

ESTUDO DA ESTRATIFICAÇÃO OCEÂNICA NA ZEE BRASILEIRA E
IDENTIFICAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA ATRAVÉS DA ANÁLISE DA
CURVATURA DE PERFIS REGIONAIS

Fernanda da Rocha Chames

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Oceânica, COPPE, da Universidade Federal
do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Mestre em
Engenharia Oceânica.

Orientador: Luiz Gallisa Guimarães

Rio de Janeiro
Julho de 2025

ESTUDO DA ESTRATIFICAÇÃO OCEÂNICA NA ZEE BRASILEIRA E
IDENTIFICAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA ATRAVÉS DA ANÁLISE DA
CURVATURA DE PERFIS REGIONAIS

Fernanda da Rocha Chames

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Orientador: Luiz Gallisa Guimarães

Aprovada por: Prof. Luiz Gallisa Guimarães
Prof. Marcos Nicolás Gallo
Prof. Josefa Varela Guerra

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
JULHO DE 2025

da Rocha Chames, Fernanda

Estudo da estratificação oceânica na ZEE brasileira e identificação das massas d'água através da análise da curvatura de perfis regionais/Fernanda da Rocha Chames.
– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025.

X, 21 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Luiz Gallisa Guimarães

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Oceânica, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 18 – 19.

1. Zona Econômica Exclusiva (ZEE). 2. Densidade in situ. 3. Curvatura de perfilagem termohalina. 4. Massas d'água. 5. Modelos regionais. I. Gallisa Guimarães, Luiz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica. III. Título.

Aos meus pais, meu porto e farol.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força, pela luz nos momentos de incerteza e pela oportunidade de trilhar esse caminho até aqui.

Aos meus pais, Rita e Carlos, pelo amor incondicional, apoio contínuo e por acreditarem em mim mesmo nos momentos em que eu duvidei. Ao meu irmão, Caio, pela parceria e amizade ao longo da vida.

Ao meu filho Otto, cuja presença me motiva diariamente a ser uma pessoa e profissional melhor. É por ele e para ele que sigo em frente com coragem e dedicação.

Ao Professor Parente, pela participação nesta trajetória, compartilhando seu conhecimento e por ser inspiração de entusiasmo pela pesquisa no mar.

Ao Professor Dr. Luiz Gallisa Guimarães, por sua orientação, paciência e incentivo. Por compartilhar seu valioso tempo, fundamental para a realização deste trabalho.

À CMG Márcia Helena, por sua confiança em meu trabalho, apoio constante e pela inspiração como profissional.

À Marinha do Brasil, pela oportunidade e apoio institucional para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos amigos do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), pela acolhida, pelo companheirismo e pelas trocas valiosas.

Às minhas amigas Raiane e Dani, pela amizade verdadeira, pelas conversas que me acalmaram nos momentos difíceis e pelas risadas que tornaram o caminho mais leve. A presença de vocês foi essencial para que eu mantivesse o equilíbrio e a motivação.

À minha amiga Fernanda que nem bem chegou e já trouxe tanto acolhimento e divertimento tão essencial nesse finalzinho.

Aos colegas da pós-graduação, por compartilharem comigo os desafios, aprendizados e conquistas dessa etapa.

À Lucianita, pela atenção, eficiência e disponibilidade em todos os momentos. Sua dedicação e gentileza foram fundamentais para o bom andamento das atividades acadêmicas.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte desse percurso, meu sincero e profundo agradecimento.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTUDO DA ESTRATIFICAÇÃO OCEÂNICA NA ZEE BRASILEIRA E IDENTIFICAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA ATRAVÉS DA ANÁLISE DA CURVATURA DE PERFIS REGIONAIS

Fernanda da Rocha Chames

Julho/2025

Orientador: Luiz Gallisa Guimarães

Programa: Engenharia Oceânica

A Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira possui elevada importância científica, ambiental e estratégica. Esta dissertação propõe uma metodologia baseada na análise de curvatura de perfis para a caracterização da estratificação vertical da coluna d'água e identificação de massas d'água na ZEE. Sendo isto feito com foco nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Mais especificamente nossa abordagem baseia-se na análise de dados de sondagens CTD realizadas pela Marinha do Brasil, utilizando os parâmetros de temperatura, salinidade e densidade in situ. Os dados foram normalizados em relação à densidade superficial e contrastes termohalinos descritos por filtros de Savitzky-Golay. Que nos permitiu calcular curvaturas dos respectivos perfis, as interfaces verticais foram identificadas por picos de curvatura e ajustadas por perfis de Lorentz, permitindo a delimitação precisa das transições entre massas d'água. Os resultados possibilitaram a construção de modelos regionais de perfis verticais, com potencial aplicação em monitoramento oceanográfico e modelagem acústica submarina.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF OCEAN STRATIFICATION IN THE BRAZILIAN EXCLUSIVE
ECONOMIC ZONE AND WATER MASS IDENTIFICATION USING
THERMOHALINE CURVATURE OF REGIONAL PROFILES

Fernanda da Rocha Chames

July/2025

Advisor: Luiz Gallisa Guimarães

Department: Ocean Engineering

The Brazilian Exclusive Economic Zone (EEZ) holds significant scientific, environmental, and strategic importance. This dissertation proposes a methodology based on curvature analysis of vertical profiles to characterize ocean stratification and identify water masses within the EEZ, focusing on the Northeast, Southeast, and South regions. Our approach is grounded in the analysis of CTD cast data collected by the Brazilian Navy, using in situ temperature, salinity, and density parameters. The data were normalized relative to surface density, and thermohaline contrasts were derived using Savitzky-Golay filters. This enabled the calculation of profile curvatures, with vertical interfaces identified by curvature peaks and fitted with Lorentzian profiles, allowing precise delineation of transitions between water masses. The results supported the development of regional vertical profile models, with potential applications in oceanographic monitoring and underwater acoustic modeling.

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Objetivo.....	4
2.1	Objetivo Geral	4
2.2	Objetivo específico.....	4
3	Revisão Bibliográfica	5
3.1	A estratificação dos oceanos.....	5
3.2	Propriedades físico-químicas da água do mar	6
3.2.1	Temperatura.....	7
3.2.2	Salinidade	10
3.2.3	Densidade.....	12
3.3	Massas d'água do Atlântico Sul.....	14
3.3.1	Identificação das massas d'água	15
4	Material e métodos.....	20
4.1	Caracterização e descrição dos dados utilizados no estudo	20
4.2	Análise dos dados.....	22
4.3	Tratamento dos dados	26
4.3.1	Região Sudeste	37
4.3.2	Região Sul	41
5	Conclusões.....	45
6	Referências Bibliográficas	47

Lista de Figuras

Figura 1 - Plataforma Continental, Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e Zona Contígua, que compõem a Amazônia Azul Brasileira. Fonte: Acervo da SECIRM - Marinha do Brasil.....	2
Figura 2 – A temperatura da superfície do mar média nos oceanos. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura_da_superfície_do_mar	7
Figura 3- Perfis verticais de temperatura (°C) da esquerda para a direita: regiões NE - Nordeste, SE – Sudeste e S - Sul e da costa brasileira.....	8
Figura 4 – Perfil vertical típico de temperatura da Região Nordeste (NE) com a identificação das camadas	9
Figura 5 - Perfis verticais de salinidade para as regiões da costa brasileira: NE- Nordeste, SE – Sudeste e S- Sul	11
Figura 6 - Perfil vertical típico de Salinidade da Região Nordeste (NE)	12
Figura 7 - Perfis verticais de salinidade para as regiões da costa brasileira: NE- Nordeste, SE – Sudeste e S- Sul.	13
Figura 8- Diagrama T-S dos pares de valores (temperatura, salinidade) amostrados na região Nordeste. As linhas tracejadas são as isopicnais (comissão realizada em fevereiro de 2006)...	18
Figura 9 - Diagrama T-S dos pares de valores (temperatura, salinidade) amostrados na região Sudeste. As linhas tracejadas são as isopicnais (comissão realizada em março de 2002).	19
Figura 10 - Diagrama T-S dos pares de valores (temperatura, salinidade) amostrados na região Sul. As linhas tracejadas são as isopicnais (comissão realizada em março de 2002).....	19
Figura 11 – Imagem ilustrativa de um CTD Sea Bird -9 – Fonte: https://www.seabird.com/sbe-911plus-ctd . Acesso em: 03 mar 2023.	21
Figura 12 - Imagem representativa dos locais em que foram realizadas as coletas de dados. ..	22
Figura 13 – Gráficos comparativos ilustrando os perfis típicos de pressão e densidade em função da profundidade.....	23
Figura 14 – a) gráfico pressão em função da profundidade e sua derivada. b) gráfico da densidade em função da profundidade e sua derivada. Foi destacado em vermelho a pressão de 310 db, pois foi no intervalo que observamos maior perturbação, indicando ser a camada de mistura, onde ocorrem as interações oceano-atmosfera.....	25
Figura 15 - Mostra em a) o Perfil vertical de temperatura identificando as temperaturas mínima $T_{\min}$ e máxima $T_{\max}$. Analogamente no painel b) tem-se respectivamente no Perfil vertical de salinidade os Pontos de salinidades mínima $S_{\min}$ e máxima $S_{\max}$	27
Figura 16 - Enquanto em c) e d) mostra-se respectivamente o comportamento dos contrastes ΔT e ΔS à medida que a densidade normalizada ρ varia. Região NE.	28

Figura 17 - Aqui os símbolos associados a círculos "O" representam o cálculo numérico da curvatura KS utilizando o algoritmo SG, onde nota-se uma estrutura bem definida de singularidades. Por outro lado, tais singularidades ou picos são melhor caracterizados (linha cheia no gráfico) por um ajuste de curvas tipo Lorentziana dos dados SG (veja Eq.7, no texto)30

Figura 18 - Mostra para os dados da ZEE NE que os picos "Lorentzianos" da curvatura KS são centrados nas transições entre as camadas de mistura, haloclina e abissal, além disso suas "larguras" delimitam essas fronteiras. 31

Figura 19 - Aqui os símbolos associados a círculos "o" representam o cálculo numérico da curvatura KS utilizando o algoritmo SG, onde nota-se uma estrutura bem definida de singularidades. Por outro lado, tais singularidades ou picos são melhor caracterizados (linha cheia no gráfico) por um ajuste de curvas tipo Lorentziana dos dados SG (veja Eq.7, no texto). 33

Figura 20 – nos gráficos acima podemos verificar que os picos das Lorentzianas correspondem as mudanças críticas nos perfis verticais de temperatura e salinidade. É possível observar as mudanças bruscas de temperatura (quadro da esquerda) e salinidade (quadro da direita). Classificando as áreas da estratificação I) camada de mistura, II) Termoclina, no gráfico salino III) camada de mistura e IV) Haloclina..... 34

Figura 21 – Em a) temos a ilustração da correlação entra as curvaturas KS E KT e em b) a integral dessa função onde podemos identificar patamares numerados de 1 a 4..... 35

Figura 22 - identificação das massas d'água características do Atlântico Sul na região NE: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) Região NE. 36

Figura 23 - Mostra em a) o Perfil vertical de temperatura identificando as temperaturas mínima T_{min} e máxima T_{max} . Analogamente no painel b) tem-se respectivamente no Perfil vertical de salinidade os pontos de salinidades mínima S_{min} e máxima S_{max} 37

Figura 24 - Enquanto em c) e d) mostra-se respectivamente o comportamento dos contrastes ΔT e ΔS à medida que a densidade normalizada ρ varia na Região SE..... 38

Figura 25 – nos gráficos acima podemos verificar que os picos das Lorentzianas correspondem as mudanças críticas nos perfis verticais de temperatura e salinidade. É possível observar as mudanças bruscas de temperatura (quadro da esquerda) e salinidade (quadro da direita) . Classificando as áreas da estratificação no gráfico da temperatura I) camada de mistura e termoclina não foram identificados, no gráfico salino, II) camada de mistura e III) Haloclina.. 38

Figura 26 - Em a) temos a ilustração da correlação entra as curvaturas KS E KT e em b) a integral dessa função onde podemos identificar patamares numerados de 1 a 4..... 39

Figura 27 - Gráfico dos picos (curvaturas) e degraus de salinidade região SE com identificação das massas d'água características do Atlântico Sul na região NE: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). 41

Figura 28 - Mostra em a) o Perfil vertical de temperatura identificando as temperaturas mínima T_{min} e máxima T_{max} . Analogamente no painel b) tem-se respectivamente no Perfil vertical de salinidade os pontos de salinidades mínima S_{min} e máxima S_{max} 42

Figura 29 - Enquanto em c) e d) mostra-se respectivamente o comportamento dos contrastes ΔT e ΔS à medida que a densidade normalizada ρ varia. Região Sul..... 42

Figura 30 - Nos gráficos acima podemos verificar que os picos das Lorentzianas correspondem as mudanças críticas nos perfis verticais de temperatura e salinidade. É possível observar as mudanças bruscas de temperatura (quadro da esquerda) e salinidade (quadro da direita). Classificando as áreas da estratificação no gráfico da temperatura I) camada de mistura e termoclina não foram identificados, no gráfico salino, II) camada de mistura e III) Haloclina.. 43

Figura 31 Gráfico dos picos (curvaturas) e degraus de salinidade região S com identificação das massas d'água características do Atlântico Sul na região NE: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). 44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores das interfaces isopícnicas entre as massas d'água do Oceano Atlântico Sul em valores de densidade potencial (σ_θ). Adaptado de Silveira (2007)	16
Tabela 2 – Valores de temperatura (°C) e salinidade (g/kg) característicos das massas d'água dos oceanos.....	16
Tabela 3 - tabela reflete as principais características em função da profundidade dessas massas d'água no Atlântico Sul de acordo com Stramma & England (1999).....	17
Tabela 4 - Localização da coleta dos dados.....	21
Tabela 5 - Informações sobre os cruzeiros oceanográficos para coleta de dados.....	22
Tabela 6- Tabela com os dados utilizados para classificação das massas da água região NE.....	35
Tabela 7 - Tabela com os dados utilizados para classificação das massas da água região SE. ...	40
Tabela 8 - Tabela com os dados utilizados para classificação das massas da água região Sul ...	43

1 Introdução

O espaço marítimo desempenha um papel fundamental na sustentabilidade ambiental e no desenvolvimento estratégico das nações. Nesse contexto, a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) é uma das áreas de maior relevância, sua utilização abrange aspectos econômicos, sociais, ambientais, culturais e geopolíticos, constituindo-se em extensa área sob jurisdição nacional e de importância estratégica para o Brasil estendendo-se por 200 milhas náuticas a partir da linha de base utilizada para delimitar o mar territorial, tal como indicada nas cartas náuticas de grande escala, reconhecidas oficialmente no Brasil.

Essa faixa marítima, estabelecida pelo Decreto nº 99.165, que foi promulgado em 12 de março de 1990, cobre aproximadamente 3,6 milhões de quilômetros quadrados, o que corresponde a mais de 50% da área continental do país.

A Figura 1 ilustra esses limites marítimos, destacando a interconexão entre o mar territorial, a zona contígua, a ZEE e a plataforma continental estendida, que compõem o conceito da Amazônia Azul Brasileira. Esse vasto espaço sob jurisdição nacional ainda necessita de um planejamento integrado, ampliação da investigação científica marinha e de uma gestão eficiente para o uso sustentável de seus recursos.

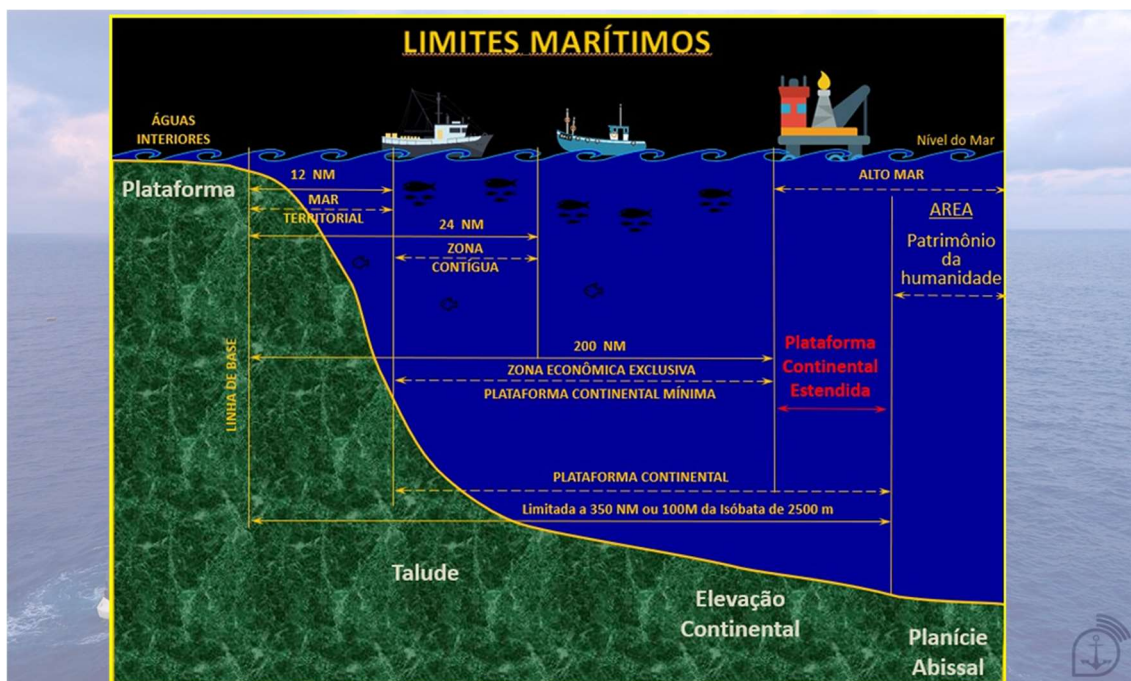


Figura 1 - Plataforma Continental, Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e Zona Contígua, que compõem a Amazônia Azul Brasileira. Fonte: Acervo da SECIRM - Marinha do Brasil.

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), estabelece diferentes faixas marítimas sob jurisdição nacional. O mar territorial, que se estende até 12 milhas náuticas da costa, é uma área onde o país exerce soberania plena, semelhante ao território terrestre. Além dele, há a zona contígua, que alcança até 24 milhas náuticas, permitindo ao Estado controlar atividades como fiscalização aduaneira, sanitária e migratória. A ZEE vai até 200 milhas náuticas e concede ao Brasil direitos exclusivos sobre a exploração, conservação e gestão dos recursos naturais vivos e não vivos, presentes tanto na coluna d'água quanto no subsolo marinho.

No entanto, um adequado gerenciamento e monitoramento desta área depende do desenvolvimento científico e de ferramentas tecnológicas capazes de caracterizá-la. No Atlântico Sul, ferramentas como o Regional Ocean Modeling System (ROMS) têm sido utilizadas para simular a circulação oceânica e a intrusão de massas d'água, a rede Argo fornece perfis verticais de temperatura e salinidade, cobrindo vastas áreas da bacia. Iniciativas como o projeto MERMAID também contribuem com dados hidroacústicos e sísmicos em profundidade, integrando observações físicas e acústicas da coluna d'água. Apesar desses avanços, a ZEE brasileira ainda carece de modelos validados que permitam, em escalas regionais, uma caracterização robusta das propriedades físico-

químicas da coluna d'água e a identificação das massas d'água associadas. Tais informações são fundamentais para a compreensão da estrutura oceânica e de sua possível relação com canais acústicos submarinos.

Dentro desta tônica, a metodologia deste estudo envolve diretamente a análise de dados oceanográficos coletados em comissões oceanográficas da Marinha do Brasil (MB), tais como temperatura, salinidade e outros parâmetros físico-químicos relevantes. Bem como o desenvolvimento e implementação de um modelo de estratificação e identificação de massas d'água, baseando-se na variabilidade dos contrastes de Temperatura (T) e Salinidade (S) à medida que a densidade varia em profundidade. Com isto, esperamos que os resultados aqui a serem apresentados, contribuam um pouco mais para uma melhor compreensão da estratificação do oceano na ZEE. A seguir passamos a discutir tais métodos e procedimentos em mais detalhes.

2 Objetivo

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver, com base em premissas e argumentos físicos, um método capaz de descrever os comportamentos dos parâmetros oceanográficos por meio de funções específicas. Para isso, serão utilizados dados de temperatura, salinidade e densidade coletados durante as campanhas oceanográficas realizadas pela Marinha do Brasil. Este método visa caracterizar os perfis verticais dessas propriedades físicas, destacando seus comportamentos em regiões específicas, a saber: termoclina, haloclina e picnoclina, que correspondem às camadas onde ocorrem variações rápidas de temperatura, salinidade e densidade em função da profundidade, respectivamente.

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar as massas d'água em função da variação em profundidade da densidade *in situ*;
2. observar por meio dos gráficos de curvatura regiões de picos, que representam regiões de transição, ou seja, que possuem maiores diferença na variação dos parâmetros oceanográficos, indicando assim um local de interface;
3. Fornecer informações em profundidade das massas d'água que compõe as regiões; e
4. Correlacionar os picos de curvatura com as características das massas d'água do Atlântico Sul descritas na literatura.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 A estratificação dos oceanos

Os oceanos são formados por camadas de diferentes densidades, organizadas verticalmente sob a ação da gravidade, configurando um fluido estratificado. Essa estratificação é determinada pela variação de densidade com a profundidade (Talley, Pickard, *et al.*, 2011). A densidade da água, por sua vez, depende de três parâmetros: salinidade (S), temperatura (T) e pressão, influenciados pelas propriedades físicas da água, como contração salina, expansão térmica e compressibilidade bária.

A identificação desses parâmetros é essencial para compreender o comportamento dinâmico do oceano, bem como sua composição físico-química e a estabilidade de suas camadas (Stewart, 2008), é essencial para o desenvolvimento de estratégias nacionais em áreas como defesa e economia.

Tanto no contexto oceanográfico quanto geofísico há obstáculos tanto do ponto de vista econômico, logístico como científico na obtenção em grandes áreas e volumes de dados físico-químicos do oceano. Recentemente um pouco disso foi superado com estratégias inovadoras, como mostra Schiller e Brassington (2011). Em vista destas dificuldades supracitadas e de posse de séries históricas de dados de CTD (Conductivity, Temperature, and Depth) este estudo será baseado em perfilagem em profundidade.

A correlação das temperaturas e salinidade com a latitude é uma interação dinâmica e complexa as condições atmosféricas e as correntes oceânicas (Kump et al., 2016). Entender esses padrões é fundamental para estudar a circulação oceânica, os sistemas climáticos e seus impactos na vida marinha e nos padrões climáticos globais (Schmit, 2018).

A presença de sais, em uma proporção aproximada de 3,5% do volume total dos oceanos, causa um impacto em diversas propriedades, provocando um comportamento totalmente distinto daquele da água doce. As principais propriedades físicas afetadas são: compressibilidade da água, velocidade de propagação do som, densidade e condutividade. (Talley, Pickard, *et al.*, 2011). Entre estas, a distribuição da densidade das águas, que é resultante da combinação dos efeitos da salinidade e da temperatura, tem um papel

decisivo na circulação oceânica. Em geral, nos oceanos tanto a temperatura como a salinidade decrescem com a profundidade (Stewart, 2008). Porém essa variação influencia a densidade de maneira oposta, ou seja, uma diminuição na temperatura resulta num aumento da densidade, por outro lado, um decréscimo em salinidade, resulta em uma densidade menor e a estabilidade de tais camadas de água com diferentes propriedades físicas, como temperatura, salinidade e densidade, depende diretamente dos processos dinâmicos relativos à circulação oceânica. Nos oceanos, o efeito da diminuição da temperatura com a profundidade é muito mais intenso que o da diminuição da salinidade, e ao final deste balanço físico-químico o oceano permanece estratificado de maneira bastante estável (Pickard e Emery, 1990).

Com o propósito de investigar a estratificação das massas d'água no Atlântico Sul, é mister definir a localização vertical destas o mais próximo possível da realidade. E quando se trata em referência métrica na vertical, o que logo vem à mente é a profundidade. No entanto, as massas d'água não são delimitadas por níveis de profundidade constantes (Tomeczak e Godfrey, 2003). Assim como cada massa possui um padrão de circulação distinto, a variação de sua posição vertical também é. O emprego somente do referencial de profundidade para estabelecer a localização e extensão vertical das massas d'água mostra-se, pois, uma aproximação simplista do que realmente acontece no oceano. Diante disso, podemos concluir que a maneira mais eficaz é determinar os limites da faixa de densidade em que se encontra cada massa de água a ser estudada.

3.2 Propriedades físico-químicas da água do mar

As principais propriedades físico-químicas da água do mar são : Temperatura da água do mar, salinidade, Pressão hidrostática e densidade (PICKARD e EMERY, 1990). Neste trabalho abordaremos os seguintes:

3.2.1 Temperatura

A temperatura da água do mar varia vertical e horizontalmente, influenciada por fatores como a radiação solar, a latitude e a circulação oceânica. Em pequenas latitudes, a maior incidência de radiação solar resulta em temperaturas superficiais mais elevadas, enquanto em regiões polares as temperaturas são significativamente mais baixas. Bem como em uma variação através da seção transversal de acordo com Stewart (2008).

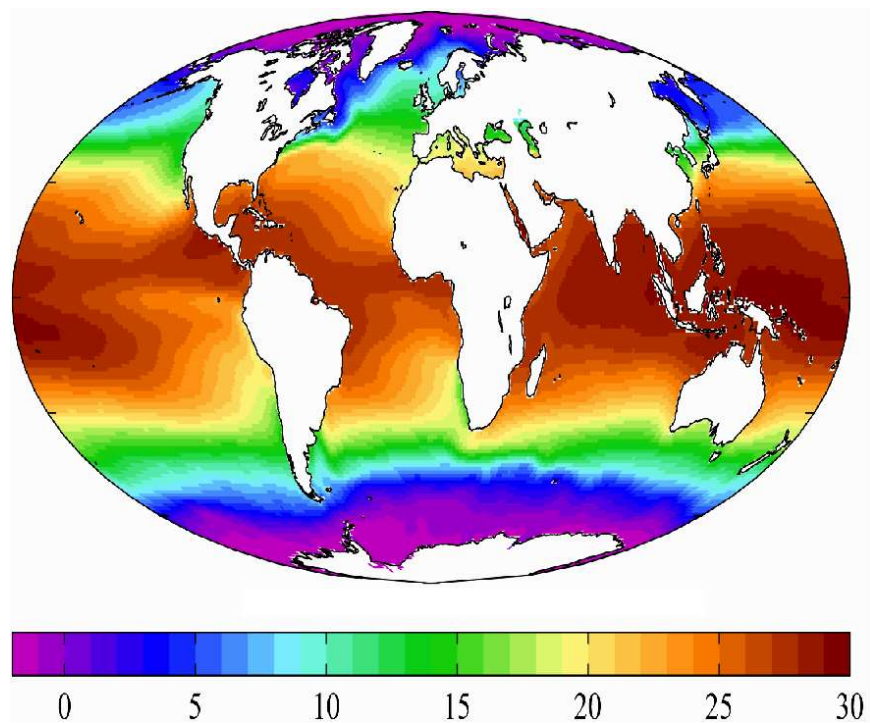


Figura 2 – A temperatura da superfície do mar média nos [oceanos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura_da_superficie_do_mar). Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura_da_superficie_do_mar

A unidade de medida é °C (graus Celsius) e nos dados coletados nas regiões em estudo variam de 2° a 29°C. Ao estudarmos a temperatura no oceano nos deparamos com uma distribuição vertical, onde tipicamente a temperatura decai com a profundidade, como podemos observar na figura 3.

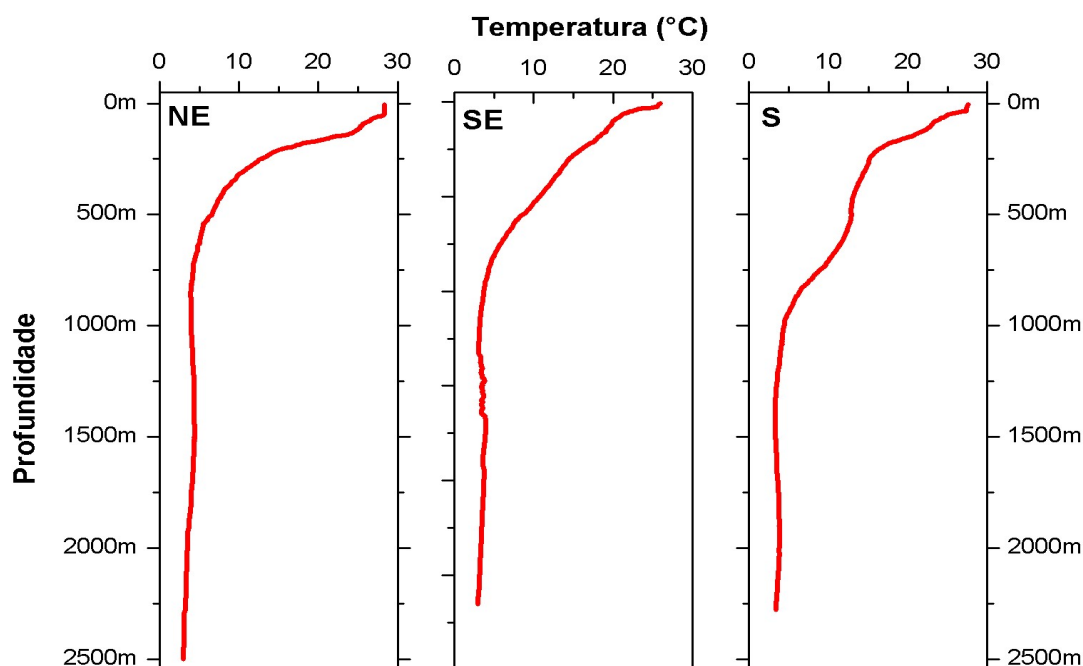


Figura 3- Perfis verticais de temperatura (°C) da esquerda para a direita: regiões NE - Nordeste, SE – Sudeste e S - Sul e da costa brasileira.

Verticalmente, o perfil de temperatura pode ser dividido em três camadas principais: a camada de mistura, a termoclina e a camada abissal.

A camada de mistura, localizada na superfície, é caracterizada por uma grande variabilidade de temperatura devido à interação direta com a atmosfera. Nessa camada, a temperatura é influenciada por fatores como radiação solar, ventos (transporte de Ekman) e eventos meteorológicos (Gnanadesikan e Weller, 1995). A profundidade da camada de mistura não é fixa, variando em função da latitude, da estação do ano e das condições locais. A latitude exerce uma influência direta na variação da densidade oceânica devido às variações de temperatura e salinidade, as quais são moduladas pela radiação solar, circulação atmosférica, evaporação e precipitação (Pond e Pickard, 1983).

Abaixo da camada de mistura, encontra-se a termoclina, ilustrada na figura 4, uma região de transição onde a temperatura diminui rapidamente com a profundidade. A termoclina desempenha um papel crucial na estrutura térmica do oceano, separando as águas superficiais mais quentes das águas profundas mais frias. Essa camada é essencial para a distribuição de calor e nutrientes, influenciando processos oceanográficos e ecológicos (Romero *et al.*, 2023).

Por fim, a camada abissal é caracterizada por temperaturas baixas e relativamente estáveis. Nessa região, a queda de temperatura ocorre lentamente, e em algumas áreas pode até haver um leve aumento da temperatura em direção ao fundo devido à compressão

adiabática causada pela alta pressão (Warren, 1981). Essa camada é crucial para a circulação oceânica profunda e para o transporte de calor em escala global.

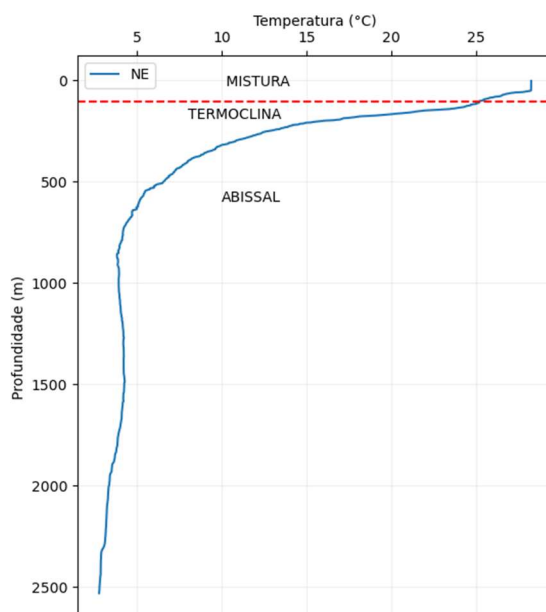


Figura 4 – Perfil vertical típico de temperatura da Região Nordeste (NE) com a identificação das camadas

É importante identificar que para os estudos de oceanografia a temperatura utilizada para as análises, pode ser a coletada *in situ* ou a potencial (Pond e Pickard, 1983). A temperatura *in situ*, é a temperatura local sob a ação da pressão na profundidade de coleta do parâmetro. Já a temperatura potencial refere-se a temperatura no nível da superfície, como se esta parcela de água do mar teria se fosse trazida adiabaticamente de uma determinada profundidade para a superfície do oceano. (Talley, Pickard, et al., 2011).

Esta temperatura é inferior à temperatura *in situ*, pois a expansão da parcela de água devido ao alívio de pressão leva à diminuição de sua temperatura. A diferença entre a temperatura potencial e a temperatura *in situ* no oceano não varia mais do que 1,5 °C, sendo essa pequena diferença significativa na distribuição vertical de temperatura no oceano.

No presente estudo, optou-se pela utilização da temperatura *in situ* para as análises, uma vez que o objetivo é identificar as características das massas d'água e compreender seu comportamento em função da densidade local. A temperatura *in situ* reflete as condições reais da coluna d'água, sendo mais adequada para análises que demandam precisão nas propriedades físicas da água em diferentes profundidades.

3.2.2 Salinidade

A Salinidade corresponde a quantidade total de substâncias (saís) dissolvidas na água do mar, em 1978 foi estabelecida pela UNESCO uma Escala Prática de Salinidade (PSU) que mede a salinidade em uma escala de 0 a 42. Essa escala é uma razão de condutividade elétrica e não possui nenhuma unidade de medida associada (Lewis, 1980). A salinidade das amostras que serão utilizadas neste estudo possui um intervalo de 34 a 38.

Em 2005, o Comitê Científico para Pesquisa Oceânica (SCOR) e a Associação Internacional para as Ciências Físicas do Oceano (IAPSO) formaram o Grupo de Trabalho Científico 127 (GT-127), com o objetivo de aprimorar o entendimento da termodinâmica da água do mar. Esse grupo desenvolveu um conjunto de algoritmos que consolidaram os conhecimentos mais recentes sobre a equação de estado da água do mar, resultando na implementação do padrão TEOS-10 (*International Thermodynamic Equation of Seawater – 2010*) (IOC et al, 2010). O TEOS-10 substituiu o EOS-8 como referência oficial para a descrição das propriedades termodinâmicas da água do mar, incluindo a salinidade absoluta e a temperatura potencial conservativa.

Assim, a partir de 2009, a Salinidade Absoluta tornou-se a métrica padrão, enquanto anteriormente a salinidade prática era utilizada. O conceito de Salinidade Absoluta representou um avanço significativo, pois permitiu considerar sistematicamente a influência da variabilidade da composição química da água do mar. A Salinidade Absoluta pode ser estimada a partir da Salinidade Prática, utilizando algoritmos que levam em consideração a latitude, longitude e pressão manométrica. Tais cálculos podem ser realizados com dados obtidos por sensores oceanográficos, como CTD e pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS) (IOC et al, 2010).

No entanto, para este estudo, será adotada a Salinidade Prática, pois os dados analisados foram coletados antes da implementação do TEOS-10.

Existem três motivos principais para a manutenção da coleta de dados de salinidade prática em bases oceanográficas. O primeiro motivo é que a salinidade prática

pode ser obtida diretamente a partir de medições de condutividade, temperatura e pressão, enquanto a Salinidade Absoluta é um valor inferido com base em medições adicionais e correlações ainda em desenvolvimento (Mcdougall e Barker, 2011).

Em segundo lugar, a manutenção da Salinidade Prática garante a integridade das bases de dados oceânicas. Deve-se ter atenção ao se utilizar dados de Salinidade Absoluta para que não ocorra interpretações equivocadas dos dados, como a percepção errônea de um aumento na salinidade oceânica devido à diferença na métrica utilizada (Pawlowicz et al., 2012).

O terceiro motivo está relacionado à influência da composição química da água do mar no cálculo da Salinidade Absoluta. Apesar de estimativas regionais já serem razoavelmente precisas, avanços científicos ainda são necessários para aprimorar a exatidão global dessa métrica.

Pode-se observar nos gráficos da Figura 5, os perfis verticais de salinidade, que fornecem informações gráficas da variação deste parâmetro ao longo da profundidade.

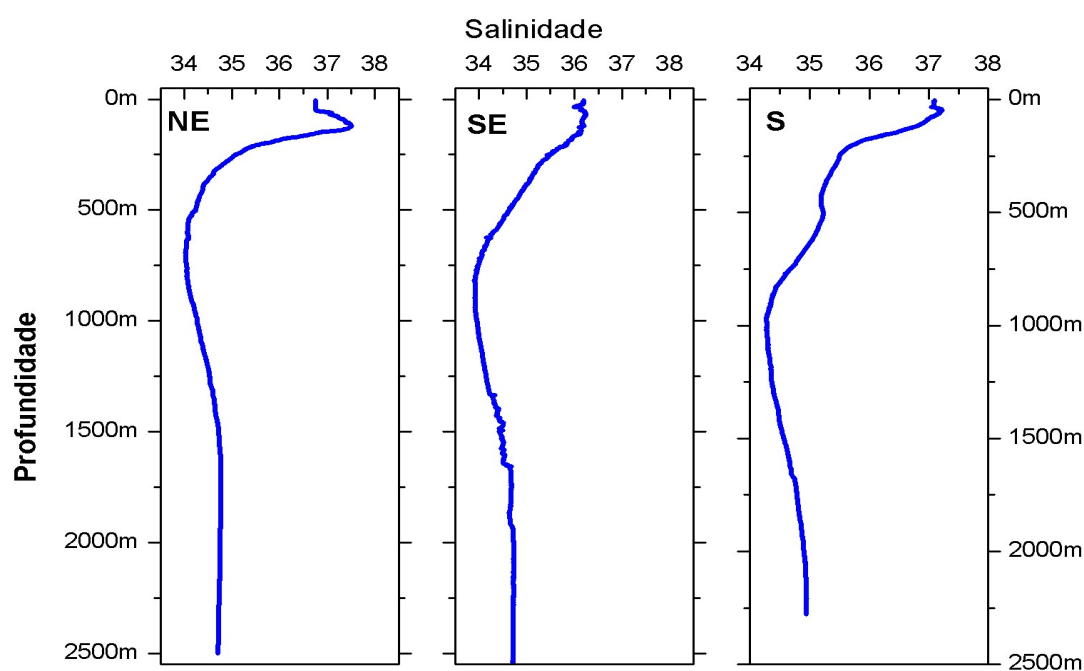


Figura 5 - Perfis verticais de salinidade para as regiões da costa brasileira: NE- Nordeste, SE – Sudeste e S- Sul

Assim como na temperatura, o perfil vertical possui três principais regiões, como mostra a figura 6, sendo a mais superficial denominada camada de mistura, a região de grande variação é a haloclina e região profunda ou abissal. (Talley, Pickard, et al., 2011; Pickard e Emery, 1990).

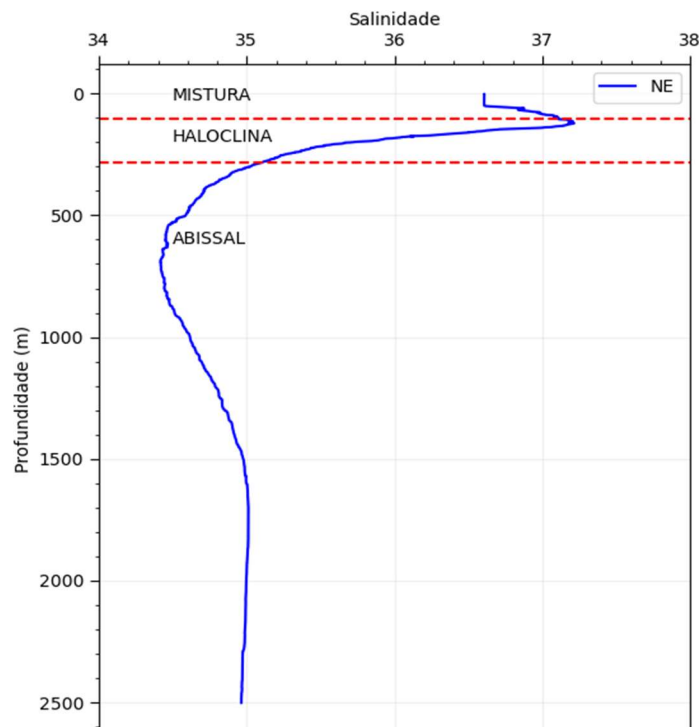


Figura 6 - Perfil vertical típico de Salinidade da Região Nordeste (NE)

3.2.3 Densidade

Densidade, geralmente denotada por ρ , é a quantidade de massa por unidade de volume e é expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3). A densidade de água pura, sem sal, a 0°C , é 1000 kg/m^3 à pressão atmosférica. Na região em estudo, a densidade varia de cerca de 1023 kg/m^3 (na superfície do mar) para cerca de 1040 kg/m^3 (a uma profundidade de 2500m).

O estudo e identificação da densidade da água do mar é importante porque determina a profundidade em que uma parcela de água vai se estabelecer em equilíbrio, tendo o menos denso na parte superior e o mais denso na parte inferior. Essa estratificação pode afetar a circulação oceânica, a formação de correntes e a distribuição de nutrientes e gases na água. A circulação profunda dos oceanos é influenciada pela densidade da água, que depende da temperatura (termo) e da salinidade (halina). Águas

frias e salinas são mais densas e tendem a afundar, iniciando a circulação global das correntes oceânicas profundas (Rahmstorf, 2006). Sendo a circulação por diferença de densidade muito mais lenta quando comparada com a circulação superficial que tem como forçante o vento (Vallis, 2006). Essas correntes têm um papel crucial no transporte de calor dos trópicos para regiões polares, regulando o clima global (Legg, 2021).

Com o intuito de estabelecer uma relação para identificar a profundidade das massas d'água através da correlação com as flutuações de salinidade e temperatura, neste estudo, utilizamos a densidade calculada e fornecida pelo CTD usando a Equação de Estado da água do mar (EOS80):

$$\rho(S, T, P) = \frac{\rho_0(S, T)}{1 - \frac{P}{K(S, T, P)}}$$

onde $\rho_0(S, T)$ é a densidade ao nível do mar (isto é, para $P=0$), $K(S, T, P)$ é o módulo de compressibilidade secante (em bar), que representa o efeito da pressão sobre a densidade.

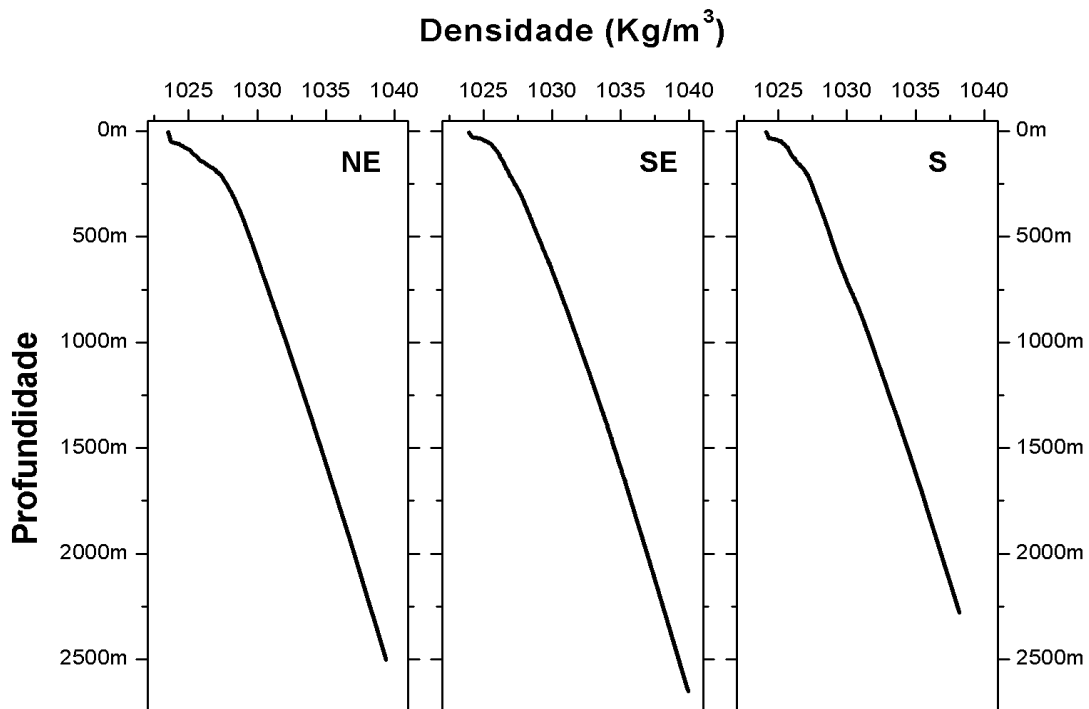


Figura 7 - Perfis verticais de salinidade para as regiões da costa brasileira: NE- Nordeste, SE – Sudeste e S- Sul.

É possível observar que a distribuição da densidade ao longo da profundidade possui uma variação quase linear e é desta premissa que partiremos para este estudo.

3.3 Massas d'água do Atlântico Sul

No âmbito da oceanografia física, as massas d'água são definidas como grandes volumes de água oceânica que apresentam propriedades físicas homogêneas, como temperatura, salinidade e densidade. Essas massas se originam em regiões específicas do oceano, onde processos atmosféricos e oceanográficos, como resfriamento, aquecimento, evaporação e precipitação, atuam para definir suas características termohalinas. Uma vez formadas, as massas d'água são transportadas por correntes oceânicas, seguindo trajetórias bem estabelecidas e influenciando a circulação global dos oceanos. Podemos destacar a presença das seguintes massas d'água no Atlântico Sul:

Água Tropical (AT)

Identificada inicialmente por Emílsson (1961), a Água Tropical (AT) é uma massa de água caracterizada por temperaturas elevadas e alta salinidade, predominante no Atlântico Sul Tropical. Essa massa é transportada para o sul pela Corrente do Brasil, sendo sua formação associada à intensa radiação solar e a um balanço positivo entre evaporação e precipitação, típico das regiões tropicais. À medida que se desloca, a AT interage com águas costeiras mais frias e menos salinas, resultando em temperaturas superiores a 20°C e salinidades acima de 36,2 na região sudeste do Brasil. Além disso, a AT é reconhecida como uma massa de máxima salinidade subsuperficial, associada ao ponto de salinidade máxima em subsuperfície (Mémery, Arhan, *et al.*, 2000).

Água Central do Atlântico Sul (ACAS)

A Água Central do Atlântico Sul apresenta ampla variação de salinidade e temperatura, conforme descrito por Sverdrup, Johnson e Fleming (1942), essa massa é formada pela subducção de águas na Convergência Subtropical, dispersando-se ao longo de superfícies de densidade específicas. Estudos mais recentes, como os de Poole e Tomczak, (1999) destacam a existência de diferentes subtipos de ACAS, influenciados por condições sazonais e processos como o bombeamento de Ekman. A circulação da

ACAS interage ao Giro Subtropical do Atlântico Sul, abrangendo áreas como a Corrente de Benguela e a costa brasileira. Nessa região, a ACAS interage com a Água Central do Índico, modificando suas características (Tomczak e Godfrey, 2003).

Água Intermediária Antártica (AIA)

A Água Intermediária Antártica é uma massa de água caracterizada por baixa salinidade e alta concentração de oxigênio em sua composição (Zemba, 1991). Inicialmente, acreditava-se que sua formação ocorria ao sul da Frente Subantártica (Deacon, 1937), mas estudos posteriores, como os de Talley (1996), indicam que sua origem está associada a áreas específicas do Pacífico e do Atlântico. A AIA circula no Giro Subtropical e tem sido amplamente estudada por pesquisadores como Suga e Taley, 1995 e Bostock, Sutton, *et al.* (2013).

Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)

De acordo com Tomczak e Godfrey (2003), a APAN é uma massa de água densa e fria que se forma nas regiões subpolares do Atlântico Norte, caracterizada por alta salinidade, concentração significativa de oxigênio e baixos níveis de nutrientes, a APAN é subdividida em três camadas: superior, média e inferior. Suas propriedades refletem sua origem nos Mares de Labrador e Irminger. A circulação da APAN está associada à Corrente de Contorno Profunda e a vórtices anticiclônicos perto da margem continental brasileira (Dengler *et al.*, 2004).

3.3.1 Identificação das massas d'água

Para distinguir as massas d'água do oceano Atlântico Sul podemos utilizar as faixas de densidade, temperatura e salinidade que são a assinatura de cada massa de água em decorrência da sua formação.

A identificação de níveis isopícnais, utilizando as densidades potenciais, que especificam os limites entre massas adjacentes é desafiadora e varia entre autores (Silveira, 2007), como podemos verificar na tabela 1.

Tabela 1 - Valores das interfaces isopícnais entre as massas d'água do Oceano Atlântico Sul em valores de densidade potencial (σ_θ). Adaptado de Silveira (2007)

	interface de massas d'água (kg/m ³)		
Referência	AT-ACAS	ACAS-AIA	AIA-APAN
Mamayev-1975	25,70	26,80	-
Miranda-1985	25,72	26,81	-
Stramma & England (1999)	25,70	27,10	27,53
Lima (1997)	25,70	27,16	27,61
Mémery et al. (2000)	25,60	26,90	27,53
Rodrigues et al. (2007)	24,50	26,80	27,53

Outro ponto que não possui unanimidade entre autores é a definição dos limites de temperatura e salinidade. Isto evidencia ainda mais a necessidade de termos uma metodologia que nos ofereça maior acurácia em nossas análises. Na tabela 2 constam os valores das faixas e seus autores como referência.

Tabela 2 – Valores de temperatura (°C) e salinidade (g/kg) característicos das massas d'água dos oceanos

Temperatura (°C)	Salinidade (g/kg)	Fonte
AT		
> 20,00	> 36,17	Emilsson (1961)
> 20,00	> 36,37	Silveira (2007)
> 18,00	> 36,17	Silva et al. (2005)
20 - 27	-	Stramma & Schott (1999)
ACAS		
5, 00 - 20,00	34,46 - 36,17	Stramma & England (1999)
8,72 - 20,00	34,82 - 36,37	Silveira (2007)
6,00 - 20,00	34,76 - 36,17	Silveira (2000)
10,00 - 20,00	35,16 - 36,17	Emilsson (1961)
-	34,81 - 36,17	Sverdrup et al. (1942)
5,95 - 18,35	34,68 - 36,57	Silva et al. (2005)
AIA		
3,46 - 8,72	34,58 - 34,82	Silveira (2007)
3,00 - 7,00	< 34,81	Sverdrup et al. (1942)
4,92 - 5,90	34,64 - 34,94	Silva et al. (2005)
APAN		
3,00 - 4,00	34,76 - 35,16	Silveira (2000)
2,04 - 3,31	34,75 - 35,03	Silveira (2007)

Tabela 3 - tabela reflete as principais características em função da profundidade dessas massas d'água no Atlântico Sul de acordo com Stramma & England (1999).

Massa de Água	Profundidade (m)	Características
Água Tropical (AT)	0-200	Quente e de baixa salinidade
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	200-800	Temperatura moderada, salinidade entre 34.5-35.8
Água Intermediária Antártica (AIA)	800-1500	Fria, salinidade baixa (~34.3), forma-se no sul
Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)	2000-4000	Fria, alta salinidade (~34.9), originada no Atlântico Norte
Água Circumpolar Antártica	Fundo (~>4000)	Muito fria e densa, influencia vinda da Antártica

O diagrama de Temperatura-Salinidade (T-S) é uma ferramenta amplamente utilizada na oceanografia para a análise de massas d'água, onde a classificação ocorre de acordo com suas propriedades termohalinas. No diagrama T-S, a identificação das massas d'água é feita a partir da análise visual e quantitativa da distribuição dos pontos medidos, representados graficamente pela temperatura e salinidade. Após a plotagem dos dados no gráfico, realiza-se uma correlação desses pontos com faixas previamente definidas de temperatura e salinidade para cada massa d'água.

As massas d'água adquirem suas características termohalinas na superfície, em resposta às condições climáticas locais, como radiação solar, evaporação e precipitação. Quando essas massas afundam, elas deixam de trocar calor com a atmosfera, porém devido as suas propriedades conservativas preservam suas propriedades originais. Dessa forma, é possível identificar massas d'água por meio de suas assinaturas únicas de temperatura e salinidade (Talley, Pickard, *et al.*, 2011).

Embora o diagrama T-S permita localizar aproximadamente o núcleo de uma massa d'água (Li, Zhang e Lee, 2004), as fronteiras entre massas adjacentes são frequentemente mal definidas, refletindo a ocorrência de misturas entre diferentes tipos de massas d'água (Sverdrup, Johnson e Fleming, 1942).

Além de sua aplicação na identificação de massas d'água, o diagrama T-S também é útil para detectar erros em medições de temperatura e salinidade. Pontos que se desviam significativamente da curva característica de uma região podem indicar problemas na coleta ou processamento dos dados, sendo considerados suspeitos e exigindo revisão.

Para cada uma das regiões estudadas (NE, SE e S) foram gerados os diagramas T-S correspondentes, com a finalidade de realizar a classificação inicial e depois validar

com os perfis verticais do método proposto neste trabalho, onde faremos uma identificação através de perfis verticais contendo a caracterização de temperatura e salinidade por meio de seus contrastes e em função da densidade.

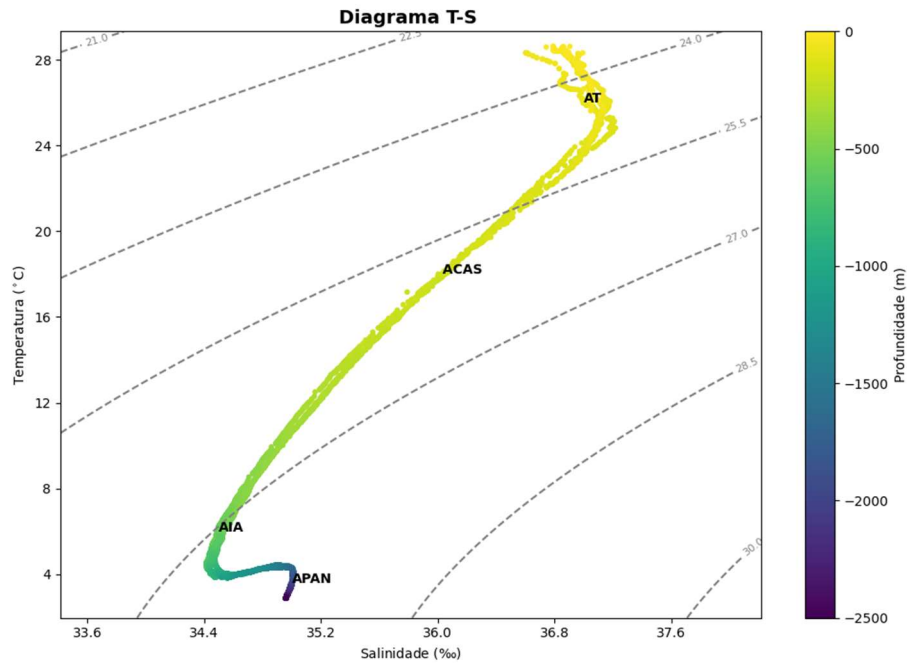


Figura 8- Diagrama T-S dos pares de valores (temperatura, salinidade) amostrados na região Nordeste. As linhas tracejadas são as isopícnas (comissão realizada em fevereiro de 2006).

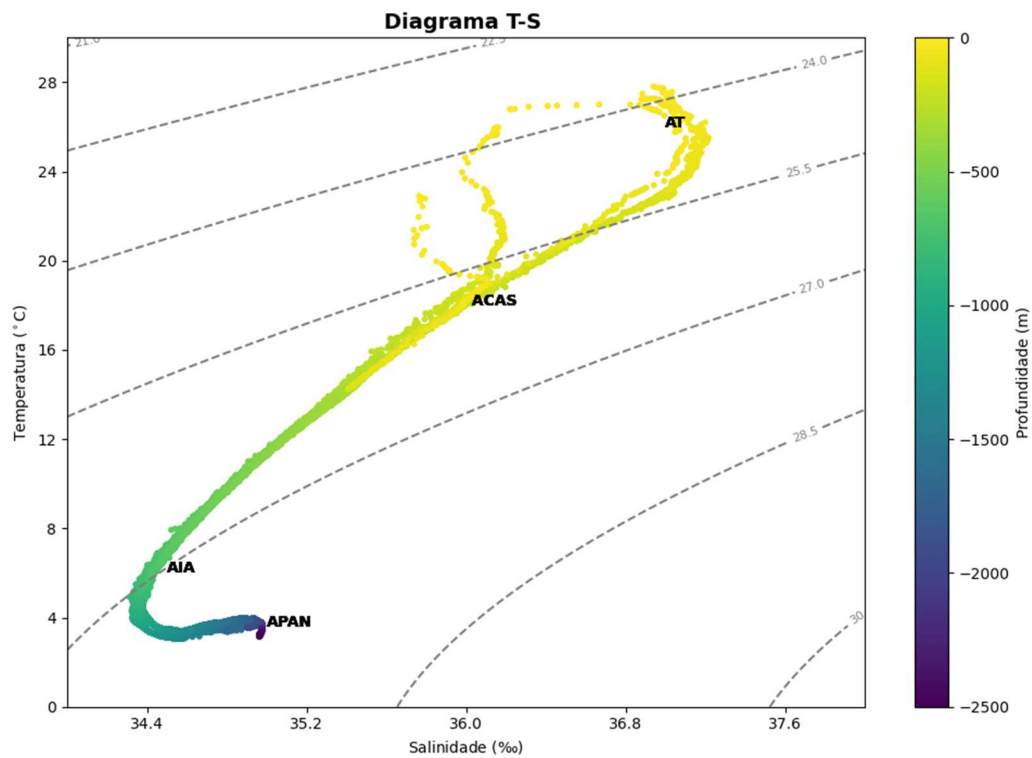


Figura 9 - Diagrama T-S dos pares de valores (temperatura, salinidade) amostrados na região Sudeste. As linhas tracejadas são as isopícnais (comissão realizada em março de 2002).

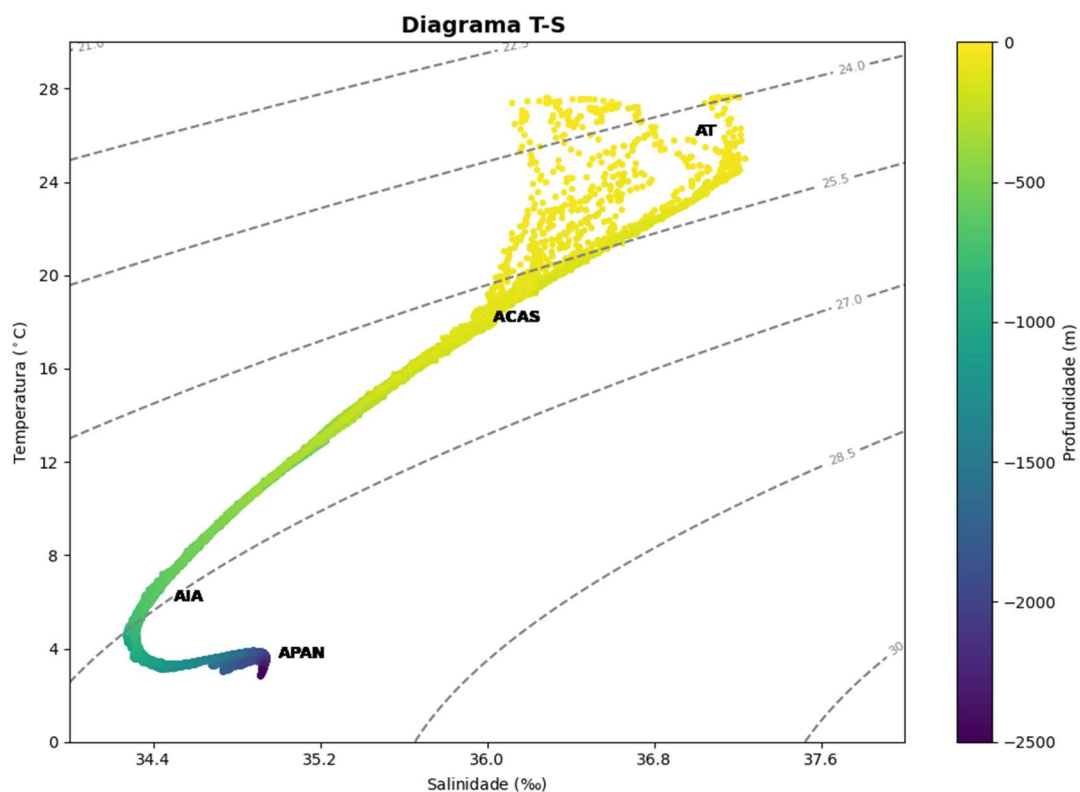


Figura 10 - Diagrama T-S dos pares de valores (temperatura, salinidade) amostrados na região Sul. As linhas tracejadas são as isopícnais (comissão realizada em março de 2002).

4 Material e métodos

A costa brasileira, de fato, possui um extenso e qualificado banco de dados oceanográficos, o Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), que foi aprovado pelo Decreto de 5 de janeiro de 1994 e reconhecido como um Centro Depositário da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI). Esse banco de dados permite uma caracterização detalhada do ambiente marinho, fornecendo informações valiosas sobre temperatura, salinidade, correntes, entre outros parâmetros oceanográficos.

No entanto, a existência desse banco de dados não elimina a necessidade de desenvolver modelos regionais de perfis oceanográficos.

Nesta seção, são descritos os procedimentos, ferramentas e métodos utilizados para a coleta, desenvolvimento da metodologia de estudo e subsequente análise dos dados.

4.1 Caracterização e descrição dos dados utilizados no estudo

Os dados empregados neste estudo foram obtidos por meio do perfilador CTD – sigla derivada do inglês *Conductivity, Temperature, and Depth* (condutividade, temperatura e profundidade) – modelo SBE 9, fabricado pela Sea-Bird Scientific (vide Figura 11). Esse instrumento oceanográfico é equipado com sensores que registram, de maneira contínua, os parâmetros essenciais da coluna d'água, a saber: condutividade, temperatura e pressão. As medições de condutividade e pressão são posteriormente convertidas em salinidade e profundidade, respectivamente, sendo que a salinidade registrada corresponde à salinidade prática.



Figura 11 – Imagem ilustrativa de um CTD Sea Bird -9 – Fonte: <https://www.seabird.com/sbe-911plus-ctd>. Acesso em: 03 mar 2023.

A localização das coletas de dados realizados pelas comissões oceanográficas da Marinha do Brasil, encontram-se discriminados na Tabela 4 e ilustrados na Figura 12.

Tabela 4 - Localização da coleta dos dados

Região	Localização (Lat e Long)
Nordeste	09 12.71 s, 034 00.13 w
Sudeste	26 53.28 s, 040 57.99 w
Sul	29 57.15 s, 046 21.89 w

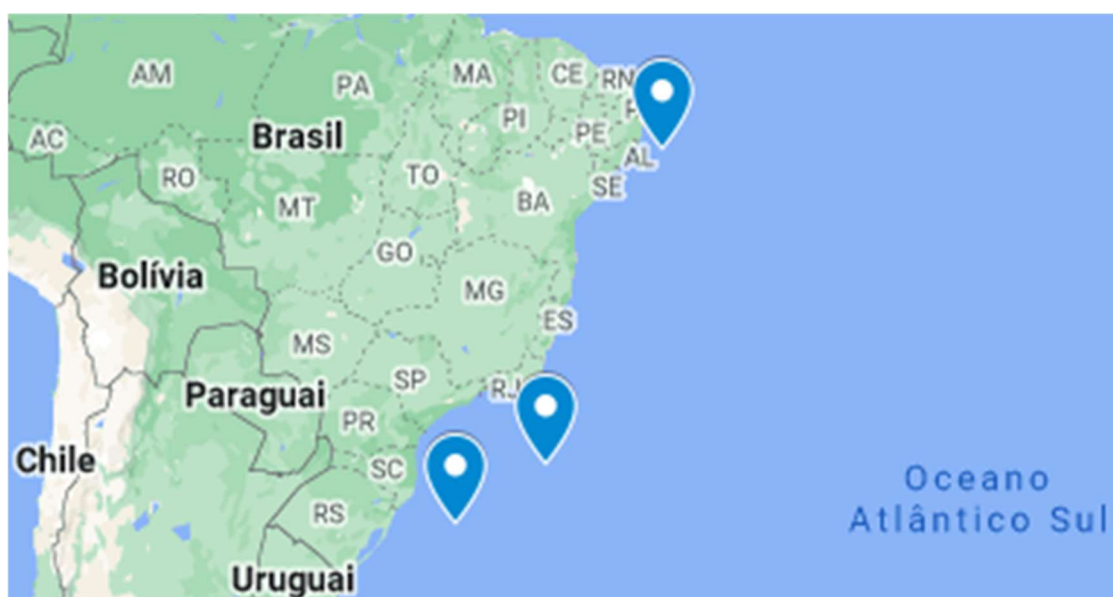


Figura 12 - Imagem representativa dos locais em que foram realizadas as coletas de dados.

Complementarmente, a Tabela 5 apresenta informações sobre os cruzeiros oceanográficos responsáveis pela coleta dos dados, incluindo o nome do navio, o período de execução e a respectiva comissão oceanográfica envolvida em cada expedição.

Tabela 5 - Informações sobre os cruzeiros oceanográficos para coleta de dados

NAVIO	Período	Comissão Oceanográfica
Antares	1 a 10 de Março de 2002	OCEANO NORDESTE I
Antares	31 de janeiro a 12 de fevereiro 2006	Oceano SE IV
Antares	10 a 20 de Março de 2003	OCEANO Sul 2

4.2 Análise dos dados

Este estudo da estratificação oceânica tem como ponto de partida a aplicação de princípios fundamentais da física, tais como as leis da termodinâmica e o equilíbrio hidrostático. As leis da termodinâmica explicam como a energia térmica é transferida e

transformada dentro da coluna de água, resultando em gradientes térmicos e estratificação vertical de calor, enquanto o equilíbrio hidrostático descreve a variação da pressão em função da profundidade, considerando o peso do fluido sobrejacente (Gill, 1982).

Na coluna de água oceânica, a pressão varia linearmente com a profundidade, independentemente das variações regionais ou sazonais. (Stewart, 2008). A densidade, por outro lado, apresenta padrões distintos ao longo da coluna vertical. Conforme demonstrado por Talley et al. (2011), enquanto nas camadas profundas (acima de 1000m) a densidade varia de forma linear. A camada de mistura é particularmente dinâmica, apresentando variações não lineares de densidade devido à intensa interação com processos atmosféricos.

Em outras palavras, como destacam Tomczak e Godfrey (2003), a camada de mistura funciona como uma interface crítica entre o oceano e a atmosfera, respondendo ativamente a diversos forçamentos externos. A figura 13 apresenta os perfis típicos de pressão e densidade em função da profundidade, possibilitando a visualização do comportamento destes parâmetros em profundidade.

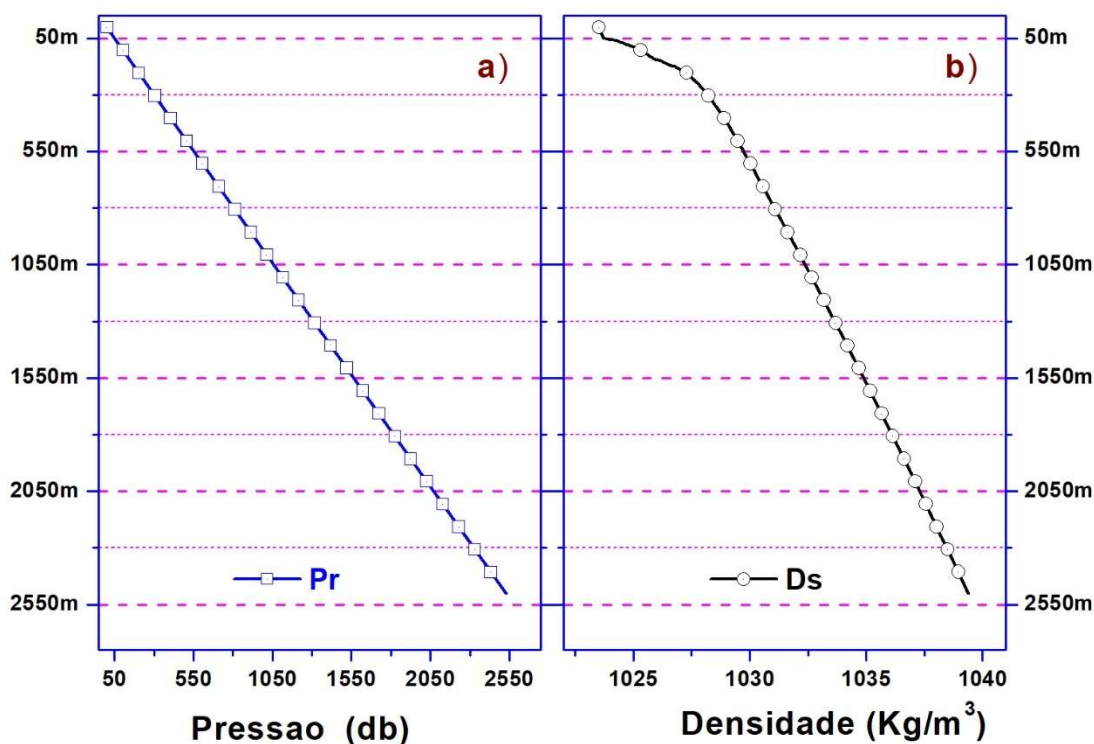


Figura 13 – Gráficos comparativos ilustrando os perfis típicos de pressão e densidade em função da profundidade

A densidade tem papel preponderante na flutuabilidade dos corpos e consequentemente interfere no posicionamento vertical das massas d'água no oceano, sendo um aspecto crítico na dinâmica oceânica. (Talley et al., 2011)

Conforme demonstrado por Talley et al. (2011), a distribuição vertical das massas d'água segue o princípio de Arquimedes, onde massas menos densas ocupam posições superficiais, enquanto águas mais densas tendem a se estabelecer em profundidades maiores.

Com base nessa premissa, olhemos inicialmente para a distribuição da pressão em função da profundidade e em seguida em função da densidade. Acrescentemos a essa análise a derivada das funções, respectivamente e obtivemos os gráficos da figura 14. Fica claro que, exceto pela camada de mistura, apresenta vantagens significativas em relação à abordagem por profundidade, para estudos comparativos entre diferentes regiões oceânicas. Como demonstrado por Emery e Meincke (1986), massas d'água formadas em condições similares, mas em locais distintos, podem ocupar profundidades diferentes enquanto mantêm características densimétricas semelhantes, facilitando sua identificação e rastreamento em escala global.

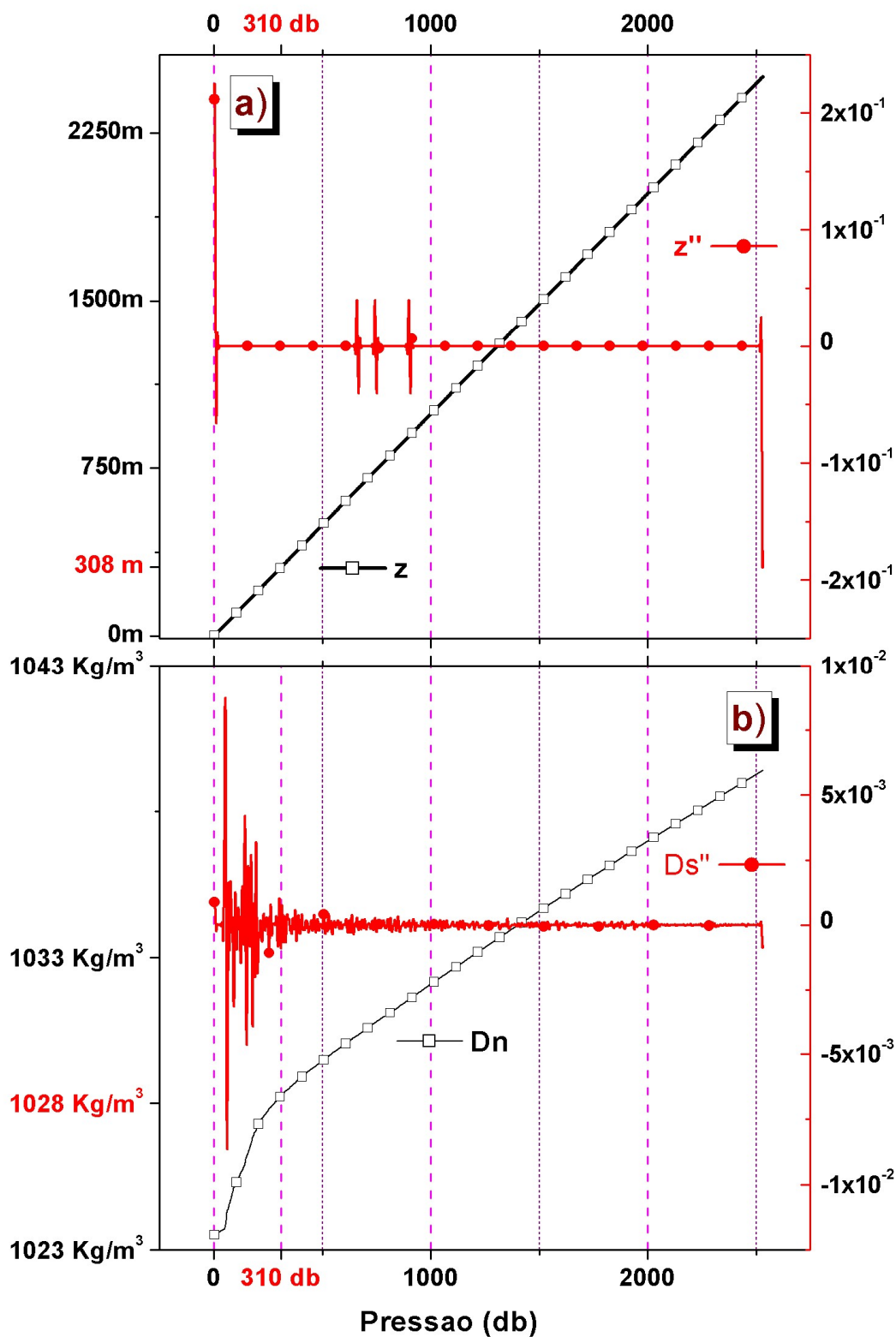


Figura 14 – a) gráfico pressão em função da profundidade e sua derivada. b) gráfico da densidade em função da profundidade e sua derivada. Foi destacado em vermelho a pressão de 310 db, pois foi no intervalo que observamos maior perturbação, indicando ser a camada de mistura, onde ocorrem as interações oceano-atmosfera.

4.3 Tratamento dos dados

Normalizar os dados é um passo importante no pré-processamento envolvendo múltiplas variáveis garantindo que variáveis com diferentes escalas não distorçam os resultados das análises, desta forma esperamos ser possível remover a influência de diferentes unidades de medida e assegurar que parâmetros, mesmo que originalmente em escalas distintas, possam ter papel relevante na análise. Neste sentido, começamos aqui a definir a densidade normalizada como sendo a seguinte razão:

$$\tilde{\rho} \equiv \frac{\rho}{\rho_0} \quad (\text{Eq.1})$$

onde para cada perfilagem o símbolo ρ_0 é o valor da densidade mais próximo possível da superfície do mar, de modo que fica assim implícito a influência da latitude. Por outro lado, tanto no caso do perfil de temperatura e salinidade (veja Figura 15 abaixo), definiremos respectivamente os contrastes ΔT e ΔS pelas seguintes expressões:

$$\Delta T \equiv \frac{T - T_{\min}}{T_{\max}} \quad (\text{Eq.2})$$

e

$$\Delta S \equiv \frac{S - S_{\min}}{S_{\max}} \quad (\text{Eq.3})$$

Com intuito de caracterizar faixas, regiões e fronteiras onde ocorrem variações abruptas (ou não) de temperatura e salinidade, e simultaneamente associar isto à fluatibilidade de “aglomerados de partículas”, calculamos as funções K_T e K_S , que são respectivamente as curvaturas dos contrastes ΔT e ΔS à medida que $\tilde{\rho}$ varia, a saber:

$$K_J(\tilde{\rho}) \equiv A_J \left| \frac{d^2 \Delta J}{d\tilde{\rho}^2} \right| \left[\sqrt{1 + \left(\frac{d\Delta J}{d\tilde{\rho}} \right)^2} \right]^{-1}; J = T, S \quad (\text{Eq.4})$$

Onde $d^n \Delta J / d\tilde{\rho}^n$ é a n-ésima derivada do contraste ΔJ em relação à $\tilde{\rho}$, e A_J é uma constante de normalização tal que a área sob a curva $K_J(\tilde{\rho})$ tenha o valor da unidade. Para calcular numericamente as derivadas envolvidas na obtenção das curvaturas K_J , fizemos uso do filtro de Savitzky-Golay (Savitzky e Golay, 1964), este algoritmo é amplamente utilizado para suavizar ruídos em dados experimentais e séries temporais (Press, 2007). Este método baseia-se no ajuste local de polinômios aos dados por meio de regressão, o que permite a preservação das características principais da curva, como picos, vales e tendências gerais, ao mesmo tempo que reduz flutuações atribuídas ao ruído.

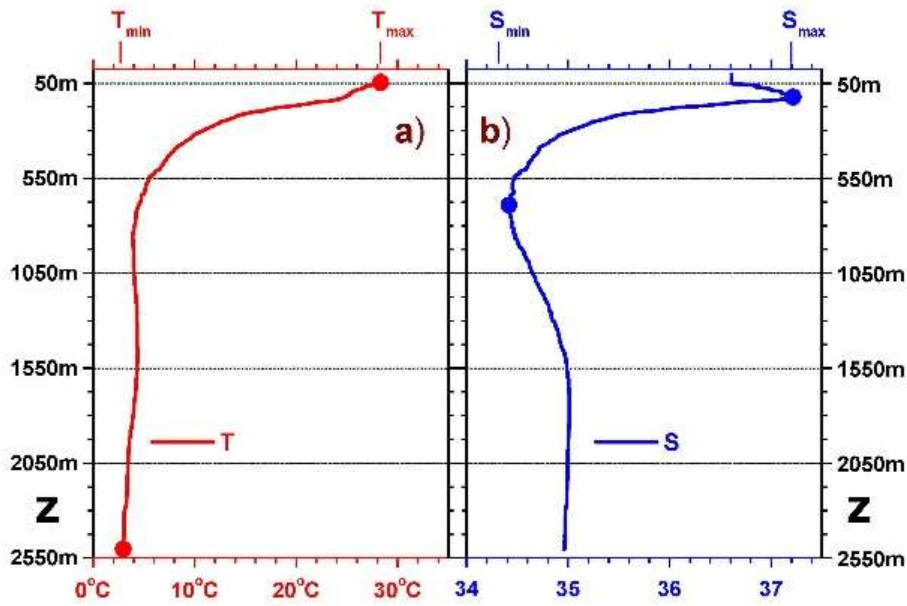


Figura 15 - Mostra em a) o Perfil vertical de temperatura identificando as temperaturas mínima $T_{\min}$ e máxima $T_{\max}$. Analogamente no painel b) tem-se respectivamente no Perfil vertical de salinidade os Pontos de salinidades mínima $S_{\min}$ e máxima $S_{\max}$.

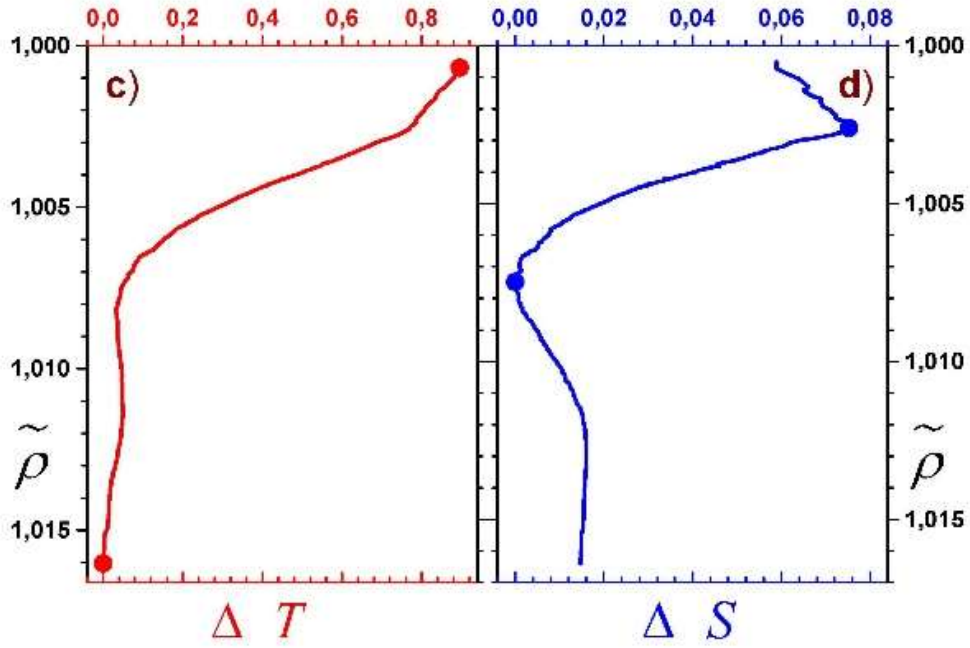


Figura 16 - Enquanto em c) e d) mostra-se respectivamente o comportamento dos contrastes ΔT e ΔS à medida que a densidade normalizada $\tilde{\rho}$ varia. Região NE.

Além disso, ao contrário de outros métodos de suavização o filtro de Savitzky-Golay (SG) mantém a integridade das propriedades de alta ordem do sinal, como inclinação e curvatura (Press, 2007), tornando-o particularmente adequado para análises que envolvem derivadas superiores ou curvaturas, como no caso deste estudo.

Por outro lado como mostra os painéis c) e d) da Figura 16, variações na terceira casa decimal de $\tilde{\rho}$ provocam grandes variações nos contrastes ΔJ e isto pode alterar sensivelmente os valores das curvaturas K_J , portanto cabe novamente salientar que do ponto de vista numérico, a utilização deste filtro para o cálculo das curvaturas é crucial, pois minimiza a influência de ruídos que poderiam distorcer os resultados, especialmente em dados sensíveis com variações pequenas como os aqui estudados.

Assim, como veremos mais à frente, será possível preservar detalhes essenciais, como a localização e amplitude de picos e a identificação de tendências significativas nos dados. Isto pode ser melhor visto na Figura 17, com os dados de CTD relativos à ZEE do NE brasileiro, calculamos primeiramente K_S usando a suavização SG (descritos pelos símbolos $\bigcirc$), onde já se evidencia uma estrutura de singularidades que delimitam regiões de comportamento mais suave e contínuo. Para realçar tais comportamentos de K_S de modo mais claro (veja curva de linha cheia na Figura 17), optamos por ajustar os próprios

dados de suavização SG por perfis (“filtros”) com forma de curvas Lorentzianas LK_J (PRESS, 2007), mais especificamente para dados da curvatura K_J ($J=T;S$) que apresentem N_P -picos centrados em $\tilde{\rho} = \tilde{\rho}_{J;n}$ com amplitudes $B_{J;n}$ e largura $w_{J;n}$, tem-se a seguinte conjectura de ajuste por mínimos quadrados para K_J :

$$K_J(\tilde{\rho}) \approx K_{J;0} + LK_J(\tilde{\rho}) \quad (\text{Eq.5})$$

Onde $K_{J;0}$ é uma constante (“offset”) que ajusta os dados em relação à uma dada origem, enquanto que LK_J é a superposição de N_P -Lorentzianas $\ell_{J;n}$, onde:

$$\ell_{J;n}(\tilde{\rho}) \equiv \frac{2}{\pi} \frac{B_{J;n} w_{J;n}}{4(\tilde{\rho} - \tilde{\rho}_{J;n})^2 + w_{J;n}^2}; \quad 1 \leq n \leq N_P \quad (\text{Eq.6})$$

tal que LK_J é dada pela seguinte soma:

$$LK_J(\tilde{\rho}) \equiv \sum_{n=1}^{N_P} \ell_{J;n}(\tilde{\rho}) ; J=T, S \quad (\text{Eq.7})$$

Observa-se da Eq.(7) que uma dada Lorentziana $\ell_{J;n}$ alcança seu valor de pico máximo em $\tilde{\rho} = \tilde{\rho}_{J;n}$, isto é:

$$\ell_{J;n}^{\max} \equiv \ell_{J;n}(\tilde{\rho}_{J;n}) = \frac{2B_{J;n}}{\pi w_{J;n}} \quad (\text{Eq.8})$$

Onde vemos quanto menor for o valor da largura $w_{J;n}$, mais alto será este valor máximo. Além disso, vemos que para os valores de densidade normalizada $\tilde{\rho}_{\pm} \equiv \tilde{\rho}_{J;n} \pm w_{J;n}/2$, a Lorentziana atinge a metade de seu valor máximo, isto é, $\ell_{J;n}(\tilde{\rho}_{\pm}) = \ell_{J;n}^{\max}/2$.

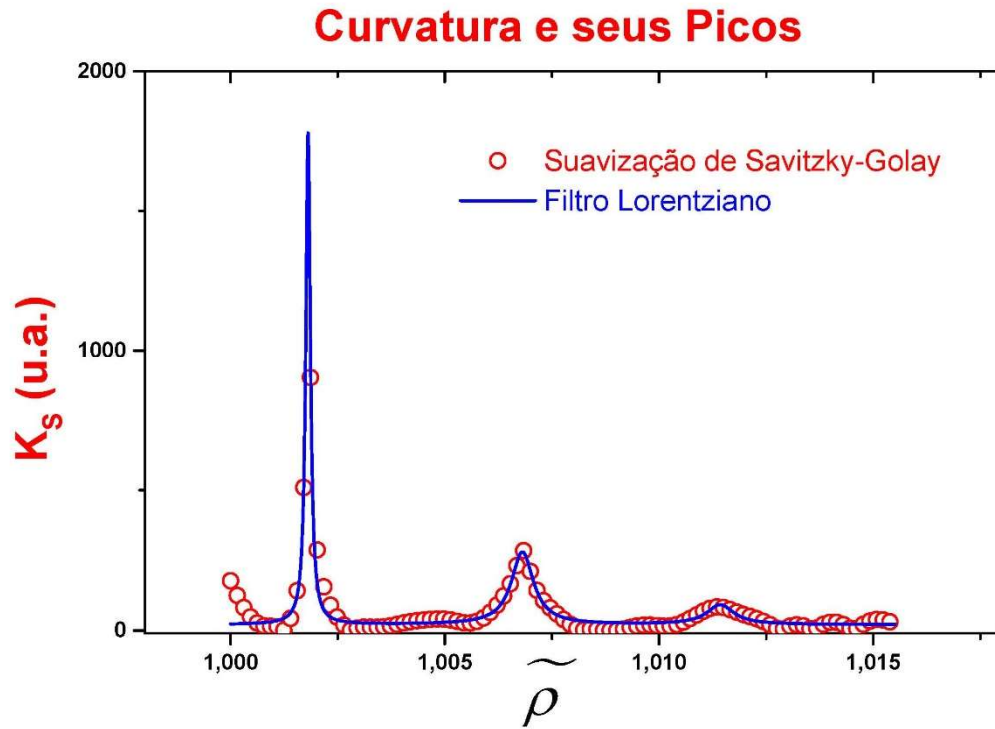


Figura 17 - Aqui os símbolos associados a círculos "○" representam o cálculo numérico da curvatura K_s utilizando o algoritmo SG, onde nota-se uma estrutura bem definida de singularidades. Por outro lado, tais singularidades ou picos são melhor caracterizados (linha cheia no gráfico) por um ajuste de curvas tipo Lorentziana dos dados SG (veja Eq.7, no texto)

Também é interessante notar que essa estrutura de picos nos perfis de curvatura pode evidenciar a estratificação salina ao longo da profundidade. Isto pode ser melhor visto na Figura 18, onde correlacionamos o perfil vertical salino com o mapeamento da Eq.7 (Lorentz) em profundidade. Tal procedimento permite observar que cada pico se centraliza respectivamente nas transições entre as camadas de mistura, haloclina e abissal.

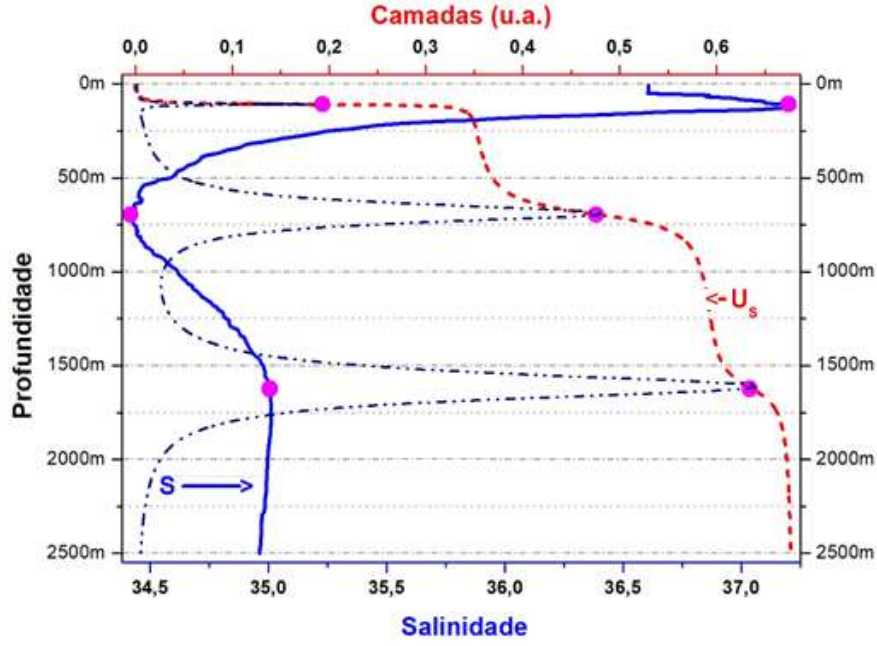


Figura 18 - Mostra para os dados da ZEE NE que os picos "Lorentzianos" da curvatura K_S são centrados nas transições entre as camadas de mistura, haloclina e abissal, além disso suas "larguras" delimitam essas fronteiras.

Cabe aqui salientar que o ajuste Lorentziano LK_J das curvaturas K_J também permite dar uma interpretação gráfica complementar das regiões de variações abruptas (ou não), tanto da salinidade S quanto da temperatura T . Isto pode ser feito analisando o comportamento (em zero "offset") da área Υ_J sob a curva K_J à medida que $\tilde{\rho}$ varia, mais especificamente temos que calcular as seguintes integrais:

$$\begin{aligned}
 \Upsilon_J(\tilde{\rho}) &\equiv \int_1^{\tilde{\rho}} d\eta [K_J(\eta) - K_{J,0}] \\
 &\approx \int_1^{\tilde{\rho}} d\eta LK_J(\eta) \\
 &= \sum_{n=1}^{N_p} \Theta_{J;n}(\tilde{\rho}); J = T, S
 \end{aligned}
 \tag{Eq.9}$$

com a função $\Theta_{J;n}$ dada por:

$$\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}) \equiv \frac{1}{\pi} B_{J;n} \left[\arctan \left(2 \frac{\tilde{\rho} - \tilde{\rho}_{J;n}}{w_{J;n}} \right) + \arctan \left(2 \frac{\tilde{\rho}_{J;n} - 1}{w_{J;n}} \right) \right]; 1 \leq n \leq N_p \quad (\text{Eq.10})$$

Observamos da Eq(Eq.10) acima que a naqueles pontos onde a Lorentziana alcança seus máximos, a função $\Theta_{J;n}$ se situa em uma região de transição entre seus patamares, isto é:

$$\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_{J;n}) = \frac{1}{\pi} B_{J;n} \arctan \left(2 \frac{\tilde{\rho}_{J;n} - 1}{w_{J;n}} \right); 1 \leq n \leq N_p \quad (\text{Eq.11})$$

Isto pode ser melhor interpretado, notando-se que os patamares superiores e inferiores de $\Theta_{J;n}$ são obtidos pelos seguintes limites assintóticos,

$$\lim_{\tilde{\rho} \rightarrow \pm\infty} \Theta_{J;n}(\tilde{\rho}) = \frac{1}{\pi} B_{J;n} \left[\arctan \left(2 \frac{\tilde{\rho}_{J;n} - 1}{w_{J;n}} \right) \pm \frac{\pi}{2} \right] \quad (\text{Eq.12})$$

Portanto segue das Equações (Eq.11 e Eq.12) que o valor de $\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_{J;n})$ pode também ser interpretado como o ponto médio das assíntotas de $\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_{J;n})$. Por outro lado, os valores de densidade normalizada $\tilde{\rho}_{\pm} \equiv \tilde{\rho}_{J;n} \pm w_{J;n}/2$ associados à “meia altura” das Lorentzianas, correspondem agora também as regiões transição em $\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_{J;n})$, uma vez que:

$$\lim_{\tilde{\rho} \rightarrow \tilde{\rho}_{\pm}} \Theta_{J;n}(\tilde{\rho}) = \frac{1}{\pi} B_{J;n} \left[\arctan \left(2 \frac{\tilde{\rho}_{J;n} - 1}{w_{J;n}} \right) \pm \frac{\pi}{4} \right] \quad (\text{Eq.13})$$

Novamente, devido a simetria das funções Lorentzianas ($\ell_{J;n}(\tilde{\rho})$) e suas integrais ($\Theta_{J;n}(\tilde{\rho})$) olhando agora para as Eqs(Eq.11 e Eq.13), podemos também reinterpretar o valor de $\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_{J;n})$, como sendo o seguinte valor médio,

$$\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_{J;n}) = \frac{\Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_+) + \Theta_{J;n}(\tilde{\rho}_-)}{2} \quad (\text{Eq.14})$$

Onde supomos que o ajuste Lorentziano LK_J descreve bem os dados SG, em outras palavras, estamos aqui admitindo que a aproximação $K_J \approx LK_J$ é válida. Na Figura 19, mostramos mais claramente esses resultados.

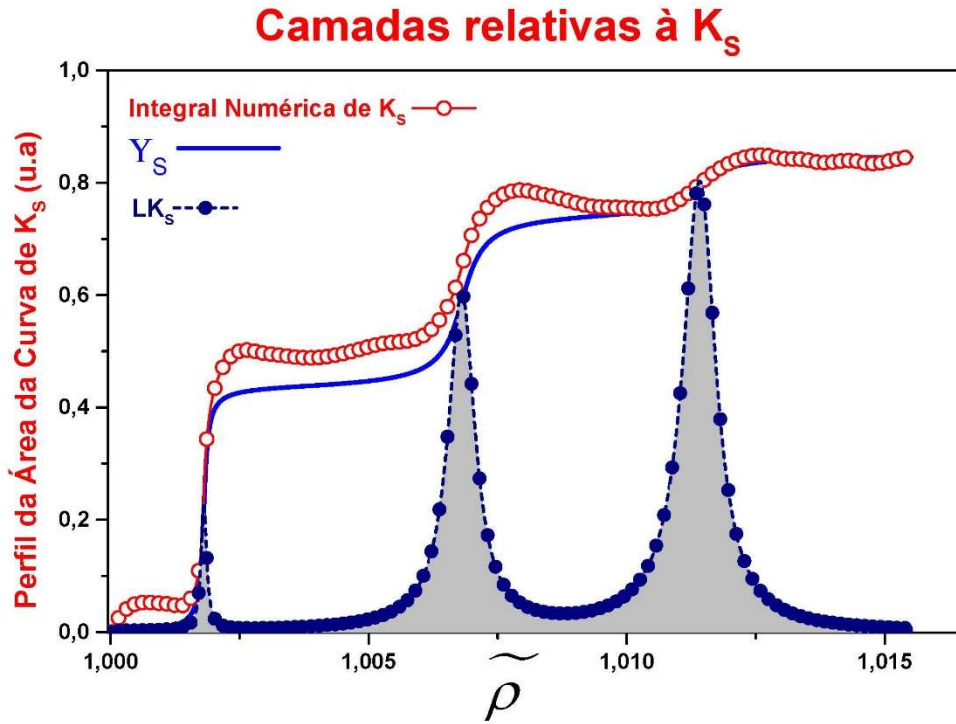


Figura 19 - Aqui os símbolos associados a círculos "o" representam o cálculo numérico da curvatura K_S utilizando o algoritmo SG, onde nota-se uma estrutura bem definida de singularidades. Por outro lado, tais singularidades ou picos são melhor caracterizados (linha cheia no gráfico) por um ajuste de curvas tipo Lorentziana dos dados SG (veja Eq.7, no texto).

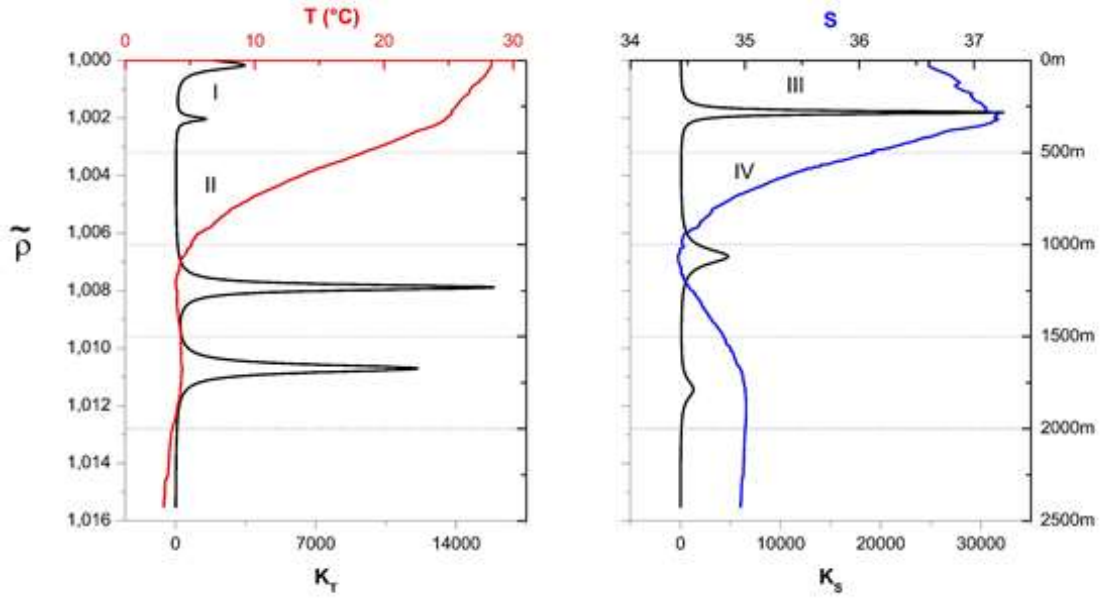


Figura 20 – nos gráficos acima podemos verificar que os picos das Lorentzianas correspondem as mudanças críticas nos perfis verticais de temperatura e salinidade. É possível observar as mudanças bruscas de temperatura (quadro da esquerda) e salinidade (quadro da direita). Classificando as áreas da estratificação I) camada de mistura, II) Termoclina, no gráfico salino III) camada de mistura e IV) Haloclina.

Por outro lado, na tentativa de caracterização de uma dada massa de água, correlacionamos os picos de temperatura e salinidade, adotando o seguinte critério:

$$\Upsilon_{ST}(\tilde{\rho}) \equiv \int_1^{\tilde{\rho}} d\eta K_{ST}(\eta) \quad (\text{Eq.15})$$

Onde para cada valor da densidade normalizada $\tilde{\rho}$, bem como com intuito de ressaltar contraste de valores extremos em Lorentzianas “estreitas”, definimos a correlação K_{ST} entre as curvaturas K_S e K_T como:

$$K_{ST}(\tilde{\rho}) \equiv |K_S(\tilde{\rho}) - K_T(\tilde{\rho})| \quad (\text{Eq.16})$$

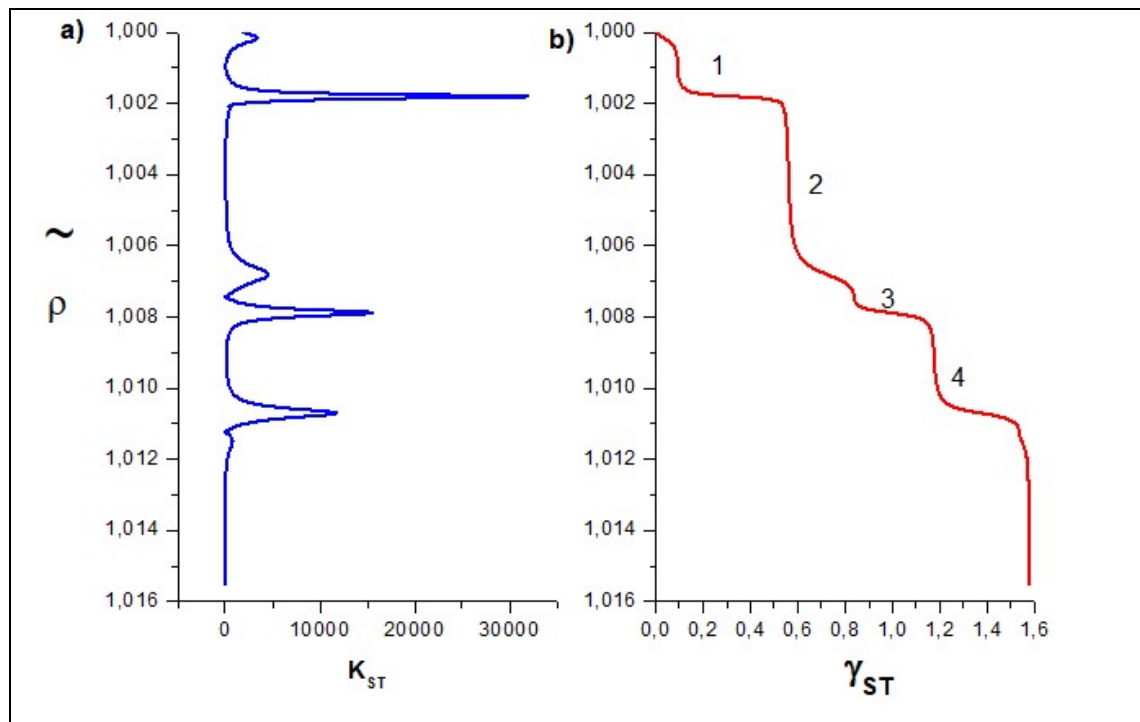


Figura 21 – Em a) temos a ilustração da correlação entre as curvaturas KS e KT e em b) a integral dessa função onde podemos identificar patamares numerados de 1 a 4.

As informações provenientes dos picos identificados em função da densidade normalizada foram compiladas na tabela 6 e assim foi possível fazer uma análise inversa e consequentemente sua classificação. Tais densidades normalizadas, correspondem a densidades potenciais e utilizando a tabela 1 pode-se classificar as massas d'água.

Tabela 6- Tabela com os dados utilizados para classificação das massas da água região NE.

Picos	Profundidade (m)	($\tilde{\rho}$)	Densidade potencial σ_θ (kg/m ³)	interface da Massa de água
K1	31	1,00012	23,5049	Camada de mistura -AT
K2	295	1,00181	26,8292	AT - ACAS
K3	1097	1,00678	27,5435	ACAS - AIA
K4	1270	1,00785	27,6343	AIA -APAN
K5	1727	1,0107	27,8057	APAN

Por fim, para tornar a informação mais próxima do usual, aplicaremos na figura 22, a estratificação em função da profundidade.

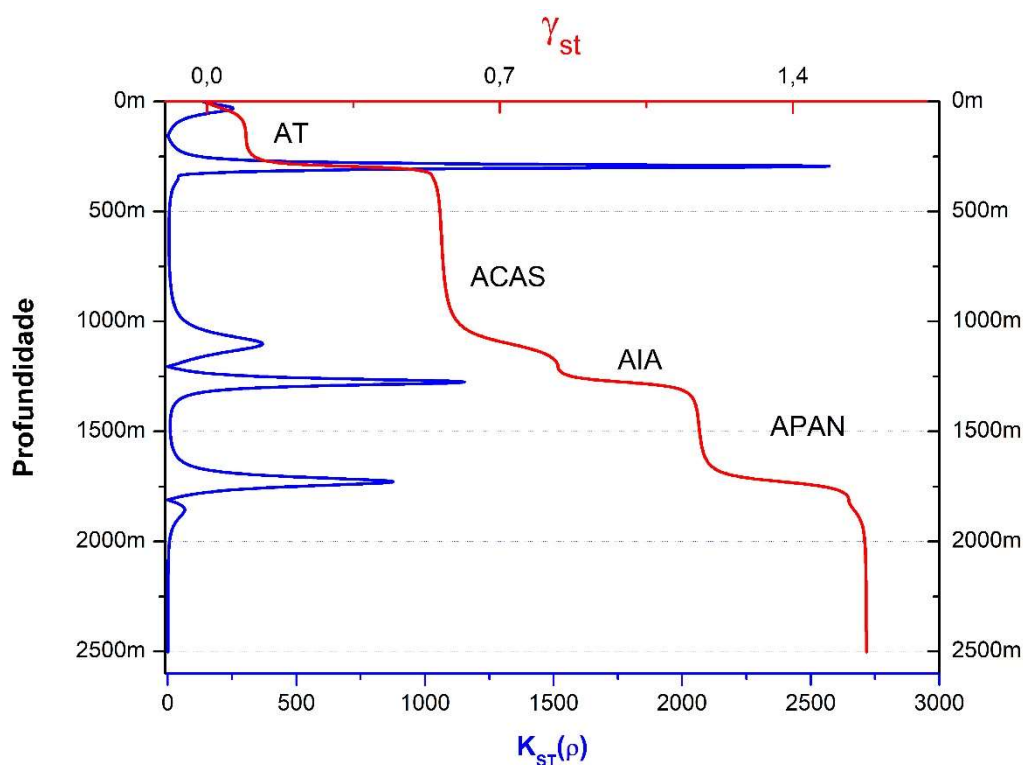


Figura 22 - identificação das massas d'água características do Atlântico Sul na região NE: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) Região NE.

A partir daqui, além de águas do Nordeste Brasileiro estudadas acima, estenderemos a aplicação desta metodologia baseada na análise de curvatura de contrastes de salinidade e temperatura a outras regiões da ZEE brasileira como no Sudeste (SE, 26 53.28 s, 040 57.99 w) e Sul (S, 29 57.15 s, 046 21.89 w). Sendo assim, nos subitens a seguir apresentaremos os resultados obtidos pela metodologia acima descrita.

4.3.1 Região Sudeste

Os dados utilizados para a região sudeste foram coletados pela comissão oceanográfica Oceano IV em fevereiro de 2006, na área localizada próximo as latitudes e longitudes 26 53.28 s, 040 57.99w. As coletas de dados foram realizadas em estações distribuídas ao longo dessa faixa, com profundidades variando até 2600m.

A análise das curvaturas KT (curvatura do contraste temperatura) e KS (curvatura do contraste salinidade) em função da densidade normalizada ($\tilde{\rho}$) permitiu a identificação das camadas de transição. A KT não apresentou picos expressivos que indiquem a interface correspondente à termoclina. Já a KS apresentou um pico em $\tilde{\rho} \approx 1.001$, correspondendo a uma camada de mistura em torno de 300m de compatível com a haloclina.

Para a aplicação da metodologia, traçamos os seguintes perfis de temperatura e salinidade (figura 23), bem como os perfis dos contrastes dos parâmetros em função da densidade normalizada ($\tilde{\rho}$).

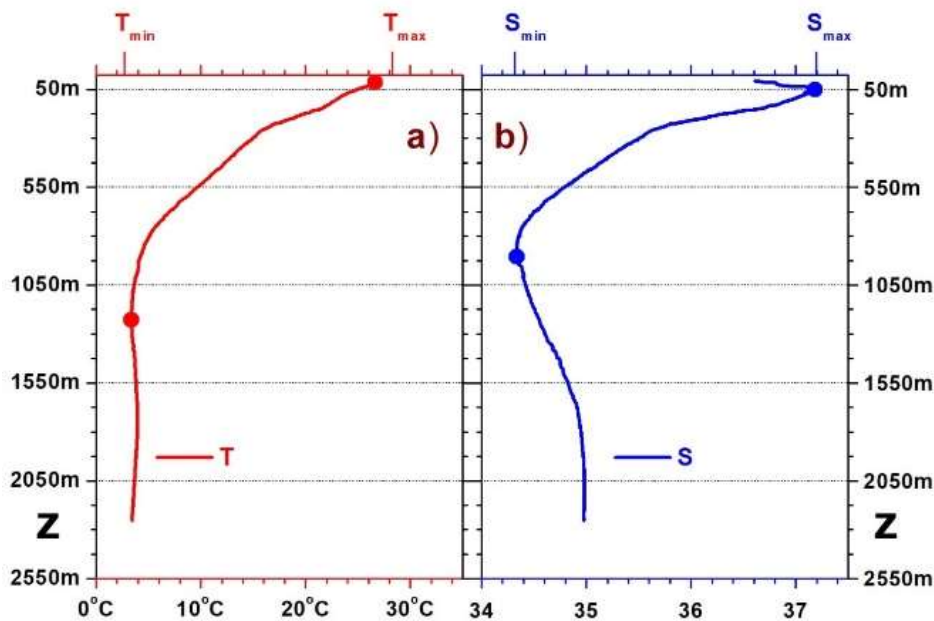


Figura 23 - Mostra em a) o Perfil vertical de temperatura identificando as temperaturas mínima T_{min} e máxima T_{max} . Analogamente no painel b) tem-se respectivamente no Perfil vertical de salinidade os pontos de salinidades mínima S_{min} e máxima S_{max}

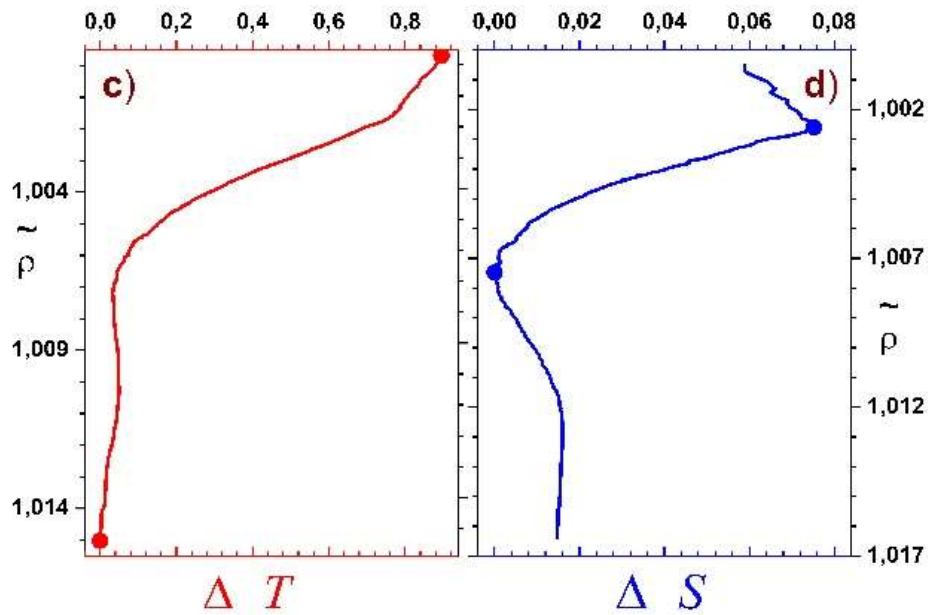


Figura 24 - Enquanto em c) e d) mostra-se respectivamente o comportamento dos contrastes ΔT e ΔS à medida que a densidade normalizada $\tilde{\rho}$ varia na Região SE.

Da mesma forma como fizemos anteriormente para os dados NE, após a análise dos perfis termohalinos, seguimos para o cálculo das curvaturas e analisamos a correlação entre os picos da curvatura e os respectivos perfis.

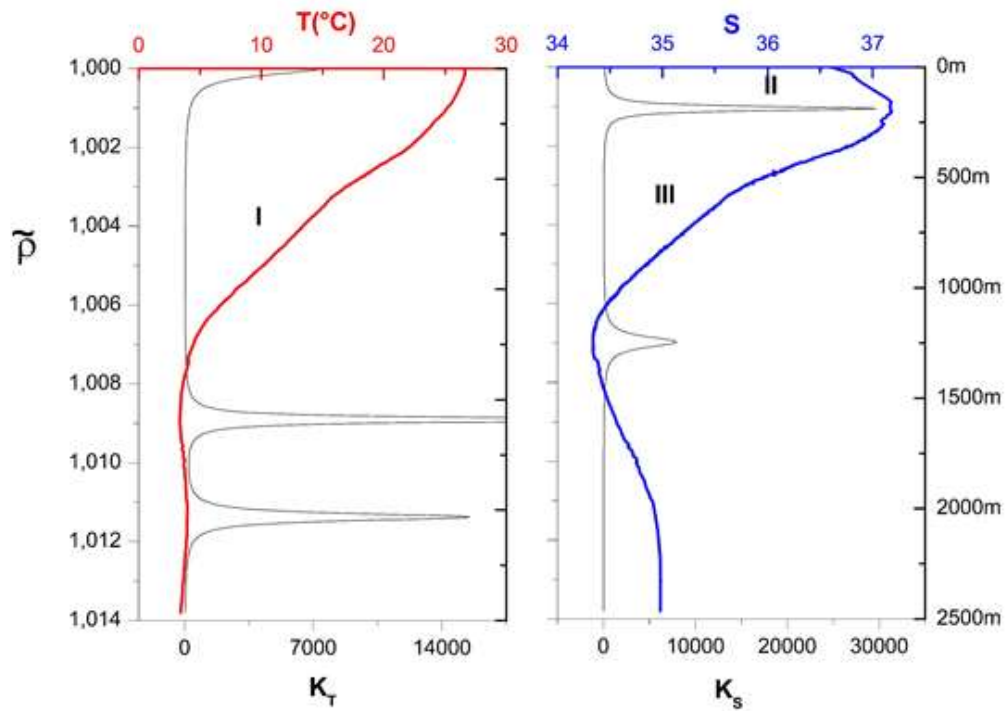


Figura 25 – nos gráficos acima podemos verificar que os picos das Lorentzianas correspondem às mudanças críticas nos perfis verticais de temperatura e salinidade. É possível observar as mudanças

bruscas de temperatura (quadro da esquerda) e salinidade (quadro da direita) . Classificando as áreas da estratificação no gráfico da temperatura I) camada de mistura e termoclina não foram identificados, no gráfico salino, II) camada de mistura e III) Haloclina.

Na figura 24, podemos observar que a temperatura varia suavemente até 1500m de profundidade não sendo possível por esse método identificar a camada de mistura e termoclina. Já no perfil salino temos os picos que identificam a camada de mistura e início e o fim da haloclina.

Nessa região apresenta uma maior homogeneidade se comparada com as regiões anteriores, essa homogeneidade pode explicar o aumento do gradiente de temperatura observado próximo ao 300m, que pode ser resultado da ressurgência que é característica dessa região.

Por fim para identificação das massas da água, foi utilizada a correlação entre as curvaturas, e o resultado encontra-se na figura 26.

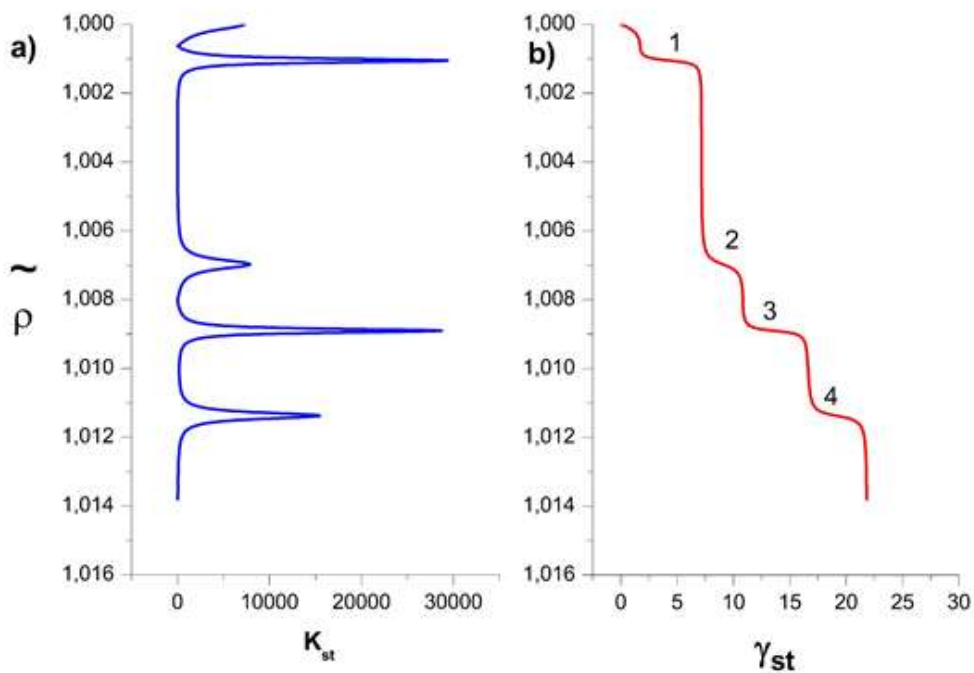


Figura 26 - Em a) temos a ilustração da correlação entre as curvaturas KS E KT e em b) a integral dessa função onde podemos identificar patamares numerados de 1 a 4.

A curvatura, obtida a partir da segunda derivada dos contrastes suavizados por filtro de Savitzky-Golay, evidenciaram a presença de picos acentuados que coincidem

com interfaces clássicas da oceanografia física, tais como a termoclina, haloclina e picnoclina. Esses picos foram posteriormente ajustados por perfis Lorentzianos, cujo centro e largura permitiram delimitar os limites verticais das massas d'água.

Esses limites de densidades normalizadas, correspondem a densidades potenciais, profundidades e utilizando a tabela 1 podemos identificar as interfaces das massas d'água. No Sudeste, o perfil evidenciou uma termoclina mais difusa, refletindo a maior mistura vertical da coluna d'água, possivelmente influenciada por processos sazonais e circulação de mesoescala. Ainda assim, a análise de curvatura foi eficaz em identificar padrões que corresponderam às faixas de densidade potencial propostas por Stramma & England (1999) e Silveira (2007) para identificação das massas.

Tabela 7 - Tabela com os dados utilizados para classificação das massas da água região SE.

Picos	Profundidade (m)	$(\tilde{\rho})$	Densidade potencial σ_{θ} (kg/m ³)	Interface Massa de água
K1	177	1,000105	25,8333	AT - ACAS
K2	1141	1,006971	27,4326	ACAS - AIA
K3	1456	1,00890	27,6303	AIA - APAN
K4	1858	1,01137	27,7823	APAN

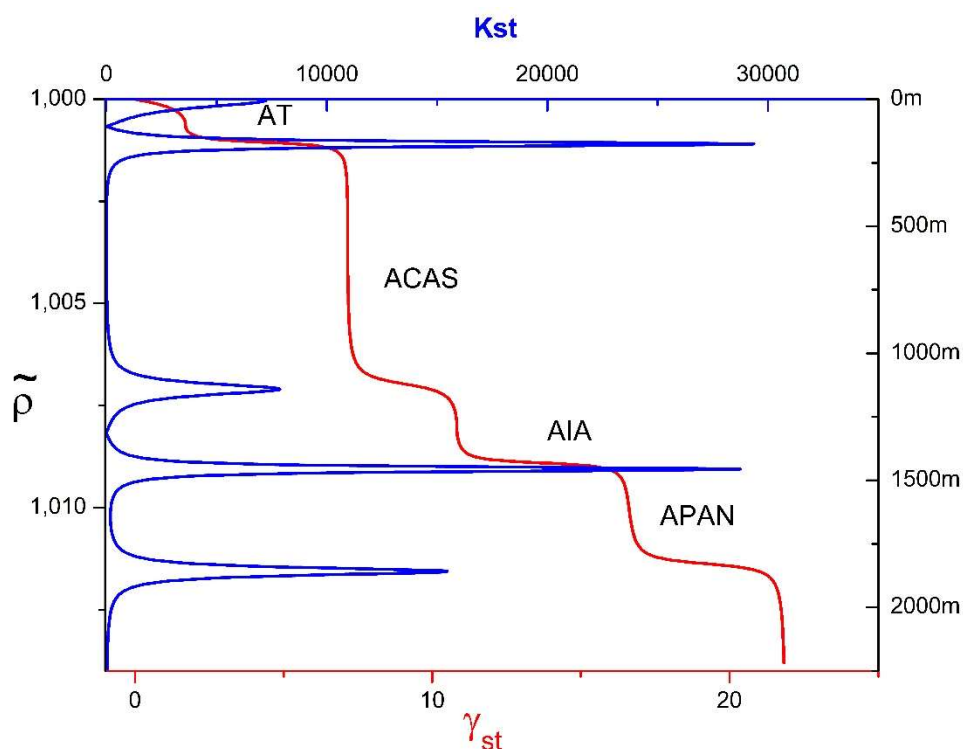


Figura 27 - Gráfico dos picos (curvaturas) e degraus de salinidade região SE com identificação das massas d'água características do Atlântico Sul na região NE: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

4.3.2 Região Sul

A região Sul compreende a faixa oceânica entre 27°S e 33°S, com estações de coleta dispostas sobre a plataforma e talude continental, atingindo profundidades superiores a 2500 m em alguns pontos. Essa área é caracterizada por uma maior influência de massas d'água de origem polar e maior complexidade nos perfis verticais.

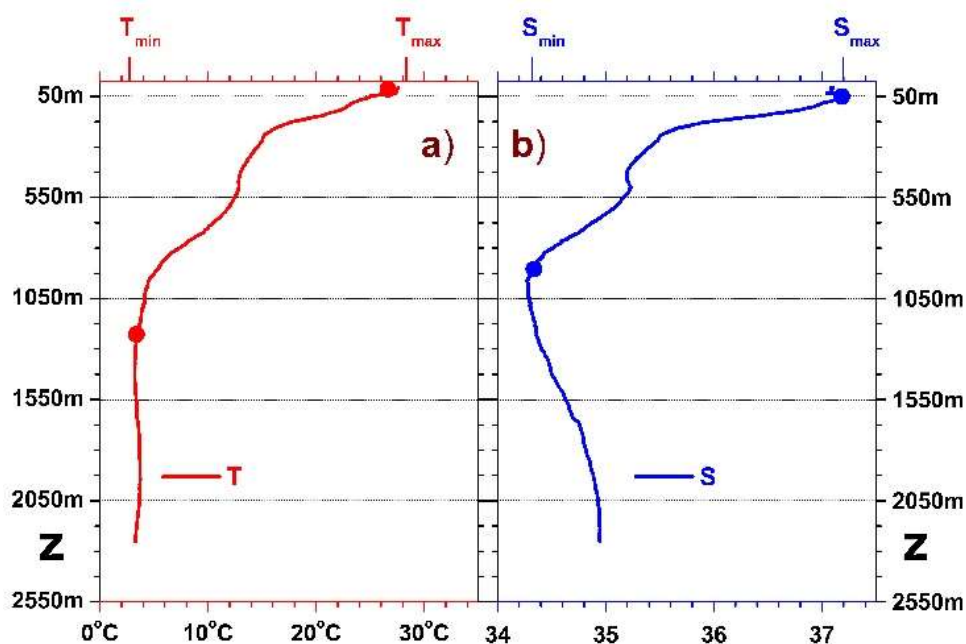


Figura 28 - Mostra em a) o Perfil vertical de temperatura identificando as temperaturas mínima $T_{\min}$ e máxima $T_{\max}$. Analogamente no painel b) tem-se respectivamente no Perfil vertical de salinidade os pontos de salinidades mínima $S_{\min}$ e máxima $S_{\max}$.

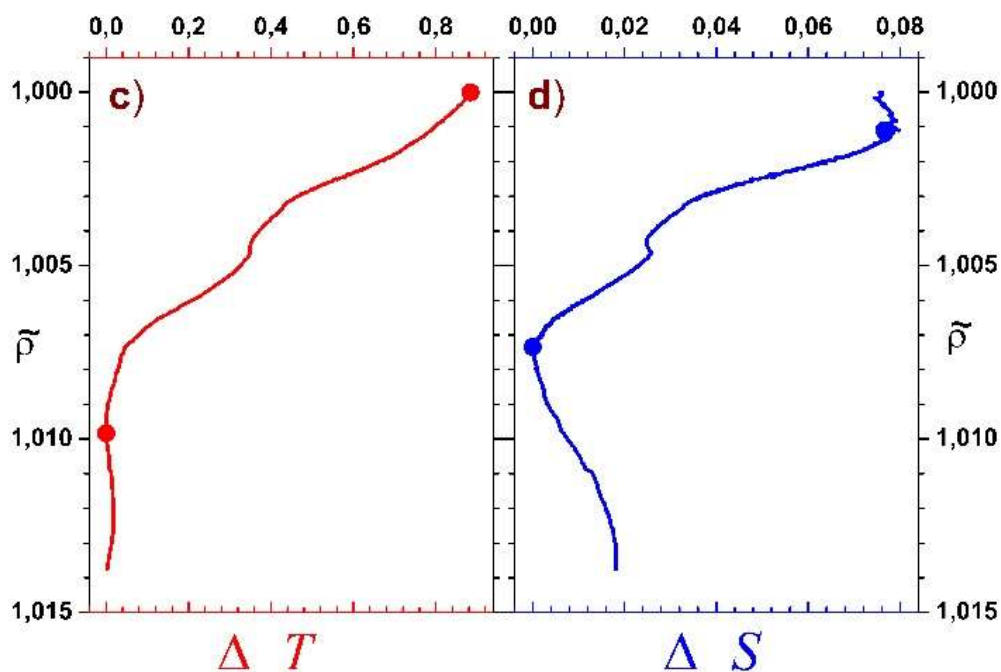


Figura 29 - Enquanto em c) e d) mostra-se respectivamente o comportamento dos contrastes ΔT e ΔS à medida que a densidade normalizada $\tilde{\rho}$ varia. Região Sul.

Os dados indicam uma termoclina mais profunda em comparação à região Sudeste, com gradientes térmicos menos acentuados entre 100 m e 250 m de profundidade. A salinidade também apresenta uma transição gradual, com haloclina identificável entre 200 m e 400 m.

As curvaturas K_T e K_S mostraram múltiplos picos ao longo do eixo da densidade normalizada.

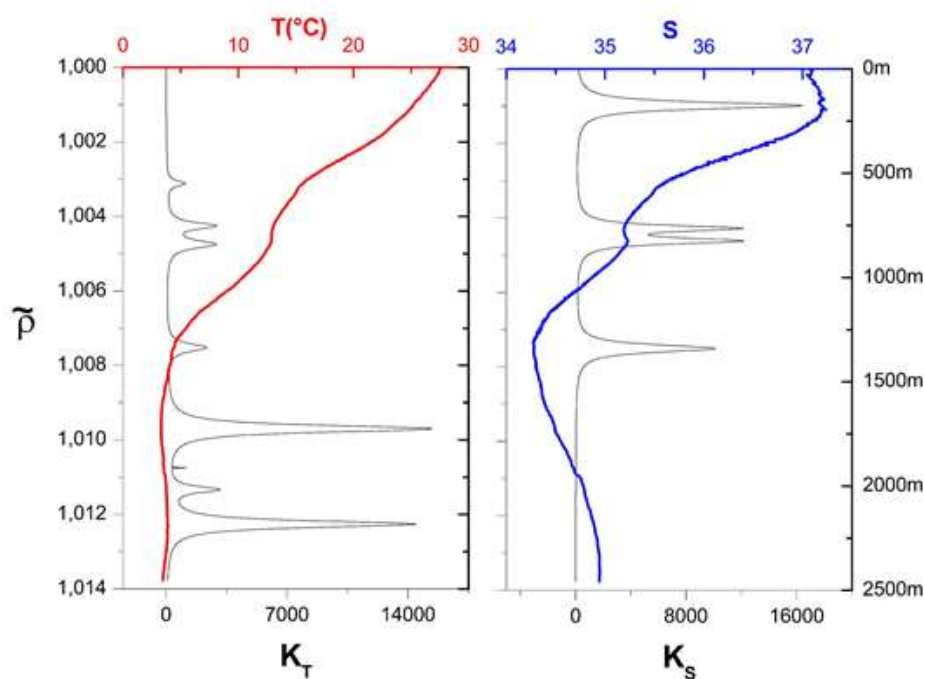


Figura 30 - Nos gráficos acima podemos verificar que os picos das Lorentzianas correspondem as mudanças críticas nos perfis verticais de temperatura e salinidade. É possível observar as mudanças bruscas de temperatura (quadro da esquerda) e salinidade (quadro da direita). Classificando as áreas da estratificação no gráfico da temperatura I) camada de mistura e termoclina não foram identificados, no gráfico salino, II) camada de mistura e III) Haloclina.

Tabela 8 - Tabela com os dados utilizados para classificação das massas da água região Sul

Picos	Profundidade (m)	($\tilde{\rho}$)	Densidade potencial σ_θ (kg/m ³)	Classificação da Massa de água
K1	165,83	1,00245	25,9127	AT- ACAS
K2	738,803	1,00598	26,8604	ACAS - AIA
K3	1232,18	1,00875	27,5435	AIA - APAN
K4	1590,36	1,01059	27,5668	APAN
K5	2007,96	1,01260	27,7364	APAN

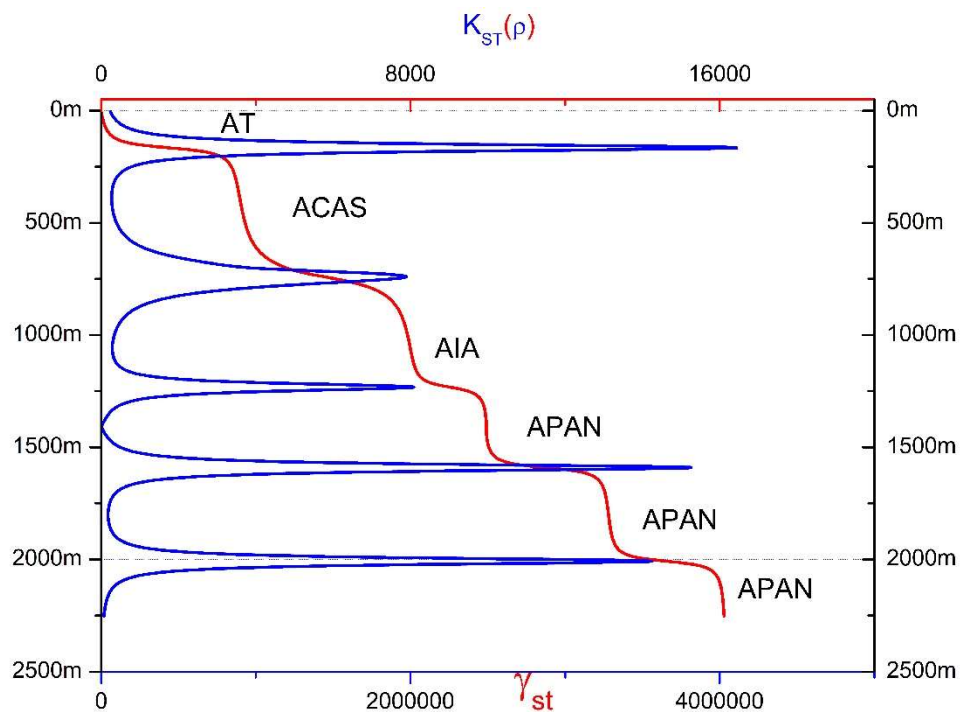


Figura 31 Gráfico dos picos (curvaturas) e degraus de salinidade região S com identificação das massas d'água características do Atlântico Sul na região NE: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

5 Conclusões

A análise da estratificação da coluna d'água ao longo da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Brasil permitiu identificar padrões regionais distintos em termos de limites de profundidade, temperatura e salinidade das massas da água (AT, ACAS, AIA E APAN).

A metodologia aqui desenvolvida, baseada na normalização da densidade *in situ* e no cálculo das curvaturas térmica (KT) e halina (KS) — mostrou-se eficaz para identificar as interfaces entre perfis termohalinos (veja as figuras 18 e 20) , bem como suas respectivas massas d'água associadas (veja a figura 21). Em outras palavras, os picos de curvatura revelaram regiões da coluna d'água onde os gradientes de temperatura e salinidade são mais acentuados, correspondendo às “clinas”. Esses pontos críticos permitiram interpretar as transições verticais de forma objetiva e quantificável, com base na perfilagem da densidade.

Para tanto, no cálculo destas curvaturas foram utilizados os filtros de Savitzky-Golay, eles podem suavizar excessivamente as transições, dificultando a detecção precisa das termoclinas e haloclinas. Assim, recomenda-se a realização de testes comparativos com e sem filtragem, bem como o uso de parâmetros derivados diretamente da segunda derivada, para ampliar a sensibilidade da metodologia na identificação da estratificação.

Por outro lado, com intuito de realçar um pouco mais os picos de curvatura, utilizamos posteriormente à filtragem de SG dos resultados complementamos nossa análise com o uso de um ajuste lorentziano de cada pico (veja Figura 18). Com isso foi possível calcular as larguras dos picos e posteriormente estimar quantitativamente a extensão das regiões de transição. (veja figura 22)

Mais especificamente, a análise da função de correlação (veja equações 15 e 16) entre as curvaturas normalizadas mostra que os pontos de máxima curvatura não ocorrem necessariamente para os mesmos valores de densidade. No entanto, foi possível observar que a diferença entre estes valores de densidades diminui com o crescimento das profundidades (maiores valores de $\tilde{\rho}$), evidenciando uma maior estabilidade espaço-temporal para as massas d'água mais profundas. Em contrapartida, nas regiões superficiais, a influência da interação oceano-atmosfera torna a camada mais instável, por conseguinte a diferença entre os valores dos pontos críticos é maior ($\tilde{\rho}_c$) para esta região.

Para compreender melhor essas transições, nossa abordagem compara as densidades normalizadas com as faixas típicas de densidades potenciais de massas d'água descritas na literatura (veja tabela 1). Essa análise reforça o potencial do método como ferramenta objetiva na identificação de fronteiras termohalinas. Também é importante ressaltar que a representação gráfica dessas camadas se mostra vantajosa em relação à classificação tradicional (curva T-S), ao permitir a visualização da existência de zonas de transição em função da profundidade, em consonância com os dados observados. (veja tabela 3)

Acreditamos que do ponto de vista da oceanografia física, que a metodologia aqui proposta contribui alternativamente para a compreensão mais quantitativa da flutuabilidade das massas d'água. Em resumo, como visto nas tabelas e figuras ao longo do texto, o método aqui desenvolvido mostrou-se quantitativo para a identificação de clinas térmicas, halinas e picnoclinas.

Por fim, vislumbramos em aplicações futuras da metodologia aqui desenvolvida em outras áreas oceanográficas, como a acústica. Como uma proposta em estudar a perfilagem da velocidade do som no oceano, agora como função explícita do posicionamento dos contrastes de temperatura e salinidade e as massas d'água a eles associados. Trabalhos nesse sentido já estão sendo desenvolvidos em colaboração com o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM – Arraial do Cabo).

6 Referências Bibliográficas

BOSTOCK, Helen C. *et al.* Reviewing the circulation and mixing of Antarctic Intermediate Water in the South Pacific using evidence from geochemical tracers and Argo float trajectories. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 73, p. 84-98, mar. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.11.007>. Acesso em: 28 jul. 2024.

BRASIL DECRETO Nº 99.165, DE 12 DE MARÇO DE 1990 . Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/d99165.htm Acesso em: 15 de maio 2023.

DEACON, George Edward Raven. The Hydrology of the Southern Ocean. **Discovery Reports**, v. 15, p. 1 - 124, 1937.

DENGLER, Marcus et al. Break-up of the Atlantic deep western boundary current into eddies at 8 S. **Nature**, v. 432, n. 7020, p. 1018-1020, 2004.

EMÍLSSON, Ingvar. The shelf and coastal waters off southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 11, p. 101 - 112, 1961.

GILL, Adrian E. **Atmosphere-Ocean Dynamics**. ilustrada. ed.: Academic Press, v. 30, 1982.

GNANADESIKAN, Anand; WELLER, Robert A. Structure and instability of the Ekman spiral in the presence of surface gravity waves. **Journal of Physical Oceanography**, v. 25, n. 12, p. 3148-3171, 1995. ISSN [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1995\)0252.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1995)0252.0.CO;2).

INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION et al.. **The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties**. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No 56. UNESCO (English), p. 196. 2010.

KUMP, Lee R. et al. **The earth system**. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall, 2004.

LEGG, Stephen. **IPCC, 2021: Climate Change 2021 - the Physical Science Basis**. v. 49, n. 4, p. 44-45. 2021.

LEWIS, E. The practical salinity scale 1978 and its antecedents. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 5, n. 1, p. 3-8, janeiro 1980. ISSN doi: 10.1109/JOE.1980.1145448.

LI, X.-Y.; ZHANG, J.-J.; LEE, J. H. Modelling particle size distribution dynamics in marine waters. **Water Research**, v. 38, n. 5, p. 1305-1317, Março 2004. ISSN 10.1016/j.watres.2003.11.010.

MCDUGALL , T. J.; BARKER, P. M. **Getting Started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox**. SCOR/IAPSO WG127. 2011.

MÉMERY, L. et al. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 47, n. 1, p. 69-98, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00032-X).

Painel brasileiro de mudanças climáticas. Base Científica das Mudanças Climáticas—Primeiro relatório de avaliação nacional. COPPE. Rio de Janeiro, p. 18-19. 2014.

PAWLOWICZ, R.; WRIGHT, D. G.; MILLARD, R. C. A Review of the Practical Salinity Scale 1978 and Its Use in Oceanography.. **Ocean Science**, v. 8, p. 113-130, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/os-8-113-2012>>.

PICKARD, W. J.; EMERY, G. L. D. P. O. A. I. **Descriptive Physical Oceanography: An Introduction**. 5. ed. Oxford: Pergamon Press, 1990.

POND, S.; PICKARD, G.. **Introductory Dynamical Oceanography**. 2ª. ed. Oxford, Reino Unido: Pergamon Press, 1983.

POOLE, R.; TOMCZAK,. Optimum multiparameter analysis of the water mass structure in the Atlantic Ocean thermocline. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 45, n. 11, p. 1895-1921, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063799000254>.

PRESS, William. H. **Numerical recipes 3rd edition: The art of scientific computing**. Cambridge university press, 2007. Disponível em: <<http://www.ff.bg.ac.rs/Katedre/Nuklearna/bookcpdf/c14-8.pdf>>. Acesso em: Janeiro 2025.

RAHMSTORF, S. Thermohaline Ocean Circulation. **ENCYCLOPEDIA OF QUATERNARY SCIENCES**, n. Elsevier, p. 739-750, 2006.

ROMERO, E. et al. Improving the thermocline calculation over the global ocean. **Ocean Sci**, p. 887–901, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/os-19-887-2023>, 2023.>.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, p. 1627-1639, janeiro 1964.

SILVEIRA, I. C. A. **O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ**. Instituto Oceanográfico USP. SP, p. 160. 2007.

STEWART, R. H. **Introduction to physical oceanography**. Texas: Colege State Texas A&M, 2008.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean.. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, p. 863–883, 1999.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep Sea Research**, v. 46, p. 293-303, 1999.

SUGA, T.; TALEY, L. D. Antarctic Intermediate Water circulation in the tropical and subtropical South Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C7, p. 13441-13453, julho 1995.

SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, W.; FLEMING, H. **The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology**. 11. ed. Nova York: Prentice-Hall, 1942.

TALLEY, L. D. North Atlantic circulation and variability, reviewed for the CNLS conference. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, v. 98, p. 625-646, 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167278996001236>>.

TALLEY, L. D. et al. **Descriptive Physical Oceanography: an introduction**. 6. ed. Boston: Academic Press, 2011.

TOMCZAK, M.; GODFREY, J. S. **Regional oceanography: An introduction**. 2ª. ed. Pergamon, 2003.

VALLIS, G. K. **Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics: Fundamentals and Large-Scale Circulation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

WARREN, B. A. **Evolution of Physical Oceanography**. The MIT Press, 1981. 6-41 p. Disponível em: <<https://mitpress.mit.edu/books/evolution-physical-oceanography>>.

ZEMBA, J. C. **The Structure and Transport of the Brazil Current Between 27 deg and 36 deg South**, 1991.