#### CHIARA MACHADO VIEIRA

#### NUTRIENTES COMO TRAÇADORES QUÍMICOS DE MASSAS DE ÁGUA E INDICADORES DE PROCESSOS BIOGEOQUÍMICOS AO LONGO DE UMA SEÇÃO TRANSVERSAL NA COSTA SUL DO BRASIL

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva

SÃO PAULO 2018

#### CHIARA MACHADO VIEIRA

## NUTRIENTES COMO TRAÇADORES QUÍMICOS DE MASSAS DE ÁGUA E INDICADORES DE PROCESSOS BIOGEOQUÍMICOS AO LONGO DE UMA SEÇÃO TRANSVERSAL NA COSTA SUL DO BRASIL

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Oceanografia, área de Oceanografia Química.

## VERSÃO CORRIGIDA

Julgada em \_\_\_\_/\_\_\_/

Conceito

Conceito

Conceito

#### Agradecimentos

Aos meus pais, Elizabete e Marco Antônio e meus irmãos, Cid, Cesar e Celine pelo apoio e suporte total durante todos esses anos, para que eu pudesse alcançar mais esse objetivo. Mais uma vez, nunca serei capaz de agradecer o suficiente por tudo. Muito obrigada!

A Prof. Dra. Elisabete de Santis Braga pelo apoio e orientação durante esses anos.

A Prof. Dra. Silvia Romero pela co-orientação, atenção, parceria e carinho no estágio sanduíche realizado no Servicio Hidrográfico Naval, em Buenos Aires, Argentina. A todos que me receberam tão bem e ajudaram muito para a realização desse projeto. Não teria conseguido sem vocês! Gracias Professor(a) Alberto Piola, Marcela Charo, Alejandro Bianchi, Ana Paula Osiroff, Carlos Balestrini, Dani Valla, Anahi Brun, Karen Guihou, Carolinas, Daniela. Muchas gracias!

Ao Dr. Vitor, 'o' técnico! A pessoa mais paciente e generosa do mundo, por sua ajuda em todos os momentos, pelas conversas, pelas aulas, por toda a ajuda em campos e no laboratório.

Ao LABNUT, a todos os meus amigos e companheiros deste laboratório, que me ajudaram muito para que esse trabalho fosse realizado. Campos, análises, cálculos, e muito mais, não conseguiria sozinha. Ana Teresa, Ana Maria, Bia, minha irmã mais nova, Caio, João, Katia, Leo Bertini, Renata, Bruno.

A família IO, Esther, Bia Bidoli, Lilian, Thati, Livia, Bruna, PH, obrigada pelo apoio, conversas, risadas.

Aos funcionários da Secretaria de Pós Graduação, Ana Paula, Leticia e Daniel pela ajuda, paciência.

Aos funcionários do LIO pela colaboração nos campos realizados, à tripulação do *Alpha Crucis*.

Ao Instituto Oceanográfico, seus professores e funcionários, pelo suporte técnico e institucional.

Ao Projeto SAMOC - "Impacto do Atlântico Sul na Célula de Circulação Meridional e no Clima" (FAPESP), coordenado pelo Prof. Dr. Edmo Dias Campos.

A CAPES, pelo apoio na forma de bolsa, recebido para a execução deste estudo.

E aos amigos e familiares, que de perto ou de longe, me apoiaram, acompanharam e torceram pela conquista desse projeto!

O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano. Isaac Newton

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELASii
ABSTRACT vii
1. Introdução 1
1.1 Área de Estudo 6
2. Objetivos
2.1 Objetivo geral
2.2 Objetivos específicos
3. Material e métodos 15
3.1 Área de estudo e amostragem
3.2 Parâmetros físicos e químicos 19
3.2.1 Temperatura e salinidade19
3.2.2 Densidade Neutra e Potencial
3.2.3 Oxigênio dissolvido (OD) 20
3.2.4 Nutrientes
3.2.5 Clorofila
3.2.6 Dados pretéritos
3.3 Tratamento de dados 22
4. Resultados e discussão
4.1 Tratamento dos dados do SAMOC com referência aos dados pretéritos 24
4.2 Identificação das massas d'água
4.2.1 Plataforma Continental 34
4.2.2 Variação entre os períodos 44
4.2.3 Talude e mar aberto 55
4.3 Variação temporal – talude e mar aberto
4.4. Nutrientes como traçadores da recirculação das massas d'água 69
5. Conclusões
6. Referências bibliográficas

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas, químicas das massas d'água no Atlântico Sul, segundo dados de diferentes autores. 1	10
Tabela 2. Latitudes e longitudes das estações oceanográficas do Projeto SAMOC nascampanhas de dezembro/2012 e setembro /2016.1	17
Tabela 3. Quantidade de amostras geradas nas campanhas do Projeto SAMOC, em   dezembro de 2012 e setembro de 2016.	22
Tabela 4. Valores de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato médios, quantidade de desvio padrão utilizado para determinar o intervalo e o desvio padrão total para cada faixa de pressão em dbar	29
Tabela 5. Porcentagem de dados considerados adequados de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato	31
Tabela 6. Intervalos de temperatura potencial (°C) e salinidade utilizados na identificação das águas da plataforma sudoeste do Atlântico Sul, segundo MÖLLER et al., 2008. (APP: Água da Pluma do Prata, ASAP: Água Subantártica de Plataforma, ASTP: Água Subtropical de Plataforma, AT: Água Tropical e ACAS: Água Central do Atlântico Sul).	34
Tabela 7. Limites de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato dissolvidos para as massas d'água Água da Pluma do Prata (APP), Água Subantártica de Plataforma (ASAP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), em dezembro de 20125	54
Tabela 8. Limites de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato dissolvidos para as massas d'água Água da Pluma do Prata (APP), Água Subantártica de Plataforma (ASAP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), em setembro de 20165	54
Tabela 9. Intervalos de densidade neutra utilizados na identificação das massas d'água na região de estudo (VALLA <i>et al.</i> , 2017, em preparo)5	56
Tabela 10. Valores de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato para as massas d'água do transecto a 34,5°C, dezembro de 2012	55
Tabela 11. Valores de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato para as massas d'água do transecto a 34,5°C, setembro de 2016	55
Tabela 12. Profundidades dos núcleos das massas d'água de acordo com parâmetros clássicos (salinidade e oxigênio dissolvido) e nutrientes (fosfato, silicato e nitrato), na região do sudoeste do Atlântico Sul a 34,5°S	59

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática das frentes e correntes geostróficas de superfície	
em larga escala do Oceano Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991)	8
Figura 2. Representação esquemática das massas d'água no Oceano Atlântico Sul	
(WUST, 1950).	9
Figura 3. Localização das estações na área de estudo, no Atlântico Sul, em frente à	
divisa do Brasil com o Uruguai	15
Figura 4. Localização das estações oceanográficas em torno de 34,5°S e 44,5°W,	
campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012	16
Figura 5. Localização das estações oceanográficas em torno de 34,5°S da costa do	
Brasil, campanha do Projeto SAMOC, setembro de 2016.	16
Figura 6. Malha amostral do transecto ao longo de 34,5°S, próximo à costa da região	
Sul do Brasil (SAMOC dezembro/2012)	18
Figura 7. Malha amostral do transecto ao longo de 34,5°S, próximo à costa da região	
Sul do Brasil (SAMOC setembro/2016)	19
Figura 8. Localização das estações do Projeto SAMOC (2012 e 2016), e das estações	
dos Projetos SAVE (1989), WOCE (1994) e GEOTRACES (2010) mais próximas da	
área de estudo.	24
Figura 9. Perfis verticais de distribuição de temperatura potencial (a), salinidade (b),	
oxigênio dissolvido (c), fosfato (d), silicato (e) e nitrato (f) para os projetos SAMOC	
2012 (preto), SAMOC 2016 (vermelho), SAVE 1989 (rosa), MHYDROS4 1989	
(laranja), WOCE1994 (azul) e GEOTRACES 2010 (verde)	27
Figura 10. Perfis verticais de distribuição de temperatura potencial (a), salinidade (b),	
oxigênio dissolvido (c), fosfato (d), silicato (e) e nitrato (f) para os projetos SAMOC	
2012, SAMOC 2016 com dados ajustados pelo intervalo de confiança (barras em cinza).	30
Figura 11. Diagrama T – S referente às combinações de temperatura potencial e	
salinidade do transecto localizado próximo a 34,5°S, próximo à costa do Brasil	
(Dezembro, 2012)	32
Figura 12. Diagrama T – S referente às combinações de temperatura potencial e	
salinidade do transecto localizado próximo a 34,5°S, próximo à costa do Brasil	
(Setembro, 2016)	33
Figura 13. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC de dezembro de 2012,	
estações 1 a 8, sobre a plataforma, separadas por cor, adaptado de Möller et al., 2008	36
Figura 14. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido (a), fosfato dissolvido	
(b), silicato dissolvido (c), nitrato dissolvido (d), nitrito dissolvido (e) e clorofila-a (f)	
para as estações sobre a plataforma continental, para a campanha do Projeto SAMOC	
dezembro, 2012	39
Figura 15. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC de setembro de 2016,	
estações 1 a 9, sobre a plataforma, separadas por cor, adaptado de Möller et al., 2008	41
Figura 16. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido (a), fosfato dissolvido	
(b), silicato dissolvido (c), nitrato dissolvido (d), nitrito dissolvido (e), e clorofila-a (f)	
para as estações sobre a plataforma continental para a campanha do Projeto SAMOC	
setembro, 2016	43
Figura 17. Perfis verticais de distribuição de temperatura, nas campanhas do Projeto	
SAMOC, para as estações sobre a plataforma continental, dezembro 2012 (a) e (b),	
setembro 2016 (d) e (e)	44

Figura 18. Diagrama T - S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em Figura 19. Diagrama T - S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em Figura 20. Diagrama T - S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em Figura 21. Diagrama T - S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em Figura 22. Localização das estações fora da plataforma do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (preto), e setembro de 2016 (vermelho)......55 Figura 23. Distribuição de temperatura potencial, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 Figura 24. Distribuição de salinidade, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a Figura 25. Distribuição de oxigênio dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), Figura 26. Distribuição de fosfato dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), Figura 27. Distribuição de silicato dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), Figura 28. Distribuição de nitrato dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a 34,5°S......64 Figura 29. Perfis verticais de temperatura (a) e salinidade (b), para as campanhas Figura 30. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido (a) e fosfato (b), para Figura 31. Perfis verticais de distribuição de silicato (a) e nitrato (b), para as campanhas Figura 32. Valores médios dos parâmetros hidrológicos por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Tropical, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão......71 Figura 33. Valores médios dos parâmetros hidrológicos por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Central do Atlântico Sul, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão. .... 73 Figura 34. Valores médios dos parâmetros hidrológicos por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Intermediária Antártica, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão......75 Figura 35. Valores médios dos parâmetros hidrológicos por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Circumpolar

Superior, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão......77 Figura 36. Valores médios dos parâmetros hidrológicos por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Profunda do Atlântico Norte, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão. 79 Figura 37. Valores médios dos parâmetros hidrológicos por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Circumpolar Inferior, Figura 38. Diagrama T-S da campanha SAMOC 2012 com dados de CTD (a), dados de CTD das estações separadas a oeste de 49,5°W (azul) e a leste de 49,5°W (vermelho) e perfil vertical de oxigênio dissolvido por profundidade da campanha SAMOC 2012 (b). dados de CTD das estações separadas a oeste de 49,5°W (azul) e a leste de 49,5°W Figura 39. Localização das estações do Projeto SAMOC, 2012 separadas em relação a longitude de 49,5°W (● )e do Projeto WOCE, 1994 em relação a latitude 34,5°S (+)......83 Figura 40. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Tropical, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Projeto SAMOC, 2012 -Figura 41. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Central do Atlântico Sul, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Projeto Figura 42. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Intermediária Antártica, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Projeto Figura 43. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Circumpolar Superior, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Projeto Figura 44. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Profunda do Atlântico Norte, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Figura 45. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Circumpolar Inferior, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Projeto Figura 46. Distribuição de temperatura potencial (a), salinidade (b), oxigênio dissolvido (c), fosfato (d), silicato (e) e nitrato (f), estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012, transecto a 34,5°S......97

#### RESUMO

O Oceano Atlântico tem um papel importante na circulação global e nas influências oceânicas no sistema climático. Na sua porção sudoeste, a South Atlantic Meridional Overturning Circulation representa uma componente regional relevante para a circulação termohalina global. O monitoramento da presença e das características físicas (temperatura potencial, salinidade) das massas d'água da região se faz necessário para avaliar a variabilidade da dinâmica da região. Neste contexto, da variabilidade, os parâmetros químicos (oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato) tem grande importância, pois mesmo quando utilizados como traçadores complementares das massas d'água, apresentam variações temporais e espaciais maiores que os parâmetros físicos devido aos processos biogeoquímicos. Em regiões costeiras, com todas as ressalvas, os nutrientes podem ser utilizados como traçadores complementares, como por exemplo, o silicato e fosfato foram considerados bom indicadores da Água de Plataforma do Prata (APP), e o nitrato, da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Na região fora da plataforma foram identificadas pelos parâmetros físicos e complementadas pelos parâmetros químicos as massas já citadas em literatura, Água Tropical (AT), ACAS, Água Intermediária Antártica (AIA) (máximo de oxigênio e nutrientes), Água Circumpolar Superior (ACS) e Água Circumpolar Inferior (ACI) (mínimo de oxigênio e máximo de nutrientes), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (máximo de oxigênio e mínimo de nutrientes) e Água de Fundo Antártica (AFA) (máximo de silicato). Além disso, os nutrientes podem ser usados como ferramentas para estudar a dinâmica da região. Ao longo do transecto próximo a 34,5°S, foram observadas variações dos parâmetros físicos e químicos devido a processos de mistura podem indicar alterações na circulação das massas d'água. O oxigênio dissolvido apresentou as maiores diferenças entre a porção leste e oeste na AT, AIA, ACS e APAN. O fosfato indicou o processo para a AT, ACS e APAN. O silicato apresentou variações mais evidentes para a AIA, ACS e APAN. E o nitrato apresentou uma distribuição mais homogênea, sem variações que permitam indicar alterações dos processos de circulação na região.

Palavras-chave: nutrientes, oxigênio dissolvido, traçadores, massas d'água, Atlântico Sul, SAMOC, circulação.

#### ABSTRACT

The Atlantic Ocean plays an important role in global circulation and in oceanic influences on the climate system. In its southwestern portion, the South Atlantic South Overturning Circulation represents a relevant regional component to the global thermohaline circulation. Monitoring the presence and physical characteristics (potential temperature, salinity) of the region's water masses is necessary to evaluate the variability of the region dynamics. In this context, chemical parameters (dissolved oxygen, phosphate, silicate and nitrate) are of great importance because, even when used as complementary tracers of water masses, they present temporal and spatial variations that are bigger than the physical parameters due to the biogeochemical processes. In coastal regions, with all reservations, nutrients can be used as complementary tracers, for example, silicate and phosphate were considered good indicators of Plata Plume Water (PPW) and the nitrate for Central Atlantic South Water (SACW). In the offshore region were identified by the physical parameters and complemented by the chemical parameters the already know water masses: Tropical Water (TW), SACW, Antarctic Intermediate Water (AAIW) (oxygen and nutrients maximum), Upper Circumpolar Deep Water (UCDW) and Lower Circumpolar Deep Water (LCDW) (oxygen minimum and nutrients maximum), North Atlantic Deep Water (NADW) (oxygen maximum and nutrients minimum) and Antarctic Bottom Water (AABW) (silicate maximum). In addition, nutrients can be used as tools to study the dynamics of the region. Along the transect close to 34.5 ° S, differences in physical and chemical parameters due to mixing processes can indicate changes in the circulation of water masses. The dissolved oxygen presented the largest differences between the east and west portions for the TW, AAIW, UCDW and NADW. The phosphate showed the process for the TW, UCDW and NADW. The silicate showed the remarkable variations for the AAIW, UCDW and NADW. And the nitrate presented homogeneous distribution, without variations that allow indicating changes in the circulation process in the region.

Key-words; nutrients, dissolved oxygen, tracers, water masses, South Atlantic, SAMOC, circulation.

# 1. Introdução

O sistema climático é composto por atmosfera, superfície terrestre, oceanos, gelo, vegetação, seus processos externos e as interações entre os componentes. O clima depende não somente dos processos atmosféricos, mas também dos físicos, químicos e biológicos, envolvendo todos os componentes do sistema terrestre, que atuam em um estado de equilíbrio desse sistema, trocando propriedades termodinâmicas entre os diversos compartimentos, e interagindo entre si. Os oceanos são conhecidos por sua inércia termal, sua capacidade reguladora do clima, pois são capazes de armazenar, transportar e distribuir grandes quantidades de calor, além do importante papel que exercem no ciclo do carbono, atuando no controle das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Alterações nas concentrações de CO<sub>2</sub> podem acarretar em aumento da temperatura média global, esse aumento pode gerar mudanças nos sistemas de ventos e chuvas, as quais que podem vir a influenciar os sistemas de correntes e as propriedades físicas e químicas dos oceanos, alterando as características das massas d'água e de seus padrões de circulação, com consequências graves para o sistema climático. (CAMPOS, 2014; RUDDIMAN, 2008; WALLACE, HOBBS, 2006).

O conhecimento das propriedades físicas e químicas dos oceanos e suas relações com o sistema climático é um processo recente e ainda em construção. O estudo das correntes superficiais e dos ventos já foi amplamente estabelecido devido às necessidades econômicas e práticas. Mas o estudo das águas profundas é mais complexo e restrito e ainda vem sendo aprofundado, com isso o entendimento completo das relações entre o oceano e o clima ainda tem lacunas a serem preenchidas.

Os oceanos são percorridos por massas d'água, que correspondem a volumes de água, que tem formações históricas comuns em determinada região do oceano, fluem ao longo do tempo com suas características físicas, químicas e biológicas quase constantes e contínuas e que ao serem transportadas, carregam suas propriedades da área de formação para outras regiões e outros oceanos (MAMAYEV, 1975; TOMCZAK, 1999). Esses corpos d'água são geralmente definidos através dos parâmetros físicos como temperatura e salinidade, mas a distribuição dos parâmetros químicos como oxigênio dissolvido e nutrientes principais (silicato, fosfato e nitrato) também podem ser utilizada para caracterizar massas d'água. O conhecimento do sistema de circulação oceânica, sobretudo no Atlântico Sul tem sido objeto de vários Programas Internacionais, desde o *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE) no inicio dos anos 90, *Blue Earth Global Expedition* – (Beagle), em 2003, GEOTRACES em 2010, e mais especificamente na região entre o Sul do Brasil, Uruguai e norte da Argentina, como o LA PLATA entre 2003 e 2004, e *South Atlantic Monitoring Overturning Circulation* (SAMOC), desde 2009 e em curso. Aprofundar o conhecimento nesta região constitui uma importante contribuição aos estudos de circulação e também uma ferramenta para o acompanhamento dos efeitos climáticos na circulação regional.

Os oceanos estão interligados no globo, e por isso a circulação oceânica entre eles permite a ampla troca de calor, nutrientes, carbono e água doce. Essa troca ocorre devido aos movimentos verticais e horizontais, que tem como principais geradores o arrasto do vento na superfície, a gravidade, as variações na elevação da superfície e os gradientes de densidade. A forçante do vento atua nos primeiros 1000 metros de profundidade gerando movimentos em círculos, os giros, que em áreas subtropicais transportam águas mais quentes dos trópicos para as latitudes médias no lado oeste das bacias, e águas mais frias da região subtropical em direção ao Equador no lado leste das bacias. O gradiente de densidade que ocorre devido à diferença na absorção de calor na superfície do mar, maior próximo ao Equador, e menor próximo aos polos. Essa diferença de temperatura associada às diferenças de salinidade acarreta em águas de diferentes densidades, mais leves em baixas latitudes e mais pesadas nas altas, que se sobrepõem de forma a encontrar suas superfícies de equilíbrio. O movimento de circulação termohalina se dá através das águas mais densas que afundam e se espalham pelas regiões mais profundas, e pelas águas mais leves que se movimentam em direção aos polos para ocupar o lugar das que afundaram. A esse mecanismo de transporte que abrange as correntes superficiais e profundas em todas as bacias oceânicas transportando grandes volumes de água, calor, sal, carbono e nutrientes por todo o globo, conectando a atmosfera e a superfície oceânica com o mar profundo, se dá o nome de Célula de Revolvimento Meridional, ou em inglês, Meridional Overturning Circulation, (MOC), que é um processo lento que pode durar até mil anos (CAMPOS, 2014; RAHMSTORF, 2003; WUNSCH, 2002). No Oceano Atlântico, parte dessa célula recebe o nome de Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), que responde pela distribuição de calor do hemisfério sul para o norte através das águas superficiais e intermediárias, compensada pelo fluxo de águas profundas e frias vindas do hemisfério norte, a Água Profunda o Atlântico Norte (APAN), e do polo sul, como a Água de Fundo Antártica (AFA), (BARINGER, GARZOLI, 2007; CAMPOS, 2014). E finalmente, no

Atlântico Sul a célula recebe o nome de *South Atlantic Meridional Overturning Circulation* (SAMOC), que tem um papel importante e distinto nesse sistema, pois diferente dos outros oceanos, transporta calor do polo em direção ao Equador, através do movimento das águas superficiais e quentes (GARZOLI, *et al.*, 2013).

Esse padrão de circulação além de transportar calor, também transporta propriedades químicas e biológicas, como oxigênio dissolvido e nutrientes, clorofila entre outros. Os oceanos contem nutrientes que tem um papel importante no estudo do clima, pois estão intimamente relacionados ao ciclo do carbono no oceano, participando ativamente dos processos de assimilação do CO<sub>2</sub> pelo fitoplâncton marinho, através do processo de fotossíntese que ocorre nas camadas superficiais, onde há presença de luz utilizada como fonte energética, nas quais ocorrem intensos processos biológicos de síntese de matéria orgânica, alimentação de diferentes níveis tróficos, e regeneração. O material formado também migra para outras profundidades por afundamento e via cadeia alimentar. Além disso, as distribuições de oxigênio dissolvido e dos nutrientes principais como fosfato, silicato, nitrato são parâmetros importantes que podem ser utilizados como traçadores de massas de água abaixo da camada eufótica, onde atuam como parâmetros conservativos e podem indicar processos de mistura, e como parâmetros descritores das camadas superficiais. Também nas camadas superficiais, a matéria orgânica produzida passa pela cadeia trófica e pode ser reciclada na própria camada eufótica, ou exportada para as camadas mais profundas, contribuindo ao afundamento do carbono, e sujeita aos processos de remineralização. Portanto, o conhecimento da distribuição dos nutrientes na coluna d'água contribui para um melhor entendimento do papel dos oceanos no sistema climático global.

O oxigênio dissolvido e os nutrientes tem participação nos processos biológicos na camada eufótica, e nesta tem restrição para a caracterização. Porém, abaixo dessa camada esses parâmetros assumem um comportamento quase conservativo, permitindo sua utilização como traçadores de massas d'água, como observado nos trabalhos de Braga e Müller (1998), Oudot *et al.* (1999), Kress e Herut (2001), Placenti e Schoeder (2013) entre outros.

Flack *et al.*, 2011, por exemplo, utilizaram os valores de N:P como ferramenta para identificar a origem das águas presentes na região polar do Ártico distinguindo águas de origem Atlântica e Pacífica, mostrando que os nutrientes constituem uma ferramenta essencial nesta distinção, uma vez que as temperaturas e salinidades apresentaram uma

variação muito pequena entre os valores; a melhor distinção ocorreu em relação a riqueza em nitrato das águas de origem no Pacífico.

Os nutrientes principais (N, P e Si) também podem contribuir ao estudo de aportes continentais, sobretudo em regiões costeiras onde há importante contribuição por rios, sendo que no caso do bordo oeste do Atlântico Sul encontra-se o Rio da Prata, com importante ação nas águas superficiais na área de estudo, região sudoeste do Oceano Atlântico (CAMPOS *et al.*, 2008; EICHLER *et al.*, 2008).

O silício (Si) é um nutriente que está presente na formação das frústulas de diatomáceas e esqueletos de radiolárias. É um elemento químico abundante na água do mar, pois é parte da composição da crosta terrestre, de argilas e areias. O silício é fornecido aos oceanos pelo escoamento fluvial, deposição atmosférica e intemperismo glacial nas formas dissolvida e particulada. A fração dissolvida presente no oceano e assimilável pelos organismos é o acido ortosilícico (Si(OH)<sub>4</sub>), e a fração particulada inclui vários minerais silicatos e aluminosilicatos, além das carapaças das diatomáceas e radiolárias. A sílica que compõe essas carapaças e partes duras dos organismos pode ser liberada na coluna d'água por dissolução (CHESTER, 1990; RILEY, CHESTER, 1989).

O fósforo (P) é um elemento que tem importante participação para a formação da matéria orgânica, está presente nos processos de metabolismo dos organismos, como na estruturação do esqueleto, na conversão de energia e na estruturação da membrana celular através de fosfolipídeos (BENITEZ-NELSON, 2000). As principais fontes de fósforo no ambiente marinho são o aporte fluvial, a deposição atmosférica e a descarga de água subterrânea. Os rios são o mecanismo mais importante para a transferência do fósforo para os oceanos (RILEY, CHESTER, 1989; RUTTEMBERG, 2006). O fósforo se apresenta nos oceanos nas frações dissolvida e particulada, subdivididas em formas orgânicas e inorgânicas. O fósforo assimilável para os organismos é o dissolvido inorgânico, na forma de ortofosfato ( $H_2PO_4^{-4}$ ,  $HPO_4^{-2}$ ,  $PO_4^{-3}$ ), e a forma orgânica que considera compostos que contem o fósforo orgânico dissolvido (POD). A fração particulada inorgânica é formada de minerais contendo fósforo e fosfatos adsorvidos à superfície de minerais, pode ser encontrado em suspensão ou ainda nos sedimentos. A fração particulada orgânica consiste em organismos vegetais e animais e seus restos e excretas. As águas do oceano Atlântico apresentam concentrações de fosfato mais baixas (1,5µM) em relação aos oceanos Pacífico e Índico (cerca de 3,2µM), pois esses dois oceanos são considerados mais antigos e portanto, acumulam maior quantidade de matéria orgânica oxidada (MILLERO, 2013).

O nitrogênio (N) participa da formação dos organismos, através da formação de aminoácido, ácidos nucleicos e outras moléculas orgânicas, como os organismos são constituídos de mais de 50% de proteínas, o nitrogênio tem importância vital para a produção primária, principalmente nas formas inorgânicas (N-amoniacal, nitrato e nitrito) (BRAGA, 2002). O nitrogênio está presente na água do mar nas formas: nitrogênio molecular, sais inorgânicos fixados (nitrato, nitrito e amônia), componentes orgânicos associados aos organismos como aminoácidos e ureia e nitrogênio particulado. Os organismos tem preferência pela assimilação de N-amoniacal, mas também podem assimilar nitrito e nitrato. As principais fontes de nitrogênio para o oceano são atividade vulcânica, deposição atmosférica e descarga fluvial (MILLERO, 2013; RILEY, CHESTER, 1989).

O monitoramento da região sudoeste do Atlântico Sul como parte da observação de uma parcela da AMOC vem permitindo um melhor entendimento da dinâmica da circulação nessa área. O monitoramento das águas sobre a plataforma permite avaliar o comportamento das massas d'água de plataforma que apresentam variabilidade distinta, de caráter mais sazonal, e suas interações com os aportes continentais da região. Na região fora da plataforma, segundo a avaliação de dados obtidos através de PIES e C-PIES no estudo Meinen, *et al.*, 2017, e de dados de velocidades e avaliação das variações dos parâmetros temperatura potencial, salinidade e oxigênio dissolvidos ao longo do transecto segundo Valla, *et al.*, 2018 (em preparo), as massas d'água parecem ser afetadas por processos de recirculação na porção sudoeste do Atlântico Sul. Esses estudos verificaram possíveis alterações nas direções das massas d'água. É bastante provável que os nutrientes, que já são utilizados como identificadores das massas d'água poderiam, além disso, auxiliar também na observação das alterações dos processos de circulação das mesmas.

Os estudos com modelos numéricos geralmente podem se apresentar deficitários em relação aos dados observacionais, que são indispensáveis para a elaboração de uma melhor representação das regiões analisadas pelos modelos. No Oceano Atlântico Sul, a região da Confluência Brasil-Malvinas é uma área muito dinâmica, com características muito particulares e que ainda não possui uma quantidade razoável de dados para alimentar os modelos numéricos. Um estudo detalhado dos parâmetros físicos e químicos nessa região que é próxima o suficiente para se observar sem ser influenciado pela própria, vem a contribuir para o aprimoramento dos modelos. O estudo e monitoramento desse sistema no Oceano Atlântico Sul são de extrema importância para o melhor entendimento, conhecimento e aprimoramento da modelagem do sistema climático regional e global.

A compreensão desses parâmetros e de sua variabilidade tanto na camada eufótica como nas camadas mais profundas dão suporte para o entendimento mais abrangente do papel da circulação oceânica e das consequências de possíveis alterações nesse padrão para o sistema climático. Estudos paleo-climáticos sugerem que colapsos pretéritos da MOC deram início a eras do gelo, com diminuição de temperatura no oeste da Europa e em regiões próximas, e que o final dessas eras e a retomada da AMOC têm fortes correlações com o fortalecimento do fluxo de águas do Oceano Índico através do vazamento das Agulhas (PEETERS et al., 2004; SPEICH et al., 2010). Na porção sul do Oceano Atlântico, o projeto SAMOC - Impacto do Atlântico Sul na Célula de Circulação Meridional e no Clima (FAPESP) vem colaborando para esse monitoramento. Esse projeto faz parte de um consórcio internacional no qual fazem parte pesquisadores do Brasil, Argentina, Estados Unidos, França, África do Sul e Rússia, e que estuda esse aspecto da circulação global na região sul do Oceano Atlântico. Este trabalho visa contribuir aos estudos da South Atlantic Meridional Overturning Circulation adicionando informações de traçadores adicionais, ou seja, dos nutrientes fosfato, silicato e nitrato, na caracterização das massas d'água e na avaliação das variações longitudinais desses parâmetros para auxiliar nos estudos dos processos de circulação nas proximidades da latitude 34,5°S, fronteira entre o Brasil e Uruguai.

## 1.1 Área de Estudo

O Oceano Atlântico é um oceano de grande extensão, que ocupa uma área de aproximadamente 10,6 10<sup>7</sup> km<sup>2</sup> (TOMCZAK, GODFREY, 1994). O Oceano Atlântico é o único que possui dois locais de formação de massas d'água profundas, em seus dois polos, ao norte, o mar de Labrador e mar do Norte, e ao sul, o mar de Weddel, o que o torna um objeto de estudo muito importante para a compreensão da circulação oceânica global. Além disso, é uma região de passagem e transformações entre regiões de formação de massas d'água e os outros oceanos, uma conexão entre os oceanos em termos da circulação termohalina global (PETERSON, STRAMMA, 1991). A estrutura da circulação meridional no Oceano Atlântico ocorre devido às águas superficiais de outras bacias que

entram no Atlântico Sul, do Pacífico via passagem de Drake e do Oceano Índico via vazamento das Agulhas, e são transportadas para a porção norte, ao passar pela região equatorial, as águas se aquecem e se tornam mais salinas (evaporação), são transportadas pelo giro subtropical via Corrente do Atlântico Norte até as regiões subpolares, onde ocorre transferência de calor dos oceanos para a atmosfera, as águas salinas ficam mais frias e se tornam mais densas. Essas águas afundam, originando a massa Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) que flui em direção ao sul ao longo da costa leste do continente americano, ocupando as porções profundas do oceano e é exportada para outras bacias pelo Atlântico Sul. (BROECKER, 2010; CAMPOS, 2014). O fluxo das águas profundas é compensado por um fluxo em direção ao norte das águas superficiais, centrais e intermediárias. A estrutura de circulação que se apresenta no Atlântico Sul é considerada singular, pois águas quentes fluem em direção ao Equador e águas frias em direção ao polo, e isso resulta em um fluxo de calor da região dos polos para a região do Equador, o que caracteriza o Oceano Atlântico Sul como o único com uma bacia que se estende até as altas latitudes na qual o transporte de calor é em direção ao Equador (GARZOLI, MATANO, 2011).

O Oceano Atlântico em sua porção sul tem a circulação regida pelo giro Subtropical do Atlântico Sul (Fig.1), um giro anticiclônico, composto ao norte pela Corrente Sul Equatorial que flui para noroeste até próximo à costa do Brasil, onde se bifurca entre 5 e 10°S dando origem a Corrente Norte do Brasil e a Corrente do Brasil que flui para sul ao longo da costa brasileira até a região da Confluência Brasil-Malvinas a aproximadamente 38°S, onde ambas as correntes mudam suas trajetórias e vão em direção ao mar aberto, a Corrente do Brasil tem papel dominante, transportando a Água Central do Atlântico Sul para o sul (GORDON, GRENNGROVE, 1986). Ao sul a Corrente Circumpolar Antártica que entra no Oceano Atlântico através da passagem de Drake, tem uma parcela que se dirige para o norte ao longo da plataforma continental argentina, formando a Corrente das Malvinas, que introduz águas mais frias e menos salinas e tem um papel importante no transporte de águas do Oceano Pacífico para o Atlântico Sul subtropical. A leste, a Corrente de Benguela percorre a região ao longo da costa africana em direção ao Equador, essa região também recebe influência de águas mais quentes e salinas oriundas do Oceano Indico por meio do vazamento das Agulhas, quando anéis de aguas do Índico se desprendem da Corrente das Agulhas e se dirigem para o Atlântico (CAMPOS, OLSON, 1991; LUTJEHARMS, van BALLEGOOYEN, 1988; PETERSON, STRAMMA, 1991; PIOLA, GORDON, 1989).



Figura 1. Representação esquemática das frentes e correntes geostróficas de superfície em larga escala do Oceano Atlântico Sul (PETERSON, STRAMMA, 1991).

A região do Oceano Atlântico Sul é percorrida pelas seguintes massas d'água já descritas na literatura, Água da Pluma do Prata (APP), Água Subantártica de Plataforma (ASAP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A Água Intermediária Antártica (AIA) com fluxo em direção ao norte, Água Circumpolar Superior (ACS) também com fluxo em direção ao norte, Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) que vem do Atlântico Norte com fluxo em direção ao sul, Água Circumpolar Inferior (ACI) com movimento em direção ao norte, e por fim a camada mais profunda Água de Fundo Antártica (AFA). As massas a partir da AIA até o fundo são em suas respectivas profundidades, conexões do Atlântico Sul para a transferência global de calor, sal e constituintes secundários (nutrientes). (CAMPOS, 1995) (Fig.2).



Figura 2. Representação esquemática das massas d'água no Oceano Atlântico (WUST, 1950).

De um modo geral, as características das massas de águas no Atlântico Sul, segundo o trabalho de diversos autores, estão apresentadas na tabela 1.

Massas	T (°C)	S	Autores
APP	T ≥10°	S ≤ 33,5	MÖLLER et al., 2008
ASAP	$14^\circ \le T \le 21^\circ$	$33,5 \le S \le 34,2$	MÖLLER et al., 2008
ASTP	$14^\circ \le T \le 21^\circ$	$33,5 \le S \le 36,0$	MÖLLER et al., 2008
AT	$T \ge 20^{\circ}$	$S \ge 36.0$	EMILSSON, 1961
ACAS	$10^{\circ} \leq T < 23^{\circ}$	35,0 < S < 36,0	BIANCHI et al., 1993
AIA	$3^{\circ} \leq T \leq 6^{\circ}$	$34,2 < S \le 34,6$	SVERDRUP et al., 1942
	3,7°< T < 4,8°	S ~ 34,2	PIOLA, GORDON, 1989
ACS	3,3° < T 3,4°	34,42 < S < 34,59	SILVEIRA et al, 2000;
	Mínimo OD	Máximo nutrientes	TSUCHIYA et al., 1994
APAN	$3^\circ < T < 4^\circ$	34,6 < S < 35,0	REID, 1989; SILVEIRA
			<i>et al.</i> , 2000;
			TSUCHIYA et al.,1994
ACI	Mínimo OD	Máximo	TSUCHIYA et al.,1994
		nutrientes	
AFA	$T \leq 2^{\circ}$	$S \leq 34,8$	EMERY, 2003;
			BOSWELL et al., 2002

Tabela 1. Características físicas, químicas das massas d'água no Atlântico Sul, segundo dados de diferentes autores.

A Água da Pluma do Prata (APP) tem origem na descarga do Rio da Prata na região costeira da Argentina, Uruguai e Brasil, que se mistura com as águas costeiras presentes na região. Essa água, menos salina interage com a Água Subantártica de Plataforma (ASAP), fria e menos salina, que chega a plataforma da região de estudo através da Corrente da Patagônia, e com a Água Tropical e a Água Central do Atlântico Sul transportadas pela Corrente do Brasil. A mistura entre a Água Tropical e a Água da Pluma da Prata dá origem a Água Subtropical de Plataforma (ASTP). Essas massas com valores menores de salinidade apresentam uma variabilidade sazonal, pois a pluma do Rio da Prata pode atingir a região de aproximadamente 28°S no inverno, e apenas até 32°S no verão (MÖLLER *et al.*, 2008).

A Água Tropical é uma massa superficial que é formada devido a intensa radiação e ao excesso de evaporação em relação a precipitação, condição característica do Atlântico Sul equatorial, é transportada para o Sul pela Corrente do Brasil (EMILSSON, 1961).

A Água Central do Atlântico Sul é formada pela subducção dentro da termoclina, na região da confluência Brasil-Malvinas no sudoeste do Oceano Atlântico, flui em profundidades entre 100 e 500 m, e próximo a 22°S parte da ACAS flui para o sul transportada pela Corrente do Brasil e outra parte flui em direção ao Equador. Além disso, apresenta uma parcela de águas centrais formadas no Oceano Índico que entra via vazamento das Agulhas (GARZOLI, BARINGER, 2007; GORDON, 1986; STRAMMA, ENGLAND, 1999).

A Água Intermediária Antártica apresenta uma parcela que se origina no Atlântico Sul em uma região próxima a superfície da Corrente Circumpolar, ao norte da passagem de Drake, onde afunda e se dirige em direção ao norte a aproximadamente 1000 m (PIOLA, GEORGI, 1982). Recebe a contribuição das Águas Intermediárias com origem no Oceano Índico que se dirigem ao Atlântico pelo vazamento das Agulhas e de Águas Intermediárias formadas no Pacífico (GARZOLI, BARINGER, 2007). Apresenta valores relativos baixos de salinidade e elevados de oxigênio dissolvido e nutrientes, característica atribuída a sua origem na superfície.

A Água Circumpolar (ACP) apresenta águas menos salinas e com menores concentrações de oxigênio dissolvido e maiores concentrações de nutrientes relativamente à Água Profunda do Atlântico Norte, e flui em direção a leste na Corrente Circumpolar Antártica. A Água Circumpolar entra na região da bacia Argentina pela Passagem de Drake e encontra APAN vindo do norte, que a divide em Água Circumpolar Superior e Água Circumpolar Inferior. Com isso, a coluna d'água apresenta duas regiões com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, uma entre a AIA e APAN, e outra entre a APAN e a AFA. Os intervalos de temperatura e salinidade da ACS e ACI são muito estreitos, já a baixa concentração de oxigênio dissolvido e alta de nutrientes são muito mais evidentes para sua identificação, com valores elevados para o silicato nessas profundidades (MEMERY *et al.*, 2000; REID,1989; TSUCHIYA *et al.*, 1994)

A Água Profunda do Atlântico Norte apresenta salinidades e concentrações de oxigênio mais elevadas e concentrações de nutrientes mais baixas relativas às massas adjacentes. É uma massa que possui um intervalo de densidade mais amplo devido às três

diferentes fontes que compõem sua formação, a Água de Escoamento do Mediterrâneo que dá origem a APAN Superior, o mar de Labrador, que origina a APAN Média e o mar do Norte coma APAN Inferior. Essa mistura de águas se desloca em direção ao sul através da Corrente Profunda de Contorno Oeste, atingindo as altas latitudes no sul do Oceano Atlântico, onde aflora e contribui para a formação de águas profundas no Oceano Austral (DE MADRON, WEATHERLY, 1994; TSUCHIYA *et al.*, 1994)

A Água de Fundo Antártica é uma combinação de águas de diferentes regiões, do mar de Weddel, uma menos salina e mais fria, da Bacia Sudeste do Pacífico, e outra mais salina e menos fria da Bacia Austrália-Antártica, com águas intermediárias. A AFA é muito fria, menos salina em comparação a APAN, e densa, com densidade neutra maior que 28,27 kg.m<sup>-3</sup>, essa parte mais densa fica confinada nas bacias que circundam o continente antártico (Bacia Argentina, Bacia do Brasil, Moçambique, Crozet e Austrália-Antártica). Águas menos densas (entre 28,17 e 28,27 kg.m<sup>-3</sup>) fluem para o norte, pois encontram passagem através de fendas e canais entre os cumes das bacias, e preenchem as camadas inferiores dos principais oceanos. A parcela com origem no mar de Weddel junto com a Água Circumpolar que está vindo pela passagem de Drake, são transportadas pela Corrente Profunda de Contorno Oeste (DWBC em inglês) para o Oceano Atlântico abaixo da APAN. Além de ser a água mais densa e mais fria da coluna, essa massa d'água também é identificada por uma assinatura química de alta concentração de silicato dissolvido. (BOSWELL *et al.*, 2002; CARTER *et al.*, 2008; TSUCHIYA *et al.*, 1994).

# 2. Objetivos

#### 2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste estudo é implementar a utilização de parâmetros químicos (oxigênio dissolvido e nutrientes) associados aos parâmetros físicos (temperatura e salinidade) na identificação de massas d' água, dos processos de circulação e os processos biogeoquímicos, em zonas costeiras e oceânicas da região sudoeste do Oceano Atlântico Sul, onde a *Meridional Overturning Circulation* (MOC) vem sendo monitorada no âmbito do Projeto SAMOC/FAPESP/FACEPE/ANR Com isso, fornecer mais ferramentas para o acompanhamento de alterações em processos como os aportes continentais, processos biogeoquímicos, modificações na circulação, entre outros, que possam contribuir à variabilidade das condições dos oceanos, que possam vir a acarretar em alterações no sistema climático.

#### 2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as características termohalinas das águas presentes na região sudoeste do Oceano Atlântico, identificando as massas d'água através dos parâmetros físicos (temperatura potencial, salinidade e densidade potencial e neutra), com o uso de informações da literatura existente para a região considerada.

- Avaliar a variabilidade temporal e espacial dos parâmetros físicos e químicos utilizados na identificação das massas d'água da região, utilizando dados de projetos pretéritos realizados por equipes internacionais (SAVE, WOCE, GEOTRACES). - Identificar as massas d'água presentes na plataforma continental da região, complementando com os parâmetros químicos e avaliar a variabilidade sazonal e espacial das mesmas.

- Identificar as massas d'água presentes fora da plataforma na região, complementando com os parâmetros químicos e avaliar a variabilidade temporal das mesmas.

 Contribuir ao conhecimento dos processos de circulação na região sudoeste do Atlântico Sul, a partir da avaliação dos parâmetros físicos e químicos, aumentando assim as ferramentas para o monitoramento da circulação.

- Contribuir ao estudo da "South Atlantic Overturning Circulation" no âmbito do Projeto SAMOC/FAPESP/FACEPE/ANR, utilizando o suporte dos traçadores químicos para a distinção das águas e acompanhamento de seus padrões de distribuição.

# 3. Material e métodos

# 3.1 Área de estudo e amostragem

O presente trabalho foi realizado na região entre a Lagoa dos Patos e a fronteira do Brasil com o Uruguai e próxima da Confluência Brasil-Malvinas, em uma área entre 33,25°S e 34,50°S e 44,50°W e 52,63°W, com uma radial perpendicular partindo da região próxima a costa e se dirigindo para mar aberto (Fig. 3). Foram realizadas duas campanhas, sendo a primeira realizada entre 05 e 12 de dezembro de 2012 (20 estações) e a segunda entre 13 e 16 de setembro de 2016 (19 estações). Ambas a bordo do N/Oc *Alpha Crucis* do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), conforme a figuras 4 e 5. Com o uso de rosette com 24 garrafas *Niskin* e CTD *Seabird* 911plus foram registrados valores de temperatura, salinidade, de modo contínuo na coluna d'água e coletada amostras de água nas profundidades de interesse, até próximo ao fundo para determinar oxigênio dissolvido, salinidade e nutrientes (silicato, fosfato, nitrato e nitrito).



Figura 3. Localização das estações na área de estudo, no Atlântico Sul, em frente à divisa do Brasil com o Uruguai.



Figura 4. Localização das estações oceanográficas em torno de 34,5°S e 44,5°W, campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012.



Figura 5. Localização das estações oceanográficas em torno de 34,5°S da costa do Brasil, campanha do Projeto SAMOC, setembro de 2016.

Os cruzeiros foram apoiados pelo Projeto SAMOC - "Impacto do Atlântico Sul na Célula de Circulação Meridional e no Clima" (FAPESP), coordenado pelo Prof. Dr. Edmo Dias Campos, com colaboração do Laboratório de Nutrientes e Micronutrientes e Traços no Oceano do Instituto Oceanográfico da USP (LABNUT - IO - USP), coordenado pela Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva. As coordenadas das estações das duas campanhas estão apresentadas na tabela 2.

SAMOC 2012				SAMO	DC 2016		
ESTAÇÃO	PROF.(dbar)	LATITUDE	LONGITUDE	ESTAÇÃO	PROF.(dbar)	LATITUDE	LONGITUDE
1	12	-33,249	-52,648	1	12	-33,249	-52,646
2	12	-33,387	-52,534	2	12	-33,383	-52,533
3	25	-33,564	-52,348	3	25	-33,563	-52,346
4	70	-33,712	-52,206	4	70	-33,716	-52,204
5	42	-33,832	-52,074	5	42	-33,831	-52,075
6	65	-34	-51,934	6	65	-34,001	-51,935
7	122	-34,167	-51,833	7	122	-34,166	-51,832
8	145	-34,251	-51,748	8	150	-34,252	-51,751
9	530	-34,336	-51,669	9	165	-34,299	-51,709
10	985	-34,416	-51,587	10	370	-34,317	-51,684
11	1370	-34,5	-51,498	11	990	-34,412	-51,589
12	2560	-34,5	-51,003	12	1330	-34,497	-51,514
13	2885	-34,5	-50,519	13	2550	-34,488	-51,015
14	3170	-34,503	-50,005	14	2920	-34,502	-50,518
15	3550	-34,502	-49,5	15	3170	-34,494	-50,002
16	4200	-34,497	-48,513	16	3540	-34,494	-49,48
17	4630	-34,499	-47,503	17	3880	-34,477	-48,992
18	4680	-34,5	-46,749	18	4090	-34,471	-48,492
19	4820	-34,499	-46,091	19	4380	-34,474	-47,98
20	4845	-34,5	-44,499				

Tabela 2. Latitudes e longitudes das estações oceanográficas do Projeto SAMOC nas campanhas de dezembro/2012 e setembro /2016.

As malhas amostrais das duas campanhas estão ilustradas nas figuras 6 e 7, onde se observam as profundidades amostradas.



Figura 6. Malha amostral do transecto ao longo de 34,5°S, próximo à costa da região Sul do Brasil (SAMOC dezembro/2012).



Figura 7. Malha amostral do transecto ao longo de 34,5°S, próximo à costa da região Sul do Brasil (SAMOC setembro/2016).

#### 3.2 Parâmetros físicos e químicos

Os parâmetros avaliados da coluna d'água seguiram as seguintes metodologias de amostragem e análises:

#### **3.2.1 Temperatura e salinidade**

Os dados de temperatura e salinidade foram obtidos através do registro de um CTD *Seabird SBE 911 plus* acoplado à rosette *Seabird SBE 32* com 24 garrafas. As amostras de água para determinação pontual da salinidade foram coletadas das garrafas *Niskin* em frascos âmbar de 250 ml, e analisadas a bordo em salinômetro *AutoSal Guildline*, com precisão de 0,0002 PSU para valores de salinidade entre 2 e 38 PSU. Estes valores foram utilizados para calibrar os valores obtidos com o CTD.

#### 3.2.2 Densidade Neutra e Potencial

A densidade foi utilizada para refinar os limites das massas d'água, e para este estudo foi adotada na plataforma continental, segundo Möller *et al.*, 2008, a densidade potencial  $\sigma_0$ , e fora da plataforma, a densidade neutra ( $\gamma^n$ ), calculada a partir dos dados de localização de latitude e longitude, e dos dados de temperatura, salinidade e pressão, segundo Jackett, Mcdougall, 1997. Os cálculos foram realizados pelo grupo de Oceanografia Dinâmica do Servicio Hidrografico Naval, Buenos Aires, Argentina.

#### 3.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)

A amostragem de OD foi a primeira a ser realizada, diretamente das garrafas *Niskin*, utilizando um redutor de fluxo para evitar a formação de bolhas. As amostras foram coletadas em frascos do tipo *Erlenmeyer*, com volumes previamente calibrados e tampas mergulhadoras que permitem que a análise seja realizada diretamente no frasco. Logo após a coleta as amostras foram imediatamente fixadas com reagentes a base de cloreto de manganês II e iodeto de potássio alcalinizado, conservadas ao abrigo da luz em local fresco. A análise foi realizada a bordo entre 3 e 8 horas após a coleta, utilizando o método de Winkler (1888 *apud* GRASSHOFF *et al.*, 1983) por meio de uma titulação potenciométrica com utilização de titulador automático Titrando *Metrohm*. O método apresenta precisão de  $\pm$  0,01 ml L<sup>-1</sup> para teores até 2 ml L<sup>-1</sup> e  $\pm$  0,02 ml L<sup>-1</sup> para teores superiores.

#### 3.2.4 Nutrientes

As amostras de água para análise de nutrientes principais (fosfato, silicato, nitrito e nitrato) foram coletadas diretamente das garrafas tipo *Niskin*, em frascos de polietileno de

alta densidade com volume de 250 ml, ambientados com a própria amostra, e foram armazenados em freezer a -20°C, para análise posterior em laboratório.

As concentrações de silicato e fosfato foram determinadas por método colorimétrico seguindo a metodologia descrita em Grasshoff *et al.*,1999. As leituras das absorbâncias foram realizadas em espectrofotômetro Bioespectro – SP220, utilizando comprimento de onda de 880 nm para o fosfato e 810 nm para o silicato. A precisão do método é de  $\pm 0,01 \mu$ M para o P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> fosfato, e de  $\pm 0,1 \mu$ M para o Si-Si(OH)<sub>4</sub> silicato.

As concentrações de nitrato e nitrito foram determinadas em equipamento automático – *AutoAnalyzer II (Bran-Luebbe*®). A metodologia específica para análise em fluxo contínuo com arraste por bolhas foi baseada em Grasshoff *et al.*, 1983, Tréguer e Le Corre, 1975 e Braga 1997a; 1997b. A determinação do nitrato envolve o uso de coluna de cádmio cuperizado para a redução do nitrato a nitrito. O valor de nitrito total (nitrito + nitrato reduzido) menos o valor do nitrito fornece o valor de nitrato. A precisão do método para N-NO<sup>-2</sup> nitrito é de  $\pm$  0,01 µM e para N-NO<sup>-3</sup> nitrato é de  $\pm$  0,02 µM.

#### 3.2.5 Clorofila

As amostras foram coletadas diretamente das garrafas *Niskin* em frascos de polietileno de baixa densidade de 2L que foram filtradas a bordo, utilizando filtros de fibra de vidro com porosidade nominal de 0,45µm GF/F da marca Whatman®. Os filtros foram armazenados em tubos de ensaio e mantidos congelados até a análise em laboratório. A extração dos pigmentos foi realizada com a maceração dos filtros em acetona 90% (v/v), que foram mantidos ao abrigo de luz e sob refrigeração por período de 22 horas. As amostras foram centrifugadas a 3200 rpm por 10 minutos e o sobrenadante foi utilizado para realizar a leitura em espectrofotômetro Bioespectro – SP220 nos vários comprimentos de onda descritos no método. Os valores estimados de clorofila-a foram calculados utilizando o método de Jeffrey, Humphrey ,1975.

#### 3.2.6 Dados pretéritos

Os dados pretéritos de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato, obtidos em diversos bancos de dados, dos programas *South Atlantic Ventilation Experiment* -1989 (SAVE), *leg* 5 e *leg* HYDROS4, *World Ocean Circulation Experiment* –

1994 (WOCE) e GEOTRACES – 2010, foram utilizados para ajustar os dados obtidos no projeto SAMOC. As estações foram escolhidas de acordo com a proximidade em relação ao transecto do Projeto SAMOC. Do Projeto SAVE foram utilizadas as estações 8532481 da *leg* 5 e 8532486 da *leg* HYDROS4, do Programa WOCE - A17, as estações 30, 35, 65, 70 e de 43 a 58, e no Projeto GEOTRACES, as estações de 18 a 21.

Os dados do Programa WOCE, transecto A17 também foram utilizados para avaliar o processo de circulação que ocorre na área de estudo. Para isso foram utilizados os dados das estações ao norte do transecto de 34,5°S, da estação 60 a 100. E ao sul de foram utilizadas as estações de 4 a 40. Esses dados serviram de base para a avaliação dos dados obtidos no Projeto SAMOC, que por sua vez foram separados em porção oeste e leste, a partir da longitude 49,5°W.

As quantidades totais de amostras coletadas e analisadas neste trabalho se encontram na tabela 3.

	SAMOC 2012	<b>SAMOC 2016</b>
Parâmetro	Nº amostras	Nº amostras
OD	269	199
Fosfato	269	199
Silicato	269	199
Nitrato/Nitrito	269	199
Cl-a	106	95
Nº estações	20	19
Total	1448	1121

Tabela 3. Quantidade de amostras geradas nas campanhas do Projeto SAMOC, em dezembro de 2012 e setembro de 2016.

#### 3.3 Tratamento de dados

Os dados obtidos foram organizados em planilhas utilizando o Programa Excel® 2007, os dados de oxigênio dissolvido, silicato, fosfato e nitrato dissolvidos foram convertidos de  $\mu$ M para  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>, considerando a densidade da água, pois esta é a unidade mais utilizada em trabalhos de águas oceânicas.

Os dados pretéritos dos Programas e Projetos SAVE, WOCE e GEOTRACES, assim como os obtidos pelo Projeto SAMOC, de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato passaram por um tratamento de estatística descritiva, para obter os máximos, mínimos, médias e desvios padrões de cada parâmetro, com o objetivo de avaliar possíveis desvios do projeto SAMOC que estivessem fora dos padrões observados nos estudos anteriores. Foi calculado um intervalo para o ajuste utilizando-se a média do parâmetro dos Projetos pretéritos em um determinado intervalo de pressão, mais ou menos 3 vezes o valor do desvio padrão do mesmo, permitindo assim que aproximadamente 99% dos valores observados estejam dentro da curva de distribuição normal.

Os dados de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato obtidos na região da plataforma continental foram utilizados para realizar uma correlação de Pearson, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$  para os dois períodos de amostragem.

Com o auxílio do Programa *Surfer* 10® foram gerados gráficos, e perfis de interpolações para visualizar os padrões de distribuição das massas d'água presentes na região. O método de interpolação utilizado foi o *Krigging*, um método linear que utiliza funções matemáticas para estimar combinações ponderadas dos dados existentes associando pesos maiores para os pontos estimados mais próximos do observado e pesos menores para pontos estimados mais distantes. A função mais utilizada é o variograma, que relaciona a variância de pares de observações e a distância que separa essas observações. A krigagem ordinária é conhecida por BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), as estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados disponíveis, e não enviesada porque tenta levar o erro residual a zero e melhor porque procura minimizar a variância dos erros (ISAAKS, SRIVASTAVA, 1989).

# 4. Resultados e discussão

# 4.1 Tratamento dos dados do SAMOC com referência aos dados pretéritos

O primeiro tratamento realizado com os dados obtidos nas duas campanhas do Projeto SAMOC foi uma avaliação em relação aos dados históricos obtidos em projetos pertencentes a Programas internacionais realizados no Atlântico Sul que obtiveram dados de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato dissolvido, silicato dissolvido e nitrato dissolvido na região de estudo. Os Programas com pontos de coleta nas imediações do Projeto SAMOC foram *South Atlantic Ventilation Experiment* (SAVE) -1989, *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE) - 1994 e GEOTRACES – 2010. Desses projetos foram avaliadas as estações que apresentavam localizações mais próximas às estações do projeto SAMOC, conforme figura 08.



Figura 8. Localização das estações do Projeto SAMOC (2012 e 2016), e das estações dos Projetos SAVE (1989), WOCE (1994) e GEOTRACES (2010) mais próximas da área de estudo.

Os dados de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato dissolvidos obtidos em projetos anteriores e os das duas campanhas do Projeto SAMOC foram plotados em perfis verticais com a pressão (Fig.9). Foi observado que os dados do SAMOC 2012 e 2016 apresentaram alguns valores fora das curvas de tendência apresentada pelos outros projetos em alguns níveis de profundidade mais acentuados que outros e considerando as variações para os diferentes parâmetros.

Os padrões de distribuição vertical dos valores de temperatura potencial e de salinidade foram os mais semelhantes em todos os projetos, com diferenças mais marcantes nas águas superficiais (Fig. 9 a, b), o que em parte pode ser explicado pelas diferentes épocas do ano em que foram coletadas, e no caso específico do Projeto SAMOC, o perfil inclui estações mais próximas à costa, sobre a plataforma continental que sofrem maior influência de aportes terrestres via Rio da Prata.

O oxigênio dissolvido foi o parâmetro que apresentou a maior variabilidade entre os Projetos avaliados. No caso do Projeto SAMOC, a influência das estações mais costeiras aumentou o intervalo nas camadas superiores, com o menor valor observado no SAMOC 2012 (130 µmol kg<sup>-1</sup>), e o mais elevado para o SAMOC 2016 (293 µmol kg<sup>-1</sup>). Normalmente, em águas menos profundas, o mínimo de oxigênio está associado à profundidade onde ocorre o máximo de oxidação da matéria orgânica. O valor máximo de oxigênio dissolvido no perfil estudado, característico da Água Intermediária Antártica (REID, 1989) foi observado a aproximadamente 1000 dbar, e apresentou diferentes faixas de valores, um maior espalhamento, com o GEOTRACES apresentando os menores valores (215 µmol kg<sup>-1</sup>) e o WOCE os maiores (275 µmol kg<sup>-1</sup>). O máximo característico da Água Profunda do Atlântico Norte, foi observado entre 2000 e 3000 dbar, com valores mais baixos apresentados pelo GEOTRACES, 203 µmol kg<sup>-1</sup>, e mais elevados pelo WOCE e SAMOC 2012 (250 e 254 µmol kg<sup>-1</sup> respectivamente). O Projeto GEOTRACES apresentou a maior dispersão dos dados de OD, com predominância de valores menores que os outros Projetos (Fig. 9 c).

O fosfato apresentou grande variabilidade na camada superficial, com as maiores concentrações observadas no SAMOC 2012 (max. 1,63  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>). Os valores máximos característicos da ACS (entre 2,24 e 2,38  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e os da ACI (entre 2,03 e 2,35  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>), assim como os mínimos característicos da APAN (entre 1,40 e 1,84  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>), apresentaram as maiores variabilidades dentre os Projetos pretéritos. Os Projetos SAMOC 2012 e 2016 apresentaram os menores valores em relação aos projetos anteriores (Fig. 9 d), com valores máximos da ACS de 2,18  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> em 2012 e de 2,19  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> em 2016, para a ACI (2,37 e 1,90  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e o valor mínimo da APAN (1,14 e 1,90  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>)
O silicato apresentou os valores mais elevados nas camadas superficiais no SAMOC 2016, alcançando concentrações de até 45  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>, evidenciando a influência do Rio da Prata na região costeira. Da mesma forma que o fosfato, o máximo de silicato que identifica a ACS (com valores entre 49,00 e 70,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e a ACI (com valores entre 87,00 e 108,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e o valor mínimo que identifica a APAN (entre 25,00 e 60,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) O silicato apresentou as maiores variabilidades entre os projetos pretéritos, e o SAMOC 2016 apresentou as menores concentrações para a ACS (21,80  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e também para a APAN (14,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) (Fig. 9 e).

O nitrato não indicou tanto o aporte terrestre, e apresentou pouca variabilidade para distinguir as águas superficiais. No caso das águas subsuperficiais até aproximadamente o máximo da ACS (1500 dbar), o nitrato no GEOTRACES, com máximo de 35,03 µmol kg<sup>-1</sup> e o SAMOC 2016, com máximo de 35,55 µmol kg<sup>-1</sup>, apresentaram os maiores valores de nitrato. Já o mínimo de nitrato relativo à APAN, as menores concentrações foram observadas pelos projetos SAMOC 2012 e 2016 (Fig. 9 f).



Figura 9. Perfis verticais de distribuição de temperatura potencial (a), salinidade (b), oxigênio dissolvido (c), fosfato (d), silicato (e) e nitrato (f) para os projetos SAMOC 2012 (preto), SAMOC 2016 (vermelho), SAVE 1989 (rosa), MHYDROS4 1989 (laranja), WOCE1994 (azul) e GEOTRACES 2010 (verde).

Após uma avaliação geral dos perfis de distribuição vertical dos dados do SAMOC em relação aos obtidos pelos programas anteriores, foram realizados cálculos de estatística descritiva, buscando obter intervalos de ajuste baseados nos dados dos projetos anteriores, os quais foram separados por faixas de profundidades escolhidas com base nas inflexões das curvas da figura 9 e divididas em camadas de forma a obter os melhores intervalos de concentrações de cada parâmetro. As profundidades selecionadas foram de 200 a 500 dbar, 500 a 750 dbar, 750 a 1000 dbar, 1000 a 1500 dbar, 1500 a 1800 dbar, 1800 a 2200 dbar, 2200 a 2600 dbar, 2600 a 3000 dbar, 3000 a 3500 dbar e 3500 a 5000 dbar. A faixa que compreende a superfície e 200 dbar não foi incluída nesse processo visto que os dados dos projetos pretéritos considerados não continham estações na plataforma continental, com uma maior influência dos aportes continentais (mais próximas ao continente e mais rasas), o que acarretaria em intervalos muito diferenciados, se comparados aos dados de superfície de estações fora da plataforma. As variações de águas superficiais e daquelas próximas ao continente, normalmente são bem diferenciadas, devido não só aos aportes continentais, mas também aos processos biológicos e químicos como a produção primária e as trocas com a atmosfera, entre outros.

Os dados de oxigênio dissolvido obtidos no projeto GEOTRACES (2010) não foram incluídos nos cálculos dos intervalos, pois algumas estações apresentaram valores com grandes desvios em relação aos demais projetos.

Com base nos valores médios e desvios padrões dos dados dos projetos anteriores, foram estabelecidos os intervalos de ajuste, calculados a partir da média de cada parâmetro em cada camada mais ou menos 3 sigmas (Tab. 04).

Tabela 4. Valores de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato médios, valor de 3 sigmas para cada parâmetro em cada faixa de pressão em dbar.

	T med.		Salin.		OD med.	
Pressão(dbar)	(°C)	3σ	med.	3σ	(µmol kg <sup>-1</sup> )	3σ
200 - 500	11,9175	10,9100	35,1381	3,2910	222,69	56,31
500 -750	5,8510	5,2680	34,3604	0,5190	239,29	67,02
750 -1000	3,8410	1,9070	34,2653	0,1270	241,90	57,78
1000 - 1500	2,9680	0,6690	34,4465	0,3120	202,92	40,16
1500 - 1800	2,8600	1,4727	34,6387	0,2520	189,31	25,02
1800 - 2200	3,0830	0,8980	34,8156	0,1710	214,06	47,46
2200 - 2600	2,9800	1,0190	34,8840	0,1260	232,72	39,69
2600 - 3000	2,2470	1,3350	34,8422	0,1830	231,30	46,23
3000 - 3500	1,4910	1,5156	34,7733	0,1860	222,44	49,05
3500 - 5000	0,4090	1,2495	34,6927	0,0810	215,85	20,40

	Fost med.		Sil med.		Nit med.	
Pressão(dbar)	(µmol kg⁻¹)	3σ	(µmol kg⁻¹)	3σ	(µmol kg⁻¹)	3σ
200 - 500	0,91	1,36	4,71	9,04	12,48	21,18
500 -750	1,69	0,62	14,75	19,50	25,30	10,00
750 -1000	2,02	0,43	26,67	27,24	29,99	7,30
1000 - 1500	2,24	0,21	50,01	23,32	33,12	3,30
1500 - 1800	2,15	0,44	57,68	24,90	31,75	6,30
1800 - 2200	1,80	0,52	46,12	33,60	26,79	7,90
2200 - 2600	1,60	0,46	40,76	34,80	23,97	6,50
2600 - 3000	1,75	0,76	59,93	63,50	25,75	9,69
3000 - 3500	2,02	0,80	87,08	64.80	29,02	9,18
3500 - 5000	2,23	0,24	119,35	27,60	32,49	4,50

Com a utilização das faixas de profundidades e seus intervalos de valores foi possível ajustar os dados obtidos no Projeto SAMOC 2012 e 2016, eliminando valores fora do intervalo do valor médio mais ou menos 3 sigma, e também de possíveis *outliers*, esses dados ajustados foram plotados novamente em função da pressão, conforme a Fig. 10.



Figura 10. Perfis verticais de distribuição de temperatura potencial (a), salinidade (b), oxigênio dissolvido (c), fosfato (d), silicato (e) e nitrato (f) para os projetos SAMOC 2012, SAMOC 2016, avaliados pelo intervalo de ajuste, média  $\pm 3\sigma$  (barras em cinza).

	2012	2012	Dados	2016	2016	Dados
	total	retirados	utilizados(%)	Total	retirados	utilizados(%)
Tpot	268	0	100	199	0	100
Sal.	268	0	100	199	0	100
OD	265	1	99,62	199	1	99,49
PO <sub>4</sub>	264	42	84,09	199	44	77,88
SiO <sub>4</sub>	267	15	94,38	199	11	94,47
NO <sub>3</sub>	267	33	87,64	199	190	95,47

Tabela 5. Porcentagem de dados ajustados de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato dos projetos SAMOC 2012 e 2016.

Os dados de temperatura potencial e salinidade como são parâmetros conservativos já se esperava que não apresentasse muita variabilidade. Os dois não apresentaram nenhum valor foram do intervalo para as duas campanhas. Os dados de oxigênio dissolvido foram os dados com melhor ajuste relativo aos projetos anteriores (~99,0%), seguidos dos dados de silicato (~94,0%). O nitrato apresentou melhor ajuste em 2016 (95,5%), e o fosfato apresentou melhor ajuste em 2012 (84,%). Esse ajuste mostrou que os dados obtidos no Projeto SAMOC apresentaram valores próximos e que acompanharam as curvas de tendência dos projetos anteriores, com as diferenças mais significativas para os parâmetros químicos, e entre esses o que apresentou valores mais deslocados foi o fosfato.

# 4.2 Identificação das massas d'água

Os dados de temperatura potencial e salinidade obtidos nas duas campanhas do Projeto SAMOC foram plotados em diagramas T-S (Figs. 11 e 12), que revelaram feições compatíveis as massas d'água geralmente descritas na literatura para o Oceano Atlântico Sul, as águas de plataforma: Água da Pluma do Prata (APP), Água Subantártica de Plataforma (ASAP) e Água Subtropical de Plataforma (ASTP), segundo o descrito por MÖLLER *et al.*, 2008. E no caso das águas fora da plataforma foram reconhecidas: Água Tropical (EMILSSON, 1961), Água Central do Atlântico Sul (SILVEIRA, 2000), Água Intermediária Antártica (PIOLA, GEORGI, 1982; SVERDRUP *et al.*, 1942), Água Circumpolar Superior e Inferior (TSUCHIYA *et al.*, 1994), Água Profunda do Atlântico Norte (REID, 1989; TSUCHIYA *et al.*, 1994) e Água de Fundo Antártica (BOSWELL, 2002; EMERY, 2003).



Figura 11. Diagrama T –S referente às combinações de temperatura potencial, salinidade, densidade potencial ( $\sigma_0$ ) do transecto localizado próximo a 34,5°S, próximo à costa do Brasil (Dezembro, 2012).



Figura 12. Diagrama T – S referente às combinações de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial ( $\sigma_0$ ) do transecto localizado próximo a 34,5°S, próximo à costa do Brasil (Setembro, 2016).

As massas d'água, tradicionalmente são identificadas primeiramente pelos parâmetros físicos temperatura, salinidade e densidade. Existem diversos modelos de classificação por densidade, como o de densidade potencial, densidade por faixas de pressão ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , etc.) e densidade neutra ( $\gamma^n$ ). Este trabalho se baseou em dois modelos distintos para tratar das águas da região, a densidade potencial para as águas de plataforma e a densidade neutra para as águas oceânicas. As águas de plataforma e as oceânicas estão sujeitas a regimes dinâmicos distintos. Na plataforma continental, o regime é influenciado pelo vento, pelos fluxos de calor superficiais, pela batimetria e pela descarga continental, com aporte do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos e também pela interação das águas da plataforma da região de estudo, ou seja, a Água Subantártica de Plataforma e Água Subtropical de Plataforma e as massas Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul (MÖLLER *et al.*, 2008). Essas interações estão sujeitas às variações sazonais. Na região

fora da plataforma, as massas d'água se encontram sob influência das Corrente do Brasil e das Malvinas, além da dinâmica da circulação termohalina do *South Atlantic Meridional Overturning Circulation* (SAMOC).

## 4.2.1 Plataforma Continental

As águas de plataforma foram analisadas com base no trabalho realizado pelo projeto PLATA – 2003/2004, que tinha o objetivo de estudar a região da plataforma sudoeste do Oceano Atlântico que sofre influência da descarga do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, esse estudo gerou uma bibliografia específica para área do presente estudo. Nessa região, considerando o trabalho de Möller *et al.*, 2008 as águas podem ser identificadas de acordo com a tabela 6.

Tabela 6. Intervalos de temperatura potencial (°C) e salinidade utilizados na identificação das águas da plataforma sudoeste do Atlântico Sul, segundo MÖLLER et al., 2008. (APP: Água da Pluma do Prata, ASAP: Água Subantártica de Plataforma, ASTP: Água Subtropical de Plataforma, AT: Água Tropical e ACAS: Água Central do Atlântico Sul).

Massas	T (°C)	S
APP	T > 10,0	S ≤ 33,5
ASAP	$T \le 14,0$ (inverno)	$33,5 \le S \le 34,2$
	$T \leq 21,0$ (verão)	$33,5 \le S \le 34,2$
ASTP	T>14,0	33,5 < S < 35,3
(inverno)	T > 18,5	35,3 ≤ S <36,0
ASTP	T>18,5	35,3 < S < 36,0
(verão)	T > 21,0	33,5 < S < 35,3
AT	T ≥ 18,5	S ≥ 36,0
ACAS	T ≤ 18,5	S ≥ 35,3

As estações localizadas sobre a plataforma foram de 1 a 8 para a campanha de 2012, e de 1 a 9 para a campanha de 2016.

#### Projeto SAMOC - CAMPANHA 2012

Em dezembro de 2012, verão austral, a Água da Pluma do Prata foi observada da estação 1 a 8 em profundidades entre a superfície e 60 dbar (est. 6), ocupando grande parte da plataforma. Apresentou temperatura potencial mínima de 10,864°C (est. 6 a 61 dbar) e máxima 22,433°C (est.1 a 2 dbar). As temperaturas superficiais encontradas neste estudo, para a região de 34,5°S ficaram em torno de 21°C, com exceção da estação 1 (~22°C), valores próximos aos encontrados no verão de 2004 por Möller et al, 2008. A salinidade variou entre 31,152 (est. 2 a 3 dbar) e 33,354 (est. 6 a 61 dbar). As estações 4, 5 e 6 apresentaram temperaturas menores que as observadas em 2004, em algumas profundidades mais próximas do fundo. Na estação 4, abaixo da APP, águas com características da Água Subantártica de Plataforma modificada por misturas com a APP foram observadas entre 60 e 65 dbar de profundidade, com temperaturas e salinidades próximas a 16,150°C e 34,350. A Água Subtropical de Plataforma foi observada nas estações 7 (55 dbar) e 8 (40 dbar), com temperaturas próximas a 20,000°C e salinidade a 35,300. A Água Central do Atlântico Sul apareceu na plataforma continental nas estações 7 (abaixo de 90 dbar) e 8 (abaixo de 100 dbar) com temperatura e salinidade média de 15,072°C e 35,550 respectivamente. A Água Tropical foi observada somente na estação 8 (73 dbar) com temperatura de 19,646°C e salinidade de 36,040, valores entre os mais baixos para esta massa se comparados ao estudo de Möller et al., 2008. (Fig13).



Figura 13. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC de dezembro de 2012, estações 1 a 8, sobre a plataforma, separadas por cor, adaptado de Möller *et al.*, 2008.

O oxigênio dissolvido apresentou as concentrações mais elevadas (entre 210 e 240 umol kg-1) nas profundidades mais rasas, até 20 dbar, o que pode estar relacionado à interação com a atmosfera e com a produção primária. A estação 4 apresentou um mínimo de oxigênio (~162,00 µmol kg<sup>-1</sup>) próximo ao fundo, possivelmente relacionado a topografia, pois esta estação está localizada sobre uma fenda que pode estar associada a um canal que se encontra na região, ao longo da costa do Uruguai e sul do Rio Grande do Sul, considerado um canal do Rio da Prata, formado em um período no qual o nível do mar esteve mais baixo que o atual (FRAMIÑAN, 2005). Apesar de a água amostrada ter apresentado as características físicas da Água Subantártica de Plataforma, a concentração oxigênio estava muito baixa para essa massa, que seria mais oxigenada devido a sua origem. (MAAMAATUAIAHUTAPU et al., 1994). Neste caso, a água pode ter apresentado pouca possibilidade de ventilação, diminuindo os valores de OD devido ao seu uso para a regeneração e oxidação de matéria orgânica, ou ainda devido a mistura com águas menos oxigenadas (Fig.14 a). Neste ponto as concentrações de fosfato, silicato, nitrato e nitrito se apresentaram relativamente elevadas, aproximadamente 1,20 µmol kg<sup>-1</sup> para o fosfato, 13,00 µmol kg<sup>-1</sup> para o silicato, 7,00 µmol kg<sup>-1</sup> para o nitrato e 0,10 µmol kg-1 para o nitrito, caracterizando uma água enriquecida, a ASAP, e/ou processos de remineralização sinalizados pela baixa concentração de oxigênio (Fig.14 b, c, d). Esse processo de remineralização também foi mais notado na estação 7, que apresentou a menor concentração de oxigênio dissolvido (131,47  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> a 30 dbar) e valor relativamente alto de nitrito (0,32  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>), indicando um possível processo incompleto de regeneração do nitrogênio (Fig. 14 e) devido ao pouco oxigênio disponível. A maior concentração de oxigênio dissolvido na plataforma foi encontrada na estação 4 na superfície (235,95  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>).

O fosfato apresentou as concentrações mais elevadas, ambas 0,84 µmol kg<sup>-1</sup>, na estação 1 a 11 dbar, a mais próxima da costa e também na estação 5 a 25 dbar, ambas em com águas características da APP, mostrando a influência da descarga fluvial e as possíveis misturas com as águas da ASAP.

O silicato também apresentou suas maiores concentrações nas estações mais próximas da costa, com valores próximos a 14,00 µmol kg<sup>-1</sup>nas estações 1 e 2, onde a salinidade apresentou seus menores valores, observando-se a correlação negativa que costuma ocorrer entre esses dois parâmetros, quando indicam aportes de águas continentais.

As menores concentrações de fosfato  $(0,21 \ \mu mol \ kg^{-1})$  e silicato  $(2,68 \ \mu mol \ kg^{-1})$  foram observadas na estação 8 a 40 dbar, mostrando a menor influência do aporte terrestre e da pluma do Rio da Prata. No geral, foi observado que conforme as estações vão se afastando da costa as concentrações de fosfato e silicato vão diminuindo, mostrando a influência do aporte terrestre para o ambiente marinho desses nutrientes (EICHLER *et al.*, 2008).

Os baixos valores de nitrato (entre 0,01 e 2,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) observados nas águas superficiais das estações mais próximas à costa mostraram que esse nutriente sinaliza pouco a influência de aportes continentais, segundo Gomez-Erache *et al*, 2001 o nitrato pode ser consumido no interior do rio da Prata. Nas estações 7 e 8 as concentrações mais elevadas de nitrato (entre 6,26 e 9,62  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) evidenciam a presença da ACAS sobre a plataforma. O nitrito apresentou seus maiores valores nas mesmas profundidades onde o oxigênio dissolvido apresentou suas menores concentrações, isso ocorreu nas estações 1 (10 dbar), 2 (20 dbar), 3 (25 dbar), 5 (40 dbar) e 6 (60 dbar), mais uma vez evidenciando o processo de remineralização incompleta do nitrogênio com o uso de oxigênio.

A clorofila-a apresentou suas maiores concentrações, entre 2,5 e 3,2 mg m<sup>-3</sup> nas estações 1, 2 e 3 (Fig.14 f), valores mais elevados próximos a costa também foram observados por Calliari *et al.*, 2009 e Ciotti *et al.*, 1995, possivelmente influenciadas pelo suprimento dos nutrientes via APP. Nas demais estações os valores observados foram baixos (< 1 mg m<sup>-3</sup>), compatível com o encontrado em estudos anteriores que indicam que entre outubro e março seria o período de mínimo para esse parâmetro (PIOLA *et al.*, 2008). Nesta região, a APP é a massa que fornece o suprimento de fosfato e silicato para a camada eufótica, enquanto o nitrato estaria mais associado ás aguas mais frias e/ou salinas, a ASAP e ACAS.



Figura 14. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido (a), fosfato dissolvido (b), silicato dissolvido (c), nitrato dissolvido (d), nitrito dissolvido (e) e clorofila-a (f) para as estações sobre a plataforma continental, para a campanha do Projeto SAMOC dezembro, 2012.

#### Projeto SAMOC - CAMPANHA 2016

Na campanha de 2016 do Projeto SAMOC, realizada em setembro, final do inverno austral, a Água da Pluma do Prata foi observada nas estações 1 a 6, da superfície até 67 dbar, ainda ocupando uma grande área da plataforma. A temperatura potencial variou entre 10,453°C (est. 4 a 67 dbar) e 12,568°C (est. 1 na superfície), um intervalo mais estreito se comparado ao estudo de Möller *et al.*, 2008. As temperaturas aumentaram em direção ao fundo nas estações 7, 8 e 9, essa termoclina inversa foi observada no meio e na quebra da plataforma na região de Rio Grande (~32°S) e Cabo Santa Marta (~28°S) em 2008. Isso pode ocorrer devido à entrada, na plataforma, de águas mais quentes e salinas, que por serem mais densas, vão ocupar o fundo da coluna d'água (CASTELLO, MÖLLER, 1977; ZAVIALOV *et al*, 2003). Na região de 34,5°S, no período amostrado, a água que subiu a plataforma foi reconhecida como a Água Central do Atlântico Sul.

A salinidade variou entre 24,874 (est.1 na superfície) e 32,857 (est. 4 a 67 dbar). Na estação 6 abaixo da Água da Pluma do Prata, observaram-se águas com características de mistura entre esta e a Água Subantártica de Plataforma, com temperatura aproximada de 9°C e salinidade de 33,5. A Água Subantártica de Plataforma foi observada na estação 7, da superfície até 75 dbar, e na estação 8, de 75 a 105 dbar, a temperatura potencial variou entre 10,075°C (estação 7, 75 dbar) e 11,436°C (estação 7, superfície), a salinidade entre 33,630 (estação 7 a 77 dbar e 34,013 (estação 8 a 106 dbar).

Na porção superior da estação 8 (superfície a 23 dbar) observou-se uma mistura entre a Água Subantártica de Plataforma Subantártica e a Água Subtropical de Plataforma, com temperatura potencial variando entre 13,288 e 14,049°C e salinidade entre 34,154 e 34,392. A Água Subtropical de Plataforma foi observada na estação 9, a última da plataforma, da superfície até 10 dbar, uma água mais quente (entre 15,500 e 16,500°C) e salina (entre 34,760 e 35,150) que a ASAP.

A Água Central do Atlântico Sul fez uma intrusão na plataforma observada no fundo das estações 7 e 8 (122 e 148 dbar, respectivamente), com temperatura próxima a 14,300°C e salinidade a 35,300, e na estação 9 (de 50 a 160 dbar), com temperatura entre 14,445 e 18,341°C e salinidade entre 35,415 e 35,877. Neste período amostral, a ASAP teve presença mais marcada na região, enquanto a ASTP foi observada em estações no fim da plataforma, e a AT não foi observada sobre a plataforma (Fig. 15).



Figura 15. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC de setembro de 2016, estações 1 a 9, sobre a plataforma, separadas por cor, adaptado de Möller *et al.*, 2008.

O oxigênio dissolvido apresentou concentração mínima de 193,11  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est.9 a 160 dbar) e máxima de 293,07  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est.6 na superfície). Na estação 1 observou-se um mínimo de 223,26  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> na profundidade 5 dbar. Nas estações mais afastadas da costa (7, 8 e 9) observaram-se valores próximos a 200,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> em profundidades abaixo de 100 dbar (Fig. 16 a). Os nutrientes mostraram uma distribuição mais homogênea na coluna d'água. O fosfato e silicato apresentaram concentrações mais elevadas nas estações 1 e 2, mais próximas à costa, consequência do aporte terrestre somado à contribuição do Rio da Prata. O fosfato apresentou concentração máxima de 0,84  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> na estação 1 a 10 dbar e na 4 a 41 dbar (Fig. 16 b). O silicato apresentou concentração de até 45,07  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>, observada na estação 1 a 5 dbar (Fig. 16 c). O nitrato apresentou as maiores concentrações nas estações mais afastadas da costa, com valores de 14,10 a 18,72  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> entre 50 e 100 dbar na estação 9 (Fig.16 d). O nitrito apresentou os valores mais

respectivamente. Esses valores estão associados com valores elevados de nitrato, e baixas concentrações de oxigênio, indicando processos de remineralização (Fig. 16 a, d, e). A clorofila-a apresentou valor máximo de 3,62 mg m<sup>-3</sup> (est. 9 na superfície) na ASTP, e apresentou valores entre 2,00 e 3,50 mg m<sup>-3</sup> em estações mais próximas da costa (2, 3 e 6) associados a APP (Fig. 16 f). Os valores foram similares aos encontrados no verão de 2012, porém em 2016 os maiores valores foram observados nas águas da APP e da ASAP e suas misturas.



Figura 16. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido (a), fosfato dissolvido (b), silicato dissolvido (c), nitrato dissolvido (d), nitrito dissolvido (e), e clorofila-a (f) para as estações sobre a plataforma continental para a campanha do Projeto SAMOC setembro, 2016.

### 4.2.2 Variação entre os períodos

As duas campanhas do Projeto SAMOC foram realizadas em períodos distintos do ano, em 2012, ocorreu em dezembro, representando o verão austral, e em 2016, ocorreu em setembro, no final do inverno austral. Os parâmetros avaliados mostram a influência sazonal nos valores conforme demonstrado nos perfis de distribuição. Em 2012 (verão) observou-se uma maior estratificação da coluna d'água, e em 2016 (inverno) a coluna se mostrou mais misturada como pode se observar nos perfis verticais de salinidade e temperatura (Fig.17).



Figura 17. Perfis verticais de distribuição de temperatura, nas campanhas do Projeto SAMOC, para as estações sobre a plataforma continental, dezembro 2012 (a) e (b), setembro 2016 (d) e (e).

Na campanha de verão em 2012, de forma geral, as águas sobre a plataforma apresentaram-se mais quentes, mais salinas e mais estratificadas que no inverno em 2016. Segundo Piola *et al.* (2008), a Água da Pluma do Prata apresenta uma variação sazonal, não avançando tanto para o norte no verão, quando pode atingir até 32°S, mas avança mais em direção à quebra da plataforma, enquanto no inverno pode atingir até ~28°S. Essa variação espacial tem como forçante principal o vento, de norte-nordeste no verão, e de sul-sudoeste no inverno. Em 2012 (verão), esta água foi observada da estação 1 a 8, na longitude 51,747°W, enquanto em 2016 (inverno) ela atingiu somente até a estação 6, na longitude 51,934°W. A variação da distribuição da APP na plataforma nesta região tem papel importante na dinâmica das outras massas d'água, influenciando suas ocupações e interações na plataforma (PIOLA et al., 2005). No verão a Água Subantártica de Plataforma apareceu somente em uma estação (4) abaixo da APP, mais quente e salina do que a observada no inverno, quando teve uma presença mais expressiva, mais fria e menos salina (T~11°C - S~33), ASAP também pode ser observada em águas misturada a APP (T~9°C - S~33) ou ASTP (T~13,5°C - S~34,2). A Água Subtropical de Plataforma, no verão, foi observada nas estações localizadas na quebra da plataforma, abaixo da APP, e fora da plataforma, nas estações 9 e 10 em superfície, mais quente e salina que no período de inverno, quando foi observada na superfície na última estação da plataforma, e em algumas estações também fora da plataforma (13, 14, 15 e 16). A ACAS foi observada nos dois períodos no final da plataforma no fundo, porém no verão, dentro do mesmo intervalo T-S que a identifica, as temperaturas estiveram mais baixas do que no inverno. A AT foi observada somente no verão, apenas na última estação da plataforma.

A Água da Pluma do Prata apresentou concentrações de oxigênio dissolvido maiores que 220 µmol kg<sup>-1</sup> nas estações mais próximas da costa, e apresentou águas menos oxigenadas nas estações mais afastadas (<220 µmol kg<sup>-1</sup>), em 2012. No período de 2016 as águas da APP apresentaram-se mais oxigenadas, praticamente com todos os resultados acima de 231 µmol kg<sup>-1</sup>, com exceção da estação 1 a 5 dbar que apresentou concentração de 223 µmol kg<sup>-1</sup>. A Água Subtropical de Plataforma teve menor presença em 2012 e apresentou menores concentrações de oxigênio, comportamento oposto ao de 2016, quando a ASTP foi observada em mais estações e apresentou maiores concentrações (acima de 231 µmol kg<sup>-1</sup>). A Água Subantártica de Plataforma teve presença mais marcante no período de 2016 com águas bem oxigenadas (acima de 231 µmol kg<sup>-1</sup>).

A porção da ACAS que alcançou a plataforma em 2012 se apresentou menos oxigenada (entre 200 e 210  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) que em 2016 (entre 200 de 230  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>). Nos dois períodos menores concentrações de oxigênio podem ser utilizadas para identificar a ACAS. No inverno valores elevados de oxigênio podem ser associados à ASAP (Fig.18).



Figura 18. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em escala de cor para o oxigênio dissolvido, adaptado de Möller *et al.*, 2008.

O fosfato apresentou as maiores concentrações na Água da Pluma do Prata no verão de 2012, com os maiores valores observados em águas de fundo, mais salinas de estações mais afastadas da costa, o que podem indicar alguma mistura coma a Água Subantártica de Plataforma (CIOTTI, *et al*, 1995). A Água Subtropical de Plataforma apresentou baixas concentrações de fosfato nos dois períodos, mas relativamente mais altos no verão 2012. No inverno de 2016, o fosfato apresentou baixas concentrações em todas as massas d'água observadas, e por isso não seria um bom traçador nesse local e nesse período (Fig. 19).



Figura 19. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em escala de cor para o fosfato dissolvido, adaptado de Möller *et al.*, 2008.

A Água da Pluma do Prata apresentou as maiores concentrações de silicato nos dois períodos, com diminuição das mesmas a medida que as estações se afastam da costa. Os valores mais elevados foram observados no inverno de 2016 (15,00 a 45,00 µmol kg<sup>-1</sup>), e no verão entre 3,00 e 13,00 µmol kg<sup>-1</sup>, essa diferença também foi observada por Eichler *et al.*, 2008 que atribuem isso a maior produção primária que ocorre no verão. As outras massas d'água quando comparadas à APP apresentaram menores concentrações de silicato tanto no verão quanto no inverno, e menores variações sazonais. Enquanto a APP apresentou maiores valores no inverno, as outras apresentaram suas maiores concentrações no verão de 2012 (Fig.20).



Figura 20. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em escala de cor para o silicato dissolvido, adaptado de Möller *et al.*, 2008.

O nitrato apresentou baixas concentrações para a Água da Pluma do Prata nos dois períodos, com os menores valores no verão de 2012 (entre 0,01 e 7,77 µmol kg<sup>-1</sup>), o mesmo foi observado por Ciotti *et al.*, 1995. As concentrações aumentaram conforme as águas foram ficando mais frias e salinas, provavelmente devido a mistura com a Água Subantártica de Plataforma, esta apresentou valores mais elevados no inverno de 2016. A Água Subtropical de Plataforma apresentou as menores concentrações de nitrato entre as massas observadas na plataforma, com os maiores valores observados no inverno. A ACAS nos dois períodos foi a massa que apresentou maiores concentrações de nitrato, no verão entre 1,00 e 20,00 µmol kg<sup>-1</sup>, e no inverno entre 4,00 e 23,00 µmol kg<sup>-1</sup>, mostrando assim ser o nutriente mais adequado para identificar essa massa d'água como foi observado por Gaeta, Brandini (2006) (Fig.21).



Figura 21. Diagrama T – S da campanha do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (a), estações de 1 a 8 e setembro de 2016 (b), estações de 1 a 9, sobre a plataforma, em escala de cor para o nitrato dissolvido, adaptado de Möller *et al.*, 2008.

A análise da correlação de Pearson ( $\alpha$ =0,05) foi realizada para os parâmetros: temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato, nitrato, nitrito e clorofila-a. O resultado mostrou no verão de 2012, correlação positiva entre fosfato e silicato (0,59), que pode indicar a mesma origem para esses dois nutrientes, ou seja, o aporte fluvial. O nitrato apresentou correlação positiva com a salinidade (0,64), e negativa com a temperatura (-0,85) e com o oxigênio dissolvido (-0,60) indicando águas mais frias, salinas, menos oxigenadas e enriquecidas em nitrato, representando a intrusão da ACAS. No inverno de 2016, silicato e fosfato voltaram a apresentar correlação positiva (0,60). O silicato e salinidade apresentaram correlação negativa (-0,92). O nitrato e salinidade apresentaram valor de 0,67 e com a temperatura 0,57, similar ao verão, mostrando que a ACAS fez intrusões na plataforma nos dois períodos (nos anexos 1 e 2).

As águas da plataforma na região de 34,5°S apresentaram no verão de 2012, águas mais quentes e salinas, menos oxigenadas, com maiores concentrações de fosfato e menores de silicato e nitrato. No inverno de 2016, foram observadas águas menos salinas, mais frias, mais oxigenadas, com maiores concentrações de silicato e nitrato, e menores para o fosfato. Entre os nutrientes principais, o silicato se mostrou o melhor indicador para a APP no verão e inverno, pode ser considerado o nutriente com comportamento mais conservativo para essa massa d'água (CIOTTI *et al.*, 1995). O fosfato apresentou concentrações muito baixas em toda a plataforma para a ASAP, tanto no verão como no inverno. O nitrato indicou a intrusão da ACAS sobre a plataforma, no verão e inverno e também a presença da ASAP no inverno.

A partir do conjunto de dados amostrados pelas garrafas, obtidos para os dois períodos, foi possível indicar os limites de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato dissolvidos para as massas d'água encontradas sobre a plataforma em dois períodos sazonais distintos (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7. Limites de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato dissolvidos para as massas d'água Água da Pluma do Prata (APP), Água Subantártica de Plataforma (ASAP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), em dezembro de 2012.

2012	Limites	Temperatura	Salinidade	$OD(\mu molkg^1)$	Fosfato	Silicato	Nitrato
		(°C)			(µmol kg <sup>-1</sup> )	(µmol kg <sup>-1</sup> )	(µmol kg <sup>-1</sup> )
APP	Min.	10,8647	31,1523	131,47	0,38	3,78	0,01
	Max.	22,4325	33,3544	235,95	1,63	13,96	7,78
ASAPmixASTP	Min.	16,0741	34,3030	164,60	1,16	13,48	7,44
	Max.	16,2118	34,3792	160,24	1,34	14,25	8,06
ASTP	Min.	19,5565	35,2976	172,45	0,21	2,68	0,05
	Max.	20,2510	35,3533	229,55	0,38	6,63	0,26
AT	X	19,646	36,0396	199,79	0,37	2,91	2,02
ASAPmixACAS	X	15,2418	35,2155	186,65	0,79	6,67	8,51
ACAS	Min.	14,4593	35,4831	150,96	0,53	3,09	6,26
	Max.	16,5019	35,6667	210,07	0,84	11,45	9,62

Tabela 8. Limites de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato dissolvidos para as massas d'água Água da Pluma do Prata (APP), Água Subantártica de Plataforma (ASAP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), em setembro de 2016.

2016	Limites	Temperatura	Salinidade	$OD(\mu molkg^1)$	Fosfato	Silicato	Nitrato
		(°C)			(µmol kg <sup>-1</sup> )	(µmol kg <sup>-1</sup> )	(µmol kg <sup>-1</sup> )
APP	Min.	10,4534	24,8748	223,26	0,12	3,71	0,72
	Max.	12,5681	32,8572	293,07	0,84	45,07	5,02
APPmixASAP	Min.	9,5448	33,0773	271,55	0,25	1,56	5,12
	Max.	9,8484	33,5149	276,87	0,62	4,35	7,40
ASAP	Min.	10,0756	33,6305	248,86	0,11	0,55	3,52
	Max.	11,6289	34,0135	276,36	0,32	2,24	5,81
ASAPmixASTP	Min.	13,288	34,1541	253,31	0,03	0,82	2,78
	Max.	14,0498	34,3926	263,32	0,21	1,01	4,46
ASTP	Min.	15,4594	34,7596	244,16	0,00	1,01	7,20
	Max.	16,4878	35,149	261,15	0,15	1,10	7,25
ACAS	Min.	11,9283	34,4893	193,11	0,02	1,51	5,66
	Max.	18,3414	35,9178	227,52	0,26	3,57	18,25

#### 4.2.3 Talude e mar aberto

As estações de 9 a 20 em 2012, e de 10 a 20 para 2016 foram consideradas para representar a área fora da plataforma (Fig.22). Nessa região, as massas d'água foram identificadas através da densidade neutra ( $\gamma^n$ ), que utiliza a temperatura, salinidade, pressão, latitude e longitude em seu cálculo, mas não considera os efeitos da pressão sobre o resultado final, possibilitando avaliar a mesma massa d'água em diferentes localidades, mesmo que nesses diferentes locais ela esteja em uma profundidade distinta. Os intervalos utilizados identificação das massas d'água com esse parâmetro foram descritos por Valla, *et al.*, 2017 (em preparo), se encontram na tabela 9. A Água Subtropical de Plataforma (ASTP), observada na região, foi identificada segundo os critérios de águas de plataforma, utilizando o modelo proposto por Möeller *et al.*, 2008.



Figura 22. Localização das estações fora da plataforma do Projeto SAMOC, dezembro de 2012 (preto), e setembro de 2016 (vermelho).

	Intervalo de
Massa d'água	densidade neutra
	$(\Upsilon)$
AT	< 26,35
ACAS	26,35 - 27,10
AIA	27,10-27,60
ACS	27,60 - 27,90
APAN	27,90 - 28,10
ACI	28,10 - 28,27
AFA	> 28,27

Tabela 9. Intervalos de densidade neutra utilizados na identificação das massas d'água na região de estudo (VALLA *et al.*, 2017, em preparo).

Na campanha de 2012, a Água Subtropical de Plataforma foi observada nas estações 9 (da superfície até 25 dbar) e 10 (da superfície até 12 dbar), apresentando os seguintes limites de combinação  $\Theta$  -S, de 22,618°C – 34,640 a 23,179°C – 35,965. O oxigênio dissolvido variou de 217,85 a 225,05 µmol kg<sup>-1</sup>. A concentração de nutrientes apresentou valores mais elevados do que o geralmente encontrado para águas oceânicas superficiais, com fosfato entre 0,11 e 0,23 µmol kg<sup>-1</sup>, o silicato entre 1,34 e 4,53 µmol kg<sup>-1</sup>. A ASTP pode ser formada pela mistura entre a APP e a AT, neste caso as concentrações mais elevadas de silicato e fosfato estariam associadas às águas da APP, enriquecidas nestes nutrientes, enquanto o nitrato apresentou concentrações relativas baixas, variando entre 0,05 e 0,14 µmol kg<sup>-1</sup>, visto que a tanto a APP quanto a AT não apresentaram concentrações elevadas deste nutriente.

No verão de 2012. a Água Tropical foi observada abaixo da ASTP, entre 50 e 75 dbar, nas estações 9 e 10, e para as estações de 11 a 20, a mesma foi observada entre a superfície e 103 dbar. A temperatura potencial variou entre 18,806°C (est. 17 a 53 dbar) a 23,711°C (est. 11 na superfície) e a salinidade entre 35,939 (est. 17 na superfície) e 36,936 (est. 12 a 43 dbar). A Água Central do Atlântico Sul (ACAS) foi identificada entre 75 e 700 dbar. A temperatura potencial variou entre 6,981°C (est..14 a 700 dbar) e 18,554°C (est 20 a 100 dbar), a salinidade entre 34,417 (est. 13 a 700 dbar) e 36,122 (est. 20 a 100 dbar).

A Água Intermediária Antártica (AIA) foi observada entre 525 e 1365 dbar, esta é uma massa caracterizada pelo mínimo de salinidade (STRAMMA, SCHOTT, 1999) e por

concentrações de oxigênio dissolvido e nutrientes mais elevadas em relação à ACAS. Apresentou temperatura potencial entre 3,055°C (est. 20 a 1300 dbar) e 6,677°C (est. 15 a 700 dbar). A salinidade apresentou um mínimo de 34,184, observado na estação 17 a 900 dbar e máximo de 34,429 (est. 15 a 700 dbar).

A Água Circumpolar Superior (ACS) é caracterizada por temperaturas baixas (STRAMMA, SCHOTT, 1999) e os intervalos de temperatura e salinidade são mais estreitos. Foi observada entre 1400 e 2100 dbar com valores de temperatura potencial que variaram entre 2,810°C (est. 19 a 1700 dbar) e 3,570°C (est. 13 a 1900 dbar) e a salinidade entre 34,426 (est. 16 a 1400 dbar) e 34,896 (est. 14 a 2100 dbar).

A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) é uma massa d'água caracterizada por valores relativos mais elevados de salinidade e de oxigênio dissolvido (MEMERY *et al.*, 2000; REID, 1989), foi observada entre 2000 e 3340 dbar com temperatura potencial variando entre 1,541°C (est. 20 a 3340 dbar) e 3,456°C (est.. 13 a 2100 dbar), e a salinidade entre 34,776 (est 20 3340 dbar) e 34,941 (est. 17 a 2500 dbar).

A Água Circumpolar Inferior (ACI) é caracterizada por um mínimo de concentração de oxigênio dissolvido (TSUCHIYA *et al.*, 1994) que é menos acentuado que o observado para a ACS. Foi identificada entre 3165 e 4195 dbar, com temperatura potencial mínima de 0,025°C (est. 17 a 4100 dbar) e máxima de 1,613°C (est. 16 a 3300 dbar) e salinidade entre 34,677 (est. 17 a 4100 dbar) e 34,806 (est. 16 a 3300 dbar).

A Água de Fundo Antártica é identificada pelas temperaturas mais baixas (GORDON, 2001), foi observada entre 4000 e 4840 dbar, com temperatura potencial mínima de -0,075°C (est. 20 a 4490 dbar) e máxima de -0,135°C (est. 19 a 4820 dbar), e a salinidade mínima 34,666 (est. 20 4840 dbar) e máxima 34,675 (est. 19 4500 dbar) (Figs. 23 a, 24 a).

Na campanha de setembro de 2016, a Água Subtropical de Plataforma foi observada em mais estações fora da plataforma do que no ano de 2012, na estação 9 (da superfície a 10 dbar), na 13 (da superfície a 50 dbar), na 14 (da superfície a 30 dbar), na 15 (da superfície a 10 dbar) e na 16 (da superfície a 40 dbar). A temperatura potencial variou entre 15,459°C e 19,501°C e salinidade entre 34,759 e 35,951. As águas apresentaram altas concentrações de oxigênio dissolvido, entre 222,43 e 261,144 µmol kg<sup>-1</sup>,e também maiores concentrações de nutrientes quando comparadas às aguas superficiais oceânicas. O fosfato variou entre 0,01 e 0,30 µmol kg<sup>-1</sup>, silicato entre 1,00 e 6,08 µmol kg<sup>-1</sup>e o nitrato entre 0,12 e 7,24 µmol kg<sup>-1</sup>.

Para as outras massas d'água, o padrão de distribuição espacial na coluna d'água foi muito semelhante ao da campanha de 2012, com algumas variações nos valores das concentrações, modificando os intervalos dos parâmetros.

A Água Tropical foi observada abaixo da Água Subtropical de Plataforma nas estações em que esta esteve presente, em profundidades entre 25 a 220 dbar, e para demais estações onde a ASTP não foi observada, a AT se apresentou desde a superfície até 200 dbar. A AT em 2016 apresentou Θ mínimo de 15,323°C (est.13 a 200dbar) e máximo de 20,172°C (est. 15 a 100 dbar). A salinidade variou entre 35,590 (est. 13 a 200 dbar) e 36,465 (est. 15 a 100 dbar). A Água Central do Atlântico Sul foi observada entre 200 e 640 dbar, com temperatura entre 7,704°C (est. 15 a 630 dbar) e 16,032 °C (est. 17 a 300 dbar) e salinidade entre 34,546 (est. 15 a 630 dbar) e 35,809 (est. 17 a 300 dbar).

A Água Intermediária Antártica se apresentou entre 370 dbar na estação mais próxima do talude e 1200 dbar na mais afastada. Sua principal característica é a salinidade mínima que variou entre 34,138 (est. 11 a 660 dbar) e 34,436 (est. 12 a 600 dbar), a temperatura entre 3,177°C (est. 19 a 1200 dbar) e 6,756 °C (est. 12 a 600 dbar).

A Água Circumpolar Superior esteve entre 1330 e 1900 dbar. A temperatura variou entre 2,868 °C (est. 18 a 1590 dbar) e 3,374 °C (est. 17 a 1850 dbar), e salinidade entre 34,419 (est. 19 a 1350 dbar) e 34,791 (est.17 a 1850 dbar).

A Água Profunda do Atlântico Norte foi observada entre 1820 e 3100 dbar, mais salina, apresentou valores de temperatura entre 1,616 °C (est. 14 a 2915 dbar) e 3,586 °C (est. 13 a 1820 dbar) e salinidade entre 34,782 (est.14 a 2915 dbar) e 34,939 (est. 15 a 2330 dabar).

A Água Circumpolar Inferior apresentou-se entre 3165 e 4000 dbar, seu intervalo de temperatura foi de 0,017 °C (est. 19 a 4000 dbar) a 1,553 °C (est. 15 a 3165 dbar), e de salinidade entre 34,674 (est.19 a 4000 dbar) e 34,777 (est.15 a 3165 dbar).

E por fim a Água de Fundo Antártica se apresentou entre 3870 e 4380 dbar com temperatura mínima de -0,027 (est.17 a 3870 dbar) e máxima de -0,129 °C (est. 19 a 4380 dbar) e a salinidade variou entre 34,672 (est.17 a 3870 dbar) e 34,669 (est. 19 a 4380 dbar) (Figs. 23 b, 24 b).



Figura 23. Distribuição de temperatura potencial, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a 34,5°S.



Figura 24. Distribuição de salinidade, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a 34,5°S.

Em dezembro de 2012, a AT apresentou águas com concentrações de oxigênio dissolvido entre 212,96  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 11 na superfície) e 234,13  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 74 dbar). A ACAS apresentou um intervalo de concentrações maior que para a massa adjacente superior, entre 188,41  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 9 a 100 dbar) e 231,86  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 200 dbar).

A AIA é uma massa d'água que apresenta maiores concentrações relativas de oxigênio dissolvido (TSUCHIYA *et al.*, 1994), foi observada com valor mínimo de 196,40 μmol kg<sup>-1</sup> na estação 11 a 1365 dbar, profundidade limite da massa d'água na estação. Esse valor mínimo pode estar associado com a interação da AIA com a massa adjacente, a Água Circumpolar Superior, pobre em oxigênio dissolvido. O valor máximo foi de 258,18 μmol kg<sup>-1</sup> na estação 17 a 900 dbar, combinado com o valor mínimo de salinidade.

A ACS tem como característica a baixa concentração de oxigênio, apresentou concentração mínima de 185,45  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> na estação 16 a 1700 dbar e a máxima de 235,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>na estação 14 a 2100 dbar.

A APAN apresenta concentração relativa de oxigênio dissolvido mais elevada (TSUCHIYA *et al.*, 1994), a concentração mínima foi de 208,93 μmol kg<sup>-1</sup> na estação 19 a 2100 dbar e máxima de 254,09 μmol kg<sup>-1</sup> na estação 17 a 2500 dbar.

A ACI apresenta baixas concentrações de oxigênio, porém não tão baixas como a ACS (TSUCHIYA *et al.*, 1994). Neste estudo apresentou valor mínimo de 210,65  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 18 a 3500 dbar) e máximo de 227,59  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 3300 dbar).

A AFA apresenta águas mais oxigenadas em relação à ACI, o oxigênio dissolvido apresentou valor mínimo de 221,94  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 4625 dbar) e máximo de 225,85  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 4490 dbar) (Fig. 25 a).

Em setembro de 2016, a AT apresentou valores de oxigênio dissolvido menores que os encontrado na ASTP, entre 192,77 e 232,81  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>. A ACAS é considerada uma massa menos oxigenada que a anterior, e apresentou concentração mínima de 204,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> e máxima de 226,15  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>.

A AIA apresentou valores de oxigênio dissolvido mais elevados que a ACAS, variando entre 202,93 e 275,14  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>. A ACS apresentou os menores valores de oxigênio dissolvido da coluna d'água, atingiu de 187,27 a 211,12  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>.

A APAN apresentou concentração de oxigênio mais elevada que as massas adjacentes, com mínimo de 211,09 µmol kg<sup>-1</sup> e máximo de 246,28 µmol kg<sup>-1</sup>. Na ACI a concentração de oxigênio dissolvido voltou a apresentar um valor muito baixo, característico da massa, entre 205,88 e 222,81 µmol kg<sup>-1</sup>. A AFA apresentou valores de oxigênio entre 214,13 e 216,30 µmol kg<sup>-1</sup> (Fig. 25 b).



Figura 25. Distribuição de oxigênio dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a 34,5°S.

Em 2012, considerando que os valores de nutrientes na AT são os menores da coluna d'água, no estudo atual, o fosfato variou entre 0,03 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 11 dbar) e 0,64 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 50 dbar). A ACAS apresenta concentrações mais elevadas que a AT, porém ainda baixos se comparados com os valores das outras massas. O fosfato apresentou concentrações entre 0,04 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 75 dbar) e 1,56 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 700 dbar). A AIA se caracteriza por valores relativos mais elevados que a ACAS. O fosfato apresentou valor mínimo de 1,64 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 15 a 700 dbar) e máximo de 2,14 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 11 a 1365 dbar). A ACS que apresenta concentrações máximas de fosfato, silicato e nitrato (TSUCHIYA et al., 1994; MÉMERY et al., 2000) que as encontradas nas camadas superior e inferior, AIA e APAN. O fosfato apresentou mínimo de 1,56 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 2100 dbar) e máximo de 2,18 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 1500 dbar. A APAN tem como característica uma menor concentração relativa de nutrientes na coluna d'água. Neste estudo, o fosfato apresentou mínimo de 1,14 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 2800 dbar) e máximo de 1,81 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 3340 dbar). A ACI assim como a ACS, é caracterizada por elevados valores de nutrientes, o valor mínimo foi de 1,69 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 3170 dbar) e máximo 2,38 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 4000 dbar). A AFA apresenta valores elevados de nutrientes, o valor mínimo de fosfato foi de 2,09 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 2490 dbar) e máximo 2,30 µmol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 4000 dbar) (Fig. 26 a).
Em setembro de 2016, a AT apresentou concentrações de fosfato entre 0,05 (est. 14 a 100 dbar) e 0,58  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 10 a 165 dbar). A ACAS com concentrações mais elevadas que AT, o fosfato variou entre de 0,33 (est.19 a 200 dbar) a 1,53 $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 550 dbar). A AIA apresentou valores entre 0,61 (est. 14 a 650 dbar) e 2,12  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 12 a 1150 dbar). A ACS foi observada com concentrações entre 1,72 (est. 17 a 1850 dbar) e 2,19  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 1520 dbar). A APAN apresenta concentrações relativas menores, o fosfato variou entre 1,11 (est. 15 a 2640 dbar) e 1,90  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est.14 a 2915 dbar). Os valores de fosfato na ACI variaram entre 1,62 (est.16 a 3440 dbar) e 1,90  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 3200 dbar). As concentrações de fosfato para a AFA não foram determinadas (Fig. 26 b).



Figura 26. Distribuição de fosfato dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a  $34,5^{\circ}S$ .

No verão de 2012, o silicato na AT variou entre 0,46  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 10 a 26 dbar) e 7,06  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 74 dbar). A ACAS apresentou concentrações entre 0,81  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 100 dbar) e 11,17  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 10 a 500 dbar). A AIA possui concentrações mais elevadas de silicato, neste estudo variou entre 2,76  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 18 a 750 dbar) e 57,26  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 1300 dbar). A ACS apresentou valores entre 25,25  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 1800 dbar) e máximo de 71,78  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 1500 dbar). A APAN com concentrações relativas menores apresentou concentrações entre 15,29  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 2500 dbar) e máximo de 86,73  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 3340 dbar). A

concentração de silicato na ACI variou entre 63,79  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 3170 dbar) e máximo de 129,87  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 4000 dbar). E por fim, a AFA com as maiores concentrações na coluna d'água, variou entre 101,34  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17) e máximo 139,11  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 4820 dbar) (Fig. 27 a).

No inverno de 2016 a AT apresentou concentrações de silicato entre 0,37 (est. 17 a 6 dbar) e 3,70  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 75 dbar). A ACAS apresentou valores mais elevados que a AT, entre 1,25 (est.17 a 305) a 9,87  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 550 dbar). A concentração de silicato na AIA variou entre 6,00 (est.15 a 810 dbar) e 42,06  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 1190 dbar). A ACS apresentou valores de 21,81(est. 18 a 1900 dbar) a 42,66  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est.18 a 1600 dbar). A APAN apresentou concentrações relativas menores que a ACS, variando entre 14,01 (est. 16 a 2750 dbar) e 70,62  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 2915 dbar). Na ACI a concentração voltou a aumentar, com mínimo de 43,53  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 3350 dbar) e máximo de 118,01  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 3750 dbar). Na AFA foi obtida somente uma amostra, cuja concentração foi a mais alta da coluna d'água de 132,10  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 3780 dbar), essa concentração máxima de silicato é uma das características dessa massa d'água (ANDRIÉ *et al.*, 2003) (Fig. 27 b).



Figura 27. Distribuição de silicato dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a 34,5°S.

Em dezembro de 2012 o nitrato na AT variou entre 0,04  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 50 dbar) a 1,39  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 50 dbar). A ACAS apresenta concentrações elevadas de

nitrato e neste estudo variou entre 0,96  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 17 a 75 dbar) a 23,25  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 700 dbar). A AIA apresentou concentrações entre 19,09  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 10 a 800 dbar) e 31,67  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 1300 dbar). Na ACS o nitrato apresentou valores entre 21,59  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 1900 dbar) e máximo de 32,60  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 1600 dbar). As concentrações se apresentaram relativamente menores na APAN, entre 17,22  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 2600 dbar) e 25,41  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 20 a 3340 dbar). Na ACI foram observados valores entre 21,90  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 3300 dbar) e 32,06  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 4000 dbar), e a AFA apresentou concentrações entre 30,22 (est. 16 a 4000 dbar) e 33,37  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 19 a 4820). (Fig. 28 a).

Em setembro de 2016, os valores de nitrato na AT variaram entre 0,12 (est. 17 a 6 dbar) e 6,53  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 13 a 200 dbar). A ACAS apresentou concentrações entre 4,59 (est.19 a 200 dbar) e 23,84  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est.10 a 370 dbar). O nitrato observado na AIA variou entre 14,05 (est. 10 a 370 dbar) e 35,91  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 1170 dbar). As concentrações na ACS variaram entre 28,17 (est.17 a 1675 dbar) e 34,55  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 15 a 1470 dbar). Na APAN as concentrações observadas foram relativamente menores, entre 18,71 (est. 13 a 2280 dbar) e 28,86  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 14 a 2915 dbar). A ACI apresentou valores entre 22,86 (est. 19 a 3400 dbar) e 36,47  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup> (est. 16 a 3540 dbar). Na AFA



Figura 28. Distribuição de nitrato dissolvido, estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012 (a), estações 10 a 19, campanha SAMOC de setembro de 2016 (b), transecto a  $34,5^{\circ}S$ .

A partir dos dados amostrados para temperatura potencial, salinidade, oxigênio, fosfato, silicato e nitrato dissolvido nas campanhas de 2012 e 2016, foram obtidos os intervalos dos parâmetros para cada massa d'água, conforme as tabelas 10 e 11.

2012		Prof.(dbar)	Temp. (C°)	Salinidade	OD (µmolkg <sup>-1</sup> )	Fosfato (µmolkg <sup>-1</sup> )	Silicato (µmolkg <sup>-1</sup> )	Nitrato (µmolkg <sup>-1</sup> )
AT	Min.	1,3	18,806	35,939	212,97	0,01	0,46	0,04
	Max.	102,8	23,711	36,936	234,13	0,64	7,06	1,39
ACAS	Min.	74,9	6,981	34,417	188,41	0,04	0,809	0,96
	Max.	700,3	18,554	36,122	231,86	1,56	11,168	23,25
AIA	Min.	524,5	3,055	34,184	196,40	1,64	2,76	19,09
	Max.	1363,6	6,677	34,429	258,18	2,14	57,26	31,67
ACS	Min.	1398,0	2,810	34,426	185,94	1,56	25,25	21,59
	Max.	2101,4	3,570	34,896	235,00	2,18	71,78	32,60
APAN	Min.	1997,9	1,541	34,776	208,94	1,14	15,29	17,22
	Max.	3337,9	3,456	34,941	254,09	1,81	86,73	25,41
ACI	Min.	3168,8	0,025	34,677	210,65	1,69	63,79	21,90
	Max.	4193,7	1,613	34,806	227,59	2,38	129,87	32,06
AFA	Min.	4002,1	-0,135	34,666	221,94	2,09	101,34	30,22
	Max.	4841,7	-0,075	34,675	224,99	2,30	139,11	33,37

Tabela 10. Valores de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato para as massas d'água do transecto a 34,5°C, dezembro de 2012.

Tabela 11. Valores de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato para as massas d'água do transecto a 34,5°C, setembro de 2016.

2016		Prof.(dbar)	Temp. (C°)	Salinidade	OD (µmolkg <sup>-1</sup> )	Fosfato (µmolkg <sup>-1</sup> )	Silicato (µmolkg <sup>-1</sup> )	Nitrato (µmolkg <sup>-1</sup> )
AT	Min.	5,1	15,324	35,590	192,78	0,05	0,37	0,13
	Max.	224,3	20,172	36,465	232,81	0,58	3,71	6,54
ACAS	Min.	201,3	7,704	34,546	204,00	0,33	1,26	4,59
	Max.	636,3	16,033	35,809	226,49	1,53	9,87	23,87
AIA	Min.	369,6	3,177	34,138	202,93	0,61	6,00	14,05
	Max.	1200,2	6,757	34,436	275,14	2,12	42,06	35,91
ACS	Min.	1329,1	2,868	34,419	187,27	1,72	21,81	28,17
	Max.	1897,3	3,374	34,791	211,12	2,19	42,66	34,55
ADAN	Min.	1822,5	1,616	34,782	211,09	1,11	14,01	18,71
AFAN	Max.	3100,8	3,586	34,939	246,28	1,90	70,62	28,86
ACI	Min.	3167,7	0,017	34,674	205,88	1,62	43,53	22,86
	Max.	3999,8	1,553	34,777	222,81	1,90	118,01	36,47
AFA	Min.	3872,8	-0,027	34,672	214,13	-	-	-
	Max.	4378,4	-0,102	34,669	216,30	-	-	-

## 4.3 Variação temporal – talude e mar aberto

O objetivo desta seção é realizar uma comparação entre os parâmetros e as possíveis variações nas massas d'água presentes no talude e mar aberto da região de estudo nos dois períodos, para isso vamos excluir as estações sobre plataforma, que apresentam uma dinâmica mais influenciada pela sazonalidade. Foram utilizadas as estações que tinham localizações próximas nos dois períodos, visto que na campanha de setembro de 2016, as amostras obtidas a partir das garrafas *Niskin* (oxigênio dissolvido e nutrientes) não foram coletados ao longo de todo o transecto devido a problemas técnicos com a rosette e o cabo.

A temperatura e a salinidade apresentaram pequenas variações, as mais notáveis foram observadas na AT, que se mostrou mais quente ( $19 < \Theta < 23$  °C) e salina em 2012 (36,00 < S < 36,75) do que em 2016 ( $18 < \Theta < 21$ , 36,00 < S < 36,45) (Fig. 29).



Figura 29. Perfis verticais de temperatura (a) e salinidade (b), para as campanhas SAMOC 2102 em vermelho e 2016 em preto.

O oxigênio dissolvido, com ressalvas, e os nutrientes podem ser considerados parâmetros conservativos abaixo da camada eufótica, onde já não são utilizados pelos organismos na produção primária, mas mesmo nas camadas mais profundas podem ocorrer algumas alterações em suas concentrações devido a processos biogeoquímicos, como a regeneração e a dissolução de silicato, ou a redução de nitrato e oxidação de nitrito por bactérias.

Quanto ao oxigênio dissolvido foi possível observar águas mais oxigenadas na AIA em 2016, e na porção inferior da APAN (aproximadamente 3000 dbar) em 2012, e menos oxigenadas para a ACI em 2016 (Fig. 30 a). O fosfato apresentou distribuição mais semelhante nos dois períodos, com destaque para a APAN, na sua camada superior (~2000 dbar) em 2012 que apresentou maiores concentrações, enquanto que na camada entre 2500 e 3000 dbar apresentou concentrações mais baixas (Fig. 30 b).



Figura 30. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido (a) e fosfato (b), para as campanhas SAMOC 2102 em vermelho e 2016 em preto.

Os valores de silicato mostraram que a ACI esteve mais enriquecida na campanha de 2012, e que o mesmo ocorreu para a parte superior da APAN (Fig. 31 a). O nitrato apresentou maiores concentrações para a AIA, ACS, APAN e ACI na campanha de 2016 (Fig. 31 b).



Figura 31. Perfis verticais de distribuição de silicato (a) e nitrato (b), para as campanhas SAMOC 2102 em vermelho e 2016 em preto.

Com o objetivo de complementar a identificação das massas d'água na área de estudo, foi determinado o núcleo de cada massa com base em dois parâmetros clássicos, salinidade e oxigênio dissolvido, e comparado com a profundidade na qual os nutrientes apresentaram seus valores mínimos ou máximos.

A profundidade do núcleo da Água Tropical foi determinada como aquela na qual a salinidade apresentou os valores máximos. A Água Central do Atlântico Sul é uma massa que se encontra na termoclina, apresentando um intervalo grande dos parâmetros, para essa massa o núcleo foi considerado como a profundidade da densidade neutra média da massa. O núcleo da Água Intermediária Antártica foi determinado pela sua característica de mínimo de salinidade. Os núcleos das Águas Circumpolar Superior e Inferior foram determinados através das profundidades onde as concentrações de oxigênio dissolvido foram mínimas. O núcleo da Água Profunda do Atlântico Norte foi obtido pela profundidade na qual a salinidade é máxima. Os núcleos determinados pelas concentrações de nutrientes foram considerados como os valores máximos para a AT, ACAS, AIA, ACS e ACI, e valores mínimos para a APAN (Tabela 12).

Tabela 12. Profundidades dos núcleos das massas d'água de acordo com parâmetros clássicos (salinidade e oxigênio dissolvido) e nutrientes (fosfato, silicato e nitrato), na região do sudoeste do Atlântico Sul a 34,5°S.

Massas d'água	Prof.(dbar)/Prop. física)	Prof. (dbar)/Nutrientes
AT	52/max. salinidade	50/max.
ACAS	438/med. densidade neutra	500 a 700/max.
AIA	857/ min. salinidade	900 a 1200/max.
ACS	1610/min. oxigênio	1500 a 1600/max.
APAN	2595/max. salinidade	2500 a 2800/min.
ACI	3458/min. oxigênio	3500 a 4000/max.

## 4.4. Nutrientes como traçadores da recirculação das massas d'água

A partir da descrição dos parâmetros na seção 4.22, para as estações fora da plataforma também foi observada uma variação na distribuição longitudinal das características das massas d'água com relação à distância da costa. Essa diferença já foi observada e vem sendo associada a um processo de recirculação das massas d'água na região. O trabalho em preparo de Valla *et al.*, 2017 realizou uma análise de dados de CTD de temperatura potencial, salinidade e oxigênio dissolvido obtidos em vários anos (2009 a 2016), no mesmo transecto, como parte do Projeto SAMOC, e observou diferenças dos parâmetros ao longo do transecto para cada massa d'água. Essa análise associada a estudos com dados de velocidade obtidos com ADCP, podem indicar alteração nos padrões de circulação das massas na região de estudo.

Com o objetivo de avaliar se o comportamento dos nutrientes obtidos no trabalho atual também estaria sinalizando essas variações longitudinais, foram utilizados os dados de CTD das profundidades de garrafa do Projeto SAMOC de 2012, de temperatura potencial, salinidade e oxigênio dissolvido para primeiramente avaliar se as amostras coletadas pelas garrafas estavam representando a mesma tendência dos dados de CTD, visto que os dados são coletados em momentos diferentes, os de CTD na descida da *rosette*, e os dados das profundidades das garrafas na subida, sendo esperado o mesmo padrão de comportamento. Foram calculadas as médias destes parâmetros para os dados das profundidades das garrafas, e de CTD, para cada estação e para cada massa d'água, que foram plotados com a distância da costa.

Com base no tratamento mencionado acima, a Água Tropical (AT) apresentou a mesma tendência para os dados de CTD e de garrafa, mostrando a diminuição de temperatura potencial e salinidade e aumento de oxigênio dissolvido em relação à distância da costa. Os valores médios de temperatura potencial e salinidade das garrafas se apresentaram mais elevados do que os do CTD, em aproximadamente 2°C para a temperatura (Fig. 32 a). A salinidade apresentou diferenças em torno de 0,200 com exceção das observadas nas estações 10, 11 e 12, nas quais a diferença foi de mais de 0,500 (Fig. 32 b). O oxigênio dissolvido foi o parâmetro cujas médias apresentaram um comportamento mais semelhante, entre os dados obtidos pelos dois procedimentos, com a maior diferença observada na estação 15 (~4 $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e maiores variações nas estações 17 e 18 (Fig. 32 c).



Figura 32. Valores médios de Tpot, S e OD por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Tropical, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão.

A Água Central do Atlântico Sul (ACAS) é uma massa d'água que apresenta um intervalo extenso de temperatura, salinidade e oxigênio. As médias dos valores de garrafa foram calculadas dividindo esse intervalo em outros quatro, de forma a suavizar o peso dos valores extremos na média geral.

A variação das médias de temperatura e salinidade da garrafa e CTD se assemelharam quanto à tendência da curva, novamente com os valores de garrafas mais elevados que os de CTD, com diferenças de aproximadamente 2°C para a temperatura potencial e 0,300 para a salinidade, porém com todos os valores de garrafas dentro do intervalo do desvio padrão (no anexo). A estação 15 apresentou a melhor correspondência entre os valores médios de garrafa e CTD (Fig. 33 a e b). O oxigênio dissolvido mostrou maior correspondência entre valores de CTD e garrafa, com menor variação entre os mesmos (Fig. 33 c).



Figura 33. Valores médios de Tpot, S e OD por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Central do Atlântico Sul, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão.

A Água Intermediária Antártica (AIA) apresentou maior correspondência entre os valores médios obtidos pelas garrafas e pelo CTD. Foram observados os maiores valores de temperatura e salinidade, e os menores de oxigênio dissolvido no lado oeste do transecto (Fig. 34 a, b e c). A estação 9, no inicio do talude, mais próxima da costa e mais rasa apresentou um pico para os três parâmetros, esses valores podem estar associados à baixa representatividade dessa massa d'água nessa estação, uma camada de aproximadamente 100 dbar amostrada pelo CTD, e apenas uma profundidade amostrada pelas garrafas.



Figura 34. Valores médios de Tpot, S e OD por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Intermediária Antártica, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão.

A Água Circumpolar Superior (ACS) apresentou mais semelhança entre os valores médios de temperatura potencial e oxigênio dissolvido, os valores das garrafas foram mais elevados que o de CTD até a estação 16, e o inverso ocorreu da estação 17 até o final do transecto. A salinidade de também apresentou maiores valores das amostras de garrafa até a estação 17, mas com diferenças mais elevadas observadas nas estações 13, 14 e 16, e comportamento oposto na estação 20. É importante ressaltar que o intervalo de salinidade avaliado nessa massa d'água é de apenas 0,200. Na ACS foi possível observar a diminuição dos valores médios dos três parâmetros em relação à distância da costa (Fig. 35 a, b e c).



Figura 35. Valores médios de Tpot, S e OD por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Circumpolar Superior, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão.

A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) apresentou os maiores valores médios de temperatura potencial, salinidade e oxigênio dissolvido na porção oeste do transecto. Os dados de temperatura potencial e salinidade apresentaram valores de garrafa menores da estação 12 a 15 e na estação 20, e mais elevados nas estações 17 a 19 (Fig. 36 a e b). Os valores médios de oxigênio dissolvido apresentaram as maiores diferenças nas estações 13 e 19, com valores mais elevados para as garrafas (Fig.36 c).



Figura 36. Valores médios de Tpot, S e OD por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Profunda do Atlântico Norte, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão.

A Água Circumpolar Inferior (ACI) exibiu similaridades entre os padrões de distribuição dos três parâmetros considerando os valores de garrafa e de CTD, os mais elevados foram observados na porção oeste do transecto. Os valores de garrafa observados se apresentaram mais baixos que os de CTD, com exceção das estações 16 e 20 para o oxigênio dissolvido (Fig. 37 c) e 16, para a temperatura potencial e salinidade (Fig. 37 a,b). A estação 14 apresentou valores médios de CTD mais elevados dos três parâmetros, novamente, isso pode ser associado com a menor presença dessa massa d'água nessa estação, uma amostragem de uma camada de apenas 70 dbar realizada pelo CTD, e apenas uma profundidade pelas garrafas.



Figura 37. Valores médios de Tpot, S e OD por estação para temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c) para a Água Circumpolar Inferior, dados de CTD em azul e de garrafas em vermelho, Projeto SAMOC 2012, verão.

Os trabalhos de Meinen et al., 2017, que utiliza dados obtidos através de PIES e C-PIES coletados continuamente ao longo dos anos, porém apenas em algumas das estações do Projeto SAMOC, e de Valla et al., 2017 (em preparo), que utiliza dados de velocidade de ADCP coletados nos períodos dos cruzeiros, mas em todas as estações do Projeto, e dados de CTD (temperatura, salinidade e oxigênio) indicam a mesma tendência, que a recirculação que possivelmente ocorre na região próxima a 34,5°S na porção oeste do Oceano Atlântico, é percebida com centro localizado na longitude aproximada de 49,5°W. Os dados de temperatura potencial, salinidade e oxigênio dissolvido obtidos pelo CTD da campanha de 2012 foram plotados em um gráfico T-S e um perfil vertical. Esses gráficos indicam que existe uma diferença nas distribuições dos valores que possibilitou agrupar as estações de 10 a 15 na porção oeste, e de 16 a 20 na porção leste. O T-S (Fig. 38 a) permite observar diferenças na Água Intermediária Antártica, com águas mais salinas na porção oeste, e na Água Profunda do Atlântico Norte com águas mais salinas e quentes também na porção oeste. As diferenças são mais perceptíveis para a AIA e APAN, visto que os intervalos de temperatura e salinidade para as Águas Circumpolares Superior e Inferior são mais estreitos. No perfil de oxigênio dissolvido foi possível observar a Água Intermediária Antártica mais oxigenada na porção leste, a Água Circumpolar Superior, a Água Profunda do Atlântico Norte e mais oxigenadas na porção oeste (Fig. 38 b).



Figura 38. Diagrama T-S da campanha SAMOC 2012 com dados de CTD (a), dados de CTD das estações separadas a oeste de 49,5°W (azul) e a leste de 49,5°W (vermelho) e perfil vertical de oxigênio dissolvido por profundidade da campanha SAMOC 2012 (b), dados de CTD das estações separadas a oeste de 49,5°W (azul) e a leste de 49,5°W (vermelho).

Com base nessa premissa, seria possível presumir que os nutrientes também possam ser utilizados como indicadores dos processos de circulação das massas d'água. Como os dados de garrafa foram considerados representativos dos processos físicos que estão ocorrendo na região, entendemos que com algumas ressalvas, é possível utilizar os dados de nutrientes para estudar os processos de circulação na região, utilizando para isso as variações das propriedades das massas ao longo do transecto.

Os dados de CTD das profundidades das garrafas de temperatura potencial, salinidade, oxigênio, fosfato, silicato e nitrato dissolvidos do Projeto SAMOC de 2012 foram separados por massa d'água e por região (leste ou oeste) em relação à longitude de 49,5°W e plotados com os mesmos dados do Projeto WOCE de 1994 obtidos na mesma área, separados por massa d'água e por região (norte ou sul) em relação à latitude de 34,5°S (Fig. 39). As massas d'água têm suas características principais (máximos ou mínimos de salinidade, oxigênio e nutrientes dissolvidos) mais intensas quanto mais próximas estão de sua região de formação. Assim, ao observar se as variações nas propriedades das massas d'águas da porção oeste ou leste se assemelham mais às águas da porção sul ou norte, seria possível inferir se a massa, ao passar pela área de estudo pelo lado oeste e leste, apresenta características mais semelhantes às originais de cada massa d'água ou de águas degradadas pela recirculação e mistura entre as camadas.



Figura 39. Localização das estações do Projeto SAMOC, 2012 separadas em relação a longitude de 49,5°W (•) e do Projeto WOCE, 1994 em relação a latitude 34,5°S (+).

A AT que passa na porção oeste do transecto do Projeto SAMOC se apresentou mais salina (~0,5), quente (~1°C) e menos oxigenada (~5  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>), mais semelhante às águas da região norte (Fig. 40 a, b e c). Como a característica dessa massa d'água é ser a mais salina e quente da coluna d'água, a água que passa pelo lado oeste deve vir do norte carreada pela Corrente do Brasil, que quando se aproxima da região da Confluência Brasil-Malvinas se divide em dois ramos, um se dirige ao sul e outro gira e vai em direção ao Equador (PETERSON, STRAMMA, 1991). O ramo que flui em direção ao sul se encontra com a Corrente das Malvinas, se tornando mais fria e menos salina devido a misturas com águas subantárticas e recircula com o segundo ramo da Corrente do Brasil fluindo para norte.

Entre os nutrientes, o fosfato foi o que mais permitiu observar diferenças entre o lado oeste e leste. O lado oeste, associado à região norte, apresentou menores concentrações de fosfato, indicando que a AT que chega a latitude 34,5°S apresenta menores concentrações de fosfato e após as interações com águas subantárticas, mais enriquecidas (diferença de 0,40 µmol kg<sup>-1</sup>), recircula com concentrações relativas mais elevadas (Fig. 40 d). O silicato e o nitrato não apresentaram diferenças tão marcantes entre a porção leste e oeste nas camadas mais superficiais, porém abaixo de 50 dbar (26 kg m<sup>-3</sup>) foram observadas águas com maiores concentrações do lado leste, repetindo o comportamento do fosfato. (Fig. 40 e, f).



Figura 40. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Tropical, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de  $34,5^{\circ}S$ , + Projeto WOCE, 1994 – sul de  $34,5^{\circ}S$ , • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de  $49,5^{\circ}W$  e • Projeto SAMOC, 2012 – leste de  $49,5^{\circ}S$ ).

A diferença entre a porção oeste e leste na ACAS não pode ser tão bem observada com base nos dados de temperatura potencial e salinidade de garrafa (Fig. 41 a, b), porém o trabalho de Valla *et al.*, 2017 (em preparo), utilizando uma maior quantidade de dados, mostra que as águas do lado oeste são mais quentes e salinas que as do lado leste. Os dados de oxigênio dissolvido mostraram que águas que passam pelo lado oeste se assemelham com as águas do norte, menos oxigenadas que as da porção leste e sul, apresentando uma diferença média de 3 µmol kg<sup>-1</sup> (Fig. 41 c). A formação da ACAS ocorre na porção a leste da Confluência Brasil-Malvinas e depois de sofrer subducção flui com o giro subtropical do Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991; PROVOST *et al.*,1999), vindo de norte em direção a área de estudo, sofrendo a recirculação e seguindo em direção ao norte. O fosfato e silicato dissolvidos na ACAS não apresentaram diferenças notáveis entre a porção oeste e leste (Fig. 41 c, d). No caso do nitrato foi possível observar diferenças a 200 dbar e abaixo de 550 dbar (27 kg m<sup>-3</sup>), profundidades nas quais as águas do lado oeste chegam mais enriquecidas em nitrato (Fig. 41 f).



Figura 41. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Central do Atlântico Sul, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Projeto SAMOC, 2012 – leste de 49,5°S).

A Água Intermediária Antártica é caracterizada por um mínimo de salinidade e alta concentração relativa de oxigênio dissolvido. Neste estudo, as águas menos salinas e com maiores concentrações de oxigênio estão no lado leste (média de 229 µmol kg<sup>-1</sup>), associadas à porção sul (Fig. 42 b, c). As águas que passam pelo lado oeste do transecto apresentaram maiores valores de salinidade e menores de oxigênio, média de 224 µmol kg<sup>-1</sup>. A AIA sofre erosão de suas características ao circular e interagir com as massas adjacentes, elevando a salinidade e diminuindo a concentração de oxigênio, ou seja, uma água mais velha seria mais salina menos oxigenada. Dessa forma, na região de 34,5°S as águas intermediárias que passam pelo lado oeste são mais semelhantes das que vem da região norte, enquanto as águas mais oxigenadas e menos salinas são semelhantes às que vem da região sul e foram observadas no lado leste do transecto. Com relação aos nutrientes, a AIA é uma água mais enriquecida relativamente à água superior, a ACAS, o esperado devido a sua área de formação, seria que as águas de sul apresentassem maiores concentrações que as do norte, mas não foi possível observar intervalos definidos para os três nutrientes nas duas regiões (norte e sul). Com relação à direção leste-oeste, foi observada uma diferença para o silicato, entre 700 e 900 dbar e a 1300 dbar (27,3 kg m<sup>-3</sup>) (Fig. 42 e), com maiores concentrações no lado leste. O fosfato apresentou maiores concentrações na porção leste entre 700 e 1000 dbar (27,3 kg m<sup>-3</sup>) e o nitrato apresentou uma distribuição que não permitiu observar diferenças significativas na direção leste-oeste (Fig.42 d, f).



Figura 42. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Intermediária Antártica, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de  $34,5^{\circ}S$ , + Projeto WOCE, 1994 – sul de  $34,5^{\circ}S$ , • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de  $49,5^{\circ}W$  e • Projeto SAMOC, 2012 – leste de  $49,5^{\circ}S$ ).

A Água Circumpolar Superior tem como característica as baixas concentrações de oxigênio dissolvido (STRAMMA, SCHOTT, 1999; TSUCHIYA *et al.*, 1994). É o ramo superior da Água Circumpolar Profunda que ao se dirigir para o Oceano Atlântico Sul seguindo pela porção oeste da Bacia Argentina se divide ao encontrar com a Água Profunda do Atlântico Norte. As águas que passam pelo lado leste do transecto se apresentaram mais frias, menos salinas e menos oxigenadas (190 μmol kg<sup>-1</sup>), mais semelhantes às águas da região sul, mais próxima à região de formação da massa d'água. Na porção oeste, as águas apresentaram maiores temperaturas, salinidade e concentrações de oxigênio (205 μmol kg<sup>-1</sup>) (Fig. 43 a, b, c). Isso indicaria que a ACS que flui pelo lado leste do transecto apresenta a água com características mais próximas da massa d'água original, enquanto a que passa pelo lado oeste apresenta uma água com propriedades modificadas pela recirculação e misturas com a AIA na parte superior e APAN na inferior, ambas águas com maiores concentrações de oxigênio.

A ACS é ainda mais enriquecida que a AIA em relação aos nutrientes. O fosfato e o silicato apresentaram maiores concentrações do lado leste do transecto, (0,25 e 12,75 μmol kg<sup>-1</sup> em média, respectivamente), mais parecidas com as águas da região sul. (Fig. 43 d e). A distribuição de nitrato não permitiu assinalar diferença entre o lado leste e oeste, as concentrações parecem mais homogêneas ao longo do transecto, além de uma amostragem mais reduzida desse parâmetro para essa massa d'água (Fig. 43 f).



Figura 43. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Circumpolar Superior, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de  $34,5^{\circ}S$ , + Projeto WOCE, 1994 – sul de  $34,5^{\circ}S$ , • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de  $49,5^{\circ}W$  e • Projeto SAMOC, 2012 – leste de  $49,5^{\circ}S$ ).

A Água Profunda do Atlântico Norte é transportada de sua região de formação no hemisfério norte para o Atlântico Sul pela Corrente Profunda de Contorno Oeste (REID, 1989). Essa massa d'água é mais quente, salina e oxigenada em relação às duas massas adjacentes (ACS e ACI). As águas que vem pelo lado oeste são as mais quentes, salinas e oxigenadas (médias 2,90°C, 34,90 e 245,00 μmol kg<sup>-1</sup>) (Fig. 44 a, b e c), semelhantes àquelas da região norte. As águas que passam pelo lado leste do transecto se encontram mais frias, menos salinas e menos oxigenadas (médias de 2,70°C, 34,86 e 230,00 μmol kg<sup>-1</sup>), modificadas pela interação com ACS e ACI.

As concentrações de nutrientes na APAN são relativamente mais baixas (TSUCHIYA *et al.*, 1994). As águas com menores valores foram observadas do lado oeste e vindas de norte, para o fosfato, média de 1,35  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>, e silicato com média de 28,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>, enquanto na porção leste as concentrações foram de 1,50 e 40,30  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>, respectivamente. O nitrato continuou a apresentar pouca distinção, seus valores apresentaram poucas diferenças ao longo do transecto (Fig. 44 d, e, f).



Figura 44. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Profunda do Atlântico Norte, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de  $34,5^{\circ}S$ , + Projeto WOCE, 1994 – sul de  $34,5^{\circ}S$ , • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de  $49,5^{\circ}W$  e • Projeto SAMOC, 2012 – leste de  $49,5^{\circ}S$ ).

A Água Circumpolar Inferior é caracterizada por menores concentrações relativas de oxigênio dissolvido, porém maiores que a ACS, e maiores concentrações de nutrientes (STRAMMA, SCHOTT, 1999; TSUCHIYA *et al.*, 1994). Na área de estudo não foram observadas diferenças em todos os parâmetros ao longo do transecto, isso indicaria que não ocorrem movimentos de recirculação para essa massa como o indicado por Valla *et al.*, 2017 (em preparo). Com exceção de alguns valores da temperatura potencial, menores nas estações do lado oeste, os outros parâmetros apresentaram valores mais parecidos com os observados para a região sul, indicando que a massa d'água passa pela área de estudo com suas características preservadas sem modificações geradas por misturas (Fig. 45 a, b, c, d, e, f).



Figura 45. Distribuição vertical de temperatura potencial (a), salinidade (b) e oxigênio dissolvido (c), fosfato dissolvido (d), silicato dissolvido (e) e nitrato dissolvido (f) para a Água Circumpolar Inferior, (+ Projeto WOCE, 1994 – norte de 34,5°S, + Projeto WOCE, 1994 – sul de 34,5°S, • Projeto SAMOC, 2012 - oeste de 49,5°W e • Projeto SAMOC, 2012 – leste de 49,5°S).

A Água de Fundo Antártica não foi analisada para esse propósito, devido a menor quantidade de dados amostrados. Essa massa d'água só foi identificada a partir da estação 16, ou seja apenas de um lado do transecto. Além disso, os dados analisados por Valla *et al.*,2017 (em preparo) sugerem que como a ACI, a massa cruza o transecto sem apresentar modificações.

A análise dos dados de CTD das profundidades das garrafas com relação à variação longitudinal na área de estudo do Projeto SAMOC, possibilitou indicar quais seriam os parâmetros químicos mais adequados para mostrar os possíveis processos de circulação das massas d'água presentes na região.

O oxigênio dissolvido apresentou as maiores diferenças entre a região leste e oeste, na Água Tropical, Água Intermediária Antártica, Água Circumpolar Superior, Água Profunda do Atlântico Norte (Fig. 46 c.). O fosfato indicou o processo para a AT, ACS e APAN (Fig. 46 d). O silicato mostrou as diferenças para a AIA, ACS e APAN (Fig. 46 e). O nitrato apresentou um comportamento mais homogêneo ao longo do transecto, não apresentando variações significativas para a avaliação da circulação na região. (Fig. 46 f).



Figura 46. Distribuição de temperatura potencial (a), salinidade (b), oxigênio dissolvido (c), fosfato (d), silicato (e) e nitrato (f), estações 9 a 20, campanha SAMOC de dezembro de 2012, transecto a 34,5°S.
## 5. Conclusões

Na região sudoeste do Oceano Atlântico, próxima a 34,5°S foram observadas as seguintes massas d'água, com base em dados hidrológicos e complementados com dados hidroquímicos, já descritas em literatura: Água da Pluma do Prata, Água Subantártica de Plataforma, Água Subtropical de Plataforma, Água Tropical, Água Central do Atlântico Sul, Água Intermediária Antártica, Água Circumpolar Superior, Água Profunda do Atlântico Norte, Água Circumpolar Inferior e Água de Fundo Antártica.

Os parâmetros físicos (temperatura potencial e salinidade) apresentaram a menor variabilidade temporal para as massas d'água, porém apresentaram variabilidade espacial, devido à erosão que as massas d'água sofrem ao se distanciar de suas regiões de formação.

Os parâmetros químicos (oxigênio e nutrientes principais dissolvidos) apresentaram maior variabilidade temporal e espacial, pois além da erosão devido ao deslocamento, esses parâmetros também podem apresentar diferenças na formação da massa d'água além da variabilidade das águas superficiais e costeiras.

A avaliação dos parâmetros físicos (temperatura e salinidade) e químicos (oxigênio e nutrientes dissolvidos) permitiu a identificação das massas d'água presentes na plataforma continental da região próxima a 34,5°S e sua variabilidade sazonal. Apesar da variação sazonal das concentrações, os parâmetros químicos geralmente não considerados conservativos sob essas circunstâncias, se mostraram eficientes como traçadores complementares das massas d'água. Porém é necessário considerar algumas particularidades, como a proximidade da costa e do fundo, os processos de adição e remoção, na camada eufótica, devido à produção primária e regeneração via afundamento de matéria orgânica.

Com essas considerações foi possível observar neste estudo que os parâmetros químicos podem auxiliar na identificação das massas d'água sobre a plataforma continental da seguinte forma: *i*) o oxigênio dissolvido pode ser um bom indicador da Água Subantártica de Plataforma no período do inverno, quando apresentou concentrações elevadas (> 230,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>); *ii*) o silicato se mostrou um bom indicador da Água de Plataforma do Prata nos dois períodos sazonais, com maiores concentrações no inverno (> 20,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>). *iii*) o fosfato neste estudo se apresentou um indicador para a Água Subantártica de Plataforma no verão; *iv*) o nitrato foi um bom indicador da presença da

Água Central do Atlântico Sul na plataforma em ambos os períodos, além de indicar a Água Subantártica de Plataforma no inverno.

As massas d'água presentes no talude e mar aberto foram identificadas na área de estudo inicialmente com os dados dos parâmetros clássicos como temperatura potencial, salinidade e densidade neutra, e foram complementados com os dados de oxigênio dissolvido, fosfato, silicato e nitrato, que permitiram um maior grau de distinção e observação de processos hidrodinâmicos dessas massas d'água, que podem ser utilizados em outras regiões e para diferentes finalidades, desde o auxilio na identificação das massas, no acompanhamento das variabilidades temporais e até em alterações nos padrões de circulação.

De um modo geral, as concentrações relativas elevadas de oxigênio dissolvido identificaram a AIA (> 240,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>), APAN (> 230,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e AFA (> 220,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>). As concentrações elevadas de fosfato, silicato e nitrato respectivamente identificaram a AIA (2,00; 30,00; 25,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>), ACS (2,10; 40,00; 30,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>), ACI (2,15; 900,00; 30,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e AFA (2,30; >100,00; 30,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>) e concentrações relativas mais baixas dos mesmos identificaram a APAN (1,50; 30,00; 25,00  $\mu$ mol kg<sup>-1</sup>).

A análise dos nutrientes como traçadores complementares de massas d'água também permitiu determinar um núcleo para as mesmas, baseado nos mínimos e máximos das concentrações de nutrientes, que pode ser distinto dos núcleos determinados pela salinidade e oxigênio dissolvido.

Os possíveis processos de recirculação que ocorrem na região sudoeste do Oceano Atlântico Sul foram avaliados com base nas diferenças entre os parâmetros físicos e químicos ao longo do transecto amostrado.

O oxigênio dissolvido apresentou as maiores diferenças entre a região leste e oeste, na Água Tropical, Água Intermediária Antártica, Água Circumpolar Superior e Água Profunda do Atlântico Norte.

O fosfato indicou o processo para a AT, ACS e APAN. O silicato mostrou as diferenças para a AIA, ACS e APAN. O nitrato apresentou uma distribuição mais homogênea ao longo do transecto, sem variações que permitam indicar alterações dos processos de circulação na região.

## 6. Referências bibliográficas

ANDRIÉ, C.; GOURIOU, Y.; BOURLÈS. B.; TERNON, J-F.; BRAGA, E.S.; MORIN, P.; OUDOT, C. Variability of AABW properties in the equatorial channel at 35°W. **Geophysical research letters,** v.. 30, n. 5, 2003.

BARINGER, M.O.; GARZOLI, S.L. Meridional heat transport determined with expandable bathythermographs – Part I: Error estimates from model and hydrographic data. **Deep-Sea Research I**, v.54, p. 1390-1041, 2007.

BENITEZ-NELSON, C. R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. **Earth Science Reviews**, v. 51, p. 109-135, 2000.

BIANCHI, A. A.; GIULIVI, C.F.; PIOLA, A.R. Mixing in the Brazil Malvinas Confluence. **Deep Sea Research I**, v. 40 n. 7, p. 1345-1358, 1993.

BRAGA, E. S. Determinação automática de nitrato. 1997a. In: WAGENER, A. R. L.; CARREIRA, R. **Métodos analíticos de referência em Oceanografia Química**. Rio de Janeiro, MMA/SMA, Cap. 6, p. 27-29.

BRAGA, E. S. Determinação automática de nitrito. 1997b. In: WAGENER, A. R. L.; CARREIRA, R. **Métodos analíticos de referência em Oceanografia Química**. Rio de Janeiro, MMA/SMA, Cap. 7, 31-35p.

BRAGA, E.S. 2002. Bioquímica Marinha e efeitos da poluição nos processos bioquímicos, 2ªed, Fundespa, 108 p.

BRAGA, E. S.; MÜLLER, T. Observation of regeneration of nitrate, phosphate and silicate during upwelling off Ubatuba. **Continental Shelf Research**. v. 18, n. 8, p, 1998.

BROECKER, W. 2010. The great ocean conveyor: discovering the trigger for abrupt climate change. Princenton, Princenton University Press.

BOSWELL S. M.; SMYTHE-WRIGHT D.; HOLLEY S. E.; KIRKWOOD, D. The tracer signature of Antartic Bottom Water and its spread in the Southwest Indian Ocean: Part II-Dissolution fluxes of dissolved silicate and their impact on its use as a chemical tracer. **Deep-Sea Research**: Part I, v. 49, p. 575-590, 2002.

CALLIARI, D.; BRUGLI, E.; FERRARI, G.; VIZZIANO, D. Phytoplankton distribution and production along a wide environmental gradient in the South-West Atlantic off Uruguay. **Hydrobiologia**, v.620, p. 47-68. 2009.

CAMPOS, E. J. D; OLSON D.B. Stationary rossby waves in Western Boundary Current extensions, Journal of Physical Oceanography, v. 21, p. 1202-1225, 1991.

CAMPOS, E. J. D. Estudos da circulação oceânica no AtlânticoTropical e na região oeste do Atlântico Subtropical Sul. 1995. 144 f. Tese (Livre-Docência) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CAMPOS, E.J.D., J.L. MILLER, T.J. MÜLLER, AND R.G. PETERSON. Physical oceanography of the southwest Atlantic, **Oceanography.** v. 8, n. 3, p. 87–91,1995.

CAMPOS, E. J. D.; MULKHERJEE, S.; PIOLA, A. R.; de CARVALHO, F.M.S. A note on a mineralogical analysis of the sediments associated with the Plata River and Patos Lagoon outflows. **Continental Shelf Research,** v. 28, p. 1687-1691, 2008.

CAMPOS, E.J.D. O papel do Oceano nas Mudanças Climáticas Globais. **Revista USP**, v.103, p, 55-66, 2014.

CARTER, L.; MCCAVE, I.N.; WILLIAMS, M.J.M.Circulation and Water Masses of the Southern Ocean: a review. In: FLORINDO, F.; SIEGERT, M. Antarctic climate evolution. Amsterdam: Elsevier, 2008. cap. 4.

CASTELLO, J.P.; MÖLLER, O.O. Sobre as condições oceanográficas no Rio Grande do Sul. **Atlântica**, v. 2(2), p. 25-110. 1977.

CHESTER, R. Marine Geochemistry, London: Unwin Hyman, 1990.

CIOTTI, A. M.; ODEBRECHT, C.; FILLMANN, G.; MÖLLER JR, O.O. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Continental Shelf Research**, v.15, n. 14, p. 1737-1756. 1995.

DE MADRON, X.D.; WEATHERLY, G. Circulation, transport and bottom boundary layers of the deep currents in the Brazil Basin. Journal of Marine Research, v. 52, p. 583-638, 1994.

EICHLER, P.P.B.; SEN GUPTA, B.K.; EICHLER, B.B.; BRAGA, E.S.; Campos, E.J. Benthic foraminiferal assemblages of the South Brazil: Relationship to water masses and nutrient distributions. **Continental Shelf Research**, v.28, 1674-1686, 2008.

EMERY, W. J. Water Types and Water Masses. In: Ocean Circulation. Boulder, University of Colorado: 1556-1567p, 2003.

EMILSSON, I. 1961. The Shelf and Coastal Waters of Southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 101-112.

FRAMIÑAN, M.B. On the Physics, Circulation and Exchange Processes of the Río de la Plata Estuary and the Adjacent Shelf. 2005. 486f. Dissertation (PhD) - Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida.

FLACK, E.; THINGSTAD, F.; WASSMANN, P. ; BØRSHEIM, Y. 2011. Tracing Pacific water entering the Polar Ocean through the Bering Strait using N:P ratio signatures. Oral presentation at ESSAS Open Science Meeting, Seattle, USA, 2011.

GAETA, S.A.; BRANDINI, F.P. Produção primária do fitoplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L. ; MADUREIRA, L (Ed.). O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na região Sudeste-Sul do Brasil. EDUSP, 2006. p. 219-264.

GARZOLI, S.L.; BARINGER, M.O. Meridional heat transport determined with expandable bathythermographs – Part II: South Atlantic transport. **Deep-Sea Research I.** v. 54, p. 1402-1420, 2007.

GARZOLI, S.L.; MATANO, R. The South Atlantic and the Atlantic Meridional Overturning Circulation. **Deep-Sea Research II**, v. 58, p.1837-1847, 2011.

GARZOLI, S.L.; BARINGER, M.O.; DONG, S.; PEREZ, R.C.; YAO, Q. South Atlantic Meridional Fluxes. **Deep-Sea Research I**, v.71, p.21-32, 2013.

GÓMEZ-ERACHE, M.; LAGOMARSINO, J.J.; NÚÑEZ, K.; VIZZIANO, D.; NAGY, G.J. Producción fitoplanctónica en la zona frontal del Río de la Plata. VIZZIANO, D.; PUIG, P.; MESONES, C.; NAGY, G.J. (Ed.). **El Rio de la Plata**: investigacion para la gestion del ambiente, los recursos pesqueros y la pesqueria en el frente salino. Ecoplata Program: Montevideo, 2001. p. 33-45.

GRASSHOFF, K. Determination of oxygen. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. Methods of Seawater Analysis. 2nd ed. Weinheim: Verlag Chemie, 1983.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. Methods of Seawater Analysis. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH, 1999.

GORDON, A.L. Interocean exchange of thermocline water. Journal of Geophysical Research. v.91, p.5037–5046, 1986.

GORDON, A.L., GREENGROVE, C.L. Geostrophic circulation of the Brazil–Falkland confluence. **Deep-Sea Research,** v. 33, p.573–585, 1986.

GORDON, A. Bottom water formation. Em J. H. Steele, K. K. Turekian, & S. A. 779 Thorpe (Eds.), Encyclopedia of Ocean Sciences, p. 334–340, 2001.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. Applied Geostatistics. Oxford University Press, 1989.

JACKETT, D. R. ; MCDOUGALL, T.J. A neutral density variable for the world's oceans, **Journal of Physical Oceanography**, v. 27(2), p. 237-263, 1997.

JEFFREY, S.W. ; HUMPHREY, G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. **Biochemie und Physiologie der Pflanzen**, Bd.167, p. 191-194, 1975.

KRESS, N.; HERUT, B. Spatial and seasonal evolution of dissolved oxygen and nutrients in the Southern Levantine Basin (Eastern Mediterranean Sea): chemical characterization of the water masses and inferences on the N:P ratios. **Deep-Sea Research I.** v.48, p. 2347-2372, 2001.

LUTJEHARMS, J.R.E.; VAN BALLEGOOYEN, R.C.A. Anomalous upstream retroflection in the Agulhas current. **Science**, v. 240, p. 1770–1772, 1988.

MAMAYEV, O. I.. **Temperature-salinity analysis of world ocean waters**. Amsterdam Elsevier Scientific Publishing, 1975.

MAAMAATUAIAHUTAPU, K.; GARÇON, V.C.; PROVOST, C.; BOULAHDID, M.; BIANCHI, A.A. Spring and winter water mass composition in the Brazil-Malvinas Confluence. **Journal of Marine Research**, v. 52, 397-426, 1994.

MEINEN, C. S.; GARZOLI, S. L.; PEREZ, R. C.; CAMPOS, E.; PIOLA, A. R.; CHIDICHIMO, M. P.; DONG, S.; SATO, O. T. Characteristics and causes of Deep Western Boundary Current transport variability at 34.5°S during 2009–2014, **Ocean Science.**, v. 13(1), p. 175-194, 2017.

MÉMERY, L.; ARHAN, M.; ALVAREZ-SALGADO, X.A.; MESSIAS, M.J.; MERCIER, H.; C.G. CASTRO, C.G.; RIOS, A.F. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 47, p. 69–98, 2000.

MÖLLER JR, O.O.; PIOLA, A.R.; FREITAS, A.C.; CAMPOS, E.J.D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, p.1607-1624, 2008.

MILLERO, F.J. Chemical Oceanography. CRC Press Taylor & Francis Group, 594p. 2013.

OUDOT, C.; TERNON, J. F.; ANDRIE, C.; BRAGA, E. S.; MORIN, P. On the crossing of equator by intermediate waters masses in the Atlantic Ocean: Identification and pathways of Antarctic Intermediate Water and Circumpolar Water. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 104, n. 9, p. 20911-20926, 1999.

PEETERS, F.J.C.; ACHESON, R.; BRUMMER, G.-J.A.; de RUIJTER, W.P.M.; GANSSEN, G.M.; SCHNEIDER, R.R.; UFKES, E.; KROON, D. Vigorous exchange between Indian and Atlantic Ocean at the end of the last five glacial periods. **Nature**, v. 430, p. 661–665, 2004.

PETERSON, R. G.; STRAMMA L. Upper-level circulation in the South Ocean. **Progress** in Oceanography, v. 26, p. 1-73, 1991.

PIOLA, A.R.; GEORGI, D.T. Circumpolar properties of Antartic Intermediate Water and Subantartic Mode Water. **Deep-Sea Research**, v.29, n. 6A, p. 687-711, 1982.

PIOLA, A.R.; GORDON, A. Intermediate waters in the southwest South Atlantic. **Deep-Sea Research**, v. 36, p. 1–16, 1989.

PIOLA, A.R.; MATANO, R.P.; PALMA, E.D.; MÖLLER, O.O.; CAMPOS, E.J.D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**, 32, 2005.

PIOLA, A.R.; ROMERO, S.I.; ZAJACZKOVSKI, U. Space – time variability of the Plata plume inferred from ocean color. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1556-1567, 2008.

PLACENTI, F.; SCHOEDER, K. Water masses and nutrient distribution in the Gulf of Syrte and between Sicily and Libya. **Journal of Marine Systems**, v.121-122, p.36-36, 2013.

PROVOST, C.; ESCOFFIER, C.; MAAMAATUAIAHUTAPU, K.; KARTAVTSEFF, A.; GARÇON, V. Subtropical mode waters in the South Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 104(C9), p. 21033-21049, 1999.

RAHMSTORF, S. The concept of the thermohaline circulation. **Nature**, 421(6924), p. 699, 2003.

REID, J. L. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic: Flow patterns, traces and transport. **Progress in Oceanography**, v. 23, n. 3, p. 149-244, 1989.

RILEY, J. P.; CHESTER, R. Introduction to marine chemistry. St. Edmundsbury Press, Great Britain, p 465, 1989.

RUDDIMAN, W.F. Earth's climate – Past and Future. 2nd ed., W. H. Freeman and Company New York, 2008.

RUTTENBERG, K. C. The global phosphorus cycle. *In*:SCHLESINGER, W.H. (Ed.). Biogeochemistry:Treatise on Geochemistry, 2006. V. 8, p.585-633, 2006.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA,Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.

SPEICH, S.; GARZOLI, S.L.; PIOLA A. A monitoring system for the South Atlantic as a component of the MOC. In: Hall, J., Harrison, D.E. and Stammer, D. (eds.), Proceedings of OceanObs09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Annex), Venice, Italy, 21–25 September, 2009, ESA Publication WPP-306, 2010.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research, v.104, n.C9, p.20863-20883, 1999.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean ßow Þeld of the tropical Atlantic Ocean.

Deep-Sea Research II, v. 46, p. 279-303, 1999.

SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, M. W.; FLEMING, R. H. The Oceans. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1942.

TSCHUYIA M.; TALLEY L. D.; MCCARTNEY, M. S. Water-mass distributions in the western South Atlantic; A section from South Georgia Island (54 S) northward across the equator. **Journal of Marine Research**, v. 52, p. 55-81, 1994.

TOMCZAK, M.; GODFREY, J. S. **Regional oceanography**: an introduction. Oxford: Pergamon, 1994.

TOMCZAK, M. Some historical, theorical and applied aspects of quantitative water mass analysis. **Journal of Marine Research**, v. 57, p. 275-303, 1999.

TREGUER, P.; LE CORRE, P. 1975. Manuel d'analysis des sels nutritifs dans l'eau de mer. 2éme éd. Brest: Université de Bretagne Occidentale, 110 p.

VALLA, D.; PIOLA, A.R.; MEINEN, C.S.; CAMPOS, E. . Strong mixing and recirculation in the northwestern Argentine Basin. (em preparo), 2017.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. Atmospheric science : an introductory survey. 2nd ed. American Press, 2006.

WUNSCH, C. What is the thermohaline circulation? **Science**, 258 (5596), pp. 1179-1181, 2002.

WUST, G. Block diagrams of the Atlantic circulation due to the meteor-results. Kiel Marine Research 7, 1950.

ZAVIALOV, P.; KOSTIANOY, A.G.; MÖLLER, O.O. Safari Cruise: mapping river discharge effects on southern Brazil. **Geophysical Research Letters** 30, 2126, 2003.

ANEXOS

Anexo 1. Tabela de correlação de Pearson (r), utillizando temperatura, salinidade, oxigenio dissolvido, fosfato, silicato, nitrato, nitrito, para as estações de 1 a 8, sobre a plataforma continental na região próxima a 34,5°S, dezembro de 2012.

	Temp.	Salin.	OD	Silicato	Fosfato	Nitrato	Nitrito
Temp.	1,00						
Salin.	-0,51	1,00					
OD	0,50	-0,56	1,00				
Silicato	-0,16	-0,26	-0,23	1,00			
Fosfato	-0,44	-0,16	-0,27	0,59	1,00		
Nitrato	-0,86	0,64	-0,60	0,20	0,38	1,00	
Nitrrito	-0,57	0,25	-0,48	0,04	0,43	0,34	1,00

Anexo2. Tabela de correlação de Pearson (r), utillizando temperatura, salinidade, oxigenio dissolvido, fosfato, silicato, nitrato, nitrito, para as estações de 1 a 9, sobre a plataforma continental na região próxima a 34,5°S, setembro de 2016.

	Temp.	Salin.	OD	Silicato	Fosfato	Nitrato	Nitrito
Temp.	1,00						
Salin.	0,31	1,00					
OD	-0,62	-0,24	1,00				
Silicato	-0,06	-0,92	-0,06	1,00			
Fosfato	-0,39	-0,57	0,09	0,61	1,00		
Nitrato	0,58	0,67	-0,44	-0,50	-0,40	1,00	
Nitrito	-0,08	0,29	-0,19	-0,25	-0,16	0,11	1,00

Anexo 3. Tabela de médias por estação de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido obtidos por CTD, para a AT, Projeto SAMOC, dezembro, 2012.

Estação	Distância	TpotCTDmed	desvT	SalCTDmed	desvSal	ODCTDmed	desv OD
9	0	20,170	2,532	35,852	0,542	208,554	13,522
10	163,17	20,566	2,510	36,219	0,472	212,832	5,162
11	175,58	19,639	2,883	36,274	0,477	214,025	6,181
12	220,97	19,329	2,290	36,181	0,288	215,078	7,711
13	265,33	18,674	1,797	36,065	0,126	224,574	5,167
14	312,38	18,692	1,718	36,077	0,135	225,559	6,110
15	358,70	18,524	1,707	36,057	0,154	220,882	4,830
16	449,17	18,668	1,738	36,071	0,143	223,484	4,327
17	541,69	18,136	1,720	35,936	0,170	226,983	8,677
18	610,78	18,335	1,564	36,036	0,131	225,467	4,342
19	671,09	19,036	1,942	36,140	0,223	222,777	5,329
20	816,89	18,294	1,289	36,091	0,121	222,196	5,956

Estação	Distância	TpotCTDmed	desvTpot	SalCTDmed	desvSal	ODCTDmed	desvOD
9	151,53	12,09	2,43	35,11	0,33	207,86	5,77
10	163,17	11,80	2,36	35,07	0,32	208,72	2,97
11	175,58	11,59	1,93	35,04	0,26	209,91	2,90
12	220,97	12,16	2,65	35,15	0,40	214,62	3,59
13	265,33	12,42	2,76	35,19	0,43	216,25	4,37
14	312,38	12,37	2,62	35,18	0,40	215,11	3,24
15	358,7	12,09	2,57	35,13	0,38	212,55	2,64
16	449,17	12,37	2,65	35,18	0,40	212,41	3,01
17	541,69	12,15	2,55	35,14	0,37	215,69	3,05
18	610,78	12,28	2,59	35,18	0,39	213,99	4,28
19	671,09	12,35	2,78	35,19	0,43	218,02	2,05
20	816,89	11,69	2,71	35,07	0,41	217,47	4,40

Anexo 4. Tabela de médias por estação de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido obtidos por CTD, para a ACAS, Projeto SAMOC, dezembro, 2012.

Anexo 5. Tabela de médias por estação de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido obtidos por CTD, para a AIA, Projeto SAMOC, dezembro, 2012.

Estação	Distância	TpotCTDmed	Tpotdesv	SalCTDmed	Saldesv	ODCTDmed	ODdesv
9	151,53	6,30	0,54	34,39	0,06	229,66	5,60
10	163,17	5,10	0,78	34,32	0,05	227,78	5,14
11	175,58	4,42	0,93	34,33	0,05	220,03	12,45
12	220,97	4,39	1,00	34,31	0,05	226,49	15,35
13	265,33	4,34	0,94	34,30	0,05	229,75	17,89
14	312,38	4,32	0,94	34,30	0,05	229,06	16,36
15	358,70	4,62	1,20	34,34	0,06	219,60	9,71
16	449,17	4,58	1,19	34,36	0,05	214,87	7,29
17	541,69	4,18	0,95	34,27	0,06	236,28	19,96
18	610,78	4,31	1,07	34,30	0,07	231,09	17,96
19	671,09	4,40	1,16	34,31	0,06	226,36	13,73
20	816,89	4,29	1,08	34,29	0,05	231,00	15,51

Estação	Distância	TpotCTDmed	Tpotdesv	SalCTDmed	Saldesv	ODCTDmed	ODdesv
12	220,97	3,29	0,16	34,67	0,14	202,34	10,63
13	265,33	3,22	0,26	34,67	0,16	203,06	12,26
14	312,38	3,30	0,28	34,68	0,16	203,77	11,51
15	358,70	3,28	0,18	34,68	0,14	203,13	11,33
16	449,17	3,03	0,16	34,64	0,14	196,90	9,70
17	541,69	2,90	0,05	34,60	0,11	191,34	3,80
18	610,78	3,03	0,14	34,63	0,12	196,46	8,43
19	671,09	2,86	0,05	34,59	0,10	190,15	4,28
20	816,89	2,95	0,09	34,61	0,12	193,67	6,51

Anexo 6. Tabela de médias por estação de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido obtidos por CTD, para a ACS, Projeto SAMOC, dezembro, 2012.

Anexo 7. Tabela de médias por estação de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido obtidos por CTD, para a APAN, Projeto SAMOC, dezembro, 2012.

Estação	Distância	TpotCTDmed	Tpotdesv	SalCTDmed	Saldesv	ODCTDmed	ODdesv
12	220,97	3,18	0,18	34,93	0,01	244,67	5,04
13	265,33	3,05	0,36	34,92	0,01	243,80	6,32
14	312,38	2,95	0,48	34,91	0,03	243,48	6,82
15	358,7	2,96	0,47	34,91	0,03	242,73	6,78
16	449,17	2,77	0,32	34,88	0,03	233,28	11,14
17	541,69	2,73	0,32	34,88	0,03	233,79	10,48
18	610,78	2,89	0,42	34,91	0,03	240,63	6,76
19	671,09	2,62	0,27	34,86	0,04	227,54	13,35
20	816,89	2,56	0,40	34,85	0,03	226,48	7,67

Anexo 8. Tabela de médias por estação de temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido obtidos por CTD, para a ACI, Projeto SAMOC, dezembro, 2012.

Estação	Distância	TpoCTDtmed	Tpotdesv	SalCTDmed	Saldesv	ODCTDmed	ODdesv
14	312,38	1,60	0,06	34,80	0,01	225,21	1,37
15	358,7	0,88	0,40	34,73	0,03	217,47	3,68
16	449,17	0,68	0,49	34,72	0,04	219,18	4,07
17	541,69	0,60	0,51	34,72	0,04	219,88	3,91
18	610,78	0,63	0,47	34,72	0,04	217,08	4,67
19	671,09	0,68	0,56	34,73	0,05	221,40	6,96
20	816,89	0,67	0,52	34,72	0,04	219,41	1,95