica é, por definição, o produto entre a velocidade acústica compressional (longitudinal ou primárias) e densidade do meio (ρ_0).³²

Ondas elásticas (ou ondas sísmicas) viajam com diferentes velocidades em diferente litologias. A partir do tempo de chegada destas ondas refletidas em pontos de localizações distintas, é possível determinar a distribuição de velocidade e localizar interfaces onde as ondas são refletidas e refratadas.³³

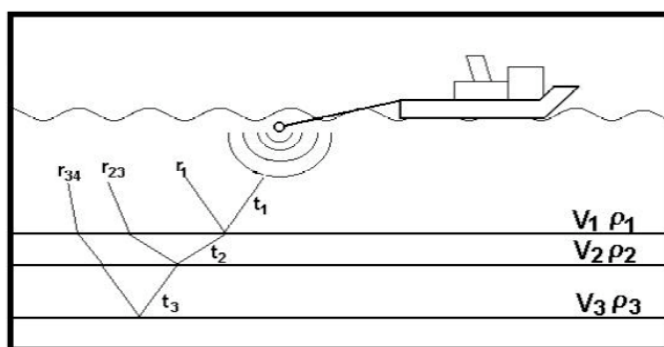


Figura 12: Transmissão e reflexão do sinal sísmico de acordo com a variação da impedância acústica das camadas sedimentares abaixo do fundo. (Ayres Neto, 2000).

31 MOSHER, D.C.; SIMPKIN, P.G., 1988. p. 2.

32 Ibid. p. 2.

33 AYRES NETO, A. 2000, p. 245-246.

Ao selecionar fontes sísmicas, cada estudo deve avaliar seus objetivos e resoluções desejadas, uma vez que há sempre uma troca entre penetração, que demanda baixas frequências, e resolução, que, por sua vez, necessita de maiores larguras de banda (incluindo altas frequências).

Destarte, a sísmica de alta resolução possui fontes de altas frequências e pequenos comprimentos de ondas, permitindo restrita capacidade de penetração em sub-superfície, embora alta resolução, adequando-se à estudos cuja objetivação vise ao detalhamento do fundo e sub-fundo de algumas dezenas à uma centena de metros.

A sísmica de alta resolução tem como principais finalidades, o mapeamento de estruturas sub-superficiais, a identificação de diferentes tipos de fundo através de ecocaráteres, o fornecimento de informações sobre a distribuição estrutural das camadas geológicas abaixo do fundo do mar e a análise da distribuição superficial de sedimentos no fundo do mar.³⁴

Segundo Ayres (2000), o método acústico é o principal meio de investigação do fundo do mar por não sofrer forte atenuação como os métodos de sensoriamento remoto convencionais, (óticos e radar) e ondas eletromagnéticas. As ondas acústicas são pouco absorvidas pela água e permitem a realização de levantamentos em regiões de oceano profundo, assim como a investigação de camadas geológicas em sub-superfície.

Na maioria dos casos de aquisição por sísmica de alta resolução monocanal, a reflexão do pulso acústico ocorre próximo à incidência normal, gerando ecos que representam mudanças das impedâncias acústicas ao longo da coluna sedimentar.³⁵

Ayres Neto (2000), define a velocidade de propagação das ondas acústicas em um meio como função de suas constantes elásticas, como o módulo de Young (E), módulo de rigidez (m), módulo de Poisson (n) e módulo de compressão (k). As constantes variam de acordo com o meio e relacionam-se com a quantidade de deformação sofrida por um material em função da força exercida sobre ele. A velocidade de propagação das ondas P (ondas longitudinais ou compressionais) é definida pela equação (Schön, 1996):

³⁴ Ibid. p. 246.

$$V_p = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\rho}}$$

onde ρ é a densidade do meio em que a onda se propaga.

As ondas acústicas se propagam em águas marinhas com velocidades em torno de 1500 m/s. A variação de suas velocidades dependerá basicamente da salinidade, não sofrendo muita influência da pressão e da temperatura. Enquanto para a propagação em sedimentos, sua velocidade depende basicamente dos módulos de compressão e rigidez.³⁵

O coeficiente de reflexão é função da diferença de impedâncias entre os meios. Quanto maior sua diferença, maior será a quantidade de energia refletida e mais forte será evidenciado no registro sísmico. Um sedimento mais compacto, menos poroso e com baixo teor de água será mais denso e refletirá uma maior quantidade de energia. Afloramentos rochosos também apresentam alta refletividade acústica, enquanto sedimentos porosos e saturados, com baixas densidades serão pouco refletivos.³⁶

A energia refletida pelas interfaces é recebida pelos hidrofones (aplicação marinha) e é proporcional a amplitude do pulso acústico produzido pela fonte e a magnitude do contraste de impedância entre os meios (valor absoluto do coeficiente de reflexão)

A amplitude do sinal refletido é função de uma complexa interação entre diversos fatores. No entanto, uma simplificação desta relação é definida para ângulos de incidência normal à superfície refletora. Neste caso, o coeficiente de reflexão (R_c), definido como a razão entre a amplitude do sinal refletido e a amplitude da onda incidente é dada pela equação (Sharma, 1997):

35 Ibid. p. 246.

36 Ibid. p. 243.

$$R_c = \frac{A_f}{A_i} = \frac{(\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1)}{(\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1)}$$

O coeficiente de reflexão depende do contraste de impedância acústica (produto da velocidade pela densidade) entre dois meios físicos. As interfaces entre estes aparecem nos registros sísmicos como refletores sísmicos. De maneira geral, cada refletor representará uma camada geológica.

O perfiladores de sub-fundo de 3.5 kHz têm sido um dos pilares da sísmica de alta resolução, podendo ser montados nos cascos dos navios ou rebocados em veículos separados. Para usos em águas profundas (> 1500m) há poucas alternativas para a perfilagem, devido à força inerente aos transdutores.³⁷

A sísmica de alta resolução apresenta, portanto, vantagens e limitações ao seu uso. A facilidade de uso, baixa manutenção, alta repetibilidade, eficiência e capacidade de reboque em profundidade destacam-se como grandes vantagens, enquanto a largura limitada de banda (exceto *chirp*), a falta de informação da fase e baixo poder de penetração em sedimentos duros são limitações ao uso.³⁸

5.2.1 ECOCARÁTERES

O termo fácies acústicas, ecofácies ou ecocaráteres pode ser definido como sendo o conjunto de características físicas do eco refletido, sendo resultado da interação entre o fundo marinho e o pulso da energia usada na fonte acústica de alta resolução. A ocorrência e distribuição de padrões sonográficos e de ecocaráteres sísmicos de alta frequência têm relação estreita com a distribuição das características sedimentares do ambiente em questão.³⁹

O retorno do eco é produzido pelo contraste de impedância acústica entre os

37 MOSHER, D. C.; SIMPKIN, P. G., 1988. p. 4

38 JUNIOR, P. V.; BASTOS, A. C.; PIZZIN, B. F.; GAVA, R. D.; QUARESMA, V. S.; Silva, C. G. Sonar de Varredura Lateral e Sísmica de Alta Resolução Aplicados no Estudo de Ecofácies na Baía de Vitória – ES. Revista Brasileira de Geofísica, 27(3): 411-425. 2009. p. 412.

39 Ibid p. 412.

meios, o que relaciona-se diretamente ao tipo de material de fundo (granulometria, compactação, etc.), as camadas sedimentares em subsuperfície (coeficiente de reflexão, espessura das camadas, interferência entre as camadas, reflexões internas múltiplas, etc.) e a morfologia do fundo (difrações, extensão das camadas, variação lateral no espaçamento das camadas, etc.).⁴⁰

É importante não confundir o termo ecofácies com sismofácies. As sismofácies são definidas por Mitchum et al. (1977) como uma unidade tridimensional, definida arealmente, constituída por reflexões sísmicas cujos parâmetros diferem das fácies adjacentes. Neste contexto, sismofácies são usadas na interpretação sismoestratigráfica.⁴¹

Portanto, a correlação entre os padrões apresentados pelos dados geofísicos e a distribuição sedimentar permite selecionar padrões sonográficos e ecocaráteres sísmicos que retratam sedimentos e processos sedimentares de características semelhantes.⁴²

A análise de ecofácies é importante para a caracterização e mapeamento acústico do fundo marinho. A combinação dos ecocaráteres e sonogramas permitem a interpretação dos processos sedimentares atuantes no ambiente.

O termo fácies, associado ao sinal acústico, indica a resposta acústica (tanto de um perfilador acústico quanto de um sonar de varredura lateral) do leito marinho ou estuarino em função da sua granulometria, textura, grau de compactação e morfologia.⁴³

Dessa forma, uma ecofácies é descrita aqui como sendo a combinação de um tipo de ecocaráter (padrão de reflexão a partir de um perfilador monofeixe, geralmente de alta frequência, > 3,5 kHz) com o padrão sonográfico (as intensidades de retorno do sinal acústico emitido por um sonar de varredura lateral). O termo sismofácies está inserido no estudo de estratigrafia sísmica, onde as características de continuidade, inclinação e amplitude dos refletores são descritas e interpretadas

40 Id.

41 Id.

42 Id.

43 Ibid. p. 413.

na ótica de um depósito sedimentar, ou da evolução de um ambiente.⁴⁴

5.2.2. AMPLITUDE SÍSMICA

A partir do uso do *software* de interpretação sísmica, SMT KINGDOM, foi possível o mapeamento em alta-resolução do refletor do fundo marinho, a fim de se obter as amplitudes resultantes do sinal de retorno (Figura 13).

Foram mapeadas duzentas e setenta e duas (272) linhas sísmicas, em um total de aproximadamente 350 Km. A delimitação do refletor foi feita em método manual, devido às complexidades do fundo e alterações de escala e frequência durante a aquisição.

As amplitudes sísmicas provenientes do sinal de retorno das ondas acústicas, são funções das impedância acústicas, produto da velocidade e densidade, dependente das propriedades elásticas das rochas.

Quando uma onda sísmica interage com uma interface, a onda é parcialmente refletida e transmitida para o segundo meio. De acordo com sua reflexão em diferentes litologias, as ondas sísmicas têm suas velocidades alteradas, ocasionando variações nas amplitudes.

44 Ibid. p. 424.

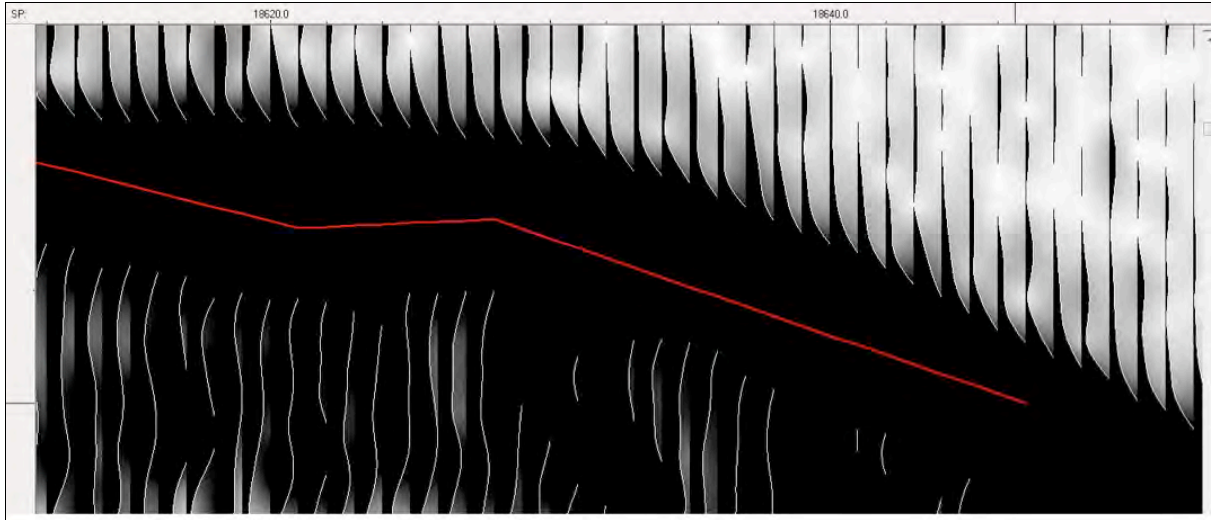


Figura 13: Mapeamento de horizonte de fundo com visualização por *Wiggle Trace*, através do software SMT KINGDOM, para posterior análise de amplitudes.

A interpretação geológica a partir de amplitudes sísmicas geralmente possui dois objetivos principais: identificar a geometria de estruturas que possam conter acumulações de hidrocarbonetos e correlacionar as amplitudes do registro sísmico com diferentes litologias ou sedimentos de fundo.

Na indústria do petróleo, a interpretação de anomalias baseada na amplitude sísmica é de fundamental importância na tomada de decisões dos locais de perfuração. Uma vez que as interfaces entre a rocha selante e o reservatório geralmente apresentam altas amplitudes sísmicas, como ocorrem em *Bright Spots*, quando as seções sísmicas apresentam uma grande reflexão devido ao contraste abrupto de impedância entre os meios. Todavia, de forma a minimizar o risco de exploração é essencial compreender os diversos fatores que afetam a amplitude sísmica e seu comportamento.

Prskalo (2004) analisa as mudanças nas amplitudes sísmicas em função das velocidades das ondas P (compressionais) e S (cisalhantes) densidades, e ângulos de incidência.

Neste presente trabalho, foram analisadas as amplitudes gravadas no registro sísmico e interpretadas à luz da geologia de fundo e sua relação com os testemunhos coletados.

6. RESULTADOS

6.1 ANÁLISE SEDIMENTAR

A análise de impedâncias das amostras através do Multi-Sensor Core Logger (MSCL), apontam as seguintes impedâncias médias para cada amostra (Tabela 3).

Tabela 3: Impedâncias médias. Dados obtidos através da análise de amostras pelo *Multi-Sensor Core Logger*.

IMPEDÂNCIAS MÉDIAS	
Amostra:	Impedâncias Médias ($N \cdot s \cdot m^{-3}$)
Amostra 1	2994.95
Amostra 2	3107.92
Amostra 4	2603.13
Amostra 14	2580.32
Amostra 17	2677.44

Em seguida, foram georreferenciadas as amostras e obtidos os registros sísmicos de cada testemunho na área de estudo (Figuras 14 à 18).

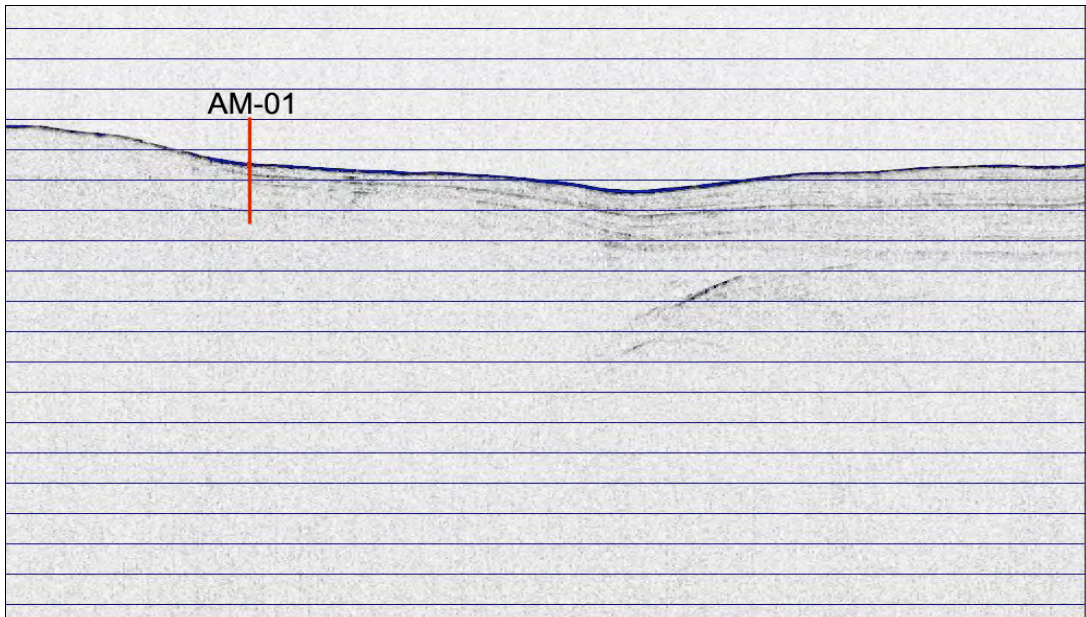


Figura 14: Registro sísmico nas imediações da amostra AM-01.

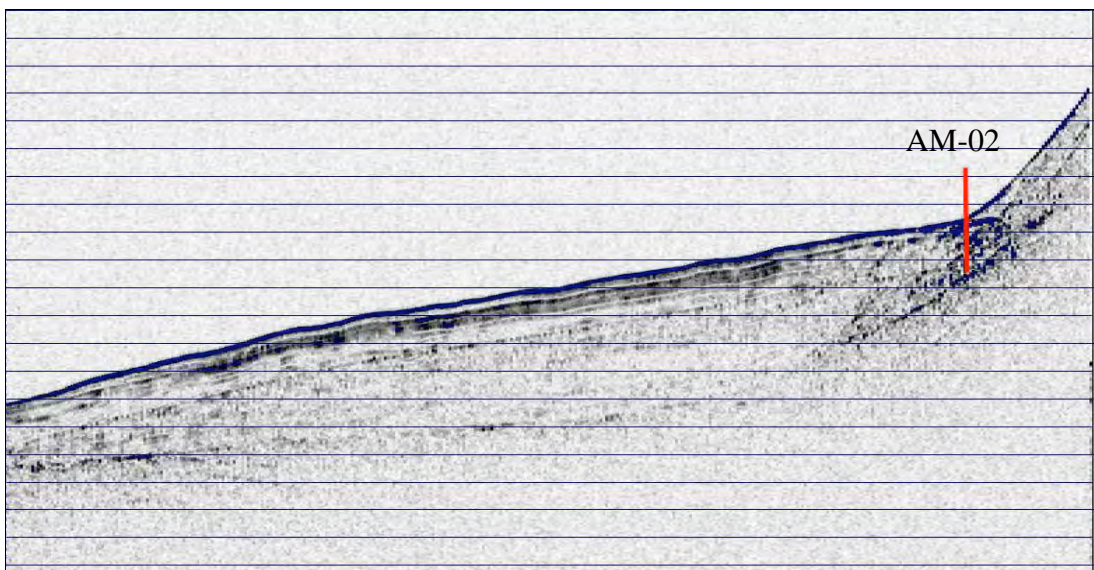


Figura 15: Registro sísmico nas imediações da amostra AM-02. Notar a atividade de vertente no local da amostragem.

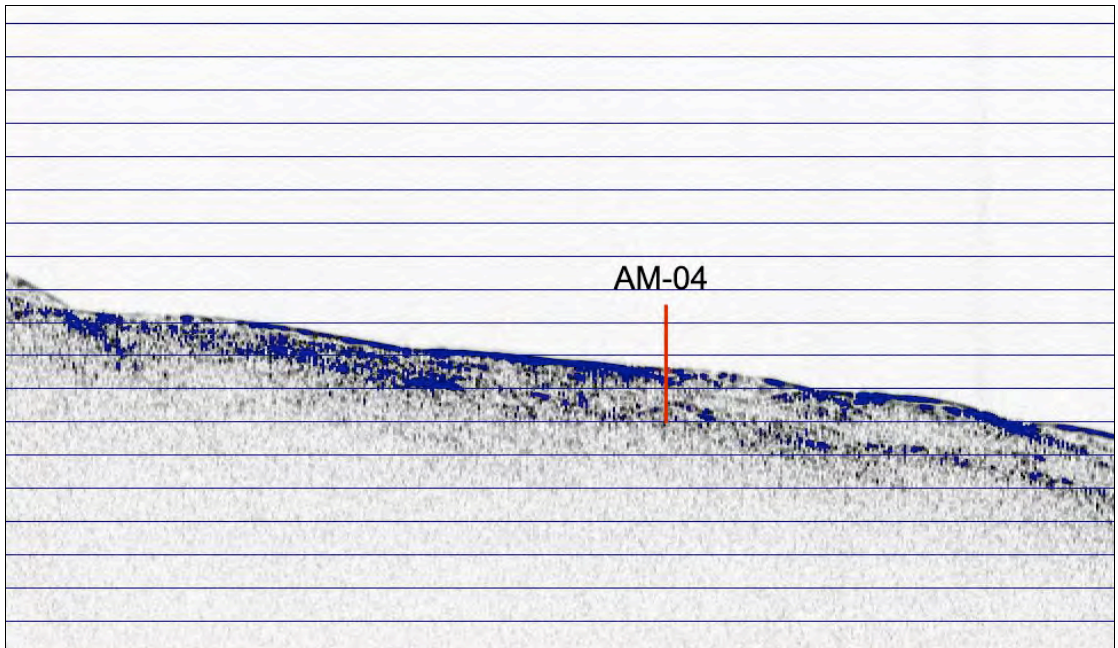


Figura 16: Registro sísmico nas imediações da amostra AM-04.

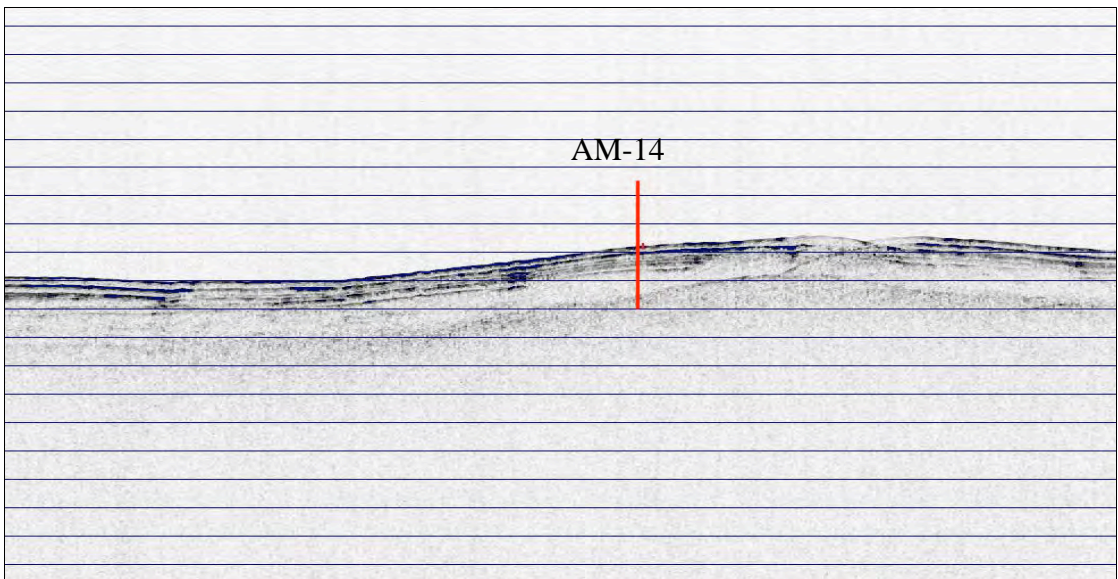


Figura 17: Registro sísmico nas imediações da amostra AM-14, note as reflexões menos intensas do que as encontradas na porção sudoeste da área de estudo (região da amostra AM-02).

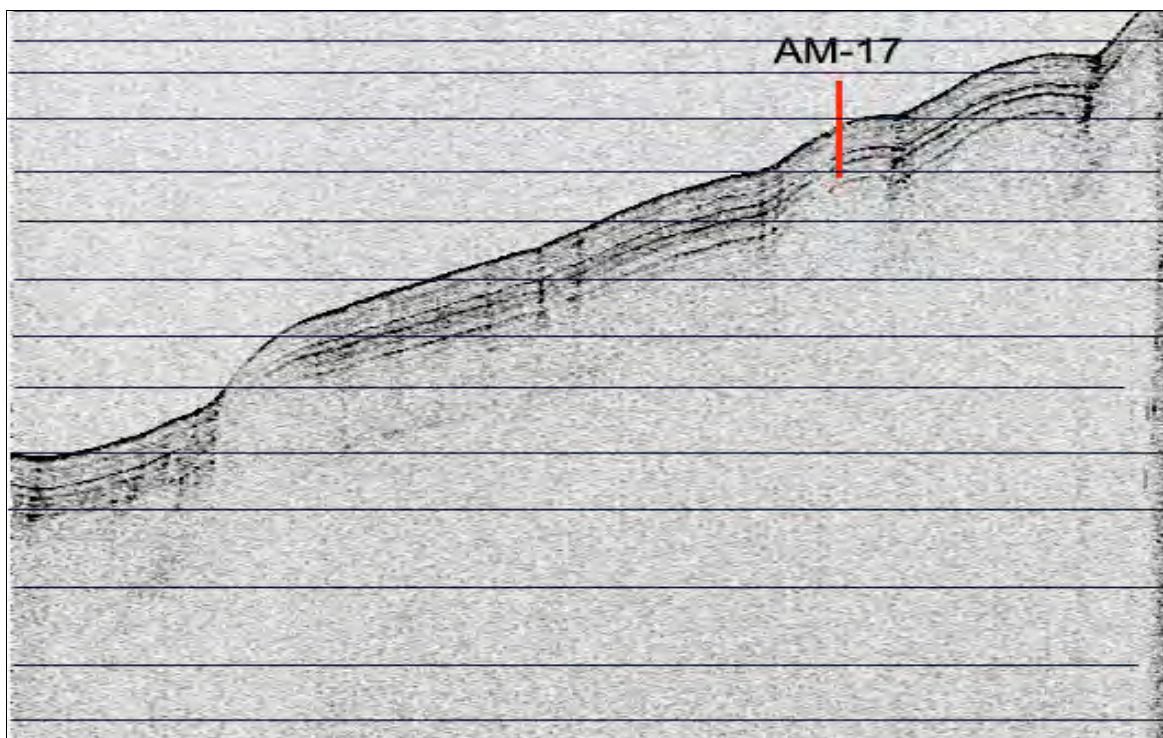


Figura 18: Registro sísmico nas imediações da amostra AM-17.

Segundo a classificação sedimentar triangular de Shepard (1954), as amostras AM-01, AM-04, AM-14 e AM-17, correspondem a silte arenoso (*silt loam*, segundo a classificação da USDA). A amostra AM-02, por sua vez, é a única classificada como areia siltosa (*sandy loam*, na classificação da USDA). Os percentagens de areia, silte e argila contidas nas amostras (média ao longo da amostra) são apresentadas abaixo (Tabela 4 e Figura 19).

Tabela 4: Granulometrias médias ao longo das amostras.

GRANULOMETRIA MÉDIA			
AMOSTRA	AREIA	SILTE	ARGILA
Amostra 1 (AM-01)	33.9%	56.5%	9.6%
Amostra 2 (AM-02)	52.3%	41.8%	5.9%
Amostra 4 (AM-04)	35.7%	57.2%	7.1%
Amostra 14 (AM-14)	8.3%	77.9%	13.8%
Amostra 17 (AM-17)	10.6%	77.3%	12.1%

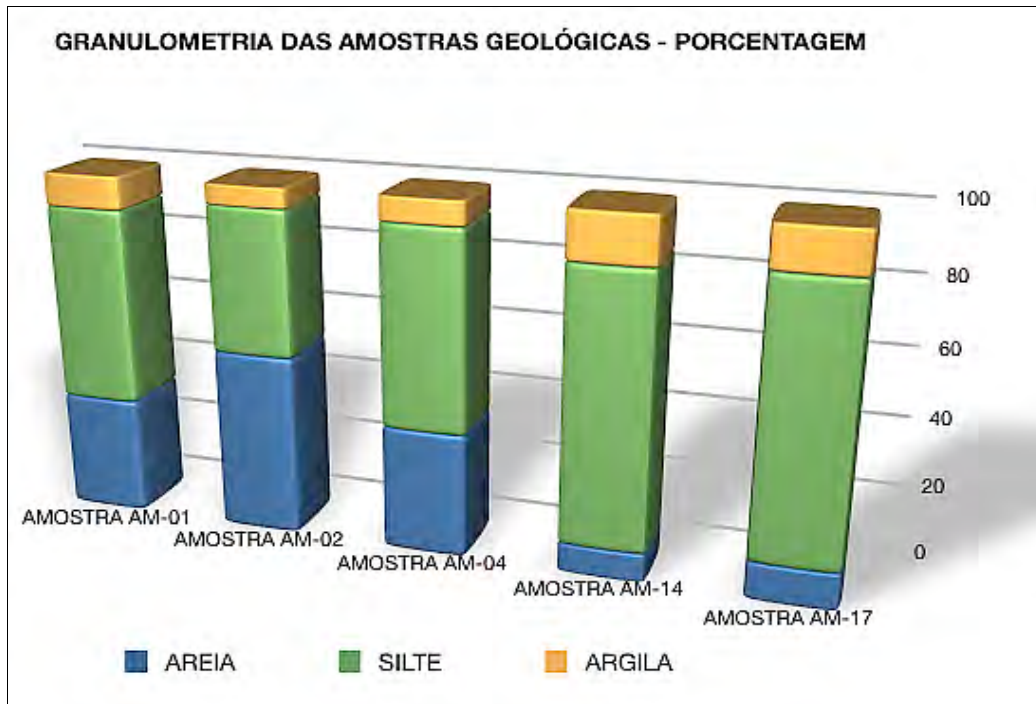


Figura 19: Amostras geológicas com porcentagens médias de areia, silte e argila.

Segundo os dados obtidos pelo granulômetro a laser *MALVIM 200*, a amostra AM-01 é bimodal, caracterizada como silte arenoso, com sedimentos mal-selecionados variando entre silte grosso e areia fina.

A amostra AM-02 é classificada como areia siltosa unimodal, variando entre silte muito grosso e areia fina, com sedimentos muito mal-selecionados e intercalações areia-silte.

AM-04 demonstra características semelhantes à amostra AM-01, silte arenoso, basicamente unimodal, variando entre silte muito grosso e areia fina.

AM-14 é unimodal, com sedimentos muito mal-selecionados, caracterizada como silte grosso, com presença de cascalho (clastos caídos).

AM-17 é basicamente unimodal, caracterizada por silte grosso mal-selecionado.

6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA

Dessa forma, observa-se que a região situada a SW da área de estudo responde com maiores amplitudes sísmicas em função de sua maior impedância, ocasionando uma maior reflexão.

De forma análoga, a amostra AM-14 apresenta os valores mais baixos de impedância acústica, com média de $2580,32 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$, resultando em amplitudes sísmicas menos expressivas.

6.3 ECOCARÁTERES

A caracterização geológica do fundo foi realizada através da análise de ecocaráteres, mapas de amplitudes sísmicas e sua correlação com os sedimentos superficiais coletados durante a amostragem (penetração máxima no fundo-marinho: 5 m).

Foram identificados cinco tipos de ecocaráteres, agrupados em cinco categorias distintas (Figura 20) de forma a criar o mapa de distribuição sedimentar da área. Os ecocaráteres estão fortemente associados a morfologia do fundo oceânico, microtopografia, geometria sub-superficial e textura.

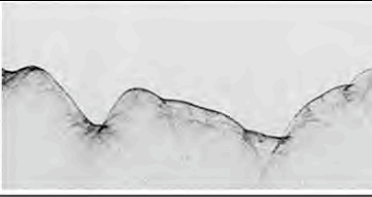
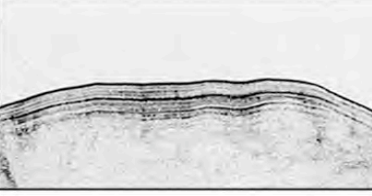
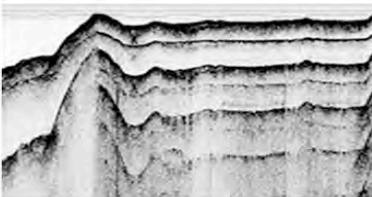
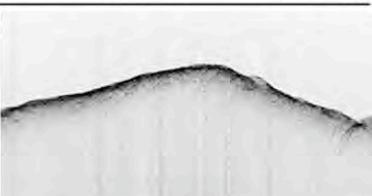

ECO	DESCRIÇÃO	
I	Ecocaráter bem-delineado com fracas reflexões sub-paralelas	
II	Ecocaráter bem-delineado com fortes reflexões sub-paralelas	
III	Ecocaráter muito prolongado com presença de fortes múltiplas	
IV	Ecocaráter muito prolongado com ausência de reletores subsuperficiais	
V	Hiperbóles grandes e irregulares sobrepostas com picos variando em diferentes elevações	

Figura 20: Perfis sísmicos mostrando os cinco diferentes ecocaráteres encontrados na área.

O ecocaráter tipo I é caracterizado por um fundo contínuo e nítido, com fracas reflexões sub-paralelas. Este eco está distribuído ao longo de toda a margem continental do arquipélago das Shetland do Sul, exceto em áreas com profundidades inferiores a 200 m. (Figura 21, eco azul).

O Eco II é caracterizado por um fundo contínuo e nítido, com fortes e numerosas reflexões sub-paralelas. É encontrado entre as isobatimétricas de 400 e 800m. (Figura 21, eco roxo). Segundo Damuth (1975 e 1977), este eco é caracterizado como IB.

Eco III é caracterizado por um fundo prolongado, difuso, com muitas múltiplas e com ausência de refletores sub-superficiais. Este tipo está relacionado às áreas

mais rasas, inferiores a 200m de profundidade. Segundo classificações de Damuth (1975), este eco é classificado como IIA-1 e para Damuth (1977), IIB. (Figura 21, eco vermelho).

Eco IV é caracterizado por um fundo prolongado, difuso, e com ausência de refletores sub-superficiais. Uma vez que suas profundidades de ocorrência varia entre 200 e 600, não há a presença de múltiplas no perfil sísmico. (Figura 21, eco verde),

Eco V/Hiperbólico é caracterizado por uma série de hipérboles irregulares, sobrepostas, com grandes variações na posição dos picos acima do fundo marinho, e baixa resolução sísmica. É encontrado entre as isobatimétricas de 600 e 1400m. Damuth (1975), o classifica como IIB-1, enquanto em seu trabalho de 1977, o eco é caracterizada como IIIA. (Figura 21, eco amarelo).

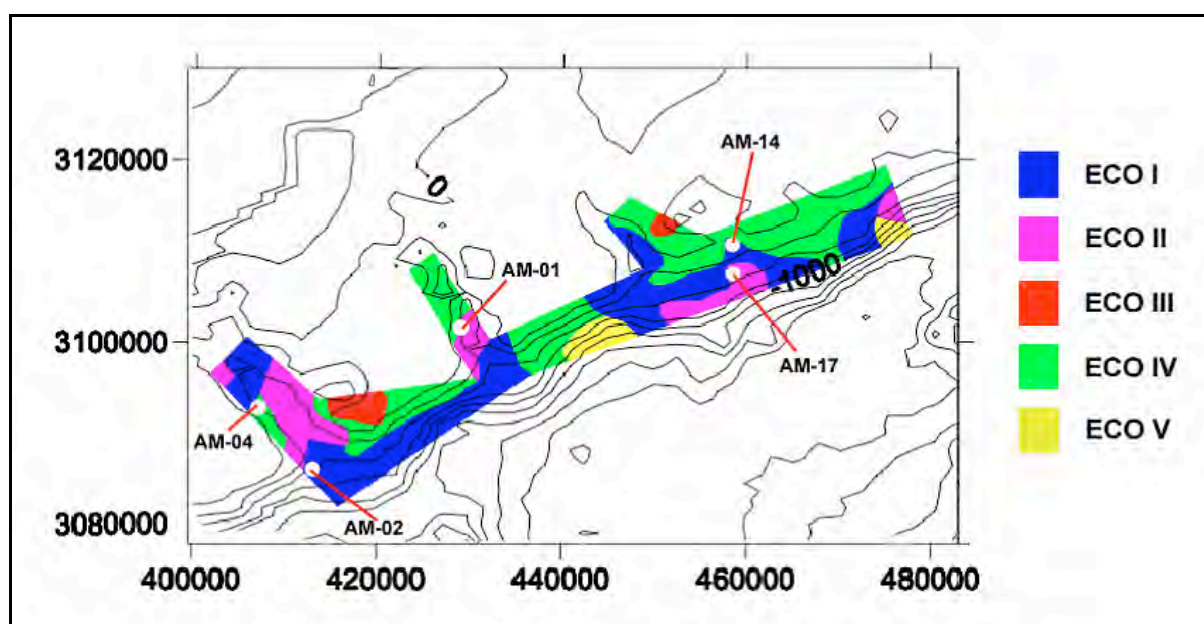


Figura 21: Mapa de ecocaráteres com coordenadas UTM referenciadas com base no fuso 21°S.

Como resultado da interpretação sísmica e o mapeamento de fundo através da visualização por “*Wiggle Trace*” no SMT KINGDOM, um mapa de amplitude foi criado (Figura 22) a fim de se verificar a relação direta entre as amplitudes e a geologia de fundo.

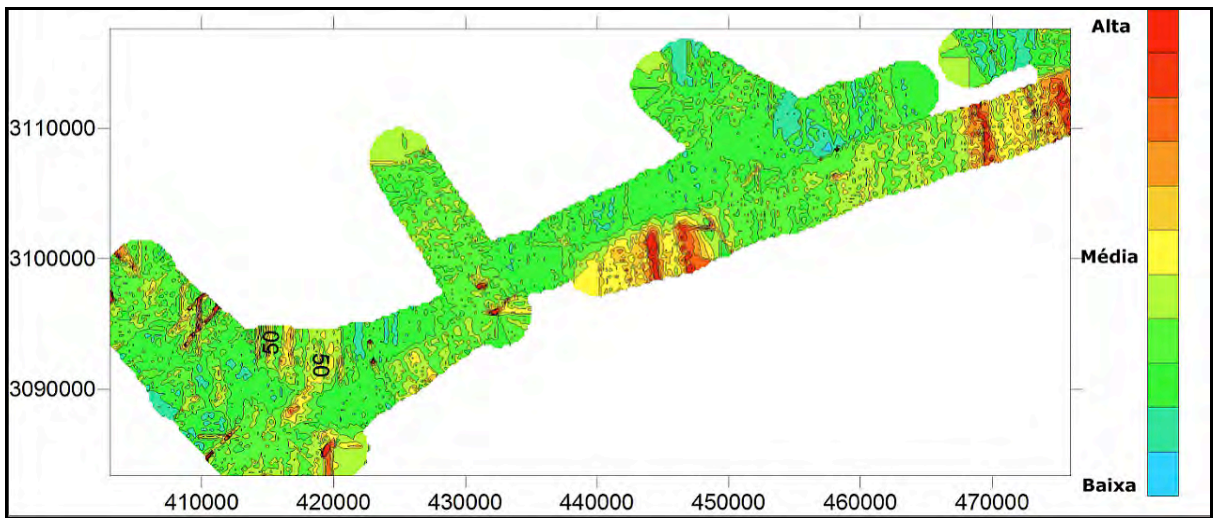


Figura 22: Mapa de amplitudes com coordenadas UTM referenciadas com base no fuso 21°S.

7. DISCUSSÃO

O Eco I mostrou amplitudes médias-altas, e as amostras contidas em sua área (AM-02 e AM-14), indicam, respectivamente, um conteúdo de areia siltosa e silte arenoso. A amostra AM-02 apresenta o maior porcentual de areia (52,3%) entre as amostras coletadas, resultando em um alto valor de impedância, conforme confirmado pela análise no MSCL. Ocorre em profundidades médias.

Ecos III e IV, demonstram valores médios-baixos de amplitude, e relacionam-se às amostras AM-01 e AM-04, classificadas como silte arenoso, ambas com conteúdo de areia de aproximadamente 35%. O Eco IV localiza-se majoritariamente nas áreas mais rasas da margem continental das Shetland do Sul.

Eco II apresenta os menores valores de amplitude, devido ao seu grande conteúdo de argila e silte, conforme evidenciado pela amostra AM-17 (localizada dentro da área do Eco II), com conteúdo de aproximadamente 90% de lama. Este ecocaráter ocorre em áreas com profundidades médias superiores às encontradas na região do Eco I.

As regiões com os maiores valores de amplitudes (áreas em vermelho), correspondem às áreas de ocorrência do ecocaráter V/Hiperbólico e estão relacionadas a depósitos glaciais, provavelmente bancos morânicos. Por localizar-se a frente de um *fjord*, essas regiões apresentam acumulação de material trazido pelas geleiras.

Outros valores altos ocorrem do continente em direção ao mar e estão relacionados a depósitos glaciais.

As análises para verificação da ocorrência de intercalações areia-silte foram realizadas a partir de gráficos granulométricos, obtidos por dados do granulômetro a laser MALVIM 200 com o seu teor granulométrico dividido em duas linhas principais: lama (silte + argila) e areia, conforme pode-se observar nas Figuras 23 e 24.

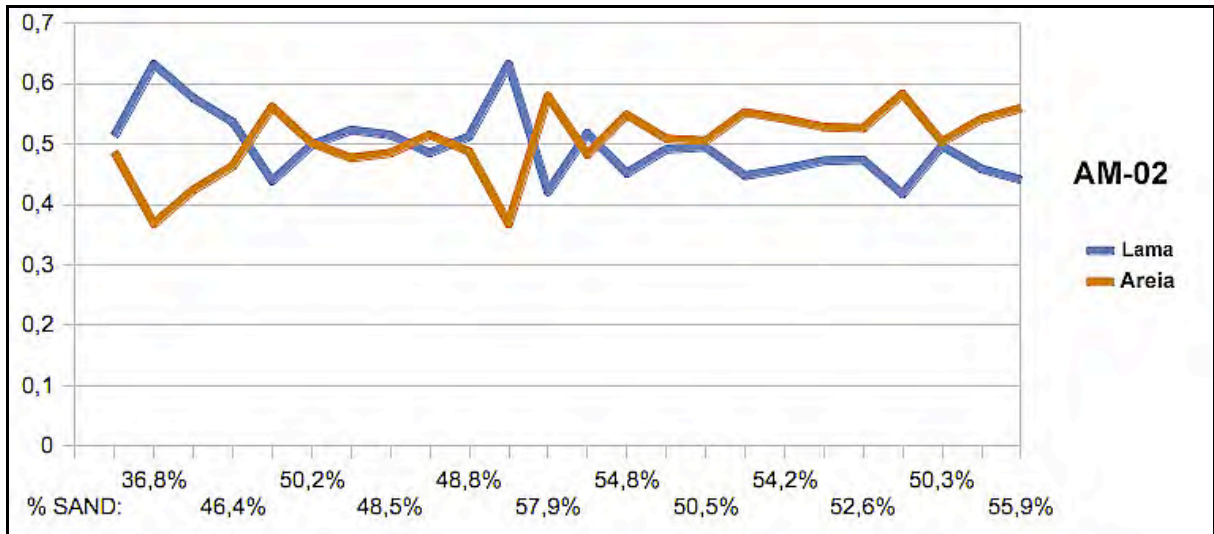


Figura 23: Gráfico com conteúdo granulométrico da amostra AM-02. Observe a intercalações entre areia e lama ao longo do testemunho.

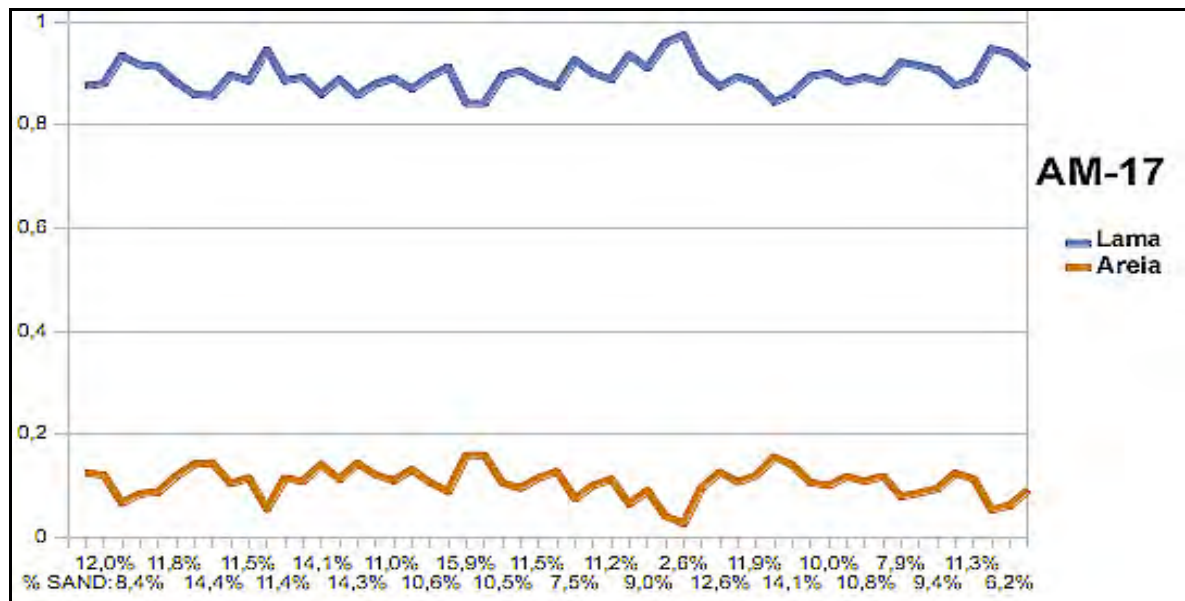


Figura 24: Gráfico com conteúdo granulométrico da amostra AM-17. Não há intercalações significativas de areia-lama.

As amostras AM-02 e AM-17 apresentam os melhores representativos de cada classe, com intercalações e sem intercalações, respectivamente. Tendo sido, portanto, escolhidas para demonstração nesta presente dissertação monográfica.

As análises demonstraram que as apenas as amostras AM-01 e AM-02

apresentam intercalações entre areia e lama. A amostra AM-04 não apresenta intercalações, assim como as amostras AM-14 e AM-17, estas últimas dominadas apenas por lama e sem alternâncias significativas.

Analogamente às análises feitas por Damuth (1978) acerca da presença de intercalações areia-silte, as amostras AM-01, AM-14 e AM-17 relacionam-se aos seus respectivos ecocaráteres com boa correlação. As amostras AM-02 e AM-04, por outro lado, não apresentam boa correlação com seus ecocaráteres. Segundo Damuth (1978) os ecocaráteres análogos aos ecos I e II deste presente trabalho não apresentariam intercalações areia-silte.

Dessa forma, foi gerado o mapa de distribuição sedimentar da área da margem continental do arquipélago das Shetland do Sul com base nos dados de amplitude, através do mapeamento sísmico, amostragens geológicas e análises granulométricas (Figura 25).

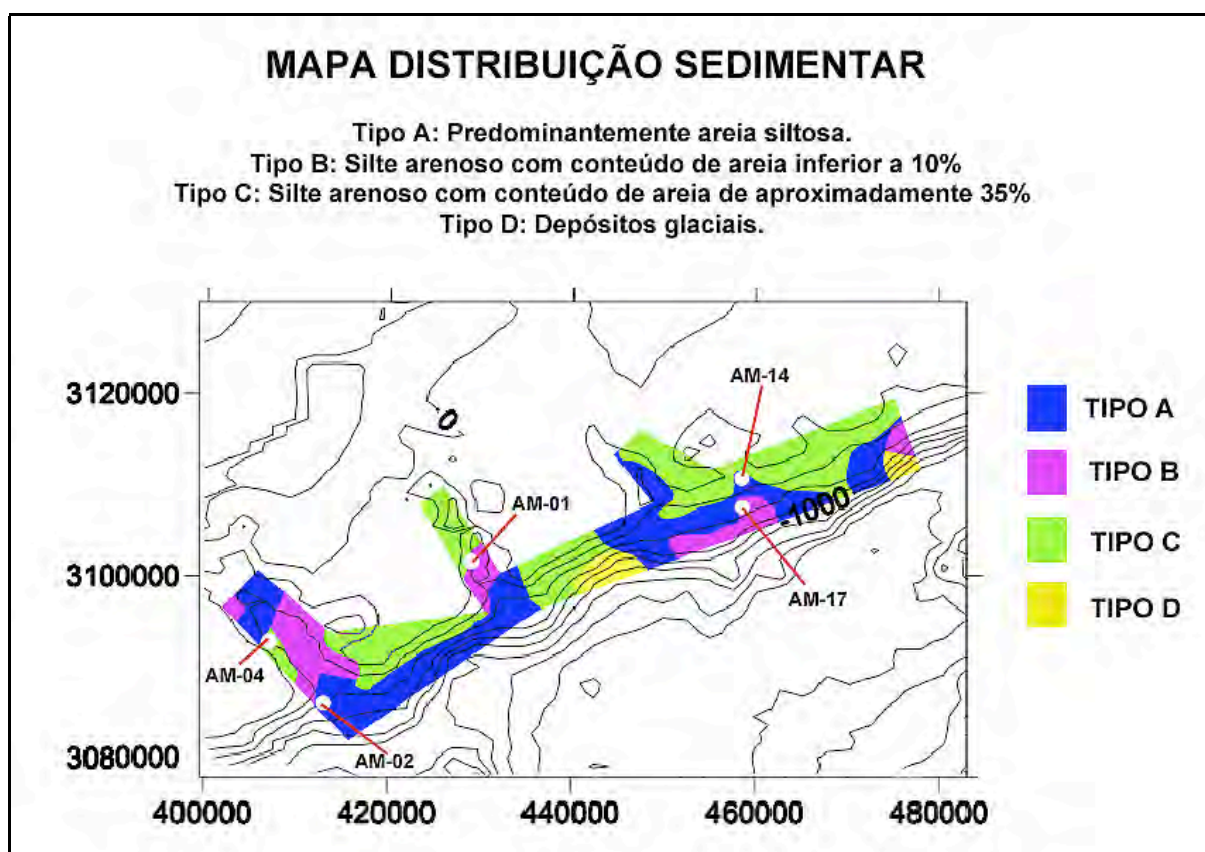


Figura 25: Mapa de distribuição sedimentar da área de estudo, com coordenadas UTM referenciadas com base no fuso 21°S.

8. CONCLUSÃO

As amostras AM-01 e AM-04 são coincidentes com o Eco IV e embora a amostra AM-04 localize-se entre os ecos II e IV no mapa de ecocaráteres (Figura 21), suas características sedimentares (entre 34% e 36% de areia e 56% - 57% de silte, refletem mais as características do Eco IV, com conteúdo mais grosso, havendo mais areia que na amostra AM-17, coletado no Eco II. Ambas as amostras (AM-01 e AM-04) localizam-se no interior de baías (Almirantado e Maxwell, respectivamente) e possuem granulometrias similares, sendo classificadas na área de ocorrência do Tipo C.

Apesar da diferença granulométrica entre as amostras AM-14 e AM-02 (a primeira possui 91.7% de lama, enquanto que a segunda amostra apenas 47.7%), ambas localizam-se na área correspondente ao Eco I, onde a amostra AM-02 reflete melhor as características da área (Tipo A), enquanto que, devido à proximidade das amostragens, a amostra AM-14 assemelha-se mais ao Tipo B.

AM-17 localiza-se no Eco II e possui quase 90% de lama, resultado da sedimentação pelágica. Possuindo aproximadamente apenas 10% de areia, sendo classificada dentro da área de ocorrência do Tipo B.

Ecos III e IV são bastante similares, exceto pela série de múltiplas presentes nas áreas dominadas pelo Eco III. As múltiplas encontradas no Eco III devem-se a alta potência da perfilador de sub-fundo em função da aquisição em áreas muito rasas, em profundidade com lâmina de água não excedente aos 200m. Ambos os ecos refletem o tipo sedimentar do Tipo C.

Não foram coletadas amostras nas áreas dominadas pelos ecos III e V. A região do Eco V não foi amostrada devido à limitação do testemunhador de penetrar nos sedimentos grossos dos depósitos glaciais presentes nessa porção. As hipérboles irregulares são resultado de uma morfologia acidentada, produzida pelos depósitos de sedimentos mal-selecionados. A área de ocorrência do Eco V/Hiperbólico é classificada como Tipo D.

Dessa forma, baseado em perfis sísmicos de alta-resolução (3.5 kHz), mapas de amplitudes e amostras geológicas, esse trabalho provê uma compreensão geral

acerca da distribuição sedimentar superficial na região da margem continental do arquipélago das Shetland do Sul.

Ainda sim, de forma a se compreender todos os processos sedimentares atuantes no Estreito de Bransfield e no arquipélago das Shetland do Sul, se fazem necessárias futuras investigações com as amostras geológicas posicionadas dentro de cada ecocaráter e orientadas em direção perpendicular ao movimento das geleiras presentes na área. Além disso, um detalhado levantamento batimétrico também se faz necessário de forma a se compreender o controle topográfico que o fundo exerce em relação à sedimentação na área.

Conclui-se, destarte, que a partir da análises das velocidades sísmicas e amplitudes, associadas aos testemunhos geológicos, é possível caracterizar os diferentes tipos de fundo em grandes áreas de estudo a baixo custo de aquisição.

9. REFERÊNCIAS

- ASSINE, M.L. & VESELY, F.F. Ambientes Glaciais. In: PEDREIRA DA SILVA, A.J.; ARAGÃO, A.N.F.; MAGALHÃES, A.J.C. Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil. São Paulo: Ed. Beca, p. 24-51, 2008.
- AYRES NETO, A. Uso da Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e da Sonografia na Exploração Mineral Submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 18 (3), p. 241-256. 2000.
- BARKER D.H.N.; AUSTIN J.A. Rift Propagation, Detachment Faulting, and Associated Magmatism in Bransfield Strait, Antarctic Peninsula. *Journal of Geophysics Res* 103, p. 24017–24043. 1988.
- BARKER, D. H. N.; CHRISTESON, G.L.; AUSTIN, J.A.; DALZIEL, I.W.D. Backarc Basin Evolution and Cordilleran Orogenesis: Insights from New Ocean-Bottom Seismograph Refraction Profiling in Bransfield Strait, Antarctica. *Geology*, 31(2): p. 107-110. 2003.
- BARKER, P. F. The Cenozoic Subduction History of the Pacific Margin of the Antarctic Peninsula: Ridge Crest–trench Interactions: *Geological Society of London Journal*, v. 139, p.787–801. 1982.
- BARKER, P. F.; BURELL, J. The opening of Drake Passage. *Marine Geology*, 25: p.15-34. 1977.
- BARKER, P. F.; CAMERLENGHI, A. Glacial History of the Antarctic Peninsula from Pacific Margin Sediments. 2002.
- BARKER, P. F.; FILIPPELLI, G. M.; FLORINDO, F.; MARTIN, E. E.; SCHER, H. D. Onset and Role of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep Sea Research II*, 54/21-22: 2388-2398. 2007.
- BARKER, P. F.; GRIFFITHS, D. H. The Evolution of the Scotia Ridge and Scotia Sea. *Phil. Trans. Roy. Soco London*, 271: p. 151-183. 1972.
- BIRKENMAJER K. Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica): A Geological Monograph. *Studia Geologica Polonica*. v. 120, p. 5–73. 2003.
- CONCEICAO, F. V. Utilização do Backscatter de Sonares Multifeixe na Classificação

- Acústica do Fundo Oceânico: Um Exemplo de Aplicação na Enseada de Martel, Baía do Almirantado, Península Antártica. 55p. 2009.
- DAMUTH, J. E. Echo Character of the Western Equatorial Atlantic Floor and its Relationship to the Dispersal and Distribution of Terrigenous Sediments. *Marine Geology*. 18(1): p. 17-46. 1975.
- DAMUTH, J. E. & HAYES, D. E. Echo character of the East Brazilian Continental Margin and its Relationship to Sedimentary Process. *Marine Geology* 24(2): p. 73-96. 1977.
- FIGUEIREDO, A. G. J.; BREHME, I. Amostragem Geológica na Pesquisa Mineral. *Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(3): p. 269-280. 2000.*
- FRANCIS, J. E.; PIRRIE, D. & CRAME, J. A. Cretaceous-Tertiary High-Latitude Palaeo-environments: James Ross Basin, Antarctica. Geological Society, Special Publications. London, 258p. 2006.
- GAMBOA, L.A.P; BARROCAS, S.L; MALDONADO, P.R. Investigações Geofísicas no Estreito de Bransfield e Mar de Bellingshausen – Antártica. IN Belém, Sociedade Brasileira de Geologia p. 2343-2357. 1988.
- JUNIOR, P. V.; BASTOS, A. C.; PIZZIN, B. F.; GAVA, R. D.; QUARESMA, V. S.; Silva, C. G. Sonar de Varredura Lateral e Sísmica de Alta Resolução Aplicados no Estudo de Ecofácies na Baía de Vitória – ES. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(3): 411-425. 2009.
- LURTON, Xavier. An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications. London: Praxis, 2002.
- MITCHUM RM, VAIL PR & SANGREE JB. 1977. Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: PAYTON CE (Ed.). *Seismic Stratigraphy – Application to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 26: p. 117–133. 1977.
- MOSHER, D.C.; SIMPKIN, P.G. Status and Trends of Marine High-Resolution Seismic Profiling: Data Acquisition, *Geoscience Canada*, v. 26 (4), 1988.
- PRSKALO, S. Application of Relations Between Seismic Amplitude, Velocity and Lithology in Geological Interpretation of Seismic Data. *Journal of Hungarian Geomathematics*, v. 2, p. 51-68. 2004.

- REINECK, H.E.; SINGH, L.B. *Depositional Sedimentary Environments*. Berlin: Springer–Verlag, 1975.
- ROACH, P. J. The nature of back-arc extension in Bransfield Strait. *Royal Astronomical Society Geophysical Journal*, v.53, 165p. 1978.
- SCHÖN J. H. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics. In: HELBIG K & TREITEL S (Eds.). *Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration*, Vol. 18. Chapter 3. 600 pp. 1996.
- SHARMA, P. V. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press. 475 pp. 1977.
- SIMÕES, J.C.; FERRON, F.A; BERNARDO, R.T.; ARISTARAIN, A.J.; STIÉVENARD, M.; POURCHET, M.; DELMAS, R.J. Ice Core Studies from the King George Island, South Shetlands, Antarctica. *Pesq. Antart. Bras.* 4: 9–23. 2004.
- THOMSON, M.R.A.; CRAME, J.A.; THOMSON, J. W. *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge, UK. Cambridge University Press, 1991. 722 pp. 5th SCAR/IUGS Symposium on Antarctic Earth Sciences, Cambridge, UK, 1987.
- TURNER, J.; BINDSCHADLER, R.; CONVEY, P.; PRISCO, G.D.; FAHRBACH, E.; GUTT, J.; HODGSON, D.; MAYEWSKI, P; SUMMERHAYES, C. *Antarctic Climate Change and the Environment*. Scientific Committee on Antarctic Research Scott Polar Research Institute, Cambridge. 526p. UK, 2009.
- ZALDÍVAR, J. G.; GAMBOA, L.; MALDONADO, A.; NAKAO, S.; BOCHU Y. *Bransfield Basin Tectonic Evolution*. 2006.

10. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

United States. Congress. Senate. Foreign Relations: The Antarctic Treaty. Washington, 1959. Artigos I e III. Cf.: <http://www.ats.aq/e/ats.htm>, acessado em 01/10/10.

Plates and Gates Project: <http://platesgates.geo.su.se/>, acessado em 01/11/2010.