



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

PAULA RENATA LOBATO DE MEDEIROS

**VARIAÇÃO INTERANUAL E SAZONAL DAS MASSAS
D'ÁGUA SOBRE A PLATAFORMA CONTINENTAL
NORTE DO BRASIL**

**BELÉM – PARÁ
2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**VARIAÇÃO INTERANUAL E SAZONAL DAS MASSAS
D'ÁGUA SOBRE A PLATAFORMA CONTINENTAL
NORTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada por:

Paula Renata Lobato de Medeiros

Orientador: Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário (UFPA)

BELÉM – PARÁ

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

M488v Medeiros, Paula Renata Lobato de.
Variação interanual e sazonal das massas d'água sobre a
Plataforma Continental Norte do Brasil / Paula Renata Lobato
de Medeiros. — 2022.
xiv, 49 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia, Belém, 2021.

1. Massas d'água. 2. Variação espaço-temporal. 3.
Plataforma Continental Norte do Brasil. 4. Temperatura. 5.
Salinidade. I. Título.

CDD 551.462



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**VARIAÇÃO INTERANUAL E SAZONAL DAS MASSAS
D'ÁGUA SOBRE A PLATAFORMA CONTINENTAL
NORTE DO BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA POR:

PAULA RENATA LOBATO DE MEDEIROS

Como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Oceanografia, área de concentração em sistemas costeiros e oceânicos e linha de pesquisa em Processos em sistemas costeiros e oceânicos.

Data de Aprovação: 20 de dezembro de 2021.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário
Orientador – UFPA

Prof. Dr. Maamar El-Robrini
Membro Interno – UFPA

Prof. Dr. Marcelo Rollnic
Membro Interno – UFPA

Dr. Yuri Onça Prestes
Membro Externo – UFPA

Dra. Thaís Angélica da Costa Borba
Membro Suplente – UFPA

Dra. Ana Paula Morais Krelling
Membro Suplente – Axion Data Science

Dedico essa dissertação, aos meus pais, que sempre me deram tudo e acreditaram na realização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dá forças para continuar essa caminhada e por não permitir que desistisse de tudo no momento mais difícil e incerto da minha vida.

À minha família, meus pais Paulo César, Maria José e minha irmã Lorena Letícia, agradeço ao incondicional apoio, amor, paciência e principalmente por acreditarem que eu conseguiria, quando até eu duvidei que seria possível.

As minhas avós Maria José Medeiros e Oscarina Lobato, por todo amor, carinho e ajuda durante estes anos.

A minha querida madrinha Ana Maria Santos (*in memoria*), por estar presente desde o início quando ser Oceanógrafa era um sonho de criança até quando eu finalmente o realizei, infelizmente ela não estará presente fisicamente em mais esta conquista, porém sei que está torcendo por mim ao lado de Deus.

Ao meu marido, Clóvis Santana, por caminhar ao meu lado e me estender a mão sempre que for preciso.

Ao professor Dr. Renan Peixoto, pela excelente orientação, paciência e disponibilidade em ajudar mesmo que de forma remota. Sou muito grata pela oportunidade de ser sua orientanda e por tudo que me ensinou durante estes dois anos. O senhor é o melhor orientador do mundo!

Ao Laboratório de Oceanografia Física (LOF) e seus membros que me acolheram carinhosamente e por toda ajuda oferecida.

As minhas amigas de mestrado Dayane e Rafaela, com quem pude compartilhar minhas aflições, dúvidas e muitas conversas divertidas mesmo que de forma remota, sempre estiveram presentes.

Aos meus amigos, em especial a minha querida amiga Wanessa Coimbra que mesmo longe se fez tão presente com seus incentivos a nunca desistir mesmo que tudo pareça dar errado.

A todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram na construção deste trabalho e em especial ao meu amigo Fabrício Lobo por disponibilizar tempo e paciência para me ajudar.

Agradeço carinhosamente a todos os professores que fizeram parte da minha formação e me proporcionaram alcançar o título de Mestre.

Agradeço a Fundação Amazônia de Amparo à Estudos e Pesquisa (FAPESPA) pela bolsa de mestrado que foi fundamental para o meu sustento e me permitiu desenvolver este trabalho.

*“Nada te perturbe, nada te amedronte. Tudo
passa, a paciência tudo alcança”
(Santa Tereza de Ávila)*

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espaço-temporal das massas d'água sobre a Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB), relacionando-a a dinâmica local e aos aportes de água doce. A PCNB estende-se desde o Cabo Orange até a Baía de São Marcos e caracteriza-se como altamente energética, por conta da ação combinada da corrente norte do Brasil (CNB), ventos alísios, ondas, marés e a descarga hídrica dos rios Amazonas e Pará. Os dados de temperatura, salinidade e densidade para a análise interanual foram obtidos através do banco nacional de dados da Marinha do Brasil (BNDO), durante seis cruzeiros oceanográficos: Amasseds I, II e III, Oceano Norte I, MCT VII e CBO em anos distintos: 1989, 1990, 2001, 2016 e para a análise sazonal utilizou-se cinco meses do Projeto Costa Norte: março, julho, novembro, dezembro 2018 e janeiro de 2019. Os parâmetros de TS tiveram o intuito de caracterizar e identificar as massas d'água que ocorreram sobre a plataforma ao longo dos anos, bem como observar as variabilidades interanuais e sazonais existentes. A PCNB apresentou grandes variações de TS ao longo dos anos e períodos analisados, sendo possível observar interanualmente a ocorrência de quatro tipos de massas d'água: Pluma Estuarina (PE), Água Costeira (AC), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água Tropical (AT) e sazonalmente foram identificadas cinco massas d'água ocorrendo: AF (água de frente), AC, AT, ACAS e Pluma etuarina (PE). A partir da análise dos diagramas TS foi possível identificar um índice termoalino para a pluma estuarina e suas métricas ao longo do tempo, onde a mesma ocorreu nos meses de março - 2018 e janeiro - 2019, e seus respectivos índices termohalinos foram de 27,5 °C a 28 °C e 0 g/kg a 33 g/kg.

Palavras-chave: massas d'água; variação espaço-temporal; Plataforma Continental Norte do Brasil; temperatura; salinidade.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the spatial and temporal variability of water masses over the Northern Continental Shelf of Brazil (PCNB), relating it to local dynamics and freshwater inputs. The PCNB extends from Cape Orange to the Bay of São Marcos and is characterized as highly energetic, due to the combined action of the north current of Brazil (CNB), trade winds, waves, tides and the water discharge from the Amazon rivers and Pará. Temperature, salinity and density data for the interannual analysis were obtained from the Brazilian Navy's national database (BNDO), during six oceanographic cruises: Amasseds I, II and III, North Ocean I, MCT VII and CBO in different years: 1989, 1990, 2001, 2016 and for the seasonal analysis, five months of the Costa Norte Project were used: March, July, November, December 2018 and January 2019. The TS parameters were intended to characterize and identify the water masses that occurred on the platform over the years, as well as observe the existing interannual and seasonal variability. The PCNB showed large variations in TS over the years and periods analyzed, and it is possible to observe the occurrence of four types of water bodies interannually: Pluma Estuarina (PE), Coastal Water (AC), Central Water of the South Atlantic (ACAS) and Tropical Water (AT) and seasonally, five water bodies were identified as occurring: AF (front water), AC, AT, ACAS and Pluma etuarina (PE). From the analysis of the TS diagrams it was possible to identify a thermohaline index for the estuarine plume and its metrics over time, where it occurred in March - 2018 and January - 2019, and their respective thermohaline indices were 27.5 °C to 28 °C and 0 g/kg to 33 g/kg.

Keywords: water masses; spatiotemporal variation; Northern Continental Shelf of Brazil; temperature; salinity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Classificação conforme a latitude das plataformas continentais.	5
Figura 2 - Esquema ilustrativo da localização vertical das camadas e suas respectivas profundidades para o Oceano Atlântico Sul em baixas (azul) e médias latitudes (vermelho)..	7
Figura 3 - Esquema ilustrativo da disposição vertical das camadas de acordo com a profundidades.	8
Figura 4 - Atuação das correntes ao longo da Plataforma Continental Norte..	11
Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo: Plataforma Continental Norte do Brasil... ..	13
Figura 6 - Mapa ilustrativo com subdivisão da Plataforma Continental Norte do Brasil em setores.	15
Figura 7- Principais forçantes que atuam na Plataforma Continental Norte..	16
Figura 8 - Cruzeiros e seus respectivos pontos de amostragem ao longo da Plataforma Continental Norte: A) AMASSEDS I - 1989, B) AMASSEDS II - 1990, C) AMASSEDS III - 1990, D) Oceano Norte I - 2001, E) MTC VII - 2012 e D) CBO - 2016.....	20
Figura 9 - Projeto CN pontos por período: A) março - 2018; B) julho - 2018; C) novembro - 2018; D) dezembro - 2018; E) janeiro - 2019..	21
Figura 10 - Diagrama TS cruzeiro AMASSEDS I e identificação de massas d'água.....	22
Figura 11 - Diagrama TS cruzeiro AMASSEDS II e identificação de massas d'água..	23
Figura 12 - Diagrama TS cruzeiro AMASSEDS III e identificação de massas d'água..	24
Figura 13 - Diagrama TS cruzeiro Oceano Norte I e identificação de massas d'água.....	25
Figura 14 -Diagrama TS cruzeiro MTC VII e identificação de massas d'água.	26
Figura 15 - Diagrama TS cruzeiro CBO e identificação de massas d'água	26
Figura 16 - Diagrama TS período chuvoso (março - 2018)	29
Figura 17 - Diagrama TS período seco (julho - 2018)	30
Figura 18 - Diagrama TS período seco (novembro - 2018)	31
Figura 19 - Diagrama TS período seco (dezembro - 2018).....	32
Figura 20 - Diagrama TS período chuvoso (janeiro - 2019).	33
Figura 21- Divisão da PCNB em setores.....	34
Figura 22 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de março - 2018	35
Figura 23 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de março - 2018	36
Figura 24 - Variação de TS no Setor 3 durante o mês de março - 2018	36
Figura 25 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de julho - 2018	37

Figura 26 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de julho - 2018	37
Figura 27 - Variação de TS no Setor 3 durante o mês de julho - 2018	38
Figura 28 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de novembro - 2018.	39
Figura 29 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de novembro - 2018	39
Figura 30 - Variação de TS no Setor 3 durante o mês de novembro - 2018.	40
Figura 31- Variação de TS no Setor 1 durante o mês de dezembro - 2018.....	41
Figura 32 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de dezembro - 2018.....	41
Figura 33 - Variação de TS no Setor 3 durante o mês de dezembro - 2018.....	42
Figura 34 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de janeiro - 2019	43
Figura 35 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de janeiro - 2019	43
Figura 36 - Variação de TS no Setor 3 durante o mês de janeiro - 2019	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das principais massas d'água que ocorrem no Oceano Atlântico Sul.	12
Tabela 2 - Classificação de massas d'água proposta por Thomsen (1962).	12
Tabela 3 - Índices termohalinos das massas de água segundo Silva <i>et al.</i> (2005).	12
Tabela 4 - Índices termohalinos das massas d' água proposta por Dias <i>et al.</i> (2013).	12
Tabela 5 - Campanhas, períodos de amostragem e eventos climáticos.	19
Tabela 6 - Índices termohalinos propostos para as massas identificadas interanualmente sobre a PCNB.	28

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 GERAL	4
2.2 ESPECÍFICO	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 PLATAFORMAS CONTINENTAIS (PC)	5
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA DO MAR	6
3.2.1 Temperatura	6
3.2.2 Salinidade	7
3.2.3 Pressão e densidade	8
3.3 FORÇANTES ATMOSFERICAS	9
3.4 CIRCULAÇÃO OCEÂNICA	10
3.5 CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS D'ÁGUA	11
4 MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 ÁREA DE ESTUDO	13
4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	14
4.3 PARAMETROS OCEANOGRÁFICOS E METEOROLÓGICOS	15
4.4 HIDROLOGIA	16
4.4.1 Rio Pará	16
4.4.2 Rio Amazonas	17
4.4.3 Baía de São Marcos	18
4.5 AQUISIÇÃO DE DADOS E PROCESSAMENTO DE DADOS	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 VARIABILIDADE INTERANUAL E CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA.....	22
5.2 VARIAÇÃO SAZONAL	28

5.3 CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA SAZONAIS	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Massas d'água são grandes porções de água com volume mensurável, que ocupam lugar nos oceanos, possuindo características próprias de temperatura e salinidade. Estas podem ocupar um lugar exclusivo ou compartilhar o oceano com outras massas d'água. Sua formação pode ocorrer por três processos físicos: convecção, subducção, e/ou mistura superficial (Tomczak 1999).

O processo de convecção é oriundo do aumento de densidade da água na superfície, que levará ao afundamento da massa d'água para a profundidade onde o equilíbrio hidrostático é reestabelecido (Sperb *et al.* 1999). Já o processo de subducção é resultado da ação do vento do resfriamento e da convergência de Ekman descendente, que empurra a água para baixo ao longo das superfícies isopícnais. Enquanto o processo de mistura superficial ocorre a partir de duas ou mais massas d'água que se encontram, levando a uma mistura intensa (Sperb *et al.* 1999).

O estudo sobre massas d'água e de suma importância devido exercem grande influência nos padrões de circulação, climatologia (ENOS – El Niño Oscilação Sul), na produção dos oceanos, no transporte de sedimentos, poluentes e na navegação (Sperb *et al.* 1999). Segundo Mascarenhas *et al.* (1971), a classificação de massas d'água é realizada em função dos parâmetros de temperatura e salinidade, porém os intervalos que caracterizam determinada massas d'água variam de acordo com sua posição vertical.

As plataformas continentais são a extensão rasa e submersa de um continente, geralmente sua extensão varia de 70 a 90 km e profundidade média de 200 m. Além disto são considerados ambientes altamente dinâmicos, onde a hidrodinâmica e a sazonalidade influenciam diretamente nos processos físicos e sedimentares intermediando a distribuição de sedimentos entre as regiões costeiras e oceânicas (Castello & Krug 2015).

A PCNB estende-se desde o Cabo Orange no estado do Amapá até a Baía de São Marcos no Maranhão, e caracteriza-se como uma região altamente energética, devido a influência combinada da Corrente Norte do Brasil (CNB), ventos alísios, ondas, marés e a descarga dos rios Amazonas e Pará (Gallo & Vinzon 2005). A Plataforma Continental Norte tem sido alvo de grandes esforços científicos voltados a ampliação do conhecimento de seu funcionamento e dinâmica.

O conhecimento sobre o padrão de circulação e distribuição das massas d'água na plataforma continental brasileira é diversificado (Patchineelam 2004). Dentre os principais projetos e programas realizados na região Norte, destacam-se: as Comissões Oceanográficas

GEOMAR, realizadas em 1969-1986, com o objetivo de desenvolver estudos sobre hidrodinâmica, cobertura superficial e fisiografia da plataforma continental; o Projeto REMAC - *Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira*, ocorreu em 1972-1979, objetivou a análise da fisiografia e da estruturação da margem continental brasileira.

O Projeto AMASSEDs - A multidisciplinar Amazon Shelf SEDiment Study desenvolvido em 1989-1993, objetivou o estudo das interações entre os processos oceanográficos físicos, transporte de sedimentos, transformações biogeoquímicas e sedimentação na plataforma continental do Amazonas. O REVIZEE - *Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva*, iniciado em 10 de março de 1995 na ZEE/Norte, objetivou o levantamento do potencial pesqueiro e o Projeto Costa Norte objetivou determinar a vulnerabilidade, sensibilidade e suscetibilidade à contaminação por óleo dos manguezais localizados nas bacias da Foz do Amazonas e Pará – Maranhão.

O conhecimento sobre os padrões de circulação e distribuição das massas d'água na PCNB ainda é restrito quando comparado a outras regiões brasileiras, entretanto, estudos sobre as massas de água e características físicas, foram realizados pelos autores Curtin (1986), Brasil (1989), Silveira, Miranda & Brown (1994), Geyer & Kineke (1995), Linhares (1995), Castro e Miranda (1998), Santos (2000), Silva (2000), Frazão (2001), Paiva (2001) e Abreu (2004), que caracterizaram a distribuição dos parâmetros de temperatura, salinidade e densidade das águas das plataformas continentais do Amazonas e do Maranhão, respectivamente. Brasil (1989), durante a Operação PAVASAS I, realizou um levantamento prévio na plataforma continental norte brasileira da distribuição dos parâmetros físicos da água do mar e das d'águas ocorrentes. Geyer e Kineke (1995), fizeram algumas observações sobre a distribuição de salinidade na foz do rio Amazonas. Curtin (1986), Linhares (1995), Paiva (2001) e Abreu (2004), descreveram as características físicas das massas d'água das plataformas continentais do Pará e do Amazonas. Grande parte dos trabalhos, estão concentrados nas plataformas continentais do Amazonas, Pará e talude continental, exceto o trabalho de Castro & Miranda (1998), que estudou as características físicas da plataforma continental (4° N até 34° S).

Atualmente a PCNB possui um grande interesse econômico e político por conta de sua localização representar a nova fronteira de exploração de petróleo e gás do Brasil. Segundo Luczynski (2015), a área denominada como Província Equatorial, que abrange a costa do Ceará até a Ilha do Marajó, apresenta constante intensificação das atividades de exploração de óleo e gás natural. Na zona costeira amazônica (ZCA), as áreas de interesse econômico são as bacias sedimentares da Foz do Amazonas e Pará-Maranhão.

Além das atividades exploratórias a região é rota de navegação e transporte de cargas de grandes empresas, além de fonte de renda/sustento de comunidades ribeirinhas. Desta forma visando a grande importância deste ambiente, este estudo tem como objetivo analisar a variação sazonal e multianual das massas d'água ao longo da PCNB, com o intuito de somar com os estudos já realizados e contribuir para o melhor entendimento sobre as massas d'água, suas características e suas influências.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar a variabilidade espaço-temporal das massas d'água na plataforma continental norte do Brasil, relacionando-a a dinâmica local e aos aportes de água doce.

2.2 ESPECÍFICO

- Identificar e caracterizar as massas d'água que ocorrem na PCNB nos anos 1989, 1990, 2001, 2012, 2016, 2018 e 2019;
- Analisar a variabilidade sazonal das massas d'água que ocorrem na PCNB nos períodos chuvoso (março de 2018 e janeiro de 2019) e seco (julho, novembro e dezembro 2018);
- Identificar um índice termohalino para a pluma estuarina e suas métricas ao longo do tempo.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 PLATAFORMAS CONTINENTAIS (PC)

São definidas como a extensão rasa e submersa que circunda um continente, sua área corresponde a 7% da área do oceano. De forma geral, as Plataformas continentais podem ser divididas em uma parte interna, que vai da linha de costa até a profundidade de 50 m, e a região externa, entre profundidade de 50 m até a zona de quebra (início do talude continental). A PC pode conter várias feições e essas características variam de acordo com as latitudes onde estão localizadas, conforme são apresentados na Figura 1.

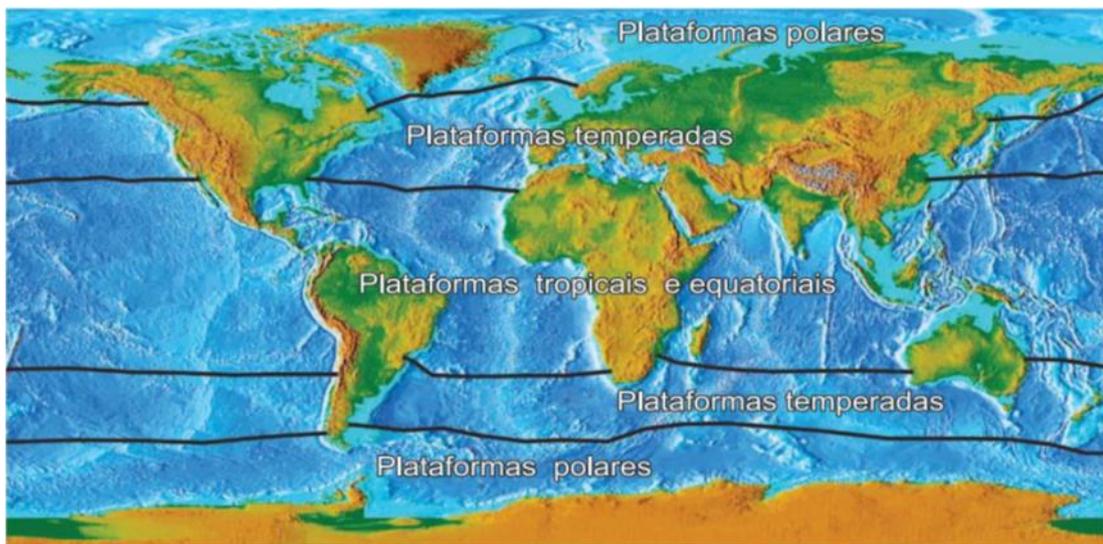


Figura 1 - Classificação conforme a latitude das plataformas continentais. Fonte: Castello & Krug (2015).

Segundo Castello & Krug (2015), as plataformas polares ou de clima frio estão localizadas em altas latitudes, apresentam características marcantes como largura irregular e são influenciadas por processos morfoclimáticos como geleiras litorâneas e bancos de gelo. Já as de clima temperado apresentam topografias submarinas menos acidentadas com variadas formas.

As plataformas de climas tropicais e equatoriais são altamente energéticas onde a hidrodinâmica é influenciada pela ação de ventos, ciclones, ondas de grande amplitude e elevadas descargas fluviais. Além disso, as condições climáticas determinam características distintas desses sistemas (Castello & Krug 2015).

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA DO MAR

Para o estudo de massas d'água as propriedades físicas mais relevantes são a temperatura, salinidade e pressão, que juntas determinam a densidade da água. A distribuição dos gradientes horizontais de pressão, está diretamente relacionada a densidade nos oceanos (Miranda 1982). Fluxos de calor, evaporação, precipitação, descargas fluviais, formação de geleiras e degelo influenciam a distribuição de temperatura e salinidade na superfície dos oceanos e podem modificar a densidade das águas superficiais (Pickard 1968).

3.2.1 Temperatura

A temperatura é a propriedade física utilizada para caracterizar o estado térmico de um sistema. Esta é uma medida da quantidade de energia cinética (movimento) das moléculas que compõem uma substância (Pickard 1996). Segundo Prestom-Thomas (1990), a temperatura da água é resultado do balanço entre as transferências de calor pela absorção da energia do sol, pelo transporte por correntes e perdas por evaporação. As propriedades da água variam em escalas diurnas, sazonais e multianuais, restrito aos primeiros 300 m de profundidade.

No plano horizontal, a temperatura apresenta uma distribuição zonal com faixas próximas do Equador, tópicos ou polos, apresentando valores aproximados na direção Leste-Oeste e uma maior variação na direção norte-sul. Verticalmente podemos distinguir três camadas diferentes de temperatura em: camada de mistura - CM, termoclina e camada profunda - CF, (Figura 2).

A primeira camada denominada de CM, possui temperaturas próximas à da superfície, por conta da turbulência gerada pelas ondas. As variações temporais e espaciais desta camada, estão associadas as trocas de energia com a atmosfera, além disto ela compreende aos primeiros 50-150 m, podendo chegar a maiores profundidades durante o inverno, devido ao deslocamento convectivo da água (Garrison 2010).

A segunda camada, termoclina caracteriza-se por rápida redução da temperatura com a profundidade podendo alcançar de 500 até 1000 m. E a terceira camada denominada de CP, apresenta um decréscimo mais lento da temperatura em relação ao aumento de profundidade, esta alcança até o fundo das bacias oceânicas.

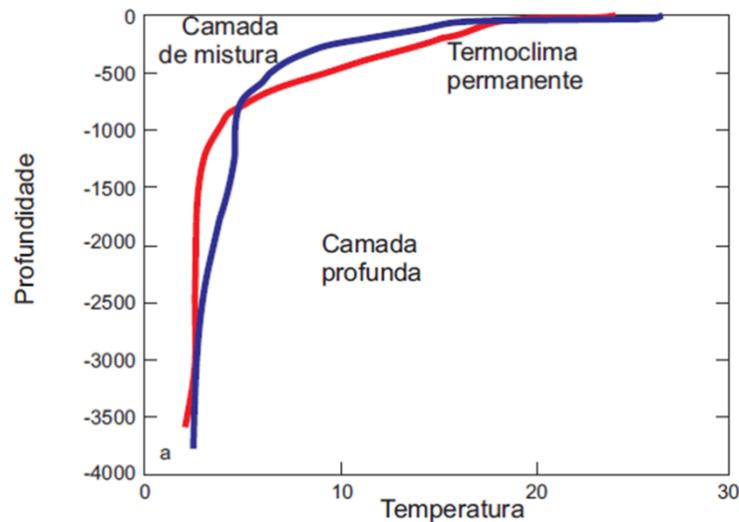


Figura 2 - Esquema ilustrativo da localização vertical das camadas e suas respectivas profundidades para o Oceano Atlântico Sul em baixas (azul) e médias latitudes (vermelho). Fonte: Adaptado de Castello & Krug (2015).

3.2.2 Salinidade

A salinidade é a medida da quantidade de sais dissolvidos em uma dada quantidade de água, a mesma sofre oscilações por diversos fatores de natureza meteorológicas, topográficas e de aporte fluvial. Para Plataforma Continental, a distribuição de salinidade pode apresentar-se de forma distinta do oceano aberto, pois a presença de rios com aportes significativos pode ser um fator importante para as variações de salinidade, já que águas menos salinas e menos densas, se sobrepõe às de maior densidade.

Verticalmente a salinidade apresenta certa semelhança com a distribuição de temperatura, havendo a distinção de três camadas: CM, Haloclina e CP (Figura 3). A CM sofre grande influência da interação com a atmosfera, enquanto a segunda camada (haloclina) apresenta rápida variação de salinidade com o aumento da profundidade e a terceira camada CP, apresenta pequena variação de salinidade. Nas regiões equatorial e tropical do oceano Atlântico pode ser encontrado um mínimo de salinidade em torno dos 600 e 1000 metros de profundidade, apresentando um aumento até os 2000 metros e seguida de uma nova redução até o fundo (Garrison 2010).

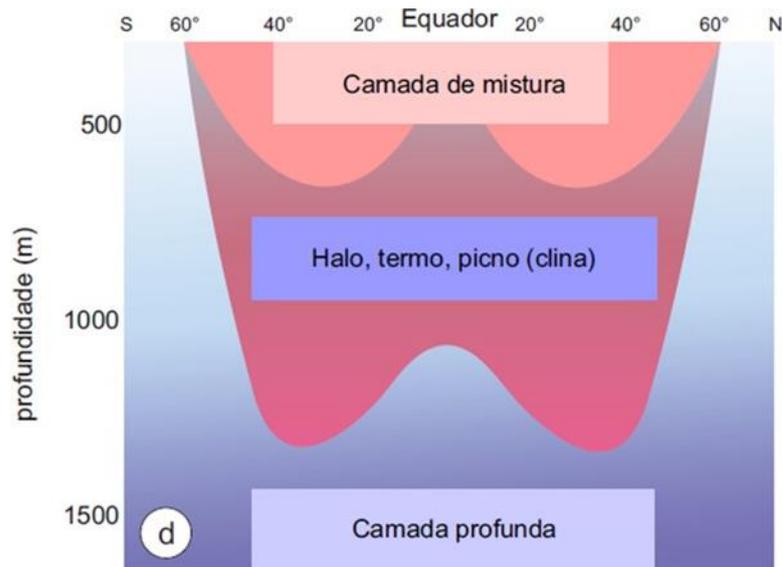


Figura 3 - Esquema ilustrativo da disposição vertical das camadas de acordo com a profundidades.
Fonte: Adaptado de Castello & Krug (2015).

3.2.3 Pressão e densidade

A pressão é uma relação de força aplicada em uma superfície e a densidade corresponde ao quociente de sua massa pelo volume (Freitas 2003).

Em baixas latitudes a temperatura geralmente é responsável pela variação de densidade, enquanto em áreas costeiras e altas latitudes a salinidade tem maior influência. Normalmente a densidade aumenta com o aumento de profundidade sendo responsável pela profundidade de equilíbrio da massa d'água, sendo resultado da interação entre a temperatura, salinidade e a pressão a que está submetida (Miranda 1982).

Segundo Freitas (2003), nos trópicos devido a evaporação e o consequente aumento da salinidade na água superficial, ocorre uma instabilidade na camada subsuperficial com o decréscimo na densidade potencial com a profundidade.

Desta forma pode ocorrer a presença de águas mais salgadas nas camadas superiores sem o desequilíbrio da coluna, sendo observado um máximo de salinidade logo acima da haloclina (Miranda 1982).

No Plano horizontal, a camada profunda apresenta variação mínima, enquanto a superfície apresenta significativas variações no sentido dos polos. Já em medias e baixas latitudes podem ser observada uma camada de mistura com baixa densidade, seguida por um aumento rápido de densidade com o aumento de profundidade, picnoclina. A camada profunda apresenta um lento aumento da densidade com a profundidade (Miranda 1982).

A variação da densidade com o aumento da profundidade determina a estabilidade da coluna d'água, e conseqüentemente define a resistência a deslocamentos verticais. A picnoclina

é estável, necessitando de muita energia para o seu deslocamento vertical, constituindo uma barreira para a mistura das massas d'água adjacentes e suas respectivas propriedades, porém esta barreira depende da intensidade e interação entre a pycnoclina, termoclina e haloclina (Freitas 2003).

3.3 FORÇANTES ATMOSFÉRICAS

Os sistemas atmosféricos tropicais desempenham função essencial na circulação geral da atmosfera e na manutenção do clima global, por concentrarem grande parte da energia do planeta em forma de calor. A dinâmica desses sistemas acoplados a do oceano é responsável pela redistribuição de energia por meio de trocas na interface oceano-atmosfera e/ou entre os hemisférios (Coelho *et al.* 2004; Veleda 2008).

Existem vários sistemas atmosféricos característicos na região equatorial, com destaque para os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Coelho *et al.* 2004). Este último, dentre os sistemas observados na região, é o que melhor expressa a dinâmica atmosférica e oceânica no limite entre os dois hemisférios (Veleda 2008).

A formação da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT está associada ao forte aquecimento superficial na região do equador ($TSM > 28^{\circ}\text{C}$) e à convergência de ventos alísios de nordeste e sudeste (com intensidade regulada por ciclones e anticiclones polares) (Fedorova & Carvalho 2006; Grodsky & Carton 2003; Field 2005).

Na região do Atlântico Tropical, os alísios de nordeste se apresentam mais intensos entre dezembro e julho, soprando quase que perpendicular à costa Norte do Brasil, sendo responsáveis por gerar ondas superficiais de gravidade que se propagam na PCNB (Lentz 1995). Para os outros meses, os ventos tendem a predominar de sudeste e/ou de leste, porém há ventos soprando de áreas também. Os padrões de vento podem variar interanualmente e dependem de outras forçantes atmosféricas de média e larga escala (Silva 2006). Segundo Geyer *et al.* (1996) e Fontes *et al.* (2008), os campos de ventos de Nordeste associado ao posicionamento mais ao sul da ZCIT promove um padrão de confinamento da pluma amazônica onde o efeito dos ventos proporciona uma elevação do nível do mar sobre a PCNB e uma zona de alto gradiente de pressão.

3.4 CIRCULAÇÃO OCEÂNICA

A Plataforma Continental Norte do Brasil é altamente energética, onde sua dinâmica é controlada pela ação da Corrente Oeste de retorno e Corrente Norte do Brasil (CNB). As correntes possuem orientação predominante ao longo da plataforma, exceto na embocadura do rio Amazonas onde existe uma componente importante no sentido do mar (Geyer & Kineke 1995).

O escoamento médio de inframaré é fortemente estratificado e tem direção noroeste geralmente, que poderia estar relacionado com a CNB, desta forma podemos dizer que fatores como a corrente e a emissão de vórtices de mesoescala, refletem à 45° W, determinando os padrões, as interações entre a circulação superficial da região e a circulação oceânica (Geyer & Kineke 1995).

A maior corrente de contorno Oeste nas regiões tropicais do Oceano Atlântico é a Contracorrente Norte do Brasil (CCNB). Esta por sua vez, dá suporte ao sistema sazonal de contracorrentes, transportando águas do Atlântico Sul através do Equador, constituindo parte da célula de revolvimento meridional do Oceano Atlântico, considerado um importante componente da circulação termohalina global (Fonseca *et al.* 2000).

Segundo Richardson *et al.* (1994), a velocidade média da CNB varia entre 25 e 200 cm/s, em geral no limite mais interno da corrente se situa em uma faixa distante de 20 a 40 km da linha de costa enquanto as velocidades máximas se desenvolvem entre 150 a 200 km da costa. O sistema de circulação equatorial superficial é formado por duas correntes para Oeste e duas para Leste. A primeira corrente para Oeste é denominada Corrente Norte Equatorial (CNE), e tem como característica principal salinidade menor que 36,5 g/kg.

A segunda corrente é denominada Corrente Sul Equatorial (CSE), caracterizada por possuir ampla distribuição latitudinal. Ambas são superficiais e atingem 200 m de profundidade. Desta forma podemos inferir que a circulação oceânica na região da PCNB é resultante de processos de larga escala associados à circulação tropical no Atlântico, como mostra a Figura 4.

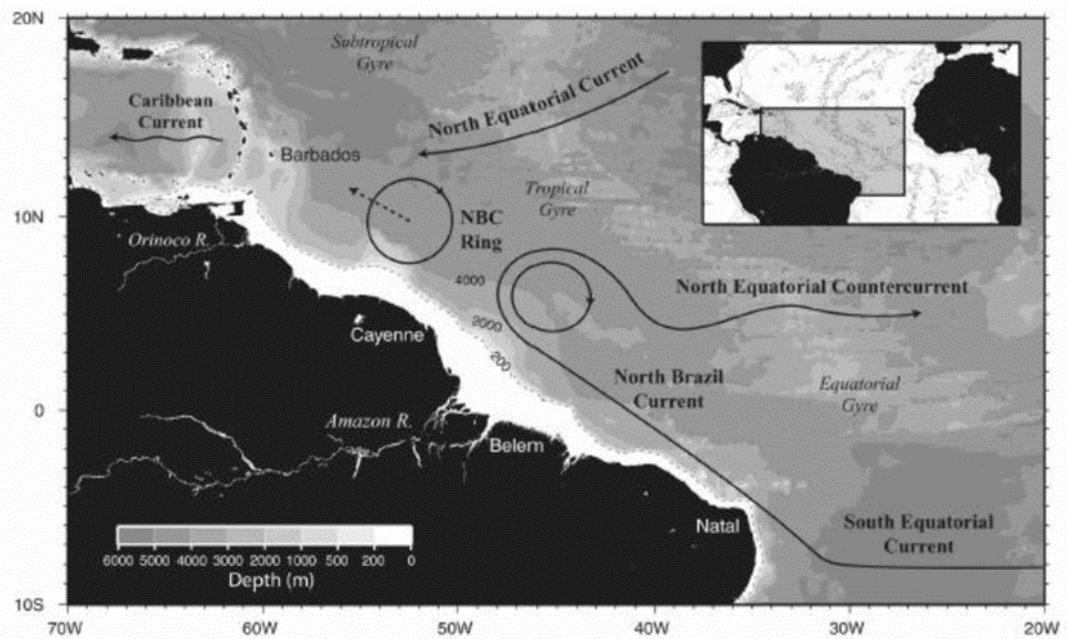


Figura 4 - Atuação das correntes ao longo da Plataforma Continental Norte. Fonte: Carvalho *et al.* (2005).

3.5 CLASSIFICAÇÃO DE MASSAS D'ÁGUA

Massas d'água podem ser definidas como corpos d'água com características físicas e químicas particulares, diferentes das águas adjacentes. A temperatura, salinidade e consequentemente a densidade são os principais parâmetros utilizados como identificadores das massas de água, devido os mesmos só sofrerem alterações significativas através da mistura ou difusão com outras massas d'água, além da camada limite oceânica, sendo por isto chamados de parâmetros conservativos (Freitas 2003).

A classificação de massas d'água é feita, em função dos parâmetros de Temperatura e Salinidade, contudo sua classificação também pode ser feita de acordo com a profundidade que ocupam em: Superficiais, Intermediárias, Profundas e de Fundo. Além de receberem o nome da camada do oceano que ocupam, as mesmas também são denominadas de acordo com o oceano em que são formadas e sua localização (Miranda 1982).

No oceano Atlântico Sul podemos encontrar cinco tipos principais de massas d'água: Água Tropical - AT, Água Central do Atlântico Sul - ACAS, Água Intermediária Antártica - AIA, Água Profunda da Antártica - APAN e Água Antártica de Fundo - AAF, na Tabela 1 são apresentados as características físicas e o local de formação das mesmas.

Tabela 1- Características das principais massas d'água que ocorrem no Oceano Atlântico Sul.

Massa d'água	Temperatura	Salinidade	Profundidade	Formação
AT	20 - 30 °C	35 - 37	0 - 100 m	Oceano Tropical
ACAS	5 - 20 °C	34,5 - 36,5	100 - 500 m	Convergência subtropical
AIA	2 - 4 °C	33 - 34	500 - 1000 m	Convergência Antártica
APAN	2 - 3 °C	34,7 - 35,5	1000 - 2500 m	Ártico
AAF	1 - 2 °C	35 - 35,5	2500 m a diante	Antártica

Ao longo do tempo muitos autores têm desenvolvido pesquisas de identificação e caracterização de massas d'água, como Thomsen (1962) que propôs a classificação em oito tipos principais de massas d'água, onde seus intervalos de temperatura, salinidade e sua classificação são demonstradas a seguir na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de massas d'água proposta por Thomsen (1962).

Temperatura	Salinidade	Massas d'água
-1	34,64	AAF - Água Antártica de Fundo
03,44 - 05,09	34,20 - 34,41	APAN - Água Profunda do Atlântico Norte
04,00 - 15,00	33,70 - 34,15	ASA - Água Subantártica
06,00 - 18,00	34,50 - 36,00	ACAS - Água Central do Atlântico Sul
02,50 - 06,00	34,15 - 34,50	AIA - Água Intermediária Antártica
04,00 - 21, 00	33,00 - 33,70	AC - Água Costeira
>18	05,00 - 32,05	AT - Água Tropical

Silva *et al.* (2005) e Dias *et al.* (2013), estabeleceram índices termohalinos e classificarão as massas d'água da Plataforma Continental Norte do Brasil, conforme mostra as Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Índices termohalinos das massas de água segundo Silva *et al.* (2005).

Temperatura	Salinidade	Massas d'água
26,00 - 28,87 °C	≤ 34	Água Costeira - AC
> 18 °C	> 36,2	Água Tropical - AT
5,95 - 18,00 °C	34,52 - 36,40	Água Central do Atlântico Sul - ACAS
4,92 - 5,90 °C	34, 48 - 34,78	Água Intermediária Antártica - AIA

Tabela 4 - Índices termohalinos das massas d'água proposta por Dias *et al.* (2013).

Temperatura	Salinidade	Massas d'água
≤ 29 °C	≤ 30	Água de Rio - AR
> 28 °C	≥ 33	Água Costeira - AC
< 20 °C	> 36,2	Água Tropical - AT
28-29 °C	30-33	Água de Frente - AF

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ARÉA DE ESTUDO

A Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB) é conhecida como litoral amazônico ou equatorial, geograficamente estende-se desde o Cabo Orange no estado do Amapá até a baía de São Marcos no estado do Maranhão. A Figura 5, refere-se à localização geográfica da região, que se caracteriza como um ambiente altamente energético onde a circulação é originada pela ação conjunta dos ventos alísios, ondas, marés e descarga dos rios Amazonas e Pará. A maré é do tipo semi-diurna, tendo como principais componentes harmônicas M2 (período de 12, 42 horas) e S2 (períodos de 12 horas) (Gallo & Vinzon 2005). Segundo Silva (2006), esta região apresenta grande variação entre margens, onde na foz do rio Amazonas a plataforma atinge uma largura de 330 km, destacando-se o cone do Amazonas, com comprimento de 700 km, onde para o Norte em frente ao Cabo Norte sua extensão é cerca de 210 km, enquanto no Cabo Orange sua extensão é de 125 km (Silva 2006).

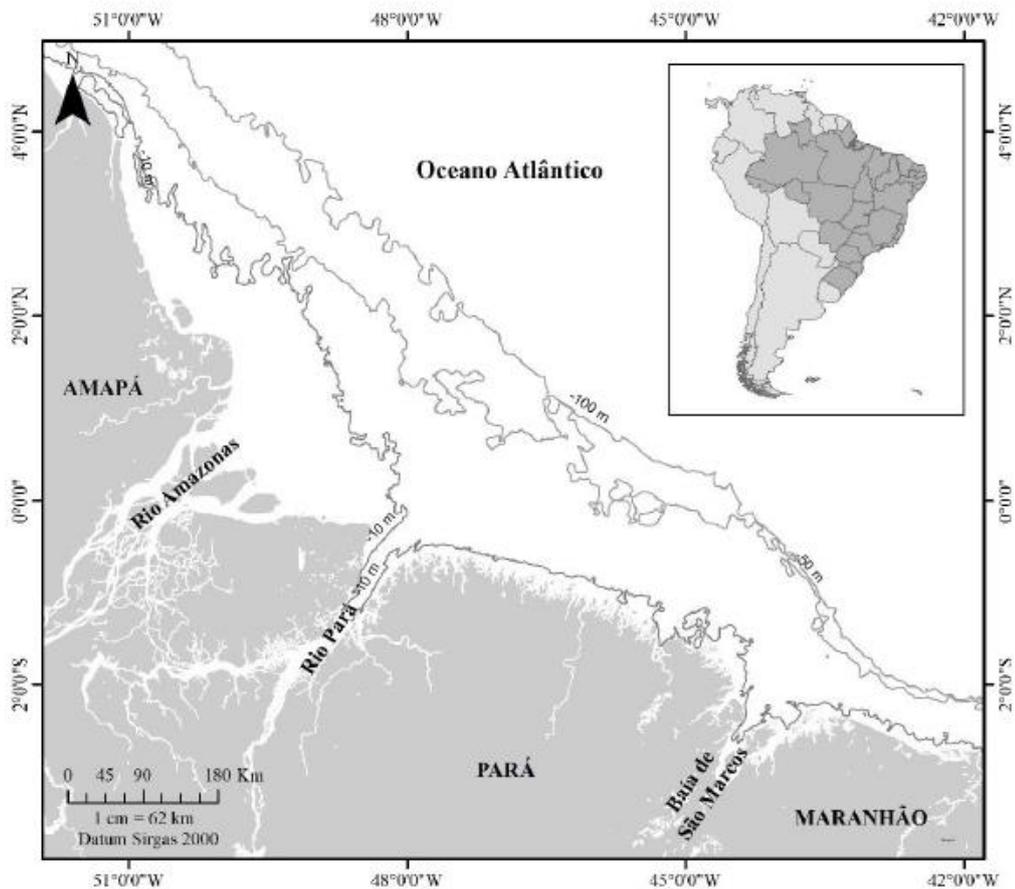


Figura 5- Mapa de localização da área de estudo: Plataforma Continental Norte do Brasil.
Fonte: Autor.

4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

O arcabouço morfoestrutural da região costeira e da PCNB, caracteriza-se por apresentar uma ampla depressão estrutural e topográfica, que corresponde à parte mais larga e menos inclinada da plataforma (Gorini 1981). Segundo Gomes (2019), a PCNB subdivide-se em três setores com formações geológicas distintas: Litoral Guianense, Golfão Amazônico e Litoral Amazônico Oriental (Figura 4). O primeiro setor, denominado Litoral Guianense, localiza-se entre a foz do Rio Amazonas e a Guiana Francesa, e tem como principal característica extensas planícies de maré lamosas ocupadas por manguezais de grande envergadura. Este trecho constitui uma típica costa deposicional, condicionada por macromarés que espalham a lama amazônica que a Corrente Equatorial Brasileira (CEB) empurra em direção ao norte (El-Robrini *et al.* 2015).

Ao longo do litoral do Amapá, ocorre uma expressiva deposição de sedimentos finos trazidos pelo Rio Amazonas, a região costeira emersa é formada por uma planície holocênica, de baixa altitude e largura variando de 10 a 100 km.

O segundo setor, compreende o Golfão Amazônico, esta área é ocupada por um complexo deltaico-estuarino, de costas baixas e instáveis, que foram submetidas à ação de processos fluviais e marinhos, responsável pela formação de falésias. Além da deposição que contribui para o desenvolvimento de planícies alagadas, que caracterizam o grande número de ilhas constituintes do arquipélago marajoara (Gomes 2019).

O terceiro setor corresponde ao Litoral Amazônico Oriental, com um grande número de estuários cercados por colinas baixas, constituídas por sedimentos terciários da Formação Barreira. As irregularidades da linha de costa são acentuadas pelos mangues que ocorrem neste setor gerando amplas planícies de maré (EL-Robrini *et al.* 2015).

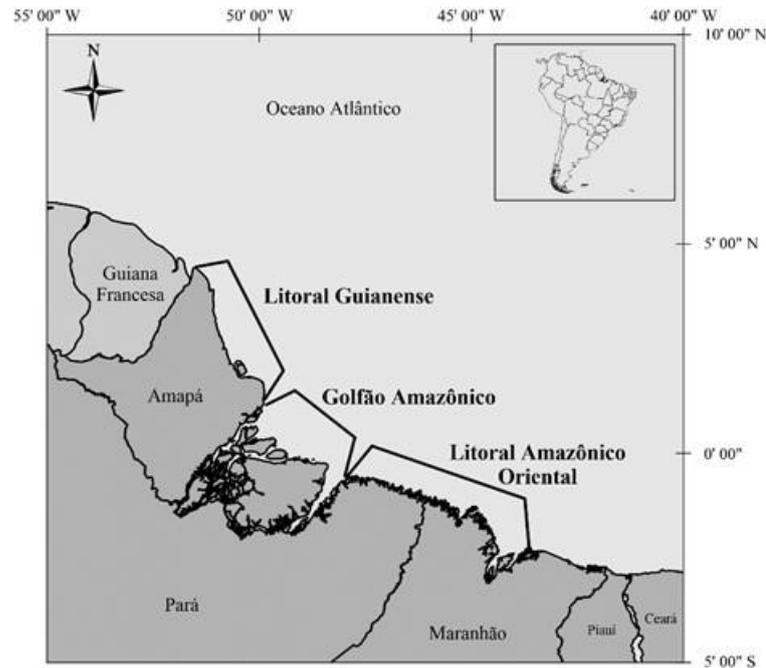


Figura 6 - Mapa ilustrativo com subdivisão da Plataforma Continental Norte do Brasil em setores.
Fonte: Autor.

4.3 PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS E METEOROLÓGICOS

Os principais processos físicos que ocorrem na PCNB são: correntes de maré, oscilação de longo período de ressurgência e subsidência induzidas pelo vento, plumas com efeitos de densidade geradas por altas concentrações de sedimentos em suspensão ou pela salinidade, processos litorâneos na zona de arrebentação entre a plataforma interna e a costa, influência de ondas gravitacionais de superfície e influência das correntes oceânicas sobre a plataforma (Fontes 2008). Além disto a região é altamente energética e a hidrodinâmica é influenciada pela ação conjunta de três forçantes: atmosférica, oceânica e amazônica, conforme mostra a Figura 7.

A forçante atmosférica é caracterizado pela zona de convergência intertropical - ZCIT consiste em uma zona de baixa pressão atmosférica, provocando o regime de ventos alísios e das precipitações, determinando a alternância das estações climáticas e a hidrologia dos rios locais (Silveira & Santos 2016).

Segundo Figueroa & Nobre (1990) e Marengo (1995), a ZCIT é o principal sistema meteorológico gerador de chuva, especialmente no primeiro semestre do ano, quando a ZCIT se move em direção à área costeira e oceânica dos estados do Maranhão, Pará e Amapá caracterizando o período chuvoso. Já nos meses de julho a dezembro a ZCIT se desloca para o Hemisfério Norte. A região encontra-se em baixa latitude e apresenta alta quantidade de calor

e umidade, com altos índices pluviométricos e fortes pancadas de chuva (Martorano *et al.* 1993).

A forçante oceânica resulta da circulação oceânica geral (Corrente Norte Equatorial) e sua modulação com a forçante atmosférica (retroflexão da Corrente Costeira Norte Brasileira). A forçante amazônica é resultante do transporte dos aportes dos rios Amazonas e Pará, estando, ela mesma, sob a influência das forçantes atmosférica e oceânica.

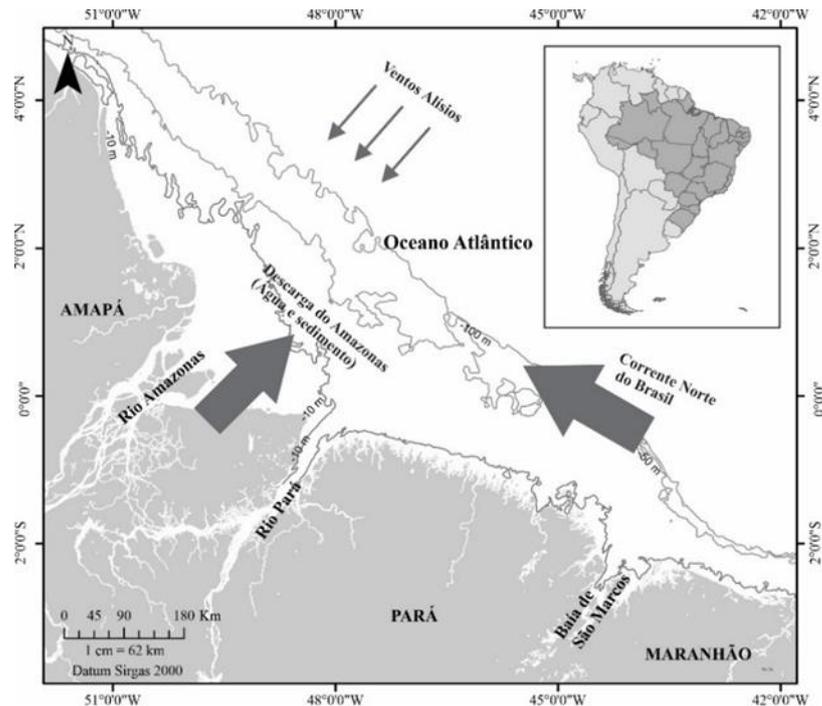


Figura 7 - Principais forçantes que atuam na Plataforma Continental Norte. Fonte: Autor.

4.4 HIDROLOGIA

4.4.1 Rio Pará

O rio Pará desempenha papel importante para o aporte de água fluvial na região da Plataforma, pois sua descarga líquida e de aproximadamente $2 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Prestes 2016). Este rio, inicia-se na baía das bocas e segue bordejando o sul e o leste da ilha do Marajó, com uma largura de 60 km na sua foz, sendo dominado por maré ao longo dos 350 km de extensão longitudinal (Rosário *et al.* 2016, Prestes *et al.* 2017). Segundo Prestes *et al.* (2016), a vazão deste rio está associada à energia das marés, podendo atingir picos de $300.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante a vazante e $200.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante a enchente.

O rio Pará apesar de ser o segundo maior estuário da Plataforma Continental Amazônica (PCA), tem baixa magnitude de vazão fluvial quando se comparado ao rio Amazonas, permitindo que haja uma intrusão salina no interior do estuário durante o período de baixa descarga fluvial. Segundo Rosário *et al.* (2016), o do rio Pará apresenta uma intrusão salina longitudinal durante a maré de sizígia de até 130 km no período seco e 70 km para o período chuvoso, resultante da ação combinada da maré e descarga fluvial das bacias que drenam o mesmo. Segundo Mascarenhas *et al.* (2016) a pluma estuarina gerada pelo rio Pará se estende até 200 km sobre a área da PCA, somente em condições de alta descarga fluvial, sendo o limite no qual as plumas do rio Amazonas e Pará interagem.

4.4.2 Rio Amazonas

O Rio Amazonas se estende desde os Andes, cruzando a floresta Amazônica até o Atlântico, e cobre uma área de aproximadamente 7×10^6 km², sendo considerada a maior bacia hidrográfica do mundo em descarga de água doce (Nittrouer & Demaster 1986). Segundo Oltman (1968) e Muller-Korger *et al.* (1988), o rio Amazonas descarrega em torno 180.000 m³ s⁻¹ de água doce no Oceano Atlântico, contribuindo com cerca de 18% do total de água continental lançada nos oceanos.

Segundo Prestes (2021), a variabilidade da descarga fluvial interanual está associada ao regime de chuvas da região (pluviosidade), onde nos meses de janeiro a junho considerado o período chuvoso, se tem como característica principal elevados valores de umidade relativa do ar, que contribui diretamente para a redução das taxas de evaporação e maior ocorrência pluviométrica (chuvas). Além disto no período chuvoso, ocorrem as maiores médias mensais de descarga fluvial para os rios Amazonas e Pará. Já durante os meses de julho a dezembro considerado o período seco, temos como característica a maior incidência de radiação solar, aumento da insolação que favorece o aumento das taxas de evaporação e redução da precipitação (chuva). Estes fatores influenciam para a ocorrência das menores médias mensais de aporte continental.

A água continental do rio Amazonas forma uma pluma sazonal de grande flutuabilidade e dispersão que pode exceder 200 km oceano adentro e cerca de 1000 km em direção noroeste (Gibbs 1970, Lentz & Limeburner 1995).

Durante o verão a pluma de água doce é armazenada próxima a foz do rio Amazonas, aprisionada contra a costa por conta da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a desembocadura do rio Amazonas e dos ventos de nordeste na superfície. Já nos períodos

de inverno, a água é carregada para noroeste em direção a Corrente do Caribe, transporte facilitado pela ação dos ventos de sudeste, o transporte também tem componentes para leste por conta Retroflexão da CNB e da Contracorrente Norte Equatorial (CCNE).

4.4.3 Baía de São Marcos

A Baía de São Marcos, localizada no Estado do Maranhão é uma zona estuarina orientada na direção NE-SW, na qual dois tipos distintos de costa compõem sua morfologia. A Nordeste, a costa é sub – retilínea, composta por praias arenosas, dunas e paleodunas. Já a Noroeste, a costa é recostada por rias e vegetada por manguezais.

Esta Baía, possui 50 km em sua parte norte, 15 km em sua parte central (entre Alcântara e a ponta de São Marcos), 25 km ao nível da ilha dos Carangueijos e 4 km na foz do rio Mearim (El-Robrini 1990). Sua drenagem hídrica é alimentada pelos rios Grajaú, Mearim, Munim e Pindaré, obedecendo os ciclos sazonais a estimativa máxima da vazão total na região e de aproximadamente $1.300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, além disto há a predominância de correntes de maré reversas, que se deslocam perpendicularmente a costa, onde seus fluxos de enchente são mais intensos que os de vazante, enquanto que na foz da baía de São Marcos, a velocidade das correntes pode atingir 3,8 m/s, porém com fluxos de vazante superiores aos de enchente (Brasil 1972).

Segundo Pontes (2007), na Foz da baía de São Marcos, a velocidade de preamar entra em direção a SW com uma velocidade de 2 m/s, as águas de vazante saem com mais intensidade e fluem na direção N, atingindo velocidades de aproximadamente 2,8 m/s.

4.5 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Os dados de temperatura, salinidade e densidade utilizados nesta pesquisa foram obtidos através do banco nacional de dados da Marinha do Brasil (BNDO), durante seis cruzeiros oceanográficos: Amassedts I, II e III, Oceano Norte I, MCT VII e CBO em anos distintos: 1989, 1990, 2001, 2012 e 2016, (Figura 8). Além de cinco meses do Projeto Costa Norte: março, julho, novembro, dezembro 2018 e janeiro de 2019, (Figura 9). Desta forma o conjunto de dados corresponde às campanhas, períodos e seus respectivos eventos atmosféricos estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Campanhas, períodos de amostragem e eventos climáticos.

Campanhas	Meses/ anos	Período	Eventos climáticos
AMASSEDS I	Agosto - 1989	Seco	LA - NIÑA (forte)
AMASSEDS II	Fevereiro/março - 1990	Chuvoso	EL - NIÑO (forte)
AMASSEDS III	Maio/junho - 1990	Chuvoso	EL - NIÑO (forte)
Oceano Norte I	Julho/setembro - 2001	Seco	LA - NIÑA (moderado)
MTC VII	Outubro - 2012	Seco	LA - NIÑA (moderado)
CBO	Novembro - 2016	Seco	EL - NIÑO (forte)
Projeto Costa Norte	Março, julho, novembro, dezembro e janeiro - 2018/2019	Seco/chuvoso	LA - NIÑA (fraca)

Os perfis de temperatura, salinidade e densidade, foram realizados ao longo da PCNB com a intenção de verificar as mudanças interanuais e sazonais dos parâmetros de TS. Os perfis verticais foram utilizados para identificar as massas de água a cada período. Os dados utilizados nesta pesquisa passaram pela conversão da condutividade para a obtenção da salinidade, essa conversão é baseada na nova equação do estado da água do mar, que utiliza um pacote computacional “gs_seawater” fornecido pela International Thermodynamic Equation of Seawater 2010 - TEOS-2010 (IOC; SCOR; IAPSO, 2010). Desta forma a unidade adotada para a salinidade oceânica é “g/kg”.

Foram utilizados apenas os perfis de descida, para a confecção gráfica, utilizando o método de interpolação spline, que produz superfícies lisas e permite a interpolação de dados nos intervalos de profundidade desejados.

Todos os perfis referentes as estações passaram por rotinas computacionais de processamento a fim de excluir dados que não faziam parte dos meses e anos estabelecidos nesta pesquisa, bem como os incompletos e/ou parciais, garantindo o aproveitamento de todos os dados obtidos a cada metro da coluna d’água, durante a descida do CTD. As análises e gráficos desta pesquisa foram feitos a partir do programa Ocean Data View (ODV), versão 2021.

A identificação das massas d’água foi obtida através da análise dos diagramas TS e sua classificação basearam-se nos índices termohalinos propostos pelos autores Thomsen (1962), Silva *et al.* (2005), Dias *et al.* (2013), além da classificação das principais massas d’água que ocorrem no Oceano Atlântico Sul. Para a melhor visualização das massas d’água sazonais, adotou-se a divisão da PCNB em três setores: Setor 1 (São Marcos), Setor 2 (rio Pará) e Setor 3 (Foz do Amazonas).

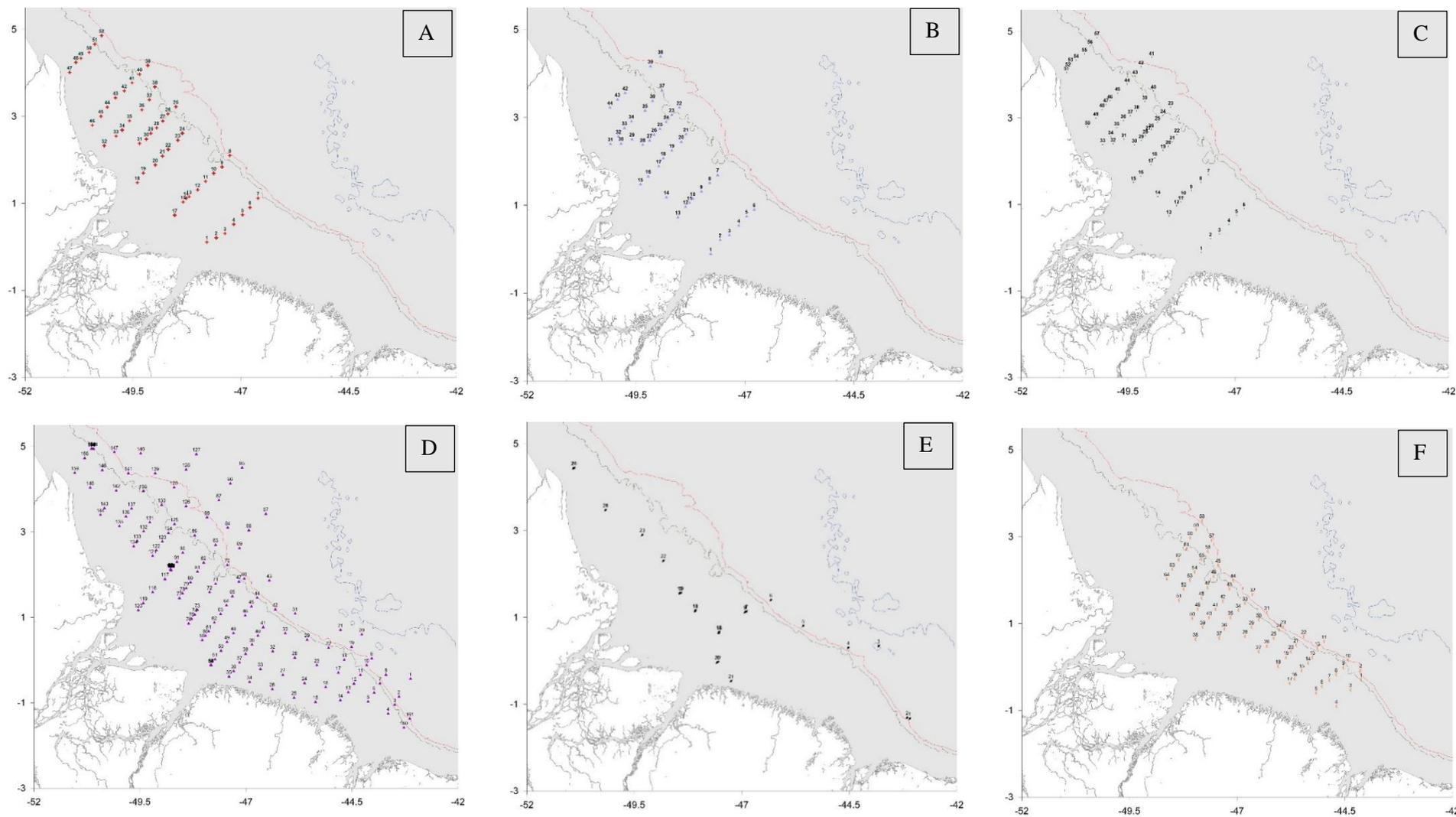


Figura 8 - Cruzeiros e seus respectivos pontos de amostragem ao longo da Plataforma Continental Norte: A) AMASSEDS I - 1989; B) AMASSEDS II - 1990; C) AMASSEDS III - 1990; D) Oceano Norte I - 2001; E) MTC VII - 2012 e D) CBO - 2016. Fonte: Autor.

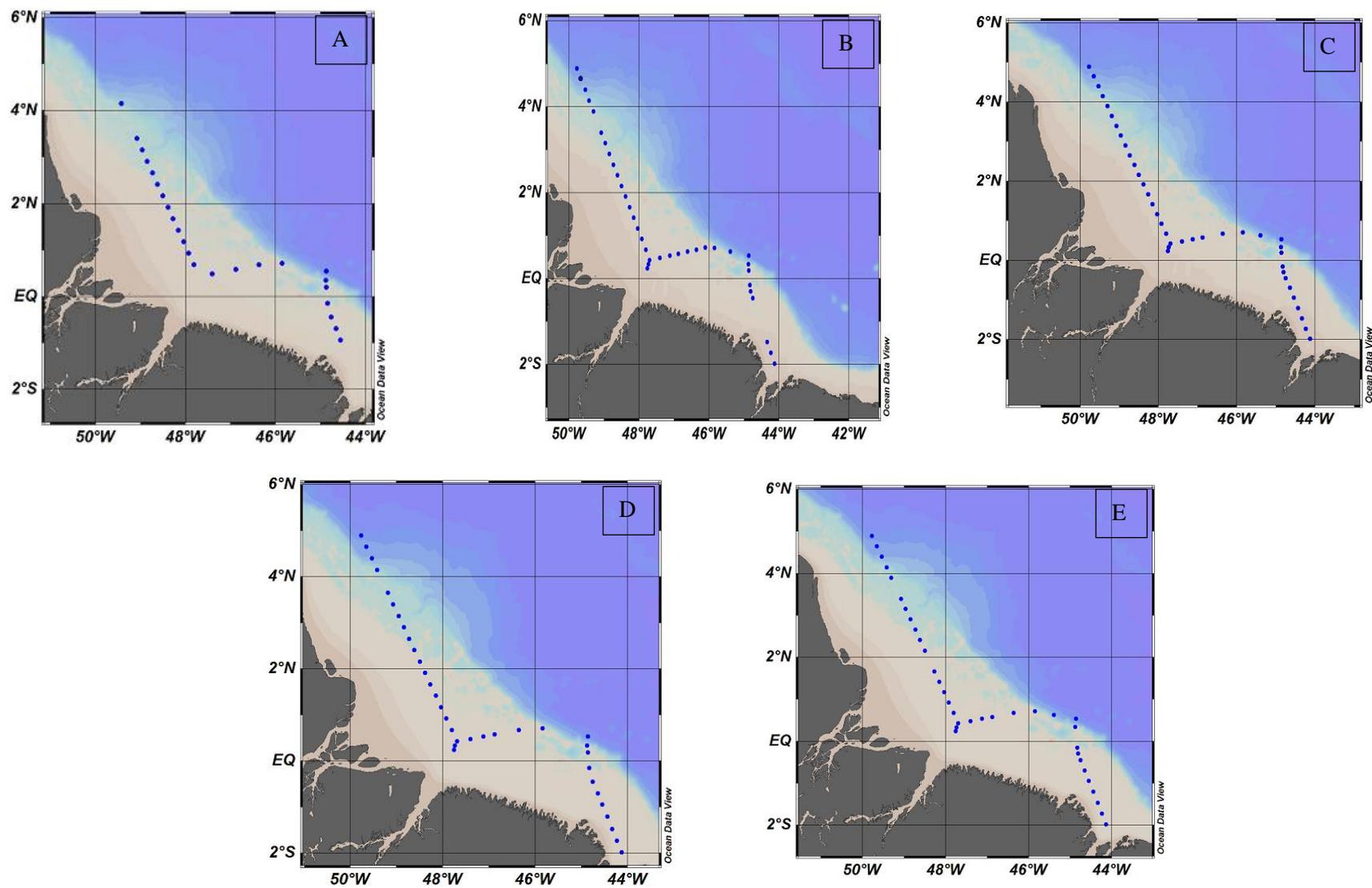


Figura 9 - Projeto CN pontos por período: A) março - 2018; B) julho - 2018; C) novembro - 2018; D) dezembro - 2018; E) janeiro - 2019. Fonte: Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VARIABILIDADE INTERANUAL E CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA

Durante os cruzeiros AMASSEDS I - 1989, AMASEDS II - 1990 e AMASSEDS III - 1990, ocorridos em períodos distintos, foi possível perceber semelhanças no comportamento de distribuição de TS entre eles, onde para o cruzeiro AMASSEDS I, durante o período seco, observou-se a presença de águas quentes com temperatura próxima de 30 °C e de menor salinidade, com variação mínima de 0 g/kg e máxima de 34 g/kg. No entanto, ao longo do perfil observou-se a redução gradual de temperatura e o aumento de salinidade, onde os valores obtidos foram de 5 °C e 34 g/kg, (Figura 10).

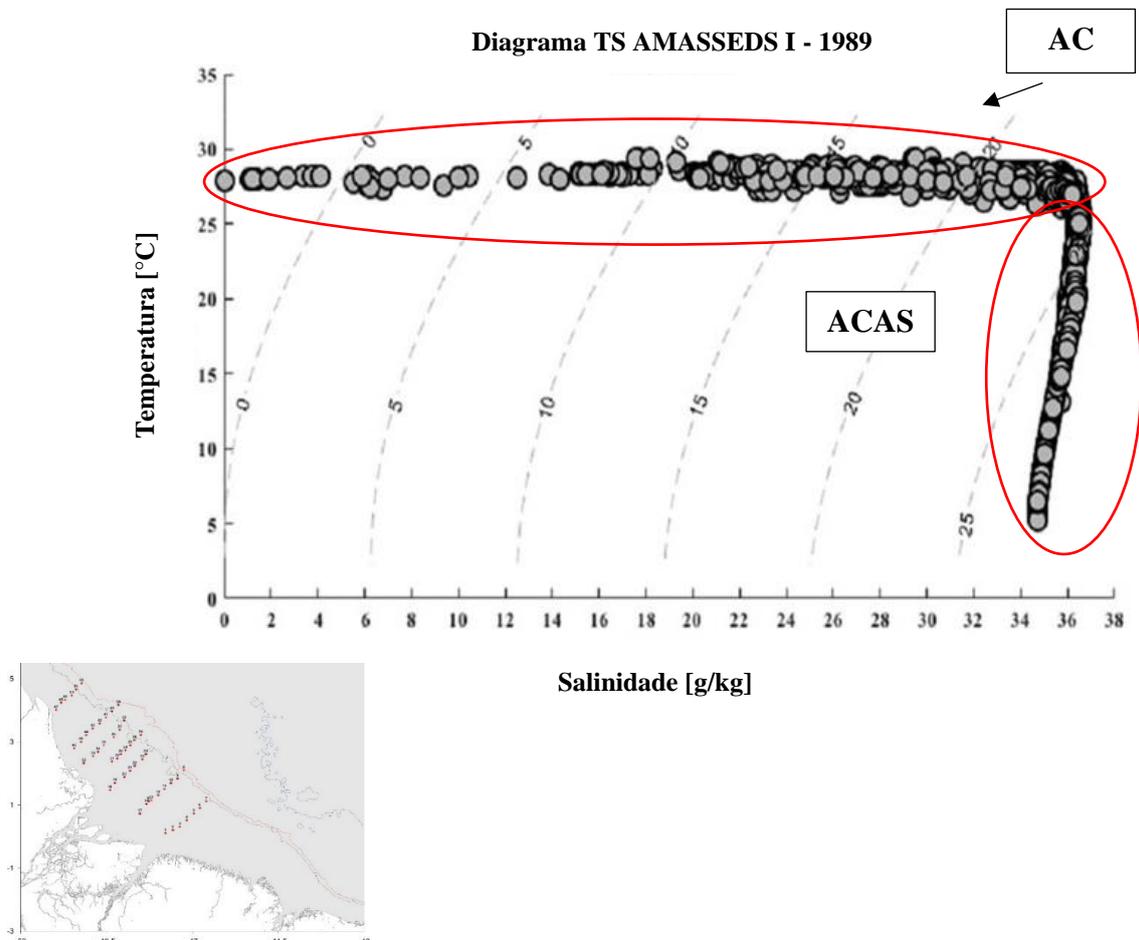


Figura 10- Diagrama TS cruzeiro AMASSEDS I e identificação de massas d'água. Fonte: Autor.

O cruzeiro AMASSEDS II – 1990, durante o período chuvoso, apresentou semelhanças com o diagrama apresentado anteriormente, onde encontramos águas quentes com temperaturas próximas de 28 °C e salinidade com valor mínimo de 0 g/kg e máximo de 34 g/kg, porém ao longo do perfil foi possível observar a redução gradual de temperatura e o aumento de salinidade, onde seus respectivos valores foram de aproximadamente 5°C e 34 g/kg, (Figura 11).

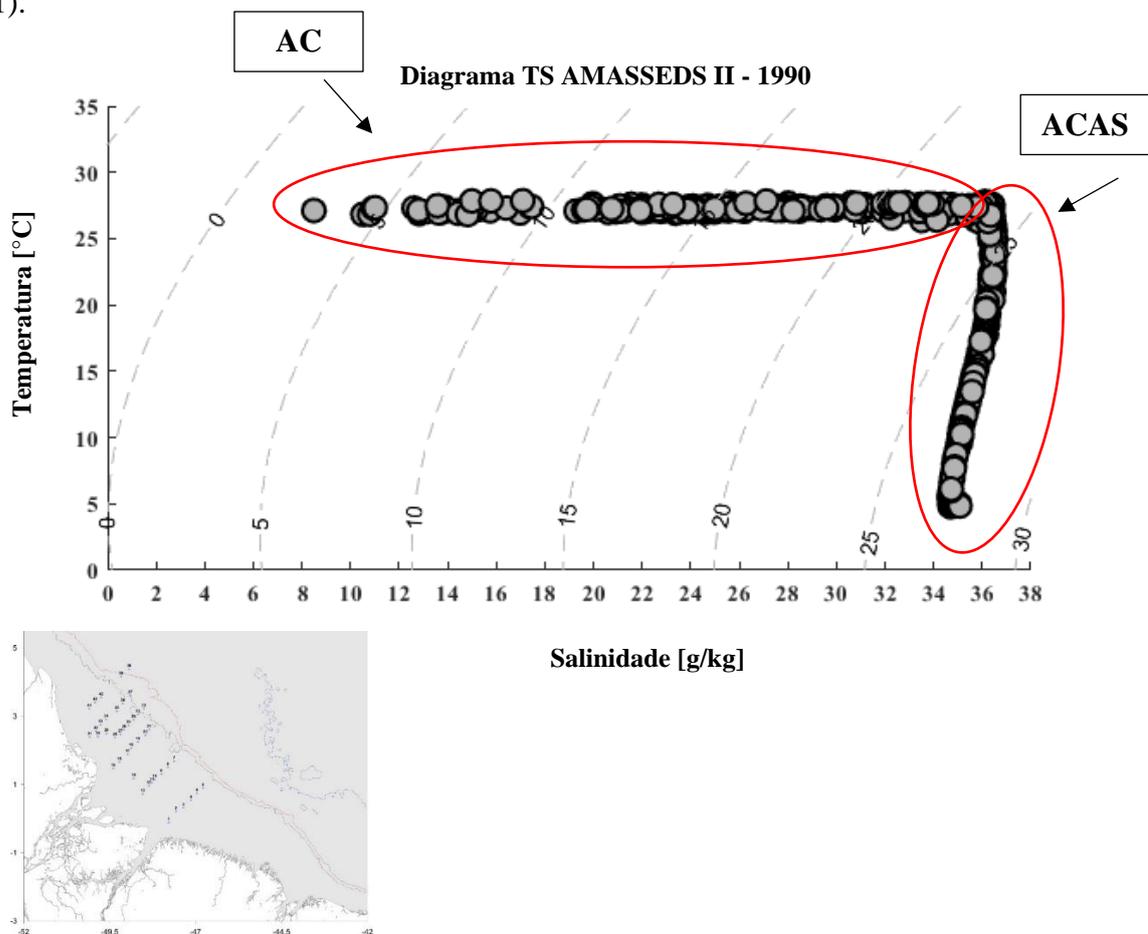


Figura 11- Diagrama TS cruzeiro AMASSEDS II e identificação de massas d'água. Fonte: Autor.

Para o cruzeiro AMASSEDS III - 1990, durante o período chuvoso, foi possível perceber que as variações de TS acompanham o mesmo padrão de distribuição observado anteriormente, com águas quentes próximas de 28°C e menos salinas que apresentaram variações de 0 g/kg a 34 g/kg e o decorrer do diagrama corre a redução de temperatura e o aumento de salinidade (Figura 12).

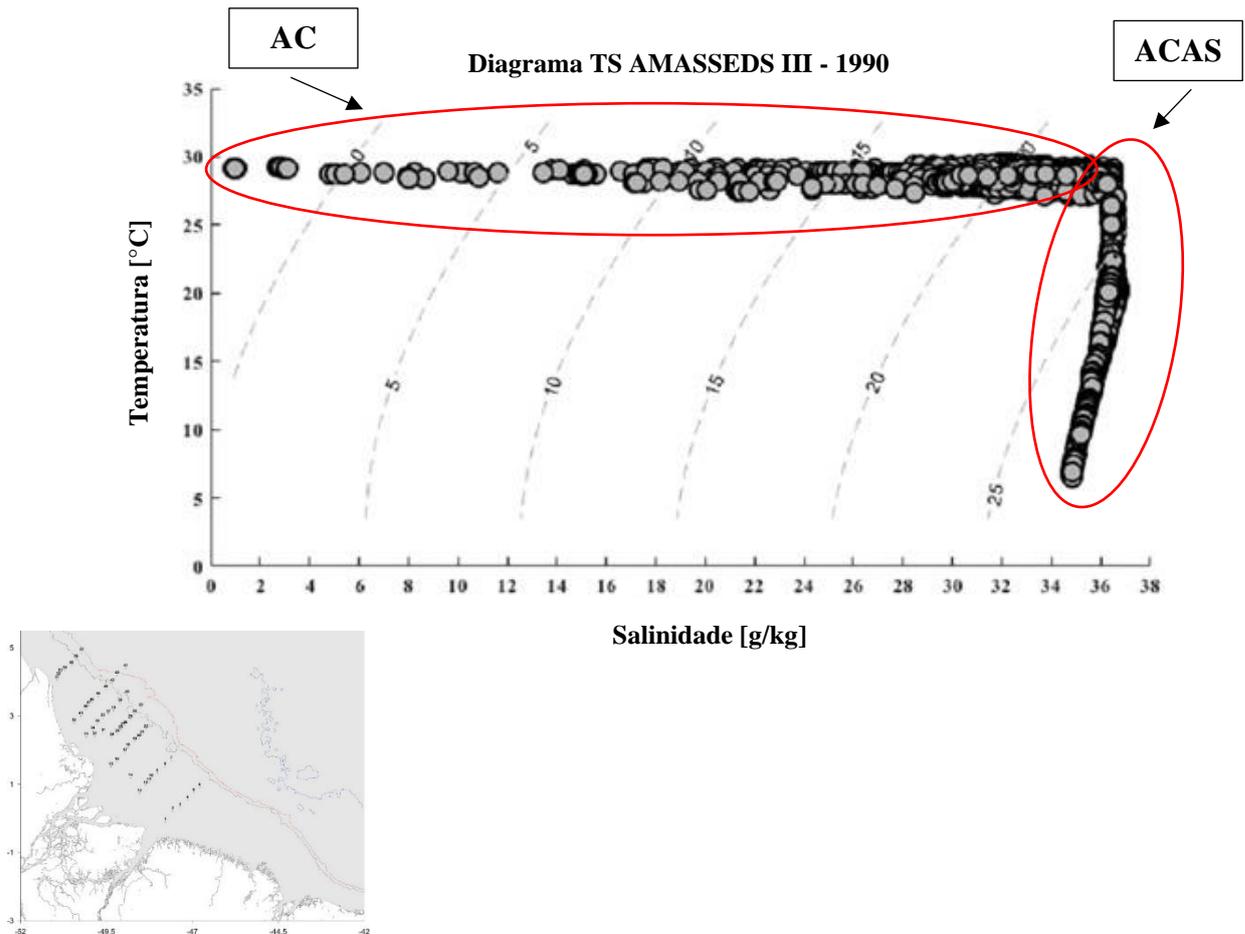


Figura 12- Diagrama TS cruzeiro AMASSEDS III e identificação de massas d'água. Fonte: Autor.

Os cruzeiros Oceano Norte I - 2001, MTC VII - 2012 e CBO - 2016, ocorreram durante o período seco e ambos apresentaram semelhanças de distribuição de temperatura e salinidade, onde foi possível observar no cruzeiro Oceano Norte I, múltiplas variações de temperatura e salinidade ao longo do diagrama, (Figura 13).

A primeira variação observada ocorreu na porção esquerda do diagrama, sendo observada a existência de águas quentes com temperatura média de 27°C e salinidade entorno de 24 g/kg, em seguida observou-se a redução gradual de temperatura e o aumento de salinidade. Outra variação de TS observada neste cruzeiro ocorreu horizontalmente, sendo possível perceber a presença de águas menos quentes com temperatura média de 22°C e que ao longo do diagrama reduziram a valores mínimos de 5°C, a salinidade demonstrou aumento, porém foi percebido que a mesma volta a reduzir com o crescimento de temperatura.

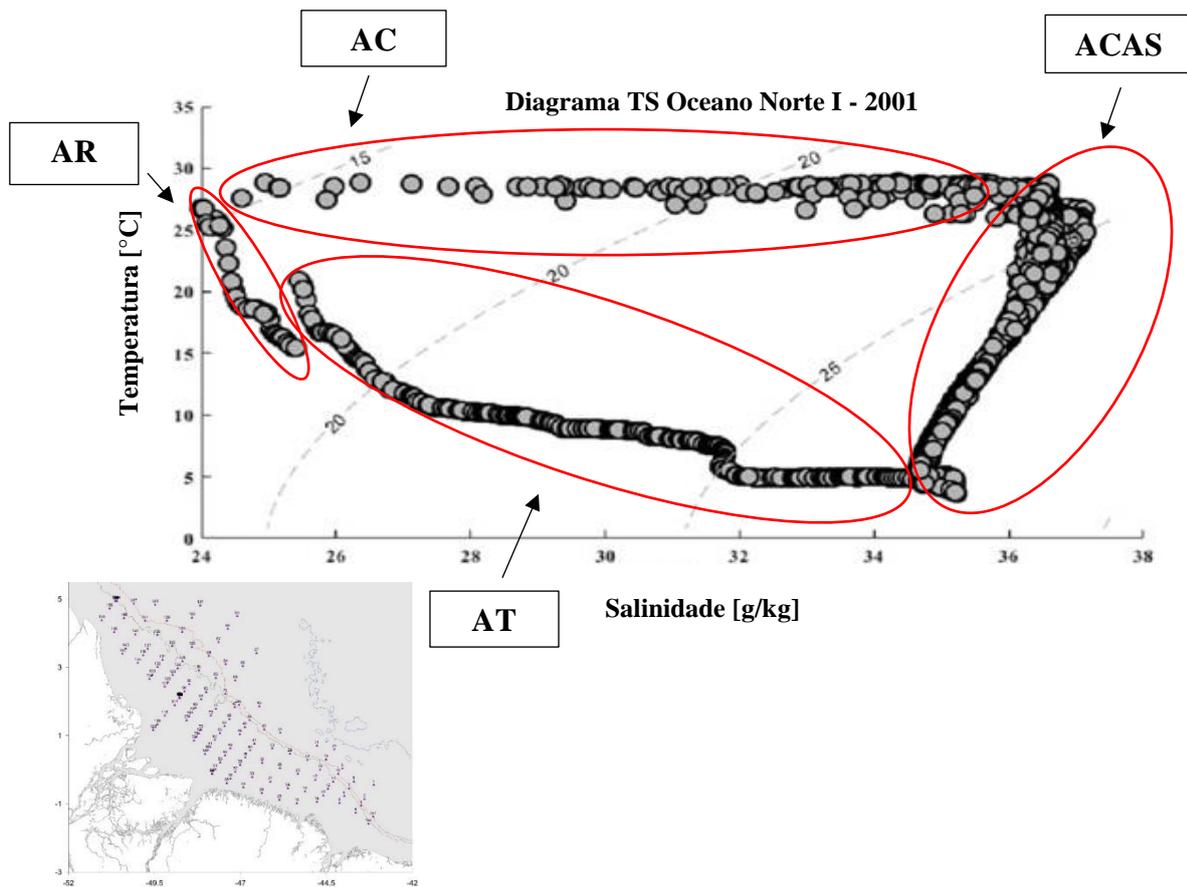


Figura 13- Diagrama TS cruzeiro Oceano Norte I e identificação de massas d'água. Fonte: Autor.

O diagrama TS do Cruzeiro MTC VII, (Figura 14), apresentou grandes variações de temperatura, onde a mesma se iniciou com valor médio de 28 °C, porém ao longo do diagrama ocorreu a redução da mesma. Em relação a salinidade não foram identificados valores menores que 34 g/kg. O cruzeiro CBO, (Figura 15), apresentou similaridades de distribuição com o cruzeiro mencionado anteriormente, onde o diagrama se iniciou com a presença de águas quentes com valor máximo de 30 °C e que ao longo do diagrama reduz a valores próximos de 5 °C, a salinidade neste cruzeiro foi maior que 34 g/kg.

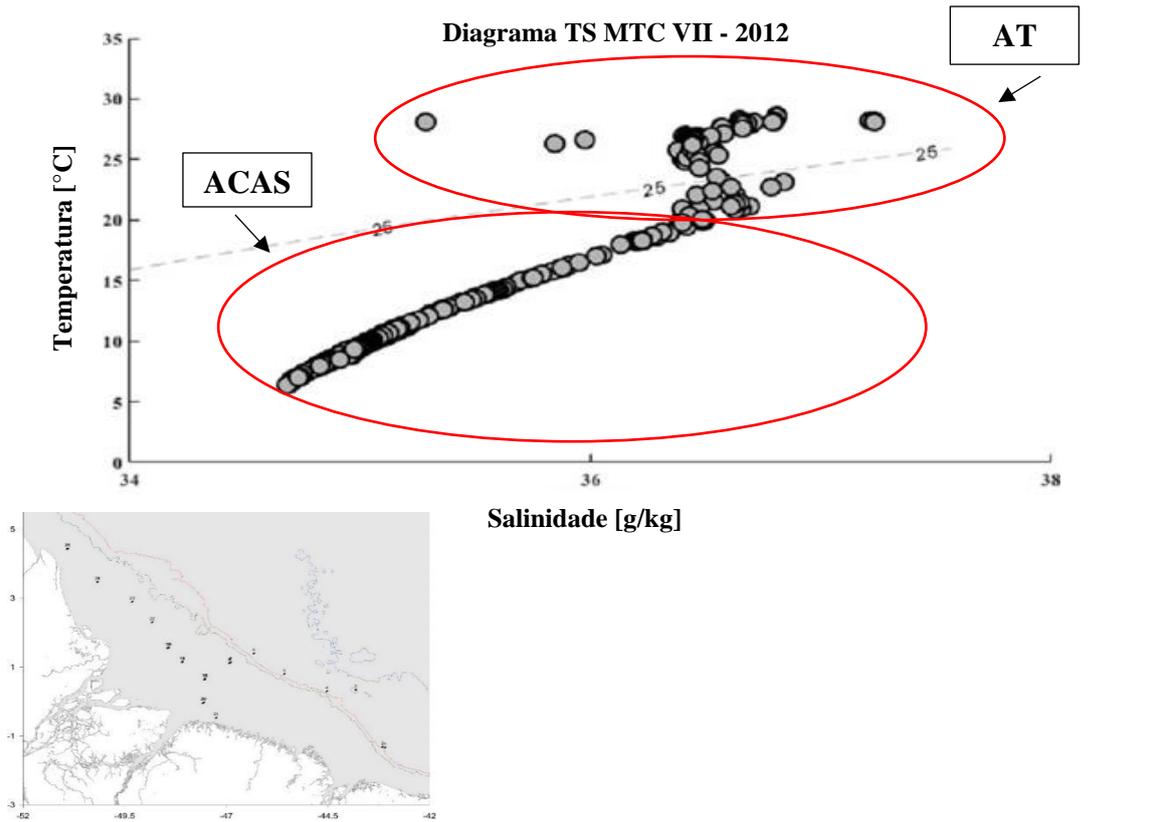


Figura 14- Diagrama TS cruzeiro MTC VII e identificação de massas d'água. Fonte: AUTOR.

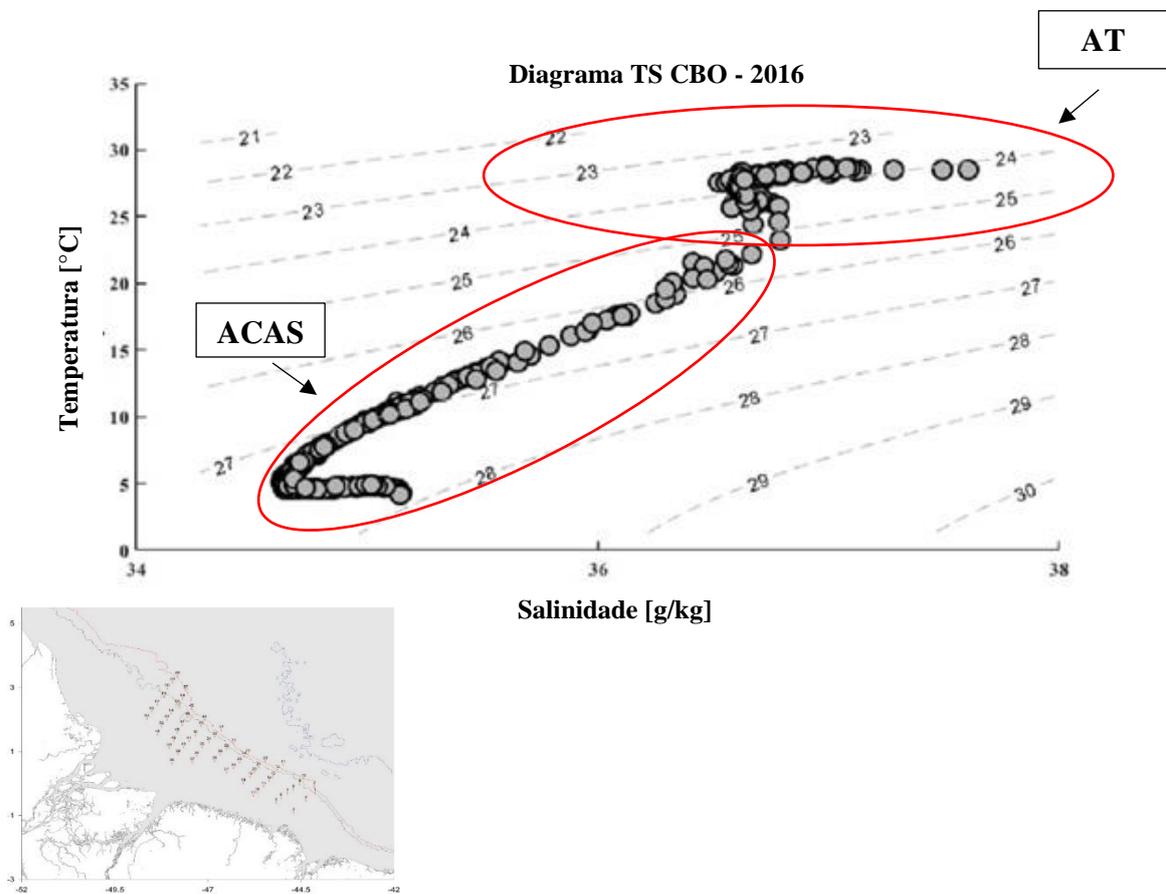


Figura 15- Diagrama TS cruzeiro CBO e identificação de massas d'água. Fonte: Autor.

De acordo com os diagramas TS apresentados, observou-se que os parâmetros físicos de temperatura e salinidade variaram consideravelmente ao longo dos períodos analisados, onde foi possível identificar a presença de águas quente de menor salinidade e de águas frias de elevadas salinidades ocorrendo em todos os anos para os períodos (seco/chuvoso). Para a PCNB foram identificados quatro tipos de massas d'água sendo estas: Água de Rio (AR), Água Costeira (AC), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água Tropical (AT). Os índices termohalinos propostos para as massas d'água interanuais que ocorreram sobre a plataforma constam na Tabela 6.

Os cruzeiros AMASEDS I, II e III, ocorridos durante os anos de 1989 e 1990, respectivamente, apresentaram dois tipos de massas d'água ocorrendo no diagrama sendo estas AC e ACAS. Massas d'água do tipo AC, possuem características físicas de águas continentais com temperaturas elevadas variando de 26°C a 30°C e salinidade inferior ou igual a 34 g/kg. Já as massas d'água do tipo ACAS, apresentam grandes variabilidades de temperatura e elevadas salinidades, além de apresentarem consideráveis concentrações de nutrientes. ACAS é originada na Convergência Subtropical por meio da subsidência das massas d'água na confluência Brasil-Maldivas.

A ocorrência destas duas massas d'água indicam que durante o período analisado a descarga hídrica dos rios Amazonas e Pará exerceram influência sobre as águas oceânicas em determinado momento, visto que os pontos de amostragem se localizam na porção entre o rio Pará e Foz do Amazonas.

Já para o cruzeiro Oceano Norte I, ocorrido no ano de 2001, foram identificadas quatro massas d'água ocorrendo AR, AC, AT e ACAS. A massa d'água AR, tem como principal característica elevadas temperaturas e salinidade inferior ou igual a 30 g/kg. Já a massa d'água do tipo AT é conhecida por ser tipicamente oceânica, sendo formada na Corrente Sul Equatorial (CSE). A localização dos pontos de amostragem pode ter contribuído na ocorrência das massas d'água identificadas, visto que os mesmos abrangeram toda a extensão da plataforma. Desta forma a ocorrência de AR e AC indicam que a drenagem dos rios predominou sobre as oceânicas em determinada porção da coluna d'água. Já a presença de AT e ACAS, indicam que também houve a influência de águas oceânicas sobre a plataforma (Strrama & England 1999).

Nos cruzeiros MTC VII e CBO, ocorridos nos anos de 2012 e 2016 respectivamente, foram identificadas duas massas de água ocorrendo na PCNB AT e ACAS, a presença destas duas massas d'água indicam que a descarga hídrica dos rios não exerceu influência sobre as águas oceânicas.

Tabela 6 - Índices termohalinos propostos para as massas identificadas interanualmente sobre a PCNB.

Temperatura	Salinidade	Massas de água
≤29 °C	≤ 30 g/kg	PE – Pluma Estuarina
26,0 - 30 °C	≤ 34 g/kg	AC - Água Costeira
5,0 - 27,4 °C	34,4 - 36,9 g/kg	ACAS - Água Central do Atlântico Sul
> 18°C	24 - 38 g/kg	AT - Água Tropical

Resultados semelhantes ao encontrados nesta pesquisa foram identificados por Pontes (2007), ao analisar a Plataforma Continental do Maranhão durante os períodos seco e chuvoso, onde observou consideráveis variações de TS ocorrendo em ambos os períodos, além de identificar a ocorrência de quatro tipos de massa d'água: AC, AM (Água de Mistura), ACAS e AT. Silva *et al.* (2005), ao estudar a Plataforma Continental do Amazonas e áreas oceânicas adjacentes, durante os anos de 1997 (período seco) e 1999 (período chuvoso), também observou grandes variações de TS e identificou a ocorrência de quatro massas d'água: AC, AT, ACAS e AIA (Água Intermediária da Antártica) e Neto *et al.* (2021), ao analisar a coluna d'água e os gradientes de fundo da Plataforma a leste da foz do rio Amazonas identificou três massas d'água: Pluma do Rio Amazonas (PRA), AT e ACAS.

Grandes variabilidades de TS são características das regiões de baixas latitudes, por conta da elevada incidência de radiação solar em determinados meses do ano, além da descarga dos rios. Estas variabilidades são regidas pelos padrões oceanográficos e meteorológicos que atuam sobre a PCNB. A ZCIT provoca o regime de ventos alísios e das precipitações, determinando a alternância das estações climáticas e a hidrologia dos rios locais, além de ser o principal sistema causador de chuvas e o seu deslocamento quando associado a CNB, possibilita o deslocamento de águas continentais para além da plataforma e permite a entrada de águas oceânicas na plataforma.

5.2 VARIAÇÃO SAZONAL

De acordo com a análise dos diagramas TS, percebeu-se que a temperatura e a salinidade variaram bastante durante os períodos seco e chuvoso, onde foi possível observar que no mês de março - 2018, durante o período seco (Figura 16), que a temperatura variou entre 22 °C e 28 °C e a salinidade obteve valores entre 34 g/kg e 36,4 g/kg. Águas de maior temperatura foram identificadas em superfície e atingiram profundidades próximas de 40 m e as de menor temperatura foram identificadas a partir de 60 m e atingiram a profundidade de 80 m.

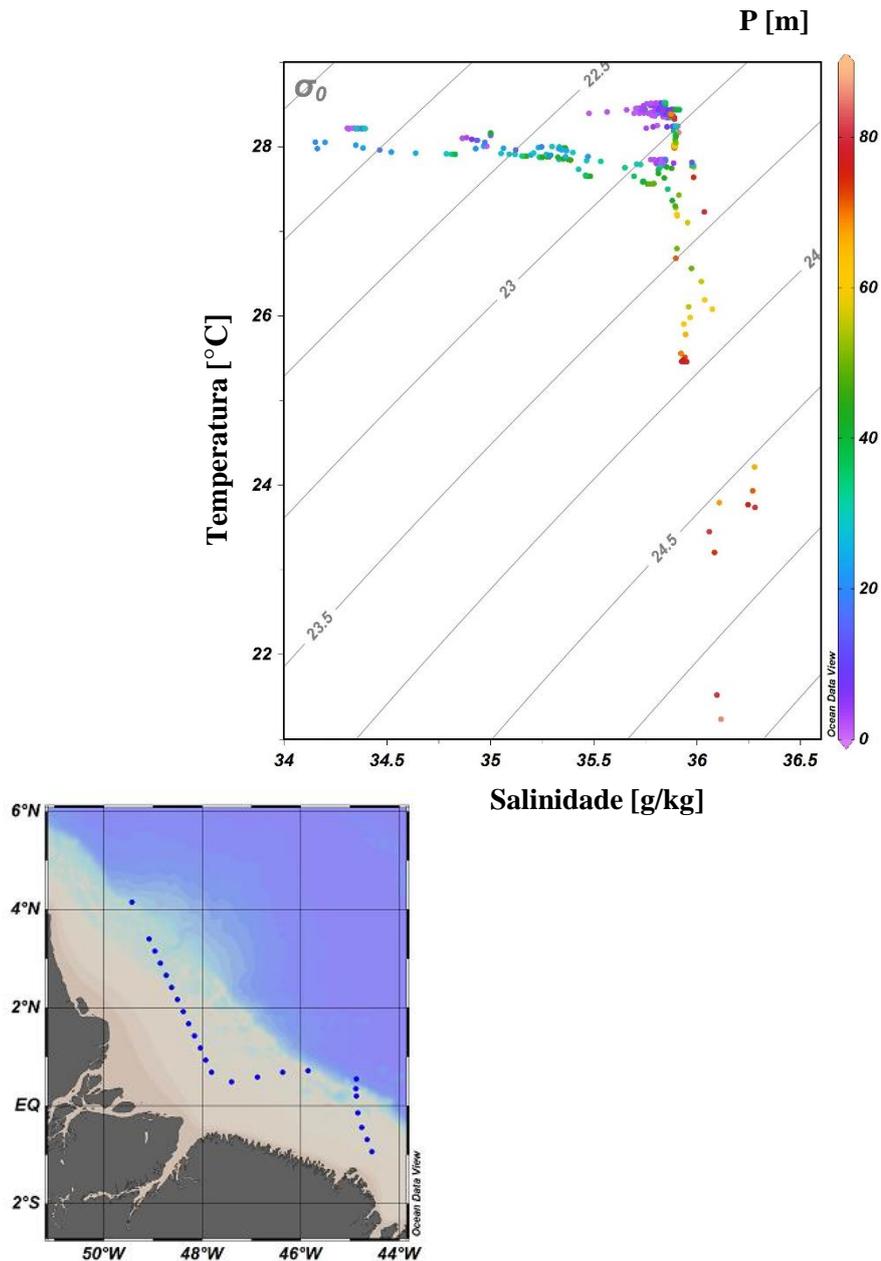


Figura 16 - Diagrama TS período chuvoso (março - 2018). Fonte: Autor.

Durante o mês de julho - 2018, durante o período seco (Figura 17), foram identificadas variações as menores variações de TS durante os meses analisados, visto que a temperatura teve valores de 26 °C e 28 °C e a salinidade entre 35 g/kg e 36,5 g/kg.

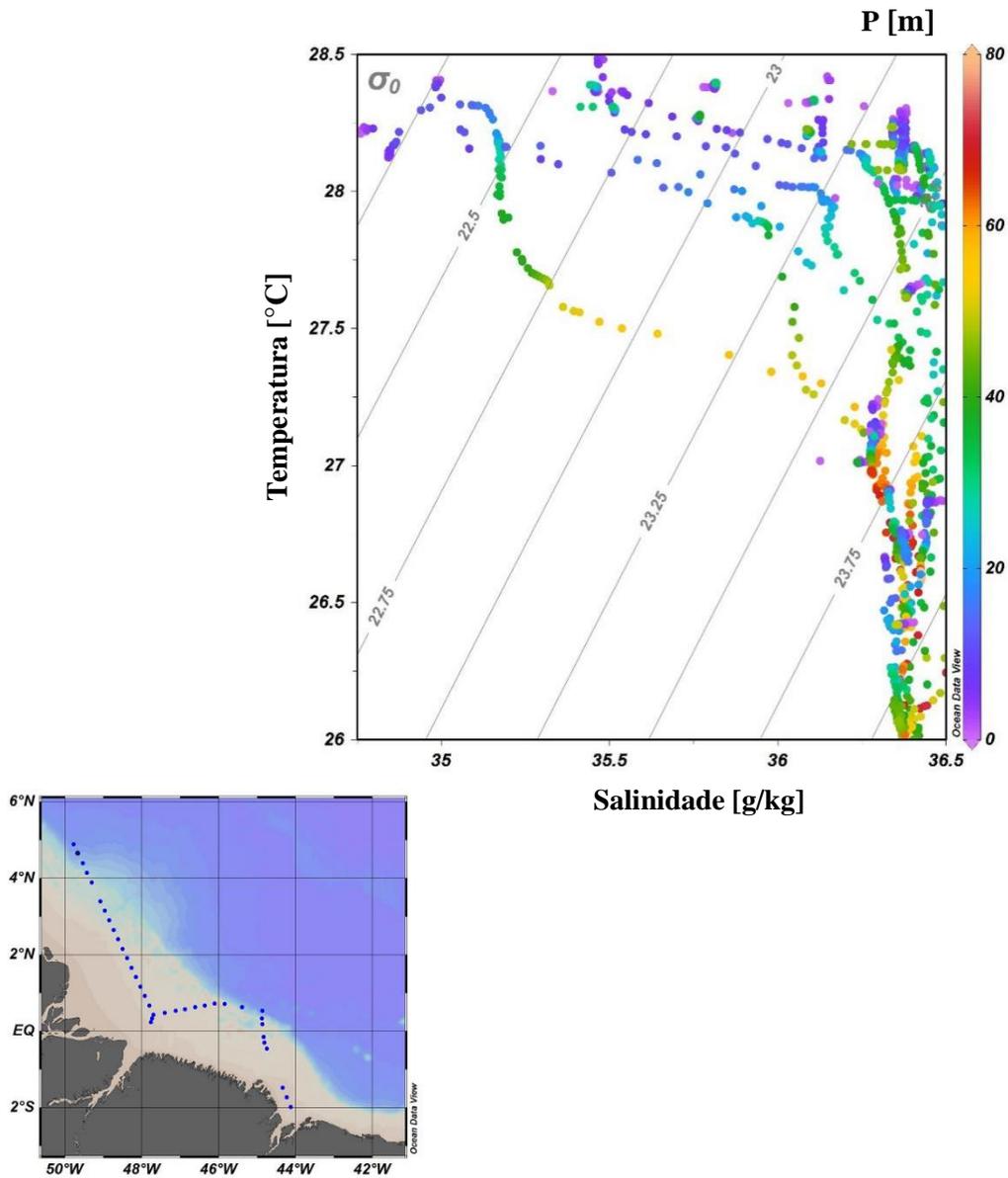


Figura 17 - Diagrama TS período seco (julho - 2018). Fonte: Autor.

Para o mês de novembro - 2018 durante o período seco (Figura 18), foram observados uma das maiores variações de temperatura que ocorreram durante os meses analisados, onde a temperatura apresentou valores mínimos de 20 °C e máximos de 28 °C. Já a salinidade demonstrou-se elevada com mínimo de 35 g/kg e máximo de 38 g/kg. As águas com maior temperatura foram identificadas ocorrendo em superfície e estenderam-se até próximo a profundidade de 40 m e as águas de menor temperatura ocorreram a partir dos 40 m.

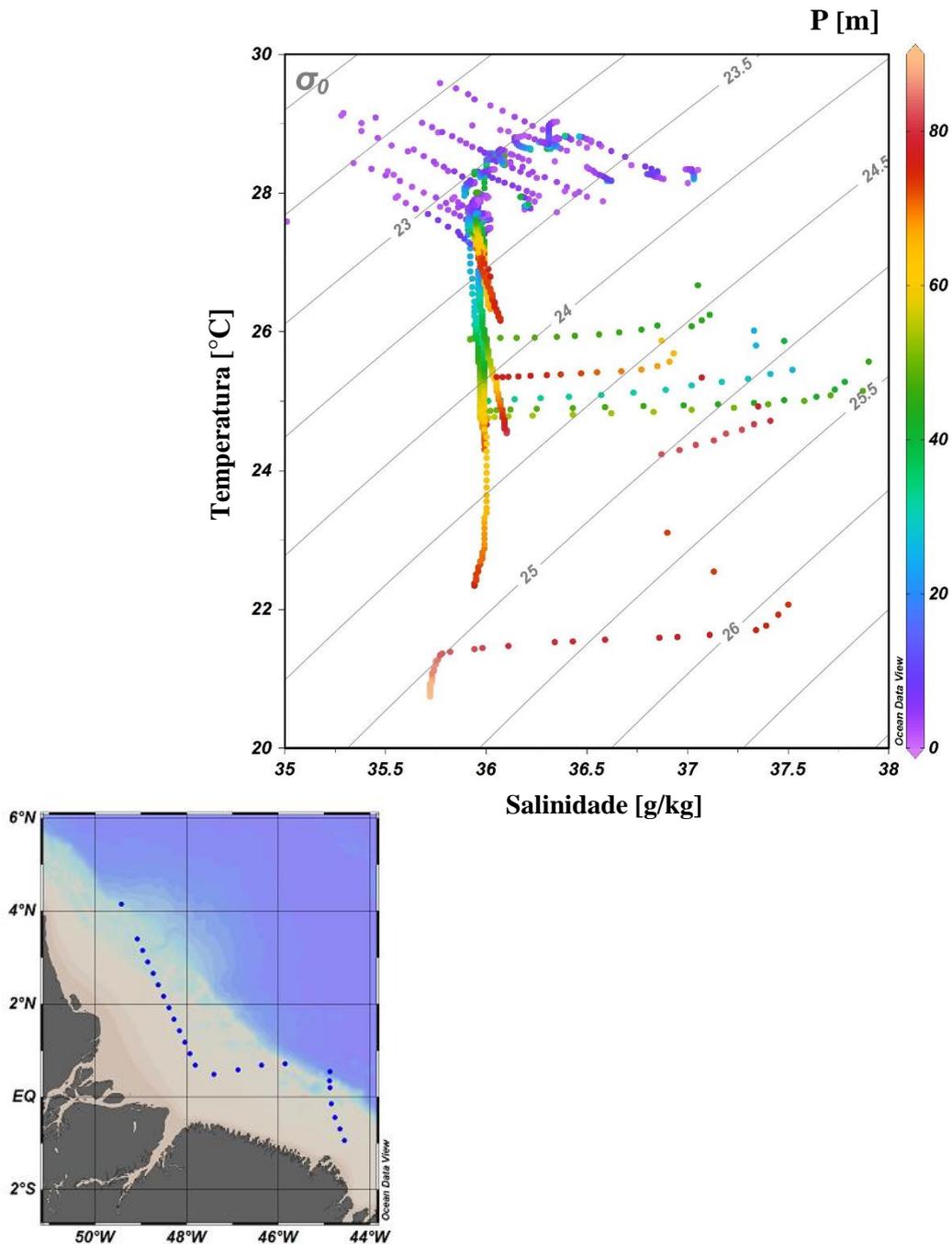


Figura 18 - Diagrama TS período seco (novembro - 2018). Fonte: Autor.

O mês de dezembro - 2018 (Figura 19), demonstrou padrão de distribuição de TS semelhante aos encontrados no mês de novembro, onde o valor mínimo de temperatura encontrado foi 20 °C e o máximo de 28 °C, em relação a salinidade observou-se grande variação sendo possível encontrar valor mínimo foi de 25 g/kg e máximo foi 35 g/kg.

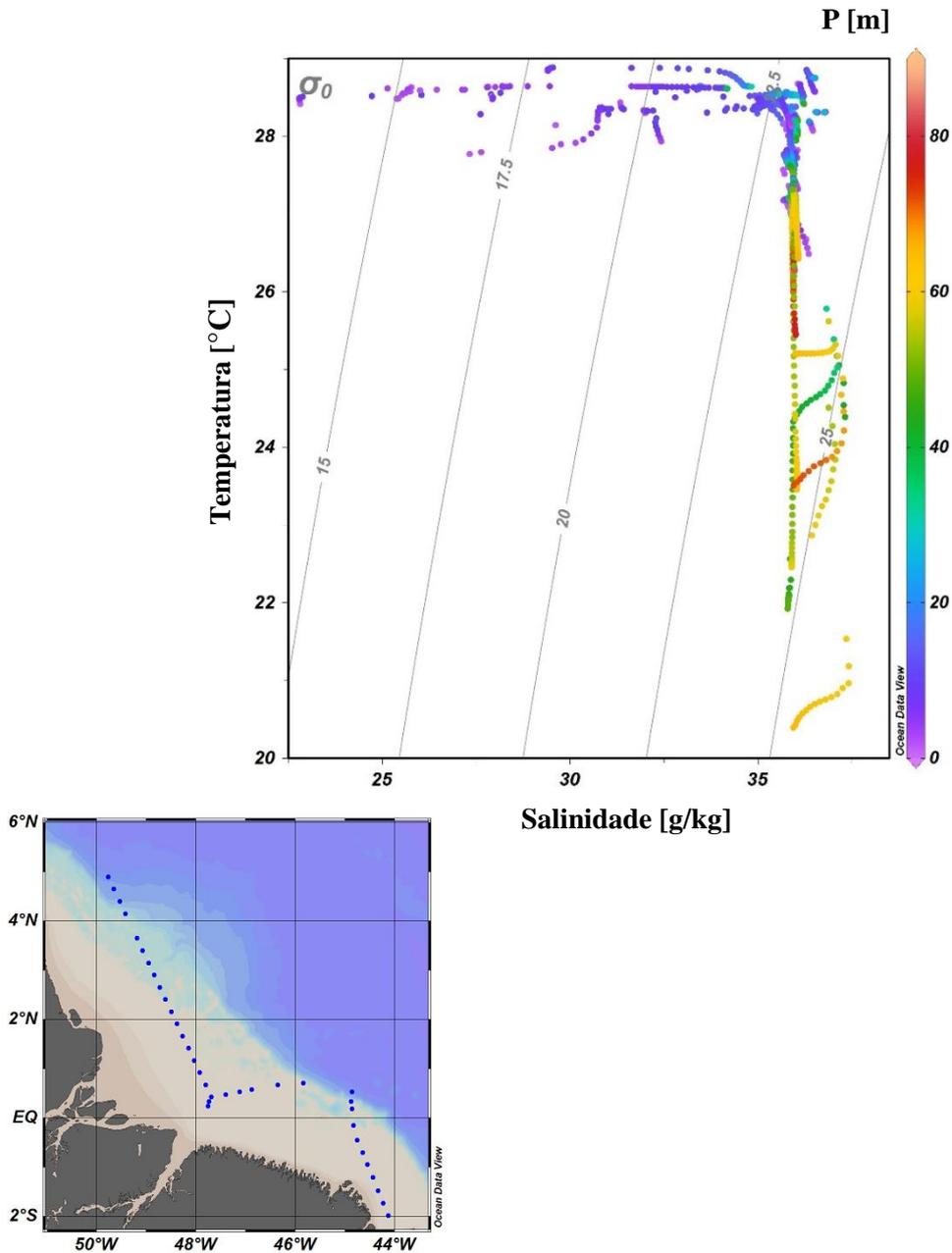


Figura 19 - Diagrama TS período seco (dezembro - 2018). Fonte: Autor.

Para o mês de janeiro - 2019 (Figura 20), foi possível observar que os parâmetros físicos de temperatura e salinidade tiveram grandes variações, sendo possível encontrar temperaturas de 22 °C a 28 °C e salinidades entre 0 g/kg a 36 g/kg. As maiores temperaturas e menores salinidades foram identificadas iniciando-se em superfície e estenderam-se por volta de 40 m de profundidade, já as menores temperaturas e maior salinidade foram identificadas a partir dos 60 m e estenderam-se até 80 m de profundidade.

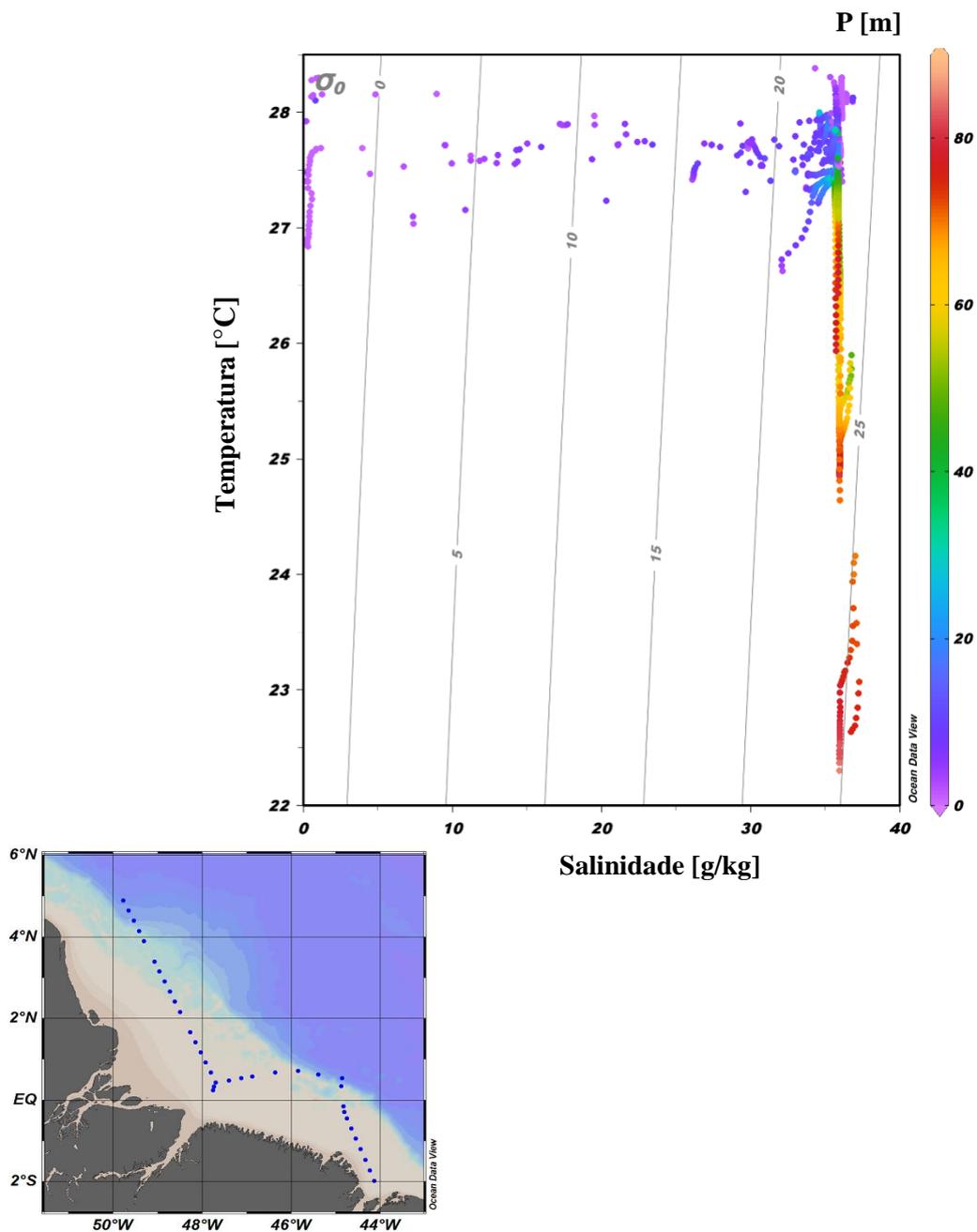


Figura 20- Diagrama TS período chuvoso (janeiro - 2019) Fonte: Autor.

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram que a temperatura foi o parâmetro que mais variou durante o período seco quando comparado a salinidade e estas variações assim como salinidades $> 30\text{g/kg}$, caracterizam este período, onde o índice de evaporação excede o de precipitação por conta o aumento de energia solar sobre a plataforma. Segundo os autores Coelho *et al.* (2004); Silva (2006) e Velda (2008), durante os meses de julho a dezembro a ZCIT encontra-se mais próxima do equador, além disto os vórtices gerados pela CNB também influenciam sobre a temperatura por transportarem calor e sal.

Segundo Muller-Karger (1988); McClain & Richardson (1988), a presença de águas

frias e salinas encontradas durante os meses de novembro e dezembro - 2018, indicam que as mesmas foram transportadas para a plataforma pela CNB. Esta corrente contribui para a transferência de águas quentes da camada superior dos oceanos afim de balancear a intrusão das águas frias e salinas. Já durante o período chuvoso o parâmetro físico que mais variou foi a salinidade, pois durante o mês de março - 2018, a mesma demonstrou ser superior a 34 g/kg e não foi identificado a ocorrência de pluma estuarina. Contudo os maiores valores de Temperatura ($> 27\text{ }^{\circ}\text{C}$) e menor salinidade ($< 30\text{ g/kg}$), encontradas durante o mês de janeiro - 2019, estão relacionados com a pluma estuarina. Desta forma foi possível constatar que as variações sazonais assim como as interanuais são influenciadas pelos parâmetros oceanográficos e meteorológicos da região onde está inserida a PCNB.

5.3 CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA SAZONAIS

Para a melhor visualização e identificação das massas d'águas que ocorreram sazonalmente, adotou-se a divisão da PCNB em Três setores onde: o Setor 1 corresponde a (Baía de São Marcos), Setor 2 (Rio Pará) e o Setor 3 (Foz do rio Amazonas), Figura 21.

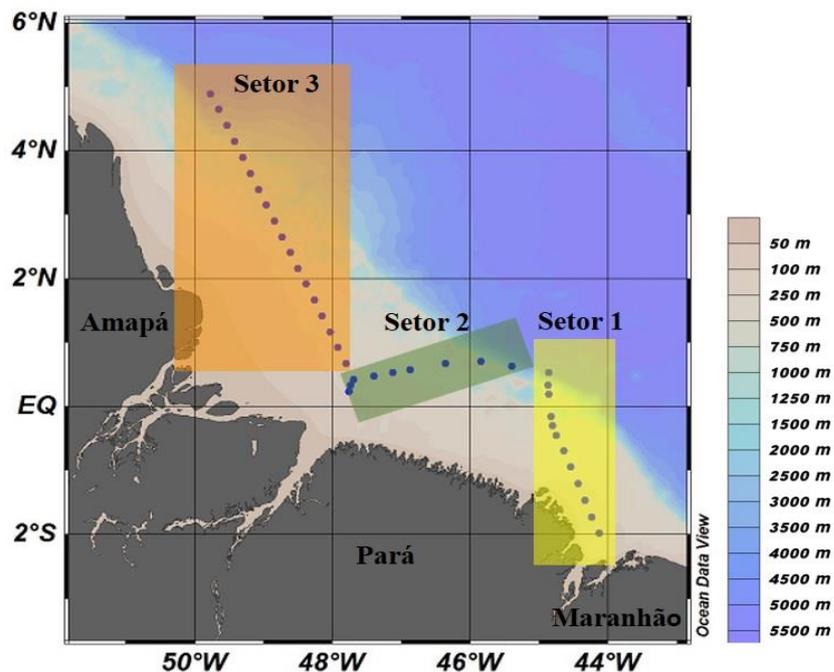


Figura 21 - Divisão da PCNB em setores. Fonte: Autor.

Durante o mês de março - 2018, (período chuvoso), foram identificadas a ocorrência de três massas d'água sobre a plataforma: AT, PE e ACAS. As massas d'água do tipo AT, foram encontradas ocorrendo sobre o Setor 1 (Figura 22) e Setor 2 (Figura 23). Esta massa d'água

possui características tipicamente oceânicas e sua predominância sobre os Setores 1 e 2, indica que mesmo durante o período chuvoso a descarga hídrica dos rios que drenam sobre a Baía de São Marcos e o Rio Pará, não influenciaram sobre as águas oceânicas, o que pode ter relação direta com a ausência de pluma estuarina nestes setores.

No Setor 3 (Figura 24), foram identificadas duas massas d'água PE e ACAS. A pluma estuarina (PE), foi localizada superficialmente e sua extensão ocorreu desde a porção mais interna da plataforma até próximos dos 250 km em direção a quebra da plataforma. Já a ACAS, foi observada abaixo da PE e sua extensão ocorreu desde a porção mais interna da plataforma até os 400 km em direção a plataforma.

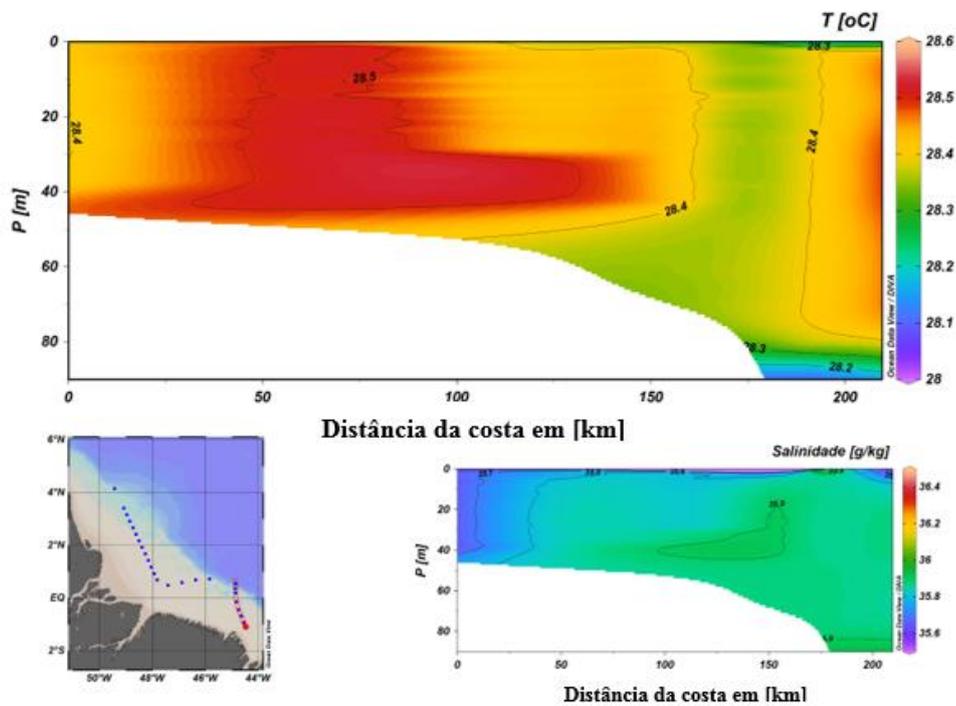


Figura 22 -Variação de TS no Setor 1 durante o mês de março - 2018. Fonte: Autor.

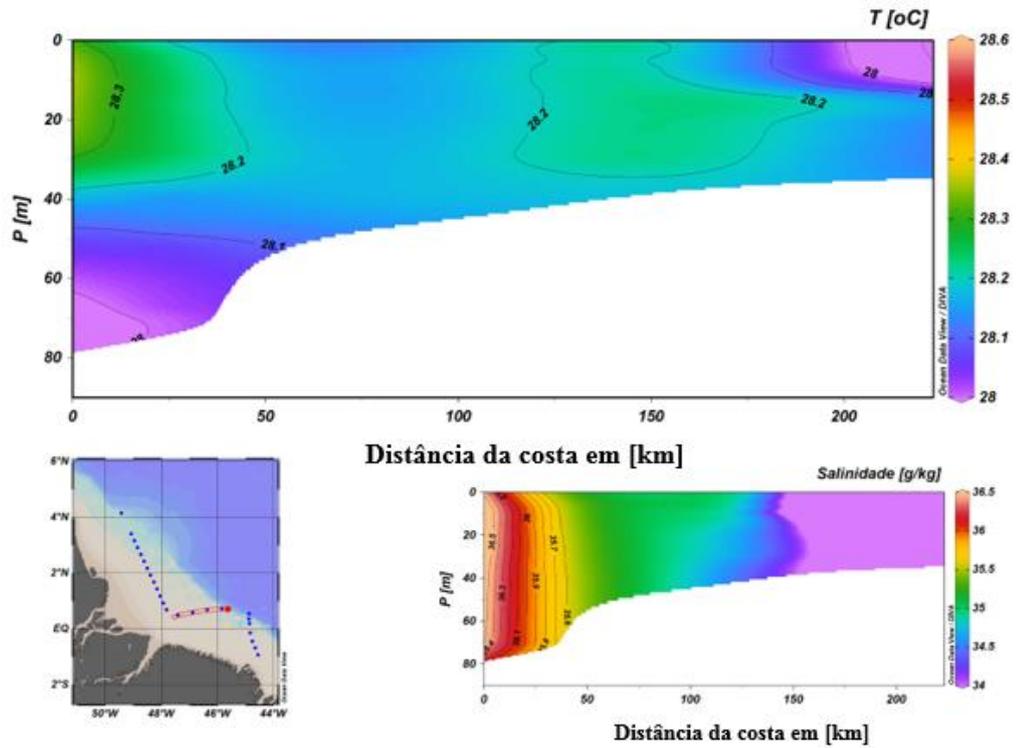


Figura 23 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de março - 2018. Fonte: Autor.

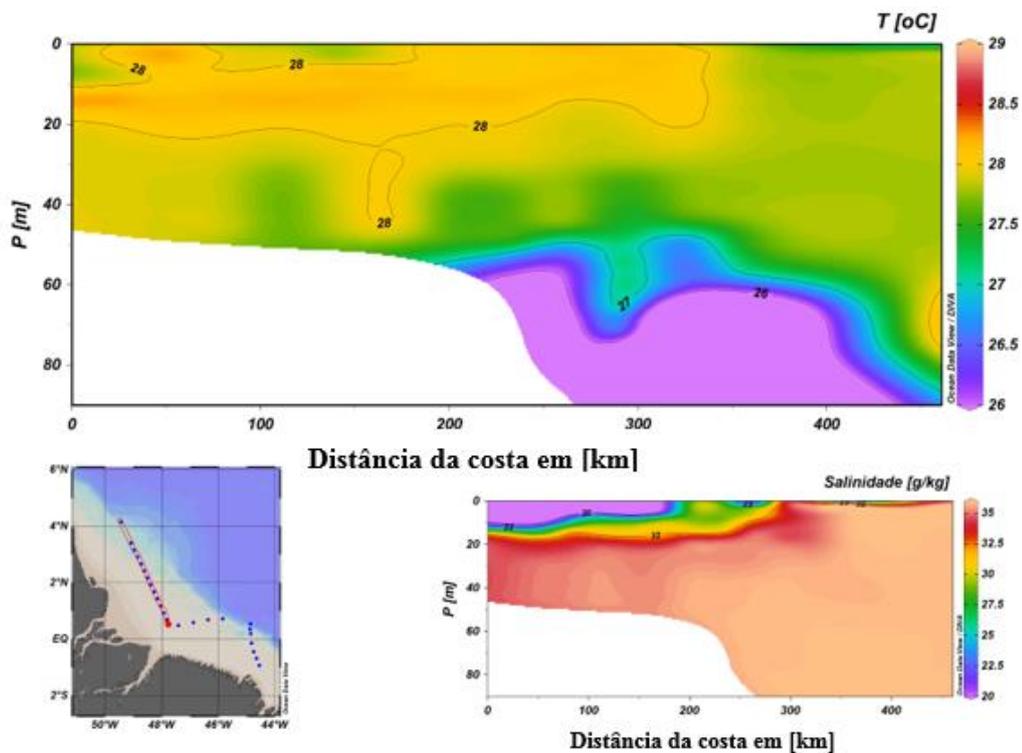


Figura 24 - Variação de TS no Setor 3 durante o mês de março - 2018. Fonte: Autor.

Para o mês de julho - 2018, (período seco), foi identificado a ocorrência de apenas uma massa d'água sobre os três setores da PCNB, conforme mostra as figuras (25, 26 e 27), esta massa d'água predominou sobre toda a plataforma e suas características termohalinas foram de

25 °C a 27 °C e 35 g/kg a 37 g/kg. A presença desta massa d'água indica que as águas oceânicas predominaram sobre a plataforma e que a descargas dos rios não exerceu influencia sobre as mesmas e este fator explica a total ausência de pluma estuarina durante este período.

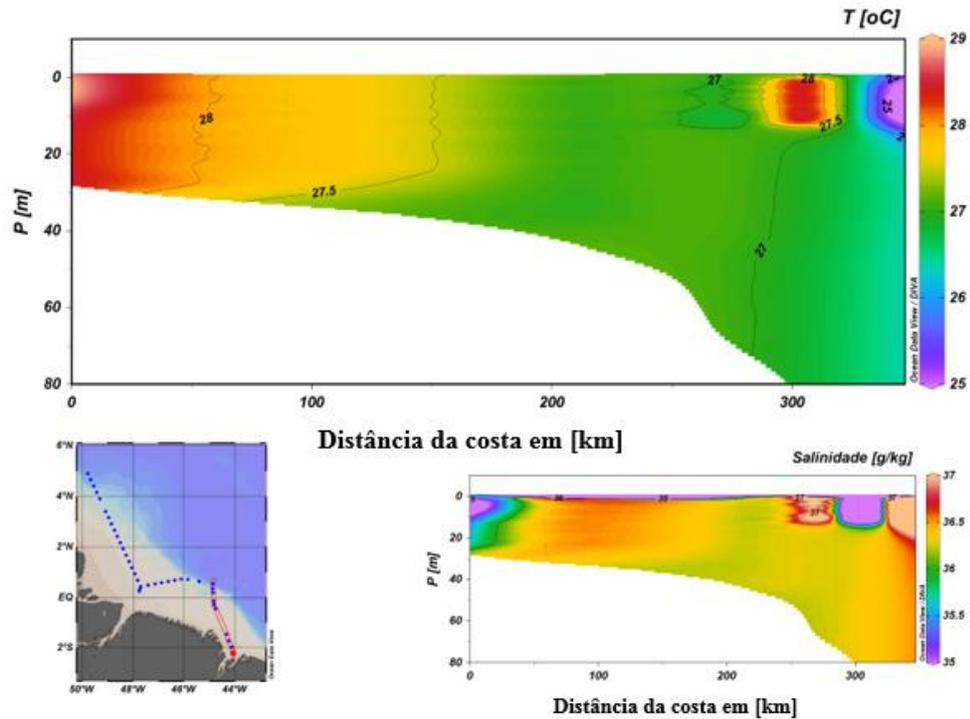


Figura 25 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de julho - 2018. Fonte: Autor.

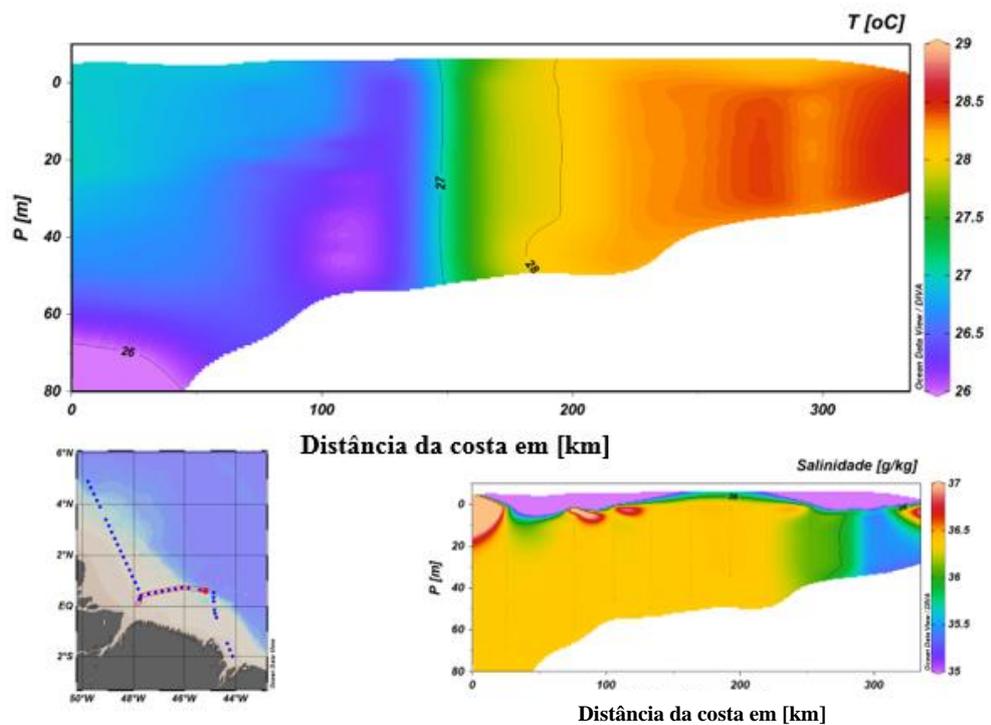


Figura 26 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de julho - 2018. Fonte: Autor.

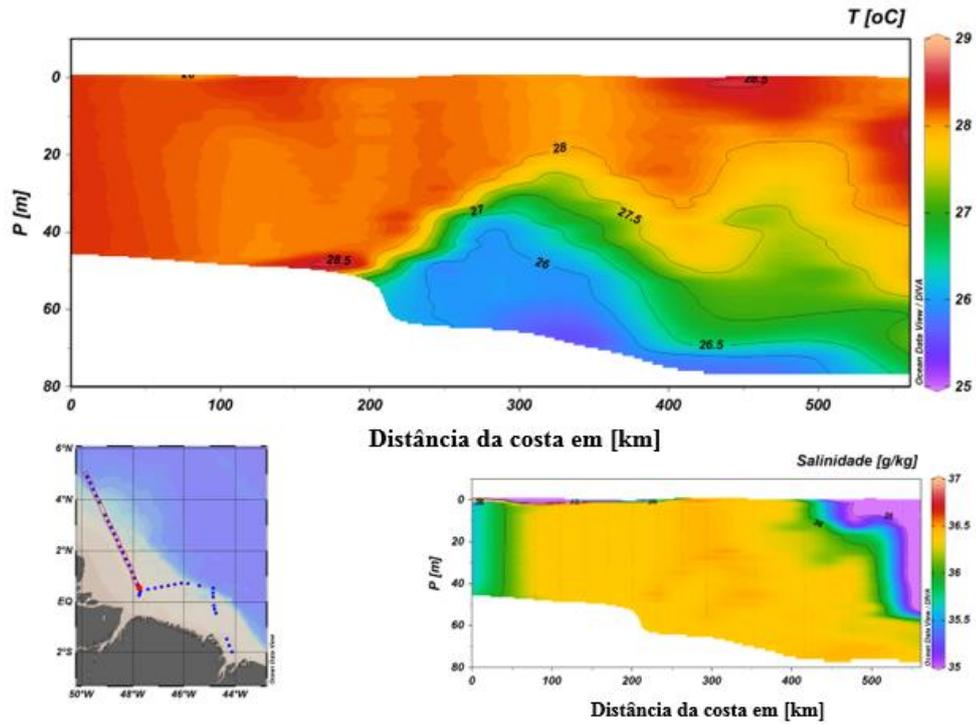


Figura 27- Variação de TS no Setor 3 durante o mês de julho - 2018. Fonte: Autor.

A massa d'água do tipo AT também foi identificada ocorrendo durante o mês de novembro - 2018, (Período seco), sobre os três setores, conforme mostra as figuras (28, 29 e 30), as características termohalinas desta massa d'água para o mês de novembro esteve entre 21 °C a 25 °C e 36 g/kg a 38 g/kg. Os maiores valores de temperatura alcançados por esta massa d'água foi identificados em frente na baía de são Marcos (Setor 1) e em frente ao rio Pará (Setor 2). Durante o determinado mês não foi identificado a presença de pluma estuarina sobre a PCNB.

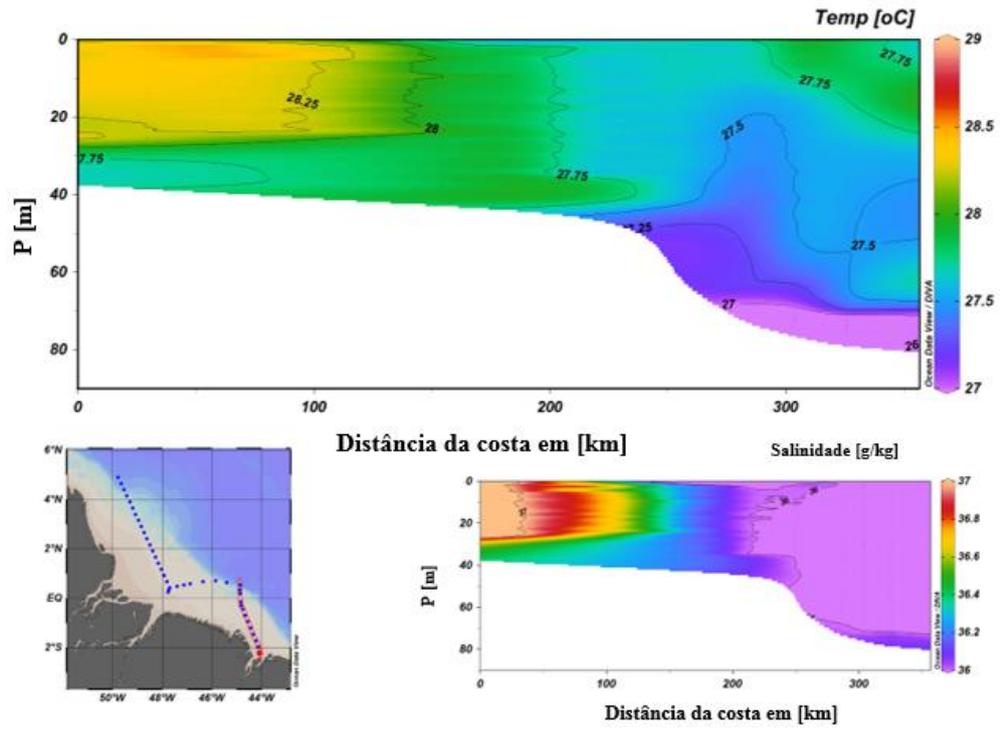


Figura 28 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de novembro - 2018. Fonte: Autor.

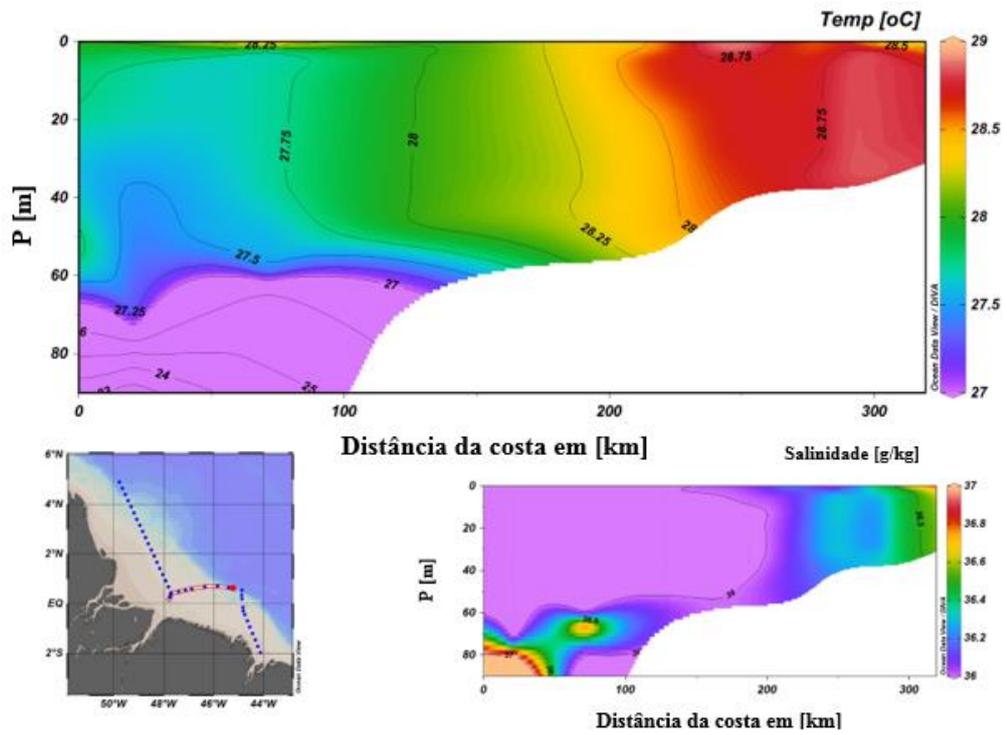


Figura 29 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de novembro - 2018. Fonte: Autor.

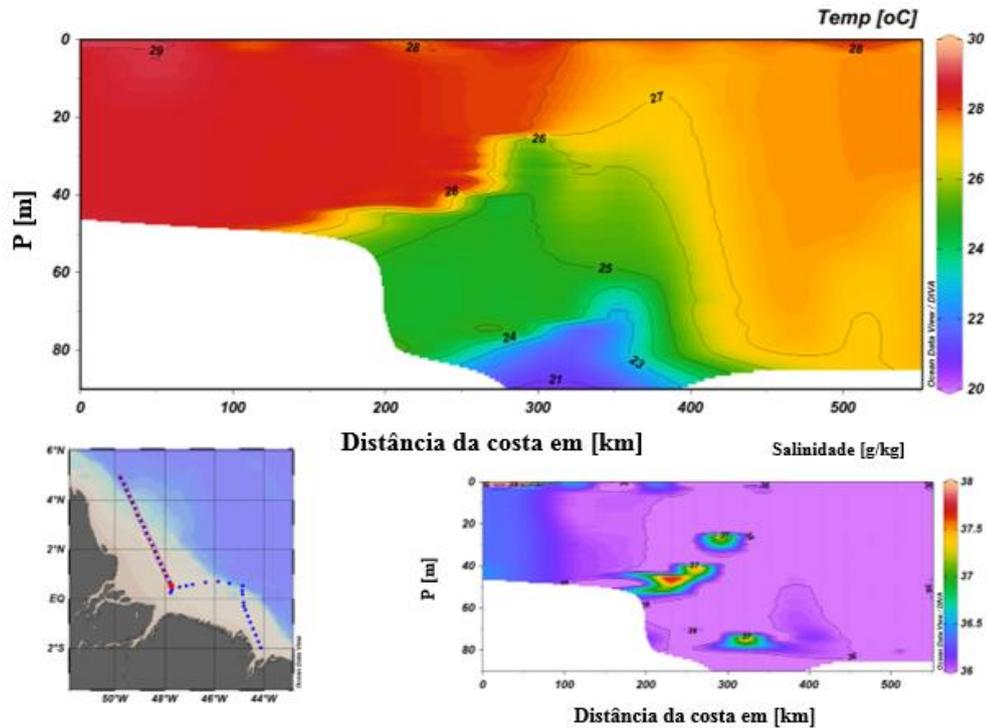


Figura 30 -Variação de TS no Setor 3 durante o mês de novembro - 2018. Fonte: Autor.

Durante o mês de dezembro - 2018 (período seco), foram identificadas quatro massas d'água ocorrendo sobre a PCNB: AT, AC, ACAS e AF. No Setor 1 (Figura 31) e Setor 2 (Figura 32), foram identificadas AT e ACAS, onde AT teve como característica termohalina temperatura de 27 °C a 30 °C e salinidade de 35 g/kg a 37 g/kg. Já ACAS teve como índices termohalinos temperatura entre 27 °C a 29 °C e salinidade de 28 g/kg a 36 g/kg.

No setor 3 (Figura 33), foram identificadas as massas d'água AF, AC e AT, estas massas d'água tiveram como índices termohalinos 27 °C a 29 °C; 30 g/kg e 32 g/kg, 28 °C a 29 °C; 34 g/kg e 22 °C a 24 °C, 36 g/kg, respectivamente. Para o determinado período não foi identificado a presença de pluma estuarina.

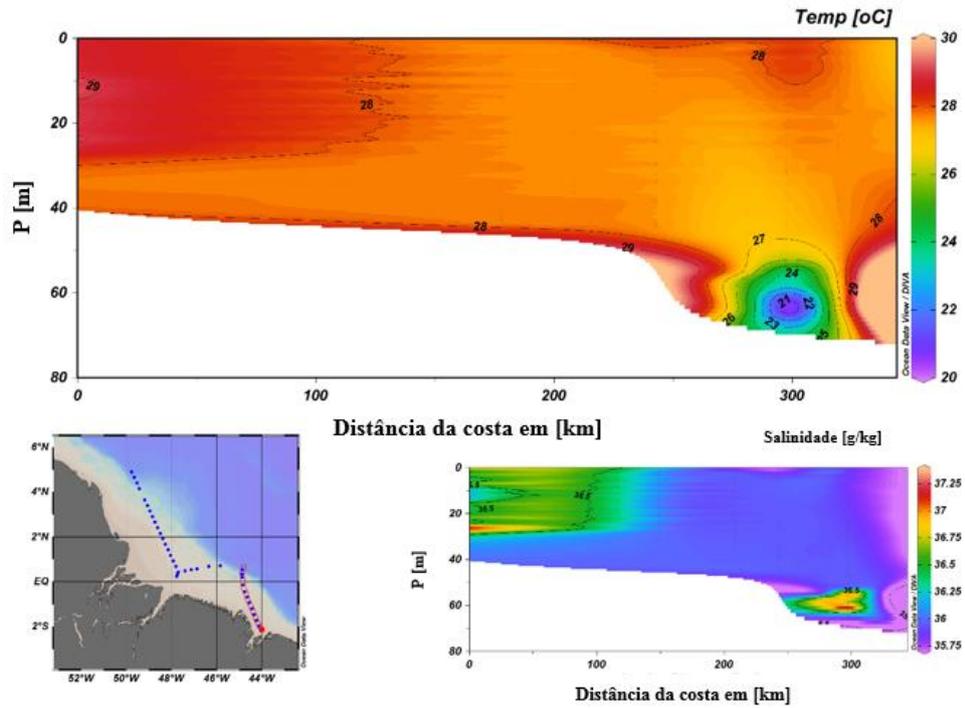


Figura 31 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de dezembro - 2018. Fonte: Autor.

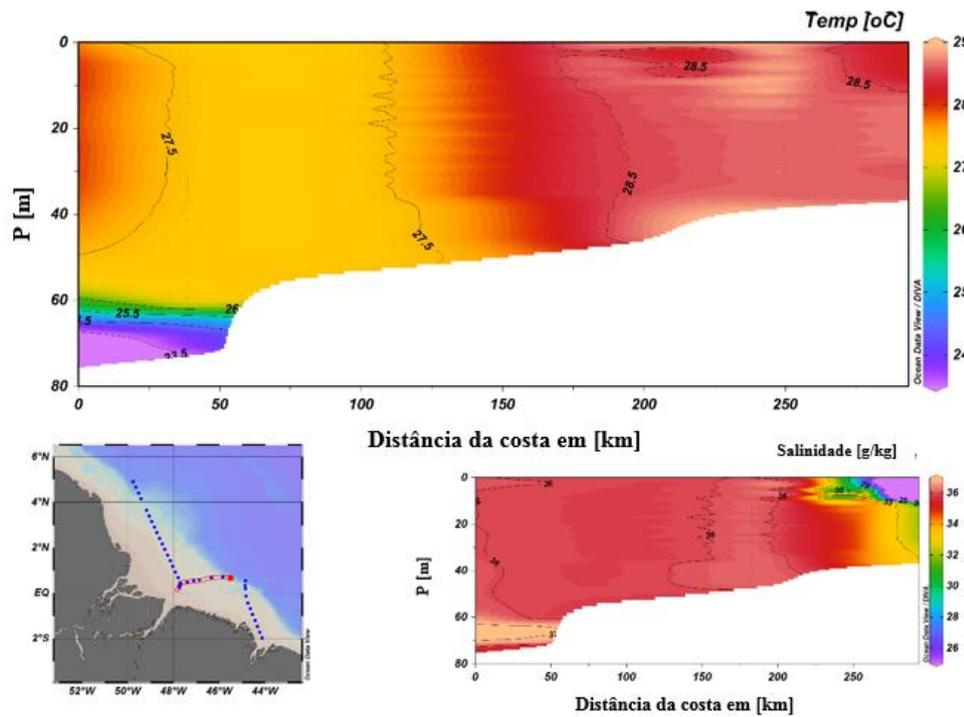


Figura 32 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de dezembro - 2018. Fonte: Autor.

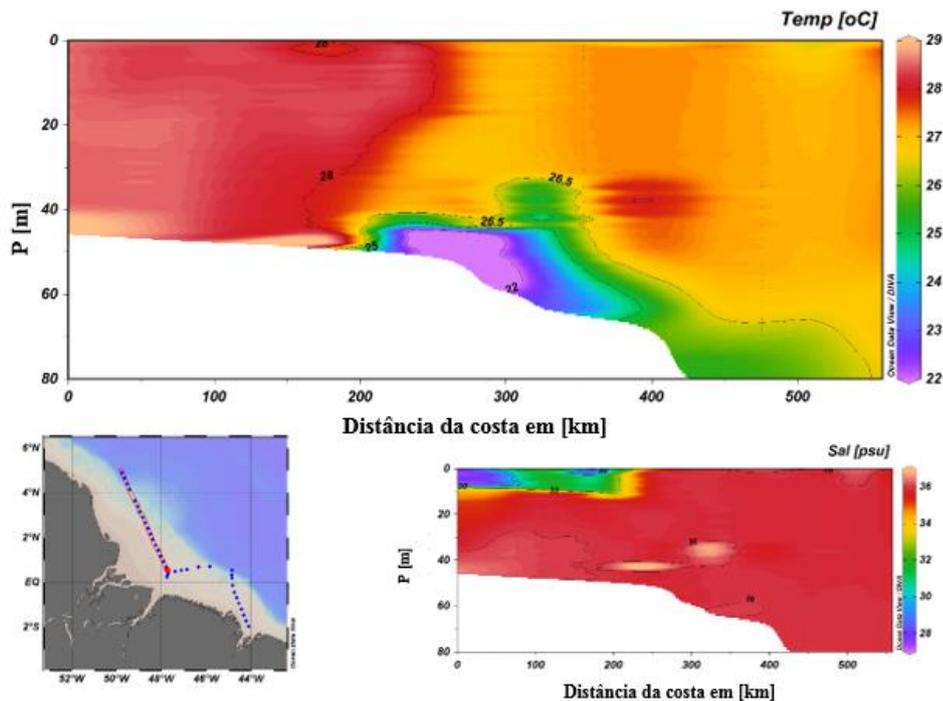


Figura 33 -Variação de TS no Setor 3 durante o mês de dezembro - 2018. Fonte: Autor.

Para o mês de janeiro - 2019 (período chuvoso), foram identificadas a ocorrência de duas massas d'água PE e AT. No Setor 1 (Figura 34), foi identificada a massa d'água PE, restrita aos primeiros 20 m na coluna d'água e sua extensão ocorreu desde a porção mais interna da plataforma até os 200 km em direção a quebra da plataforma. Após os 200 km a massa d'água identificada foi AT, a mesma localizou-se abaixo da pluma estuarina e sua extensão ocorreu desde a porção mais interna da plataforma até 300 km em direção a quebra da plataforma.

No setor 2 (Figura 35), identificou-se AT e PE, onde AT demonstrou maior dispersão ao longo da plataforma, iniciando-se em superfície e atingindo as camadas mais profundas, além de estender-se desde a porção interna da plataforma até os 300 km em direção a quebra da plataforma. A PE foi localizada entre os 200 e 300 km em direção a quebra da plataforma restrita aos primeiros 10 m da coluna d'água.

No setor 3 (Figura 36), foram identificadas PE e AT, onde PE localizou-se em superfície (10 m) e sua dispersão ocorreu desde a porção interna da plataforma até próximo dos 400 km em direção a quebra da plataforma. Já AT localizou-se abaixo da PE e sua extensão ocorreu desde a porção interna da plataforma até os 500 km em direção a quebra da plataforma.

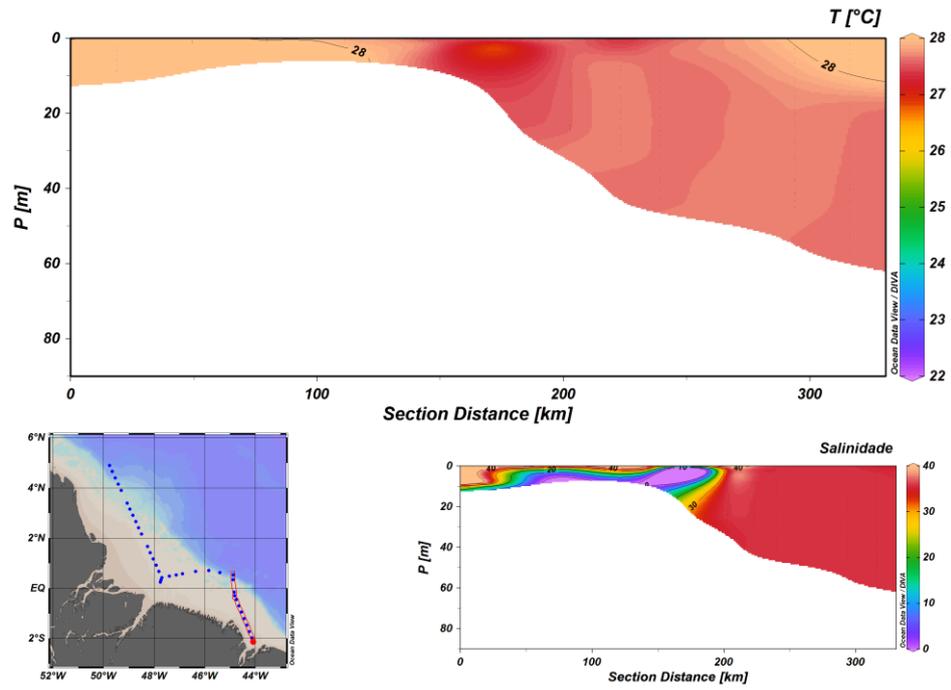


Figura 34 - Variação de TS no Setor 1 durante o mês de janeiro - 2019. Fonte: Autor.

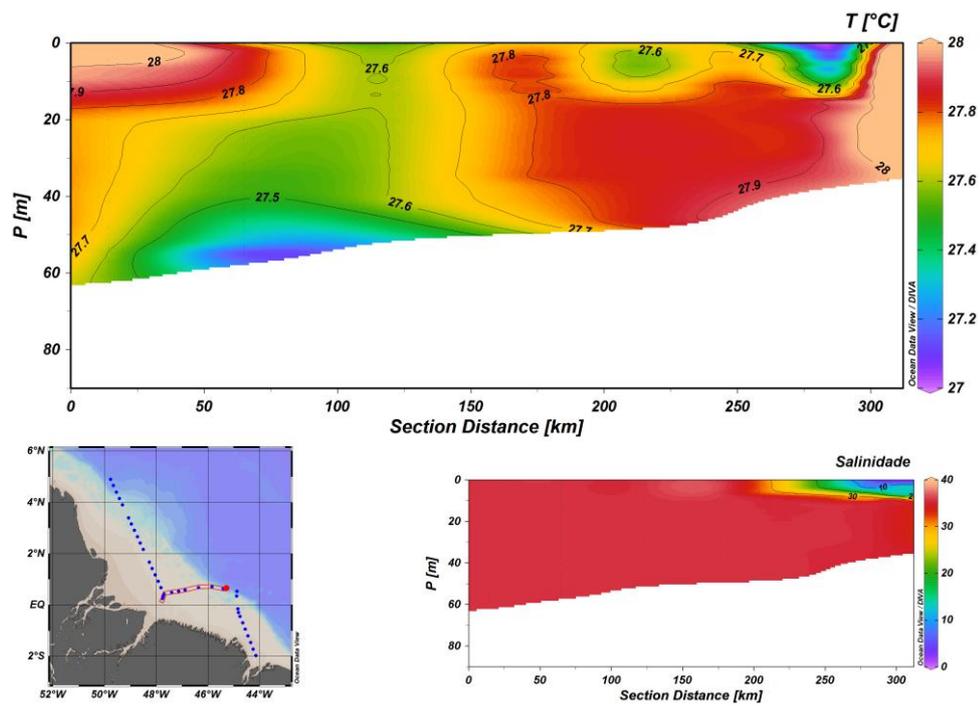


Figura 35 - Variação de TS no Setor 2 durante o mês de janeiro - 2019. Fonte: Autor.

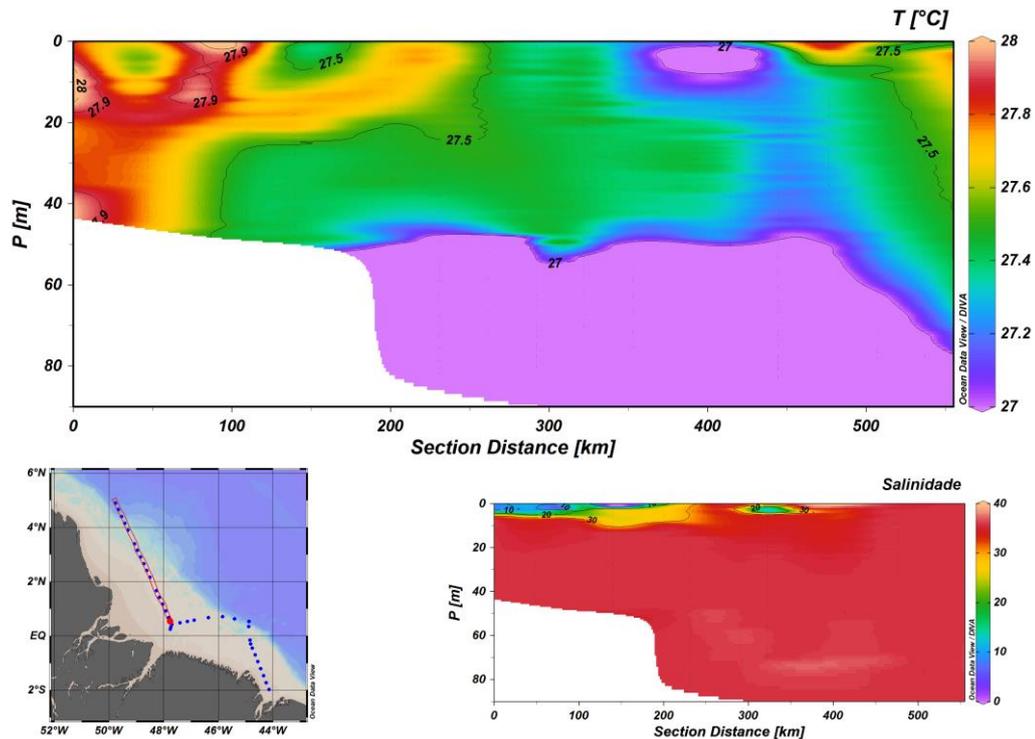


Figura 36 - Variação de TS no Setor 3 durante o mês de janeiro - 2019. Fonte: Autor.

De forma geral foram identificadas cinco massas d'água ocorrendo sobre a PCNB, durante os períodos analisados AT, AC, ACAS, AF e PE, onde foi possível observar que durante o período seco a massas de água AT ocorreu com maior frequência, sendo encontrada nos meses de julho e novembro sobre toda a plataforma. Já as massas AF, ACAS e AC, foram identificadas ocorrendo apenas no mês de dezembro.

Durante o período chuvoso foram identificados três tipos de massas d'água AT, ACAS e PE, onde durante o mês de março - 2018, foram identificadas a ocorrência de AT nos setores 1 e 2 e as massas PE e ACAS Foram identificadas apenas no Setor 3. Em janeiro - 2019, ocorreram apenas a presença das massas d'água AT e PE sobre a plataforma. A partir dos resultados obtidos foi possível identificar os índices termohalinos para a pluma estuarina e suas métricas ao longo do tempo, onde as mesmas ocorreram durante os meses de março - 2018 e janeiro - 2019, e seus respectivos índices termohalinos foram 27,5 °C a 28 °C e 0 g/kg e 33 g/kg.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A PCNB apresentou grandes variações de temperatura e salinidade ao longo dos anos e períodos analisados, onde interanualmente foram identificadas distribuições de TS semelhantes entre os diagramas analisados, onde águas quentes e menos salinas, bem como águas frias e menos salinas foram identificadas durante os anos de 1989, 1990, 2001, 2012 e 2016 nos períodos seco e chuvoso. Durante a análise interanual foram identificadas quatro massas d'água sobre a PCNB AT, AC, AR e ACAS.

Sazonalmente foram identificados relevantes variações de TS ao longo dos cinco meses analisados, onde para o período seco as maiores variações observadas foram no parâmetro de temperatura e no período chuvoso as variações foram no parâmetro de salinidade. Para esta análise foram identificadas cinco massas d'água ocorrendo sobre a plataforma AT, AC, ACAS e PE. A partir da análise dos diagramas TS foi possível identificar um índice termoalino para a pluma estuarina e suas métricas ao longo do tempo, onde a mesma ocorreu nos meses de março - 2018 e janeiro - 2019, e seus respectivos índices termohalinos foram de 27,5 °C a 28 °C e 0 g/kg a 33 g/kg.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa comprova-se que as variações interanuais e sazonais de TS, são influenciados pelos parâmetros oceanográficos e meteorológicos da região onde está inserida e que os eventos atmosféricos de intensidades distintas que ocorreram nos anos analisados não podem ser associados aos resultados encontrados. Desta forma a caracterização e identificação das massas d'água que ocorreram sobre a plataforma e de suma importância para o entendimento da circulação e dispersão das águas sobre a plataforma e como isto pode influenciar nas áreas costeiras adjacentes, assim sugere-se que outros estudos relacionados a identificação e caracterização de massas d'água seja realizado em anos e períodos distintos, a fim de identificar o comportamento das águas.

REFERÊNCIAS

- Abreu M.W.M. 2004. *Estudo das massas d'água oceânica da plataforma continental norte entre as latitudes 01°29'06" N, 00°27'29,88" N, 00°45'59,76" N e 00°23'30" S e longitudes 47°18'57,6" W, 48°16'48" W, 46°35'16,8" W e 47°23'42" W e suas características físicas*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém. 88 p.
- Brasil. 1972. Diretoria de Hidrografia e Navegação. *Cartas de correntes de maré: proximidades da baía de São Marcos e portos de São Luís e Itaquí*. Rio de Janeiro.
- Brasil. 1989. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação. *135° Comissão Oceanográfica: operação PAVASAS I, Costa Norte oceanografia física, química, biológica e geológica*. 28 p.
- Carton J.A. *et al.* 1972. Decadal and interannual SST variability in the Tropical Atlantic ocean. *Journal of Physical Oceanography*, **26** (7): 1165-1175.
- Castro B.M. & Miranda L.B. 1998. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4° N and 34° S. *The Sea*, **11**: 209-251.
- Castello J.P. Krug L.C. 2015. *Introdução às ciências do mar*. Pelotas, Ed textos, 602p.
- Carvalho M.A.R. de. 2001. *Estrutura vertical da atmosfera sobre o continente e o oceano durante a operação Norte III do Programa REVIZEE*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 24 p.
- Coelho M. S., Gan M. A., Conforte J. C. 2004. Estudo da variabilidade e posição da nebulosidade associada à ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **19**: 23-34.
- Curtin T.B. 1986. Physical observations of the plume region of the Amazon river during peak discharge, II – water masses. *Continental Shelf Research*, **6** : 53-71.
- Demaster D. J., Mckee B. A., Moore W. S., Nelson D. M., Showers W. J., Smith W. O. 1991. Geochemical processes occurring in the waters at the amazon river-ocean boundary. *Oceanography*, **4**(1): 12-20.
- Dias F.J.S, Castro B.M, Lacerda L.D. 2013. Continental shelf water mass Jaguaribe River (4S), northeastern Brazil. *Continental Shelf Research*, **66** (1): 123-135, Sep.
- El-Robrini M. 1990. Evolution rapide des fonds d'une zone estuarine: le secteur d'Itaqui-baie São Marcos – Maranhão (Brésil). In: Marie-Thérèse Prost. *Évolution des littoraux de guyane et de la zone caraibe méridionale pendant le quaternaire*. Cayenne-Guyane, Orstom, p. 159-176.
- El-Robrini M., Silva M. A. M. A, Souza Filho P. W. M., El-Robrini M. H. S., Silva Jr. O. G. S., França C. F. 2006. Pará. In: Muehe D. C. E. H. *et al.* (org.). *Erosão e progradação do litoral Brasileiro*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, v. 1, p. 41-86.

- El-Robrini M. & Souza Filho P.W.M. 2000. Potential of SAR/RADARSAT data for coastal and estuarine environment study, Golfão Maranhense, Brazil Amazon region. *In: SBG, 31^o International Geological Congress, Rio de Janeiro. Abstracts[...]*. Rio de Janeiro, p. 12-18.
- Fedorova N. & Carvalho M. H. 2006. Processos sinóticos em anos de El Niño e La Niña: Nebulosidade Convectiva nas Regiões Equatoriais e Tropicais da América do Sul e Oceanos Adjacentes. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **21**: 1-14.
- Ffield A. 2005. North Brazil Current Rings View by TRMM Microwave Image SST and the Influence of Amazon Plume. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **52**(1): 137–160.
- Frazão E.P. 2001. *Estudo dos parâmetros físicos de temperatura e salinidade na plataforma continental do Maranhão entre as latitudes de 0°80' S e 2°20' S e longitudes de 44°40' W e 43°25' W: “uma análise ambiental”*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 87 p.
- Freitas I. C. 2003. *Estutura termohalina e massas d'água na zona econômica exclusiva do NE-Brasileiro*. MS Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, 146p.
- Figueroa S.N & Nobre C.A. 1990. *Precipitations distribution over Central and Western Tropical South América. Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, **5**(6): 36-45.
- Fontes C.R.F. 2000. *Estudos numéricos da circulação da plataforma continental amazônica (PCA)*. PhD Theses, Universidade de São Paulo, SP. Brasil, 202p.
- Fonseca C.A. *et al.* 2004. Investigation of the North Brazil Current retroflexion and North Equatorial Countercurrent variability. *Geophysical Research Letters*, **31**(21):e21304.
- Gallo M.N. & Vinzon S.B. 2005. Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary. *Ocean Dynamics*, **55**(5/6): 441-448.
- Geyer W.R. & Kineke G.C. 1995. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. *Journal of Geophysical Research*, **100**: 2321-2339.
- Garrison T. 2010. *Fundamentos de oceanografia*. Cengage Learning, 426p.
- Lentz S.J. 1995. Seasonal variations in the Amazon plume structure inferred from historical hydrographic data. *Journal of Geophysical Research* **100**(C2): 2391-2400.
- Linhares V.P. 1995. *Circulação e massas de água na Plataforma Continental externa amazônica*. MS Dissertation, Oceanografia Física, Universidade de São Paulo, 191p.
- Marengo J. 1995. Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal Climatology*, **15**: 995-1010.
- Martorano L.G., Pereira L.C., César E.G.M., Pereira I.C.B. 1993. *Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)*. Belém, SUDAM; EMBRAPA; SNLCS, 53p.

- Mascarenhas A. C. C., Gomes G. S., Lima A. P. Y., Silva H. K. N., Santana L. S., Rosário R. P., Rollnic M. 2016. Seasonal variations of the Amazon River Plume with Focus on the Eastern Sector. *Journal of Coastal Research*, **75**: 532–536.
- Muller-Karger F.E., McClain C.R., Richardson P.L. 1988. The dispersal of the Amazon's water. *Nature*, **333**: 56-59.
- Nittrouer C. A. & Demaster D. J. 1986. Sedimentary processes on the amazon continental shelf: past, present and future research. *Continental Shelf Research*, **6**: 5–30.
- Oltman R. E. 1968. *Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon river*. [S.l.], US Government Printing Office.
- Paiva R.S. 2001. *Parâmetros físicos, químicos, biomassa e produção primária do fitoplâncton na Plataforma Continental Amazônica*. PhD Theses, Oceanografia Biológica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 153 p.
- Patchineelam S.M. 2004 Circulação oceânica. In: Baptista Neto J.A., Ponzi V.R.A., Siche L S.E. (org.). *Introdução à geologia marinha*. 1. ed. Rio de Janeiro, Interciência. p. 153-173.
- Pickard G.L. 1963. *Descriptive physical oceanography*. 1 ed. Oxford, Pergamon Press. 200 p.
- Presthom-Thomas H. 1990. The international temperature scales 1990 (ITS – 90). *Metrologia* **27**(1): 3-10.
- Prestes Y.O. 2016. *Interações físicas entre o estuário do Rio Pará e a Plataforma Continental no norte do Brasil*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 122p.
- Prestes Y. O., Silva A. C., Rollnic M., Rosário R. P. 2017. The M2 and M4 tides in the Pará River Estuary. *Tropical Oceanography*, **45**: 26-37.
- Prestes Y.O. 2021. *Processos hidrodinâmicos de mesoescala na plataforma continental amazônica e oceano atlântico equatorial oeste: uma abordagem lagrangeana*. PhD Theses, Programa de Pós-Graduação em Geofísica Universidade Federal do Pará. 130p.
- Rosário R.P. 2016. *Análises de processos oceanográficos no estuário do rio Pará*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 139p.
- Silva A.C. da. 2000. *Campos de temperatura e salinidade na plataforma continental do Amazonas, durante a descarga mínima (outubro de 1997) do Rio Amazonas: “uma análise ambiental”*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 67 p.
- Silva A., Araujo M., Medeiros C., Silva M., Bourles B. 2005. Sasonal Changes in the Mixed and Barrier Layers in the Western Equatorial Atlantic. *Brazilian Journal of Oceanography* **53**: 3-4.
- Silva A. C. 2006. *Analysis of water properties in the western tropical Atlantic as inferred from shipboard measurements and numerical model results*. PhD Theses, Oceanografia, Centro Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, xix, 135p.

- Stramma L. & Schott F. 1999. The mean flow field of the Tropical Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, **46**(1-2): 279-303.
- Silveira O. F. & Santos V. F. 2006. *Aspectos geológicos-geomorfológicos da região Costeira entre o rio Amapá Grande e a região dos Lagos do Amapá*. Macapá, MMA. PROBIO, 30p. http://iepa.ap.gov.br/probio/relatorios/Relatorio_Cap02.pdf.
- Silveira I.C.A. da, Miranda L.B.de, Brown W.S. 1994. On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research*, **99** (C11): 22501-22512.
- Santos M.L.S. 2000. *Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica*. 105 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Veleda D. R. A. 2008. *Seasonal and intraseasonal variability of the Western Boundary Regime off the Eastern Brazilian Coast*. PhD Theses, Oceanografia, Centro de Geociências e Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, xxii, 127p.