



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR

CURSO DE OCEANOGRAFIA

PEDRO SILVEIRA CALIXTO

**A SUBCORRENTE NORTE DO BRASIL ENTRE FORTALEZA (CE) E O CABO DO
CALCANHAR (RN)**

Fortaleza

2013

PEDRO SILVEIRA CALIXTO

**A SUBCORRENTE NORTE DO BRASIL ENTRE FORTALEZA (CE) E O CABO DO
CALCANHAR (RN)**

**Monografia apresentada ao Curso de graduação
em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Oceanografia**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda

**Coorientador: Prof. Dr. Ilson Carlos Almeida da
Silveira**

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

C159s Calixto, Pedro Silveira.

A subcorrente norte do Brasil entre Fortaleza (CE) e o Cabo do Calcanhar (RN) / Pedro Silveira Calixto – 2013.

30 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2013.

Orientação: Prof^o. Dr. Luiz Drude de Lacerda.

Co-Orientação: Dr. Ilson Carlos Almeida da Silveira.

1. Correntes marinhas. 2. Oceano Atlântico – Hidrografia. I. Título.

CDD 551.464

Ac. 139954
Reg. 14106733

PEDRO SILVEIRA CALIXTO

**A SUBCORRENTE NORTE DO BRASIL ENTRE FORTALEZA (CE) E O CABO DO
CALCANHAR (RN)**

**Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do
Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Oceanografia.**

Aprovada em: __/__/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Perez Texeira

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A natureza divina que favoreceu essa experiência,

A minha mãe, Fatima, você é uma guerreira.

AGRADECIMENTOS

A minha família, principalmente minha mãe Fátima que merece todo o mérito erroneamente atribuído a min. Obrigado pelo apoio incondicional.

A todos que favoreceram e participaram dessa experiência, em especial todos os amigos da Oceanografia – UFC 2010, os quais tornaram tão prazerosos e suaves esses anos de trabalho e convivência.

Ao professor Luiz Drude de Lacerda, o qual não só forneceu todo o apoio necessário como também um referencial acadêmico.

Ao meu amigo e professor Carlos Texeira, que com muita paciência e vontade nos apresentou o mundo novo e fascinante que é a Oceanografia física.

Ao meu amigo, professor e tio Ilson da Silveira, o qual foi de fundamental importância para a realização desse trabalho e favoreceu uma das melhores experiências que me ocorreu na graduação. Mas agradeço principalmente pelas longas conversas e lições de humildade e companheirismo que pretendo levar pelo resto da vida.

A todos os irmãos do Laboratório de Biogeoquímica Costeira – LBC, que com toda a sua diversidade me ensinaram lições valiosas e fora de fundamental importância para o meu engrandecimento pessoal e profissional, embora continue sujando a mesinha do café.

Ao INCT – TMOcean pelo apoio financeiro que viabilizou a logística do trabalho.

A ela que tanto alegraste meus últimos dias...

“Lentidão dos vapores pelo mar...
Tanto que ver, tanto que abarcar.
No eterno presente da pupila
Ilhas ao longe, costas a despontar
Na imensidão oceânica e tranquila..”

Álvaro de Campos

RESUMO

A circulação no Atlântico equatorial e tropical ocidental é muito complexa, devido o ciclo sazonal e variabilidade de mesoescala. A característica dominante na circulação perto da fronteira ocidental é a Corrente Norte do Brasil (CNB), que tem sua origem, próximo à região equatorial. A CNB é a principal corrente de contorno oeste localizada em baixas latitudes e maior responsável pela troca de propriedades entre os hemisférios no oceano Atlântico. O estudo na região equatorial se torna ainda mais dispendioso, pois é marcado pela alta variabilidade que ocorrem tanto em escalas espaciais quanto temporais. O oceano equatorial por sua vez, responde fortemente a alterações no campo de ventos, essas alterações geralmente estão relacionadas à migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Assim é necessário um monitoramento constante do sistema equatorial, principalmente na área de atuação da CNB. Esse trabalho tem como objetivo a utilização de propriedades hidrográficas como salinidade, temperatura, densidade e oxigênio, para descrever a estrutura vertical de massas d'água na região setentrional do nordeste do Brasil e se utilizar dos dados de densidade para o cálculo de correntes por meio do método dinâmico, para isso foi utilizado dados de um perfilador CTD "SeaBird SBE 25Plus" adquiridos durante o cruzeiro oceanográfico CORENAV I, abrangendo a região do talude e áreas oceânicas adjacentes, no mês de outubro de 2012. O cruzeiro foi guiado por uma malha amostral adensada sobre a quebra da plataforma continental. Foi abordado um total de 48 estações distribuídas em 10 radiais perpendiculares à costa, contendo, em média, cinco pontos ao longo de sua extensão, estas distam aproximadamente 15 km de um ponto para o outro e 30 km, entre as radiais. Foram realizadas perfilagens até cerca de 1200 metros de profundidade, sendo as estações que não atingiram a profundidade ideal, extrapoladas até o máximo de profundidade local. O conjunto de dados foram plotados em ambiente *matlab* para a visualização do diagrama TS e das secções verticais, propiciando a identificação da estrutura vertical de massas d'água sob a área de estudo. Os dados dos pares T-S e os valores de superfícies isopícnais em mesoescalas descritos na literatura mostram que a região de estudo é ocupada pelas massas de Água Costeira (AC), Tropical (AT) e Central do Atlântico Sul (ACAS) e a camada superior da Água Profunda do Atlântico Norte (uAPAN), que se mostrou em uma posição mais superficial na região equatorial, quando comparada com outras regiões com estudos mais consolidados. Os cálculos de velocidades geostróficas foram considerados satisfatórios com velocidades por volta de 1ms^{-1} em nível picnoclínico. Dessa forma é

necessário que haja um aprofundamento nos estudos que descrevem a variabilidade física desta região.

Palavras chave: Sub Corrente Norte do Brasil – SNB. Massa de água. CTD.

ABSTRACT

The Equatorial and Tropical Atlantic circulation is very complex, because of the seasonal cycle and mesoscale variability. The most important feature of the circulation close to the occidental edge is the North Brazil Current (NBC), which has its origin close to the equatorial region. The NBC is the main west boundary current located in low latitudes, being responsible for most of the property exchanges between the hemispheres in the Atlantic Ocean. The study in this region is even more difficult to accomplish, because of the high variability that occurs both in spatial and temporal scale, the Coriolis parameter is almost null for the density stratification. The equatorial ocean, however, reacts significantly to wind field changes, and those alterations usually are related to the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) seasonal migration. Thus, it is necessary the constant monitoring of the equatorial system, specially in the NBC's action zone. This report has as objective the use of hydrographic properties, such as salinity, temperature, density and oxygen, to describe the vertical structure of the water masses in the northern region of the northeast of Brazil and the utilization of the density data to measure the current through the direct method. For this purpose, it was analyzed the data from the Sea-Bird SBE 25Plus Profiling CTD, which was acquired through (obtained from) the CORENAV I Oceanographic Cruiser. It covered the continental slope and adjacent oceanic areas, during the month of October of 2012. The cruise was based on a dense sampling grid over the continental shelf break, consisting of 48 stations distributed along ten radials (an average of 5 stations per radial), perpendicular to the coast. Each radial was separate from each other by a distance of 30km, and each station, by a distance of 15km. The profiles were conducted up to 1200m of depth. There were made extrapolations for the stations that did not reach the ideal depth. The data set was plot in Matlab environment to enable the visualization of the TS diagrams and of the vertical sections, allowing thus the identification of the vertical structure of the water masses for the area of study. The T-S pair of data and the values for the isopycnal surfaces described in the literature show that the area of study presents the following water masses: the Coastal Water (CW); the Tropical Water (AT); the South Atlantic Central Water (SACW); and the superior layer of the North Atlantic Deep Water (uAPAN), which was in a more superficial position, when compared to other regions described in some relevant works. The calculations for the geostrophic speeds, which have 1ms^{-1} as average value in the pycnoclyne level, were considered reasonable. Therefore, it is necessary further studies to describe the physical variability in this region.

Keywords: North Brazil Undercurrent (NBUC). Water masses. CTD

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática da GOC, destacando o mar Austral como um importante componente desta célula.	2
Figura 2- Representação da MOC do Atlântico, destacando as massas de água que constituem esse sistema.....	3
Figura 3 – Sistema de correntes em nível superior atuantes no oceano Atlântico Sul. Em destaque a CNB.	4
Figura 4 – Área de estudo coberta pelo cruzeiro oceanográfico CORENAV I, entre Fortaleza – CE e Cabo do calcanhar - RN.....	7
Figura 5 – Malha amostral utilizada durante o cruzeiro CORENAV I.....	10
Figura 6 – Malha amostral contemplada pela Operação Nordeste II – ONE II.....	11
Figura 7 – Diagrama TS espalhado, sobrepondo os dados de climatologia, Corenav e ONE.....	14
Figura 8 – Representação esquemática das estações oceanográficas e das superfícies isobáricas. ...	17
Figura 9 – Secção vertical de salinidade. Radial 1	20
Figura 10 – Secção vertical de temperatura – Radial 1	21
Figura 11 – Secção vertical de salinidade antes da extrapolação.	23
Figura 12– Secção vertical de salinidade antes da extrapolação.	23
Figura 13– Diagrama TS espalhado, destacando as interfaces entre as massas d’água.....	24
Figura 14– Secção vertical de densidade, destacando as massas d’água presentes na área de estudo.	25
Figura 15 - Perfis de velocidades geostróficas, comparando CORENAV e ONE 2.	26
Figura 16 - Perfis de velocidades geostróficas, comparando CORENAV e ONE 2.	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAF	Água Antártica de Fundo
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária Antártica
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
AT	Água Tropical
CB	Corrente do Brasil
CCO	Corrente de Contorno Oeste
CNB	Corrente Norte do Brasil
CSE	Corrente Sul Equatorial
GOC	Global Overturning Circulation
MOC	Meridional Overturning Circulation
SNB	Subcorrente Norte do Brasil
VP	Vórtice Potiguar
NR	Nível de Referência
NI	Níveis Isopícnais
ONE II	Comissão Hidroceanográfica OCEANO NORDESTE II
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
WOA	World Ocean Atlas
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Circulação em larga escala e Corrente Norte do Brasil.....	1
1.2	Estrutura vertical das massas de água na região equatorial.....	5
1.2.1	Água Tropical (AT).....	5
1.2.2	Água Central do Atlântico Sul (ACAS).....	6
1.2.3	Água Intermediária Antártida (AIA).....	6
1.2.4	Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)	6
1.3	Área de estudo.....	6
2	OBJETIVOS.....	8
2.1	Objetivo Geral.....	8
2.2	Objetivos específicos.....	8
3	CONJUNTO DE DADOS.....	9
3.1	Cruzeiro CORENAV I.....	9
3.2	Cruzeiros ONE II.....	10
4	METODOLOGIA.....	11
4.1	Tratamento básico de dados hidrográficos.....	12
4.1.1	Remoção de spikes.....	12
4.1.2	Binagem (Bin Averaging).....	12
4.1.3	Alisamento por janela móvel (low pass filter).....	12
4.2	Controle de qualidade dos dados.....	13
4.3	Extrapolação dos perfis de temperatura e salinidade.....	15
4.4	O método dinâmico clássico em oceanografia.....	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20

5.1	Distribuições verticais das Propriedades.....	20
5.2	Massas de água.....	24
5.3	Velocidades Geostroficas.....	27
6	CONCLUSÃO.....	28

1. INTRODUÇÃO

Grande parte do conhecimento físico nos oceanos é oriunda da observação das propriedades da água do mar de um lugar para o outro. O conhecimento da distribuição dessas diferentes propriedades vem de coleções de medidas realizadas por estações oceanográficas ou hidrográficas. Na oceanografia física é fundamental a amostragem das propriedades hidrográficas (salinidade, temperatura e pressão) (MIRANDA, 2002).

Um traço característico da distribuição de praticamente todas as propriedades da água do mar é a estratificação horizontal, ou proximamente horizontal. Em outras palavras, o mar é constituído de camadas, no referente a essas características, e as variações na horizontal são muito menores que na vertical. O que nos leva a realizar uma apresentação tridimensional desses dados, por uma coleção de ilustrações bidimensionais, como, por exemplo, cortes horizontais e verticais. (PICKARD, 2006). Este tipo de avaliação é bastante utilizada em oceanografia física e favorece o entendimento da circulação oceânica em geral, em especial fenômenos de mesoescala e sobre a Célula de Revolvimento Global (*Circulation Overturning Global - GOC*), antes conhecida como circulação *termohalina*, e principalmente utilizada no estudo da estrutura vertical das massas de água.

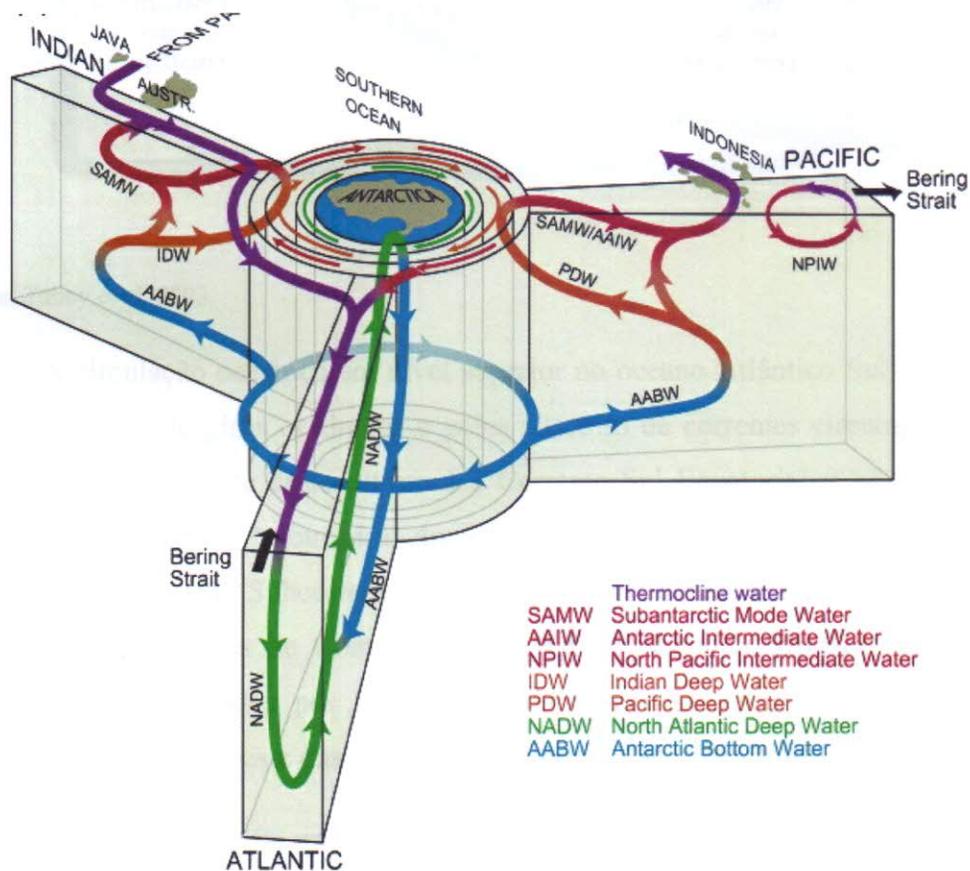
O conhecimento advém de observações da variação das diferentes propriedades em diferentes regiões oceânicas. Porém, no Brasil, muito se sabe sobre regiões oceânicas pontuais, outras carecem de estudos, como na região oceânica relacionada ao norte e nordeste do Brasil, mais precisamente a região equatorial e áreas oceânicas adjacentes.

1.1. Circulação em larga escala e Corrente Norte do Brasil

Um dos principais fatores que causa o movimento nos oceanos é o fornecimento de energia pela radiação solar desigual no planeta. As variações meridionais na energia fornecida levam a diferenças regionais na estrutura dos oceanos. A circulação oceânica, portanto, modifica a distribuição de temperatura e salinidade, que são basicamente determinadas pelo clima, afetando também a distribuição de gases dissolvidos nos oceanos, assim, influenciando a distribuição, acumulação da vida marinha e do clima. A circulação oceânica é, portanto, o problema fundamental na oceanografia (DEFANT, 1961).

As propriedades da água do mar, no oceano global, são determinadas pela circulação de larga escala, um fluxo lento de massas d'água oriundas das regiões de formação até as camadas intermediárias e de fundo. Os fluxos de água para fora da sua região de formação devem ser balanceados por um fluxo de retorno por outras vias. Essa circulação carrega calor, água doce, e outros constituintes dissolvidos como os componentes dos ciclos de carbono, oxigênio e nutrientes. A essa circulação profunda se dá o nome de Célula de Revolvimento Global (Global Overturning Circulation – GOC) (FIGURA 1), as principais massas d'água globais estão envolvidas, sendo usualmente identificadas, através das propriedades de larga escala, especialmente através de seções verticais, atravessando o oceano (Talley et al 2003).

Figura 1 - Representação esquemática da GOC, destacando o mar Austral como um importante componente desta célula.

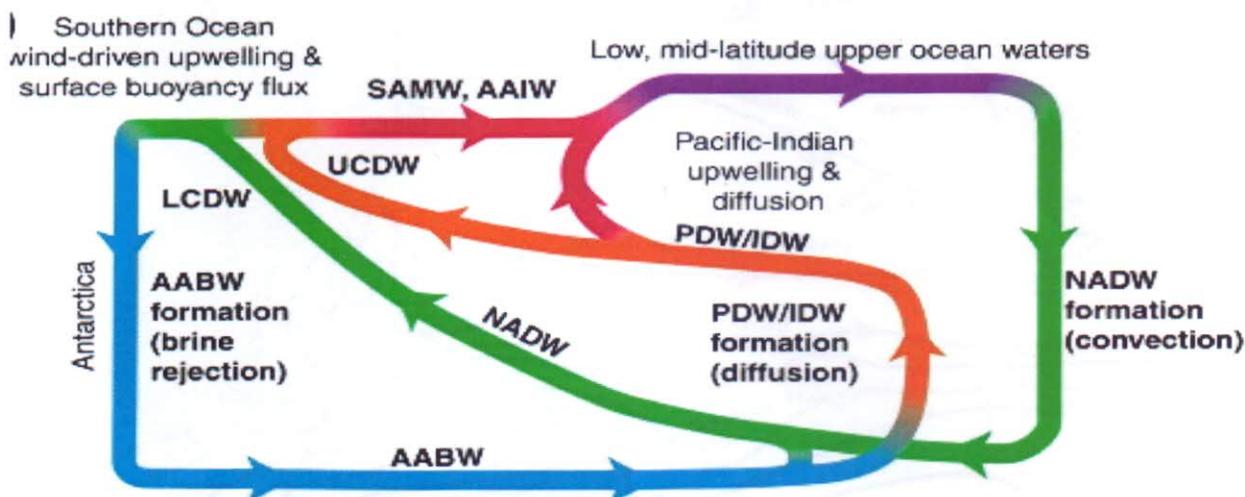


Fonte: Talley et al 2003.

A MOC do Atlântico (FIGURA 2) consiste basicamente em uma célula dupla de um fluxo de água densa originária do Atlântico Norte, que flui em profundidade para o sul, carregando a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), e em contrapartida um fluxo da densa Água Antártica de Fundo (AAF), causando um pequeno soergimento da APAN e desaparecendo em latitudes médias

do Atlântico Norte. Na próxima secção será descrito as principais massas de água para a região equatorial.

Figura 2- Representação da MOC do Atlântico, destacando as massas de água que constituem esse sistema.

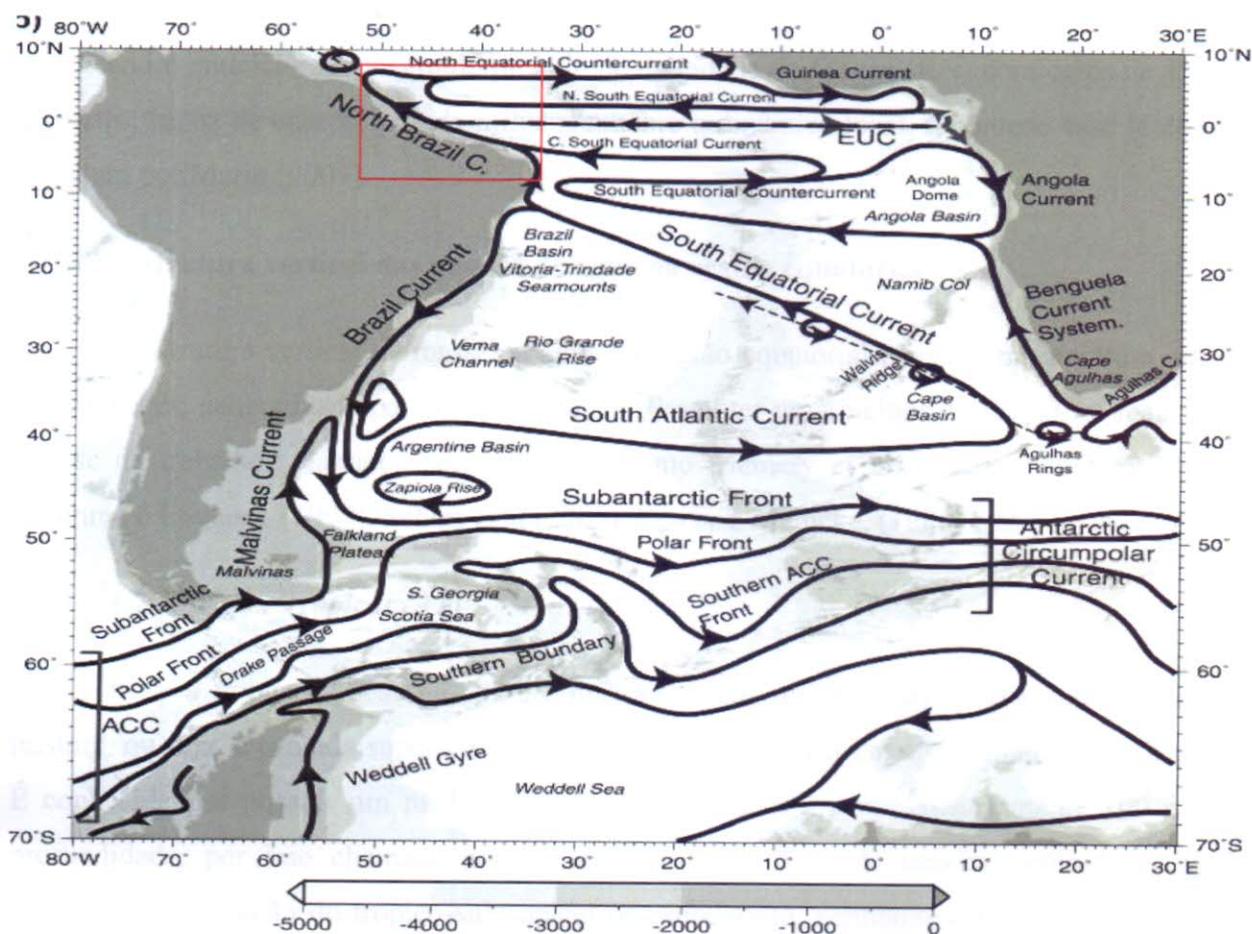


Fonte: Talley et al, 2003.

A circulação oceânica em nível superior no oceano Atlântico Sul (FIGURA 3), é dominada por um sistema de giros oceânicos e pelos sistemas de correntes circumpolares e equatoriais, um importante componente deste último é a Corrente Sul Equatorial (CSE) que flui do leste para o oeste, fechando o giro Subtropical do Atlântico Sul, até chegar à região do Cabo de São Roque, aonde se bifurca em Subcorrente Norte do Brasil (SNB) e Corrente do Brasil (CB). Ambas consideradas Correntes de Contorno Oeste (CCO), segundo Silveira e Flierl, (2002), são jatos geofísicos caracterizados por fluxos intensos, estreitos e bem definidos, fluindo ao largo das margens continentais oeste das bacias oceânicas.

A SNB foi descrita primeiramente por Silveira et al. (1994), descrevendo a presença da SNB por meio do método dinâmico relativo a 1000 metros, que é basicamente uma técnica utilizada visando inferir as velocidades das correntes com a estratificação vertical de densidade. Os resultados indicaram a presença de um núcleo entre 100 e 200 metros. Porém, a localização exata da SNB continua incerta devido a complexidade da CSE. Posteriormente um dos ramos da CSE se une a SNB formando a Corrente Norte do Brasil (CNB) (FIGURA 3)

Figura 3 – Sistema de correntes em nível superior atuantes no oceano Atlântico Sul. Em destaque a CNB.



Fonte: Talley et al 2003.

A CNB é a mais intensa entre as correntes equatoriais, sendo a principal corrente de contorno oeste localizada em baixas latitudes e maior responsável pela troca de propriedades entre os hemisférios no Oceano Atlântico (Peterson e Stramma, 1991). Trata-se de uma corrente intensa carreando aproximadamente, 14 a 18 sv, somente nos primeiros 500 metros da coluna d'água (JHONS et al, 1998) (SILVEIRA et al, 1994). O sistema de correntes equatoriais é marcado pela variabilidade, ocorrendo ao longo de amplas faixas temporais e espaciais. O oceano equatorial responde fortemente as mudanças no campo de ventos sobrepostos (Peterson and Stramma, 1991), trata-se um sistema dinâmico, essa configuração pode ser alterada, principalmente, devido a variações do rotacional do cisalhamento do vento associado à migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

A intensidade da SNB aliada à forte mudança de orientação da plataforma continental na região do Cabo do Calcanhar (RN), 5°S, origina uma região de instabilidade, na tentativa de se conservar a vorticidade. Essa inercia gera fenômenos de meso escala como o vórtice Potiguar (VP), um meandro anticiclônico, centrado na latitude da cidade de Macau (RN) com cerca de 150 km de diâmetro, capaz de exercer grande influência sobre a dinâmica local, fenômeno esse já descrito na literatura por Marin [2009].

1.2. Estrutura vertical das massas de água na região equatorial

A estrutura vertical de massas d'água na região equatorial possui uma literatura reduzida e muitas vezes, generalizada para o Atlântico sul. Pra obter uma melhor descrição foi realizado uma síntese de trabalhos clássicos para a região, como Memery et al, (2000), Schott et al, (1997), Stramma e England, (1999), Schott et al (2005), Emery e Meincke, (1986) e Mamayev, (1975).

1.2.1. Água Tropical (AT)

A água tropical é descrita como a massa de água quente e salina que ocupa a camada de mistura, ou seja, a camada superficial do Atlântico Sul Tropical em aproximadamente 200 metros. É conhecida por possuir um núcleo de máxima salinidade em aproximadamente 100 metros de profundidade, por isso chamada por alguns autores de água de máxima salinidade. Tem sua formação na transição do tropico-subtropical por subducção, resultante do excesso de evaporação diante da precipitação, e progride rumo ao equador. Possui temperatura característica por volta de 24 °C, salinidade que chega a atingir 36.5 e σ_θ por volta de 25 kg m⁻³.

1.2.2. Água Central do Atlântico Sul (ACAS)

Massas de água que fluem em nível da termoclina são comumente conhecidas como água central. É o caso da ACAS que tem como região de formação na confluência entre a corrente do Brasil e Falkland ou Malvinas (entre 30 e 40° S), conhecida como Convergência Subtropical, sendo assim carregada pelo giro subtropical, o que ocasiona uma alta variabilidade a esta massa d'água que percorre todo o Atlântico Sul, até chegar à região equatorial. A ACAS possui uma variação de 5° a 18 °C e 34.3 a 35.8 de temperatura e salinidade, respectivamente, com σ_θ por volta de 26.5 kg m⁻³. É conhecida por um mínimo de oxigênio entre 300 e 400 metros.

1.2.3. Água Intermediária Antártica (AIA)

As isopícnais de $\sigma_0=27.1$ nos trópicos e 27.05 nos subtropicos, marca a transição entre a ACAS e a AIA. A AIA é originada na camada superior da região circumpolar, especialmente ao norte do Estreito de Drake e da corrente das Malvinas. Essa massa de água pode ser caracterizada por um máximo de oxigênio e um mínimo de salinidade (cerca de 33.8) e temperaturas por volta de 2.2 °C, na região do equador encontra-se por volta de 700 metros e possui σ_0 por volta de 27.3.

1.2.4. Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

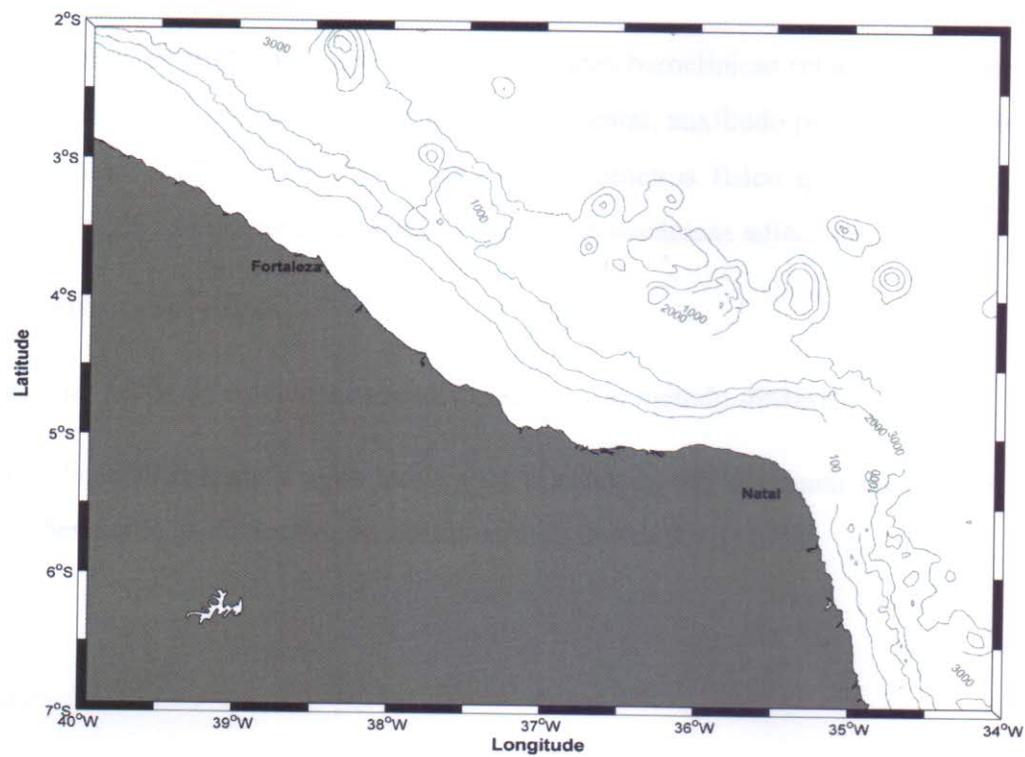
A APAN é transportada do hemisfério norte para o sul, com baixas temperaturas 3°-4 °C e salinidade elevada 34.6-35.0. Pode ser separada em três camadas, sendo superior (uAPAN), média (mAPAN) e inferior (lAPAN) . É caracterizada por um máximo de salinidade em uAPAN e máximo de oxigênio nas camadas inferiores. No equador está situado por volta de 1200 a 3900 metros.

Dessa forma, as variações climáticas globais influenciam diretamente a formação dessas massas d'água em altas latitudes, em contrapartida a formação dessas massas d'água pode alterar o clima como o conhecemos, já que a atual configuração da GOC é a responsável pela transferência de calor e manutenção do clima, assim como a fugacidade e absorção de gases como o dióxido de carbono (CO₂) e o oxigênio (O₂). Com o intuito de conhecer melhor a dinâmica e essa relação físico-química na região do Atlântico Equatorial foi realizado em outubro de 2012, o cruzeiro INCT-TMCOcean – ITHATropical denominado CORENAV I, possibilitando a realização desse trabalho.

1.3. Área de estudo

A área de estudo abrange a plataforma continental e áreas oceânicas adjacentes da região nordeste setentrional do Brasil, entre a cidade de Fortaleza - CE e o Cabo do Calcanhar – RN, entre as latitudes 03°34.62'S e 04°51.27'S. A plataforma pode ser considerada estreita, atingindo 50 Km próximo ao Cabo Calcanhar, reduzindo-se em direção à Costa Nordeste para 40-50 Km, enquanto a quebra da plataforma ocorre a uma profundidade de 80 m (FIGURA 4) (Silva e Alvarenga, 1994).

Figura 4 – Área de estudo coberta pelo cruzeiro oceanográfico CORENAV I, entre Fortaleza – CE e Cabo do calcanhar - RN



Fonte: Elaborado pelo autor.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Obter uma descrição dos padrões de velocidades baroclínicas relativas da Corrente Norte do Brasil em seu ramo mais próximo a plataforma continental, auxiliado pela identificação da estrutura vertical de massas d'água, e da distribuição dos parâmetros físico químicos sobre a plataforma continental da região setentrional do Brasil e suas áreas oceânicas adjacentes.

2.2. Objetivos específicos

- Calcular perfis de velocidades relativas através do método dinâmico clássico.
- Identificar as massas d'água através da criação de um diagrama médio θ -S espalhado, e secções verticais de densidade, obtido através dos dados de CTD.

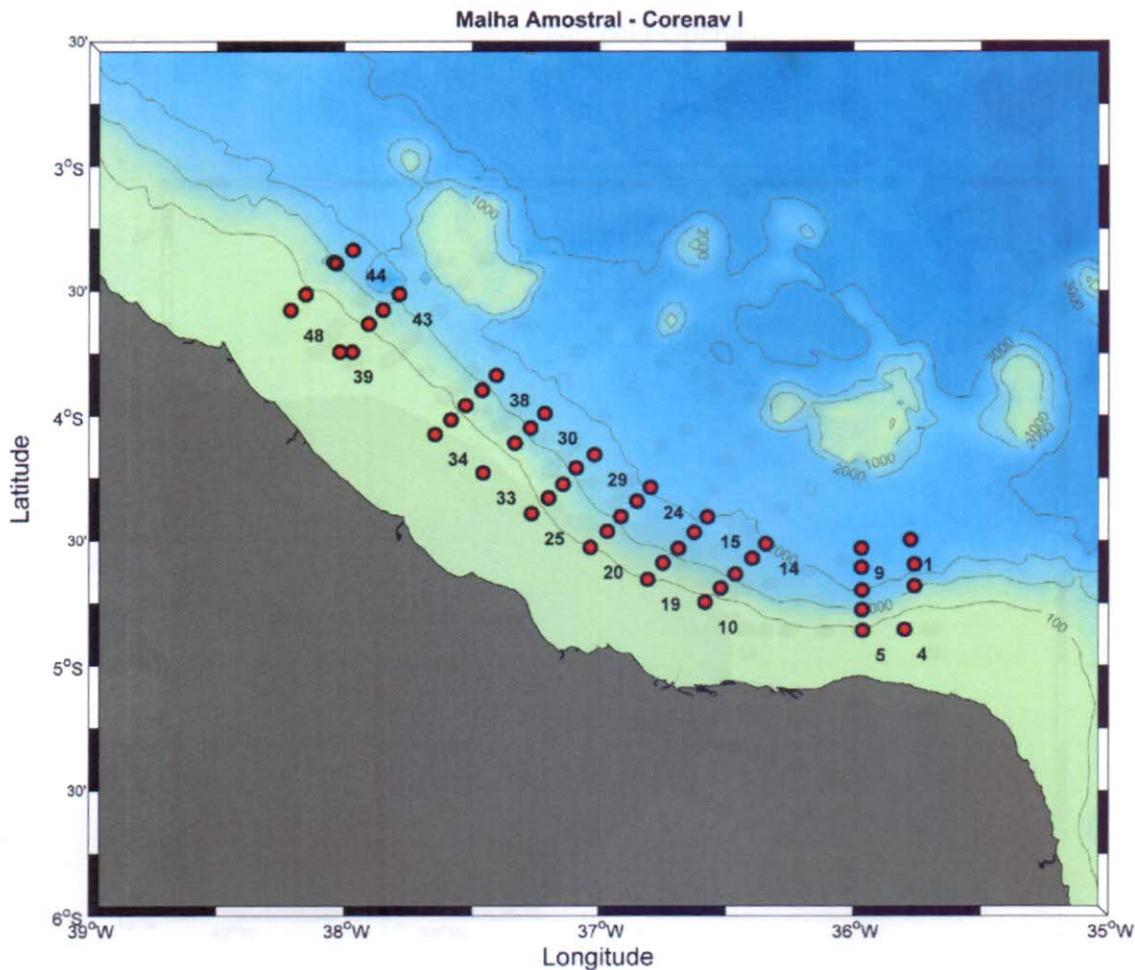
3. CONJUNTO DE DADOS

3.1. Cruzeiro CORENAV I

O conjunto de dados físico-químicos (temperatura, salinidade e oxigênio), foi obtido durante o cruzeiro oceanográfico Corenav I, realizado entre os dias 8 a 19 do mês de outubro de 2012. O cruzeiro foi guiado por uma malha amostral adensada sobre a quebra da plataforma continental. Foi utilizando um perfilador CTD "SeaBird SBE 25Plus", com um sensor adicional de oxigênio dissolvido, utilizando uma frequência de 16 Hz. O sensor de temperatura apresenta uma faixa de medição que varia entre -5 a +35 °C, precisão de $\pm 0.001^\circ\text{C}$ e resolução de 0.0003°C , o sensor de condutividade possui uma faixa de medição de 0 a 7(S/m), acurácia de ± 0.0003 (S/m) e resolução de 0.00004 (S/m), o equipamento pode chegar a profundidades de até 7000 m, com acurácia $\pm 0.1\%$ e resolução de 0.002%.

Foi realizado um total de 48 estações distribuídas em 10 radiais perpendiculares à costa, contendo, em média, cinco pontos ao longo de sua extensão, estas distam aproximadamente 15 km de um ponto para o outro e 30 km de uma radial para a outra. As estações mais próximas ao continente estão localizadas na isóbata de 20 m enquanto as mais profundas chegam a isóbata de 1200 metros (FIGURA 5).

Figura 5 – Malha amostral utilizada durante o cruzeiro CORENAV I

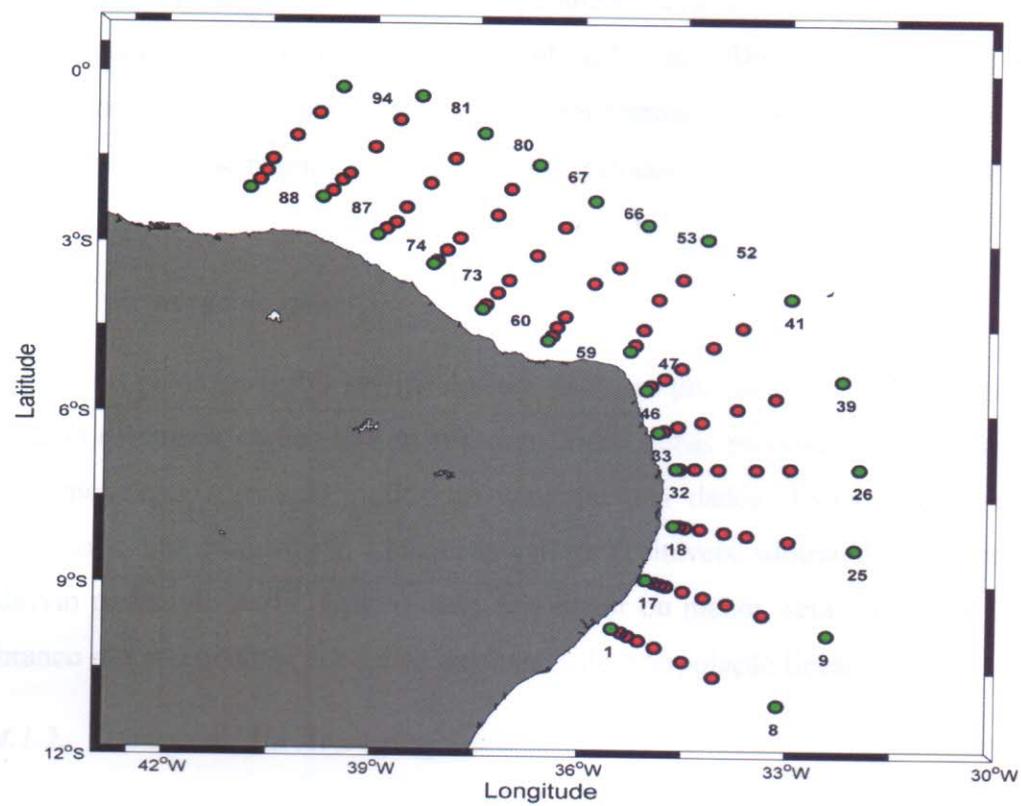


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. Cruzeiros ONE II

Nas proximidades da área de estudo foi realizado um levantamento de dados, denominado de Operação Nordeste II (FIGURA 6), realizado pela marinha do Brasil, a bordo do Noc. "Antares", durante o período de 26 de outubro de 2004 à 20 de dezembro de 2004. Foram realizados perfis verticais das propriedades por meio do CTD "SeaBird SBE 9Plus", utilizando frequência de 24Hz e de velocidade, em profundidades superiores a 50 metros, utilizando o ADCP "RD Instruments" BB75KHz. Esse conjunto de dados é de suma importância para a complementação desse estudo, os dados foram cedidos pela Marinha do Brasil e serão utilizadas algumas estações de interesse, em algumas seções desse trabalho, agregando confiança a utilização dos dados levantados durante o cruzeiro CORENAV I.

Figura 6 – Mapa de estações contemplado pela Operação Nordeste II – ONE II



4. METODOLOGIA

4.1. Tratamento básico de dados hidrográficos

Anterior a análise e apresentação dos dados hidrográficos, é necessário que se faça um tratamento básico dos dados de temperatura e salinidade, para isso é necessário um pré-processamento de dados, para a aplicação de filtros matemáticos entre outros aprimoramentos que aperfeiçoam e agregam confiança aos dados representados, a seguir será descrito, sucintamente, os principais métodos utilizados no tratamento básicos dos dados.

4.1.1. *Remoção de spikes*

Os picos ou *spikes* são geralmente causados por oscilações elétricas no equipamento e falha de comunicação entre os sensores. Essas falhas produzem valores fora dos padrões de amostragem, gerando ruídos no conjunto dos dados. Esses valores são removidos utilizando uma comparação a faixas de valores aceitáveis, subtraindo ou somando 3 vezes o desvio padrão do perfil. Caso o dado seja maior ou menor, será removido. Os espaços em branco são preenchidos por dados resultantes de interpolação linear.

4.1.2. *Binagem (Bin Averaging)*

O CTD utilizado possui uma frequência de 16 Hz, a velocidade de descida do equipamento está bem próxima de 1 ms^{-1} , considerado o ideal para tal finalidade, portanto, temos cerca de 16 amostragens a cada metro de coluna d'água. Para que se estabeleça um intervalo regular dos dados, para cada metro de profundidade, foi estabelecida uma caixa com todos os valores, obtidos por média aritmética, por isso é também chamado de média em caixa.

4.1.3. *Alisamento por janela móvel (low pass filter)*

Este procedimento é utilizado para minimizar ainda mais os ruídos do perfil, gerando um perfil vertical mais suave. O procedimento consiste em calcular para cada valor do perfil, uma média ponderada utilizando os valores adjacentes, onde o valor do ponto central possui um maior peso. O numero de pontos utilizados, vai depender diretamente da profundidade das estações, no qual nas estações mais rasas são utilizadas uma quantidade

menor de pontos, enquanto que nas mais profundas, um maior número, com intento de não alterar muito a natureza do dado. Para estações até 100 metros, foram utilizados 5 pontos, de 100 a 500 metros foram utilizados 11 pontos e para as demais, 21 pontos. Nesse trabalho foi utilizada a janela do tipo “*Hanning*”.

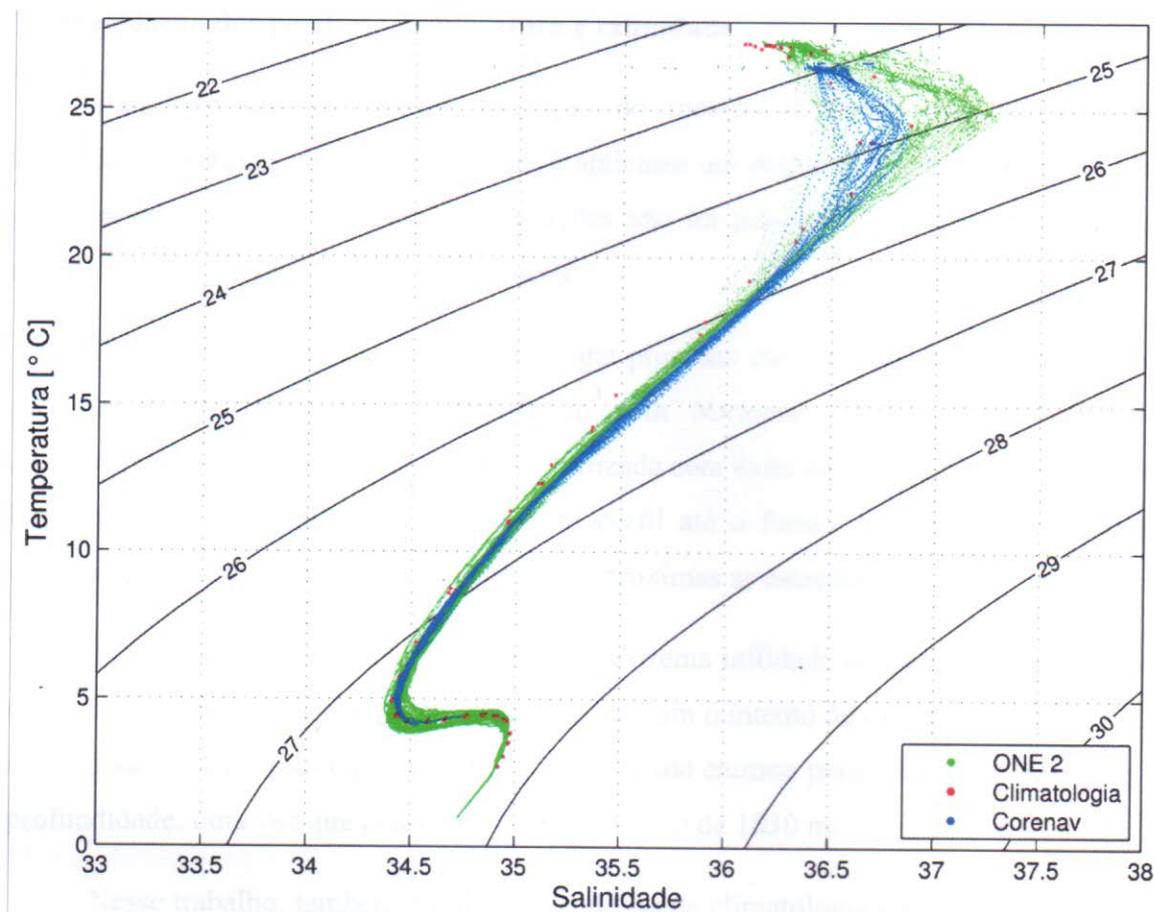
4.2. Controle de qualidade dos dados

Na oceanografia e meteorologia, geralmente são utilizados os valores médios distribuídos geograficamente para produzir a climatologia. A climatologia é conhecida como o valor médio durante vários anos, geralmente incluindo, pelo menos algumas décadas. Climatologia é construída a partir de amostragens irregulares no tempo, envolvendo grande quantidade e qualidade de dados. A climatologia é essencial para modelagem de larga escala e também para o controle de qualidade de dados observados. As climatologias oceânicas mais utilizadas são National Oceanographic Data Center's (NODC) e World Ocean Atlas (WOA)

Nesse caso foi utilizada, a climatologia WOA06, que possui médias temporais (mensal, sazonal e anual), e também resoluções espaciais distintas (1° e 5°), dispostos em 33 níveis verticais. Nesse trabalho foi utilizada a media anual e resolução de 1° .

Para a devida confiança e controle na qualidade dos dados utilizados neste trabalho, os dados de climatologia, mais próximos à área de amostragem, foram sobrepostos aos dados amostrados durante o Cruzeiro CORENAV I e ONE II (FIGURA 7), por meio de um diagrama TS espalhado, no qual os pontos em vermelho representam a climatologia dos pontos adjacentes à área de estudo, os pontos em verde, os dados amostrados pela Marinha do Brasil, na ONE2 e em azul os dados obtidos no cruzeiro CORENAV I.

Figura 7 – Diagrama TS espalhado, sobrepondo os dados de climatologia (WOA06), Corenav e ONE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A comparação entre os dados mostra que os dados amostrados durante o Cruzeiro CORENAV I, possuem uma curva bastante similar aos dados pretéritos para a região, demonstrando que os dados possuem qualidade, atraindo confiança para serem apresentados. Os valores de salinidade relativos a ONE II, possuem um pico de salinidade que distorce das outras curvas em $\sigma_\theta = 25.0$, excedendo a salinidade de 37. Essa configuração foi observada por Schott et al (1998) e ocorre pelo fato da ONE II ter sido realizada também entre as latitudes de 5 e 10° S tendendo diminuir quando se aproximando da região equatorial.

4.3. Extrapolação dos perfis de temperatura e salinidade

Para que seja possível a utilização do método dinâmico para o cálculo das velocidades relativas, foi necessário que se aplicasse um método de extrapolação dos perfis de propriedades, já que em algumas estações não foi possível a perfilagem completa da coluna d'água, devido a problemas técnicos.

Para isso foi utilizado uma metodologia proposta em um projeto intitulado *Atlantic Meridional Heat Transport*, desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e posteriormente utilizada com êxito na dissertação de mestrado de Ponsoni [2010], que propõe a extensão do perfil até o fundo, utilizando a climatologia interpolada linearmente para as posições mais próximas as estações.

Trata-se de uma técnica inovadora e de extrema utilidade no campo da oceanografia operacional, tendo em vista que foi desenvolvida com o intento de extrapolar perfis de XBT até o fundo, já que esses equipamentos, apesar de sua enorme praticidade, são limitados em profundidade, uma vez que possuem alcance máximo de 1830 m.

Nesse trabalho, também é utilizado os dados da climatologia para a extrapolação dos perfis até a profundidade local, porém utilizamos também os perfis amostrados durante a ONE 2, para que se agregasse ainda mais confiança aos dados extrapolados. No caso, foi utilizada a metodologia similar à aplicada por Ponsoni [2010], porém, utilizamos a técnica para estender também os perfis de salinidade, já que estamos lidando com perfis de CTD.

A técnica consiste inicialmente em calcular uma curva média das propriedades (P) utilizando os perfis climatológicos mais próximos de cada perfil a ser extrapolado. A partir dessa curva, segregamos a faixa desde a profundidade máxima do perfil, até a profundidade máxima local, que foi extraída dos dados do ETOPO. Sobre este perfil climatológico, foi aplicada a EQUAÇÃO (1), desenvolvida por Gangopadhyay & Robinson [2002], com a finalidade de deixá-lo em forma adimensional ($\phi_{Pclim}(z)$), como segue:

$$\phi_{Pclim}(z) = \frac{P_{clim}(z) - P_{clim}(maxprof)}{P_{clim}(maxperfil) - P_{clim}(maxprof)} \quad (1)$$

onde, $P_{clim}(maxperfil)$ e $P_{clim}(maxprof)$, são os valores médios de climatologia da propriedade em questão na profundidade máxima do perfil e na profundidade máxima no local da estação, respectivamente. $P_{clim}(z)$ é o perfil médio com $(maxperfil) < z < (maxprof)$.

Em seguida podemos redimensionalizar $\phi_{P_{clim}}(z)$, utilizando a EQUAÇÃO 2, aplicando o valor *in situ* da propriedade em questão, em seu ponto mais profundo ($P_{obs}(H)$). Para o valor da propriedade no fundo, podemos usar a média climatológica para esta profundidade ($P_{clim}(Hmax)$), aonde H é a profundidade máxima observada e $Hmax$ é a profundidade máxima da coluna d'água na dada estação. Dessa forma a EQUAÇÃO 2 fica assim:

$$P_{ext}(z) = (P_{obs}(H) - P_{clim}(Hmax)) \phi_{P_{clim}}(z) + P_{clim}(Hmax) \quad (2)$$

onde $P_{ext}(z)$ é a parte extrapolada da propriedade a partir de seu valor observado mais profundo.

4.4. O método dinâmico clássico em oceanografia.

O método para calcular correntes oceânicas a partir da distribuição de densidade da água, foi proposto por Sandstrgm e Helland-Hansen (1903). A aplicação do método é motivada pela dificuldade de realizar medições diretas de correntes oceânicas suficientes para que seja usual, é tecnicamente difícil e dispendioso.

O método dinâmico baseia-se na equação do vento térmico para calcular velocidades geostróficas a partir de dados de densidade. Dessa forma assumimos um cenário de equilíbrio geostrófico, aonde temos uma situação de fluxo estacionário (sem aceleração), ocorrendo um equilíbrio entre a força gradiente de pressão e a força de Coriolis (EQUAÇÃO 3).

$$2\Omega \text{Sen}\phi V_1 = g \tan i \quad (3)$$

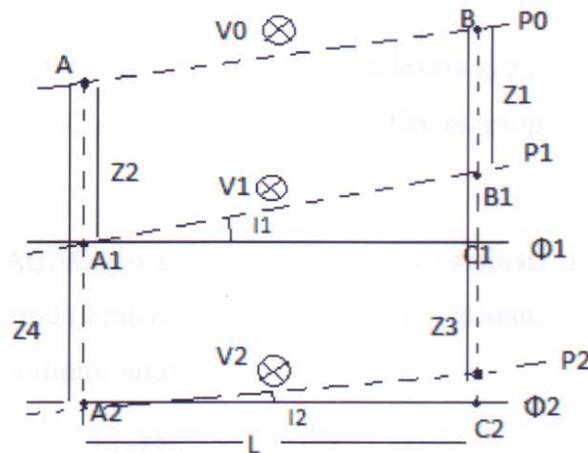
Em princípio, a equação geostrófica nos permite determinar a velocidade V_1 , pela medida do declive i de uma superfície isobárica. Na prática, não podemos fazê-lo, já que não conseguimos determinar p diretamente com necessária acurácia.

Dessa forma devemos utilizar a equação hidrostática (EQUAÇÃO 4), para tal.

$$p = - \int \rho g dz \quad (4)$$

Para melhor entendimento sobre o método geostrófico para cálculo de velocidades relativas podemos utilizar o esquema representado na FIGURA 8, onde A e B representam estações oceanográficas, onde a distribuição de ρ é conhecida verticalmente. A linha AB representa o nível do mar, as linhas $\Phi 1$ e $\Phi 2$, representam duas superfícies de nível que passam por A1 e A2 na estação A, C1 e C2 na estação B. As duas superfícies isobáricas $\rho 1$ e $\rho 2$, passam por A1 e A2 na estação A e por B1 e B2 na estação B. Os ângulos dessas superfícies isobáricas são i_1 e i_2 relativas a superfície geopotencial.

Figura 8 – Representação esquemática das estações oceanográficas e das superfícies isobáricas.



Fonte: Adaptada de Pond e Pickard, (1983).

Considerando que o componente velocidade nas superfícies isobáricas $\rho 1$ e $\rho 2$, são V_1 e V_2 respectivamente, as equações geostróficas para os dois níveis são:

$$2\Omega \text{Sen}\phi V_1 = g \tan i_1$$

$$2\Omega \text{Sen}\phi V_2 = g \tan i_2$$

Subtraindo, obtemos:

$$2\Omega \text{Sen}\phi (V_1 - V_2) = \frac{g}{L} [(Z1 - Z3) - (Z2 - Z4)]. \quad (5)$$

Para a equação hidrostática temos:

$$g = -\alpha dp$$

$$\int_{B_1}^{B_2} g dz = g(Z_3 - Z_1) = - \int_{P_1}^{P_2} \alpha_b dp$$

$$= - \left[\int_{P_1}^{P_2} \alpha_{35,0,p} dp + \int_{P_1}^{P_2} \delta_b dp \right] \quad (6)$$

A EQUAÇÃO 6 pode ser chamada de distancia geopotencial, como segue:

$$\Phi_2 - \Phi_1 = g(z_2 - z_1) = - \left[\int_{P_1}^{P_2} \alpha_{35,0,p} dp + \int_{P_1}^{P_2} \delta_b dp \right] \quad (7)$$

$$= -\Delta\Phi_{std} - \Delta\Phi.$$

Aonde, $\Phi_2 - \Phi_1$ é a distancia geopotencial entre os niveis z_2 e z_1 , na qual as pressões serão p_2 e p_1 . A componente $\Delta\Phi_{std}$ é chamado de “distância geopotencial padrão” e $\Delta\Phi$ de anomalia geopotencial.

Multiplicamos a EQUAÇÃO (6) por -1, assim temos os sinais do termo Z iguais ao da EQUAÇÃO (5). Subtraindo ambas, podemos cancelar a distancia geopotencial padrão, já que são iguais, então dividimos ambos os lados por L:

$$\frac{g}{L} [(Z_1 - Z_3) - (Z_2 - Z_4)] = \frac{1}{L} \left[\int_{P_1}^{P_2} \delta_b dp - \int_{P_1}^{P_2} \delta_a dp \right] \quad (8)$$

Chegamos em:

$$(V_1 - V_2) = \frac{10}{L^2 \Omega \sin \theta} [\Delta\Phi_b - \Delta\Phi_a] \quad (9)$$

Com L em metros, δ em $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, ρ em decibars e $(V_1 - V_2)$ será em ms^{-1} . Segundo Pond & Pickard (1983).

Dessa forma a equação geostrófica pode ser utilizada de modo a relacionar cisalhamentos verticais de velocidade com gradientes horizontais de densidade, perpendiculares às superfícies isobáricas, por isso as estações oceanográficas são distribuídas perpendiculares a batimetria, visando a melhor representação das correntes que tendem a fluir paralelas a plataforma.

O método dinâmico clássico consiste em referenciar os cálculos em um nível de movimento nulo, nesse trabalho foi adotado um nível de referencia (NR) em 1000 metros, para facilitar a comparação com trabalhos pretéritos na região.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

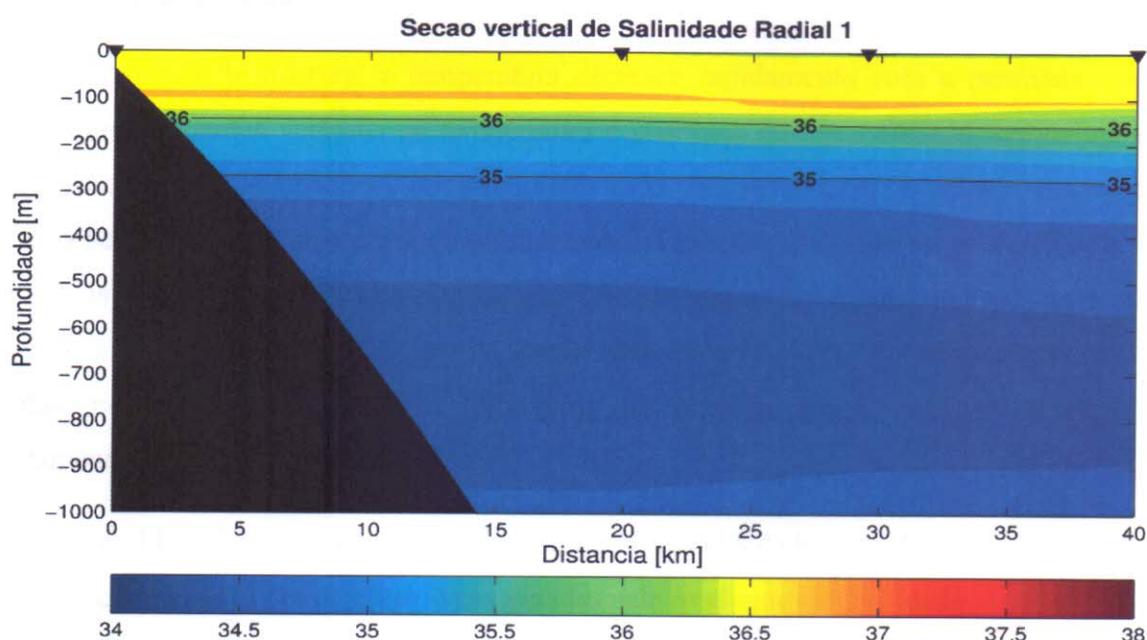
5.1. Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade

As propriedades da água do mar como temperatura e salinidade, podem auxiliar na identificação do padrão de fluxo da superfície para o interior do oceano, e para a identificação de processos de mistura e locais de formação. Com o intento de ilustrar tridimensionalmente a distribuição dessas propriedades e de velocidades, é geralmente usado representações uni e bidimensionais, como perfis, secções verticais, e mapas de distribuição horizontal.

Como as distribuições horizontais são inúmeras vezes menores do que as verticais, concentraremos nossos esforços em apresentar as secções verticais e perfis de velocidade, já que devido a restrita área amostral, os mapas de distribuição horizontais não apresentaram gradientes consideráveis.

Para a melhor visualização das secções verticais de distribuição das propriedade, podemos nos deter na análise de uma das radiais, sabendo que a configuração vertical na região do estudo não varia consideravelmente de uma radial para a outra. Nesse caso, escolhemos a radial 1 e 4, representadas nas figuras 9 e 10.

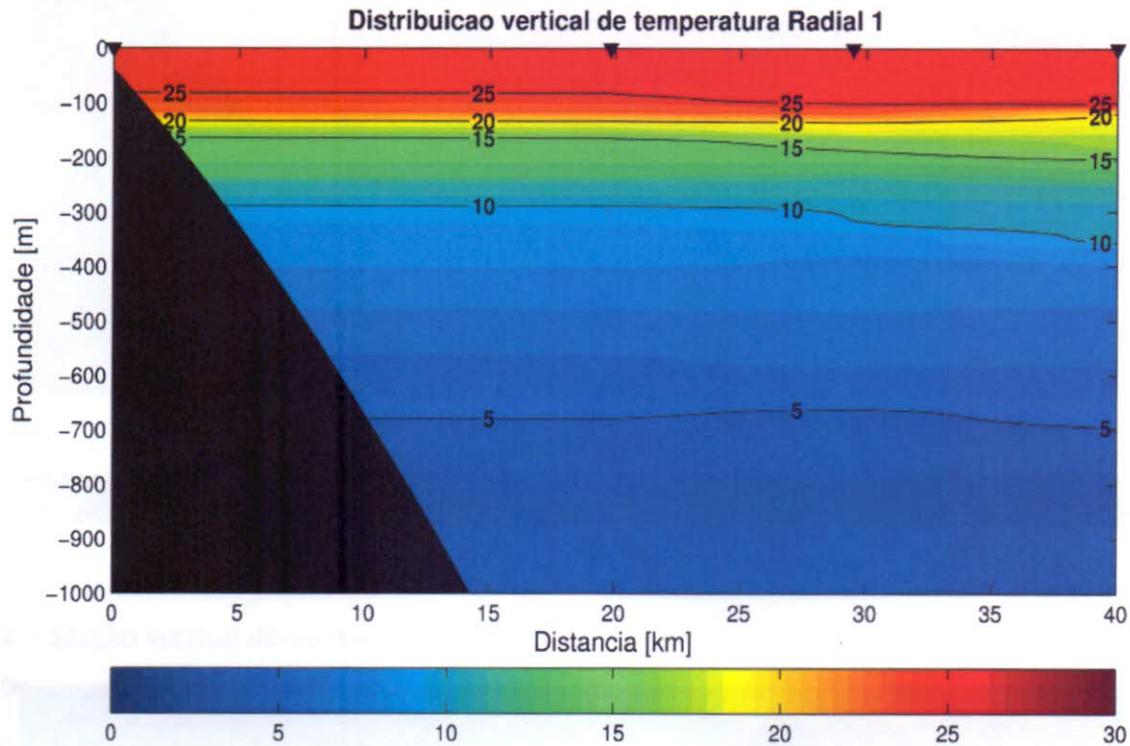
Figura 9 – Secção vertical de salinidade. Radial 1 – CORENAVI



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma podemos observar facilmente a estratificação vertical de salinidade, em destaque podemos observar a AT fluindo em aproximadamente 100 metros, com um núcleo contendo a água de máxima salinidade característica dessa massa d'água.

Figura 10 – Secção vertical de temperatura – Radial 1- CORENAV I



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a camada de mistura, a temperatura decresce rapidamente com a profundidade. A região com altos gradientes verticais de temperatura é chamada de termoclina, a termoclina está geralmente associada à pycnoclina (Gradiente elevado de densidade) e muito comumente acompanhada pela haloclina que representa o gradiente elevado de salinidade em profundidade. Em médias e baixas latitudes a termoclina está sempre presente entre 200 e 1000 metros. As secções verticais nos auxiliam a estimar a profundidade desses gradientes, com base nas figuras apresentadas, podemos perceber que a termoclina na área de estudo está se localiza em aproximadamente 200 metros.

As figuras 11 e 12 mostram a distribuição vertical de densidade, esta distribuição auxilia no entendimento de fenômenos como as correntes geradas pelo gradiente de densidade.

Figura 11 – Secção vertical de densidade – radial 1 – Corenav I

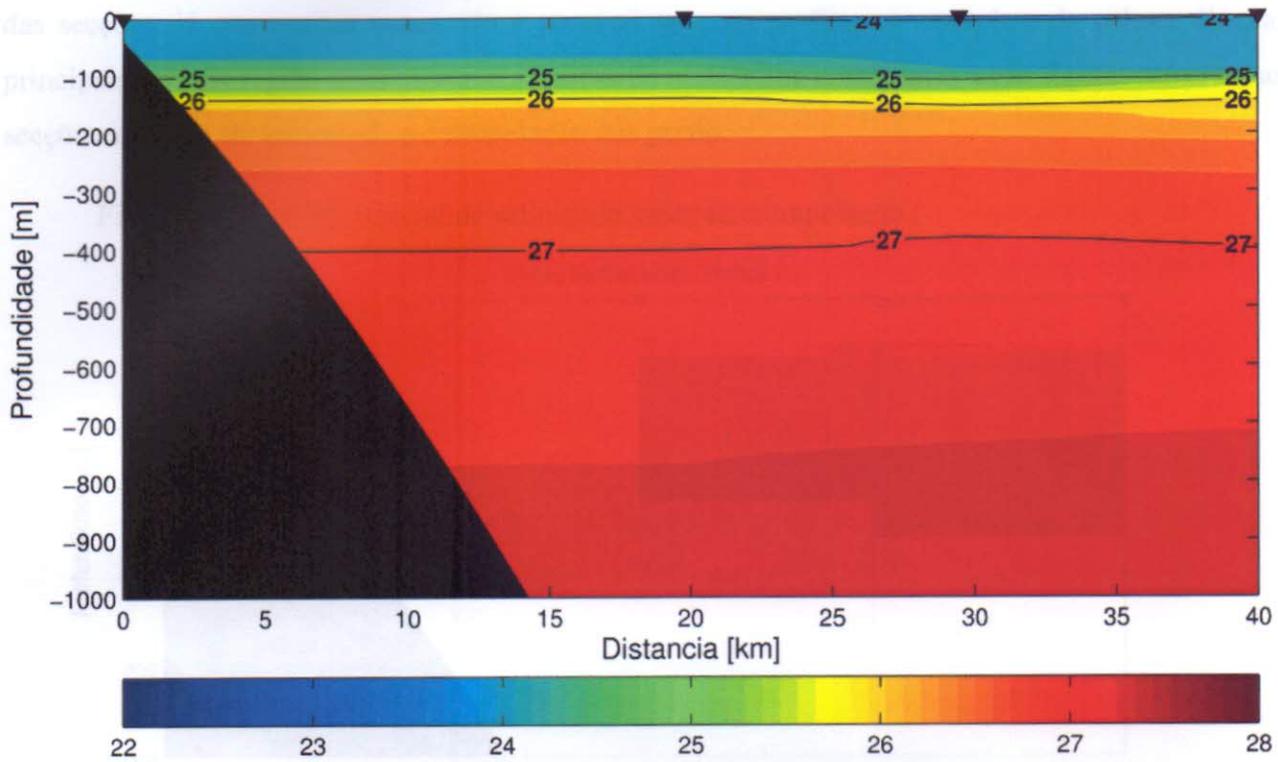
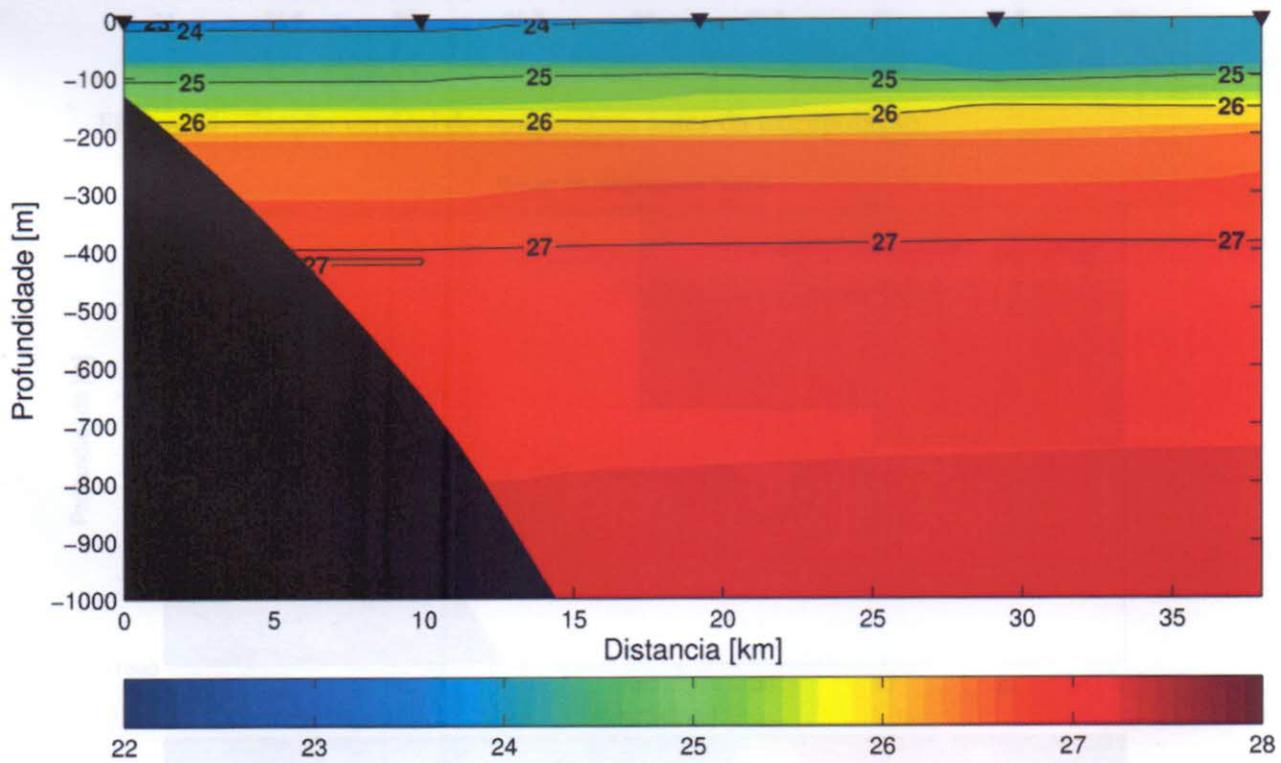


Figura 12 – Secção vertical de densidade – Radial 4



As figuras 13 e 14 mostram a importância das técnicas de extrapolação para a construção das secções, já que muitas vezes não é possível ter uma perfilagem completa da coluna d'água, principalmente na região mais próxima a quebra da plataforma continental, estas figuras mostram as secções antes de ser executada a extrapolação dos perfis.

Figura 13 – Secção vertical de salinidade antes da extrapolação.

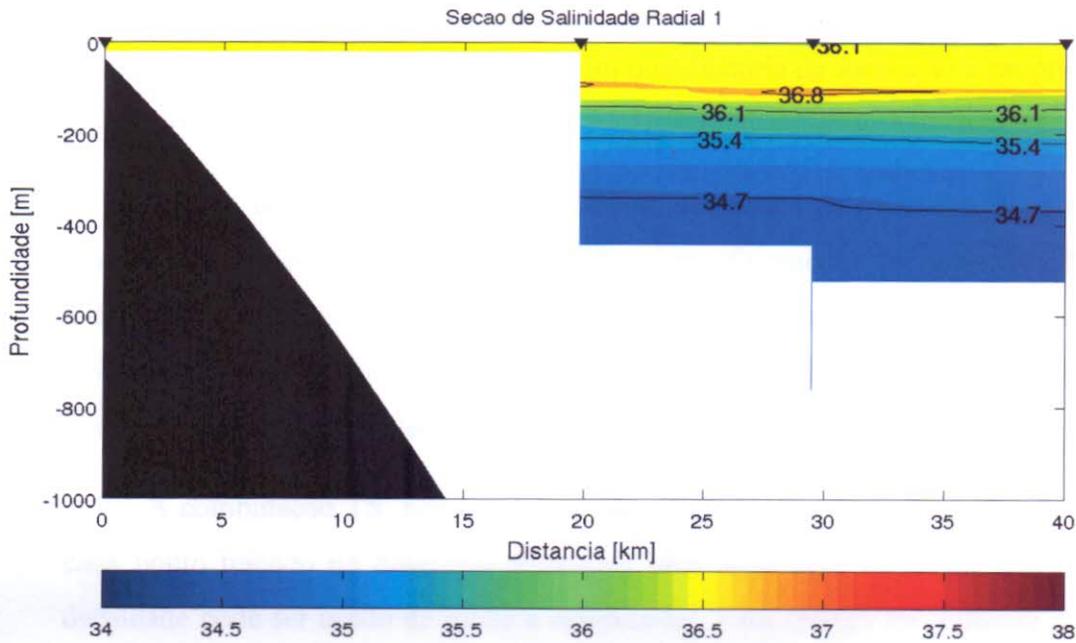
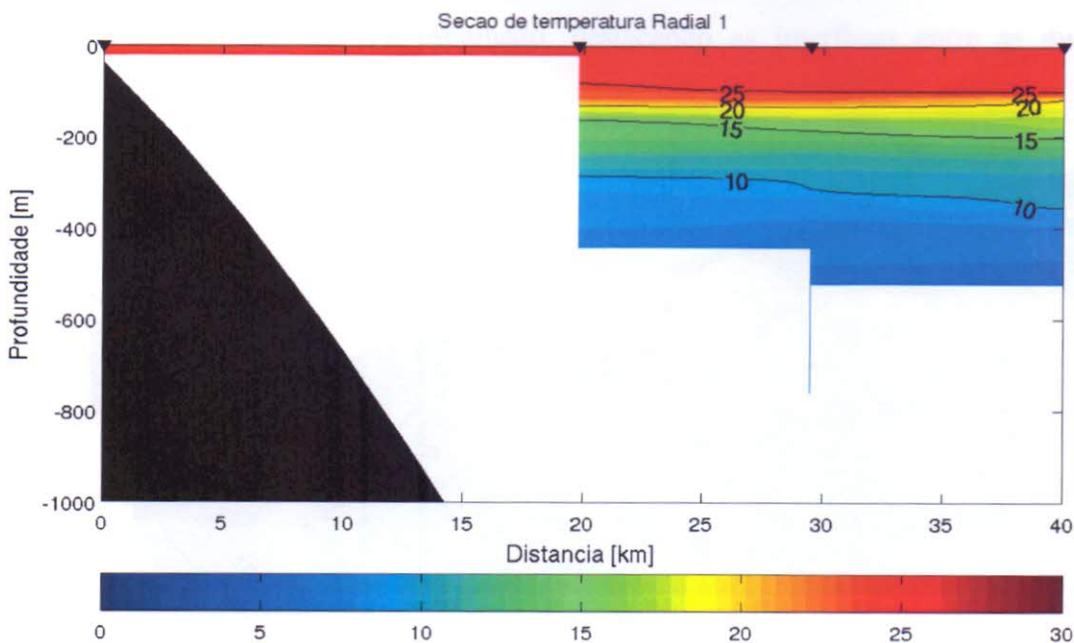


Figura 14– Secção vertical de temperatura antes da extrapolação.



R.14106733

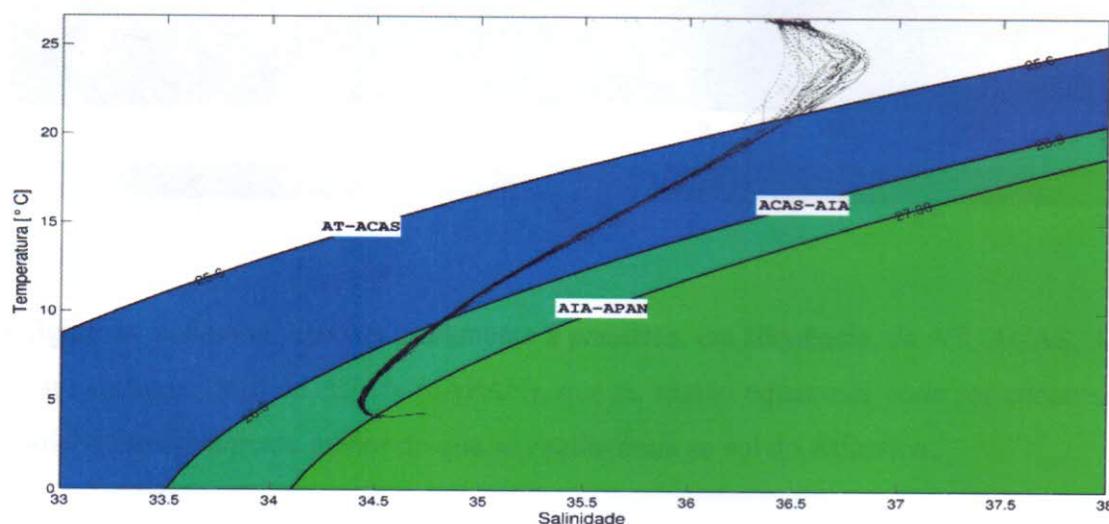
5.2. Massas de água

Propriedades observadas, como a temperatura potencial, salinidade, oxigênio dissolvido, entre outros, podem ter importantes correlações um com o outro. Essa alta correlação entre as propriedades acontece, pelo fato de a maioria das massas d'água dos oceanos adquirem suas características na superfície do mar em sua localidade de formação, preservando suas características ao afundarem. Dessa forma podemos definir as massas d'água como sendo um corpo de água com uma história de formação e propriedades físico-químicas em comum.

Com o objetivo de aprofundar os conhecimentos da identificação e formação das massas d'água, bem como as suas interações e transformações, foi desenvolvido o diagrama T-S (T – temperatura, S – salinidade). A história da análise TS se inicia quando Forch et al (1902) propõe a equação de estado da água do mar e Helland-Hansen (1912) constroem o diagrama TS onde são plotadas as relações TS dos oceanos.

A combinação TS, nos auxilia na identificação dessas massas d'água de forma que cada ponto traçado no diagrama representa uma água tipo, de forma que o contorno de densidade pode ser usado de modo a delimita-las. Essa técnica foi utilizada nesse trabalho, de modo que foram plotadas as propriedades observadas em todas as estações para construir um diagrama TS espalhado, apresentado na figura 15.

Figura 15– Diagrama TS espalhado, destacando as interfaces entre as massas d'água. CORENAVI



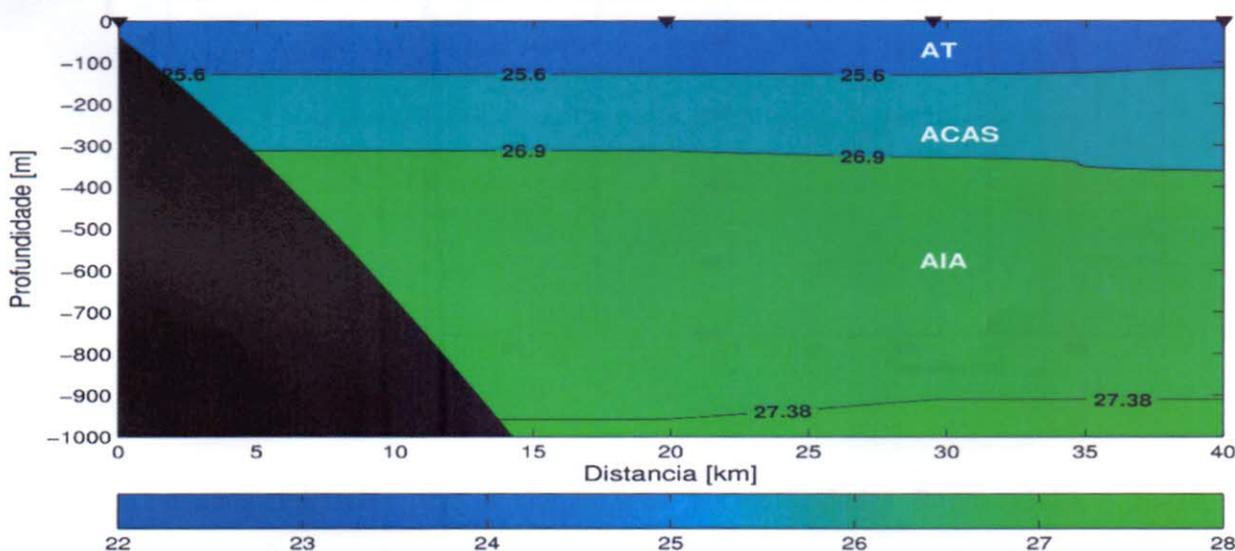
As distribuições verticais de densidade auxiliam no estudo e identificação das massas d'água, para o estudo das configurações verticais de massas d'água são utilizados os índices termohalinos e os níveis isopicnais (NI), aqui representando os valores da base, ou seja, da interface entre as massas d'água, descritos em coleções de trabalhos clássicos para a região (TABELA 1).

Tabela I – Índices termohalinos e níveis isopicnais (kg m^{-3}) das massas d'águas contempladas no presente trabalho.

	AT	ACAS	AIA	APAN
NI	25.7	26.5	27.1	-
Temperatura(°C)	>20	8-20	5-10	3-4
Salinidade	>36	34-36	33.8-34.4	34.6-35

Com base nos níveis médios de σ_θ presentes na literatura podemos plotar a secção vertical de densidade, distinguindo as diferentes massas d'água presentes na região do estudo (FIGURA 16).

Figura 16– Secção vertical de densidade, destacando as massas d'água presentes na área de estudo.



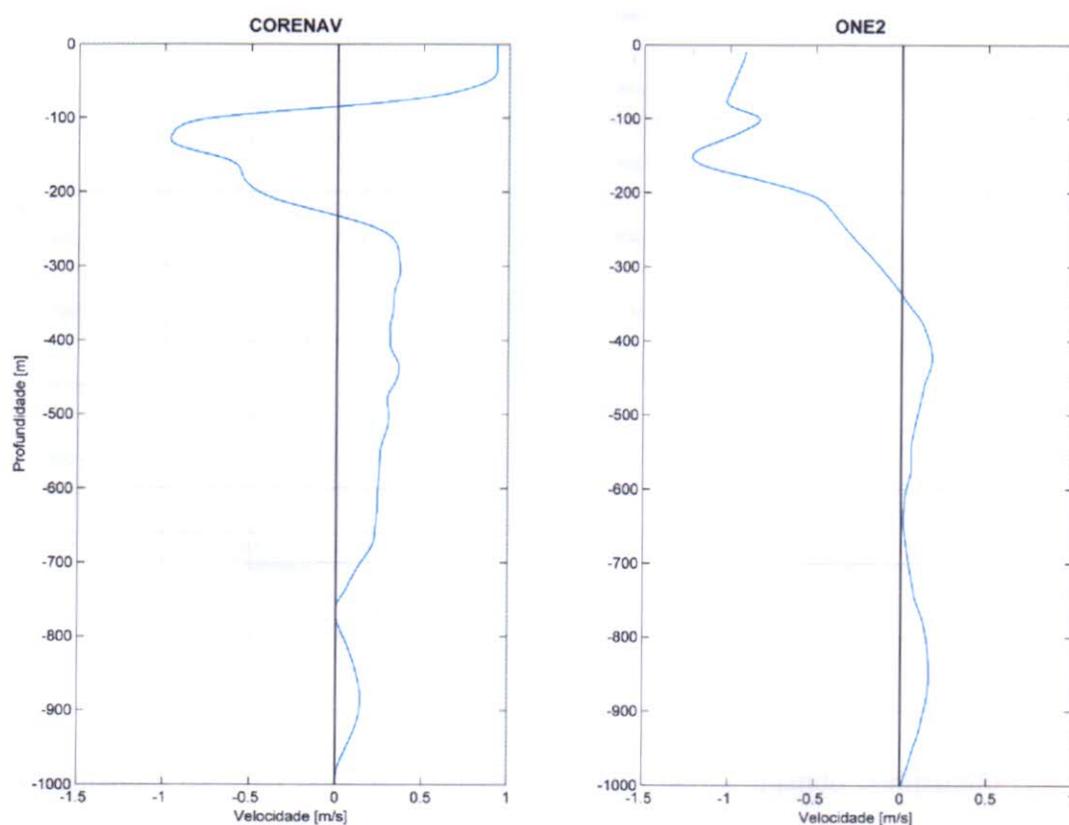
Fonte : Elaborado pelo autor

Na figura 14 podemos perceber claramente a presença, em sequência, da AT, ACAS, AIA e também a camada superficial da APAN (uAPAN), que na região equatorial pode ser encontrada a uma profundidade relativamente menor do que na região mais ao sul do Atlântico.

5.3. Velocidades Geostróficas

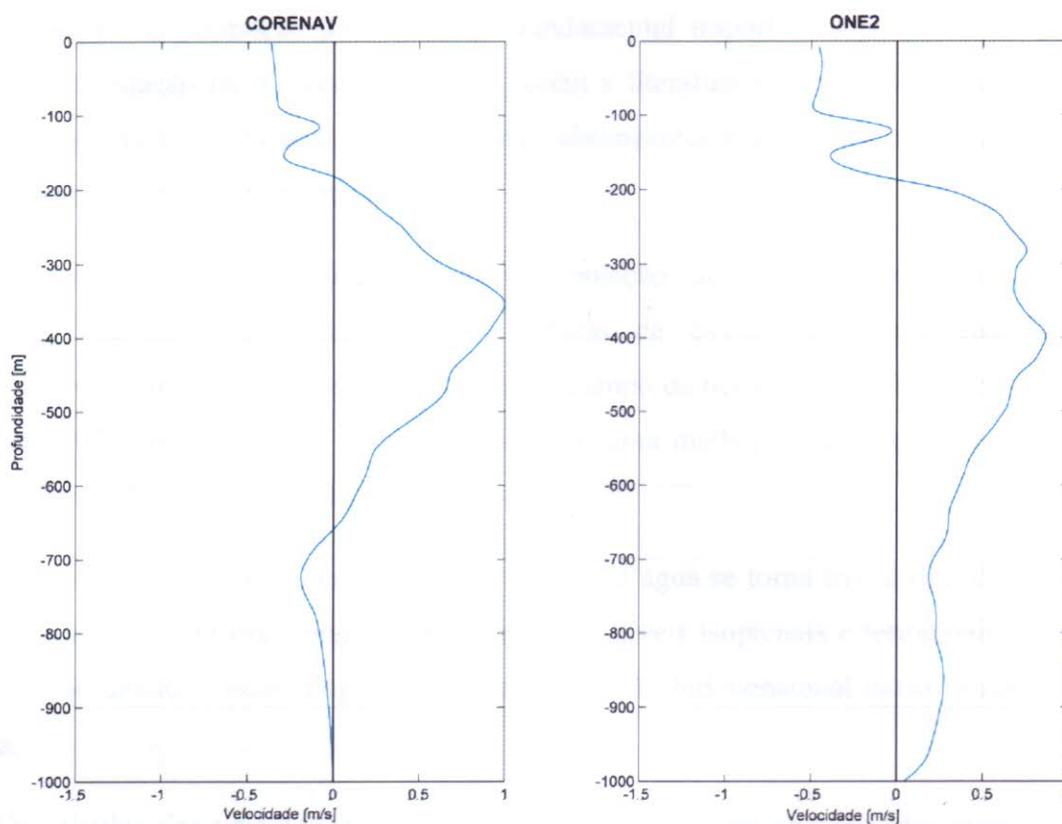
Os cálculos de velocidades geostróficas foram realizados utilizando somente alguns pares de estações. Os resultados foram considerados satisfatórios, uma vez que quando comparados com as velocidades calculadas a partir das estações mais próximas da ONE 2, apresentaram resultados bem semelhantes, como podemos observar nas figuras 17 e 18.

Figura 17 - Perfis de velocidades geostróficas, comparando CORENAV e ONE 2.



As estações utilizadas para a comparação das velocidades foram 13-14 e 76-77, para CORENAV e ONE 2, respectivamente. Na figura 15 é apresentado a comparação para as estações 31-30 e 85-84, para CORENAV e ONE 2, respectivamente.

Figura 18 - Perfis de velocidades geostróficas, comparando CORENAV e ONE 2.



A assinatura da SNB pode ser constatada nesses perfis, quando comparado com dados de velocidade observada diretamente durante comissão ONE II e como observado por Schoot et al (1998), aonde descreve o perfil de velocidade da SNB a partir de um máximo de correntes na região da quebra da plataforma, com correntes superiores a 1 m s^{-1} , decaindo rapidamente ao longo do perfil e com uma corrente secundaria fraca para norte na proximidade de 800m na faixa de profundidade da AIA.

6. CONCLUSÃO

A região de formação da SNB é de fundamental importância para o entendimento dos padrões de circulação na margem brasileira, porém a literatura para a região é restrita, o que de certa forma limita a realização de trabalhos mais abrangentes e ao mesmo tempo agrega valores a pequenos resultados obtidos na região.

Podemos destacar as técnicas de manipulação dos dados observacionais como os tratamentos básicos e principalmente as técnicas de extrapolação, que quando aplicadas corretamente podem ser de grande importância no campo da oceanografia física operacional, como no presente trabalho, no qual a técnica possibilitou uma melhor visualização das massas d'água presentes na região assim como a execução do MDC.

A visualização da estrutura vertical de massas d'água se torna trivial quando o conjunto de dados é plotado em um diagrama TS. Analisando os níveis isopícnais e termohalinos foi possível uma distinção dessas massas d'água e uma representação bidimensional dessa estrutura, de forma didática.

Os cálculos das velocidades pelo método dinâmico foram considerados satisfatórios, uma vez que os valores obtidos corroboram com os trabalhos pretéritos realizados na região, tanto com medições diretas por meio de ADCP de casco, quanto a partir do MDC. Os perfis se tornaram significativos ao representar a estrutura desse escoamento, sendo possível visualizar seu núcleo entre 100 e 200 metros. O perfil de velocidade acompanhou fidedignamente o que já se observava na literatura, porém pode-se observar que é possível realizar o cálculo de correntes por meio do MDC, utilizando propriedades extrapoladas, sem que haja alterações consideráveis em seus valores.

REFERÊNCIAS

- B. Helland-Hansen. **The ocean waters**, 1. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. Hydrogr., Leipzig, p. 5, 1912
- DEFANT, A. **Physical Oceanography**. Pergamon Press (1961), p. 729 2 vols.
- EMERY, W.J.; MEINCKE, J. **Global water masses: summary and review**. Oceanologica Acta 9: 383–391, 1986.
- FORCH, C.; KNUDSEN M.; SÖRENSEN S.P.L. **Berichte über die Konstantenbestimmungen zur Aufstellung der hydrographischen Tabellen**. K. Dan. Vidensk. Selsk. Skr. (1902), p. 6 Raekke, Naturvidensk. Math. Afd., 12, (1), 1902.
- GANGOPADHYAY, A.; ROBINSON, A. R. **Feature-oriented regional modeling of oceanic fronts**. Dynamics of Atmosphere and Oceans, 36, 201–232, 2002
- JOHNS, W. E; LEE, T. N.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; CASTRO, B.; **Annual cycle and variability of the North Brazil Current**. Journal of Physical Oceanography, 28 (1), 103-128, 1998.
- MÉMERY, L.; ARHAN, M.; X.; ALVAREZ-SALGADO, A.; MESSIA, M. J.; H.; MERCIER C.; CASTRO, G; RIOS, A.F. **The water masses along the western boundary of the South and equatorial Atlantic**. Progress in Oceanography, (47), 69–98, 2000.
- MAMAYEV, O.I. **Temperature-salinity analysis of world ocean Waters**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publ., 374 p, 1975.
- MIRANDA, L.B;CASTRO, B.M;KJERVE, B. **Principios de Oceanografia Física de Estuários**. Universidade de São Paulo, São Paulo: 2002. 414p.
- MARIN, F.O. **A Subcorrente Norte do Brasil ao Largo da Costa do Nordeste**. 2009. 115f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2009.
- Oliveira, M.F. **Vórtices da Corrente Norte do Brasil: Estruturas de Velocidade e Massas de Água**. 2009. 53f. Tese (Mestrado em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2009.
- PETERSON, R. G; STRAMMA, L. **Upper-level circulation in the South Atlantic**. Ocean. Prog. Oceanogr., 26(1), 1–73, 1991

- PONSONI, L. **Sistema Corrente do Brasil: uma proposta para utilização de perfis de xbt em seu estudo dinâmico.** 2010. 134f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia)- Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2010.
- POND, S.; PICKARD, G. L. **Introductory dynamical oceanography**, 329 pp., Pergamon Press, Oxford, 1983.
- SANDSTRÖM, J. W.; HELLAND-HANSEN, B. **Über die Berechnung von Meereströmungen.** Rept. Norwegian Fishery and Marine Investigations, v. 2, n. 4, p. 72–233, 1903.
- SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. **Transports and Pathways of the Upper- Layer Circulation in the Western Tropical Atlantic.** Journal of Physical Oceanography, 28, 1904–1928, 1998.
- SCHOTT, F.A.; DENGLER, M.; ZANTOPP R.; STRAMMA, L.; FISCHER, J.; BRANDT, P. **The Shallow and Deep Western Boundary Circulation of the South Atlantic at 5°–11°S.** *J. Phys. Oceanogr.*, 35, 2031–2053, 2005. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JPO2813.1>
- STRAMMA, L.; ENGLAND, M. **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean.** *J. Geophys. Res.*, 104(C9), 20.863–20.883, 1999.
- SILVA, L. C. F.; ALVARENGA, J. B. R. **Levantamento do estado da arte dos recursos vivos marinhos do Brasil - Oceanografia Física da Região Nordeste.** Ministério e Meio Ambiente, 1994. 200 p, 1994.
- SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. **On the origins of the North Brazil Current.** *J. Geophys. Res.*, 99(C11), 22.501–22.512, 1994.
- SILVEIRA, I.C.A; FLIERL, G. R. **Eddy formation in 2 1/2 layer, quasigeostrophic jets.** *J. Phys. Oceanogr.*, 32(3), 729–745, 2002.
- TALLEY, L. D; REID, J. L; ROBBINS, P.E. **Data-based meridional overturning streamfunctions for the global ocean.** *J. Climate*, 16,3213-3226, 2003.
- TALLEY, L.D.; PICKARD, G.L.; EMERY, W.J.; SWIFT J.H., 2011. **Descriptive Physical Oceanography: An Introduction (Sixth Edition)**, Elsevier, Boston, 560 pp.
- UNESCO, 1980: **The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. Tenth Report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (JPOTS).** UNESCO Technical Papers in Marine Science, (36), 25.