



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**INFLUÊNCIA DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ SOBRE O SETOR LESTE DA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA, NORTE DO BRASIL**

ANGELA CAROLINA CIDON MASCARENHAS

BELÉM - PARÁ

2019

ANGELA CAROLINA CIDON MASCARENHAS

**INFLUÊNCIA DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ SOBRE O SETOR LESTE DA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA, NORTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica (CPGF) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA para obtenção do grau de Mestre em Geofísica.

Área de Concentração: Processamento e Interpretação de dados Geofísicos

Linha de Pesquisa: Dinâmica Costeira

Orientador: Dr. Marcelo Rollnic

BELÉM - PARÁ

2019

**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)**

C565i CIDON MASCARENHAS, ANGELA CAROLINA INFLUÊNCIA
DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ SOBRE O
SETOR LESTE DA PLATAFORMA CONTINENTAL
INTERNA, NORTE DO BRASIL / ANGELA CAROLINA
CIDON MASCARENHAS. — 2019.
70 f.: il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rollnic
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,
Belém, 2019.

1. Oceanografia Dinâmica – Amazônia. 2. Estuário
Amazônico. 3. Pluma do Rio Pará. 4. Plataforma
Amazônica. 5. Projeto Costa Norte. I. Título.

CDD 551.462

ANGELA CAROLINA CIDON MASCARENHAS

INFLUÊNCIA DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ SOBRE O SETOR LESTE DA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA, NORTE DO BRASIL

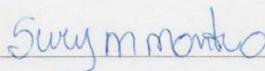
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica (CPGF) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA para obtenção do grau de Mestre em Geofísica.

Data de aprovação: 02/08/2019

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Marcelo Rollnic (Orientador)
Universidade Federal do Pará



Prof.ª Dr.ª Sury de Moura Monteiro (Examinador Interno)
Universidade Federal do Pará



Dr. Iranilson Oliveira Silva (Examinador Externo)
Pós-Doutorado: Universidade Federal do Pará

*À minha Mãe, por todo amor
que me cabe.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho – LAPMAR, por toda estrutura fornecida para realização desse trabalho.

Aos meus colegas de laboratório pelas rotinas descontraídas e ambiente leve. Obrigada a todos que me ajudaram de alguma forma no desenvolvimento dessa dissertação.

Agradeço em especial ao meu orientador professor Marcelo Rollnic, por toda sabedoria passada.

Ao Projeto Costa Norte, pela concessão da bolsa de mestrado e me proporcionar fazer parte de um projeto tão importante. Agradeço imensamente pelo privilégio de pesquisa em solo amazônico!

Ao Programa de Pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de continuidade na área de geociências.

RESUMO

Este trabalho tem como foco verificar se há variação sazonal de parâmetros oceanográficos na Plataforma Continental Amazônica (porção interna – isóbata de 30 m), na zona de influência direta do sistema estuarino do rio Pará e adjacente à faixa contínua de manguezais da costa Pará-Maranhão. A literatura dispõe de poucos trabalhos que investigam influência do rio Pará sobre a porção oriental da Plataforma Amazônica. Desta forma, análises espaciais e temporais de dados físico-químicos coletados no âmbito do projeto Costa Norte são apresentados no presente trabalho. Coletas de dados hidrográficos foram realizadas em nove campanhas oceanográficas na área da Plataforma entre abril de 2018 e fevereiro de 2019, de modo a abranger a variabilidade temporal da região: período de alta descarga, transicional e de baixa descarga fluvial. Os principais resultados apontam a variabilidade sazonal dos parâmetros como o fator determinante na dinâmica dos processos ocorrentes nessa extensão da Plataforma. A salinidade foi o parâmetro que obteve as mais significativas variações dentre os períodos analisados, figurando como o melhor indicativo da pluma estuarina. Não houve diferenças significativas de temperatura ao longo dos períodos analisados, caracterizando uma estabilidade térmica típica de regiões de baixa latitude. Os sólidos totais dissolvidos registraram comportamento similar ao da salinidade, uma vez que são parâmetros diretamente proporcionais, com os menores valores nas estações mais próximas à desembocadura do rio Pará. As maiores variações dos parâmetros de oxigênio dissolvido e pH foram registradas entre os períodos, sem apresentar, contudo, diferenças significativas entre superfície e fundo. O gradiente vertical da salinidade apresentou-se bem estratificado nas estações próximas ao rio Pará em condições de alta descarga e levemente estratificado durante o período transicional. Em condições de baixa descarga, a coluna d'água foi homogênea em todas as estações amostrais. Sob influência do período de alta descarga fluvial, o aporte líquido do estuário do rio Pará sobre a Plataforma foi considerado significativo, atingindo um alcance espacial para leste de aproximadamente 300 km ao longo da costa Pará-Maranhão. Em contrapartida, não foram registradas águas de baixo teor salino ($S < 30$) na região próxima à Baía de São Marcos, indicando que não há aporte hídrico de característica continental da Baía para a área da Plataforma, mesmo em condições de alta descarga fluvial. Estudos orientados à essa porção leste da Plataforma Amazônica são necessários para aprofundar o conhecimento da dinâmica dos parâmetros que regem essa região e o papel da descarga fluvial do rio Pará sobre ela, especialmente quando considerado a vulnerabilidade do ecossistema de manguezais estabelecidos nessa linha de costa.

Palavras-chave: Oceanografia Dinâmica – Amazônia. Estuário Amazônico. Pluma do Rio Pará. Plataforma Amazônica. Projeto Costa Norte.

ABSTRACT

This work aims to verify if there are oceanographic parameters seasonal variations in the Amazon Continental Shelf (inner portion - 30 m isobath), in the direct influence zone of Pará River estuarine system and adjacent to the continuous mangrove belt on the Pará-Maranhão coast. There are few studies in the literature that investigate the influence of the Pará River on the Amazon Shelf eastern portion. Thus, spatial and temporal analyzes of physicochemical data collected under the Costa Norte project are presented in this paper. Hydrographic data collections were carried out in nine oceanographic campaigns in Amazon inner Shelf area between April 2018 and February 2019, to cover the temporal variability of the region: a period of high fluvial, transitional and low river discharge. The main results indicate the parameters seasonal variability as the determining factor in the dynamics of the processes occurring in this Shelf extension. The salinity was the parameter that obtained the most significant variations along the analyzed periods, figuring as the estuarine plume best indicative parameter. There were no significant temperature differences over the analyzed periods, characterizing thermal stability typical of low latitude regions. The total dissolved solids showed similar behavior to salinity, since they are directly proportional parameters, with the lowest values in the stations closest of the Pará River mouth. The highest parameters variations of dissolved oxygen and pH were recorded between the periods, without, however, showing significant differences between surface and bottom. The salinity vertical gradient was proved to be well stratified in the stations near the Pará River in high discharge conditions and partially stratified during the transitional period. In low discharge conditions, the water column was homogeneous at all sampling stations. Under the high river discharge influence, the Pará River contribution to the Amazon inner Shelf was considered significant, reaching a spatial reach to the east up to ≈ 300 km along the Pará-Maranhão coast. In contrast, waters low salt ($S < 30$) were not recorded in the region near the São Marcos Bay, indicating that there is no water of continental characteristic from the Bay to the Amazon inner Shelf area, even under high river discharge conditions. Studies oriented to this Amazon Continental Shelf eastern portion of are needed to deepen the knowledge of the dynamics of parameters that govern this region and the Pará River fluvial discharge role, especially considering the mangrove ecosystem vulnerability established in this coast line.

Keywords: Dynamic oceanography - Amazon. Amazonian estuary. Pará River Plume. Amazon Shelf. Costa Norte Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo indicando a rota de coleta e as vinte estações estabelecidas ao longo da PCA.	14
Figura 2: Localização das estações meteorológicas escolhidas para obtenção dos dados de vento e precipitação (pontos vermelhos).	16
Figura 3: Resultado comparativo entre a Normal Climatológica (linha preta) e os valores de vento médios mensais para os anos de coleta (linha vermelha), para as quatro estações do INMET da região de estudo.	19
Figura 4: Direção e intensidade dos ventos durante o período chuvoso.	21
Figura 5: Direção e intensidade dos ventos durante o período transicional.	21
Figura 6: Direção e intensidade dos ventos durante o período seco.	22
Figura 7: Resultado comparativo entre a Normal Climatológica (linha preta) e os valores de precipitação média mensal para os anos de coleta (barras), para as quatro estações do INMET da região de estudo.	23
Figura 8: Perfis verticais de salinidade durante as campanhas do período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.	25
Figura 9: Salinidade superficial ao longo da porção interna da PCA no período chuvoso (abril/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.	26
Figura 10: Perfis verticais de salinidade durante as campanhas do período transicional (agosto e dezembro/2018). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.	27
Figura 11: Salinidade superficial ao longo da porção interna da PCA no período transicional (agosto/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.	27
Figura 12: Perfis verticais de salinidade durante as campanhas do período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos. ...	28
Figura 13: Salinidade superficial ao longo da porção interna da PCA no período seco (setembro/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.	29
Figura 14: Perfis verticais da temperatura durante as campanhas do período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.	30
Figura 15: Temperatura superficial ao longo da porção interna da PCA no período chuvoso (abril/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.	31

Figura 16: Perfis verticais de temperatura durante as campanhas do período transicional (agosto e dezembro/2018). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.	32
Figura 17: Temperatura superficial ao longo da porção interna da PCA no período transicional (agosto/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.	32
Figura 18: Perfis verticais de temperatura durante as campanhas do período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos. ...	33
Figura 19: Temperatura superficial ao longo da porção interna da PCA no período seco (setembro/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.	34
Figura 20: Perfil do pH na coluna d'água durante o período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019).....	36
Figura 21: Perfil do pH na coluna d'água durante o período transicional (agosto e dezembro/2018).	37
Figura 22: Perfil do pH na coluna d'água durante o período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018).....	37
Figura 23: Concentrações de OD na coluna d'água durante o período chuvoso (agosto/2018, janeiro e fevereiro/2019).....	39
Figura 24: Concentrações de OD na coluna d'água durante o período transicional (agosto e dezembro/2018).	40
Figura 25: Concentrações de OD na coluna d'água durante o período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018).....	40
Figura 26: Perfis verticais do STD durante o período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019).....	42
Figura 27: Perfis verticais do STD durante o período transicional (agosto e dezembro/2018).	42
Figura 28: Perfis verticais do STD durante o período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018).	43
Figura 29: Variação de MPS durante o período chuvoso.....	45
Figura 30: Variação de MPS durante o período transicional.....	45
Figura 31: Variação de MPS durante o período seco.	46
Figura 32: Mapa ilustrativo da dispersão da pluma estuarina dos rios Amazonas e Pará, sob diferentes condições de descarga fluvial: (a) período seco; (b) transicional; (c) chuvoso – período de maior alcance.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações gerais sobre as campanhas oceanográficas.....	12
Tabela 2: Localização geográfica (WGS 84) das estações de coleta e suas respectivas localidades.....	15
Tabela 3: Localização geográfica das estações do INMET selecionadas, parâmetros e períodos utilizados para obtenção dos dados.....	16
Tabela 4: Estatística básica dos dados de ventos obtidos nas quatro estações meteorológicas.....	20
Tabela 5: Estatística básica dos dados de precipitação obtidos nas quatro estações meteorológicas.....	24
Tabela 6: Diferenças significativas (em negrito) da salinidade entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.....	29
Tabela 7: Diferenças significativas (em negrito) da temperatura entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.....	34
Tabela 8: Diferenças significativas (em negrito) do pH entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.....	38
Tabela 9: Diferenças significativas (em negrito) das concentrações de OD entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.....	41
Tabela 10: Diferenças significativas (em negrito) dos valores de STD entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.....	43
Tabela 11: Diferenças significativas (em negrito) dos valores de MPS entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 JUSTIFICATIVA	7
3 HIPÓTESES	10
4 OBJETIVOS	11
4.1 Geral	11
4.2 Específicos	11
5 METODOLOGIA	12
5.1 Aquisição dos Dados	12
5.2 Métodos de Análise	16
6 RESULTADOS	19
6.1 Vento	19
6.2 Precipitação	22
6.3 DINÂMICA DOS PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS NA PCA	24
6.3.1 Salinidade	24
6.3.2 Temperatura	30
6.3.3 pH	35
6.3.4 Oxigênio Dissolvido	38
6.3.5 Sólidos Totais Dissolvidos	41
6.3.6 Material Particulado em Suspensão	44
7 DISCUSSÃO	47
8 CONCLUSÕES	53
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

As plataformas continentais são ambientes que funcionam como zonas de ligação entre continente e áreas oceânicas, intermediando a redistribuição sedimentar entre as regiões e modulando as principais forçantes hidrodinâmicas de processos oceânicos e estuarinos.

A Plataforma Continental Amazônica (PCA) está inserida em um cenário altamente energético, resultado da superposição de diversas características dominantes, como: grande intensidade de radiação solar e redução do efeito de Coriolis pela proximidade latitudinal ao equador, energia significativa das marés, grande aporte de água doce continental e regimes de ventos alísios e correntes oceânicas. Essas forçantes estão em constante interação em processos de micro à mesoescala, atribuindo um alto dinamismo à essa região. Com seu limite aproximadamente até a isóbata de 100 m, a PCA é considerada extensa e pouco profunda quando comparada à outras plataformas. Com profundidades variáveis ao longo da sua extensão, Kuehl *et al.* (1982) pôde dividir a área em dois segmentos: plataforma interna, delimitada pela isóbata de 60 m; plataforma externa, entre as isóbatas de 60 e 100 m. Devido à essa extensão, Fontes (2000) afirma que a PCA é um ambiente propício para amplificações das componentes semi-diurnas das marés.

Inserida nesse contexto, situa-se a Zona Costeira Amazônica (ZCA), região que abriga uma grande diversidade de ambientes, *e.g.* praias, planícies de marés, estuários, manguezais e *etc.*, que lhe atribui características oceanográficas peculiares e altamente complexas, especialmente quando comparadas às outras regiões costeiras brasileiras. A faixa costeira da ZCA foi dividida em dois setores: 1) região ocidental com influência direta da descarga líquida e sólida do rio Amazonas (Souza-Filho *et al.*, 2008); região oriental com maior influência do rio Pará, que abriga o maior cinturão contínuo de manguezais do planeta (Souza-Filho *et al.*, 2005).

O ecossistema de manguezais representa cerca de 8% de toda linha de costa do globo e um quarto da linha de costa da zona tropical, sendo o Brasil o segundo maior país em extensão de áreas de manguezal (Spalding *et al.*, 1997). A área de mangue do nordeste paraense e noroeste do maranhão, denominada de Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônica por Souza-Filho *et al.* (2005), estende-se da Baía do Marajó (PA) até a Ponta do Turbarão, Baía de São José (MA), totalizando cerca de 650 km de litoral em linha reta. Esta área é adjacente à PCA e é recortada por diversos estuários.

As condições oceanográficas e meteorológicas estabelecem um ambiente favorável ao desenvolvimento desse ecossistema na área da ZCA. O desenvolvimento estrutural máximo

dos manguezais tende a ocorrer próximo ao equador (Quinões, 2000), sendo um ambiente de alta produtividade e importante no processo de ciclagem de nutrientes, abrigando uma grande diversidade de organismos.

A dinâmica hidroclimática da ZCA é ditada pelo comportamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), zona decorrente do sistema de circulação atmosférica superficial. O movimento da ZCIT ao longo do ano é o fator que determina os períodos sazonais de precipitação e descarga fluvial dos sistemas da região. Os meses de janeiro a abril representam o período chuvoso da região, quando a ZCIT encontra-se mais ao sul do oceano Atlântico; os meses de agosto à novembro marcam o período seco da região e a ZCIT encontra-se mais ao norte do oceano Atlântico (Lima, 2002); o intervalo entre os meses citados é denominado de fase transicional da região (Lima *et al.*, 2004).

O regime de ventos alísios, importante forçante na hidrodinâmica da plataforma, tem sua sazonalidade associada à migração da ZCIT. A região da PCA está sob influência dos alísios de nordeste, quando a ZCIT está próxima ao equador (dezembro-abril), pode atingir velocidades médias de 18 m.s^{-1} em fevereiro (Nittrouer e DeMaster, 1996); quando há a migração de cerca 5°N (agosto-setembro), fica sob influência dos alísios de sudeste e atingem sua menor intensidade, inferior à 12 m.s^{-1} (Fontes, 2000; Nittrouer e DeMaster, 1996). Lentz e Limeburner (1995) verificaram ainda que o fenômeno eventual de bloqueio do transporte da pluma do rio Amazonas é registrado quando os ventos sopram para sudeste, provocando em um incremento da largura da mesma neste período.

Dois sistemas hidrológicos com grandes descargas líquidas e sólidas são determinantes para os processos ocorrentes na PCA: Rio Amazonas e Pará. Meybeck (1988) estimou que a área dos trópicos úmidos é responsável por fornecer cerca de 51% de toda água doce presentes nos oceanos mundiais. O rio Amazonas, por sua vez, é responsável pelo aporte de cerca de 30% de toda água doce presente no oceano Atlântico (Dai e Tremberth, 2002), figurando como o maior sistema hidrológico de vazão de água doce do mundo. Com a liberação de $\sim 1,2 \times 10^9$ toneladas anuais de sedimentos na PCA, é o terceiro em importância de transporte de sedimentos em suspensão do globo (Meade *et al.*, 1985). Sua vazão possui um comportamento sazonal, atingindo seu máximo em maio com $220.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e o mínimo em novembro, com $100.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Geyer e Kineke, 1996). Essa vazão gera uma pluma de água com teor salino baixo que, dependendo do período sazonal, pode ter de 3 a 10 m de espessura e alcançar distâncias superiores a 150 km (Lentz e Limeburner, 1995).

Com uma descarga líquida com uma ordem de grandeza menor que o rio Amazonas, aproximadamente $10^4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Prestes *et al.*, 2014), o rio Pará figura como o segundo maior sistema hidrológico da região norte brasileira, com mais de 300 km longitudinais. Sem uma nascente própria, o sistema recebe o aporte fluvial do rio Amazonas através de pequenos canais denominados de Estreito de Breves (Costa, 2014), porém, o sistema de bacias hidrográficas dos rios Tocantins e Araguaia é considerado a principal fonte de aporte de águas para o rio Pará. A dinâmica da vazão fluvial acompanha a sazonalidade da região, onde Prestes *et al.* (2014) verificou que a vazão do rio, associada à energia das marés, atinge picos de $300.000 \text{ m}^3/\text{s}$ durante a vazante e $200.000 \text{ m}^3/\text{s}$ durante a enchente.

Diferentemente do que ocorre no rio Amazonas, a magnitude da vazão fluvial do rio Pará permite que haja uma intrusão salina no período de baixa descarga fluvial. Um modelo numérico 2D aplicado por Rosário *et al.*, (2016) mostrou que, em condições de baixa vazão, a salinidade alcança até 130 km estuário adentro. Mascarenhas *et al.* (2016) verificaram que a pluma estuarina gerada pelo rio Pará, em condições de alta descarga fluvial, se estendeu em até 200 km sobre a área da PCA – limite no qual as plumas do rio Amazonas e Pará interagem.

A vazão combinada desses dois sistemas hidrológicos gera uma pluma superficial de baixa salinidade que ingressa no oceano Atlântico e é transportada para noroeste pela corrente Norte do Brasil - CNB (Silva *et al.*, 2009). O trabalho de Lentz (1995) discute a influência da variabilidade da descarga do rio Amazonas e atuação dos ventos na região, onde foi possível mostrar que a dispersão da pluma próxima da costa está diretamente relacionada com a intensidade/direção dos ventos alísios. O estudo realizado por Silva *et al.* (2009) mostraram que os meses de março a maio (ZCIT mais próxima do equador), os alísios de nordeste bloqueiam a pluma próxima da costa, ocorrendo a sua dispersão para sudeste, atingindo a plataforma continental do Pará; Rosário *et al.* (2016) mostrou que, os rios que alimentam o sistema hidrológico do rio Pará possuem capacidade de levar a pluma estuarina para além dos limites do estuário, ou seja, durante alguns meses do ano, há a presença da pluma formada pelo estuário do rio Pará na PCA.

Na área da PCA, Beardsley *et al.*, (1995) constataram que M_2 , S_2 e N_2 são as componentes semidiurnas da maré responsáveis em até 85% da alteração do nível d'água. Os autores analisam o comportamento da principal componente (M_2) sobre a plataforma, concluindo que a componente se propaga pela área da plataforma como uma onda progressiva, onde a maior parte da dissipação de energia de maré ocorre na porção interna da

plataforma, em profundidades iguais ou inferiores a 20 m, com amplitudes de 1,5 m na foz dos rios Amazonas e Pará. Prestes *et al.* (2017) constataram que, assim como na PCA, a componente M_2 é a mais significativa no rio Pará, representando mais que 40% de energia da onda de maré no estuário. Outro ponto importante verificado por Geyer e Kineke (1995) foi a variação quinzenal (sizígia e quadratura) e mensal nos níveis e velocidades das marés na área da PCA. Nas proximidades da desembocadura do Amazonas, as velocidades máximas ocorrem durante o estágio de sizígia (2 m/s) e os mínimos na quadratura (0,7 m/s).

Originada a partir da bifurcação da corrente Sul Equatorial (CSE), a Corrente Norte do Brasil (CNB) é a principal corrente de contorno oeste do Atlântico equatorial, fluindo pela parte externa da PCA e talude continental e que configura uma forçante importante da circulação nessa região. A CNB possui uma variabilidade sazonal na sua direção, associada sobretudo ao regime de ventos. De forma geral, ela é responsável em transportar águas mais aquecidas do Atlântico Sul em direção noroeste na costa brasileira, cruzando a linha do equador rumo ao Atlântico Norte.

A CNB transporta água, em direção ao equador, cerca de 35 Sv ($1 Sv = 10^6 m^3s^{-1}$) e uma amplitude com variação sazonal média de 3 Sv (Johns *et al.*, 1998). O mesmo trabalho estimou uma média anual de 26 Sv, onde os meses julho-agosto atinge o máximo de transporte com 36 Sv e o mínimo de 13 Sv em abril-maio. Nas proximidades do estado do Amapá, a CNB sofre sazonalmente uma retroflexão para leste, o que contribui para a formação de vórtices anticiclônicos ou *rings* (anéis) (Johns *et al.*, 1998; Fratantoni e Glickson, 2002).

Geyer e Beardsley (1995) verificaram que a vazão sólida (sedimentos em suspensão) e líquida dos rios origina uma significativa diferença de densidade e estratificação na coluna d'água, resultando na redução de mistura vertical em grande parte da plataforma. Estudos como o de Gabioux *et al.* (2005) destacaram a presença de lama fluida depositada na porção da plataforma interna e o seu efeito na propagação da maré, registrando a diminuição de dissipação e o consequente aumento na amplitude de maré ao longo da faixa costeira. Neste cenário da PCA, Souza-Filho *et al.* (2006) estabeleceram, através da ação das marés e monitoramento remoto, o maior cinturão de manguezais do mundo na porção leste da PCA como um geoindicador de mudanças costeiras. Desta forma, se faz necessário o estudo integrado das forçantes que regem esse sistema na região norte brasileira, onde a análise dos aspectos oceanográficos presentes nessa região intermediária, entre continente e oceano

profundo, é fundamental para o entendimento da dinâmica dos processos ocorrentes na diversidade de ambientes inseridos nessa região.

O sistema de interação entre os rios Amazonas e Pará e a PCA é complexo e possui significativas variabilidades de escalas temporais e espaciais. As informações a respeito do setor oriental, onde assume-se que a influência da descarga líquida do rio Pará seja maior em relação ao Amazonas, ainda é pouco abordada na literatura. O maior contingente de pesquisas direcionadas a essa porção que abrange a costa Pará-Maranhão são focadas na dinâmica que envolve a faixa contínua de manguezais presente nesta região. Desta forma, a presente Dissertação tem como objetivo abordar de forma mais aprofundada os processos oceanográficos que ocorrem neste setor leste da PCA interna e verificar se há influência do rio Pará e Baía de São Marcos sobre a PCA.

2 JUSTIFICATIVA

As águas jurisdicionais brasileiras compõem uma área de cerca de 3,5 milhões km², extensíveis para até 4,5 milhões se expandido sua área da Plataforma, o que equivaleria mais da metade do território nacional. Nesta área, encontra-se grande variedade dos recursos naturais, incluindo 95% do petróleo e 83% do gás natural produzidos no país. Inúmeros terminais portuários fazem parte da rota de comércio marítimo, o que designa o território brasileiro como uma espécie de “porta” para a exportação comercial, sendo responsável por cerca de 98% dos fluxos do comércio exterior (Pêgo *et al.*, 2018). São nestas áreas litorâneas onde está a maior concentração populacional.

A Zona Costeira Amazônica é uma região de um alto dinamismo e que abriga uma grande diversidade de ambientes, destacando-se os dois maiores sistemas hidrológicos da região norte brasileira: Rio Amazonas e Pará. Vale ressaltar a grande quantidade de unidades de conservação instaladas nessa região, em sua maioria Áreas de Proteção Ambiental (APA) e Reservas Extrativistas (RESEX). O debate acerca do uso econômico e sustentável da região tem sido foco crescente em âmbito mundial, onde atividades portuárias, potencial de exploração de gás e óleo na sua Plataforma, atividades pesqueiras, são algumas das atividades socioeconômicas recorrentes dessa região.

O litoral da ZCA apresenta uma elevada importância natural e as atividades pesqueiras, especialmente na costa paraense, são regidas por unidades de sistema de produção pesqueira. Esses sistemas possuem organizações diferentes, que vão desde a pesca artesanal por comunidades ribeirinhas, até atividades industriais de grande porte. A matéria orgânica, oriunda das planícies inundadas e da decomposição das florestas de mangue características dessa região, é responsável pela formação de condições propícias a ocorrência de variedades de espécies com alto valor socioeconômico (Lacerda, 2003). As atividades pesqueiras são regidas pela sazonalidade da região, onde considera-se as variações espaço-temporais segundo a disponibilidade de espécies de valor econômico. Considera-se o período chuvoso da região como sendo o de alta safra de pescado economicamente significativo e, conseqüentemente, período onde há uma maior concentração de embarcações pesqueiras na região da ZCA e Plataforma Continental adjacente.

Apesar do estuário do rio Pará figurar como uma das zonas mais importantes de pesca artesanal/industrial na região da ZCA, as zonas portuárias instaladas têm como sua principal base a exploração e exportação de minério. Dois portos destacam-se: Porto de Vila do Conde, no município de Barcarena (PA) e o terminal petroquímico de Miramar, em Belém, capital

do estado. Maior e mais movimentado, o porto de Vila do Conde possui em sua área um aglomerado de complexos industriais, lideradas pelas empresas Albras e Alunorte. Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), em 2016 o porto de Vila do Conde movimentou cerca de 25 milhões de toneladas de cargas, um crescimento de 3,7% em relação ao ano anterior. Diversos elementos minerais são transportados diariamente, sendo a Alumina a matéria-prima mais relevante em movimentações no porto. Essas instalações, dado à quantidade de substâncias manejadas e os rejeitos provenientes dessa exploração, apresentam elevado risco ambiental e degradação do ambiente natural. O registro de incidentes anteriores mostra o quão prejudicial pode ser a falta de conhecimento científico da área para a contenção de danos, tanto para a região acidentada como para suas adjacências.

A exploração marítima de gás e óleo está em fase crescente na região norte do Brasil, especialmente na região da bacia do Foz do Amazonas. As bacias de exploração existentes no território nacional são consideradas atualmente em fase próximas da maturidade, ou seja, tendendo ao declínio exploratório. Isso resulta na busca de novas áreas propícias à exploração desse recurso. Estudos iniciados na década de 1970 buscam analisar a situação equatorial brasileira como ponto de exploração desses recursos energéticos, buscando integrar o potencial exploratório com o uso responsável, tendo em vista os riscos ambientais inerentes a tais atividades, especialmente quando considerando a presença do maior ecossistema de manguezais do globo nesta região.

Segundo Pereira Filho e Alves (1999) o manguezal desempenha diversas funções naturais de grande importância ecológica e econômica. Inserido neste contexto, localiza-se na costa dos estados do Pará-Maranhão a maior faixa contínua de manguezais do mundo. Esse sistema desempenha diversas funções ambientais e econômicas na área da ZCA, tais como proteção da linha de costa, retenção de sedimentos carregados pelos corpos hídricos, áreas de concentrações de nutrientes, renovação da biomassa costeira e *etc.* Um eventual declínio do ecossistema de manguezal implicaria diretamente no declínio da produção/atividades pesqueiras e afetaria economicamente comunidades que dependem direta ou indiretamente desse sistema.

Tendo em vista o potencial exploratório de petróleo e gás na PCA, é importante fazer a relação com os ambientes vulneráveis, tais como o ecossistema de manguezais na costa norte brasileira. Derramamentos de óleo e seus derivados podem provocar efeitos tanto agudos, que se manifestam a curto prazo, quanto crônicos, que irão provocar impactos observáveis em períodos de tempo mais longos. É necessário ter em mente que a resposta desse ecossistema

aos possíveis impactos depende não apenas da quantidade derramada, mas da composição do produto que, uma vez introduzidos no ambiente, os compostos irão sofrer transformações físico-químicas.

O entendimento acerca dos processos ocorrentes no sistema estuarino do rio Pará na ZCA e PCA na borda equatorial brasileira é complexo e, embora de reconhecida importância científica, ainda são considerados poucos os trabalhos que visam aprofundar a relação entre esses sistemas. Assumindo a interação e a interdependência de processos existentes entre esses ambientes e, mais especificamente, assumindo que as águas do sistema estuarino do rio Pará cheguem até o ecossistema de manguezais durante alguns meses do ano, a geração de informações mais aprofundadas e investigação dos processos que regulam a dinâmica desses ambientes se faz sempre necessária e atualizada. Por sua magnitude, a grande maioria dos estudos são centrados no rio Amazonas e área adjacente. Portanto, pela primeira vez, busca-se fazer uma análise mais abrangente da dinâmica das águas provenientes do sistema estuarino do rio Pará sobre a porção leste da Plataforma Amazônica.

3 HIPÓTESES

Hipóteses foram formuladas baseadas no interesse do presente estudo e das considerações apresentadas acima:

- A influência do Rio Pará é superior à influência da Baía de São Marcos na área da Plataforma Continental Amazônica;
- O sistema de plumas formadas pelos rios Amazonas e Pará possui uma tendência para leste na porção oriental da PCA quando em condições de alta descarga fluvial;
- A dinâmica dos parâmetros analisados na Plataforma interna é condicionada preferencialmente pela variabilidade sazonal da região.

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

Analisar a variabilidade espaço-temporal dos processos oceanográficos na plataforma continental amazônica interna no setor oriental, região norte do Brasil.

4.2 Específicos

- Determinar a influência da descarga líquida do Rio Pará e Baía de São Marcos no campo hidrográfico da PCA interna em períodos sazonais distintos;
- Relacionar e caracterizar os processos físico-químicos sob diferentes condições sazonais;
- Verificar qual parâmetro é o melhor indicativo da presença e/ou dispersão da pluma sobre a porção leste da PCA, em função da sazonalidade;
- Verificar o alcance espacial e direcionamento para leste da pluma do estuário do rio Pará em diferentes condições de descarga.

5 METODOLOGIA

A Dissertação teve como base os dados gerados pelo projeto desenvolvido na zona costeira amazônica: Projeto Costa Norte - Desenvolvimento de Metodologia para o Entendimento dos Processos Costeiros e Definição da Vulnerabilidade das Florestas de Mangue das bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas. Afim de determinar a vulnerabilidade e dinâmica da margem equatorial brasileira, o Projeto fez o levantamento de dados *in situ* e hidrodinâmicos por toda extensão da Plataforma Continental Amazônica (PCA) e oceano Atlântico Tropical, na área dos estados do Amapá ao Maranhão.

5.15.1 Aquisição dos Dados

A área de enfoque do trabalho é na região interna da PCA (latitude 0°30'9.36'' - 1°31'50.04'' S; longitude 47°58'48'' - 44°19'53.88''W), limitada à isóbata de 30 m, em frente às principais reentrâncias da costa dos estados Pará e Maranhão (Figura 1). O levantamento contou com aquisições de parâmetros físico-químicos e de material particulado em suspensão (MPS) em nove campanhas oceanográficas na plataforma continental, com cerca de 580 km navegados durante três dias em cada campanha. A periodicidade de coleta englobou os períodos sazonais bem definidos na região amazônica: chuvoso, transicional e seco. Por questões logísticas de embarque, foram realizadas duas medições no mês de outubro. A Tabela 1 traz as informações sobre as campanhas e seus respectivos meses, bem como o período em que foram realizadas.

Tabela 1: Informações gerais sobre as campanhas oceanográficas.

Período	Campanha	Mês	Ano
Chuvoso	I	Abril	2018
Transicional	II	Agosto	2018
Seco	III	Setembro	2018
Seco	IV	Outubro	2018
Seco	V	Outubro	2018
Seco	VI	Novembro	2018
Transicional	VII	Dezembro	2018
Chuvoso	VIII	Janeiro	2019
Chuvoso	IX	Fevereiro	2019

O método consiste na disposição de 20 (vinte) pontos de coletas em frente à foz dos estuários dos dois estados (Tabela 2), sem estabelecer, no entanto, um padrão de espaçamento entre as estações, uma vez que a distância entre os estuários é variável. O levantamento dos dados de salinidade foi realizado seguindo dois métodos distintos de coleta: o registro da variação superficial foi realizado a partir do acoplamento de um sensor *Levelogger* de condutividade (acurácia de 2%), pressão e temperatura (acurácia de 0,1%), modelo 3001 Junior, no casco da embarcação, à uma taxa de frequência de 5 minutos. À mesma frequência, um GPS Garmin, modelo 76cx, registrou toda rota de navegação. Juntos, forneceram uma descrição lagrangeana da propriedade ao longo da costa em três campanhas representativas de cada período sazonal (I - chuvoso, II - transicional e II - seco). A amostragem da salinidade ao longo de um perfil contínuo foi realizada através de um CTD (*Conductivity, Temperature, and Depth*), modelo SBE-37SM, onde efetuou medições verticais à uma taxa de 5 segundos (0,2 Hz) na coluna d'água.

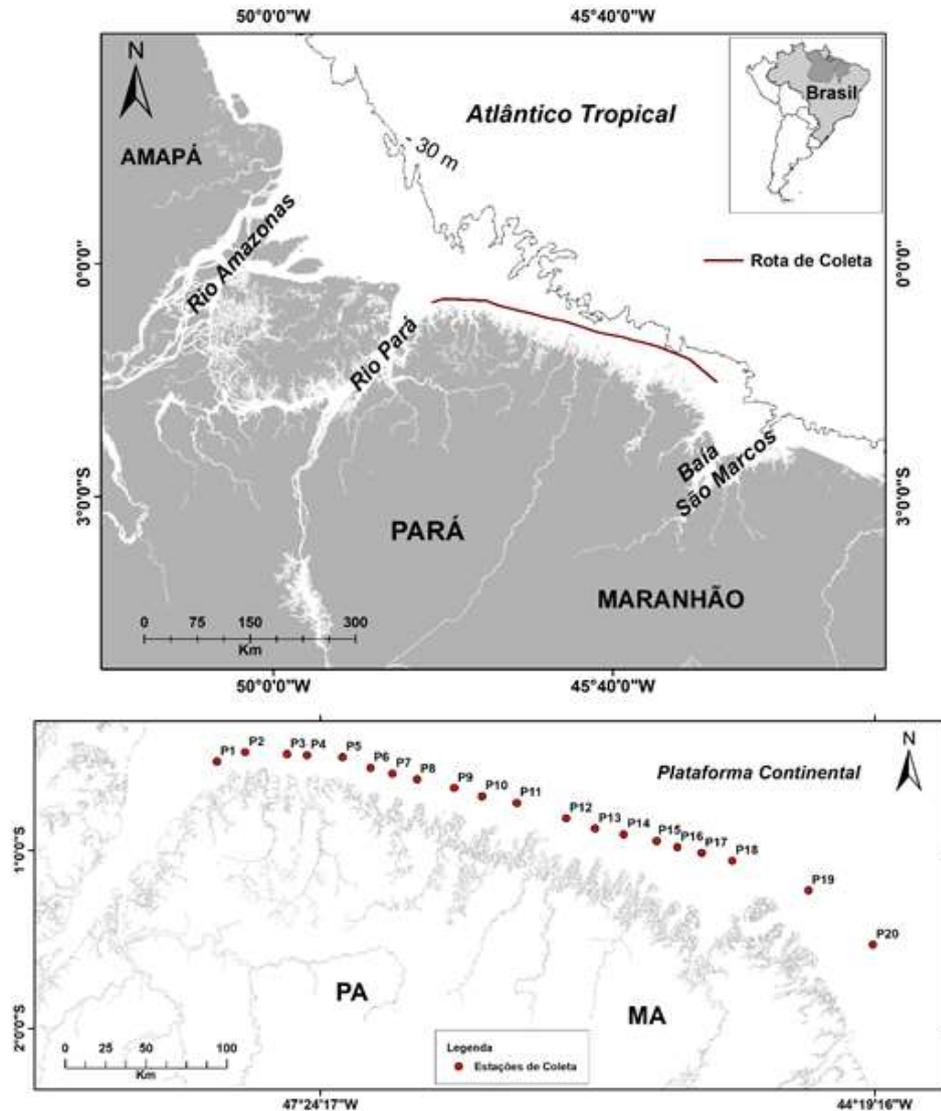


Figura 1: Área de estudo indicando a rota de coleta e as vinte estações estabelecidas ao longo da PCA.

Um modelo de garrafa Van Dorn foi utilizado para a coleta de água de superfície (≈ 1 m) e próximo ao fundo (profundidades variáveis para cada estação). Após coletada, dois procedimentos seguiam: 1) armazenamento em frascos para posterior análise em laboratório e estimação do MPS; 2) análise *in situ* dos parâmetros químicos através de uma sonda multiparâmetros Horiba, modelo U-52, que fornece uma ampla variedade de parâmetros. Sólidos Totais Dissolvidos (STD), pH e Oxigênio Dissolvido (OD) foram os parâmetros utilizados no trabalho.

Tabela 2: Localização geográfica (WGS 84) das estações de coleta e suas respectivas localidades.

Pontos	Longitude (W)	Latitude (S)	Localidades
1	47°58'48.00"	0°30'9.36"	Baía de Tapari
2	47°49'20.16"	0°27'1.02"	Curuçá
3	47°35'26.82"	0°27'39.36"	Algodual
4	47°28'43.44"	0°27'59.34"	Baía do Maracanã
5	47°16'53.46"	0°28'39.36"	Salinópolis
6	47° 7'33.42"	0°32'16.02"	São João de Pirabas
7	47° 0'16.74"	0°34'12.66"	Baía do Japerica
8	46°52'3.36"	0°36'9.36"	Baía do Quatipuru
9	46°39'40.02"	0°39'6.00"	Baía do Maiaú
10	46°30'23.28"	0°41'49.32"	Baía do Caeté
11	46°18'43.20"	0°44'2.70"	Baía do Chum
12	46° 2'13.14"	0°49'16.02"	Taperebateua
13	45°52'36.42"	0°52'46.02"	Rio Gurupi
14	45°43'3.00"	0°54'39.36"	Baía Irimirim
15	45°32'9.60"	0°56'52.68"	Baía do Piracauá
16	45°25'9.60"	0°58'59.34"	Ilha da Trauíra
17	45°17'3.90"	1° 0'56.10"	Baía do Maracaçumé
18	45° 6'52.26"	1° 3'34.50"	Baía de Turiaçu
19	44°41'24.00"	1°13'32.82"	Baía do Capim
20	44°19'53.88"	1°31'50.04"	Baía Cabelo da Velha

Os dados de vento e precipitação do ano de 2018 e 2019 utilizados nesta pesquisa foram adquiridos junto à plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que disponibiliza médias mensais de dados meteorológicos. Com intuito de complementar as informações obtidas concomitantemente *in situ*, as estações do INMET de Soure (PA), Bragança (PA), Turiaçu (MA) e São Luís (MA) foram determinadas como sendo as melhores para o fornecimento de dados para essa região de interesse do estudo (Tabela 3). Ainda, com dados de reanálise de precipitação e vento, obtidos do projeto MERRA-2 (NASA), que utiliza um grupo de componentes de modelagem *Goddard Earth Observing System Model* (GEOS-5) com o *Atmospheric Data Assimilation System* (ADAS), foi realizada uma Normal Climatológica para a região, afim de comparar os dados históricos médios com os anos

respectivos à coleta (2018 e 2019). A Figura 2 traz a localização das estações escolhidas para obtenção dos dados utilizados na análise.

Tabela 3: Localização geográfica das estações do INMET selecionadas, parâmetros e períodos utilizados para obtenção dos dados.

Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Parâmetro	Período
INMET Soure (PA)	0°43'48.00"	48°30'36.00"	Vento e Precipitação	janeiro/2018 a abril/2019 - médias mensais
INMET Bragança (PA)	1° 3'36.00"	46°53'60.00"	Vento e Precipitação	janeiro/2018 a abril/2019 - médias mensais
INMET Turiaçu (MA)	1°33'36.00"	45°21'36.00"	Vento e Precipitação	janeiro/2018 a abril/2019 - médias mensais
INMET São Luís (MA)	2°31'48.00"	44°12'36.00"	Vento e Precipitação	janeiro/2018 a abril/2019 - médias mensais

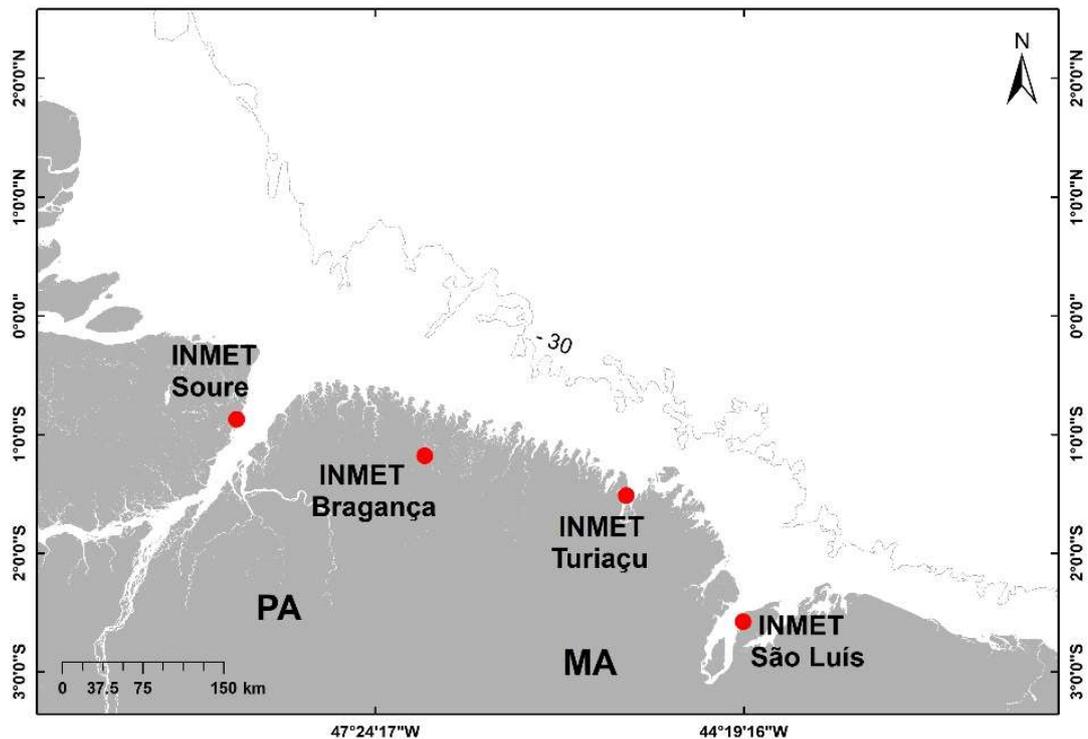


Figura 2: Localização das estações meteorológicas escolhidas para obtenção dos dados de vento e precipitação (pontos vermelhos).

5.2.5.2 Métodos de Análise

Os métodos de análises e conversão dos dados utilizados seguem metodologias testadas e fornecidas pela literatura científica que, considerando as especificidades das

dinâmicas de processos da região amazônica, podem sofrer algumas adaptações afim de otimizar e utilizar o potencial máximo do dado adquirido.

Para a obtenção da salinidade, é realizado uma conversão dos dados de condutividade fornecidos pelo equipamento. Essa conversão é baseada na nova equação do estado da água, que utiliza um pacote computacional “*gs_seawater*” fornecido pela *International Thermodynamic Equation of Seawater 2010 - TEOS-2010* (IOC; SCOR; IAPSO, 2010). Com a aplicação da nova equação, passa a ser adotado a unidade “g/kg” para a salinidade oceânica. Com base nos limites estabelecidos pelo Tratado de Veneza (1958), foi adotado no trabalho valores de salinidade: $S < 30$ como sendo de águas de influências estuarinas (plumas) e, águas oceânicas $S \geq 30$.

Seguindo metodologias propostas, foram utilizados preferencialmente os perfis de descida do CTD, onde, para a confecção gráfica, foi utilizado o método de interpolação *spline v4*, que produz superfícies lisas e permite a interpolação de dados nos intervalos desejados de profundidade. Suporta apenas interpolações bidimensionais e, ao contrário de outros métodos, não se baseia na triangulação de Delaunay.

Para a confecção dos mapas temáticos de distribuição da salinidade superficial foi utilizado o método estatístico de *krigagem*, que consiste basicamente em uma estimativa linear de regressão para aproximar e interpolar dados. Este método utiliza o princípio da primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas. Desta forma, a *krigagem* utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

A determinação do material particulado em suspensão é realizada em laboratório seguindo a metodologia proposta por Baumgarten *et al.* (1996), de gravimetria de volatilização. Filtros de fibra de vidro com poros de 0,45 µm foram colocados na estufa a uma temperatura de 50 °C por duas horas e, posteriormente, colocados no dessecador para impedir o acúmulo de umidade. Esse processo inicial é finalizado com a pesagem dos filtros e aquisição do peso 1 (P1). Em seguida, é feita a filtragem das amostras de água coletadas (V). Por fim, os filtros ficam durante 24 h na estufa (50 °C) para a pesagem final em balança analítica de alta precisão e obtenção do peso 2 (P2).

Este método quantitativo consiste essencialmente no processo que envolve a separação, filtragem e pesagem de um elemento em sua forma mais pura e, por um cálculo direto, obtemos a quantidade final de partículas suspensas na coluna d'água num dado volume. A unidade miligramas por litro (mg.L⁻¹), adotada na Dissertação, é comumente utilizada em regiões que não apresentam concentrações significativas de MPS.

$$MPS = \frac{(P2-P1)}{V} \quad (5.1)$$

Sendo: P1 o peso em gramas do filtro limpo; P2 o peso em gramas após o processo de filtragem; V o volume da amostra filtrada.

A sonda multiparâmetros Horiba possui um sistema de calibração interno, obedecendo a especificação de cada parâmetro analisado: temperatura (medição de -5 a 55°C e precisão ±0.3 + 0.005); pH (medição de 0 a 14 e precisão ±0.1); sólidos totais dissolvidos (medição de 0 a 100 g/L e precisão ±5 g/L); oxigênio dissolvido (medição de 0 a 50 mg/L e precisão de ±0.2).

Para a análise dos dados meteorológicos de vento e precipitação foi realizada uma média histórica de 39 anos (1980-2019) para a obtenção da Normal Climatológica através de uma rotina computacional. Para efeito de comparação com os anos da coleta (2018 e 2019), foi aplicado um teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (> 2 amostras, α=0.05), que consiste em um método de comparação entre duas ou mais amostras e verifica se há diferenças significativas entre as mesmas. O mesmo método foi aplicado para a análise dos parâmetros fornecidos pela sonda Horiba e pelo CTD, para identificar se houve diferenças sazonais significativas. Em complemento, o Teste de Dunn foi aplicado (p < α) para apontar qual a diferença específica. Para verificar se houve diferença entre superfície e fundo para cada parâmetro, o Teste de Mann-Whitney (≤ 2 amostras, α=0.05), foi aplicado.

6 RESULTADOS

6.1 Vento

O regime de ventos nesta porção leste da zona equatorial foi analisado baseado em comparações da série histórica (Normal Climatológica) e as médias mensais para os meses que abrangem as coletas realizadas *in situ*.

A Figura 3 apresenta, junto à Normal Climatológica (NC), os resultados dos valores médios de ventos obtidos durante os anos de 2018 e 2019. O intervalo de meses utilizados foi de janeiro de 2018 a abril de 2019. Para melhor demonstração, os resultados foram apresentados em um intervalo de doze meses. Para tal, foram realizadas médias entre os mesmos meses dos respectivos anos (janeiro, fevereiro, março e abril).

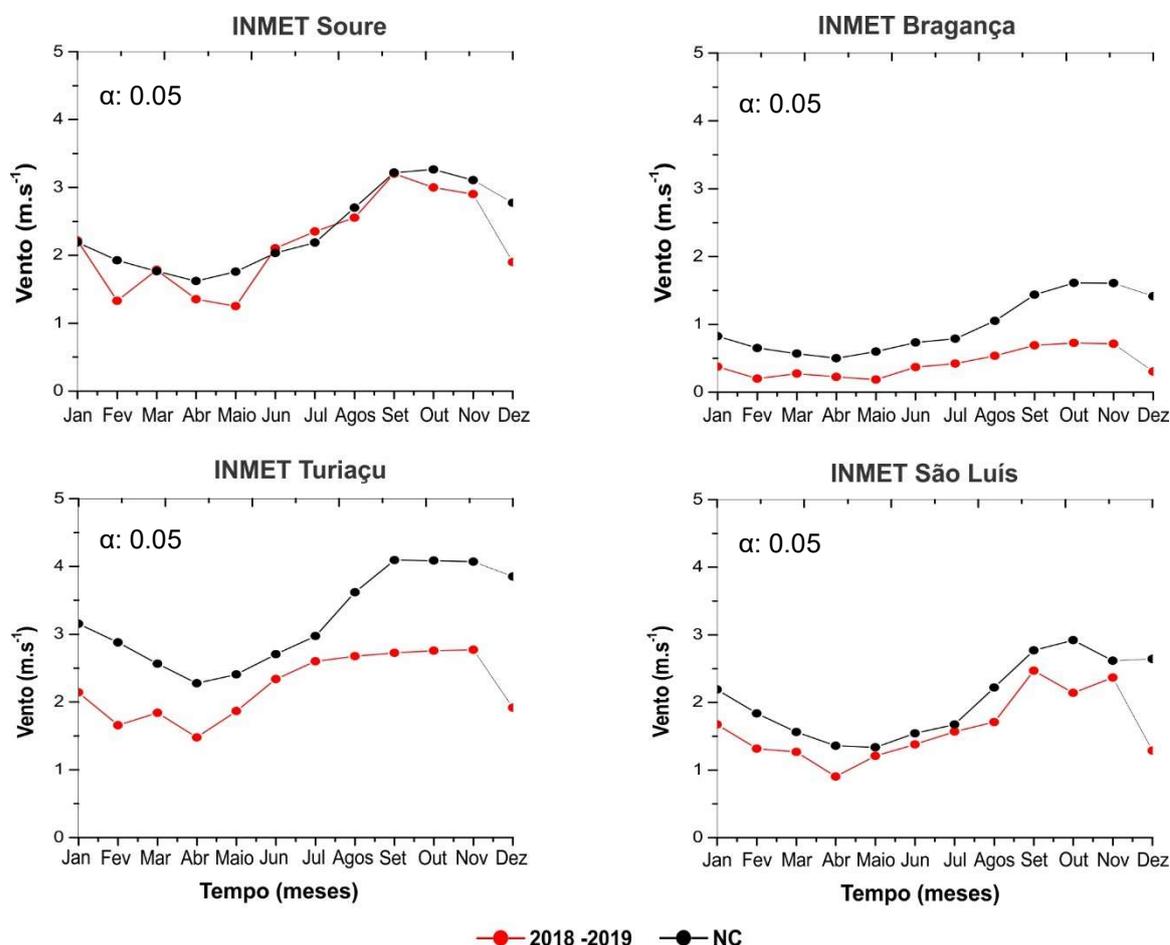


Figura 3: Resultado comparativo entre a Normal Climatológica (NC - linha preta) e os valores de vento médios mensais para os anos de coleta (linha vermelha), para as quatro estações do INMET da região de estudo.

Todas as estações, com exceção da estação de Soure, apresentaram diferenças significativas entre os valores médios mensais e a série histórica: Bragança (Mann-Whitney

teste; p : 0.00); Turiaçu (Mann-Whitney teste; p : 0.001); São Luís (Mann-Whitney teste; p : 0.044). Por outro lado, o teste estatístico apontou diferença entre as séries na estação de Soure (Mann-Whitney teste; p : 0.514). A Tabela 4 traz a estatística básica dos ventos de todas as estações analisadas.

Tabela 4: Estatística básica dos dados de ventos obtidos nas quatro estações meteorológicas.

	2018 - 2019			
	Soure	Bragança	Turiaçu	São Luís
Max ($m.s^{-1}$)	3.202	0.726	2.77	2.469
Média ($m.s^{-1}$)	2.16 ± 0.66	0.41 ± 0.20	2.23 ± 0.47	1.60 ± 0.48
Min ($m.s^{-1}$)	1.250	0.187	1.48	0.905
	NC			
	Soure	Bragança	Turiaçu	São Luís
Max ($m.s^{-1}$)	3.266	1.611	4.09	2.920
Média ($m.s^{-1}$)	2.37 ± 0.60	0.98 ± 0.42	3.22 ± 0.68	2.05 ± 0.57
Min ($m.s^{-1}$)	1.620	0.502	2.28	1.335
Mann-Whitney (p)	0.514	0.0002	0.001	0.044

A partir das médias mensais, foram elaborados histogramas (*wind rose*) com direção e intensidade dos ventos para cada período sazonal. No geral, os histogramas mostram que o vento se comportou de acordo com o deslocamento da ZCIT ao longo do ano, como era esperado. A ZCIT se encontra mais ao norte no primeiro semestre (chuvoso), resultando em ventos de predominância nordeste e menores intensidades. No segundo semestre (período seco), se encontra mais ao sul, com ventos de direção leste e nordeste e maior intensidade.

A Figura 4 apresenta o histograma referente ao período chuvoso da região, onde é possível observar ventos com direção predominante de nordeste, com média de $1.28 m.s^{-1}$. A máxima intensidade verificada para o período foi de $8.3 m.s^{-1}$, na estação de Turiaçu e a mínima, na estação de Bragança, com $1 m.s^{-1}$.

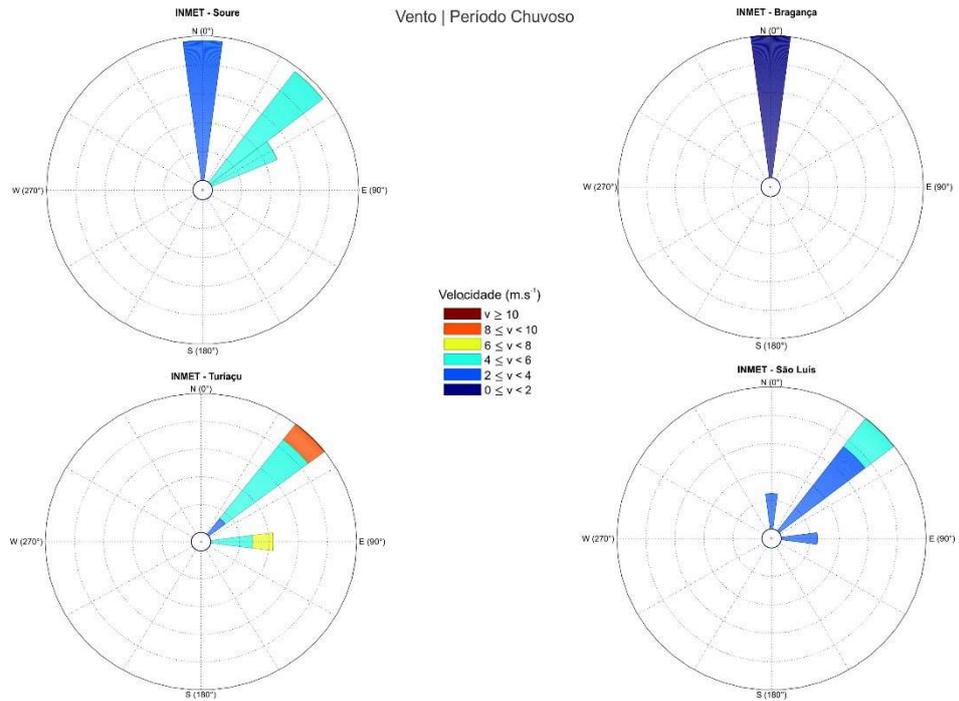


Figura 4: Direção e intensidade dos ventos durante o período chuvoso.

Com média de 4 m.s^{-1} , período transicional (Figura 5) apresentou maiores intensidades quando comparados ao chuvoso. A estação de Turiçu mais uma vez registrou o vento com maior intensidade para o período, com 6.8 m.s^{-1} para leste. Bragança registrou o mínimo: 1.2 m.s^{-1} .

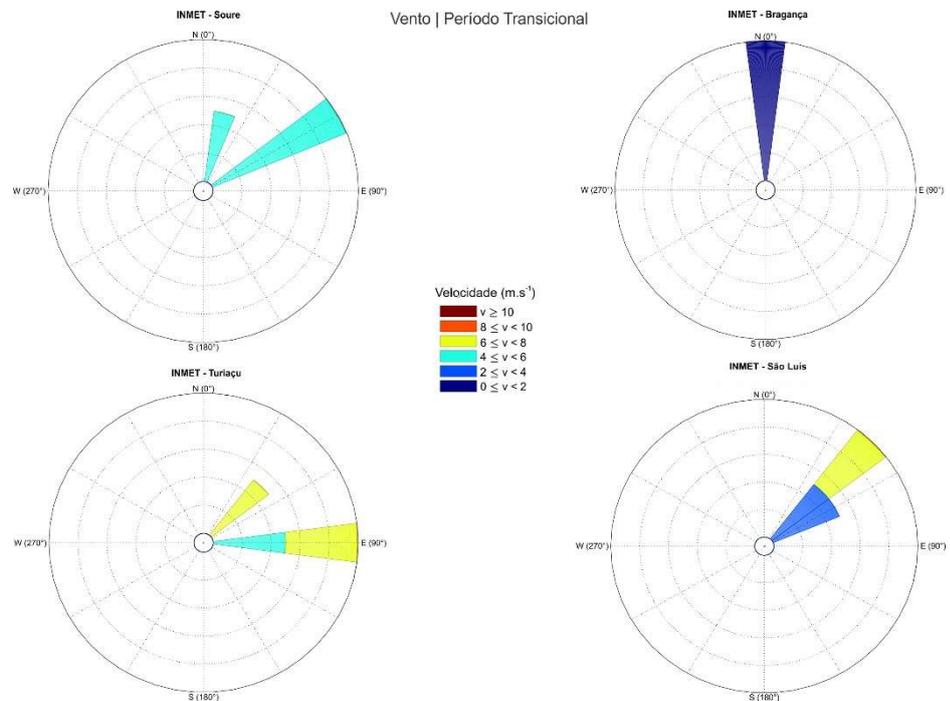


Figura 5: Direção e intensidade dos ventos durante o período transicional.

O segundo semestre, período seco, foi o que registrou as maiores intensidades do vento, com média de 4.14 m.s^{-1} . A Figura 6 mostra o máximo obtido na estação de Turiaçu, 6.8 m.s^{-1} para leste, e o mínimo de 1.4 m.s^{-1} com direção norte na estação de Bragança.

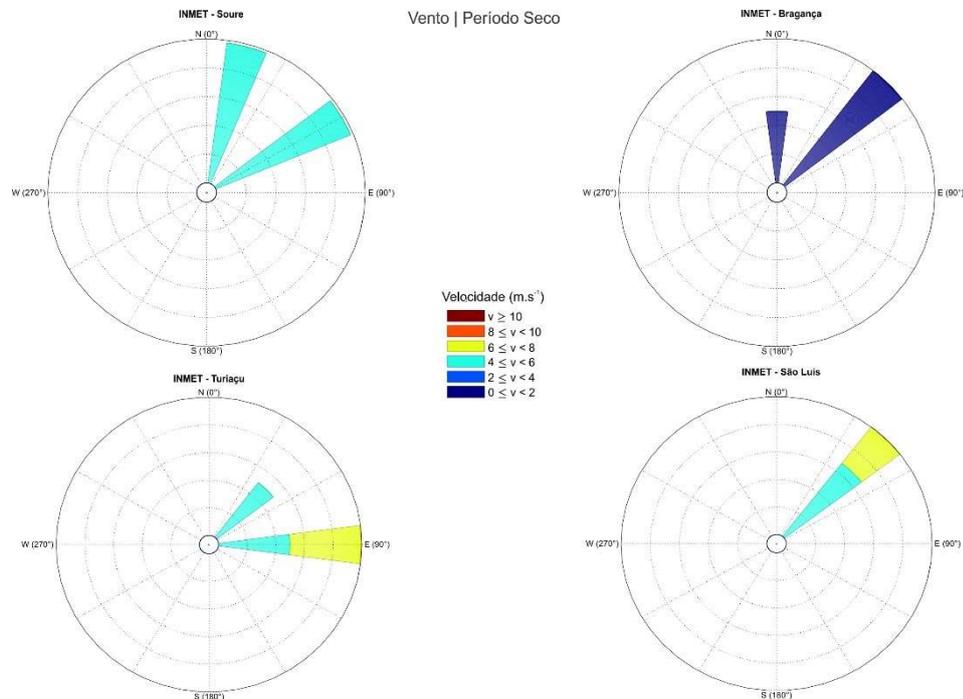


Figura 6: Direção e intensidade dos ventos durante o período seco.

6.2 Precipitação

Os resultados de comparação entre as médias mensais e a série histórica da precipitação, das quatro estações do INMET, são apresentados graficamente na Figura 7. De forma geral, a análise registrou o regime sazonal de precipitação estabelecido na região, onde os maiores índices são registrados no primeiro semestre (período chuvoso), os menores no segundo semestre, período seco. É possível identificar o período transicional em dois momentos: passagem do chuvoso para seco (junho - agosto) e do seco para o chuvoso (dezembro).

A estação de Soure registrou o maior índice de precipitação no mês de fevereiro, com aproximadamente 530 mm. Por outro lado, o mês de novembro registrou o mínimo, com 0 mm de precipitação. A média geral da estação foi de 208 mm, onde o período chuvoso foi de 324 mm; transicional de 168 mm e seco, 19.4 mm.

A estação de Bragança registrou comportamento semelhante à estação de Soure, ambas no estado do Pará, onde o mês de fevereiro apresentou o máximo de precipitação, com 568 mm. Já o mês de outubro apresentou o menor índice (0.6 mm). Com 242 mm de precipitação

média na estação, o período chuvoso foi responsável por 375 mm. Transicional e seco por 207 mm e 10.63, respectivamente.

Com média de 376 mm no período chuvoso, a estação de Turiaçu apresentou média acumulada de 223 m. O máximo registrado foi no período chuvoso, no mês de abril (539 mm). O mínimo foi de 0.5 mm, em setembro (período seco). 135 mm foi a média para o período transicional. A estação de São Luís registrou média de 218 mm, sendo 436 mm no período chuvoso, 130 mm na transição e 12 mm no seco.

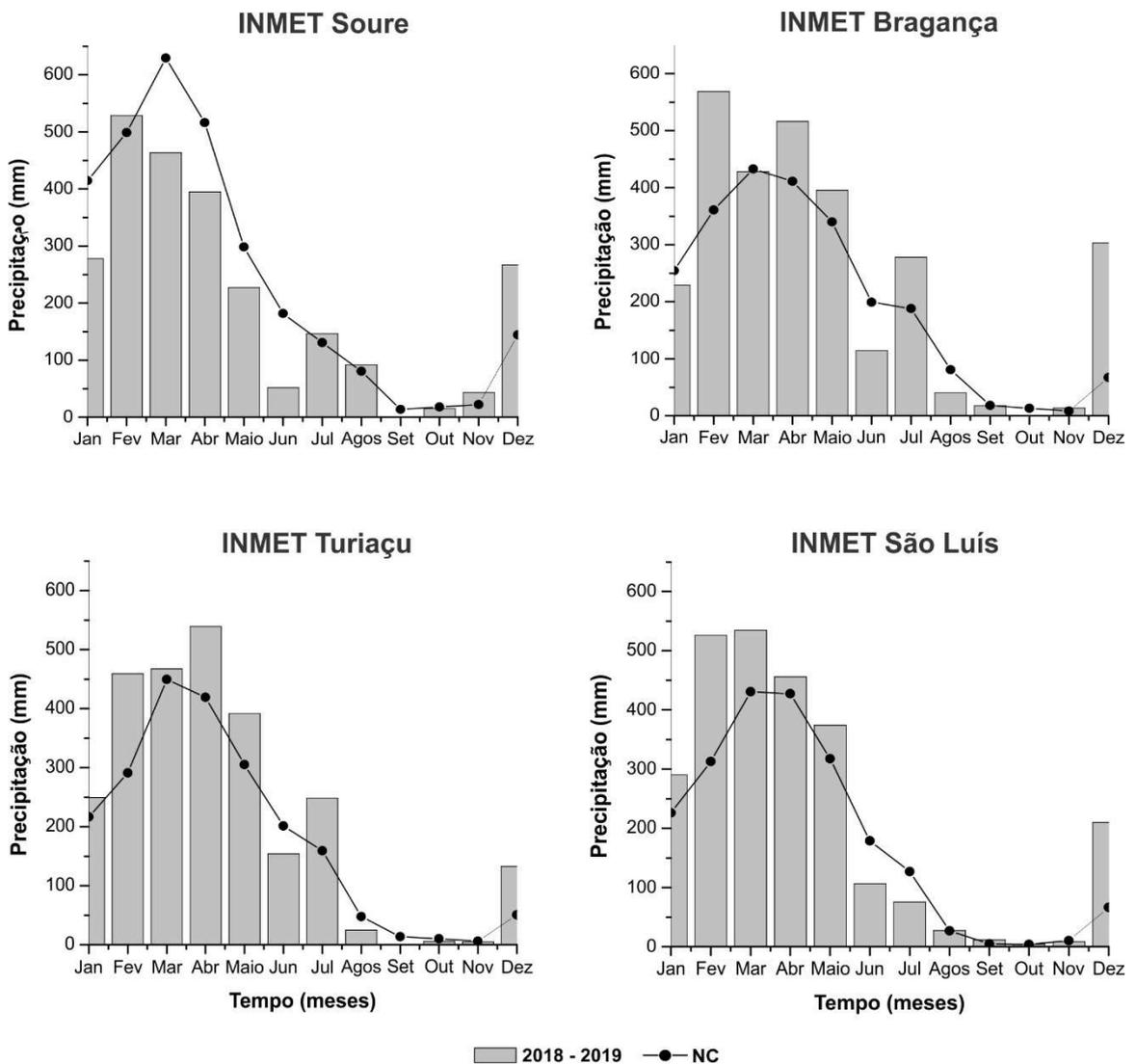


Figura 7: Resultado comparativo entre a Normal Climatológica (linha preta) e os valores de precipitação média mensal para os anos de coleta (barras), para as quatro estações do INMET da região de estudo.

A Tabela 5 apresenta a estatística básica da precipitação das quatro estações verificadas. A análise comparativa entre as médias mensais e a série histórica de precipitação

mostrou que nenhuma das estações apresentou diferenças significativas ($\alpha \leq 0.05$): Soure (Mann-Whitney teste; p: 0.755); Bragança (p: 0.670); Turiaçu (p: 0.887); São Luís (p: 0.629).

Tabela 5: Estatística básica dos dados de precipitação obtidos nas quatro estações meteorológicas.

	2018 - 2019			
	Soure	Bragança	Turiaçu	São Luís
Max (mm)	528.800	568.500	539.25	534.800
Média (mm)	208.9 ± 181.1	242.1 ± 20.5.1	223.2 ± 200.4	218.7 ± 209.5
Min (mm)	0.000	0.600	0.5	4.200
	NC			
	Soure	Bragança	Turiaçu	São Luís
Max (mm)	629.659	432.847	449.3483871	430.903
Média (mm)	245.7 ± 218.86	197. 9 ± 160.6	180.8 ± 159.8	177.6 ± 163
Min (mm)	13.777	8.360	6.013793103	3.690
Mann-Whitney (p)	0.755	0.670	0.887	0.629

6.3 DINÂMICA DOS PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS NA PCA

De forma geral, a análise do conjunto de todos os parâmetros abióticos coletados mostrou que estes tiveram sua dinâmica regulada preferencialmente pela variação sazonal, bem estabelecida na PCA. É importante ressaltar que o método amostral utilizado nesta pesquisa visou compreender a dinâmica sazonal (ver Tabela 1) e espacial dos parâmetros em uma rota contínua de navegação, não sendo possível fazer a detecção de variações em escalas de tempo menores, como a variação diurna da maré.

6.3.1 Salinidade

A salinidade foi analisada quanto sua variação sazonal e espacial, tanto os perfis verticais em frente as reentrâncias, quanto o registro superficial por todo trajeto realizado. Os resultados apontam o ciclo hidrológico do rio Pará como o fator determinante das variações desse parâmetro na região da PCA.

Ambos os métodos de verificação (vertical e superficial) mostraram uma dinâmica padrão do parâmetro: o aumento é diretamente proporcional ao distanciamento do principal sistema hidrológico desta porção leste da plataforma interna, o rio Pará.

Foram analisadas variações entre superfície e fundo nos perfis verticais de todas as campanhas a fim de verificar diferenças e estabelecer se houve ou não estratificação da coluna d'água. Apenas o período chuvoso apresentou gradiente vertical estratificado, onde a profundidade de estratificação variou com a posição da frente salina. A Figura 8 apresenta os perfis verticais na coluna d'água referentes ao período chuvoso: campanha I, VIII e IX. O gradiente vertical se apresenta parcialmente estratificado próximo ao rio Pará e mais homogêneo próximo à Baía de São Marcos neste período, onde, dada as características do parâmetro, os maiores valores são registrados no fundo.

Dentre as amostragens realizadas no período chuvoso, a Campanha IX obteve o menor valor da salinidade, com 9 g/kg na superfície do perfil 1. Os maiores valores foram registrados nas estações mais próximas à Baía de São Marcos, sendo o máximo registrado na campanha VIII em frente à reentrância do perfil 19, com 35.7 g/kg de salinidade no fundo.

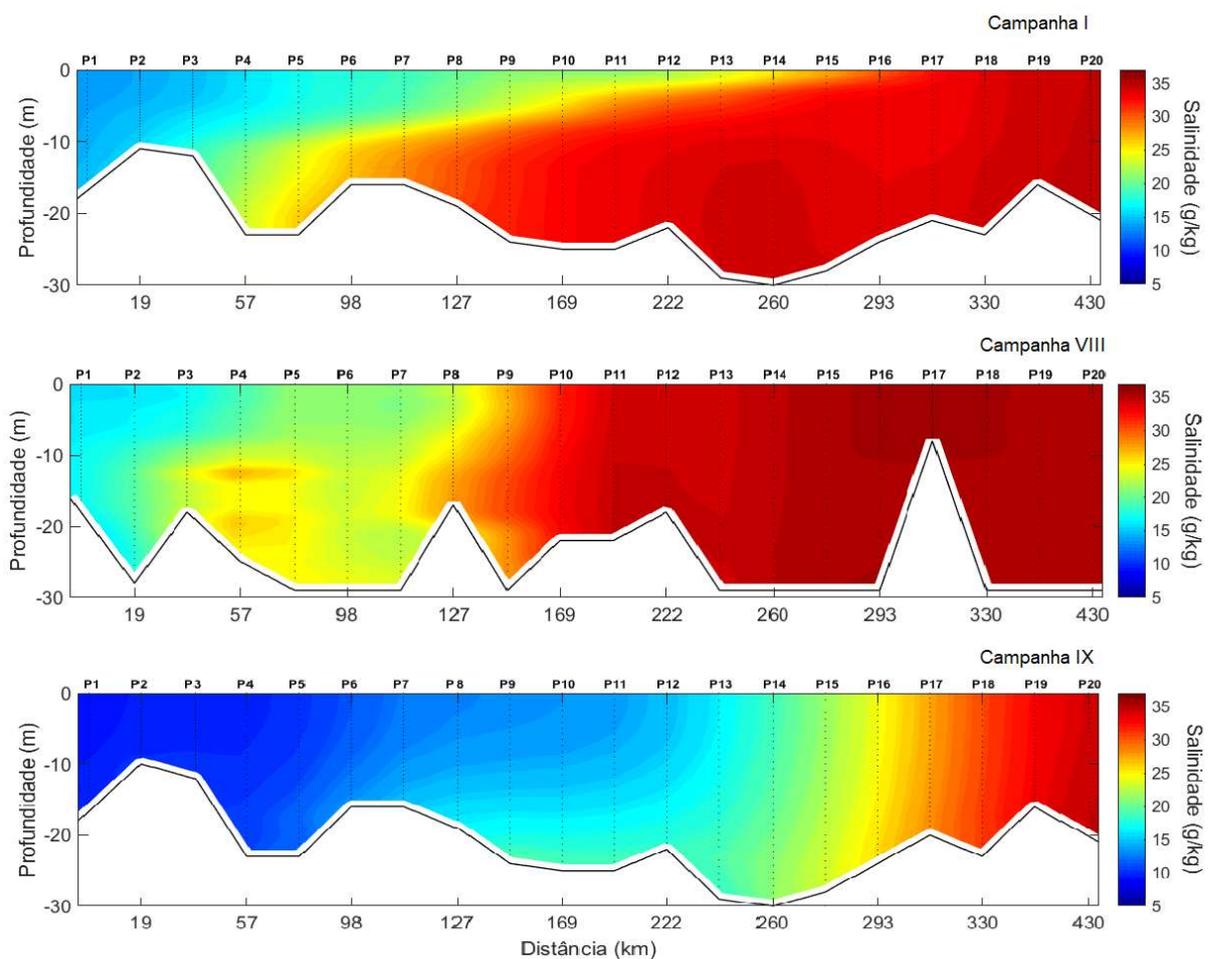


Figura 8: Perfis verticais de salinidade durante as campanhas do período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.

A salinidade superficial, referente a campanha I do período chuvoso e apresentada na Figura 9, mostrou um padrão semelhante aos perfis verticais, sendo verificados os menores valores próximos à desembocadura do rio Pará. Houve uma quebra no padrão de aumento do sal próximo aos perfis 9 e 10, indicando a presença de uma água com menor teor salino na superfície daquela região. O máximo de salinidade superficial foi registrado na estação 18, em frente a reentrância de um dos principais estuários do Maranhão, rio Turiaçu.

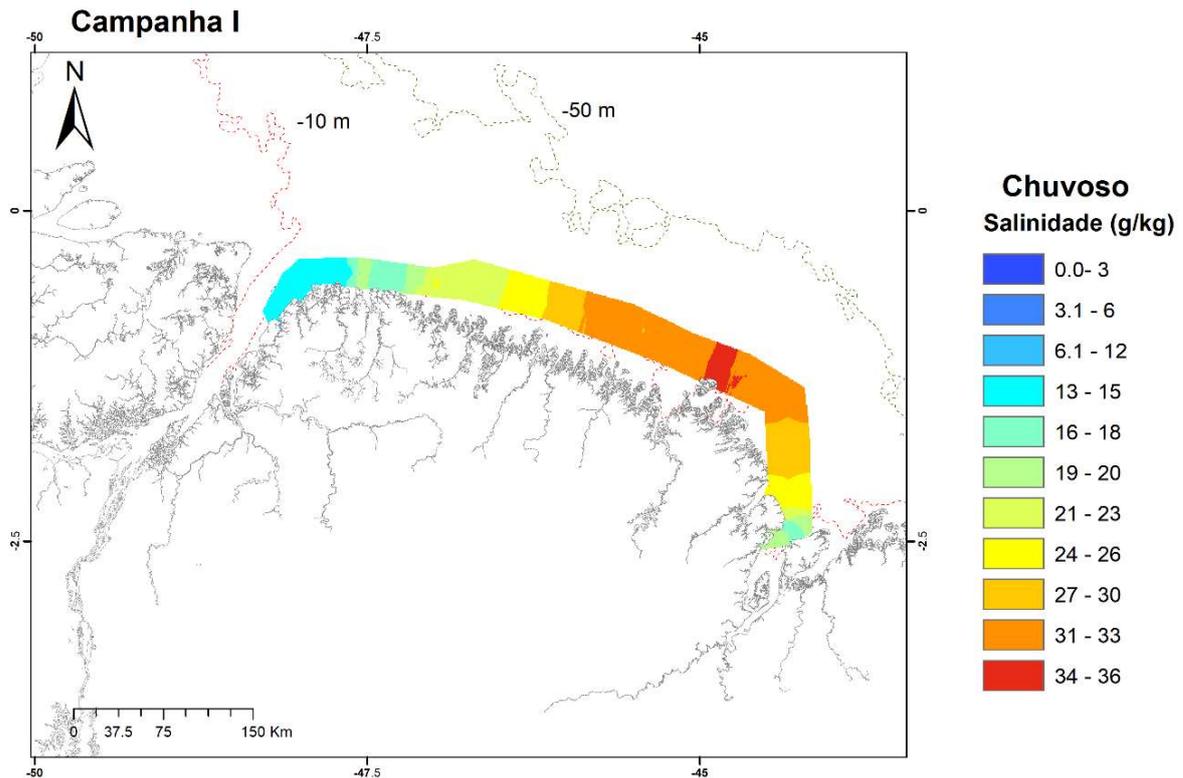


Figura 9: Salinidade superficial ao longo da porção interna da PCA no período chuvoso (abril/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.

A Figura 10 apresenta os perfis verticais da salinidade no período considerado transicional na região. A campanha II, transição do chuvoso para o seco, apresentou maior homogeneidade da salinidade vertical entre as estações, obtendo valores menores na superfície do perfil 1, ponto de influência mais próximo do rio Pará. O registro horizontal obteve padrão semelhante (Figura 11).

Os perfis apresentados para campanha VII mostra bem a transição do período seco para o chuvoso, onde as estações mais próximas ao rio Pará apresentam uma leve estratificação do gradiente vertical nos primeiros metros da coluna d'água. Da estação 8 a 20, a coluna d'água é homogênea, com valores superiores a 30 g/kg.

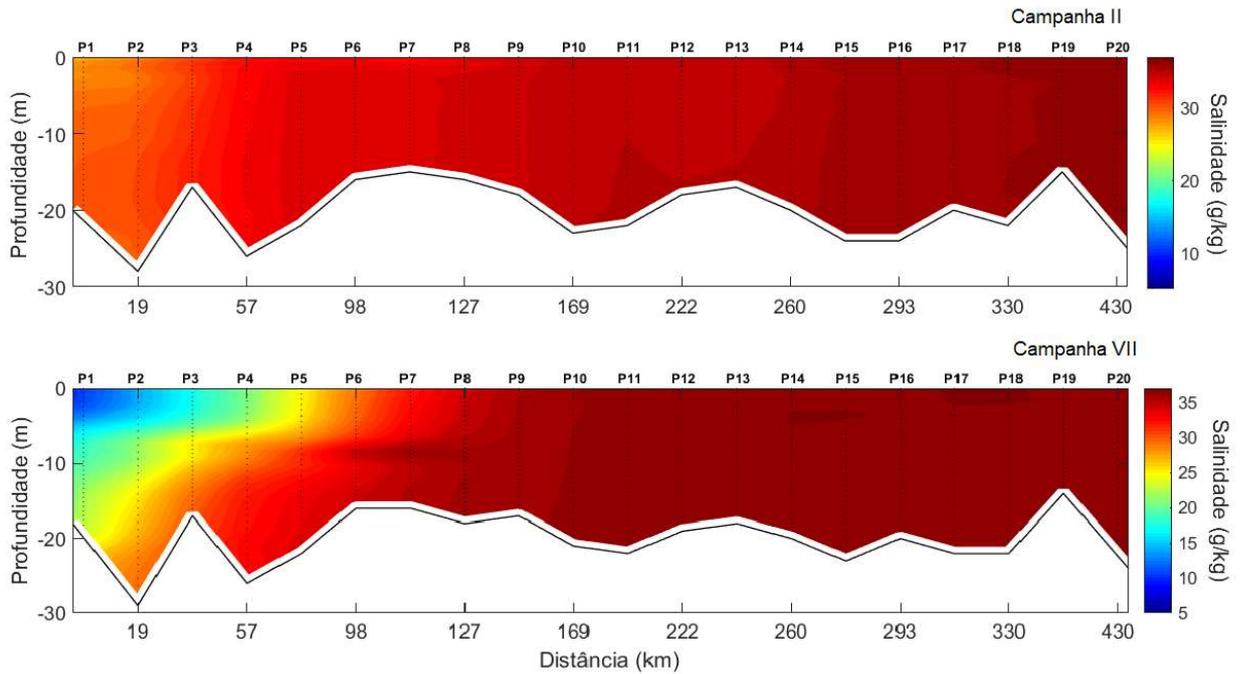


Figura 10: Perfis verticais de salinidade durante as campanhas do período transicional (agosto e dezembro/2018).

O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.

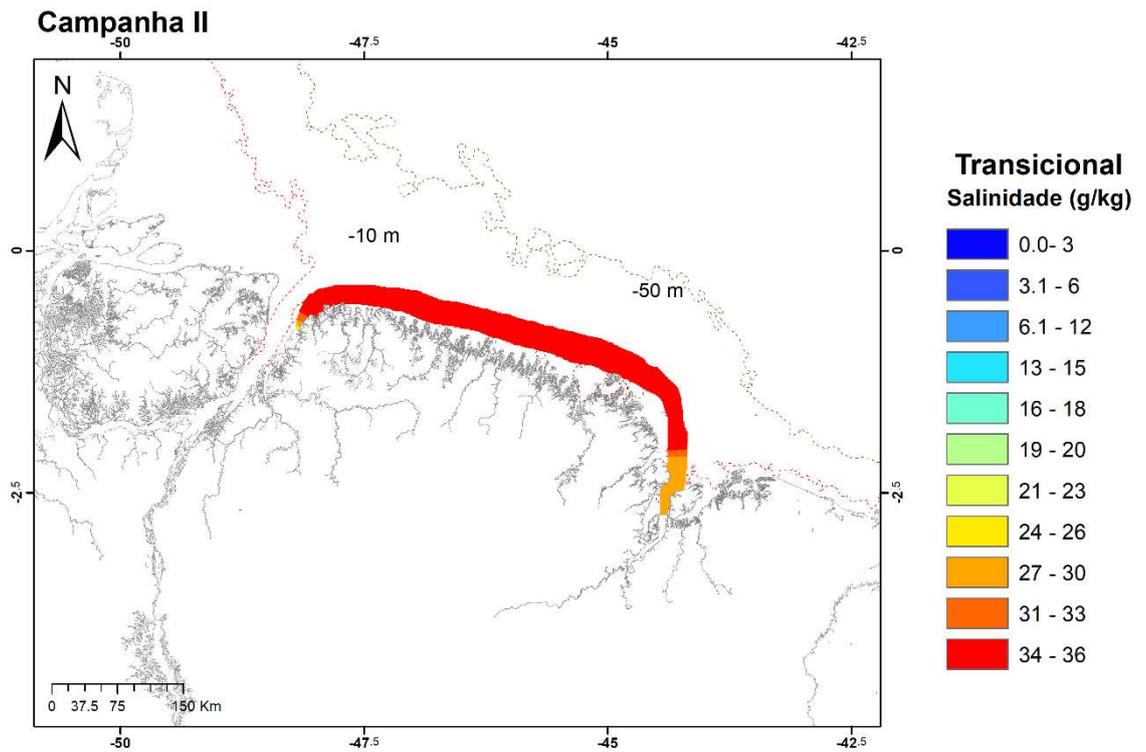


Figura 11: Salinidade superficial ao longo da porção interna da PCA no período transicional (agosto/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.

No período seco, o parâmetro apresenta um comportamento mais homogêneo, sem significativas variações verticais e horizontais. Em nenhuma das campanhas do período foi registrado valores de salinidade inferiores a 30 g/kg. A análise vertical, apresentada na Figura 12, mostra as campanhas V e VI como as que atingiram os maiores valores de salinidade ao longo dos vinte perfis de coleta, indicando uma influência oceânica superior à continental nesta porção da Plataforma no período seco.

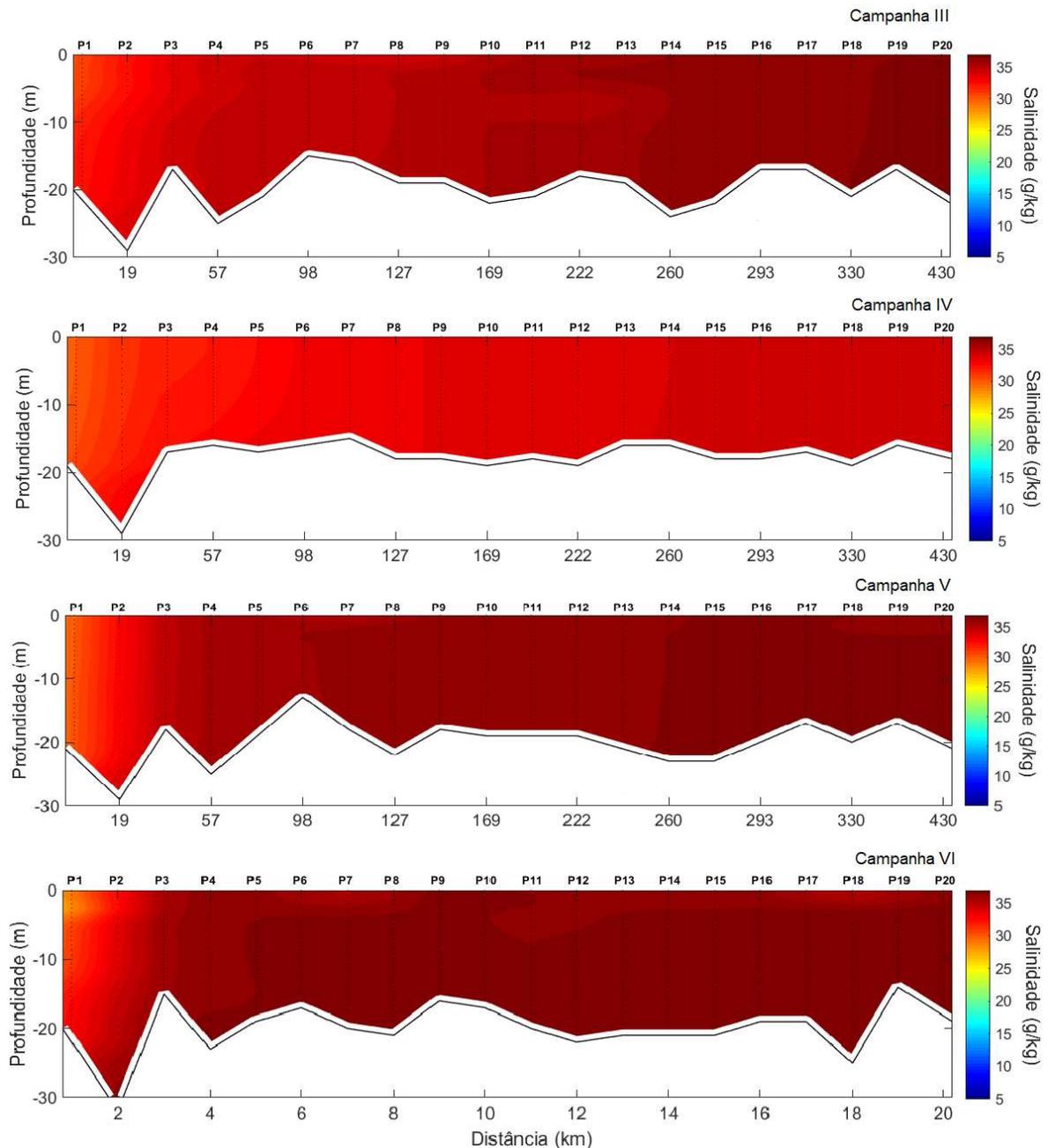


Figura 12: Perfis verticais de salinidade durante as campanhas do período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.

A Figura 13 apresenta o perfil superficial do sal durante o período seco. Com comportamento semelhante ao perfil vertical, os menores valores de sal foram registrados apenas na porção fora da Plataforma, nos pontos mais internos dos dois principais estuários.

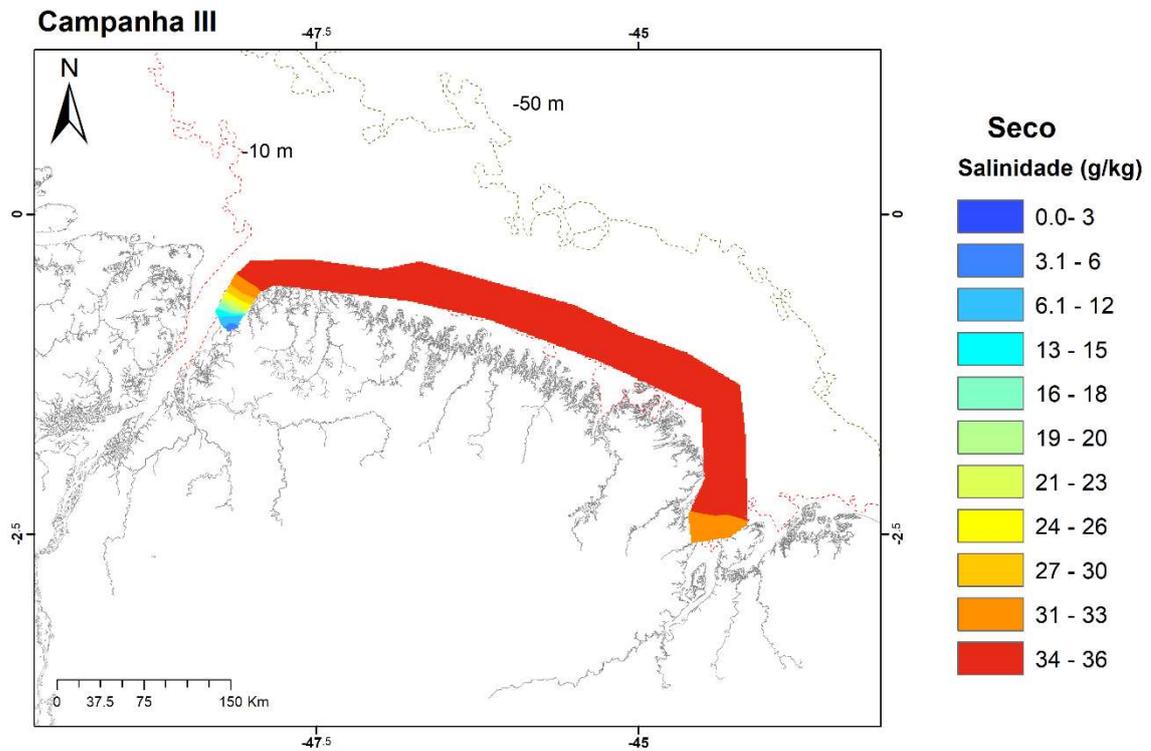


Figura 13: Salinidade superficial ao longo da porção interna da PCA no período seco (setembro/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.

Os testes estatísticos confirmaram o comportamento sazonal bem definido da salinidade, tal como esperado. A análise apontou diferenças significativas entre os três períodos sazonais (Kruskal-Wallis Teste; $\alpha:0.05$; $p: 0.0002$). Ainda, de acordo com o teste de Dunn, o período chuvoso é significativamente diferente dos períodos transicional e seco (Teste Dunn; $\alpha:0.05$; $p<0.05$). Como mostrado na Tabela 6, os períodos transicionais e seco não mostraram diferenças significativas (Teste Dunn $\alpha:0.05$; $p: 0.12$).

Tabela 6: Diferenças significativas (em negrito) da salinidade entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.

	Salinidade		
$\alpha: 0.05$	Chuvoso	Transicional	Seco
Chuvoso		0.0002	0.0004
Transicional	0.0002		0.12
Seco	0.0004	0.12	

6.3.2 Temperatura

A análise da temperatura mostrou que a média de variação termal entre os períodos sazonais foi de 1,5°C. A distribuição espacial da temperatura ao longo da PCA interna teve a dinâmica de águas menos aquecidas próximo ao rio Pará (influência estuarina forte) e mais aquecidas próximo à Baía de São Marcos (influência estuarina fraca).

De forma geral, o período chuvoso (Figura 14) apresentou águas mais aquecidas, especialmente na campanha II e nos perfis verticais mais próximos ao rio Pará. Há um leve acréscimo do parâmetro em profundidade (≈ 10 m). O máximo registrado foi 29 °C, o mínimo 27.4 °C e a média do período foi de 28.7 °C. O perfil da temperatura superficial neste período é apresentado na Figura 15.

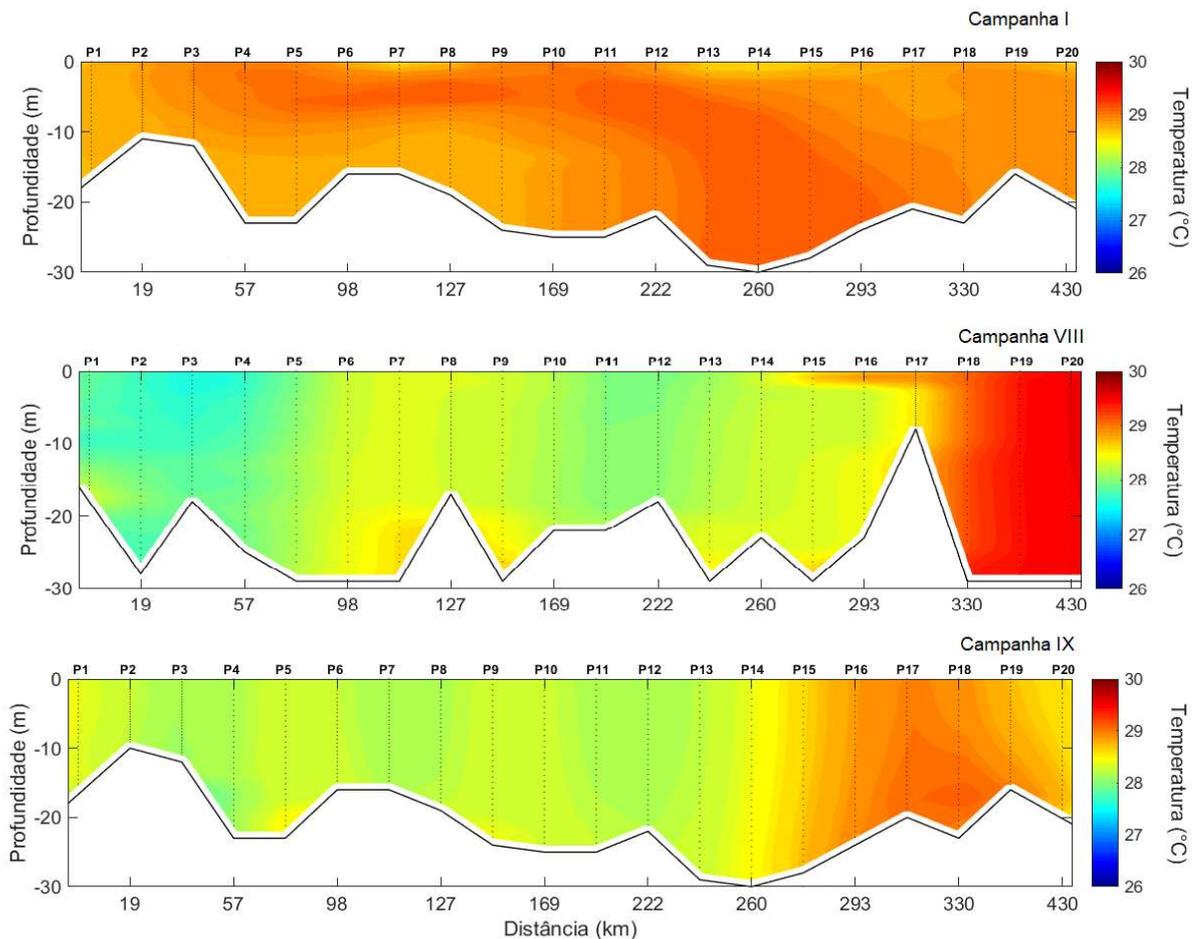


Figura 14: Perfis verticais da temperatura durante as campanhas do período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.

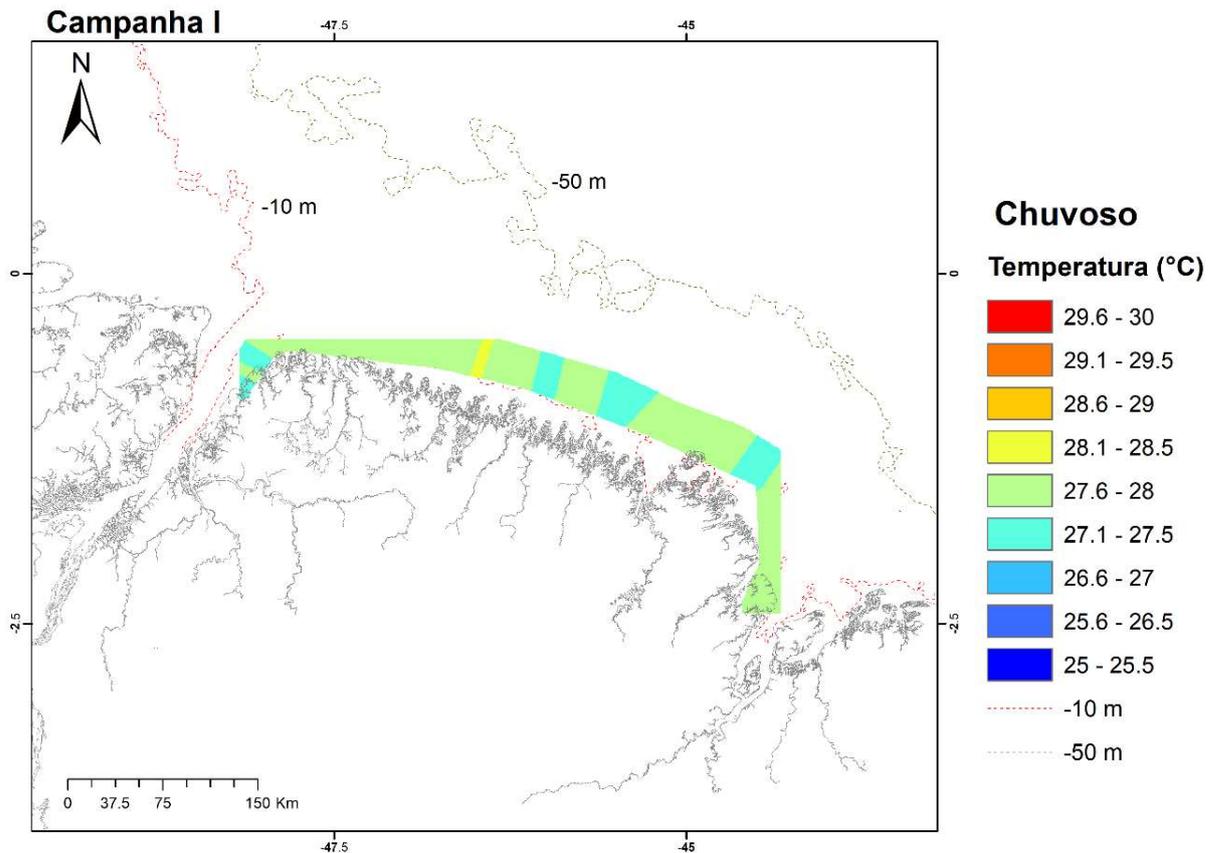


Figura 15: Temperatura superficial ao longo da porção interna da PCA no período chuvoso (abril/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.

As campanhas do período transicional registraram média de 28.4 °C ao longo da área de coleta. Os perfis verticais (Figura 16) apresentaram as temperaturas máximas em superfície (≈ 2 m), especialmente nos primeiros perfis da campanha II, com 29 °C. Observa-se, na mesma campanha, valores aproximados entre os perfis 12 e 14. O mínimo desse período foi na campanha VII, com 27.5 °C na superfície do perfil 4. O comportamento horizontal da temperatura ao longo da costa apresentou-se sem grandes variações, com exceção dos últimos pontos próximo à Baía de São Marcos, onde foram observadas águas com temperatura menores (Figura 17).

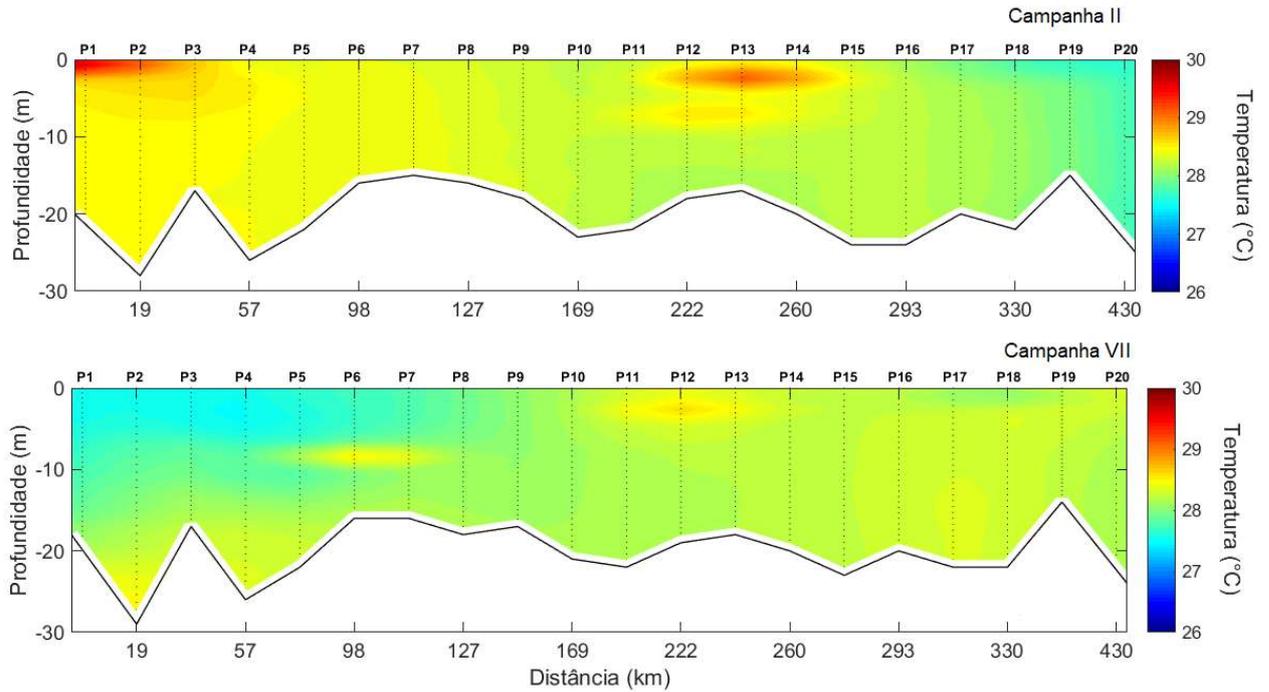


Figura 16: Perfis verticais de temperatura durante as campanhas do período transicional (agosto e dezembro/2018). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.

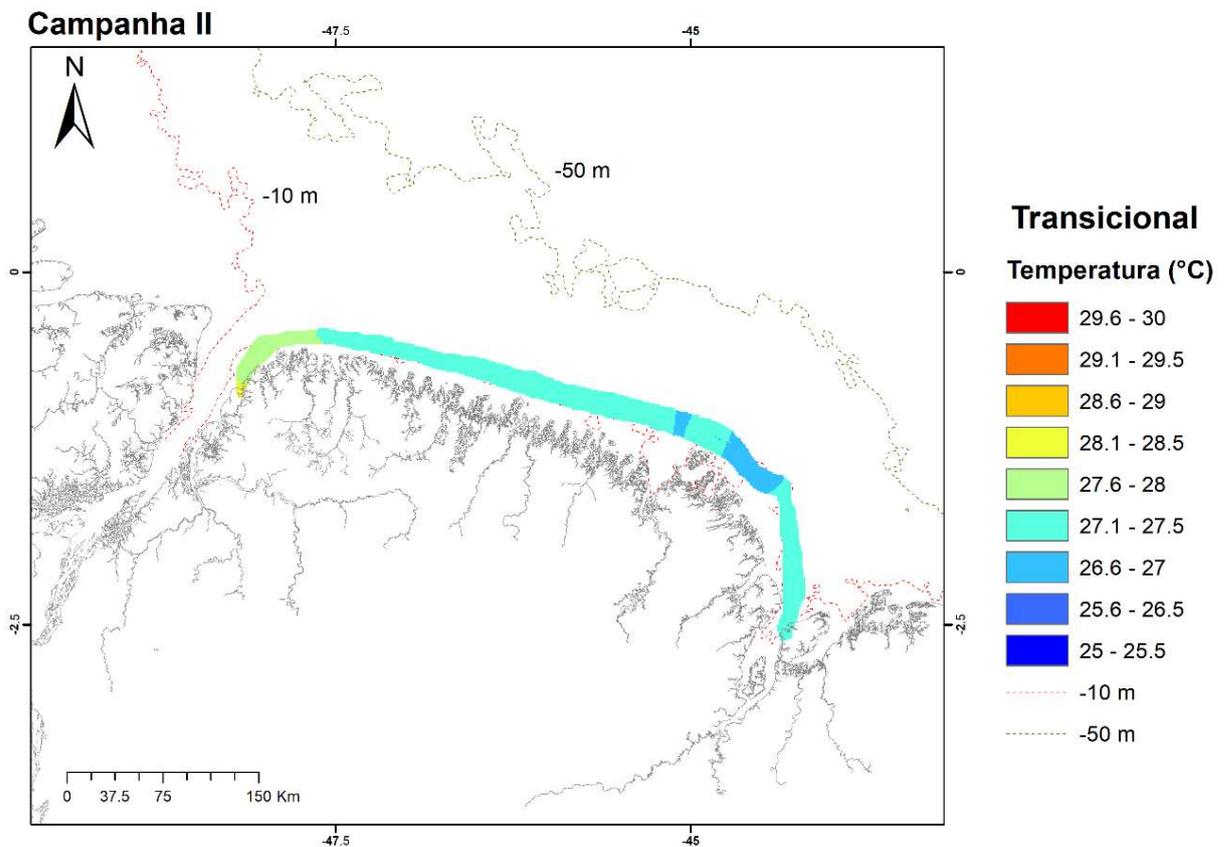


Figura 17: Temperatura superficial ao longo da porção interna da PCA no período transicional (agosto/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.

A campanha VI do período seco apresentou águas mais aquecidas nos perfis verticais quando comparada às demais campanhas desse período (Figura 18). A média de temperatura foi 28.5 °C, com máxima de 29 °C e mínima de 27.5 °C. A Figura (Figura 19) apresenta o perfil horizontal da temperatura na campanha III.

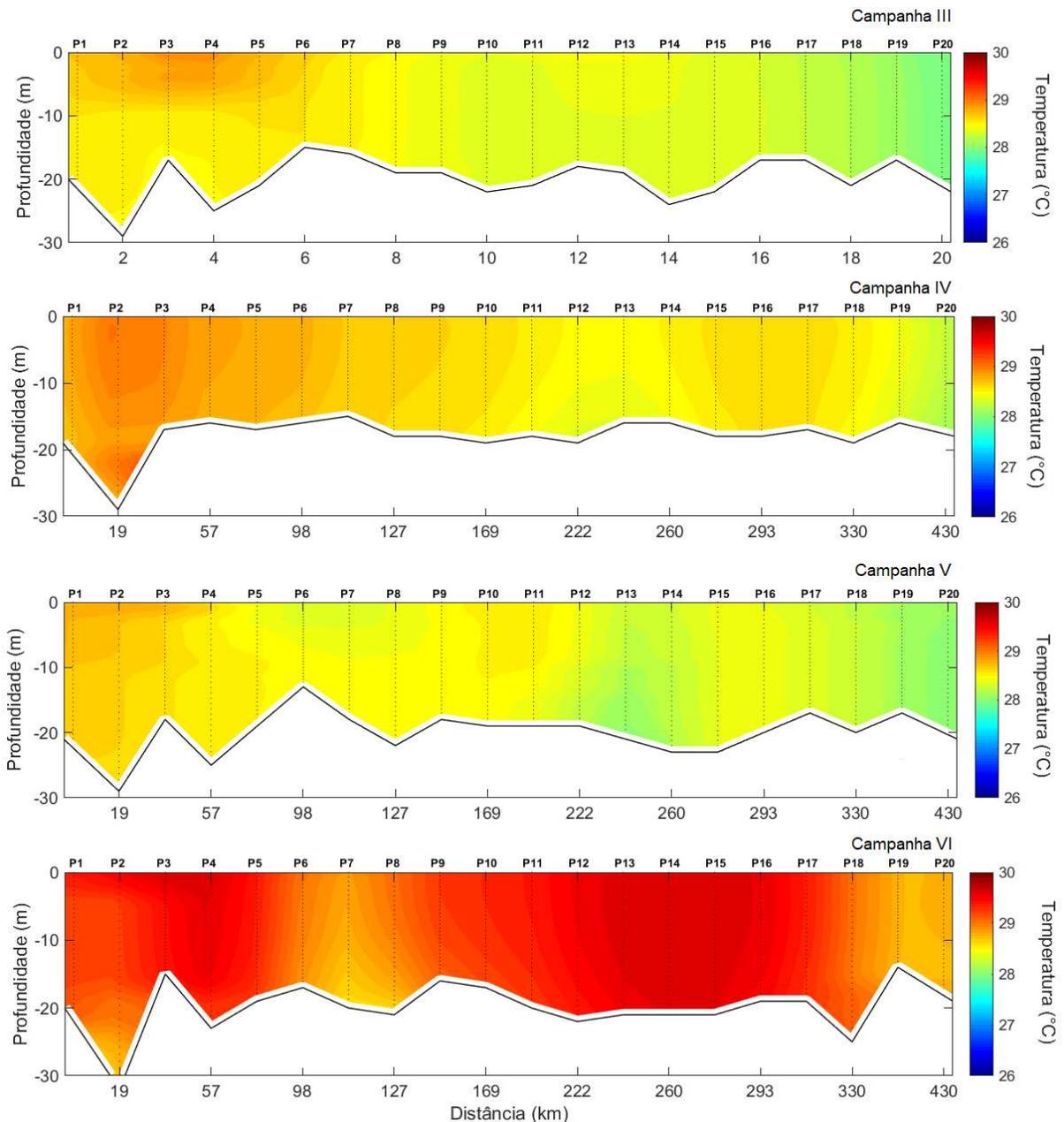


Figura 18: Perfis verticais de temperatura durante as campanhas do período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018). O perfil 1 representa o ponto mais próximo ao rio Pará e, o perfil 20, o ponto mais próximo à Baía de São Marcos.

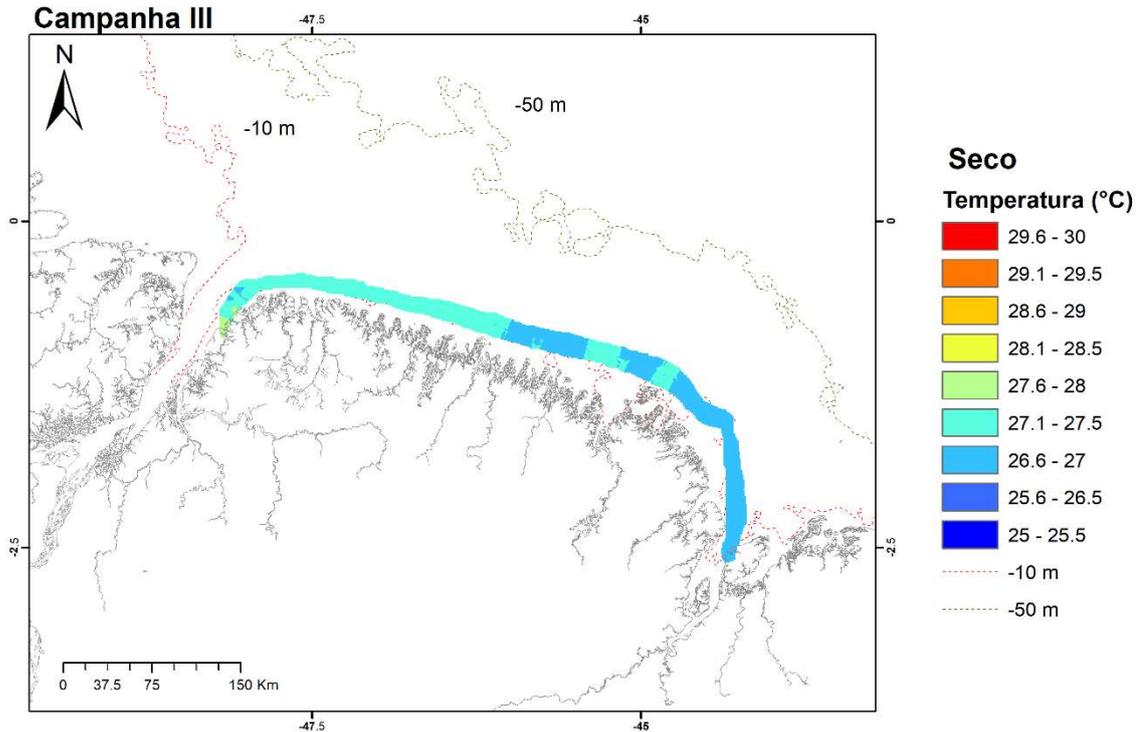


Figura 19: Temperatura superficial ao longo da porção interna da PCA no período seco (setembro/2018), entre a foz do rio Pará e a Baía de São Marcos.

Os testes aplicados mostraram diferenças significativas da temperatura entre os períodos (Kruskal-Wallis Teste; $\alpha: 0.05$; $p: 0.0003$). Diferente do que ocorre com a salinidade, o Teste de Dunn apontou que a temperatura no período seco apresenta diferenças significativas em relação aos períodos chuvoso e transicional. A Tabela 7 traz os resultados do Teste de Dunn.

Tabela 7: Diferenças significativas (em negrito) da temperatura entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.

$\alpha: 0.05$	Temperatura		
	Chuvoso	Transicional	Seco
Chuvoso		0.801	0.0003
Transicional			0.0001
Seco	0.0003	0.0001	

6.3.3 pH

Os valores de pH na área da PCA apresentaram um padrão alcalino (≥ 8), comportamento esperado para regiões oceânicas, com exceção de alguns valores de superfície durante o período chuvoso.

O Teste de Mann-Whitney foi aplicado para verificar se houve diferenças significativas entre superfície e fundo. Apenas a campanha VII, do período transicional, apontou diferença significativa entre os dois grupos (Mann-Whitney Teste; α : 0.05; p: 0.004). O restante das campanhas, de todos os períodos, não apresentou diferenças significativa de pH superficial e próximo ao fundo (Mann-Whitney Teste; α : 0.05; $p > 0.05$).

A Figura 20 apresenta os perfis verticais do pH no período chuvoso. Com média de 7.71, o máximo registrado foi próximo ao fundo na campanha IX (9.23); o mínimo foi de 6.31 na superfície, novamente na campanha IX.

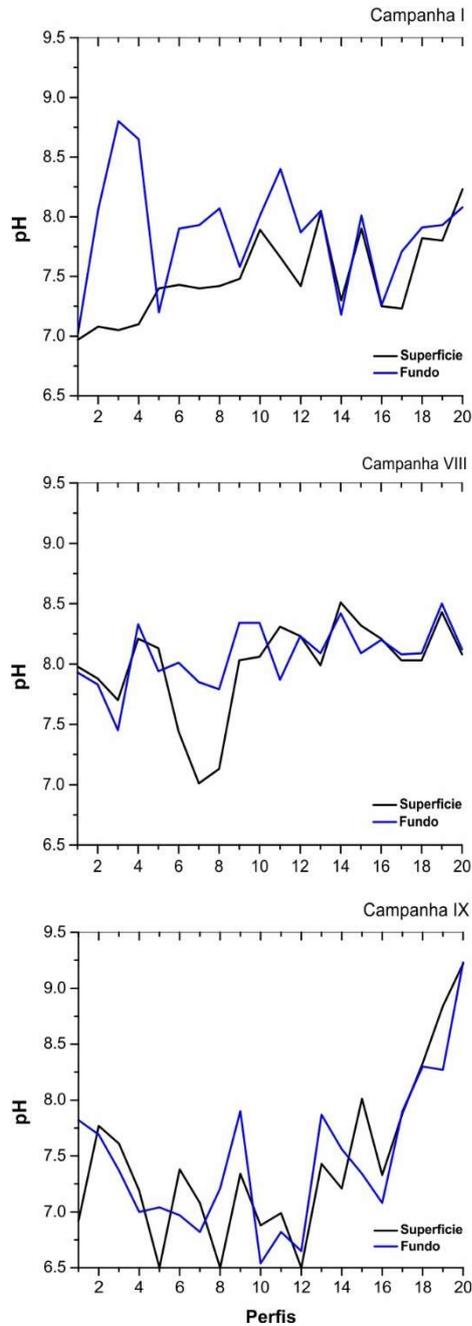


Figura 20: Perfil do pH na coluna d'água durante o período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019).

Durante o período de transição (Figura 21), a média foi de 8.1. O máximo foi 9.4 na superfície do perfil 16, campanha VII; o mínimo foi de 7.22 próximo ao fundo do perfil 9, campanha II. Já o período seco obteve a maior média em relação aos outros (8.35), com o mínimo próximo ao fundo do perfil 5 e o máximo no fundo do perfil 18, com 7.06 e 9.3, respectivamente (Figura 22).

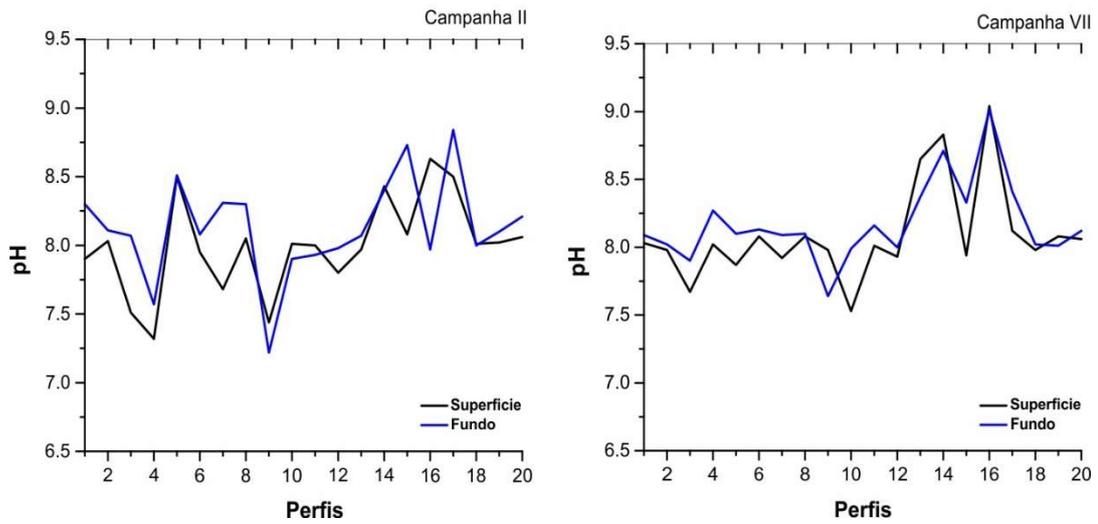


Figura 21: Perfil do pH na coluna d'água durante o período transicional (agosto e dezembro/2018).

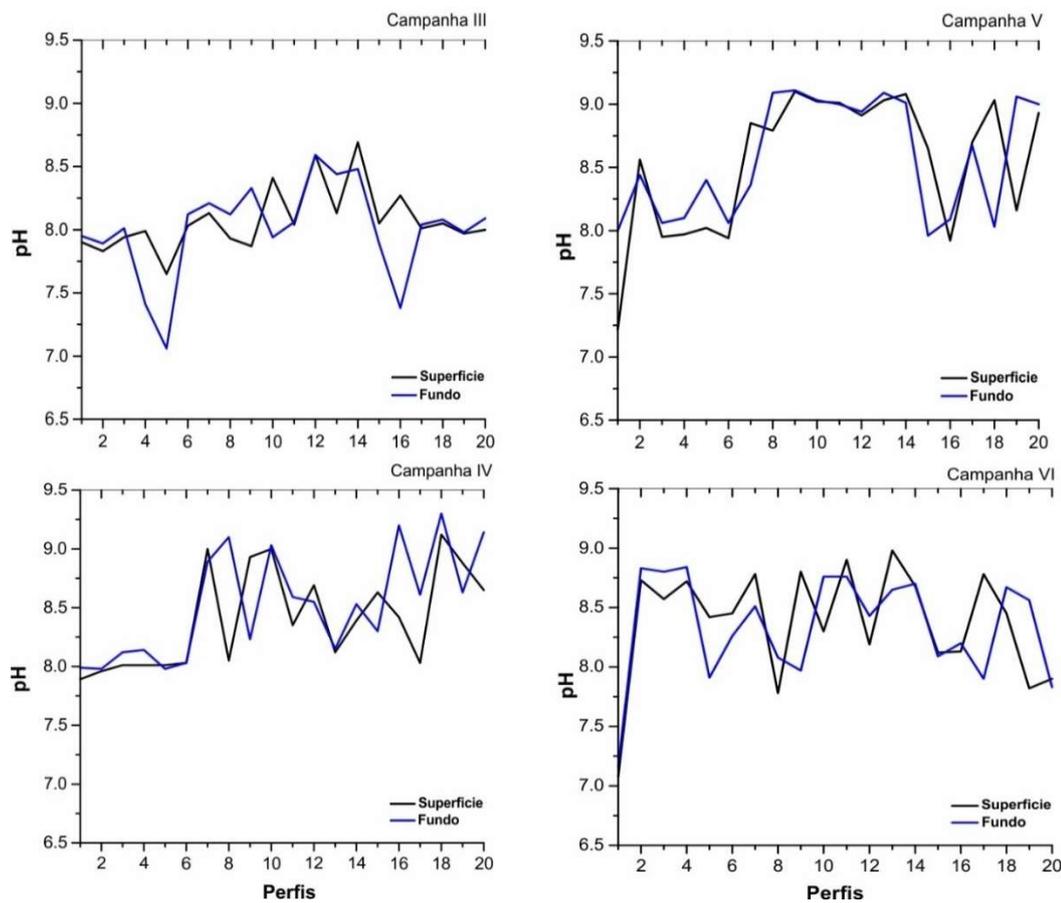


Figura 22: Perfil do pH na coluna d'água durante o período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018).

A análise entre os períodos sazonais apontou diferenças significativas (Kruskal-Wallis Teste; $\alpha:0.05$; $p: 0.0002$). A Tabela 8 traz os resultados obtidos pelo Teste de Dunn. Na

comparação por pares, ele mostrou que todos os períodos apresentam diferenças significativas entre si.

Tabela 8: Diferenças significativas (em negrito) do pH entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.

	pH		
$\alpha: 0.05$	Chuvoso	Transicional	Seco
Chuvoso		0.0001	0.0009
Transicional	0.0001		0.0004
Seco	0.0009	0.0004	

6.3.4 Oxigênio Dissolvido

As concentrações do Oxigênio Dissolvido (OD), superficial e próximo ao fundo, são apresentadas a seguir. As médias dos períodos foi: chuvoso de 4.52 mg.L⁻¹; transicional de 5.82 mg.L⁻¹; seco de 4.96 mg.L⁻¹.

O parâmetro apresentou diferenças entre superfície e fundo entre todas as campanhas, com exceção da VII no período transicional (Mann-Whitney Teste; $\alpha: 0.05$; p: 0.11). O período chuvoso registrou o máximo de 9.97 mg.L⁻¹ próximo ao fundo, na campanha VIII; o mínimo foi de 0.15 mg.L⁻¹ próximo ao fundo da campanha I (Figura 23).

O máximo do período transicional foi registrado na campanha VII, em superfície (9.94 mg.L⁻¹); a campanha II registrou o mínimo com 4.08 mg.L⁻¹ na superfície do perfil 3 (Figura 24). A campanha V registrou os máximos e mínimos do período seco (Figura 25): o máximo foi de 8.17 mg.L⁻¹ em superfície do perfil 12 e, o mínimo 1.79 mg.L⁻¹ próximo ao fundo do perfil 16.

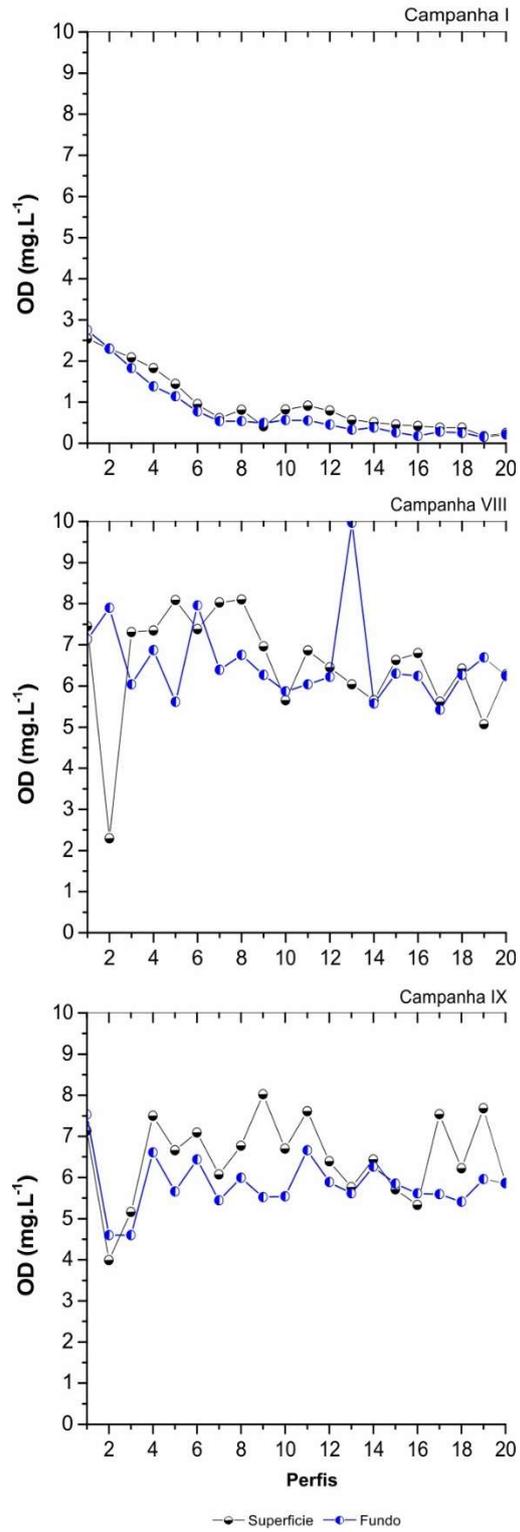


Figura 23: Concentrações de OD na coluna d'água durante o período chuvoso (agosto/2018, janeiro e fevereiro/2019).

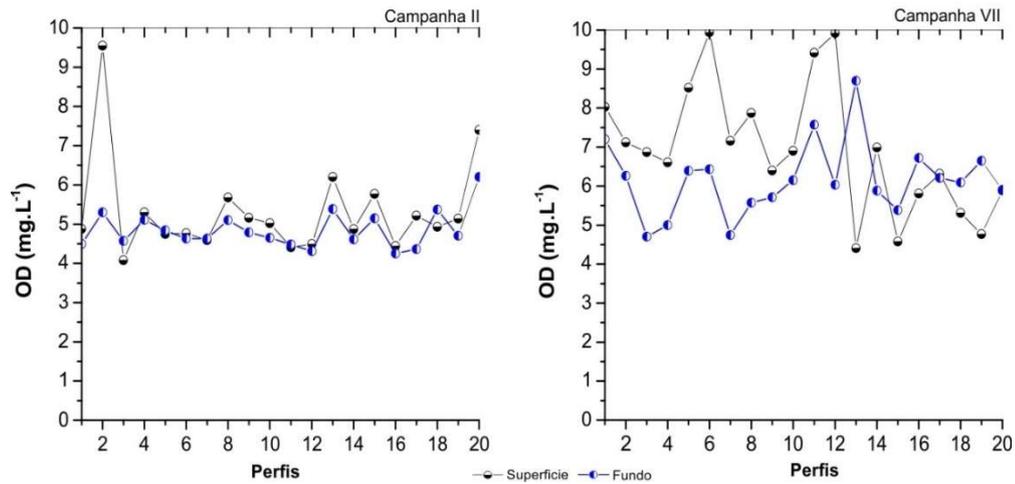


Figura 24: Concentrações de OD na coluna d'água durante o período transicional (agosto e dezembro/2018).

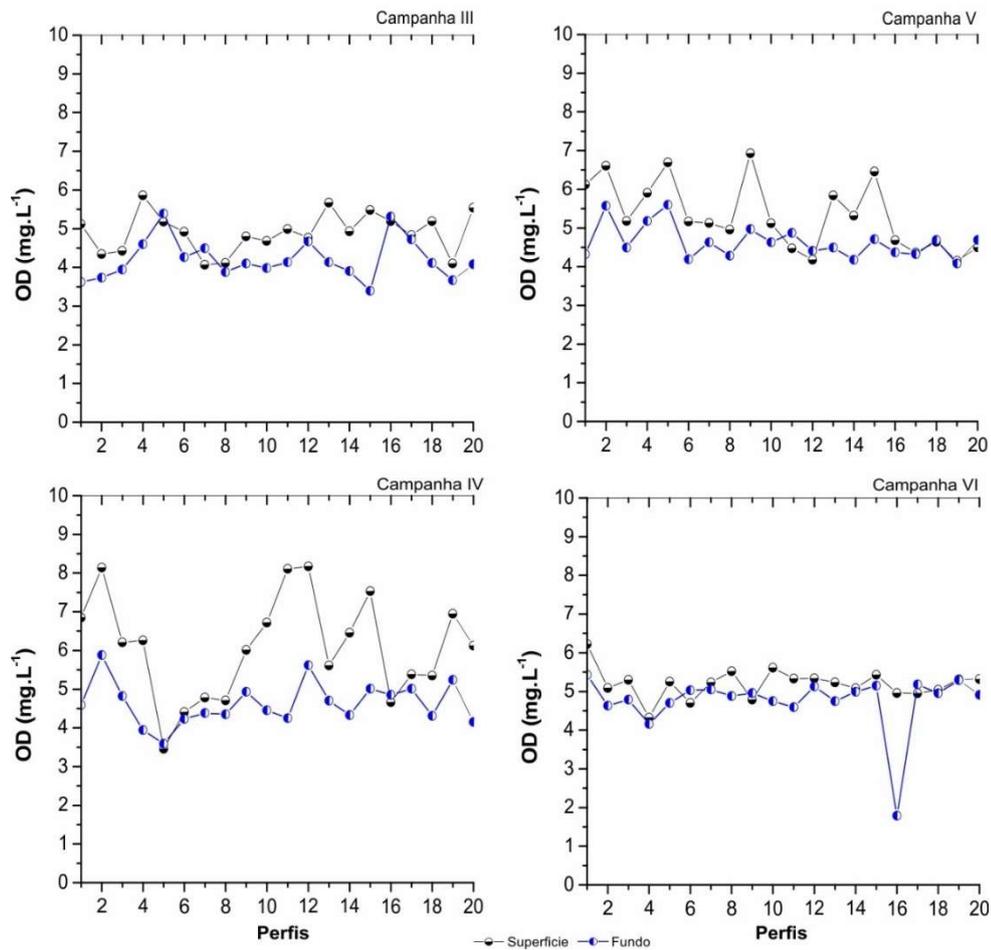


Figura 25: Concentrações de OD na coluna d'água durante o período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018).

As diferenças entre os períodos sazonais mostraram ser significativas (Kruskal-Wallis Teste; $\alpha:0.05$; $p: 0.0006$). O teste de Dunn é apresentado na Tabela 9 e mostra que o período seco teve diferenças significativas em relação ao chuvoso e transicional.

Tabela 9: Diferenças significativas (em negrito) das concentrações de OD entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.

	OD		
α: 0.05	Chuvoso	Transicional	Seco
Chuvoso		0.2602	0.019
Transicional	0.780		
Seco	0.019	0.0007	

6.3.5 Sólidos Totais Dissolvidos

Os perfis dos Sólidos Totais Dissolvidos apresentam dinâmica semelhante aos de salinidade, resultado esperado para parâmetros que são diretamente proporcionais, com o seu aumento gradual com o distanciamento do rio Pará.

Os menores valores foram registrados em condições de alta descarga (chuvoso - Figura 26), com média de 23.7. Os maiores valores foram nas áreas mais próximas à Baía de São Marcos, por haver uma maior influência de águas oceânicas nessa região. O máximo ocorreu na superfície do perfil 5, em frente à reentrância de Salinópolis, no estado do Pará, com 32.4; o mínimo com 9.92, também na superfície do ponto 5.

O período transicional (Figura 27) apresentou média de 27.92, sendo o máximo registrado na superfície do ponto 19, com 31.5, em frente ao estuário da Baía do Capim (MA), na campanha VII. Já o período seco, a média foi 30.34, sendo: máximo de 34 próximo ao fundo do perfil 11, campanha V; mínimo de 23.4 na superfície do perfil 1, campanha VI. A Figura 28 apresenta os perfis de STD para esse período.

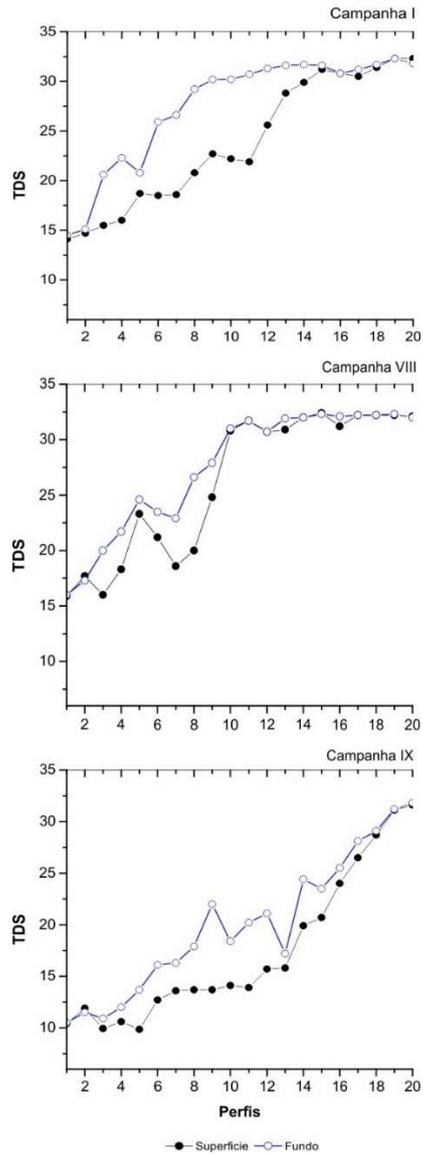


Figura 26: Perfis verticais do STD durante o período chuvoso (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019).

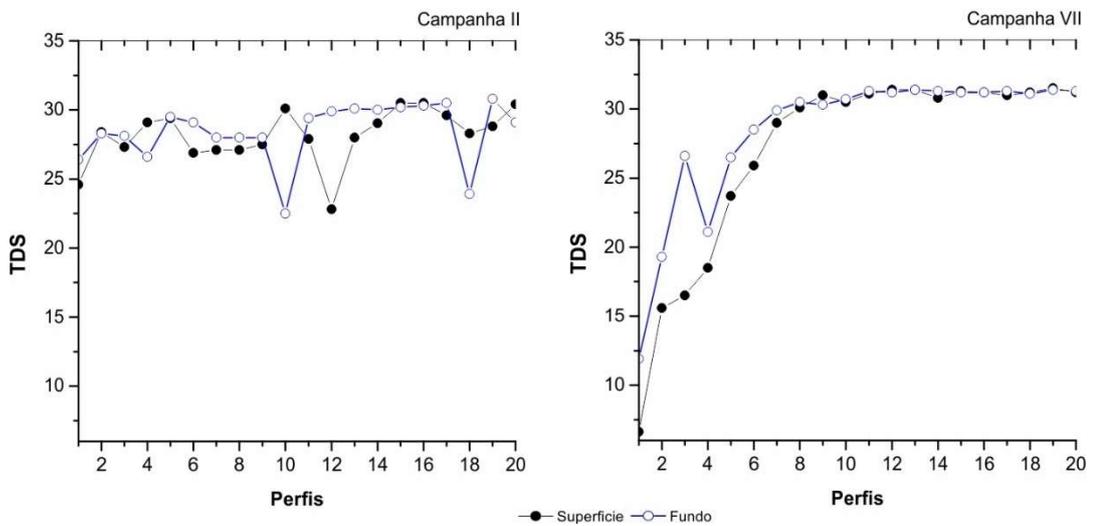


Figura 27: Perfis verticais do STD durante o período transicional (agosto e dezembro/2018).

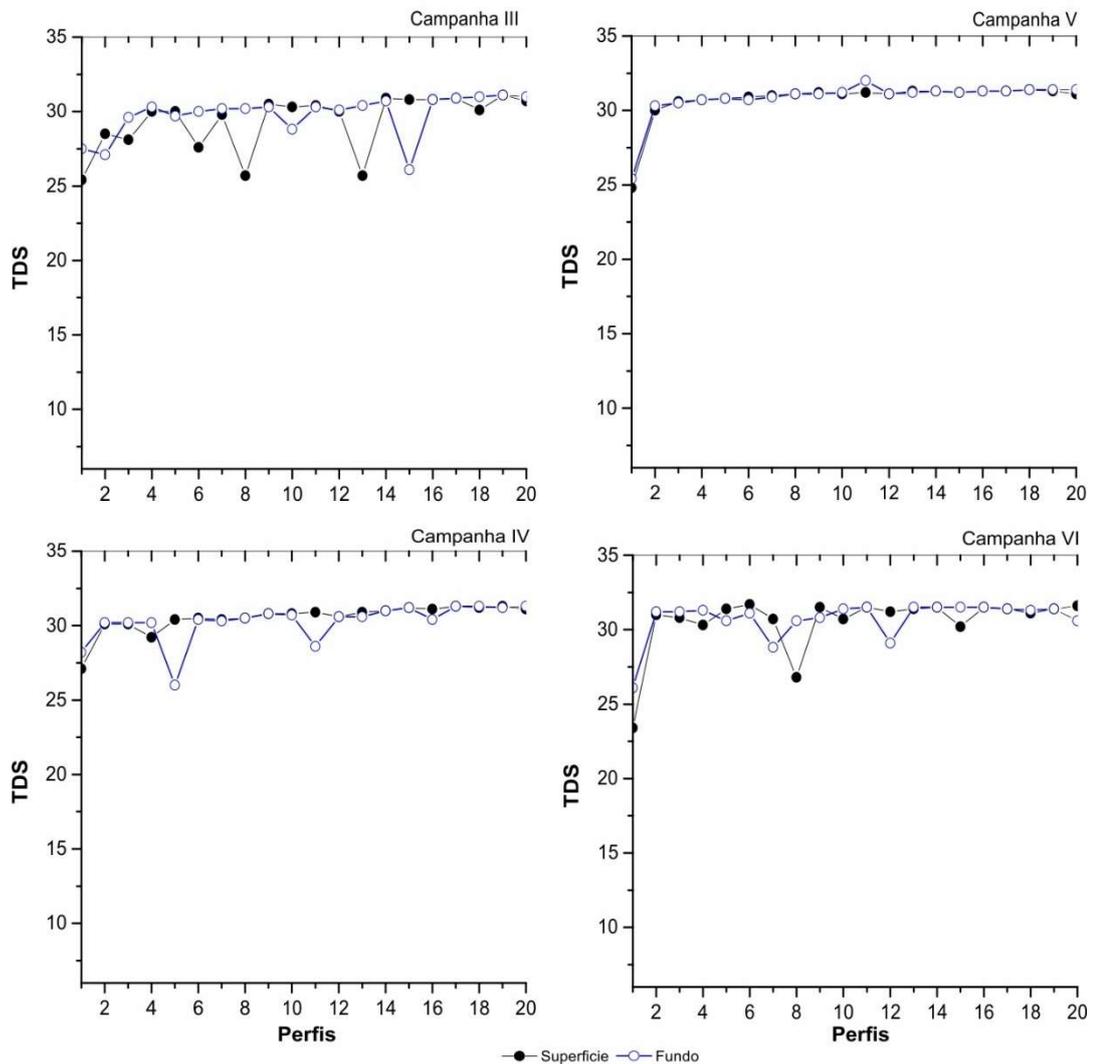


Figura 28: Perfis verticais do STD durante o período seco (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018).

Todos os períodos sazonais apresentaram diferenças significativas (Kruskal-Wallis Teste; $\alpha: 0.05$; $p: 0.0004$). Os valores resultantes do Teste de Dunn se encontram na Tabela 10.

Tabela 10: Diferenças significativas (em negrito) dos valores de STD entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.

$\alpha: 0.05$	STD		
	Chuvoso	Transicional	Seco
Chuvoso		0.0114	0.0003
Transicional	0.034		0.0001
Seco	0.0001	0.0005	

O teste de Mann-Whitney ($\alpha:0.05$) apontou diferenças significativas entre superfície e fundo de STD nas campanhas referentes ao período chuvoso: I (p: 0.0001); VIII (p: 0.03); IX (p: 0.0001). As demais campanhas não obtiveram variações significativas ao longo da coluna d'água.

6.3.6 Material Particulado em Suspensão

A concentração do Material Particulado em Suspensão na coluna d'água obteve a maior média registrada no período transicional (38.08 mg.L^{-1}), seguido do período seco (32.3 mg.L^{-1}) e por último, pelo período chuvoso, com 13.67 mg.L^{-1} .

A menor média registrada durante o período chuvoso está possivelmente relacionada à ausência de registro em alguns perfis devido à problemas nas campanhas de coleta, como na campanha I, onde não houve registro do MPS de fundo. O máximo registrado no período foi de 91.3 mg.L^{-1} próximo ao fundo no perfil 19, campanha VIII; o mínimo foi na superfície do perfil 10 da campanha IX, com 0.2 mg.L^{-1} (Figura 29).

O máximo registrado no período de transição foi na superfície do perfil 13 com 113.4 mg.L^{-1} , durante a campanha II. Já a campanha VII registrou o mínimo, com 0.1 mg.L^{-1} na superfície do perfil 17 (Figura 30).

O período seco obteve o maior registro dentre todos os períodos analisados, apresentando 189 mg.L^{-1} próximo ao fundo do perfil 9, na campanha VI (Figura 31). Com 0.7 mg.L^{-1} , foi registrado o mínimo do período no perfil 10 da campanha IV.

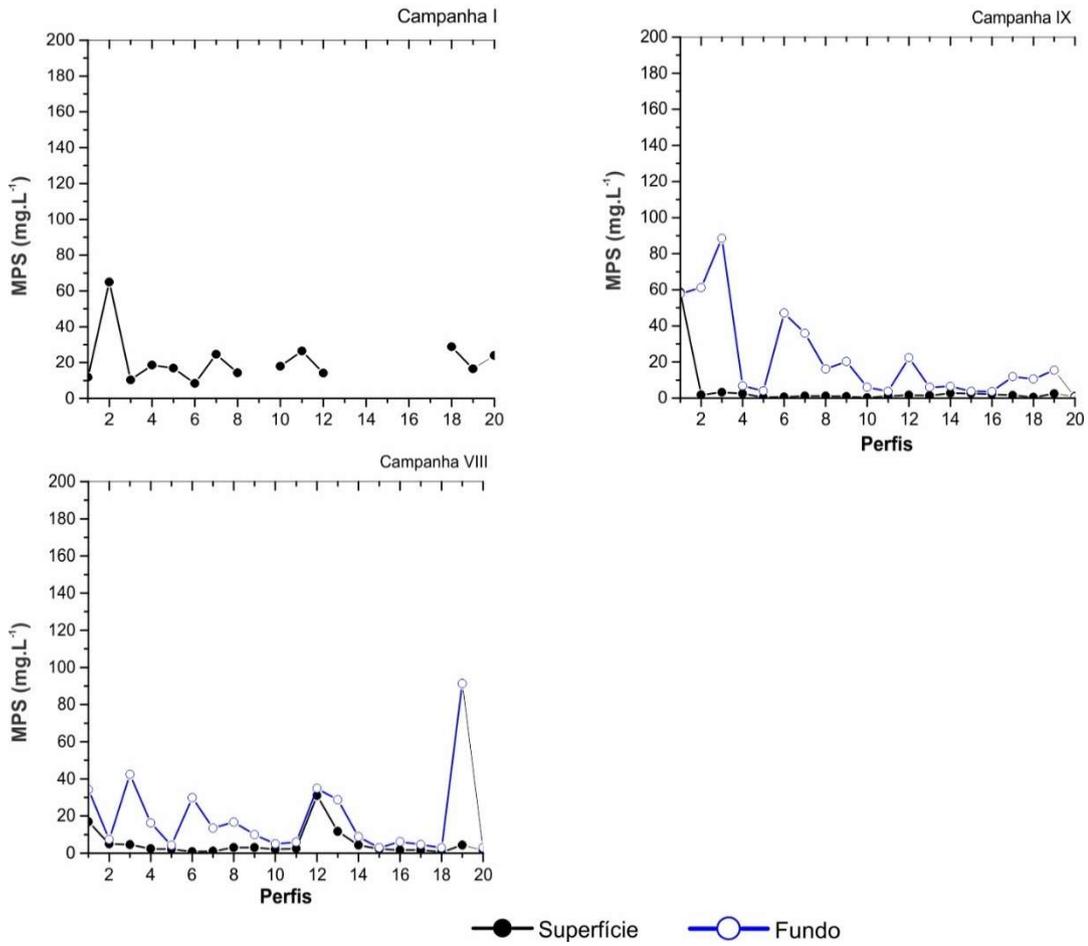


Figura 29: Concentração de MPS na coluna d'água durante período chuvoso da região (abril/2018, janeiro e fevereiro/2019).

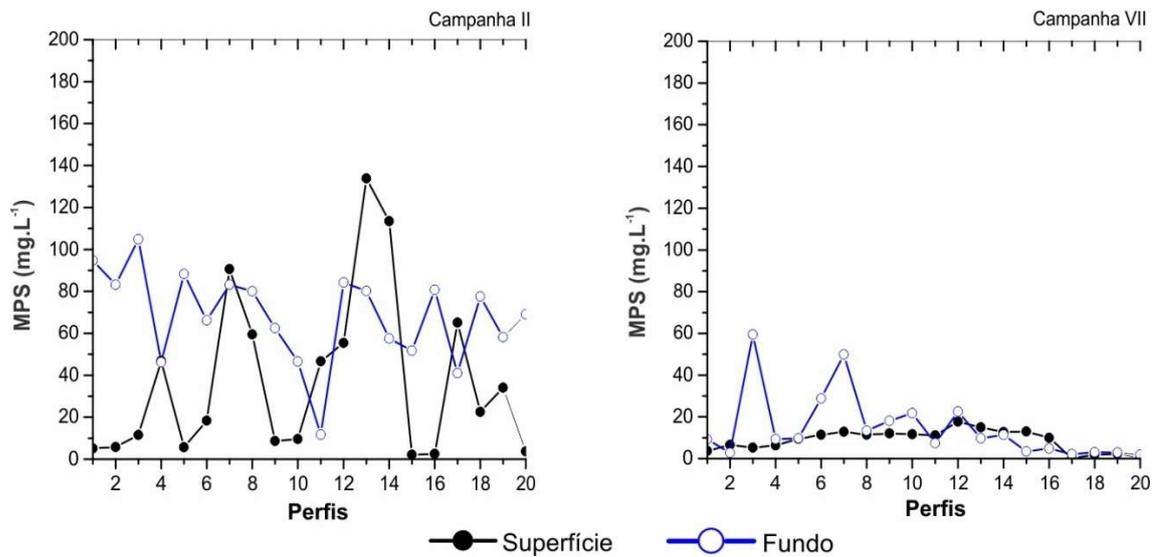


Figura 30: Concentração de MPS na coluna d'água durante período transicional da região (agosto e dezembro/2018).

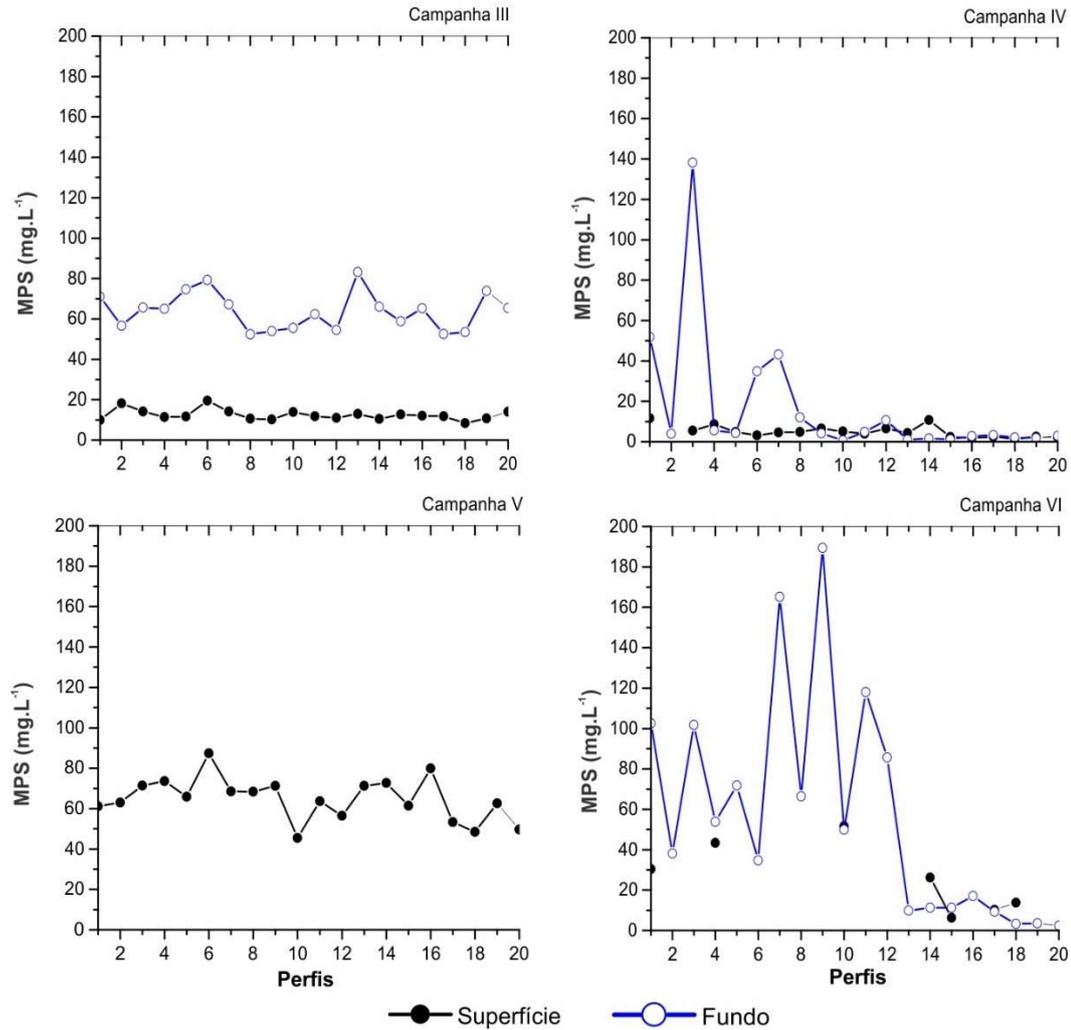


Figura 31: Concentração de MPS na coluna d'água durante período seco da região (setembro, outubro (campanhas IV e V) e novembro/2018).

A Tabela 11 traz os resultados do teste de Dunn aplicados após o de Kruskal-Wallis apontar diferenças significativas entre os períodos sazonais ($\alpha:0.05$; $p: 0.0009$). Estas diferenças foram observadas entre o período chuvoso e os períodos transicionais e seco ($p: p<0.05$). Os demais períodos não apresentaram diferenças significativas para este parâmetro.

Tabela 11: Diferenças significativas (em negrito) dos valores de MPS entre os períodos sazonais, apontados pelo Teste de Dunn.

	MPS		
$\alpha: 0.05$	Chuvoso	Transicional	Seco
Chuvoso		0.0002	0.0001
Transicional	0.0002		0.2881
Seco	0.0001	0.8644	

7 DISCUSSÃO

Uma das particularidades da dinâmica da Plataforma Amazônica é a resposta das suas águas às forçantes meteorológicas nessa região equatorial, onde grande parcela dessa dinâmica é regida pela ação dos ventos alísios e pelos índices de precipitação.

Os resultados alcançados mostraram uma intensidade maior dos ventos no segundo semestre (média de 1.28 m.s^{-1}), referente ao período chuvoso, e uma direção predominante para nordeste. A pesquisa realizada por Lentz (1995a) evidenciou que existem flutuações nas componentes longitudinais e transversais do cisalhamento do vento, influenciando fortemente o fluxo das águas do rio Amazonas e, por consequência, a região costeira do Pará. Em contrapartida, Alves (2014) relacionou o papel dos ventos no padrão hidrodinâmico na plataforma amazônica interna, em frente à dois estuários da costa nordeste paraense, e verificou que a ação eólica não foi determinante na circulação, sendo a ação das marés e o aporte de água continental o principal fator regulador da circulação naquela região.

Os índices pluviométricos são tidos como os principais agentes reguladores do comportamento de corpos hídricos. Os fenômenos de La Niña e El Niño são eventos responsáveis por alterações comportamentais da precipitação, onde o El Niño estimula períodos secos e La Niña é associado ao excesso de umidade e precipitação. Apesar de alguns meses dos anos de coleta registrarem esses fenômenos (2018 - La Niña; 2019 - El Niño), a precipitação analisada no trabalho não apontou diferenças significativas entre a série histórica e os anos de coleta, estando dentro da normalidade climatológica da região.

Os parâmetros utilizados na pesquisa, bem como o tempo amostral, foram importantes na análise da dinâmica sazonal na área oriental da plataforma amazônica. A interação entre as forçantes, em destaque a sazonalidade de descarga, é determinante na distribuição e dinâmica temporal das variáveis abióticas ao longo dessa região.

A salinidade figurou como o parâmetro de análise mais significativo. A dinâmica desse parâmetro apresentou uma variabilidade sazonal bem acentuada no setor próximo ao rio Pará, tal como esperado, pois o parâmetro é influenciado diretamente pela variabilidade da descarga hídrica dos principais rios da região que possuem os maiores índices de descarga no primeiro trimestre do ano. Figueiredo *et al.* (1991) estimou que o rio Amazonas aporta em média $1,8 \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água doce na Plataforma Amazônica, representando 18% do total de água despejado pelos rios de todo o mundo (Milliman e Meade, 1983). O rio Pará por sua vez, possui uma descarga líquida com uma ordem de grandeza menor que o rio Amazonas, aproximadamente $10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Prestes *et al.*, 2014).

O trabalho realizado por Gomes (2015), observou no rio Mocajuba, estuário próximo ao rio Pará, essa variação expressiva do parâmetro, com salinidade média de 7 no período chuvoso e 30, no seco. Alinhado a esse estuário, o perfil de coleta 2 na PCA registrou valores de salinidade médios de 15 g/kg (chuvoso) e 33 g/kg (seco). Essa diferença nas médias observadas durante o período chuvoso entre os trabalhos está possivelmente relacionada a diferença no ambiente de coleta (estuário e plataforma).

O mesmo autor observou no estuário do rio Caeté, um dos maiores da região intermediária da costa, a salinidade com média 30 no período seco. Adjacente a esse estuário na PCA, médias similares no mesmo período foram registradas (33 g/kg). Por outro lado, o período chuvoso obteve médias significativamente diferentes: 22 g/kg no perfil da PCA e, no estuário, 5.

O rio Turiaçu, próximo à Baía de São Marcos (Maranhão), é um dos oito sistemas estuarinos de hipermaré (≈ 6.8 m) na região norte brasileira. Costa (*no prelo*), analisou a variação sazonal da salinidade, onde a média encontrada para o período chuvoso foi de 7, enquanto que na PCA (perfil 18) foi de 33 g/kg. Já no seco, as médias em ambos foi de 36 g/kg.

Essas diferenças da salinidade, especialmente no período chuvoso, estão dentro do padrão esperado, mostrando que há uma diferença entre as médias obtidas na área da plataforma e nos trabalhos realizados dentro dos estuários. Por se tratar de uma propriedade conservativa, a salinidade não possui uma variação significativa por meio de processos químicos ou biológicos ou em escala de tempo menores, como em um ciclo de maré, independente do período analisado. A variabilidade sazonal deste parâmetro se dá pelos processos de mistura entre a água oceânica e água do aporte continental. Os perfis de sólidos totais dissolvidos registraram o comportamento semelhante às variações da salinidade, uma vez que ambos os parâmetros respondem aos mesmos fatores e são diretamente proporcionais, com as maiores concentrações no período seco e menores no período chuvoso.

A relação de oxigênio dissolvido e do pH nos corpos hídricos é um indicador primário da qualidade das suas águas, essa quantidade resulta da interação de diversos processos que podem aumentar ou diminuir sua concentração (Blume *et al.*, 2010). Os processos de turbulência da água podem aumentar as concentrações de OD, pois gera maior troca de oxigênio entre o sistema oceano-atmosfera.

A atividade fotossintética, elevada em períodos de menor aporte fluvial, influencia diretamente as concentrações de OD presente na coluna d'água. As médias de OD e pH

encontradas durante o período transicional e seco são compatíveis com esse padrão. Uma relação similar foi encontrada por Araújo *et al.* (2017) durante um cruzeiro em outubro de 2012 na região da PCA, onde foram verificados valores negativos no cálculo da Aparente Utilização do Oxigênio (AUO), definido como uma estimativa do oxigênio disponível utilizado por processos biogeoquímicos. Os valores negativos (produção > respiração) representam uma supersaturação de oxigênio na pluma, logo, alta produção fotossintética.

O aporte continental, processos de ressuspensão e a hidrodinâmica são alguns fatores que controlam a concentração de material particulado em suspensão na coluna d'água. A descarga sólida dos rios Amazonas e Pará aporta uma quantidade considerável de sedimentos em suspensão para a área da plataforma adjacente. Estima-se que o rio Amazonas seja responsável pelo transporte de sedimentos finos em suspensão na ordem de 600 a 800 x10⁹ton.ano⁻¹ para área da plataforma amazônica interna (Meade *et al.*, 1985).

Estudos destacam a importância do MPS transportados pelos rios Amazonas e Pará em direção à PCA interna, especialmente devido capacidade de complexar aos sedimentos importantes metais, que vão sofrendo deposição sobre o sedimento de fundo oceânico à medida que passam da zona fluvial em direção ao meio marinho (Siqueira *et al.*, 2005; Pereira, 2000).

Por tais características, relacionadas diretamente ao aporte fluvial, é de se esperar que as maiores concentrações do parâmetro sejam no período chuvoso. Contudo, a análise do MPS evidenciou as menores médias no período chuvoso, e as maiores no período transicional e seco. Um dos fatores relacionados a esse resultado pode ser a característica não conservativa do parâmetro, que reage ao ambiente e sofre alterações em suas concentrações. A variação da concentração do MPS é significativa durante um ciclo de maré, de modo que a metodologia de coletas instantâneas não reflita a real dinâmica do parâmetro no ambiente. Uma outra explicação seria a relação do regime de ventos com a ressuspensão dos sedimentos e a concentração deles na coluna d'água, uma vez que as maiores concentrações de MPS foram registradas no segundo semestre de 2018 (período transicional e seco), bem como as maiores intensidades do vento nessa região.

A temperatura é tida como um parâmetro de controle primário na manutenção de ecossistemas, sobretudo dos manguezais (Kjerfve, 1990). Não foram registradas variações significativas entre os períodos sazonais analisados, o que confirma a estabilidade térmica de regiões costeiras. Quanto às metodologias aplicadas, elas não se mostraram correlacionáveis, registrando diferenças significativas entre as medições verticais e horizontais da temperatura.

O método aplicado para a temperatura horizontal foi satisfatório no âmbito do alcance espacial, permitindo ter um registro contínuo ao longo de toda área amostral, podendo auxiliar em coletas de dados bióticos (mamíferos, aves, *etc.*) ou de atividades pesqueiras, porém, sem grande precisão. Para tal, o método vertical se mostrou mais preciso e satisfatório. Isso não permitiu que fosse realizada uma comparação entre os valores encontrados.

Diversos estudos foram realizados acerca do aporte de águas de baixa salinidade proveniente dos rios inseridos na Zona Costeira Amazônica, Amazonas e Pará, na PCA. Em sua maioria, são utilizados dados hidrográficos para monitorar a variabilidade na qual essas águas são inseridas no ambiente da plataforma amazônica. A atuação dos ventos, os índices de precipitação e a sazonalidade da descarga fluvial são forçantes que respondem diretamente ao deslocamento anual da ZCIT e, conseqüentemente, influenciam no comportamento da pluma estuarina sobre a região da plataforma.

Trabalhos adjacentes à foz do rio Amazonas detalham a dispersão da pluma relacionando-a com retroflexão da CNB, como o de Silva *et al.* (2009), que associou a distribuição da pluma com a variação sazonal e espacial das correntes de fronteira. Utilizando sensoriamento remoto, Hu *et al.* (2004) confirmou essa relação de dispersão da pluma com as correntes de fronteira oeste. Ainda, os autores identificaram a pluma estuarina em volta da retroflexão da CNB e seu deslocamento para leste pela contracorrente Norte Equatorial (CCNE).

Lentz (1995a,b) investigou a atuação da pluma do rio Amazonas relacionando a variabilidade da descarga fluvial e intensidade e direção dos ventos, este último sendo responsável pela dispersão da pluma próximo à costa. Identificou que nos meses em que a ZCIT se encontra mais próxima do equador, os ventos de nordeste bloqueiam a pluma próxima à costa, dispersando-a para sudeste, porção na qual ela atinge a área da plataforma do Pará. Nesta área, com influência direta do rio Pará, Mascarenhas *et al.* (2016) constatou através de coletas hidrográficas que, sob condições de alta descarga fluvial, a pluma estuarina possui um alcance espacial de até 230 km *offshore*.

Estes resultados corroboram com os obtidos no presente trabalho que, além de confirmar a presença de águas fluviais sobre a área da plataforma, verificou que há também uma dispersão dessa pluma estuarina para o setor leste, porção referente à plataforma interna adjacente aos estados do Pará e Maranhão. Através das análises, foi possível elaborar um mapa ilustrativo da dispersão gradual da pluma nesta região a partir dos dados de salinidade, em diferentes períodos sazonais (Figura 32).

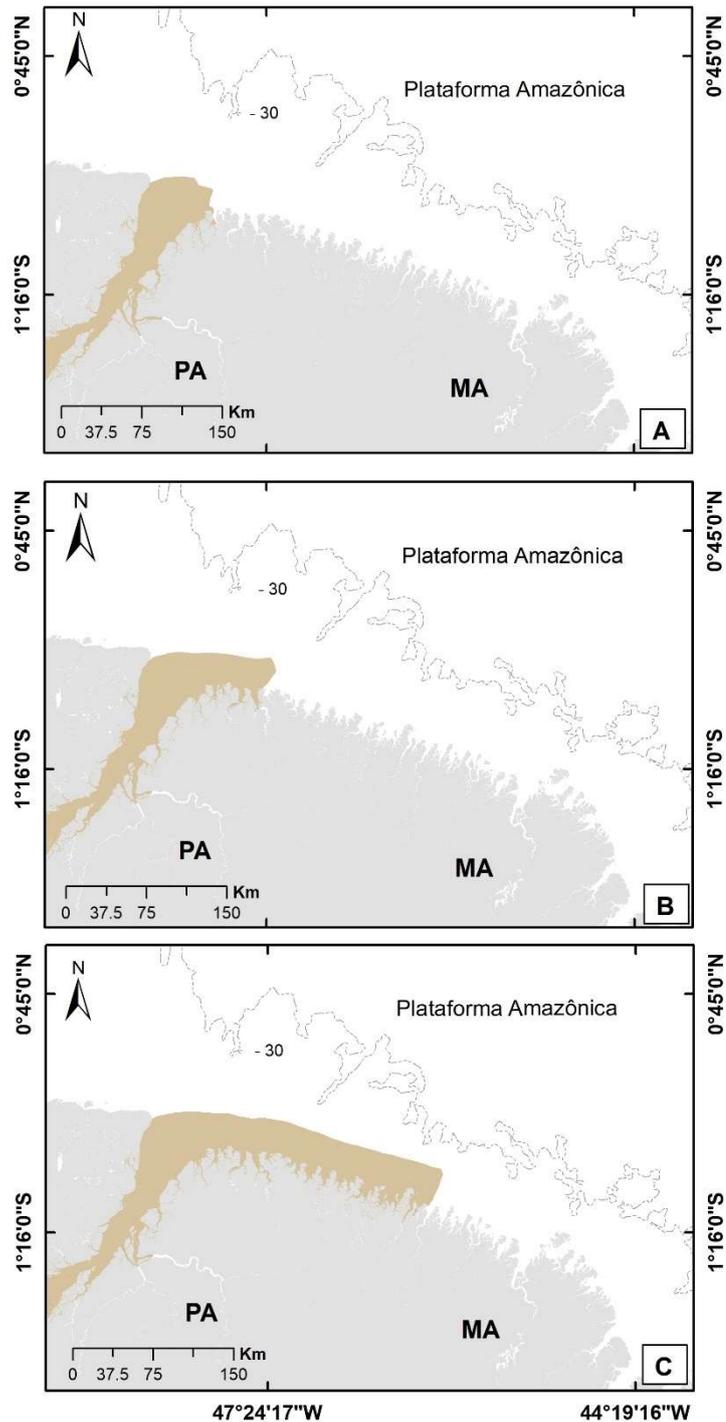


Figura 32: Mapa ilustrativo esquematizando a dispersão da pluma estuarina proveniente do rio Pará, elaborado a partir dos dados de salinidade, sob diferentes condições de descarga fluvial: (a) período seco; (b) transicional; (c) chuvoso – período no qual a pluma atingiu o máximo alcance espacial.

De forma geral, pode-se assumir que essa região da PCA adjacente à costa Pará-Maranhão possui três setores que respondem de maneira diferenciada quanto à sazonalidade dos parâmetros, em especial a salinidade: setor de variabilidade sazonal alta, região de grande

influência da descarga do rio Pará e apresenta forte estratificação vertical; setor de variabilidade sazonal intermediária, com baixa estratificação e setor de variabilidade sazonal baixa, verticalmente homogêneo, porção mais próxima do estuário da Baía de São Marcos.

A literatura acerca do uso do sensoriamento remoto no monitoramento da pluma do rio Amazonas é vasta. A aplicação se dá basicamente pelos constituintes opticamente ativos (COAs) da água (fitoplâncton, materiais particulados, matéria orgânica dissolvida, *etc.*) que interagem com a radiação eletromagnética incidente no corpo hídrico, alterando as características espectrais de sistemas aquáticos de forma particular para cada COA (Kirk, 1994). A concentração desses constituintes permite a classificação de massas d'água opticamente diferenciáveis, a exemplo da pluma do rio Amazonas.

Contudo, a utilização desses métodos não possui a mesma aplicabilidade na porção oriental da PCA, onde há a influência direta da pluma gerada pelo rio Pará. O comportamento supracitado do MPS nessa região pode ser uma das explicações para isso, indicando que as imagens de satélite não conseguem fazer a captura devida às baixas concentrações de constituintes opticamente ativos. Este fato reafirma o parâmetro salinidade como o melhor indicativo da pluma estuarina neste setor, atingindo um alcance espacial de aproximadamente 300 km sobre a área da PCA interna, dispersando-se paralelamente à costa de manguezais.

8 CONCLUSÕES

Os processos ocorrentes na região leste da Plataforma Continental Amazônica apresentam uma variação espaço-temporal, constatadas através dos parâmetros oceanográficos investigados neste trabalho. Essa variabilidade é influenciada principalmente pela sazonalidade da descarga fluvial dos principais sistemas hídricos que deságuam nesta porção rasa da Plataforma, que por sua vez é regida pelas principais forçantes físicas atuantes nessa região.

A salinidade, parâmetro mais suscetível às mudanças no balanço de água doce e salgada, apresentou as maiores variações entre os períodos sazonais. Isso fez com que o parâmetro figurasse como o melhor indicador da presença da pluma estuarina e do monitoramento sazonal da mesma na área da Plataforma, um dos principais objetivos do trabalho.

Constatou-se que, em períodos de altos índices pluviométricos e condições de alta descarga fluvial, a pluma estuarina do rio Pará possui um padrão diferenciado de dispersão, fluindo também para leste, atingindo um alcance espacial de aproximadamente 300 km sobre a porção oriental da Plataforma interna em condições de descarga máxima, nas medições realizadas em limites externos de até 40 km da costa.

Ainda em relação à salinidade, através dela foi possível estimar, ainda que de forma superficial, a influência das descargas dos sistemas do rio Pará (PA) e da Baía de São Marcos (MA) sobre a área da Plataforma interna. Diferente do que se observou adjacente aos estuários do estado do Pará, os perfis mais próximos ao estuário do estado do Maranhão registrou em todos os períodos sazonais a presença de águas de salinidade igual ou superior a 30, indicando que a Baía de São Marcos não exporta suas águas para a área da Plataformas, sob nenhuma condição de descarga fluvial. Conclui-se, então, que o Rio Pará possui uma influência superior sobre a Plataforma em relação à Baía de São Marcos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada buscou fazer uma análise mais abrangente da dinâmica dos processos oceanográficos ocorrentes na porção oriental da Plataforma Continental Amazônica interna e, diferente dos estudos pontuais anteriormente conduzidos, adotou como referência a posição geográfica de influência direta da descarga líquida e sólida do segundo maior sistema hidrológico da região, o estuário do rio Pará. Para garantir a consistência dos dados, nove meses de campanhas foram realizadas para coleta de dados nos três períodos sazonais bem estabelecidos na Zona Costeira Amazônica: chuvoso, transicional e seco.

Considerando as particularidades dos processos ocorrentes na região Amazônica, as técnicas de análise dos dados utilizadas neste trabalho foram propostas e validadas por trabalhos pretéritos realizados na região. Juntamente com a validação por meio da aplicação de testes estatísticos, foi possível obter uma abordagem inicial para o entendimento da dinâmica comportamental dos parâmetros em diferentes escalas temporais e espaciais na região da PCA.

Em relação aos dois maiores sistemas da ZCA, rios Amazonas e Pará, sabe-se que eles possuem particularidades que o diferenciam um do outro (como temperatura) e, mesmo sem uma análise específica para isso no presente estudo, foi atribuído ao rio Amazonas, dada a magnitude de sua vazão, a capacidade de conduzir suas águas até essa região. Logo, foi possível verificar a presença das águas continentais dos rios Amazonas e Pará sobre boa parte da região costeira dos estados do Pará e Maranhão. A pesquisa realizada por Cavalcante (2007) dá base a essa teoria quando verificou a presença de uma massa de água superficial continental (salinidade ≈ 12) no período de alta descarga fluvial, possivelmente influenciando a circulação costeira nessa região. Esta é denominada regionalmente de “água preta”.

A variabilidade do regime dos ventos e da precipitação nesta região, influenciados pelo deslocamento da ZCIT ao longo do ano, é quem controla majoritariamente as condições de descarga dos rios e, conseqüentemente, o conteúdo de águas fluviais sobre a área da Plataforma e como se comportam temporal e espacialmente.

As análises permitiram verificar a dispersão para leste do sistema de plumas estuarinas dos rios Amazonas e Pará nessa região da PCA interna, adjacente à maior faixa contínua de manguezais do mundo. Este foi considerado o principal resultado alcançado neste trabalho de Dissertação. Para trabalhos futuros, recomenda-se a correlação de dados hidrográficos com dados hidrodinâmicos nesta porção leste da Plataforma, para aprofundar o conhecimento

sobre a dinâmica comportamental de águas continentais sobre essa região, bem como o fluxo de troca de propriedades entre os ecossistemas ali presentes.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). 2016b, Arrendamentos Portuários. Leilões do Bloco I – Etapa 2. Brasília,DF, ANTAQ.
- Alves, A.C., 2014, Características Hidrodinâmicas da Plataforma Interna do Nordeste Paraense: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.
- Araujo, M. *et al.*, 2017, A Synoptic Assessment of the Amazon River-Ocean Continuum during Boreal Autumn: From Physics to Plankton Communities and Carbon Flux. *Frontiers in Microbiology*, 8, p. 1358, doi:10.3389/2017.01358.
- Baumgarten, M.G.Z., J.M.B. Rocha, L.F.H. Niencheski, 1996, Manual de análises em oceanografia química. Editoras FURG/Pallotti.
- Beardsley, R.C., J. Candela, R. Limeburner, W.R. Geyer, S.J. Lentz, M.C. Belmiro, D. Cacchione, N. Carneiro, 1995, The M2 tide on the Amazon shelf: *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/94JC01688.
- Blume, K. K., J. C. Macedo, A. Meneguzzi, L. B. Silva, D. M. Quevedo, M. A. S. Rodrigues, 2010, Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil: *Brazilian Journal Biology*, 70, 1185-1193, doi:10.1590/1519-6984.01613.
- Costa, M.S., 2014, Aporte hídrico e do material particulado em suspensão para a baía do Marajó: influência dos rios Amazonas e Tocantins: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.
- Dai, A., K.E. Trenberth, 2015, Estimates of Freshwater Discharge from Continents: Latitudinal and Seasonal Variations: *Journal of Hydrometeorology*, 3, 660 - 687, doi:10.1175/1525-7541.
- Figueiredo, A. G., M. Allison, C. A. Nittrouer, 1991, Amazon discharge: internal report for AMASSEDS researches: Relatório Técnico, Universidade Federal Fluminense.
- Fontes, C.R.F., 2000, Estudo Numérico da Circulação na Plataforma Continental Amazônica: Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Fratantoni, D.M., D. A. Glickson, 2002, North Brazil Current Ring Generation and Evolution Observed with SeaWiFS*: *Journal Physical Oceanography*: 32, 1058–1074, doi:10.1175/1520-0485(2002)032.
- Gabioux, M., S. Vinzon, A. M. Paiva, 2005, Tidal propagation over fluid mud layers on Amazon shelf: *Continental Shelf Research*, 25, 113–125, doi: 10.1016/j.csr.2004.09.001.
- Geyer W.R., G.C. Kineke 1995, Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone: *Journal of Geophysical Research*, 2321- 2339, doi: 10.1029/94JC02657.
- Geyer, R.W., R.C.R. Beardsley, S.J. Lentz, J. Candela, R. Limeburner, W.E. Johns, B.M. Castro, I.D. Soares, 1996, Physical Oceanography of the Amazon shelf: *Continental Shelf Research*, 16, 575-616, doi: 10.1016/0278-4343(95)00051-8.

- Gomes, J. D., 2015, Caracterização hidrodinâmica do estuário do rio Gurupi: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.
- Hu, C., E.T. Montgomery, R.W. Schmitt, F.E. Müller-Karger, 2004, The Amazon and Orinoco River plumes in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observation from space and S-PALACE floats: *Deep-Sea Research*, 1152-1171, doi: 10.1016/j.dsr2.2004.04.001.
- Intergovernmental Oceanographic Commission – IOC., 2010, The International thermodynamic equation of seawater: calculation and use of thermodynamic properties, UNESCO.
- Johns, W.E., T.N. Lee, R.C. Beardsley, J. Candela, R. Limeburner, B.M. Castro, 1998, Annual cycle and variability of the North Brazil Current: *Journal Physical Oceanography*, 103-128, doi: 10.1175/1520-0485(1998)028.
- Kjerfve, B., 1990, Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems: Baruch Institute for Marine Biology and Coastal Research, University of South Carolina.
- Kuehl, S. A., C. A. Nittrouer, D. J. Demaster, 1982, Modern sediment accumulation and strata formation on the Amazon continental shelf: *Marine Geology*, 49, 279-300, doi: 10.1016/0025-3227(82)90044-5.
- Lacerda, L. D., 2003, Os manguezais do Brasil, in Vannucci, M., ed., Os manguezais e nós, Vol. 2, 193-205.
- Lentz, S.J., R. Limeburner, 1995, The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability: *Journal Geophysical Research*, 100, 2355–2375, doi: 10.1029/94JC01411.
- Lentz, S. J., 1995, Seasonal variations in the horizontal structure of the Amazon Plume inferred from historical hydrographic data: *Journal of Geophysical Research*, 2391-2400, doi: 10.1029/94JC01847.
- Lima, A.M.M. et al., 2004, Ilha do Marajó: revisão histórica, hidroclimatologia, bacias hidrográficas e proposta de gestão. Relatório técnico. Secretaria Executiva de Ciências Tecnologia e Meio Ambiente – Núcleo de Hidrometeorologia (SECTAM/NHM). Belém.
- Lima, K., 2002, Variação sazonal da precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar em ecossistemas de manguezal, floresta e pasto no leste da Amazônia, no período de agosto/2000 a dezembro/2001: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.
- Limeburner, R. et al., 1995, Lagrangian flow observations of the Amazon River discharge into the North Atlantic: *Journal of Geophysical Research*, 2401-2415, doi: 10.1029/94JC03223.
- Mascarenhas, A.C.C., G.S. Gomes, A.P.Y. Lima, H.K.N. Silva, L.S. Santana, R.P. Rosário, M. Rollnic, 2016, Seasonal variations of the Amazon River plume with focus on the eastern sector: *Journal of Coastal Research*, 532–536, doi: 10.2112/SI75-107.1.
- Meade, R.H., Richey T.U.M.S., Salati E., 1985, Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon river of Brazil: *Science*, 488-490, doi: 10.1126/science.228.4698.488.

- Meybeck, M., 1988, How to establish and use world budgets of river material, in *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles*, Vol. 251, 247-272.
- Milliman, J.D., R. H. Meade, 1983, World-wide delivery of river sediment to the oceans: *The Journal of Geology*, 1-21, doi: 10.1086/628741.
- Nittrouer, C.A., D.J. Demaster, 1996, The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river: *Continental Shelf Research*, 16, 553–573, doi:10.1016/0278- 4343(95)00069-0.
- Pêgo, B., R. Moura, 2018, *Fronteiras do Brasil: uma avaliação de política pública*, Vol 1.
- Pereira filho, O., J.R.P. Alves, 1999, *Conhecendo o manguezal*. Apostila técnica, Grupo Mundo da Lama.
- Pereira, S.B., 2000, Aspectos geoquímicos do material particulado da pluma estuarina do rio Amazonas: fatores que controlam as interações com as águas oceânicas. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará.
- Prestes, Y.O., M. Rollnic, M.S. Silva, R.P. Rosário, 2014, Volume Transport in the Tidal Limit of the Pará River, Brazil. *Proceedings of the 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas conference*.
- Prestes, Y.O., A.C. Silva, M. Rollnic, R.P. Rosário, 2017, The M2 and M4 Tides in the Pará River Estuary: *Tropical Oceanography*, 26-37. ISSN 1679-3013 (online),
- Rosário, R.P., T.A.C. Borba, A.S. Santos, M. Rollnic, 2016, Variability of Salinity in Pará River Estuary: 2D Analysis with Flexible Mesh Model, *Journal of Coastal Research*, 128 -132, doi: 10.2112/SI75-026.1.
- Silva, A.C. et al., 2009, Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica: *Acta Amazônica*, 361-370, doi: 10.1590/S0044-59672009000200014.
- Silva, A.M.M., 2015, *Propagação da Maré ao Longo do Estuário do Rio Mocajuba, Nordeste Paraense*, Trabalho de Conclusão Curso, Universidade Federal do Pará.
- Siqueira, G.W., W.N. Lima, A.S. Mendes, F.M. Aprile, E.S. Braga, E.A.R. Lima, 2005, Estudo geoquímico da ocorrência de metais selecionados em sedimentos de fundo da Plataforma Continental do Rio Amazonas – Norte do Brasil, in Souza, V.S.; Horbe, A.M.C, ed., *Contribuições à Geologia da Amazônia*, Vol 4., 237-245.
- Sistema de Veneza, 1958, Symposium on the classification of brackish waters: *Archives for Oceanography and Limnology*, 1–248.
- Sonda Horiba, 2019, https://www.horiba.com/en_en/, acessado em 10 de fevereiro.
- Souza-Filho, P.W.M., E.S. Martins, F.R. da Costa, 2006, Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: a remote sensing data approach: *Ocean & coastal management*, 462-475, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2006.04.005.

- Souza-Filho, P.W.M., 2005, Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos: Revista Brasileira de Geofísica, 427-435, doi: 10.1590/S0102-261X2005000400006.
- Souza-Filho, P.W.M., G.C. Lessa, M.C.L. Cohen, F.R. Costa, R.J. Lara, 2008, The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the eastern amazon coast, Northern Brazil, in Dillenburg, S.R., Hesp, P.A., ed., Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil, 347 – 375.
- Spalding, M., F. Blasco, C. Field, 1997, World mangrove atlas: International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa.