Marcelo Freitas Santini

**Estrutura Termohalina e Massas D'água na
Vizinhança da Península Antártica a Partir de
Dados *in situ* Coletados por Elefantes-Marinheiros do
Sul (*Mirounga leonina*)**

Dissertação apresentada ao Instituto
Oceanográfico da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em Ciência;
área: Oceanografia Física.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Ilana E. K. C. Wainer

SÃO PAULO

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

**Estrutura Termohalina e Massas D'água na Vizinhança da
Península Antártica a Partir de Dados *in situ* Coletados por
Elefantes-Marinheiros do Sul (*Mirounga leonina*)**

Marcelo Freitas Santini

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de
Oceanografia Física.

Julgada em ____/____/____

Prof(a) Dr(a)

Conceito

Prof(a) Dr(a)

Conceito

Prof(a) Dr(a)

Conceito

*"It doesn't matter if we want to face it or not, we
are facing it, climate change is happening"*

Paul Mayewski

Sumário

Resumo	ix
Abstract.....	xi
Lista de Acrônimos	xiii
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas.....	xx
Hipótese	xxi
1– Introdução	1
1.1– Caracterização da região de Estudo: O Oceano Austral	7
1.1.1- Mar da Escócia	9
1.1.2 - Norte Península e Noroeste do Mar de Weddell: Massas d’Água.....	11
1.1.3 - Oeste da Península Antártica.....	13
1.1.3.1 - Estreito de Bransfield	15
1.1.3.2 - Características Oceanográficas Estreito de Bransfield.....	16
1.1.4 - Massas d’água do Mar de Bellingshausen	18
2 – Motivação e Objetivos.....	19
2.1 – Motivação.....	19
2.2 - Objetivo Geral.....	21
2.3 – Objetivos específicos	21
3 – Materiais e Métodos	23
3.1 – Projeto MEOP	23

3.1.1 – Descrição dos Dados	24
3.2 – Metodologia	29
3.2.1 – Processamento dos dados.....	29
3.2.1.1 - Cálculo da Temperatura Potencial	30
3.2.1.2 - Cálculo da densidade potencial.....	30
3.2.1.3 - Calculo da profundidade a partir de dados de pressão.....	31
3.2.2 – Análise dos Dados	31
3.2.3 – Caracterização de Massas d’água	32
4 - Resultados e Discussão	33
4.1 – Norte da Península Antártica e Mar da Escócia	33
4.2 – Plataformas de Gelo Wilkins e Abbot e proximidades da Ilha Adelaide, Alexander I e Baía Marguerite	41
4.2.1 – Plataforma de Gelo Abbot	42
4.2.2 – Plataforma de Gelo Wilkins, Baía Marguerite e Região adjacente a Ilha Alexander I e Charcot	44
4.3 – Mar da Escócia	53
Grupo (i)	54
Grupo (ii)	56
Grupo (iii)	57
4.4 – Estreito de Bransfield e Oeste da Península Antártica	60
4.4.1 – Transectos Oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield	62

4.4.1.1 – Verão	63
4.4.1.2 – Inverno	71
4.4.2 – Perfis e Massas de Água do Estreito de Bransfield	77
5 – Conclusão	81
6 - Perspectivas Futuras	83
7 – Referências Bibliográficas.....	84
Apêndice I – Evolução da Camada de Gelo Marinho	92

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, avós e irmãos que sempre acreditaram e apoiaram as minhas escolhas e me incentivaram a levantar a cabeça e seguir em frente. Amo vocês!

Agradeço a Dra. Ilana Wainer por ter me aberto as portas do Instituto Oceanográfico e por me aceitar como membro de seu grupo. Pela orientação e pela paciência nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao Dr. Ronald B. Souza do PAN-INPE (Projeto Antártico – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) pela amizade, por me apresentar a oceanografia e pelas oportunidades proporcionadas, em especial, a realização do sonho de conhecer a Antártica.

Agradeço a Dra. Mônica M. Muelbert da FURG (Fundação Universidade do Rio Grande) primeiramente por ceder o valioso conjunto de dados aqui apresentados e pela experiência e ensinamentos fornecidos durante o acampamento na Ilha Elefante.

Agradeço aos colegas de pós-graduação que através de suas experiências e companheirismo me ajudaram a compreender melhor a oceanografia e permitiram que as madrugadas, finais de semana e feriados passados no IO durante o período básico fossem superadas com mais facilidade e descontração.

Agradeço a Andréia por todo companheirismo, paciência e motivação durante o tempo em que estamos juntos.

Agradeço aos amigos que conquistei durante o período que estive em São Paulo, permitindo que o tempo e as dificuldades fossem superados mais facilmente.

Agradeço ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) pelos valiosos conhecimentos fornecidos através do incrível grupo de professores (Ilson, Polito, Belmiro, Edmo, Harari, Sueli) e pelo espaço cedido para realização de meus estudos.

Agradeço ao pessoal do LAMOS-UFSM/INPE pelo período que fui recebido e pela estrutura fornecida que adicionou aos resultados que estou apresentando.

Agradeço a Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro indispensável durante o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) – Marinha do Brasil e tripulação do NAPol Almirante Maximiano, pelo apoio a pesquisa e logística na Antártica durante as XXVIII e XXIX Operações Antártica Brasileira.

Resumo

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre a estrutura vertical e massas d'água presentes na região oeste e norte da Península Antártica. Foram utilizados dados de temperatura, salinidade e pressão (profundidade) coletados por plataformas de coleta de dados (PCDs) fixadas em elefantes-marinhos do sul (EMS) pelo Projeto MEOP-BR, coordenado pela Prof^a Dra Mônica M. C. Muelbert, no período de fevereiro a novembro de 2008. Estes dados são transmitidos via sistema de satélites ARGOS a uma taxa de 2.91 ± 0.25 vezes ao dia, distância média entre cada perfil coletado é de 14.43 ± 12.28 km resultando em uma resolução espacial de 41.61 km/dia. Estes dados permitiram uma descrição detalhada da estrutura vertical e identificação de massas d'água durante diferentes meses do ano de 2008. São comparados perfis verticais em diferentes estações do ano em regiões de plataformas de gelo marinho, do Estreito de Bransfield (EB) e norte da Península Antártica (PA), comparados transectos da porção oeste da PA coletados durante o verão e inverno de 2008 e são apresentados transectos através do Mar da Escócia (ME) nos meses de Setembro a Outubro de 2008. Os valores de temperatura potencial coletados estiveram na faixa entre -1.89°C e 2.32°C , os valores mínimos estão relacionados a áreas de formação de gelo marinho e os máximos a investidas através da Corrente Circumpolar Antártica (CCA) em mar aberto e em direção as Ilhas Georgia (IGS). Os valores de salinidade possuem variações entre 32.36 e 35.03 psu, estes valores resultam de diferentes processos, sendo os extremos relacionados a regiões de derretimento e formação de gelo marinho, respectivamente. Graças à grande área utilizada pelos EMS para forrageio durante o

período analisado, diversas massas d'água são identificadas através de diagramas Θ -S, são elas: Água Profunda Circumpolar (CDW), Água de Inverno (WW), Água de Plataforma de Baixa Salinidade (LSSW), Água Superficial Antártica (AASW), Água de Plataforma de Alta Salinidade (HSSW), Água Profunda Circumpolar Superior e Inferior (UCDW e LCDW), Água de Plataforma (SW), Água de Plataforma de Gelo (ISW), Água Profunda Cálida (WDW) e Água Profunda Cálida Modificada (MWDW).

Descritores: Oceano Austral; Península Antártica; Massa de Água; Estrutura Termohalina; Elefante-Marinho do Sul; Mar da Escócia, Mar de Bellingshausen; Plataforma de Gelo Wilkins.

Abstract

To study the termohaline structure and water masses in the north and west sides of Antarctic Peninsula, 10 southern elephant seals (EMS) were equipped with high-accuracy conductivity–temperature–depth satellite-relayed data loggers (CTD-SRDLs) by the MEOP-BR Project in beginning of 2008 at Elephant Island. Here, we show that measurements collected by these long-ranging, deep-diving predators allow oceanic vertical structure and water masses of the Southern Ocean to be mapped in regions and at times of year not sampled by other oceanographic instruments. These data are transmitted by the ARGOS satellite system at a rate of 2.91 ± 0.25 times per day, mean distance between each profile collected is 14.43 ± 12.28 km, resulting in a spatial resolution of 41.61km/day. Vertical profiles are compared at different seasons in sea ice platforms regions, Bransfield Strait (EB) and northern tip of Antarctic Peninsula (PA). Are compared transects at the western side of the PA collected during summer and winter of 2008 and are presented transects across the Scotia Sea (ME) in the months of September and October of 2008. The collected potential temperature values were in the range from -1.89°C to 2.32°C , the minimum values are related to areas of sea ice formation and the maximum amounts to dives through the Antarctic Circumpolar Current (ACC) in the open sea and towards the South Georgia Islands. The salinity values have variations between 32.36 and 35.03 psu, these values result from different processes, being related to melting and formation of sea ice. The large region sampled allowed us to identify during the study period several water masses from Θ -S diagrams, they are: Circumpolar Deep Water (CDW), Winter Water (WW), Low Salinity Shelf Water

(LSSW), Antarctic Surface Water (AASW), High Salinity Shelf Water (HSSW), Upper and Bottom Circumpolar Deep Water (UCDW and LCDW), Shelf Water (SW), Ice Shelf Water (ISW), Warm Deep Water (WDW) and Modified Warm Deep Water (MWDW).

Key-words: Austral Ocean; Antarctic Peninsula; Water Mass; Termohaline Structure; Southern Elephant Seal; Scotia Sea; Bellingshausen Sea; Bransfield Strait; Wilkins Ice Shelf.

Lista de Acrônimos

AASW Água de Superfície Antártica

BA Mares de Bellingshausen e Amundsen

BM Baía Marguerite

CCA Corrente Circumpolar Antártica

CDW Água Circumpolar Profunda

CEW Confluência Escócia-Weddell

CTD *Conductivity-Temperature-Depth*

CTD-SRDLs *Sattelite Relay Data Loggers*

EB Estreito de Bransfield

EES Elevação da Escócia do Sul

EMS Elefante-Marinho do Sul

HSSW Água de Plataforma de Alta Salinidade

IA Ilha Anverse

IAd Ilha Adelaide

IAI Ilha Alexander I

IC Ilha Clarence

Ich Ilha Charcot

IE Ilha Elefante

IGS Ilhas Georgia do Sul

ILw Ilha Low

IOS Ilhas Orkney do Sul

IRG Ilha Rei George

ISS Ilhas Shetland do Sul

ISW Água de Plataforma de Gelo

IT Ilha Trinity

ITh Ilha Truston

LCDW Água Profunda Circumpolar Inferior

LSSW Água de Plataforma de Baixa Salinidade

MB Mar de Bellingshausen

MCDW Água Circumpolar Profunda Modificada

MWDW Água Profunda Cálida Modificada

ME Mar da Escócia

MEOP *Marine Mammal Exploration of the Oceans Pole to Pole*

MW Mar de Weddell

OA Oceano Austral

PA Península Antártica

PCD Plataforma de Coleta de Dados

PD Passagem de Drake

PGA Plataforma de Gelo Abbott

PGW Plataforma de Gelo Wilkins

SMRU *Sea Mammal Research Unit*

SW Água de Plataforma

UCDW Água profunda Circumpolar Superior

WDW Água Profunda Cálida

WW Água de Inverno

Lista de Figuras

- Figura 1 - Localização da região de estudo (A) e detalhe do local onde foram instrumentados os EMS com principais referencias geográficas (B)..... 4
- Figura 2 - Região amostrada pelo conjunto de EMS, cada cor representa a trajetória realizada por cada individuo. 5
- Figura 3 - Setores do OA (Marcados pelas linhas brancas) e seus principais mares regionais e regiões continentais e oceânicas. Batimetria (m) em escala de cores. As linhas de cor preta e cinza referem-se respectivamente, as isóbatas de 500 m e 4000 m. PA = Península Antártica, SWP = Bacia Sudoeste Pacífico, SEP = Bacia Sudeste do Pacífico, PET = Depressão Princesa Elizabeth, P= Plataforma. C = Cordilheira. (Adaptado de Pereira, 2010). 7
- Figura 4 - Localização e batimetria da região ocupada pelo CTD's 42 e 46. Apresenta as IOS sobre a Elevação da Escócia do Sul, entre o MW e o ME. São apresentadas Isóbatas de 1000 e 3000 m e regiões com menos de 3000 m são sombreadas. Frente da CCA estão representadas (Frente Polar (PF); Frente sul da CCA, SACCF). A Frente de Weddell (WF) marcando o limite sul da Confluência Weddell-Escócia também é mostrado. (Adaptado de Meredith et al., 2011) 9
- Figura 5 - Localização geográfica das principais ilhas e passagens no Estreito de Bransfield: Ilha Elefante (IE), Ilha Clarence (IC), Ilha Gibbs, bacia Oriental (ORIENTAL), Ilha Bridgeman (IBR), Cabo Melville (CM), Ilha Rei George (IRG), Baía

do Almirantado (BA), Ilha Nelson (IN), Ilha D'Urville (IDU), Ilha Joinville (IJ0, canal Antártico (CA), Passagem de Drake (PD), Mar de Weddell (WS), Ilhas Shetland do Sul (ISS), bacia Central (CENTRAL), Ilha Livingston (ILV), Ilha Snow (IS), Ilha Deception (ID), Estreito de Bransfield (EB), Ilha Tower (ITW), bacia Ocidental (OCIDENTAL), Ilha Smith (ISM), Estreito de Boyd (SBY), Ilha Low (ILW), Ilhas South (ISL), Ilha Hoseason (IH), Ilha Liège (IL), Ilha Trinity (IT), Mar de Bellingshausen (BS), Ilha Brabant (IB), Canal de Scholaert (CS), Estreito de Gerlache (EG), Ilha Anverse (IA), Península Antártica (PA) (Adaptado de Duarte, 2006). 15

Figura 6 - Estimativas de temperatura superficial Antártica. (a) Tendências de temperatura superficial baseada em dados de estações para o período de 1952-2006 Adaptado de Tuner et al., (2009). (b) tendências linear da média anual da temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{dec}$) de superfície para o período de 1958-2002. Verde e azul denotam resfriamento; Amarelo e vermelho, aquecimento. Adaptado de Chapman e Walsh (2007). 20

Figura 7 - Exemplo de PCD utilizada no trabalho fixa em uma fêmea de elefante-marinho do sul. A antena transmissora é facilmente identificada. A pequena caixa preta é o mini-CTD e atrás desse nota-se um elemento cilindro branco que é a caixa de bateria..... 24

Figura 8 - Região amostrada pelo conjunto de dados, cada cor representa a trajetória (e/ou região amostrada) realizada por um EMS durante o ano de 2008 nos períodos de: A) Fevereiro, B) Março, C) Abril, D) Maio, E) Junho, F) Julho, G) Agosto, H) Setembro, I) Outubro, J) Novembro..... 28

Figura 9 - Localização dos perfis coletados na região norte da Península Antártica pelos CTDs 42 (06/02 à 29/08) e 46 (04/02 à 15/11)	34
Figura 10 - Perfis de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados pelo CTD42.	36
Figura 11 - Perfis de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados pelo CTD46.	38
Figura 12 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelos CTDs 42 (verde) e 46 (azul).	40
Figura 13 - Localização dos perfis coletados nas proximidades da PGW e BM (CTD 40 de 21/02 à 12/08, CTD 44 de 01/03 à 23/08, CTD 47 de 01/06 à 16/09 e CTD 48 de 17/02 à 09/07) [Região I], e PGA (CTD 41 de 28/02 à 08/04 e CTD 43 de 26/02 à 15/03) [Região II].	41
Figura 14 - Perfis verticais de temperatura potencial, salinidade densidade potencial. (a) CTD 41 durante o verão e outono. (b) CTD 43 durante o verão.	43
Figura 15 - Perfis verticais de temperatura potencial, salinidade densidade potencial. (a) CTD 40 (b) CTD 44 e (d) CTD 48 durante o verão, outono e inverno. (c) CTD 47 durante outono e inverno.....	49
Figura 16 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelos CTDs 41 e 43. As cores indicam estações verão (vermelho), outono (verde) na PGA.	52

Figura 17 - Diagrama Θ -S gerados a partir dos dados coletados pelos CTDs 40, 44, 47 e 48. As cores indicam estações verão (vermelho), outono (verde) e inverno (azul) na região próxima a PGW.	52
Figura 18 - Localização dos perfis coletados durante as travessias dos EMS no Mar da Escócia. Indica as trajetórias durante as travessias partindo do norte da Península Antártica em direção as Ilhas Georgia do Sul (entre 26/08 e 15/10).	53
Figura 19 – Transectos gerados através do ME pelo grupo I. CTD 40 (a) e CTD 42 (b).	55
Figura 20 - Transectos gerados através do ME pelo grupo II. CTD 43 (a) e CTD 45 (b).	57
Figura 21 - Transectos gerados através do ME pelo grupo III. CTD 49.	58
Figura 22 - Localização dos perfis coletados durante movimentação dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da PA e EB durante o verão e inverno de 2008. Cada cor representa um EMS.	60
Figura 23 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelos CTDs 40, 43, 44 e 48 durante movimentação dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield durante o verão de 2008. Cada cor é referente a um conjunto de dados coletado durante a movimentação (a). Mesma descrição anterior, porém, com dados coletados durante o inverno de 2008 (b).	64

Figura 24 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelo CTD 47 durante movimentação através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica a oeste do Estreito de Bransfield. Cores indicam movimentação durante o verão (vermelho) e inverno (azul).....	65
Figura 25 - Transectos de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados no verão de 2008 durante movimentação dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield (a), (b), (c), (d) e oeste do Estreito de Bransfield (e).	70
Figura 26 - Transectos de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados no final do inverno e início da primavera de 2008 durante as movimentações dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield (a), (b) e oeste do Estreito de Bransfield (c).	76
Figura 27 - Localização dos perfis coletados pelo CTD 49 no Estreito de Bransfield no período de 07/02 à 17/08/2008.....	77
Figura 28 – Perfis Coletados pelo CTD 49 no interior do Estreito Bransfield..	79
Figura 29 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelo CTD 49. As cores indicam estações verão (vermelho), outono (verde) e inverno (azul).	80

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Duração da coleta (dias), total de perfis coletados e taxa de transmissão diária por cada CTD. 26

Tabela 2 - Total mensal de perfis e medições coletadas de Fevereiro a Novembro de 2008. 27

Hipótese

Massas de água abaixo do gelo marinho nas regiões polares tem características muito diferentes do restante do Oceano Austral devido à falta de exposição superficial as forçantes mecânicas e sofrem influência de processos locais como a liberação de sal durante a formação de gelo.

Para elucidar a hipótese acima são necessárias observações abaixo do gelo marinho que são difíceis de ser obtidas usando métodos de observação tradicionais. Portanto, pretende-se utilizar uma metodologia inédita que é a fixação de mini-CTD's em predadores de topo marinhos que realizam mergulhos profundos em regiões com cobertura e altas concentrações de gelo oceânico descrevendo e comparando a estrutura vertical em diferentes épocas do ano.

1– Introdução

O sistema climático global é impulsionado por radiação solar, que na sua maior parte incide sobre a região equatorial (cerca de cinco vezes mais que nos pólos), esta diferença na distribuição da entrada radiação cria um forte gradiente de temperatura horizontal. Tanto a atmosfera quanto os oceanos transportam calor das regiões tropicais para as regiões polares (Trenberth & Caron, 2001).

O Oceano Austral (OA) representa um papel crítico na direção, modificação e controle de mudanças globais. Em torno da Antártica é ventilada água que é distribuída gradualmente em torno do globo (Gille, 2002), elevações nas temperaturas destas águas alteram drasticamente a capacidade de absorção de CO₂ atmosférico podendo ter implicações para o aquecimento global (Gille, 2002). Alterações anômalas das características destas águas subsuperficiais encontradas nos pólos podem causar mudanças no interior do oceano que é continuamente renovado por estas águas (Toggweiler & Russell, 2008). Elevação da temperatura do oceano e atmosfera pode contribuir para o derretimento de plataformas de gelo marinho. Caso ocorra um colapso das plataformas de gelo marinho do oeste da PA, os oceanos poderiam sofrer uma elevação de mais de três metros (Joughin and Alley, 2011). Precisamos ser capazes de compreender a magnitude de variações, causas e consequências através do monitoramento do estado do oceano para poder compreender cenários futuros do clima do nosso planeta. No entanto, conduzir pesquisas no Oceano Antártico pode ser extremamente desafiador. Gelo marinho, ventos fortes, mar agitado, pouca visibilidade, temperaturas negativas, 24 horas de escuridão não tornam fácil trabalhar neste ambiente. Obtenção de dados

necessários requer uma mistura de técnicas experimentadas e testadas, bem como o uso de novas tecnologias (Smith & Asper, 2007).

A circulação do Oceano Antártico é complexa, com a zonal CCA interagindo com a circulação termohalina meridional (Carter, et al., 2008). A CCA é altamente variável, com um profundo escoamento direcionado para leste forçado principalmente pelos ventos de oeste. É a mais longa (24000 km), maior (transporte $137-147.10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) e a única que se conecta a todos os oceanos do planeta (Carter, et al., 2008).

Regiões polares são particularmente sensíveis a mudanças climáticas, com potencial para importantes feedbacks entre circulação oceânica, gelo marinho e ciclo do carbono. No entanto, a dificuldade de obter dados médios *in situ* que nos habilitam a detectar e interpretar essas mudanças é muito limitada, especialmente no OA onde a região abaixo do gelo marinho permanece quase totalmente sem observações e a taxa de formação de gelo é mal conhecida (Charrassin, et al., 2008).

Devido à importância, tamanho e complexidade do OA, a falta de observações, e sua alta variabilidade para uma grande faixa de escalas temporais e espaciais, tornam crítica à melhora de nosso conhecimento deste oceano e a compreensão do seu papel no sistema climático (Carter, et. al., 2008).

Graças à sua importância para o clima planetário, regiões polares têm sido monitoradas por expedições científicas, cruzeiros de oportunidades (Smith, et al., 1999; Hofmann and Klinck, 1998; Hofmann, et al., 1996) e por ferramentas associadas a sensoriamento remoto (Beardsley et al, 2004; Liu, et al., 2004; Jacobs & Comiso, 1997; Costa, et al., 2008). Porém, estas formas de monitoramento

falham quando se leva em consideração medições *in situ* em regiões de difícil acesso, causado por limitações logísticas, topográficas e físicas. Outra limitação se deve a falta monitoramento contínuo destas regiões. Isto impede a geração de uma climatologia e conhecimento da variabilidade sazonal da estrutura vertical oceânica e principalmente abaixo do gelo marinho variável e permanente.

Como alternativa têm-se utilizado plataformas de coletas de dados fixadas em animais marinhos. Inicialmente, o objetivo era o monitoramento dos seus padrões de deslocamento, porém, o avanço da microeletrônica tornou possível o desenvolvimento de dispositivos que pudessem monitorar os padrões comportamentais dos Elefantes-Marinheiros e ao mesmo tempo pudessem realizar medições oceanográficas. Desta forma fornecendo dados de qualidade que podem ser utilizados com segurança para caracterização da estrutura vertical.

Esta sistemática de observação é parte estrutural do projeto MEOP-BR, uma contrapartida brasileira do projeto MEOP (*Marine Mammal Exploration of the Oceans Pole to Pole*, IPY no. 153). O projeto tem por objetivo, através da instalação de plataformas de coleta de dados (PCDs) em animais de topo de cadeia trófica que realizam mergulhos profundos nas regiões Ártica e Antártica, estudar seus padrões de movimentação, comportamento e habitats. As PCDs são rastreadas por satélites e contém mini-CTDs (*conductivity-temperature-depth*) que gravam os perfis de temperatura, salinidade e pressão ao longo da descida e subida dos animais durante seus mergulhos profundos e após retornarem à superfície os transmitem para o sistema de satélites ARGOS. Argos é um sistema de satélites global baseada no sistema de localização e coleções de dados dedicados ao estudo e proteção do ambiente do nosso planeta (Argos, 2007).

Estes predadores de topo que realizam mergulhos profundos no OA durante praticamente todo ano, além de acompanharem a evolução da camada de gelo marinho realizando mergulhos em regiões de alta concentração de gelo movimentam-se livremente em regiões de quebra da plataforma continental e regiões limítrofes de frentes oceânicas (Charrassin, et al., 2008). O conjunto de dados utilizado nesta dissertação é composto por perfis de salinidade, temperatura e pressão coletados por 10 fêmeas de elefantes-marinhos do sul (*Mirounga leonina*) (EMS), instrumentadas pela equipe brasileira, coordenada pela Prof^a Dra. Mônica M. C. Muelbert, entre os meses de Fevereiro e Novembro de 2008 na Ilha Elefante (61.2°S 55.3°W) (Figura 1) após a troca de pelo (*post-moulting*) das fêmeas.

Figura 1 - Localização da região de estudo (A) e detalhe do local onde foram instrumentados os EMS com principais referências geográficas (B).

Devido a sua livre movimentação durante o forrageio temos uma grande área amostrada, causada pela disponibilidade de muitos locais para forrageio, indo desde permanência em regiões adjacentes a plataforma de gelo marinho e região de quebra de plataforma oceânica, travessias em Estreitos como Bransfield, e

investidas em mar aberto em direção as Ilhas Georgia do Sul (IGS) e a oeste da Península Antártica.

Estes animais cobrem uma grande área durante mergulhos realizados durante o ano, porém sem um padrão pré-definido. A região amostrada por estes EMS, originários da Ilha Elefante (IE), se estende desde as IGS cruzando ME alcançando a PA atravessando o EB até chegar ao Mar de Bellingshausen (MB) e regiões adjacentes às Plataformas de gelo Wilkins e Abbot e proximidades da Ilha Thurston (ITh) (Figura 2). As profundidades dos mergulhos apresentam uma média de 500 m, porém mergulhos bem profundos (2000 m ou mais) são freqüentes (Santini. et al., 2008).

Figura 2 - Região amostrada pelo conjunto de EMS, cada cor representa a trajetória realizada por cada indivíduo.

Utilizando o conjunto de dados coletado por estes animais, pretende-se fazer uma caracterização da estrutura vertical e massas d'água presentes nas áreas por eles habitadas.

A utilização destes dados para desvendar processos até então desconhecidos é uma oportunidade inédita que deve ser aproveitada. Elefantes-marinheiros do sul representam uma oportunidade única para o estudo de links entre variabilidade ambiental, fisiologia individual, comportamental e dinâmica populacional através de uma grande faixa de escalas de tempo e espaço (Biuw, et al., 2007).

1.1 – Caracterização da região de Estudo: O Oceano Austral

Figura 3 - Setores do OA (Marcados pelas linhas brancas) e seus principais mares regionais e regiões continentais e oceânicas. Batimetria (m) em escala de cores. As linhas de cor preta e cinza referem-se respectivamente, as isóbatas de 500 m e 4000 m. PA = Península Antártica, SWP = Bacia Sudoeste Pacífico, SEP = Bacia Sudeste do Pacífico, PET = Depressão Princesa Elizabeth, P= Plataforma. C = Cordilheira. (Adaptado de Pereira, 2010).

Ao redor do continente Antártico e acima da latitude de 60°S encontra-se o OA. Este é formado por diversos mares regionais conectados entre si pelo sistema da CCA. Devido à ausência de barreiras geográficas circundando o continente ao norte, o OA é conectado livremente com todas as demais bacias oceânicas do globo. Desta forma, possui extrema importância no transporte de massa e organismos marinhos, e nos fluxos de calor e sal entre os oceanos globais (Pereira, 2010). O OA é composto por três principais bacias oceânicas profundas: Bacia Weddell-Enderby, Bacia Bellingshausen-Amundsen e Bacia Antártica-Australiana.

Cavalieri e Parkinson (2008) e Pereira (2010) utilizaram a seguinte setorização do Oceano Antártico para caracterização da estrutura e variabilidade do gelo marinho e formação de águas profundas: (i) Setor Mar de Weddell – englobando o mar de Weddell (MW) entre 60°W e 20°E, (ii) Setor Oceano Índico – englobando desde a região leste da bacia de Enderby (20°E) até a zona do mar de Davis (90°E), (iii) Setor Oceano Pacífico Oeste – englobando a região do mar Dumont D’Urville entre 90°E e 160°E, (iv) Setor Mar de Ross – englobando a região do mar de Ross entre 160°E e 130°W, e (v) Setor Mares de Bellingshausen e Amundsen (BA) – englobando a área dos mares de BA entre 60°W e 130°W e a porção sul da Passagem de Drake (PD) próximo à PA.

1.1.1 - Mar da Escócia

A região do ME (Figura 04) é limitada pela Terra do Fogo, Ilhas Georgia e Sandwich do Sul, Ilhas Orkney do Sul (IOS) e pela PA e contornado a oeste pela PD. É considerada uma região de grande mistura de massas d'água devido à forte turbulência gerada pela elevação de massas d'água originadas no MW ao atravessar a Elevação Escócia do Sul e pelo cisalhamento do CCA com Giro do MW (Franco et al., 2007).

Figura 4 - Localização e batimetria da região ocupada pelo CTD's 42 e 46. Apresenta as IOS sobre a Elevação da Escócia do Sul, entre o MW e o ME. São apresentadas Isóbatas de 1000 e 3000 m e regiões com menos de 3000 m são sombreadas. Frente da CCA estão representadas (Frente Polar (PF); Frente sul da CCA, SACCF). A Frente de Weddell (WF) marcando o limite sul da Confluência Weddell-Escócia também é mostrado. (Adaptado de Meredith et al., 2011)

O ME é uma bacia relativamente pequena no sudoeste do setor atlântico do OA. Este é contornado por uma batimetria acidentada a norte, sul e leste (Elevação Norte da Escócia, Elevação da Escócia do Sul (EES) e pelo Arco das Ilhas sanduiche do Sul, respectivamente) e aberto para PD no Oeste. A bacia central é geralmente mais profunda que 3000 m com relativamente poucas características topográficas onde a bacia leste tem a mais complexa batimetria. Georgia do Sul está na porção final leste da Cordilheira Norte da Escócia, a leste é a passagem mais profunda que permite trocas entre a bacia da Escócia e a bacia da Georgia a norte (Thorpe, 2002).

O ME pode ser um importante contribuinte para a 'missing mixing' necessária para o balanço da circulação de revolvimento oceânica global (Heywood et al., 2002), isto é importante para melhor quantificar quanto desta água densa profunda entra através bacia da elevação da Escócia do Sul, que separa o MW do ME. Além disso, melhora estimativas do transporte meridional de águas profundas do OA que levará a uma melhor compreensão do clima global e sua variabilidade (Franco et al., 2007). O ME é influenciado por dois regimes oceanográficos: geralmente orientado para leste a CCA e a circulação ciclônica do Giro de Weddell. A separação destas é a denominada confluência Weddell-Escócia (Gordon, 1967), a mistura de águas da CCA e do Giro de Weddell com águas da plataforma noroeste do MW (Whitworth et al, 1994).

1.1.2 - Norte Península e Noroeste do Mar de Weddell: Massas d'Água

Está região sofre influência do regime de circulação atmosférica, formação e derretimento de gelo marinho, e através da circulação local de diferentes áreas oceânicas adjacentes. Através da inclusão e transporte de águas de origem do Estreito de Bransfield (EB), MW e da CCA (Whitworth III, et al., 1994). Porém algumas características são dominantes, gerando um padrão nas massas de água presentes.

No regime oceânico a AASW possui valores de temperatura potencial menor que 1°C e salinidade de 33.0 a 34.50 psu, é definida pela sua localização acima de 200 m na coluna d'água e não por valores fixos de temperatura potencial (Θ) e salinidade. É relacionada com a alta variabilidade existente devido à variação sazonal de temperaturas. Devido à maior incidência do sol e consequentemente maior derretimento de gelo marinho no verão. Entretanto, as águas superficiais frias e mais salinas formadas por convecção no inverno persistem durante os meses de verão abaixo da camada superficial aquecida (Gordon & Huber, 1984). Esta água que é formada da camada de mistura durante o inverno e permanece é denominada de WW com valores de temperatura potencial menor que -1.7°C e salinidade entre 34.3 e 34.44 psu. Entre 200 e 1500m de profundidade, a coluna d'água é preenchida em sua camada intermediária pela WDW com temperatura potencial e salinidade entre 0° e 1 °C, 34.60 e 34.75 psu, respectivamente. A WDW é relativamente quente,

salina e menos oxigenada do que as demais massas de água da região. Isto ocorre porque a WDW, que é resultante da mistura entre a CDW, a WW e as camadas inferiores da AASW à medida que a CDW entra no MW e segue a circulação do Giro de Weddell. A CDW que é formada principalmente pela LCDW presente na circulação da CCA é oriunda da Água Profunda do Atlântico Norte o que marca seu sinal de alta salinidade (Mantyla & Reid 1983). A WDW está sujeita outros processos de mistura com a AASW, WW e a SW próxima das margens continentais.

1.1.3 - Oeste da Península Antártica

A região a oeste da PA engloba uma área de 22.000 Km² que vai desde a extremidade norte da Península até a Ilha Alexander I (IAI) e se entende desde as águas adjacentes a costa até a região em mar aberto de quebra de plataforma. Esta grande região é composta por duas sub-regiões: EB, que cobre um terço da região nordeste, e uma grande área da região de quebra de plataforma que cobre os restantes dois terços da região. Cada sub-região pode ser distinguida em relação à geometria, propriedades hidrográficas e circulação (Hofmann et al., 1996).

A estrutura hidrográfica sobrejacente ao centro do oeste da plataforma continental da PA resulta primariamente da interação entre oceano e atmosfera e da interação da margem continental exterior. O gelo marinho nesta região derrete completamente durante o verão austral (Stammerjohn & Smith, 1996), permitindo que as águas de plataformas sejam expostas a forçantes atmosféricos. Trocas entre ar-mar contribuem para grandes variações sazonais nas propriedades termohalinas na AASW na camada de 100-200 m sobrejacente a plataforma continental (Hoffman et al., 1996; Smith et al., 1999). Esta massa d'água é substituída no outono e inverno austral pela WW com temperaturas negativas. Abaixo da AASW e da WW a camada de água possui uma temperatura maior ($\Theta > 1^{\circ}\text{C}$) e mais salgada ($S > 34.64$ psu) que a água que cobre a plataforma abaixo da pinoclina permanente entre 150-200 m (Smith et al., 1999). Esta massa de água deriva da CDW, que está presente fora do talude da região Oeste da PA nas profundidades de 200–600m (Hofmann & Klinck, 1998; Smith et al., 1999).

A presença do contorno sul da CCA ao longo da porção externa da plataforma continental oeste da PA produz abaixo da superfície intrusões de CDW (Hofmann and Klinck, 1998; Dinniman and Klinck, 2004), que por sua vez afeta as propriedades das águas abaixo da pinoquina (Smith et al., 1999) e concentrações de gelo marinho (Smith and Klinck, 2002) das águas da plataforma. As intrusões subsuperficiais da CDW tendem a ocorrer preferencialmente em locais ao longo do oeste da PA em regiões associados com variações batimétricas (Hofmann and Klinck, 1998; Dinniman and Klinck, 2004).

1.1.3.1 - Estreito de Bransfield

Figura 5 - Localização geográfica das principais ilhas e passagens no Estreito de Bransfield: Ilha Elefante (IE), Ilha Clarence (IC), Ilha Gibbs, bacia Oriental (ORIENTAL), Ilha Bridgeman (IBR), Cabo Melville (CM), Ilha Rei George (IRG), Baia do Almirantado (BA), Ilha Nelson (IN), Ilha D'Urville (IDU), Ilha Joinville (IJ), canal Antártico (CA), Passagem de Drake (PD), Mar de Weddell (WS), Ilhas Shetland do Sul (ISS), bacia Central (CENTRAL), Ilha Livingston (ILV), Ilha Snow (IS), Ilha Deception (ID), Estreito de Bransfield (EB), Ilha Tower (ITW), bacia Ocidental (OCIDENTAL), Ilha Smith (ISM), Estreito de Boyd (SBY), Ilha Low (ILW), Ilhas South (ISL), Ilha Hoseason (IH), Ilha Liège (IL), Ilha Trinity (IT), Mar de Bellingshausen (BS), Ilha Brabant (IB), Canal de Scholaert (CS), Estreito de Gerlache (EG), Ilha Anverse (IA), Península Antártica (PA) (Adaptado de Duarte, 2006).

Wilson et al. (1999) descreve o EB como possuindo aproximadamente 120 km de largura e 460 km de comprimento desde a Ilha Clarence (IC) em nordeste até Ilha Low (ILW) no sudoeste (Figura 5). É composto por três bacias, muito comumente

chamadas de Bacias Oeste, Central e Leste. As bacias aprofundam-se para nordeste, tendo uma profundidade máxima axial na bacia oeste de 1100 m próximo da ILw e uma profundidade máxima de 2700 m na bacia leste a sul da IE. Elevações com menos de 500 m de profundidade circundam todo estreito impedindo a entrada de águas profundas das da PD e do MW. A bacia leste tem o acesso mais profundo que 500 m em torno da IC e na parte norte da PA. Em contraste não há passagens mais profundas que 500 m em qualquer das bacias central e oeste. Uma passagem de 400 m ocorre a sudoeste entre as Ilhas Snow e Smith, e uma de 500 m entre a Ilha Rei George (IRG) e a IE no nordeste. A bacia central é isolada das bacias adjacentes por uma elevação de 1000 a 1100 m em seus contornos leste e oeste (Wilson et al., 1999).

1.1.3.2 - Características Oceanográficas Estreito de Bransfield

Segundo Gordon & Nowlin Jr. (1978) as águas profundas e de fundo das bacias do EB, são mais frias e menos salinas, mais oxigenadas e pobres em nutrientes do que a águas profundas exteriores e adjacentes ao estreito. As características das águas profundas e de fundo de cada bacia são diferentes, o que indica que os processos de convecção variam, espacial e temporalmente.

As águas profundas e de fundo de cada bacia apresentam diferentes distribuições verticais de temperatura potencial, salinidade e concentração de oxigênio dissolvido. Na bacia Central, as águas são 0.5°C mais frias que as da bacia Oriental, mais oxigenadas e com menor concentração de nutrientes que as outras duas bacias. Na bacia Ocidental são encontrados fortes gradientes de temperatura,

salinidade e oxigênio dissolvido, em contraste com a condição de maior homogeneidade das outras bacias (Gordon & Nowlin Jr., 1978).

Clowes (1934) sugere que a partir das características das águas superficiais durante o verão, que a convecção que gera águas de fundo das bacias é realizada pelas águas superficiais de inverno. É provável que as águas de plataforma sejam formadas no ponto de congelamento com salinidade próxima a 34.62 psu. Este processo deve ser semelhante nos dois lados da PA, ou seja, no MW e no EB (Gordon & Nowlin Jr., 1978).

1.1.4 - Massas d'água do Mar de Bellingshausen

A massa de água mais abundante no oceânico austral é a CDW com temperatura potencial acima de 1°C e salinidade em torno de 34.70. A UCDW, uma variação da CDW é representada pela temperatura potencial na faixa de 1.5° e 2.0°C e salinidade entre os valores de 34.6 e 34.75 psu, é encontrada entre 200 e 800 m com de profundidade e possui um importante papel na hidrografia da região (Sievers & Nowlin 1984). Na porção costeira, a plataforma continental é preenchida pela forma modificada da UCDW com temperatura potencial nas faixas de 1.0° a 1.4°C e salinidade em torno de 34.60 psu, também denominada Água Profunda Circumpolar Modificada (MCDW), abaixo da mistura com a WW com temperatura potencial de aproximadamente -1.5°C e salinidade na faixa 33.8 a 34.0 psu e a AASW com temperatura e salinidade nas faixas de -1.8° e 1.0°C , 33.0 e 33.7 psu, respectivamente. A AASW é formada devido à interação com a atmosfera, enquanto a MCDW é originada da CDW (mais especificamente da UCDW) a partir da ACC, que flui afastada da quebra de plataforma com Θ variando entre 1.6°C e 2.0°C . As intrusões subsuperficiais de MCDW tendem a ocorrer em regiões específicas ao longo da plataforma oeste da PA (Hofmann & Klinck, 1998; Klinck et al., 2004).

2 – Motivação e Objetivos

2.1 – Motivação

Nos últimos anos as mudanças observadas nas regiões polares têm recebido atenção devido à influência causada pelas alterações climáticas. A quebra de diversas plataformas de gelo ao longo da Antártica tem demonstrado o potencial para as plataformas de gelo se tornar instáveis. Plataformas de gelo são sensíveis a elementos do sistema climático, imprensado entre um aquecimento atmosférico e oceânico (Braun & Humbert, 2009).

Tendências de temperatura de estações de superfície desde o início da década de 1950 ilustram um forte dipolo de mudança, com significativo aquecimento através da PA, mas com pequenas mudanças através do restante do continente. (Figura 06). As maiores tendências de aquecimento médio anual são encontradas nas porções oeste e norte da PA. Onde as estações Faraday/Vernadsky registraram a maior tendência estatisticamente significativa (<5%) de $+0.53^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ para o período de 1951-2006 (Chapman & Walsh, 2007).

É observado um aumento da temperatura superficial oceânica desde 1950 (Gille, 2002). Desde 1951 temperaturas médias atmosféricas aumentaram mais de 3°C na PA (King, 1994; Turner et al., 2005) que pode ser relacionada com mudanças no MB. Mudanças como retração de gelo marinho (Jacobs & Comiso, 1993), aumento da temperatura da superfície oceânica de mais de 1°C , que forçam

salinificação da camada superficial (Meredith & King, 2005), desintegração de pequenas plataformas de gelo e acelerada retração de glaciares (Cook et al., 2005).

Figura 6 - Estimativas de temperatura superficial Antártica. (a) Tendências de temperatura superficial baseada em dados de estações para o período de 1952-2006 Adaptado de Turner et al., (2009). (b) tendências linear da média anual da temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{dec}$) de superfície para o período de 1958-2002. Verde e azul denotam resfriamento; Amarelo e vermelho, aquecimento. Adaptado de Chapman & Walsh (2007).

A importância de processos de pequena escala em superfície, fundo e contornos laterais são bem conhecidos. Em oceanos cobertos de gelo a camada limite superficial é de particular interesse, pois realiza o controle das trocas de calor e momento entre o gelo e o oceano. Estas trocas afetam a criação, derretimento e movimento de gelo marinho assim como o balanço de calor e correntes (McPhee et al., 2008). Quantificação apropriada destes processos é pré-requisito para o sucesso da modelagem em condições de larga escala.

Modelos acoplados oceano, atmosfera e criosfera tentam simular alterações nestas regiões, porém a falta de dados *in situ* dificulta a validação de seus

resultados. Para solucionar esta carência de informação, dados coletados por animais marinhos fornecem um valioso conjunto de dados para avaliação de campos de temperatura obtidos por modelos numéricos de circulação (Costa et al., 2008).

Através de dados coletados sob plataformas de gelo marinho, quebra de plataforma, talude e mar aberto e transmitindo perfis verticais oceânicos de regiões do OA habitadas por EMS em períodos do ano em que dificilmente se tem acesso, apresentamos uma alternativa para a falta de dados *in situ* necessários validação dos resultados de modelos em diversas regiões que anteriormente não poderiam ser convencionalmente amostradas.

2.2 - Objetivo Geral

Estudar a estrutura vertical oceânica e identificar massas de água na região oeste e norte da PA durante diferentes épocas do ano, mesmo em situações de difícil amostragem como sob cobertura de gelo marinho, comparando suas alterações apresentando diferentes características hidrográficas através da utilização de dados coletados por plataformas autônomas.

2.3 – Objetivos específicos

- Analisar perfis verticais oceanográficos coletados entre os meses de Fevereiro e Novembro de 2008 por EMS instrumentados na Ilha Elefante no verão austral de 2008 pelo Projeto MEOP-BR;

- Comparar transectos através e fora do EB e da região oeste da PA durante o inverno e verão austral de 2008.
- Identificar massas de água e comparar mudanças presentes no período e região do objetivo anterior;
- Apresentar estrutura vertical e massas de água da região adjacente as Plataformas de Gelo Abbott e Wilkins durante o verão, outono e inverno de 2008;
- Apresentar estrutura vertical e variações das massas de água na região norte da PA entre os meses de Fevereiro e Novembro de 2008;
- Apresentar e comparar a estrutura vertical e variações de das massas de água presentes no EB entre os meses de Fevereiro e Agosto de 2008.
- Analisar transectos entre o norte da PA e IGS entre os meses de Agosto e Outubro de 2008.

3– Materiais e Métodos

3.1 – Projeto MEOP

O projeto '*Marine Mammals Exploring the Oceans – Pole to Pole*' (MEOP) foi baseado no sucesso do estudo SEaOS (*South Elephant Seals as Oceanographic Samplers*), faz parte do Ano Polar Internacional (2007 a 2008) envolvendo dez países (Austrália, Brasil, Canadá, França, Alemanha, Groelândia, Noruega, África do Sul, Reino Unido e Estados Unidos). Em conjunto estes países fixaram 150 *CTD – Satellite Relay Data Loggers* (CTD-SRDLs) em mamíferos marinhos objetivando conhecer padrões de movimentação, comportamento e ambiente por eles habitados coletando perfis oceanográficos em regiões polares. Estes CTD–SRDLs são construídos pelo *Sea Mammal Research Unit* (SMRU) (Universidade de St. Andrews, Escócia), incorporando os sensores dos CTD desenvolvidos por Valeport. Os sensores fixados a cabeça dos mamíferos consistem de um sensor transdutor de pressão (P), um termômetro de resistência de platina (T) e uma célula indutiva para a medida de condutividade (Figura 7). Elefantes marinhos tipicamente cobrem distâncias de 35 – 65 km por dia, resultando em uma resolução espacial em rotas forrageiras de aproximadamente 25 km, comparado com um espaçamento de 50 km ou mais de seções hidrográficas de alta resolução obtidas por navios de pesquisa (Charrassin, *et al.*, 2008).

Figura 7 - Exemplo de PCD utilizada no trabalho fixa em uma fêmea de elefante-marinho do sul. A antena transmissora é facilmente identificada. A pequena caixa preta é o mini-CTD e atrás desse nota-se um elemento cilindro branco que é a caixa de bateria.

3.1.1 – Descrição dos Dados

Foi realizado download dos dados na página do SMRU (<http://www.smru.st-and.ac.uk/>), com acesso restrito, no formato Microsoft Access. Dos dados foram retiradas falhas, organizados por CTD e por ordem de coleta e então convertidos para um arquivo texto de forma que fosse possível leitura e manipulação com software Matlab®.

Estes dados foram coletados por dez fêmeas adultas de EMS que foram instrumentadas pelo projeto MEOP-BR na IE, arquipélago das Shetland do Sul, Antártica (Figura 1) no mês de Fevereiro de 2008. O conjunto de dados possui **7315** perfis verticais (Tabela 1) sendo com média de coleta de **731,5 +- 100,7** perfis por animal sendo transmitidos a uma média de **2,91 +- 0,25** vezes por dia.

Os sensores coletam dados à frequência de 01 Hz durante a ascensão de um mergulho e transmite via Sistema Argos ao atingirem a superfície a uma média de **2.91 +- 0.25** transmissões ao dia (ver Tabela 1). Cobrem uma distância média entre cada perfil de **14.43 +- 12.28** km, resultando em uma resolução espacial de **41.61** km/dia.

Os sensores de temperatura e condutividade têm uma resolução de 0.001 °C e 0.002 mS/cm, respectivamente. Corrigidas, pressão, temperatura e salinidade possuem uma acurácia de 2 dbar, 0.02°-0.03 °C, e 0.03-0.05 psu, respectivamente.

Na Tabela 2 são mostrados os totais de perfis coletados a cada mês. Há perfis com 9 e 17 medições verticais, em que as profundidades transmitidas são determinadas pelo algoritmo 'stick broken' que melhor representa a forma do perfil baseado sobre seus pontos de inflexão (Meredith, et al., 2011).

Tabela 1 - Duração da coleta (dias), total de perfis coletados e taxa de transmissão diária por cada CTD.

CTD	Início	Final	Duração da coleta	Total de perfis	Taxa diária
01	9/2/2008	8/11/2008	273	772	2.8278
02	2/2/2008	18/11/2008	290	862	2.9724
03	6/2/2008	24/9/2008	231	673	2.9134
04	11/2/2008	10/10/2008	242	789	3.2603
05	16/2/2008	6/10/2008	233	725	3.1116
06	6/2/2008	13/11/2008	281	809	2.8790
07	4/2/2008	15/11/2008	285	731	2.5649
08	15/2/2008	11/11/2008	270	781	2.8926
09	10/2/2008	14/7/2008	155	499	3.2194
10	6/2/2008	5/11/2008	273	674	2.4689
Total			2533	7315	
Média			253.3	731.5	2.9110
Desvio Padrão + -			40.6531	100.6978	0.2549

Não é possível prever as rotas que serão escolhidas pelos EMS durante o ano, mas é possível devido a estudos realizados (Biuw et al., 2007; Field et al., 2001; McConnell et al., 2004), identificar regiões preferenciais para forrageio. Na Figura 8 são apresentadas as regiões amostradas mês a mês pelos EMS iniciando-se no mês de Fevereiro de 2008. Nos 06 primeiros meses a coleta foi realizada com 10 CTDs, nos meses de Agosto e Setembro foram coletados utilizando 09 CTDs, 08 CTDs em Outubro e 06 em Novembro (Tabela 2), esta redução no número de CTDs coletando e transmitindo dados se deve a perda dos equipamentos pelos EMS.

Tabela 2 - Total mensal de perfis e medições coletadas de Fevereiro a Novembro de 2008.

Mês de 2008	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Total
Total de Perfis	696	1025	939	926	917	809	848	764	266	125	7315
Total de medições	11308	16305	14867	14702	14309	12581	13216	11716	4218	1864	115086
Total de CTDs Coletando	10	10	10	10	10	10	9	9	8	6

A) Fevereiro

C) Abril

B) Março

D) Maio

E) Junho

H) Setembro

F) Julho

I) Outubro

G) Agosto

J) Novembro

Figura 8 - Região amostrada pelo conjunto de dados, cada cor representa a trajetória (e/ou região amostrada) realizada por um EMS durante o ano de 2008 nos períodos de: A) Fevereiro, B) Março, C) Abril, D) Maio, E) Junho, F) Julho, G) Agosto, H) Setembro, I) Outubro, J) Novembro.

3.2 – Metodologia

3.2.1 – Processamento dos dados

Devido à necessidade de uma análise lógica, a distribuição espacial dos dados referentes à região de estudo foi dividida da seguinte forma, considerando a presença do EMS durante o ano: ME, Norte da PA, EB, Oeste da PA (MB) e região adjacente as plataformas de gelo Abbot e Wilkins.

Os períodos referentes às coletas nestas regiões foram identificados dentro do conjunto completo dos dados e retirados para serem analisados e processados separadamente.

Depois de separados do conjunto total, foram gerados perfis verticais. Estes são perfis de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial que são apresentados de acordo com dias amostrados, com exceção dos coletados através da travessia no ME em que as propriedades termohalinas são plotadas em função da latitude. Este método permite identificar as características da estrutura vertical oceânica na área de interesse.

Para o cálculo das propriedades termohalinas (descrito nas seções seguintes) foi utilizado o pacote de rotinas SEAWATER desenvolvidos para processamento e análises de dados oceanográficos com software Matlab®.

3.2.1.1 - Cálculo da Temperatura Potencial

A temperatura potencial é definida classicamente como a temperatura de um elemento de água do mar que é elevado adiabaticamente sem variação de salinidade à pressão ambiente. Generalizando, a temperatura potencial pode ser definida como a temperatura resultante de um deslocamento adiabático para uma pressão de referência P_r que pode ser maior ou menor que a pressão inicial P . A temperatura potencial Θ foi calculada a partir do *lapse rate* adiabático Γ ,

$$\Theta(S, t, P, P_r) = t + \int_P^{P_r} \Gamma(S, t', P) dP',$$

pela integração ao longo de uma adiabática através do algoritmo SW_PTMP do SEAWATER (Unesco, 1983) proposto por Fofonoff (1983). Onde S , t , P são dados de salinidade, temperatura e pressão, respectivamente obtidos *in situ*.

3.2.1.2 - Cálculo da densidade potencial

A densidade potencial σ_θ é definida como a densidade que uma parcela de composição fixa adquire se movimentada adiabaticamente para um dado nível de pressão de referência P_r . Em oceanografia a densidade potencial é útil particularmente próxima a P_r , onde seu gradiente vertical determina a estabilidade (Gill, 1982). Aqui ela foi calcula utilizando a rotina do SEAWATER (SW_PDEN) proposta por Gill (1982) utilizando dados de temperatura, salinidade, pressão coletados pelos EMS.

3.2.1.3 - Cálculo da profundidade a partir de dados de pressão

Para poder identificar a profundidade atingida por um instrumento no oceano a pressão é medida. Com relação às variações da gravidade com a latitude e anomalia geopotencial essa pressão pode ser converter em metros de profundidade. Para esta conversão foi utilizado o algoritmo SW_DPTH do SEAWATER desenvolvido por Saunders & Fofonoff (1976) que considera variações de gravidade com relação a variações de profundidade e latitude utilizando a equação hidrostática e a equação de estado de Knudsen-Ekman.

Estimativas de profundidade a partir de pressão baseadas neste método possui um erro de apenas 0,08 m para 5000 db (Unesco, 1983).

3.2.2 – Análise dos Dados

Foi realizada uma análise hidrográfica clássica com os dados disponíveis para as regiões escolhidas, usando a redação de softwares de leitura e diagramação, baseados na linguagem MATLAB. Assim, elaborou-se um conjunto de diagramas de mapeamento. Uma análise deste tipo é importante para contextualizar o conjunto de observações (Duarte, 2006).

Além disso, foram elaborados diagramas de temperatura potencial *versus* salinidade (Θ -S) para verificar as características e variações espaciais e temporais das diferentes massas de água na região de estudo.

3.2.3– Caracterização de Massas d'água

Parte do objetivo deste estudo são a descrição e alterações das massas de água durante o período amostrado, para tal atividade é necessário uma descrição da definição de massas de água.

Massa de água é definida como um volume de água que sofre influência atmosférica durante determinado período, é originada em uma região particular do oceano (Tomczak, 1999), a partir da qual adquire características de formação comuns que só se modificam por processos de mistura podendo, portanto, ser considerada uma entidade física que ocupa um volume finito no oceano (Tomczak & Large, 1989).

Considera-se que cada massa de água apresente características físico-químicas próprias devido a processos de mistura em sua área de formação e que esta pode ser representada por uma “água-tipo”: um conjunto de valores de determinados parâmetros, como os índices termohalinos, que representam uma massa de água homogênea e específica. Quando um tipo de água apresenta as mesmas características da região de formação da massa de água, a esse conjunto de índices particulares pode-se atribuir o título de tipo de água fonte (Tomczak & Godfrey, 1994).

4 - Resultados e Discussão

4.1 – Norte da Península Antártica e Mar da Escócia

Dois EMS, identificados como CTDs 42 e 46 optaram por permanecer na região localizada entre as latitudes/longitudes (57° - 64° S/ 59° - 41° W) (Figura 9) durante quase todo período em que estiveram coletando dados, com pequenas diferenças entre as áreas amostradas por cada um. Eles seguiram um padrão de movimentação que alternaram coletas através da CCA, da região oeste da IE, região noroeste do MW, proximidades das IOS, sobre a EES, proximidades da porção norte da PA e através da Confluência Escócia-Weddell (CEW).

O EMS identificado como CTD 42 coletou dados no período entre 06 de Fevereiro e 29 de Agosto na região indicada com a cor verde na Figura 9 (57° - 64° W/ 59° - 44° W) e o CTD 46 coletou dados no período entre 04 de Fevereiro e 15 de Novembro na região indicada como a cor azul (58° - 64° W/ 59° - 41° W) na Figura 9.

O período amostrado pelo CTD 46 representa o maior período de coleta de dados *in situ* ininterrupto nesta região demonstrando a importância da utilização desta tecnologia para a descrição oceanográfica de regiões normalmente subamostradas por formas tradicionais de monitoramento.

Esta região tem sido objeto de estudo de diversos autores (Gordon et al., 1977; Patterson & Sievers, 1980; Whitworth III et al., 1994; Muench & Gun, 1990; Orsi et al., 1995), porém, a grande maioria utiliza dados de expedições científicas

coletados durante o verão austral (Meredith et al., 2011) causando uma grande tendência sazonal nos resultados apresentados por estes autores.

Figura 9 - Localização dos perfis coletados na região norte da Península Antártica pelos CTDs 42 (06/02 à 29/08) e 46 (04/02 à 15/11)

O CTD 42, após sua instrumentação na IE, partiu em direção a parte norte da PA onde permaneceu até 09 de março. Neste período ele revelou uma estrutura vertical estável com temperaturas potencial negativas em praticamente toda coluna, valores de salinidade entre 34.1 e 34.6 psu e densidades potencial entre 27.5 e 27.8 (Figura 10). Estes valores são característicos de massas de água originárias do EB e do MW. Esta região é influenciada pela circulação local que transporta águas relativamente mais frias do MW para o EB a noroeste (Heywood et al., 2004) e para o ME a norte (Whitworth III et al., 1994). Após este período ele permaneceu

coletando dados na região da EES e das Orkneys do Sul com investidas através da CCA no ME. Na região da confluência CEW os perfis coletados apresentaram uma estratificação marcada com a termoclina próxima dos 100 m de profundidade tendo temperaturas em superfície em torno de 0.5°C e temperaturas em torno de -0.5°C no restante da camada. Valores de salinidade e densidade potencial revelam uma camada estável com valores sendo próximos de 34.5 psu e 27.6 nos primeiros 100 m da coluna oceânica, no restante da coluna, os valores são mais uniformes, sendo na faixa de 34.6 a 34.8 psu para salinidade e entre 27.7 e 27.9 para densidade potencial. Houve então, após este período, a partir de meados de março três migrações até a região centro do ME com retorno em direção as Ilhas Shetlands do Sul (ISS). A primeira ocorreu dia 19 de Abril com duração de aproximadamente 10 dias e a segunda a partir de 10 de Maio durante 19 dias que coletaram valores de temperaturas positivos (entre 0.5°C e 2°C) característicos da CCA em praticamente toda coluna. Os valores de salinidade obtidos foram entre 34.2 e 34.4 psu e densidade potencial entre 27.2 e 27.5 para os 100 m superficiais, no restante da coluna a salinidade e temperatura potencial tiveram valores observados mais uniformes, sendo próximos a 34.8 psu e 27.85, respectivamente. Esta estratificação é característica da ação de forçantes mecânicos na CCA, com uma pequena camada superficial sujeita a mistura e o restante da coluna mais uniforme.

Figura 10 - Perfis de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados pelo CTD42.

A terceira inserção no ME ocorreu a partir da terceira semana de Junho e durou até final de Julho. Está apresentou uma termoclina bem definida com aproximadamente 150 m e com valores de temperatura entre -1.5° e 0.5° C causados principalmente por resfriamento sazonal e o restante da coluna com valores próximos a 2° C. A salinidade e densidade potencial tiveram valores próximos a 34.4 psu e 27.6 na termoclina e com restante da camada mais uniforme com valores entre 34.6 e 34.7 psu para salinidade e de 27.7 a 27.9 para a densidade potencial. No período final da coleta, compreendido entre os dias 29 de Julho e 30 de Agosto o EMS esteve na região da EES e entre a as proximidades da IE, onde observou valores de temperatura potencial (-1.8° a 0.4° C), salinidade (34.6 a 34.8 psu) e densidade potencial (27.75 e 28) distintos do restante do período amostrado. As temperaturas superficiais, com valores negativos, se deveram a influência do

resfriamento ocorrido durante o inverno Austral e a coluna vertical não possui uma estratificação marcante, característica da circulação dominante da CCA na PD. Nesta região, durante esta época do ano ocorrem altas taxas de formação de gelo marinho e consequentemente liberação de sal, isto causa um aumento de salinidade e densidade potencial na camada superior (até ~200 m).

O CTD 46 após o início da coleta (04 de Fevereiro) nas proximidades da IE migrou em direção ao Canal Antártico (*Antarctic Sound*) atravessando o EB e logo retornando as proximidades das ISS (19 de Fevereiro), neste trajeto foram identificados valores de temperatura na superfície até ~80 m próximos a 1° C, característicos do verão austral, devido ao aquecimento superficial, os valores de salinidade e densidade potencial são uniformes em toda coluna próximos de 34.3 psu e 27.6, respectivamente (Figura 11). Após o dia 29 de fevereiro este migrou em direção as IOS através da CEW, onde permaneceu até o dia 25 de Abril onde obteve valores de temperatura potencial em superfície (de 0 a 50 m) de 0° a -1° C, com um núcleo frio de 50 a 180 m, de temperaturas próximas de -1.5°C, este núcleo se deve ao afundamento da camada superficial resfriada no inverno anterior representativos da AASW, abaixo desta profundidade as temperaturas tem um aumento para valores próximos de 0° C em toda a coluna. Tanto a salinidade quanto a densidade potencial possuem valores relativos menores da superfície até ~100 m, nas faixas de 33.2 a 34 psu e 26.8 a 27.1, causados principalmente devido a derretimento de cobertura de gelo e mistura superficial formando a AASW. Nas camadas mais profundas, observamos a UCDW com valores de salinidade mais uniformes na faixa de 34.2 a 34.7 psu e a densidade potencial na faixa 27.5 a 27.9.

Figura 11 - Perfis de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados pelo CTD46.

Entre os dias 20 de Abril e 10 de Maio o EMS migra em direção a IE através do EB onde encontra uma coluna uniforme em praticamente toda sua extensão com temperaturas potencial, salinidade e densidade potencial próximas a 0° C, 34.3 psu e 27.6, respectivamente. Após este período ele retorna em direção as IOS e permanece sobre a CSE realizando algumas investidas no ME. Neste período fica claro o resfriamento superficial da coluna d'água causado pelo inverno austral, com temperaturas potencial na camada entre 0 a 180 m de aproximadamente -1.7°C e valores entre 0° e 1°C nas camadas mais profundas. A salinidade e a densidade possuem um núcleo com valores relativamente menores, reflexo do degelo superficial, na camada até 150 m, com valores mais uniformes no restante da coluna. Até o final deste período (início de Setembro) ocorre uma uniformização nos campos de salinidade e densidade potencial com valores médios de 34.2 psu e 27.5

na camada que vai da superfície até aproximadamente 180 m, e valores a acima de 34.6 psu e 27.8 para profundidades maiores que 180 m. Após o início de Setembro, o EMS retorna em direção as ISS e norte da PA permanece nesta região até o dia 15 de Novembro. Nesta época, devido à permanência do manto de gelo formado em superfície não são notadas grandes modificações na estrutura vertical oceânica, que possui uma uniformidade maior. Valores de temperatura potencial estão na faixa de -0.5° a -1.8°C, salinidades entre 34.4 e 34.6 psu e densidades potencial entre 27.5 e 27.7 em toda a coluna.

O CTD 42 coletou valores de temperatura potencial na faixa de -1.85° a 2.12°C, salinidades na faixa de 34.01 a 34.94 psu e densidade potencial na faixa entre 27.24 e 28 (Figura 12). Já o CTD 46 coletou valores de temperatura na faixa de -1.88° e 1.86°C, salinidades de 33.15 a 34.85 psu e densidades entre 26.63 e 27.98 (Figura 12).

Dos valores das variáveis hidrográficas coletadas na região amostrada na Figura 9 podemos identificar as seguintes massas de água presentes na região: AASW, WW, WDW, CDW, ISW e UCDW. Observamos também travessias através da CEW, representadas por fortes gradientes horizontais de temperatura. Águas do Mar de Weddell possuem pequenos gradientes verticais em suas propriedades (Whitworth III, 1994).

Comparando com os resultados obtidos por Meredith et al. (2011), utilizando dados coletados durante o ano de 2007 nas proximidades das IOS, são observadas diferenças principalmente em relação aos valores mínimos de salinidades relacionados provavelmente a grande liberação de água doce por degelo. Outra diferença é relacionada aos valores máximos de temperatura potencial que são

maiores nos encontrados neste estudo, isto se deve às coletas realizadas num domínio mais a norte que o estudo de Meredith et al. (2011) através do ME e da ACC. Porém, estes resultados observados estão de acordo com apresentados por Patterson & Sievers (1980).

Figura 12 - Diagrama θ -S gerado a partir dos dados coletados pelos CTDs 42 (verde) e 46 (azul).

Irregularidades nos perfis se devem principalmente a processos de mistura, tanto por ação mecânica próxima a superfície, como causada por ação de topografia, característica presente devida à presença da EES que influencia diretamente esta região.

A CEW possui características incomuns que se devem a processos verticais de mistura ocorrendo através da camada de contorno lateral oceânica que, enquanto age para homogeneizar a coluna de água, incorpora nela água fria, menos salina do derretimento do gelo marinho (principalmente de origem continental), está quase sempre presente nesta área.

4.2 – Plataformas de Gelo Wilkins e Abbot e proximidades da Ilha Adelaide, Alexander I e Baía Marguerite

Durante o forrageio no ano de 2008, seis dos dez EMS instrumentados migraram em direção a duas regiões com grande sensibilidade às alterações climáticas. São elas as Plataforma de Gelo Wilkins (PGW), que fica próxima a BM e da IAI, e Plataforma de Gelo Abbott (PGA) (Figura 13). No ano 2008, houve registro de colapso e desprendimento de gelo oceânico da PGW no verão, processo que é característico devido a processos sazonais, e durante o inverno, período que o processo dominante é a formação de gelo indicando que umas das causas para estes eventos possa ser elevação da temperatura oceânica (Braun & Humbert, 2009). Já a PGA não apresentou perdas anômalas de gelo marinho neste período (Pritchard et al., 2009).

Figura 13 - Localização dos perfis coletados nas proximidades da PGW e BM (CTD 40 de 21/02 à 12/08, CTD 44 de 01/03 à 23/08, CTD 47 de 01/06 à 16/09 e CTD 48 de 17/02 à 09/07) [Região I], e PGA (CTD 41 de 28/02 à 08/04 e CTD 43 de 26/02 à 15/03) [Região II].

Com os perfis aqui revelados, apresentamos a estrutura vertical oceânica entre o verão e inverno de 2008 das proximidades da PGW e nas proximidades da PGA entre o final do verão e metade de outono do mesmo ano destacando características que podem ter colaborado para manutenção dos processos que ocorreram neste período.

4.2.1 – Plataforma de Gelo Abbot

Dois CTDs foram em direção às proximidades da PGA, o primeiro, CTD 41, coletou dados entre dia 28 de Fevereiro e 08 de Abril (Figura 14-a). O segundo, CTD 43, realizou amostras entre os dias 26 de Fevereiro e 15 de Maio (Figura 14-b).

São observados nos dois conjuntos de perfis coletados um afundamento da termoclina, no final do verão. As temperaturas potencial são negativas da superfície até aproximadamente os 150 m no início do período e evoluem para profundidades de até 350 m no final do período amostrado. A salinidade possui valores próximos a 33 psu em uma camada próxima a superfície e sofre um aumento com a profundidade até atingirem 34.9 psu próximos aos 500 m. A densidade potencial tem uma apresentação estrutural semelhante dos perfis de salinidade com uma fina camada de valores mínimos na superfície (26.87), até aproximadamente 50 m e sofre aumento com a profundidade até 27.95 nos 500 m de profundidade. Um segundo mínimo de salinidade e densidade potencial (33.87 psu e 27.21) são observados entre os dias 08 e 12 de Março próximo aos 125 m e um segundo máximo nos valores de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial (0.10° C, 34.44 psu e 27.75) próximo aos 200 m entre os dias 04 e 06 de Março nos perfis do CTD 43.

a)

b)

Figura 14 - Perfis verticais de temperatura potencial, salinidade densidade potencial. (a) CTD 41 durante o verão e outono. (b) CTD 43 durante o verão.

4.2.2 – Plataforma de Gelo Wilkins, Baía Marguerite e Região adjacente a Ilha Alexander I e Charcot

Houve um grupo de EMS que rumou até as proximidades das IAI, ICh e Adelaide (IAd) e conseqüentemente nas proximidades da PGW e da BM. Estes CTDs são identificados como CTD 40, 44, 47 e 48 (Figura 13).

O CTD 40 permaneceu predominantemente próximo a PGW entre o dia 21 de Fevereiro e 12 de Agosto. Foi observado um resfriamento da camada superficial (Figura 15-a) com temperatura potencial entre 0° e -0.78° C na camada até 50 m até o início do outono e segue resfriando até atingir temperaturas próximas ao ponto de congelamento da água do mar em superfície. Na camada entre 50 e 200 m, há no final do verão um núcleo mais frio com temperatura mínima de -1.31° C próximo aos 100 m, este núcleo no restante do período amostrado se funde com águas superficiais (mais frias) e converte-se em uma camada uniforme, com temperaturas em superfície próximas ao ponto de congelamento da água do mar e que vai elevando-se, em praticamente todo período, de acordo com o aumento da profundidade até atingir valores 1.42° C próximo aos 500 m de profundidade. Uma feição que se destaca é o afundamento da termoclina entre o final de Abril e final de Maio. A isolinha de temperatura potencial de 0° C, que se encontrava em profundidades menores que 200 m, passa a profundidade de 350 m, isso se deve a permanência do CTD40 em regiões bem próximas da PGW durante esse período.

O CTD 44 realizou coletas entre o dia 1º de Março e 23 de Setembro na região analisada nesta seção. Ele inicialmente entra na BM e coleta dados em seu interior durante um mês, a partir do início de Abril migra para norte da IAI onde permanece até o final de Setembro (Figura 15-b).

No interior da BM os perfis revelam uma camada com temperaturas potencial positivas até aproximadamente 70 m cobrindo uma camada de temperaturas potencial negativas que se estende até próximo aos 220 m e núcleo (-0.91°C) próximo aos 130 m e que vai aquecendo no restante do perfil até atingir temperatura potencial de 0.90°C próximo dos 500 m. Os perfis de salinidade e temperatura potencial no interior da BM possuem valores mínimos em superfície (36.38 psu e 26.65) que aumentam com a profundidade até atingirem valores de 34.63 psu para a salinidade e 27.73 para a densidade potencial. Já, ao norte da IAI observamos em superfície um resfriamento gradual da temperatura, do início de Abril (-0.05°C) até 23 de Agosto quando observamos valores de -1.72°C . Para profundidades maiores há uma elevação da temperatura com a profundidade até atingirem valores próximos a 1°C aos 500 m no início do outono e 1.43°C no final do mês de Agosto. Outro detalhe notado é a elevação da isolinha de 0°C , que se move de uma profundidade média de 230 m para 110 m no final do período. Os perfis de salinidade e densidade potencial revelam mínimos (32.82 psu e 26.39) em superfície que sofrem aumento até os 500 m de profundidade chegando 34.59 psu para a salinidade e 27.71 para densidade potencial até o final de Abril. No restante do período de coletas, todas as camadas sofreram aumento de seus valores, com a salinidade e densidade potencial em superfície atingindo valores de 33.97 psu e 27.38 e na profundidade de 500 m atingindo 34.72 psu e 27.79, respectivamente.

O CTD 47 permaneceu durante todo período a oeste da região de estudo durante o dia 1º de Junho até o dia 16 de Setembro e coletou o perfil mais uniforme entre os coletados nesta região. Em superfície, devido ao resfriamento sazonal as temperaturas ficaram entre próximas ao ponto de congelamento (Figura 15-c), variando entre -1.75°C e -1.82°C em, a isolinha de 0°C se eleva dos 150 m para 100 m e em profundidades maiores as temperaturas potencial são mais uniformes ficando próximas de 1.33°C , com a presença de dois núcleos mais quentes (1.80°C e 1.45°C) observados na metade de Julho e início do mês de Setembro entre as profundidades de 200 e 400m. Dos perfis de salinidade e densidade potencial são observados aumentos de seus valores na camada que vai da superfície até 110m, indo de 33.62 até 34.06 psu para a salinidade e de 27.06 até 27.43 para a densidade potencial. Entre 110 e 500 m o perfil de salinidade e densidade potencial tem aumento com a profundidade até atingir valores próximos a 34.78 psu e 27.85.

Após sua instrumentação na IE e migração a oeste da PA o CTD48 permaneceu a oeste da IC entre os dias 21 de Fevereiro e 03 de Julho. Final do verão observou em superfície temperaturas potencial negativas em todo o período amostrados até os 200 m de profundidade (Figura 15-d) com um núcleo mais frio (-1.33°C) próximo aos 150 m e uma elevação da temperatura (1.21°C) no restante da camada. No final do Outono as temperaturas próximas a superfície encontravam-se próximas ao ponto de congelamento e tinham aumento com a profundidade até atingirem 1.64°C . A isolinha de 0°C evoluiu de aproximadamente 200 m para 150 m. Os perfis de salinidade e densidade potencial demonstram uma grande variação na camada até 200 m e sofrem um aumento até profundidades próximas dos 500 m. Até os 200 m de profundidade a salinidade varia entre 33.94 até 34.54 psu e a

densidade potencial de 26.60 até 27.2, ambas variáveis aumentam com a profundidade atingindo 34.79 psu para a salinidade e 27.86 para densidade potencial.

a)

b)

c)

d)

Figura 15 - Perfis verticais de temperatura potencial, salinidade densidade potencial. (a) CTD 40 (b) CTD 44 e (d) CTD 48 durante o verão, outono e inverno. (c) CTD 47 durante outono e inverno

As Figuras 14 e 15 mostram os perfis verticais de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial para as duas regiões desse estudo. Nos perfis de temperatura podemos observar o resfriamento de mais que 3 °C entre o final do verão e meados do inverno de 2008 para águas de superfície que atingem profundidades entre 50 e 100 m. No verão, as águas superficiais possuem temperaturas de até 1,4° C chegando até -1,8 °C no inverno. Outra feição que se destaca é a inversão da termoclina, presente em ambas as regiões entre o início da amostragem e o final. A temperatura é a variável que possui maior alteração, isto se deve a processos sazonais como derretimento do gelo marinho e consequentemente contato e mistura gerada por exposição superficial ao vento. Em profundidade maiores que 200 m ocorre um aumento de cerca 1,5 °C na coluna d'água que pode

estar associado principalmente a inclusão da UCDW durante o inverno em ambas regiões. A inclusão de UCDW na plataforma continental é um elemento crítico nos balanços de sal e calor (Smith e Klinck, 2002).

Os perfis de salinidade sofrem um aumento (32,3 a 34 psu) em seus valores do final do verão que se estende até o inverno na camada de até 200 m. Segundo Charrassin, et al. (2008) isso se deve principalmente a liberação de sal causada pela formação do gelo marinho. O processo pode ser inferido também pelos dados dos perfis de densidade potencial, que variou sazonalmente entre 26 até 27,4. As menores salinidades no período de verão (33,2 psu) são consequência principal do derretimento de gelo que ocorre, reduzindo também os valores de densidade potencial (26,1) nesta camada. No inverno, acompanhado as variações dos perfis de salinidade (33,5 a 34 psu), as densidades sofrem um aumento de 27 a 27,5.

Na camada que se estende entre 200 a 500 m, as maiores variações nos perfis de salinidade e densidade são observadas na região I (34 até 35 psu) e (27,4 até 27,8), respectivamente. Na região II, as variações dos perfis são bem menos pronunciadas, porém com uma sazonalidade bem marcada. Estes valores encontrados para salinidade e densidade se assemelham aos encontrados por Jacobs & Comiso (1997).

Os diagramas Θ -S (Figuras 16 e 17) foram construídos com dados coletados entre fevereiro e setembro de 2008 pelos diversos animais e mostram valores de temperatura potencial entre -1,8 °C e 1,9 °C e salinidades entre 32,95 e 34,9 psu para região I e entre -1,9 °C e 2,1 °C e 32,35 e 34,8 para a região II (Figura 9). Eles destacam diferenças do comportamento das massas de água durante o período amostrado. Destas faixas de valores identificamos a Água Superficial Antártica

(AASW) com temperaturas entre $-1,5^{\circ}\text{C}$ e -1°C e salinidades entre 33 e $33,7$ psu. O grande espalhamento dos dados no diagrama e a evolução de acordo com a variação sazonal refletem a influência do derretimento do gelo marinho ocorrido no verão e posterior resfriamento e congelamento que ocorre no outono/inverno.

Temperaturas mínimas entre $-1,6^{\circ}\text{C}$ e $-1,8^{\circ}\text{C}$ para salinidades de $34,1$ psu são associadas com a Água de Inverno (WW), remanescente do inverno anterior que sofre mistura devido à exposição da camada superficial a forçantes mecânicos. Essa sofre posterior afundamento, dando lugar a AASW.

Águas com temperaturas de 1 a 2°C e salinidades entre $34,6$ e $34,74$ psu representam a Água Circumpolar de Fundo (CDW). Essa é composta de duas variedades: Água Circumpolar Profunda Superior (UCDW) e Água Circumpolar Profunda Inferior (LCDW) (Klink et al., 2004). Nesse trabalho identificamos a UCDW, que é caracterizada por um máximo de temperatura para uma densidade potencial de $27,72$. Uma massa d'água que é intermediária entre a AASW e CDW, caracterizada por temperaturas entre 1°C e $-1,6^{\circ}\text{C}$ e salinidades entre $34,3$ e $34,6$ psu também foi encontrada em nosso estudo. Essa água se forma da massa água mais fria e menos salina que é referida como CDW modificada (MCDW) (Klinck et al., 2004, Smith et al., 1999, Smith & Klinck, 2002).

Os valores de temperatura entre 0°C e $1,5^{\circ}\text{C}$ para salinidades menores que 34 são referentes a águas de origem no derretimento de gelo marinho que ocorre durante o verão que podem ser notadas tanto na região I como na região II.

Figura 16 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelos CTDs 41 e 43. As cores indicam estações verão (vermelho), outono (verde) na PGA.

Figura 17 - Diagrama Θ -S gerados a partir dos dados coletados pelos CTDs 40, 44, 47 e 48. As cores indicam estações verão (vermelho), outono (verde) e inverno (azul) na região próxima a PGW.

4.3 – Mar da Escócia

Nesta seção são apresentados transectos gerados a partir dos perfis coletados durante as travessias realizadas por sete fêmeas de EMS através do ME. Estes são coletados principalmente durante a primavera, mas as coletas, em alguns casos, iniciam-se no final do inverno. Os perfis são referentes a a camada que vai da superfície até 800m e são obtidos através de diferentes rotas partindo do Norte da PA em direção as IGS (Figura 18), quando as fêmeas migram para o acasalamento nesta região.

Figura 18 - Localização dos perfis coletados durante as travessias dos EMS no Mar da Escócia. Indica as trajetórias durante as travessias partindo do norte da Península Antártica em direção as Ilhas Georgia do Sul (entre 26/08 e 15/10).

Foram divididas as trajetórias em três grupos, de acordo com o início e duração das coletas: (i) formado pelos CTDs 40 e 42 com início das coletas no final

do mês de Agosto e duração de 29 e 25 dias, respectivamente, (ii) composto pelos CTDs 43, 44, 45 e 47 com início da amostragem entre metade de Setembro e início de outubro e duração média de coleta de 16 dias e (iii) composto pelo CTD 49 que demorou 37 dias para realizar a travessia, pois foi inicialmente em direção as Ilhas Orkney do Sul para depois migrar em direção as Ilhas Geórgia e Sanduiche do Sul.

Grupo (i)

Dos transectos gerados pelos CTDs 40 e 42 representantes do grupo (i), perfis de temperatura potencial apresentam valores negativos nos primeiros da coluna até próximo a latitude 56°S (

Figura 19), estes valores negativos no início dos trajetos se estendem por toda a coluna até as proximidades da latitude 60°S, quando invertem o sinal no restante da coluna, refletindo a propagação de águas mais frias de origem da plataforma da PA e do MW para norte e influência do regime atmosférico. Os Valores mínimos de temperatura potencial observados em superfície estão próximos a -1.53°C e sofrem aumento com a profundidade até atingir o 0° C próximo dos 500 m de profundidade até a faixa da latitude 59° 30' S quando passam a valores positivos até atingir a temperatura de 2.13°C próximos a latitude 56°S.

Os perfis de salinidade densidade potencial coletados pelos CTDs 40 e 42 sofrem um decréscimo nos valores de salinidade na camada de 0-100 m em direção ao norte (34.64 – 33.76 psu) e um aumento com a profundidade até 34.92 psu na profundidade de 700 m próximo a latitude 58°S. A densidade potencial também sofre um decréscimo (27.91 – 27.39) em direção ao norte na camada que vai até os 100m nas proximidades da região norte da PA e um afundamento (até ~ 300 m) próximo a IGS. O restante da camada possui valores uniformes entre 27.76 e 27.86.

a)

b)

**Figura 19 – Transectos gerados através do ME pelo grupo I. CTD 40 (a) e CTD 42 (b).
Grupo (ii)**

Do grupo dois, referentes aos CTDs 43, 44, 45 e 47 são apresentados os perfis dos CTDs 43 e 45 de a fim de descrever características hidrográficas desta região (Figura 20). Os perfis apresentam grande variação na temperatura potencial, sendo as maiores observadas no transecto coletado pelo CTD 43 no início do período, isto se deve principalmente a mistura de massas de água ao atravessar nas proximidades da EES e a exposição superficial.

As temperaturas potencial possuem valores entre -1.32° e 2.29° C, sendo os menores valores observados em superfície. Os perfis de salinidade e densidade potencial são uniformes, porém, seus valores também possuem grandes variações, ficando entre 33.74 e 34.91 psu para a salinidade e entre 27.11 e 27.97 para a densidade potencial.

a)

b)

Figura 20 - Transectos gerados através do ME pelo grupo II. CTD 43 (a) e CTD 45 (b).

Grupo (iii)

O CTD 49 partiu da região próxima a IE no dia 26 de Agosto e seguiu em direção a Ilha Georgia do Sul, aonde chegou dia 01 de Outubro. Do perfil gerado pelos dados coletados por este EMS observamos um aumento da temperatura próximo a superfície que varia do ponto de congelamento na porção sul da região até atingir 0.31°C nas proximidades da IGS (Figura 21). Temperaturas potencial negativas são observadas em toda coluna na porção inicial do percurso e sofrem elevação conforme o EMS ruma para norte, atingindo máximos de 1.95°C . Os perfis de salinidade e densidade potencial na camada até 150 m tem uma diminuição de

seus valores conforme avança para o norte, iniciando com salinidades de 34.65 psu até atingirem valores de 34.13 psu e densidade potencial inicial de 27.88 próximo a IE até atingir 27.39 próximo a IGS. Para profundidades maiores (~700 m) próximo a latitude 56°S são observados os máximos valores para salinidade e densidade potencial (35.04 psu e 28.06).

Figura 21 - Transectos gerados através do ME pelo grupo III. CTD 49.

Dentre as principais características dos perfis coletados através do ME, se destaca o aumento da temperatura na camada até ~200 m na direção norte, iniciando-se nas proximidades da IE até atingir a IGS. A densidade potencial e a salinidade têm um sinal inverso na mesma coluna, com exceção do perfil coletado pelo CTD 42 (Figura 19 – b) que revela uma região com uma camada instável próxima a superfície (~200 m), no início do transecto até aproximadamente a latitude -59°30' que ocorre devido à mistura de águas de diferentes origens, parte do EB e

parte da PD. O transecto coletado pelo CTD 45 (Figura 20-b), por ter iniciado sua amostragem mais a norte que o restante dos EMS, seguindo pela região noroeste da EES apresenta uma uniformidade nos perfis coletados sendo representativo da CCA nesta região e não mostrando ação de massa águas advectadas do EB e do MW.

De forma geral, as seções de salinidade se assemelham às apresentadas por Carter et al. (2008) utilizando perfis retirados do *WOCE Southern Ocean Atlas* no setor Atlântico do OA.

4.4 – Estreito de Bransfield e Oeste da Península Antártica

Esta seção é dedicada à apresentação de características hidrográficas na região Oeste da PA incluindo o EB. As medições se dão em períodos e locais diferenciados. Inicialmente são descritas características de perfis verticais coletados durante a migração de cinco EMS. Um partiu IE até sudoeste da Ilha Anverse (IA) (CTD44), três que partiram da IE em direção às proximidades da BM (CTDs 40, 47 e 48) e um que estendeu seu trajeto até as proximidades da PGA (CTD 43). Destes cinco, um realizou a migração por fora do EB (CTD 47) (Figura 22).

Localização dos perfis coletados dos perfis coletados no estreito de Bransfield e oeste da Península Antártica

Figura 22 - Localização dos perfis coletados durante movimentação dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da PA e EB durante o verão e inverno de 2008. Cada cor representa um EMS.

Após são apresentados três perfis verticais na trajetória inversa (CTDs 40, 44 e 47) coletada no final do inverno e início da primavera, sendo que um deles realizou o trajeto pela parte externa do EB (CTD 47). Então são realizadas comparações entre os perfis destacando diferenças entre a estrutura vertical oceânica e massas d'água presentes nesta região durante o verão, inverno e início da primavera do ano de 2008 e diferenças entre a porção interna e externa do EB durante os dois períodos.

Por último, utilizando dados que foram coletados por um EMS (CTD 49) que permaneceu na região do EB entre os meses de Fevereiro e Agosto de 2008, apresentamos as massas d'água na região e comparamos suas características durante o verão, outono e inverno.

4.4.1 – Transectos Oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield

Após a instrumentação do EMS na IE, durante o mês de Fevereiro de 2008, houve um grupo que se deslocou através da porção oeste da PA, sendo quatro através do EB e um por fora do EB, em direção a região próxima a entrada da BM, destes, um seguiu mais a sul até próximo a PGA.

A partir da metade do inverno, três EMS, realizaram o percurso inverso, rumando em direção à região norte da PA. Dois realizaram mergulhos através do EB e um pela parte externa deste, sendo este último o mesmo a realizado a trajetória pela parte externa do estreito durante o verão.

Dos deslocamentos acima descritos, apresentamos diagramas Θ -S e a estrutura vertical oceânica superior (500 m) e são realizadas comparações entre suas características durante os meses de Fevereiro (verão) e Agosto (inverno) de 2008. Estas comparações são realizadas entre os perfis através do EB em estações diferentes (Figura 23) e entre os perfis externos (Figura 24) ao EB no mesmo período.

Durante o verão observamos uma grande variedade de massas de água. Porém algumas só estão presentes em determinadas regiões. Águas oceânicas do EB, com baixas temperaturas e relativamente altas salinidades são observadas nos diagramas através do estreito durante o inverno e verão, porém, não são observadas nos diagramas através da parte externa do EB. Outra diferença está na presença de águas com relativas altas temperaturas e baixas salinidades geradas a partir da mistura de água de derretimento de gelo marinho durante o verão que é inexistente durante invernos. Os diagramas apresentam as variações de águas de

plataforma (ISW, SW, LSSW e HSSW) somente durante o inverno. Massas de água com grande número de amostragem durante o verão e inverno são as WW, AASW e a CDW com suas variantes (UCDW e LCDW).

4.4.1.1 – Verão

O CTD 40 partindo da região próxima a IE no dia 10 de Fevereiro levou 11 dias para alcançar a região adjacente a BM. No dia 14 de Fevereiro terminou a travessia do EB onde encontrou uma estrutura vertical oceânica com temperaturas nos primeiros 20 metros entre 0.7° e 1.1°C, no restante da coluna nesta região possui uma estrutura uniforme com temperaturas entre -0.1°C próximo aos 100 m e atinge -1.1°C próximo aos 500 m de profundidade (Figura 25-a). No restante do trajeto, as temperaturas nos primeiros 50 m da coluna estavam entre 0.85° e 1.1°C. Entre 50 e 130 m há um núcleo relativamente mais frio com valores entre -1.5° e 0°C. O restante da coluna, região de plataforma possui valores entre 0° e 1.4°C. Os perfis de salinidade nos primeiros 100 m apresentaram valores entre 34.2 e 34.3 psu e entre 34.3 e 34.6 psu para o restante da coluna no EB. No restante do percurso até a região da BM as salinidades nos primeiros 100 m estiveram na faixa de 33.8 e 34 psu, enquanto para a camada entre 100 e 500m as salinidades estiveram entre 34.1 até 34.72 psu sobre a plataforma. A densidade potencial nos primeiros 100 m apresentou valores entre 27.43 e 27.46 psu e entre 27.5 e 27.77 para o restante da coluna no EB. No restante do percurso os valores variaram entre 27.08 e 27.3 nos primeiros 100 m da coluna e entre 27.6 e 27.8 na camada entre 100 e 500 m.

Figura 23 - Diagrama θ -S gerado a partir dos dados coletados pelos CTDs 40, 43, 44 e 48 durante movimentação dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield durante o verão de 2008. Cada cor é referente a um conjunto de dados coletado durante a movimentação (a). Mesma descrição anterior, porém, com dados coletados durante o inverno de 2008 (b).

Figura 24 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelo CTD 47 durante movimentação através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica a oeste do Estreito de Bransfield. Cores indicam movimentação durante o verão (vermelho) e inverno (azul).

O CTD 43 partiu da IE no dia 10 de Fevereiro, concluiu a travessia do EB no dia 15 de Fevereiro, cruzou a região próxima a BM no dia 20 de Fevereiro e chegou próxima a PGA no dia 27 de Fevereiro. Os perfis de temperatura potencial através do EB tiveram valores entre 0.1° e 1.56°C para profundidades até 50m (Figura 25-b). Entre 50 e 500m os valores estiveram entre -0.1° e -1.1°C . Na região entre o EB e BM em superfície (até 50 m) os valores estiveram entre 1.1° e 1.6°C , na camada entre 50 e 150 m, foi observado um núcleo frio com valores entre -1.5° e 0°C . Para o restante da coluna os valores de temperatura potencial encontrados estiveram entre 0° e 1.66°C . No percurso entre BM e PGA foram encontrados valores de temperatura potencial para os primeiros 50 m de 0.87°C próximo a BM e foram

reduzindo até aproximadamente -1.58°C nas proximidades da PGA. Os valores de salinidades variaram para os 50m iniciais da coluna de 34.45 psu através do EB, reduzindo para 33.90 psu até a região da BM e atingindo 33.73 psu próximo a PGA. Para o restante da camada os valores de salinidade variaram de 34.6 na região do EB até 34.9 psu na região da PGA. No caso da densidade potencial, para a camada até 50 m foram encontrado valores máximos (27.64) no EB, um núcleo com valores entre 27.15 e 27.31 entre EB e BM e uma redução até 27.01 no percurso até a PGA. Na camada entre 50 e 500m os valores observados se assemelham em todo o percurso iniciando com valores de 27.69 no EB e reduzindo até 27.53 próximo a PGA na profundidade de aproximadamente a 100m, no restante da coluna os valores são ainda mais uniformes com valores entre 27.8 no início do trajeto e 27.84 no final.

O CTD 44 coletou dados partindo da IE no dia 16 de Fevereiro partindo para sul até sudoeste da IA, aonde chegou no dia 22 de Fevereiro. Os perfis de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial gerados a partir destes dados (Figura 25-c) têm sua distribuição de valores bem semelhantes aos encontrados pelos CTDs 40 e 43 até atingirem esta região.

O CTD 48 inicia sua amostragem no mesmo dia do CTD 43, 10 de Fevereiro, e quase reproduz valores e trajeto percorridos, a não ser pelo detalhe que ao se aproximar da BM, rumo mais próximo a costa e conclui seu deslocamento próximo a PGW. A temperatura potencial nesta região possui valores relativamente baixos próximos a superfície variando de 0.35°C próximo a entrada da BM e -0.4°C nas proximidades da PGW (Figura 25-d). Na camada entre 50 e 150 m, é observado

um núcleo mais frio com valores próximos a $-0,8^{\circ}\text{C}$. No restante da camada há um aumento de temperatura, causado pela inclusão sobre a plataforma de UCDW, atingindo valores de $1,33^{\circ}\text{C}$ próximo aos 400 m de profundidade. Nos perfis de salinidade e densidade potencial sua estrutura é bem semelhante. Para os 100 m iniciais da coluna na região do EB as salinidades estão entre 34.29 e 34.4 psu e a densidade potencial está na faixa de 27.51 e 27.56. Para profundidades maiores encontramos a salinidade e densidade potencial nas faixas de 34.46 a 34.59 psu e 27.63 e 27.83, respectivamente. O restante do percurso até a PGW é marcado por uma estrutura semelhante com valores mínimos em superfície, 33.63 psu e 26.7 para densidade potencial, para a profundidade de 100 m os valores aumentam para 34.26 psu e 27.21 para densidade. Para profundidades até 500 m, observamos um aumento nos valores destas propriedades, salinidades variando de 34.4 a 34.78 psu e densidades potencial variando de 27.55 a 27.86.

O último dos transectos coletados durante o verão de 2008 na região oeste da PA é o do CTD 47, ele parte da IE no dia 15 de Fevereiro e atinge a região próxima a entrada da BM no dia 24 do mesmo mês. Porém, este EMS ao invés de migrar através do EB, realiza seu percurso pela porção externa, seguindo sobre a plataforma na região paralela ao estreito e seguindo pela quebra de plataforma no restante do percurso. As propriedades termohalinas coletadas por este EMS são distintas das outras coletadas pelos outros EMS (Figura 25-e). Na região paralela ao EB, em superfície os valores de temperatura potencial ficaram na faixa de $0,9^{\circ}$ a $1,1^{\circ}\text{C}$, em 100m entre $0,2^{\circ}$ e $0,4^{\circ}\text{C}$. No restante da coluna há uma variação entre $0,4^{\circ}$ e $-0,46^{\circ}\text{C}$ indicando inclusão de massa de água de Bransfield na porção externa do estreito. No restante do trajeto observamos valores de temperatura potencial em

superfície (até 30m) entre 0.39° e 2.01°C , com um núcleo mais frio entre 50 e 100m com valores entre -0.26° e -1.48°C . São observados maiores temperaturas no restante da coluna, os valores observados estão entre 0.89° e 1.94°C , sendo este último presente em um núcleo quente entre 300 e 350 m. Dos perfis de salinidade, notamos uma redução nos seus valores da camada de 0 - 100m, iniciando com valores de 34.36 psu, na porção oeste do EB e reduzindo até 33.74 psu nas proximidades da BM. Para profundidades maiores que 100m os valores de salinidades aumentam em direção ao sul variando de 34.53 psu próximo a IE atingindo valores 34.76 psu na porção final do transecto. Estrutura bem semelhante é observada nos perfis de densidade potencial, redução de 27.42 para 27.02 para a camada de 100 m. Entre 100 e 500m os valores variam de 27.61 no início do transecto até 27.82, próximo a entrada da BM.

a)

b)

c)

d)

e)

Figura 25 - Transectos de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados no verão de 2008 durante movimentação dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield (a), (b), (c), (d) e oeste do Estreito de Bransfield (e).

4.4.1.2 – Inverno

Entre o final do inverno e início da primavera de 2008 a plataforma continental a oeste da PA possuía uma alta concentração de gelo oceânico formado durante o outono/inverno deste ano (Apêndice I). Esta cobertura de gelo marinho é uma das principais responsáveis por alterações na estrutura vertical oceânica nesta região.

Dos deslocamentos de 03 (três) EMS na região oeste da PA e através e fora do EB são apresentados a estrutura vertical oceânica e as massas de água que estão presentes no final do inverno e início da primavera.

O CTD 40 partiu da região próxima a estrada da BM dia 13 de Agosto e atingiu a latitude da IE no dia 30 Agosto (Figura 26-a). Durante seu trajeto amostrou valores de temperatura potencial na camada que vai da superfície até aproximadamente 80m que variaram de -1.78°C nas proximidades da BM até -1.22°C através do EB, passando por um núcleo relativamente mais quente (-0.89°C) ao ter se aproximado da IA. Para a camada entre 80 e 500m ocorre um aumento nos valores da temperatura potencial conforme aumenta a profundidade na região da plataforma oeste PA. Este aumento de -0.13°C até 1.34°C , havendo um núcleo de até 1.43°C próximo a profundidade de 300m. Através do EB observamos valores negativos em toda coluna, característicos do estreito, estes valores variam de -1.40°C até -1.45°C . Dos perfis de salinidade da superfície até 100 m observamos valores de salinidade na faixa de 34.04 a 34.2 psu no trecho entre BM até entrada do EB, para profundidades maiores ($>500\text{m}$) a salinidade passa de 34.53 até 34.73 psu. Na região do EB a coluna que vai da superfície até 150m é bem uniforme com

valores de salinidade entre 34.28 e 34.44 psu. No restante da camada os valores variam entre 34.5 e 34.64 psu, com presença de um núcleo relativamente mais salino próximo a IE com valores de 34.74 psu. A partir dos perfis de densidade potencial podemos dividir a região amostrada em quatro partes, duas superficiais (0-100m), sendo elas região entre MB e EB e através do EB, duas profundas com mesmo domínio horizontal. Entre BM e EB a densidade potencial na camada superior teve valores entre 27.32 e 27.49, na camada inferior os valores observados de 27.53 até 27.8. No EB a camada superficial tem uma variação 27.35 até 27.68, na camada inferior os valores da densidade potencial variaram de 27.59 a 27.77.

O CTD 44 partiu das proximidades da BM no dia 17 de Agosto e atingiu a latitude próxima a IE no dia 12 de Setembro (Figura 26-b). Neste trajeto coletou dado de temperatura potencial sobre a plataforma continental oeste da PA com valores nos primeiros 100m que estiveram na faixa entre -1.27° e -1.71°C , para o restante da coluna os valores de temperatura potencial ficaram na faixa de 0.33° até 1.4°C próximo aos 500m. Foi também observado um núcleo relativamente mais quente com valores próximos a 1.67°C na profundidade de 275 m. Para a porção interna do EB os valores de temperatura potencial são todos negativos, atingindo -1.67°C próximo a superfície e aumentando até -0.39°C na profundidade de 500 m. Dos perfis de salinidade, os valores mínimos são observados próximos a entrada da BM com valores nos 100 m superficiais na faixa de 33.95 até 34.13 psu próximo a entrada do EB. No restante da coluna, ocorre um aumento na salinidade até atingir 34.74 psu na profundidade de 500m. Na região do EB, são observados valores relativamente mais salinos nos 100 m superficiais (34.23 a 34.39 psu) e no restante da coluna ocorre um aumento com a profundidade atingindo até 34.54 psu. A

densidade potencial neste trajeto possui uma distribuição bem semelhante à observada no transecto do CTD40. Valores dos 100m superficiais até atingir o EB ficaram na faixa de 27.32 até 27.44, no EB estes valores de densidade potencial ficaram na faixa 27.54 até 27.63. Em todo o percurso a densidade potencial tem um aumento esperado com a profundidade, na porção inicial do percurso, próximo aos 100m de profundidade os valores observados são em sua maioria de 27.51, aumentando para até 27.80 próximo aos 500m, já no EB os valores vão de 27.63 próximo aos 100m atingindo 27.75 próximo aos 500m.

O CTD 47 iniciou o percurso em direção a IE aonde chegou dia 29 de Setembro, partindo da região a oeste da Ilha Adelaide no dia 18 de Setembro, ele percorreu a plataforma continental até próximo a IA quando partiu em mar aberto pela região de talude. Neste trajeto ele encontrou uma camada superficial uniforme com temperatura potencial no início do percurso próxima ao ponto de congelamento (-1.82°C) e observou um aumento em direção a norte até atingir -1.19°C próximo a IE (Figura 26-c). Em profundidades maiores que 100 m há um aumento gradual da temperatura potencial atingindo valores positivos que chegam até 1.71°C próximo a 500 m de profundidade. Nota-se núcleos quentes e frios a oeste do EB, estes núcleos quentes atingem temperaturas de até 1.89°C em profundidades de próximas a 300m e 200m, e os frios (-0.27°C) tem seus núcleos próximos a 350m de profundidade, indicando mistura entre águas do EB e da CCA. Nos perfis de salinidade são observados valores na camada até 100 m que variam de 34.01 até 34.22 psu com um núcleo relativamente menos salino (33.92 psu) a oeste da Ilha Snow em superfície. O restante da coluna é composto por água com salinidades entre 34.3 e 34.77 psu na região entre BM e as proximidades do EB quando ocorre

uma redução de seus valores comparados com a porção sul do trajeto. Observa-se dois núcleos relativamente mais salinos (34.56 psu) na profundidade próxima a 200m e 34.74 psu na profundidade próxima a 400m a oeste da IRG. A densidade potencial apresenta um aumento com a profundidade, valores entre 27.3 e 27.51 são observados nos 100m iniciais e sofrem aumento até 27.86 próximo a 500 m no início do percurso e 27.79 nas proximidades a IE.

a)

b)

c)

Figura 26 - Transectos de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial coletados no final do inverno e início da primavera de 2008 durante as movimentações dos EMS através da região de quebra de plataforma continental oeste da Península Antártica e Estreito de Bransfield (a), (b) e oeste do Estreito de Bransfield (c).

4.4.2 – Perfis e Massas de Água do Estreito de Bransfield

Figura 27 - Localização dos perfis coletados pelo CTD 49 no Estreito de Bransfield no período de 07/02 à 17/08/2008.

Aproveitando o fato do CTD 49 se manter no interior do EB (Figura 27) desde o início da sua coleta (07/02/2008) até aproximadamente metade do inverno apresentamos a variação vertical termohalina durante este período destacando suas principais características. Este EMS migra inicialmente em direção a região noroeste IT e ali permanece até 14 de Março quando retorna para as proximidades das Ilhas Rei George e Livingston, onde permanece até 17 de Agosto.

Até o final de Maio na camada até 100 m as temperaturas potencial observadas são relativamente mais altas e sofrem uma diminuição até metade do

inverno (Figura 28). Próximo a superfície, observamos um máximo (1.42°C) na região próxima a IT. Nesta região a temperatura potencial do restante da camada são maiores que nas outras regiões em que esteve o EMS variando entre 0.05°C e 0.85°C , após o CDT 49 migra para a região próxima a IRG, neste trajeto observa uma região relativamente mais fria com valores na camada de 75 e 500 m entre -0.1°C e 0.4°C . Até o dia 20 de Abril ele permanece a leste da IRG e depois rumo para leste da IL onde permanece até o final das coletas. É observada a presença de uma camada até 125 m mais quente com temperaturas potencial entre 0.12°C e 0.9°C , no restante da camada ocorre um resfriamento até atingir -0.72°C próximo aos 500 m até o final de Maio. Após é observado um resfriamento de toda a coluna com temperaturas potencial próximo ao ponto de congelamento em superfície e na faixa entre -0.4°C e -0.98°C na camada entre 50 e 500m. Da análise dos perfis de salinidade e densidade potencial observamos uma camada predominantemente estável, com menores valores em superfície e um aumento com a profundidade. Na camada até 75 m são observados valores mínimos de salinidade e densidade potencial (34.17 psu e 27.17) até o dia 10 de Abril, após este período ocorre um aumento destes valores com a profundidade até atingir a salinidade de 34.72 psu e densidade de 27.85 aos 500 m. Após ocorre um ligeiro aumento nestes valores (34.32 psu e 27.55) próximo a superfície e posteriormente um afundamento da camada com valores mínimos (34.24 psu e 27.50) até aproximadamente 150 m com o restante da camada aumentando valores com a profundidade até atingir valores de 34.66 psu e 27.87 para salinidade e densidade potencial até o final do mês de Junho. No restante do período são observados na camada que se estende até os 200 m valores de salinidade e densidade potencial nas faixas de 34.34 a 34.51 psu e

27.64 a 27.76, respectivamente. Na camada entre 200 e 500 m ocorre muita variação dos valores de salinidade densidade potencial (34.42 – 34.72 psu e 27.70 - 27.89).

Figura 28 – Perfis Coletados pelo CTD 49 no interior do Estreito Bransfield.

Na Figura 29 observamos do diagrama Θ -S valores de temperatura potencial na faixa -1.89°C a 1.86°C e salinidades na faixa 34.01 a 34.79 psu. Representamos em diferentes cores os dados plotados referentes às diferentes estações do ano. Há um espalhamento muito grande nos valores amostrados indicando uma grande variedade de massas de água. Como nos resultados apresentados por Duarte (2006) a MWDW foi observada no EB. Os valores máximos de temperatura potencial são observados no verão e sofrem redução durante o outono e inverno. Baixas salinidades próximas a superfície estão relacionadas a derretimento de gelo marinho

durante o final do verão. Águas do EB, marcadas por temperaturas negativas e alta salinidade também são presentes no diagrama Θ -S gerado.

Figura 29 - Diagrama Θ -S gerado a partir dos dados coletados pelo CTD 49. As cores indicam estações verão (vermelho), outono (verde) e inverno (azul).

5 – Conclusão

Os objetivos propostos a fim de elucidar o comportamento da estrutura termohalina durante diferentes regiões e épocas do ano de 2008 nas proximidades da Península Antártica, mesmo sob cobertura de gelo marinho, foi alcançado utilizando o conjunto de dados aqui apresentados.

O presente trabalho apresentou uma descrição da estrutura vertical oceânica e massas de água em uma grande área próxima à Península Antártica através da análise oceanográfica clássica em diferentes períodos do ano de 2008. Foi utilizada uma nova tecnologia de coleta de dados que permite o monitoramento de regiões polares em épocas que convencionalmente são de difícil acesso.

Os dados utilizados fornecem resultados de qualidade que motivam sua utilização em uma escala espacial maior, por fornecer informações obtidas em tempo quase real, necessários à alimentação e validação de modelos oceânicos a um custo relativamente baixo.

A utilização destes dados através de informações como número de perfis coletados por dia, regiões preferenciais para forrageio, distância percorrida entre perfis e profundidade atingida nos mergulhos fornece resultados que vão além da oceanografia física, revelando padrões comportamentais e preferências ambientais das espécies utilizadas para obtenção destes dados.

É possível observar de forma inédita, características oceanográficas de regiões especialmente sensíveis a mudanças climáticas como plataformas de gelo marinho. Permitindo inferir causas de seus colapsos e retrações anômalas como a ocorrida com a Plataforma de Gelo Wilkins durante o inverno de 2008. Assim como,

tentar entender a ausência de mudanças nas concentrações e cobertura de gelo marinho próximo a Plataforma de gelo Abbott causada por uma termoclina mais profunda, nesta segunda, inibindo fluxo de calor oceânico direcionado a superfície.

São observadas grandes diferenças na estrutura vertical oceânica e na distribuição de massas de água na região de estudo causadas principalmente por sazonalidade climática. Alterações de características oceanográficas devido à topografia, cisalhamento e circulação são observadas no norte da Península Antártica e Mar da Escócia.

No verão austral o derretimento de gelo marinho é um dos grandes responsáveis por mudanças da composição de massas de água e o inverno causa predominantemente um aumento da salinidade em toda coluna superficial. Estes padrões de devem á aquecimento e resfriamento atmosférico sazonal causado por variações no total de energia incidente na região.

6 - Perspectivas Futuras

Como observado neste trabalho, podemos utilizar com segurança este tipo de dados para a representação da estrutura termohalina em regiões do OA durante praticamente todo o ano. Mas a aplicação destes dados pode ser expandida a uma série de análises hidrográficas e ao uso concomitante com dados obtidos de outras formas.

Dentre objetivos futuros, derivados da utilização destes dados, podemos citar: (i) Estimativas de conteúdo e fluxo de calor na camada superior oceânica; (ii) Utilização da equação de balanço de sal a fim de inferir o quanto de sal é liberado durante o processo de formação de gelo marinho; (iii) Determinar através do uso de ferramentas tradicionais a participação de cada massa de água; (iv) Determinar posição das frentes oceânicas através da ACC combinando com dados coletados de outras formas; (v) E avaliar resultados de modelos de oceânicos para região de estudo.

A carência de dados *in situ* dos oceanos polares dificultavam a compreensão de sistemas como o oceano-gelo-atmosfera, sensíveis a alterações climáticas. A utilização em larga escala dos dados coletados por animais marinhos fornece a oportunidade inédita de observarmos em tempo quase real áreas até então subamostradas nos auxiliando a melhor prever alterações, preservar estas áreas e prevenir contra impactos indesejáveis das mudanças climáticas.

7 – Referências Bibliográficas

- ARGOS: Argos User's Manual: Worldwide tracking and environmental monitoring by satellite. 2007, p. 58.
- BEARDSLEY, R. C., LIMEBURNER, R., OWENS, W. B. 2004. Drifter measurements of surface currents near Marguerite Bay on the western Antarctic Peninsula shelf during austral summer and fall, 2001 and 2002. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 51, p. 1947-1964.
- BIUW, M., BOEHME, L., GUINET, C., HINDELL, M., COSTA, D., CHARRASSIN, J. B., ROQUET, F., BAILLEUL, F., MEREDITH, M., THORPE, S., TREMBLAY, Y., MCDONALD, B., PARK, Y. H., RINTOUL, S. R., BINDOFF, N., GOEBEL, M., CROCKER, D., LOVELL, P., NICHOLSON, J., MONKS, F., FEDAK, M. 2007. Variations in behavior and condition of a Southern Ocean top predator in relation to in situ oceanographic conditions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 104, p. 13705-10.
- BRAUN, M., HUMBERT, A. 2009. Recent Retreat of Wilkins Ice Shelf Reveals New Insights in Ice Shelf Breakup Mechanisms. IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters, v. 2, p. 263-267.
- CARTER, L., MCCAVE, I. N., WILLIAMS, J. M. 2008. Circulation and Water Masses of the Southern Ocean: A Review. Developments in Earth and Environmental Sciences, v. 8, p. 85-114.

- CAVALIERI, D.J. & PARKINSON, C.L. 2008. Antarctic sea ice variability and trends, 1979-2006. *Journal of Geophysical Research*, 113, C07004, doi:10.1029/2007JC004564.
- CHARRASSIN, J.B., HINDELL, M., RINTOUL, S. R., ROQUET, F., SOKOLOV, S., BIUW, M., COSTA, D., BOHEME, L., LOVELL, P., COLEMAN, R., TIMMERMAN, R., MEIJERS, A., MEREDITH, M., PARK, Y.H., BAILLEUL, F., GOEBEL, M., TREMBLAY, Y., BOST, C.A., MCMAHON, C. R., FIELD, I. C., FEDAK, M. A., AND GUNET, C. , 2008. Southern Ocean Frontal Structure and Sea-Ice Formation Rates Revealed by Elephant Seals, *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 105, 11634–11639, doi:10.1073/pnas.0800790105. 1264, 1276.
- CHAPMAN.W.L. AND WALSH, J. E. 2007. A Synthesis of Antarctic Temperatures, *Journal of Climate*, v. 20, p. 4096-4117.
- CLOWES, A. J. 1934 Hydrology of the Bransfield Strait. *Discovery Reports*, v. 9, p. 1-64.
- COOK, A., FOX, A., VAUGHAN, D. and FERRIGNO, J. 2005, Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century, *Science*, 308, 541-544.
- COSTA, D. P., KLINCK, J. M., HOFMANN, E. E., DINNIMAN, M. S., BURNS, J. M. 2008. Upper ocean variability in west Antarctic Peninsula continental shelf waters as measured using instrumented seals. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v.55, p. 323-337.
- DINNIMAN, M.S., KLINCK, J.M. 2004. A model study of circulation and cross-shelf exchange on the west Antarctic Peninsula continental shelf. *Deep-Sea Research II*, this issue [doi:10.1016/j.dsr2.2004.07.030].

- DUARTE, V. S. 2006 Estrutura e variabilidade interanual das massas de água no Estreito de Bransfield (Antártica) durante os verões austrais de 2003 e 2004. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências . Porto Alegre-RS. 143p.
- FIELD, I., HINDELL, M., SLIP, D., MICHAEL, K. 2001. Foraging strategies of southern elephant seals (*Mirounga leonina*) in relation to frontal zones and water masses, *Antarctic Science*, v. 13, p. 371-379.
- FOFONOFF, P. AND MILLARD, R.C. JR. Unesco 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, 1983. Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci., No. 44, 53 pp. Eqn.(31) p.39
- FRANCO, B.C., MATA, M.M., PIOLA, A. & GARCIA, C.A.E. 2007. Northwestern Weddell Sea deep outflow into the Scotia Sea during the austral summers of 2000 and 2001 estimated by inverse methods. *Deep Sea Research I*, v. 54, p. 1815-1840.
- GILL, A. E. 1982. "Atmosphere-Ocean Dynamics". Academic Press: New York. p. 54. ISBN: 0-12-283522-0
- GILLE, S.T. 2002. Warming of the Southern Ocean since the 1950s, *Science*, 295(5558), 1275-1277, doi:10.1126/science.1065863.
- GORDON A. L. 1967. Structure of Antarctic waters between 20°W and 170°W, *Antarctic Map Folio Series*, Folio 6, V. C. Bushnell, Ed., Amer. Geogr. Soc., 10 pp.
- GORDON, A. L., GEORGI, D. T., TAYLOR, H. W. 1977. Antarctic polar front zone in the Western Scotia Sea-summer 1975. *Journal of Physical Oceanography*, v. 7, p. 309-328.

- GORDON, A. L. & NOWLIN JR., W. D. 1978. The Basin Waters of Bransfield Strait. *Journal of Physical Oceanography*, v. 8, p. 258-264.
- GORDON, A.L. & HUBER, B.A. 1984. Thermohaline stratification below the Southern Ocean sea ice. *Journal of Geophysical Research*, v. 89 (C1), p. 641-648.
- HEYWOOD, K.J., NAVEIRA GARABATO, A.C., STEVENS, D.P., MUENCH, R. D. 2004. On the fate of the Antarctic Slope Front and the origin of the Weddell Front. *Journal of Geophysical Research*, v. 109, p. 1-13.
- HEYWOOD, K.J., NAVEIRA GARABATO, A.C., STEVENS, D.P., 2002. High mixing rates in the abyssal Southern Ocean. *Nature* 415, 1011–1014.
- HOFMANN, E.E. & KLINCK, J.M. 1998. Thermohaline variability of the waters overlying the west Antarctic continental shelf. In: Jacobs, S.S. & Weiss, R.F. (eds.). *Ocean, Ice, and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin*, Antarctic Research Series, Washington DC, AGU, v. 75, p. 67–81.
- HOFMANN, E.E., KLINCK, J.M., LASCARA, C.M., SMITH, D.A. 1996. Water mass distribution and circulation west of the Antarctic Peninsula and including Bransfield Strait. *Antarctic Research Series*, v. 70, p. 61-80.
- JACOBS, S.S. and COMISO, J.C. 1993. A recent sea-ice retreat west of the Antarctic Peninsula, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 1171-1174.
- JACOBS, S. S. AND COMISO, J. C. 1997. Climate Variability in the Amundsen and Bellingshausen Seas. *Journal of Climate*, v. 10, p. 697-709.
- JOUGHIN, I. AND ALLEY, R. B. 2011. Stability of the West Antarctic ice Sheet in a Warming World. *Nature Geoscience*, v. 04, p. 506– 513.

- KING, J.C. 1994. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula, *Int. J. Climat.*, 14, 357-369.
- KLINCK, J. M., HOFMANN, E. E., BEARDSLEY, R. C., SALIHOGLU, B., HOWARD, S. 2004. Water-mass properties and circulation on the west Antarctic Peninsula Continental Shelf in Austral Fall and Winter 2001. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 51, p. 1925-1946.
- LIU, J., CURRY, J. A., MARTINSON, D. G. 2004. Interpretation of Recent Antarctic Sea Ice Variability. *Geophysical Research Letters*, v. 31, p. 2000-2003.
- McCONNELL, B. J., CHAMBERS, C., FEDAK, M. A. 2004. Foraging ecology of southern elephant seals in relation to the bathymetry and productivity of the Southern Ocean. *Antarctic Science*, v. 4, p. 393-398.
- MANTYLA, A.W & REID, J.L. 1983. Abyssal characteristics of the World Ocean waters. *Deep Sea Research*, v. 30, p. 805-833.
- MCPHEE, M.G., MORISON, J.H. AND NILSEN, F. 2008. Revisiting heat and salt exchange at the ice-ocean interface: Ocean flux and modeling considerations. *Journal of Geophysical Research*, 113, C06014, doi: 10.1029/2007JC004383.
- MEREDITH, M.P. e KING, J.C. 2005. Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L19604. (doi: 10.1029/2005GL024042)
- MEREDITH, M. P., NICHOLLS, K. W., RENFREW, I. A., BOEHME, L., BIUW, M., FEDAK, M. 2011. Seasonal evolution of the upper-ocean adjacent to the

South Orkney Islands, Southern Ocean: Results from a “lazy biological mooring”.

Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. v. 58, p. 1569-1579

- MUENCH, R., GUN, J. T. 1990. The Weddell-Scotia Confluence in Midwinter. Journal of Geophysical Research, v. 95, p. 18177-18190.
- ORSI, A. H., WHITWORTH III, T., NOWLIN Jr., W. D. 1995. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, v. 42, p. 641-673.
- PATTERSON, S. L., SIEVERS, H. A. 1980. The Weddell-Scotia Confluence. Journal of Physical Oceanography, v. 10, p. 1584-1610.
- PEREIRA, R. K. D. 2010. Produção e exportação de águas profundas no entorno do Continente Antártico. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande. Instituto de Oceanografia.
- PRITCHARD, H. D., ARTHURN, R. J., VAUGHAN, D. G., EDWARDS, L. A. 2009. Extensive dynamic thinning on the margins of the Greenland and Antarctic ice sheets. Nature, v. 461, p. 971-975.
- SANTINI, M. F., SOUZA, R. B., MUELBERT, M. M. C.. 2008. Análise preliminar de dados oceanográficos medidos no Oceano Austral a partir de plataformas de coleta de dados instaladas em Elefantes-marinheiros do sul. 2008. In: XVI Seminário de sobre pesquisa Antártica. São Paulo, Brasil. Anais.
- SAUNDERS P. M., FOFONOFF N. P. 1976: Conversion of pressure to depth in the ocean. Deep Sea Research. V. 23. P. 109-111.
- SIEVERS, H.A. & NOWLIN JR., W.D. 1984. The stratification and water masses at the Drake Passage. Journal of Geophysical Research, v. 89, p. 10489-10514.

- SMITH, W. and ASPER, V.A. 2007. New Ways to Collect Data in the Antarctic, EOS, Transactions American Geophysical Union, 88, no. 48, 525.
- SMITH, D. A., HOFMANN, E. E., KLINCK, J. M., LASCARA, C. M. 1999. Hydrography and circulation of the West Antarctic Peninsula Continental Shelf. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, v. 46, p. 925-949.
- SMITH, D. A., KLINCK, J. M. 2002. Water properties on the west Antarctic Peninsula continental shelf: a model study of effects of surface fluxes and sea ice. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 49, p. 4863-4886.
- STAMMERJOHN, S., SMITH, R.C., 1996. Spatial and temporal variability in west Antarctic sea ice coverage. In: Ross, R.M., Hofmann, E.E., Quetin, L.B. (Eds.), Foundations for Ecological Research west of the Antarctic Peninsula, Antarctic Research Series. American Geophysical Union. V. 70, p. 81–104.
- THORPE, S.E., HEYWOOD, K.J., BRANDON, M.A., STEVENS, D.P. 2002. Variability of the southern Antarctic Circumpolar Current front north of South Georgia. Journal of Marine Systems, v. 37, p. 87-105.
- TOGGWEILER, J. R., AND RUSSELL, J. 2008. Ocean Circulation in a Warming Climate, Nature, v. 451, p.286-288.
- TOMCZAK, M. 1999. Some historical, theoretical and applied aspects of quantitative water mass analysis, Journal of marine research, v. 57, p. 275-303.
- TOMCZAK, M., AND LARGE, D. G. B. 1989. Optimum multiparameter analysis of mixing in the thermohaline of the Eastern Indian Ocean, Journal of Geophysical Research, v. 94, p. 141-16.

- TOMCZAK, M., AND GODFREY, J. 1994. Regional Oceanography: An Introduction, p. 422.
- TRENBERTH, K.E. AND CARON, J.M. 2001. Estimates of meridional atmosphere and ocean heat transports, *Journal of Climate*, 13, 4358-4365.
- TURNER, J., COLWELL, S.R., MARSHALL, G.J., LACHLAN-COPE, T.A., CARLETON, A.M., JONES, P.D., LAGUN, V., REID, P.A. and IAGOVKINA, S. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years, *International Journal of Climatology*, 25, 279-294.
- TURNER, J., BINDSCHADLER, R., CONVEY, P., DI PRISCO, G., FAHRBACH, E., GUTT, J., HODGSON, D., MAYEWSKI, P., SUMMERHAYES, C. 2009. Antarctic Climate Change and the Environment. SCAR & Scott Polar Research Institute, Cambridge, 526 pp.
- UNESCO (1983): Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. 1983. UNESCO technical papers in marine science. v. 44, p. 1-55.
- WHITWORTH III, T., NOWLIN JR, W., ORSI, A., LOCARNINI, R., SMITH, S. 1994. Weddell Sea shelf water in the Bransfield Strait and Weddell-Scotia Confluence. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 41, p. 629-641.
- WILSON, C., KLINKHAMMER, G. P.; CHIN, C. S. 1999. Hydrography within the Central and East Basins of Bransfield Strait, Antarctica. *Journal of Physical Oceanography*, v. 29, p. 465-479.

Apêndice I – Evolução da Camada de Gelo Marinho