



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA - DOCEAN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

RAFAEL DE ANDRADE LIMA BATISTA

**VARIAÇÃO SAZONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE SALINIDADE, TEMPERATURA,
TURBIDEZ, OD E CLOROFILA NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PE-BR.**

RECIFE

2017

RAFAEL DE ANDRADE LIMA BATISTA

VARIAÇÃO SAZONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE SALINIDADE, TEMPERATURA,
TURBIDEZ, OD E CLOROFILA NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PE-BR.

Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Física.

Linha de pesquisa: Estuários.

Orientador: Prof. Dr. Carlos A. F. Schettini.

RECIFE

2017

Catálogo na fonte

Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

B333v

Batista, Rafael de Andrade Lima.

Varição sazonal da distribuição de salinidade, temperatura, Turbidez, od e clorofila no estuário do rio Capibaribe, PE-br. / Rafael de Andrade Lima Batista. - 2017.

74 folhas. Il., e Abr. e Sigl.

Orientador: Prof. Dr. Carlos A. F. Schettini.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2017.

Inclui Referências e Anexos.

1. Oceanografia. 2. Ecossistemas. 3. Qualidade da água. 4. Melhoria ambiental. 5. Salinidade. 6. Hidrologia. I. Schettini, Carlos A. F. (Orientador)
II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2018 - 132

RAFAEL DE ANDRADE LIMA BATISTA

VARIAÇÃO SAZONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE SALINIDADE, TEMPERATURA,
TURBIDEZ, OD E CLOROFILA NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PE-BR.

Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação
em Oceanografia da Universidade Federal de
Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à
obtenção do grau de Mestre em Oceanografia.

Aprovado em: 23 de fevereiro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos A. F. Schettini, Dr - UFPE - Docean (Orientador)

Prof. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes, Dr – UFSB - IHAC Sosígenes Costa - Porto Seguro
(Membro)

Profa. Eliete Zanardi Lamardo, Dr – UFPE – Docean (Membro)

Dedico este trabalho a todos que se esforçam para a melhora ambiental do Rio Capibaribe, e também aqueles que acreditam que um dia será possível tomar banho em suas águas sem preocupações sanitárias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que ajudaram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

Um agradecimento especial ao meu orientador Carlos A. F. Schettini (Laboratório de Hidrodinâmica Costeira – LaHiCo), que abriu as portas para a realização deste trabalho; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que proporcionou a bolsa de pesquisa; e a minha família, que esteve ao meu lado sempre que precisei.

“Não serás capaz de me guiar, se não sabem guiar a si mesmo.

Como relento apavorado, sigo,

E vocês acham que eu não sinto...

Se eu fosse como os humanos,

Todos já estariam mortos.

Mas sou guiado pela natureza e participo de sua evolução.”

Rafael de A. L. Batista

RESUMO

O estuário do rio Capibaribe, embora de dimensões relativamente pequenas, é importante pois atravessa a cidade de Recife. Esta é uma das regiões mais densamente povoadas do Brasil, e isto implica em baixa qualidade ambiental para o corpo de água. O presente trabalho tem como principal objetivo descrever a variabilidade sazonal da salinidade, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido e clorofila ao longo do estuário. Foram realizadas campanhas semanais entre julho e novembro de 2015, 20 no total, durante a fase de preamar. Os dados foram coletados em perfis verticais com resolução vertical de 0,1 m e em intervalos de 1 km. Foi utilizada uma sonda tipo CTD (Conductivity, Temperature and Depth). Dados suplementares de maré, vazão e precipitação foram obtidos junto ao banco de dados da Marinha do Brasil, Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), respectivamente. Os dados foram processados em ambiente Matlab® (MathWorks Inc.™). Os principais resultados são: há o deslocamento da frente salina entre 11 e 19 km de distância da desembocadura, e conseqüente modificação nas distribuições dos demais parâmetros. Nesta região, em 100% das campanhas, há maiores medidas de temperatura, materiais em suspensão e clorofila, e menor medida de OD. Foram observadas duas zonas de máxima turbidez (ZMT), a primeira entre 2 e 4 km de distância da desembocadura, relacionada com a batimetria local, e a segunda entre 9 e 19 km de distância da desembocadura, relacionada com a movimentação da frente salina. A região da segunda ZMT coincide com a maior medida de clorofila. No período chuvoso há menos OD na água do estuário, mostrando que as águas do rio Capibaribe são pobres em OD e a intrusão das águas do oceano é o principal fornecedor de OD para o sistema estuarino. No período chuvoso, as medidas de temperatura, salinidade, OD e clorofila são inferiores e a medida de turbidez é superior. A temperatura e OD são sempre maiores em superfície; a clorofila é maior na superfície no período chuvoso e, no período seco, é maior no fundo; a salinidade e turbidez tendem a ser sempre maiores no fundo, porém no período chuvoso são muito maiores no fundo.

Palavras-chave: Ecossistemas. Qualidade da água. Melhoria ambiental. Salinidade. Hidrologia.

ABSTRACT

The estuary of Capibaribe river, despite its relative small dimensions, is important since it crosses the City of Recife. This is one of the most densely populated regions in Brazil, which leads to poor water quality in the water body. This work aims to describe the seasonal distribution of salinity, temperature, turbidity, dissolved oxygen (DO) and chlorophyll along the estuary. Weekly surveys were carried out between July and November 2015 at high tide. Data were recorded in vertical profiles with 0.1 m of vertical resolution and at 1 km. The equipment used was a CTD probe (Conductivity, Temperature and Depth). Ancillary data of tide, river flow and precipitation were obtained from databases of the Brazilian Navy, National Water Agency (ANA) and National Institute of Meteorology (INMET), respectively. Data were processed in the Matlab® environment (MathWorks Inc.TM). It was observed that between 11 and 19 km distance from the mouth there is the displacement of the saline front and consequent modification in the distribution of temperature, turbidity, DO and chlorophyll. In this region, in 100% of the campaigns, there is a higher measure of thermal energy, suspended materials and chlorophyll, and lower DO measure. Two zones of maximum turbidity (ZMT) were observed, the first between 2 and 4 km distance of the mouth, related to the local bathymetry, and the second between 9 and 19 km distance from the mouth, related to the saline front movement. The region of the second ZMT coincides with the highest measure of chlorophyll. In the rainy season there is less DO in estuarine water, showing that the waters of the Capibaribe River are poor in DO and the intrusion of ocean waters is the main supplier of DO to the estuarine system. In the rainy season, the measure of temperature, salinity, DO and chlorophyll are lower and the turbidity measure is higher. The temperature and DO are always higher on surface; chlorophyll is higher at the surface in the rainy season and, in the dry period, it is higher at the bottom; the salinity and turbidity tends to be always higher in the bottom, but in the rainy season it is much higher in the bottom.

Keywords: Ecosystems. Water quality. Environmental improvement. Hydrology. Salinity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – <u>Superior</u> : Série histórica de vazão diária do rio Capibaribe na estação de São Lourenço da Mata (fonte: ANA. <u>Inferior</u> : Médias mensais da vazão do rio Capibaribe na estação de São Lourenço da Mata.	18
Figura 2.2 - a) Localização do estado de Pernambuco no Brasil; b) Localização da Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe (BHRC) no estado de Pernambuco; c) Localização do sistema estuarino do rio Capibaribe.	19
Figura 3.1 - Localização das estações de coletas (pontos pretos).	20
Figura 3.2 - Duração das campanhas.	21
Figura 3.3 - Localização das estações pluviométricas (Recife, Caruarú e Surubim), hidrológica (São Lourenço da Mata) e maregráfica (Recife); Localização das regiões de desenvolvimento de Pernambuco (RD) que a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe está inserida.	25
Figura 4.2.1 - a) Maré prevista pela tábua de maré na desembocadura do rio Capibaribe pela Marinha do Brasil. <i>Vermelho</i> : momento das campanhas; b) Vazão do rio Capibaribe. Estação hidrológica de São Lourenço da Mata II. <i>Preto</i> : período de alta vazão (44 dias). <i>Cinza</i> : período de baixa vazão (103 dias). <i>Vermelho</i> : momento das campanhas. c) Precipitação na BHRC. <i>Azul</i> : estação pluviométrica Recife, representa a precipitação da RMR. <i>Verde</i> : estação pluviométrica Caruaru, representa a região central – sul. <i>Vermelho</i> : estação pluviométrica Surubim, representa a região central – norte da BHRC.	28
Figura 4.3.1 - Gráfico de média total de temperatura, máximos e mínimos (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.	29
Figura 4.3.2 - Gráfico de média por estação de temperatura das estações ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.	30
Figura 4.3.3 – Gráfico da diferença entre a média de temperatura do fundo e da superfície por estação de coleta, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.	31
Figura 4.4.1 - Gráfico de média total de salinidade, máximos e mínimos (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.	32
Figura 4.4.2 – Gráfico da diferença entre a média de salinidade do fundo e da superfície por campanhas, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. O ponto cinza representa a campanha que foi realizada a partir do 4º km de distância da desembocadura.	33
Figura 4.4.3 - Gráfico de média vertical de salinidade por estação ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.	34

Figura 4.5.1 - Relação entre média total de turbidez com a vazão.	35
Figura 4.5.2 – Gráfico da diferença entre a média de turbidez do fundo e da superfície por campanhas, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. O ponto cinza representa a campanha que foi realizada a partir do 4º km de distância da desembocadura.	36
Figura 4.5.3 - Gráfico de média vertical de turbidez (FTU) por estação ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.	37
Figura 4.6.1 Gráfico de média da saturação de oxigênio dissolvido das estações ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.	39
Figura 4.6.2 – Gráfico da diferença entre a média de OD do fundo e da superfície por estação de coleta, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.	41
Figura 4.6.3 - Gráfico de média, máximos e mínimos de OD por campanha (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.	42
Figura 4.7.1 - Gráfico de média de clorofila das estações ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.	43
Figura 4.7.2 – Gráfico da diferença entre a média de clorofila do fundo e da superfície por campanhas, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. O ponto cinza representa a campanha que foi realizada a partir do 4º km de distância da desembocadura.	44
Figura 4.7.3 - Gráfico de média total de clorofila, máximos e mínimos (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.	45
Figura 4.8.1. Variações longitudinais da média temporal e desvio padrão para salinidade, temperatura, turbidez, clorofila e oxigênio.	48
Figura 4.8.2 Representação geográfica da variabilidade da salinidade, temperatura, turbidez, clorofila e oxigênio dissolvido no estuário do rio Capibaribe.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

BHRC - Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil

CTD - Conductivity, Temperature and Depth Sensors

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MPS - Material particulado em suspensão

OD - Oxigênio dissolvido

RMR - Região Metropolitana de Recife

SLM - São Lourenço da Mata

ZMT - Zonas de Máxima Turbidez

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	ÁREA DE ESTUDO	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Maré	26
4.2	Precipitação e Vazão	26
4.3	Temperatura da água	28
4.4	Salinidade	31
4.5	Turbidez	35
4.6	Oxigênio dissolvido (OD)	39
4.7	Clorofila	42
4.8	Padrões Médios Temporais	46
5	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	51
	Anexo I	55

1 INTRODUÇÃO

Estuário é um ambiente que está situado na interface entre o continente e o oceano. Pode apresentar diversas fisiografias, apresentando livre conexão com o oceano, e o limite para o interior do continente é definido até onde se observa os efeitos da maré (Fairbridge, 1980). Na bacia estuarina ocorre a mistura das águas doce oriunda da drenagem continental e salgada proveniente do mar (Cameron & Pritchard, 1963; Pritchard, 1967) e consequente interações entre os materiais de diferentes fontes. Em muitos casos é possível identificar três regiões distintas que podem apresentar características sedimentológicas e geomorfológicas diferentes: 1) baixo estuário, onde observam-se características típicas do oceano adjacente; 2) médio estuário, onde as águas do continente e oceano interagem; e 3) alto estuário, onde observa-se o efeito da maré, porém não há sal (Dionne, 1963; Dalrymple et al., 1992). Ambientes como baías, lagoas costeiras e rios em sua região final também caracterizam ambientes estuarinos (Kjerfve, 1987)

Devido às suas características de abrigo, facilidade de acesso ao interior e alta produtividade, os estuários têm extrema importância no desenvolvimento de diversas cidades, estados e países. Ao redor das baías de Chesapeake, Delaware e São Francisco estão situados locais economicamente importantes como Nova York, Nova Jersey e Califórnia, respectivamente, nos EUA. Na França, está localizado o estuário de Gironde, onde está Bordeaux. Na Alemanha encontra-se o estuário Weser, onde está Bremen. Na Austrália encontra-se o estuário Coomera, onde está Queensland. No Brasil encontra-se a Baía de Guanabara, Baía de Todos os Santos e Sistema estuarino do Rio Capibaribe, onde estão situadas Rio de Janeiro, Salvador e Região Metropolitana de Recife (RMR), respectivamente. Por apresentarem importâncias socioeconômicas e ecológicas, esses ambientes devem ser investigados cada vez mais para fornecer bases para tomadas de decisões visando um desenvolvimento sustentável. (Melo, 2010; Schettini, 2001; Valle-Levinson, 2010)

Os processos hidrodinâmicos determinam a distribuição de materiais ao longo do estuário. A mistura da massa de água estuarina decorrentes de movimentos em pequenas e médias escalas envolve a ação simultânea de advecção e de difusão turbulenta. O influxo de água doce contribui para a o fluxo de empuxo, onde as águas menos salinas e menos densas flutuam sobre as águas marinhas mais densas, resultando em estratificação. A propagação da maré estuário adentro resulta em fricção no fundo, produzindo turbulência e mistura da coluna de água. Dependendo da dominância de um processo ou de outro, um estuário poderá apresentar distribuição de salinidade variando entre altamente estratificado (dominância fluvial), parcialmente misturado (equilíbrio entre vazão e maré), e bem misturado (dominância da maré). Em função do padrão dominante, um estuário poderá se comportar como um retentor ou exportador de materiais para o mar costeiro. (Dyer, 1995; MacCready & Geyer, 2010; Miranda *et al.*, 2002)

Através dos estuários passa a maior parte da matéria originada da decomposição intempérica do continente para os oceanos, e, por isso, são ambientes importantes para a ecologia global. Adaptações ecológicas dependem da distribuição de parâmetros como temperatura, salinidade, turbidez, oxigênio dissolvido e clorofila (Dustan & Pinckney, 1989; Masson & Pena, 2009; Schettini, 2001; Silva *et al.*, 2015). Qualquer mudança que ocorra capaz de alterar as variações destes parâmetros acarretará em mudanças ambientais e ecológicas significativas. Por ser um ambiente que apresenta uma diversidade de processos em constante interação, os estuários possuem uma biota especializada e sensível a qualquer modificação. A variação desses parâmetros são fatores importantes para a zonação da fauna e flora estuarina, pois estas se adaptam as condições ambientais estabelecidas (Attrill *et al.*, 2002; Lima *et al.*, 2012; Melo, 2010; Miranda *et al.*, 2002).

O limite superior da intrusão salina é importante para o manejo e gerenciamento ambiental. Existem relações entre a intrusão salina, vazão fluvial e força da maré. Na água, o aumento da salinidade é proporcional à força iônica (pH), o que causa mudanças físico-químicas da água e, conseqüentemente, na especiação de alguns metais pesados (Frota *et al.*, 2013; Hatje *et al.*, 2003). Na frente salina, região de transição entre as águas salinas e doce, pode ocorrer a zona de turbidez máxima (ZTM), que é caracterizada por apresentar uma concentração de sedimentos em suspensão superior à água do rio e da região costeira adjacente (Grabemann *et al.*, 1997; Schettini *et al.* 2014).

Os trabalhos pioneiros, envolvendo a hidrografia do rio Capibaribe, foram realizados em 1959, são eles: Ottmann & Ottmann (1959, “a”); Ottmann & Ottmann (1959, “b”); e, Stretta (1959). Estes trabalhos falam respectivamente sobre: distribuição da salinidade de acordo com a penetração da maré; sedimentologia; e aspectos hidrogeológicos. Entre 1991 e 1993, Travassos *et al.* (1993) realizaram um trabalho envolvendo aspectos hidrológicos do estuário do rio Capibaribe e os resultados já indicavam que “o grande aporte de poluição proveniente de efluentes industriais e domésticos causaram um acentuado desequilíbrio dos parâmetros hidrológicos, principalmente daqueles relacionados com o oxigênio dissolvido, DBO e elementos nutrientes dissolvidos”. Recentemente, alguns trabalhos abordaram com maior detalhamento os aspectos hidrodinâmicos do estuário do rio Capibaribe: Batista *et al.* (2014); Batista (2015); Batista *et al.*, (2016); Schettini *et al.* (2014); Schettini *et al.* (2016, “a” e “b”).

Atualmente, o estuário do rio Capibaribe encontra-se em precárias condições sanitárias servindo como drenagem cloacal e pluvial, podendo ser considerado um esgoto a céu aberto. Este rio é palco de inspiração de diversas expressões culturais e sociais, assim como um potencial atrativo turístico e opção de mobilidade urbana para as próximas décadas. Há diversas iniciativas que fortalecem a mudança da relação entre a população e o estuário do rio Capibaribe, como: Projeto de Navegabilidade dos Rios Capibaribe e Beberibe; Comitê da Bacia Hidrográfica do Capibaribe; Plano

Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe; Parque Capibaribe; Capibaribe Melhor; ONG “RECAPIBARIBE”; Projeto “Eu quero nadar no Capibaribe, e você?”; Escola Ambiental Águas do Capibaribe; Programa Capivara; Instituto Capibaribe; e, Centro Escola Mangue.

Do ponto de vista ambiental, pesquisas mostram que a contaminação neste estuário ocorre de forma crônica e que os contaminantes são, principalmente, trazidos pelos rios Tejipió, Pina, Jordão e Capibaribe (Maciel *et. al.*, 2015). Nas imediações do estuário do rio Capibaribe foram contabilizadas cerca de 57 indústrias de alto e médio potencial de poluição, 150 pontos de lançamento de águas residuais, mau cheiro, lixo e a degradação visual, que indicam a possibilidade de lançamentos de esgotos interligados nas saídas de águas pluviais, comprometendo cada vez mais a qualidade das águas, sedimentos e organismos presentes neste ambiente (Zanardi-Lamardo *et. al.*, 2016).

A degradação ambiental e a não ação dos responsáveis legais são preocupantes. Segundo a Compesa, vinculada ao Governo do Estado de Pernambuco por meio da Secretaria de Desenvolvimento Econômico e responsável por levar água e esgotamento sanitário aos pernambucanos, apenas 32% da cidade de Recife e RMR e mais outros 20% de cidades de todo o estado de Pernambuco tem tratamento de esgoto (<http://servicos.compesa.com.br/egotamento-sanitario/>). Ou seja, 68% da RMR não tem tratamento de águas residuais e não se tem o controle deste aporte de poluição que é lançado em fossas, galerias pluviais ou diretamente para os corpos de água mais próximos.

Pesquisas devem ser realizadas para melhor entender a distribuições de materiais, a hidrodinâmica, a qualidade ambiental, as contaminações e os organismos do estuário do rio Capibaribe. Esta dissertação de mestrado tem como objetivos investigar as variações sazonal da frente salina e as relações entre a frente salina e as distribuições de temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido e clorofila. O estuário do rio Capibaribe carece de trabalhos com o nível de detalhamento e abrangência que é apresentado neste documento, servindo como uma base de dados importante para todos os pesquisadores, tomadores de decisões e demais interessados neste estuário.

2 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Pernambuco está localizado no centro leste da região Nordeste do Brasil, faz fronteira com o Oceano Atlântico e com os estados Paraíba, Ceará, Alagoas, Bahia e Piauí. Possui área de aproximadamente 98.200 km², 185 municípios, população estimada de 9 milhões de habitantes, densidade demográfica de aproximadamente 90 hab/km² e a cidade Recife é a capital do estado. Também faz parte do território pernambucano, o arquipélago de Fernando de Noronha, a 500 km da costa. (Governo de Pernambuco; IBGE-2015)

Recife possui área aproximada de 218 km², população estimada de 1.600.000 habitantes e uma densidade demográfica de aproximadamente 7.100 hab/km². Ocupa posição central no litoral do nordeste brasileiro, e fica a aproximadamente 800 km das metrópoles Salvador e Fortaleza. Possui clima tropical-úmido e os ambientes naturais compostos por praias, rios, mangues, matas e mananciais hídricos. A cidade de Recife está inserida no centro da RMR (Governo de Pernambuco; Prefeitura do Recife; IBGE-2015). A RMR é o maior aglomerado urbano do Norte-Nordeste, abriga 14 municípios, com uma população de aproximadamente 3,9 milhões de habitantes, além de ser uma das 10 primeiras regiões metropolitanas mais densamente habitada do país (IBGE-2015).

O rio Capibaribe atravessa parte das regiões de desenvolvimento do agreste central, agreste setentrional, mata sul, mata norte e RMR. É caracterizado por ser um ambiente complexo no qual se evidenciam contrastes climáticos, de relevos, de solos, de coberturas vegetais e socioeconômicos (PROJETEC–BRLi, 2010). Atualmente, as condições ambientais do rio Capibaribe são preocupantes. As principais fontes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas estão relacionadas ao lixo urbano e industrial. Esse rio encontra-se hoje poluído por resíduos sólidos e líquidos, orgânicos e inorgânicos, industriais e agrícolas, além de apresentar altas taxas de assoreamento (Zanardi-Lamardo *et al.*, 2016).

As atividades agropecuárias são responsáveis pelo aumento da contaminação por agrotóxicos, e dos processos de erosão e assoreamento devido ao desmatamento das margens. Outras atividades impactantes são encontradas ao longo da BHRC, são elas: produtos alimentares, minerais não-metálicos, têxtil, metalúrgicas, químicas, farmacêuticas e veterinárias, indústria sucroalcooleira, couros, matéria plástica, perfumes, sabões, velas, bebidas, mecânica, material elétrico e de comunicação, material de transporte e madeira (PROJETEC–BRLi, 2010; Zanardi-Lamardo *et al.*, 2016).

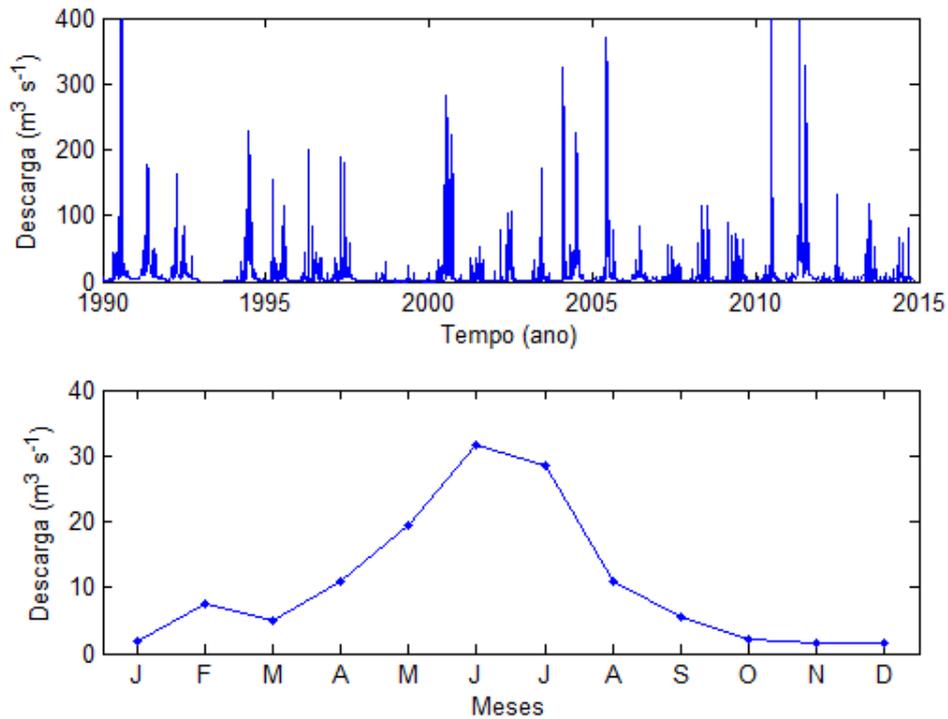
A Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (BHRC) está localizada na porção nordeste do estado de Pernambuco. Esse rio tem em seu entorno uma população estimada em 430 mil habitantes, tem extensão de aproximadamente 240 km, possui cerca de 74 afluentes e passa por 42 municípios. De

acordo com a SRHE (2006), a BHRC abrange uma área aproximada de 7.500 km², que corresponde a 7,59% do território de Pernambuco. No entanto, apenas o trecho de São Lourenço da Mata até a desembocadura é perene, totalizando 65 km de extensão (PROJETEC–BRLi, 2010; Silva, 2003). A rede hídrica do Capibaribe tem como principais constituintes, pela margem direita, o riacho Aldeia Velha, riacho Tabocas, riacho Carapotós, rio Cachoeira, riacho das Éguas, riacho Cassatuba, riacho Grota do Fernando, rio Cotunguba, riacho Goitá, rio Tapacurá e muitos outros de menor porte. Já pela margem esquerda, o riacho Jundiá, riacho do Pará, riacho Tapera, riacho do Arroz, riacho da Topada, riacho Caiaí, rio Camaragibe ou Besouro, além de um grande número de rios e riachos de pequeno porte (PROJETEC – BRLi, 2010).

No inverno, dependendo do regime de chuvas, o rio Capibaribe pode apresentar alta vazão, por vezes provoca enchentes e estragos nas áreas ribeirinhas dos municípios do interior. No final do seu curso o Capibaribe bifurca-se em dois braços, onde o primeiro termina na área adjacente ao Porto do Recife e o segundo corre a partir da Ilha do Retiro e desemboca junto com os rios Tejipió, Jordão e Pina (EIA/RIMA - Novo Recife, 2011).

A vazão do rio Capibaribe é monitorada pela Agência Nacional de Águas (ANA) desde 1970. A estação fixa mais próxima do estuário do rio Capibaribe é a de São Lourenço da Mata, veremos com mais detalhes na **Figura 3.3**. É observado que há um pico de vazão por ano, chegando a um máximo de aproximadamente 200 m³/s em 2005 e 2011 em meses entre maio e novembro. (**Figura 2.1**) A variação sazonal de vazão ao longo desses anos mostra que nos meses de Junho e Julho a vazão é mais intensa, e entre Outubro e Janeiro a vazão é menos intensa.

Figura 2.1 – Superior: Série histórica de vazão diária do rio Capibaribe na estação de São Lourenço da Mata (fonte: ANA. Inferior: Médias mensais da vazão do rio Capibaribe na estação de São Lourenço da Mata.



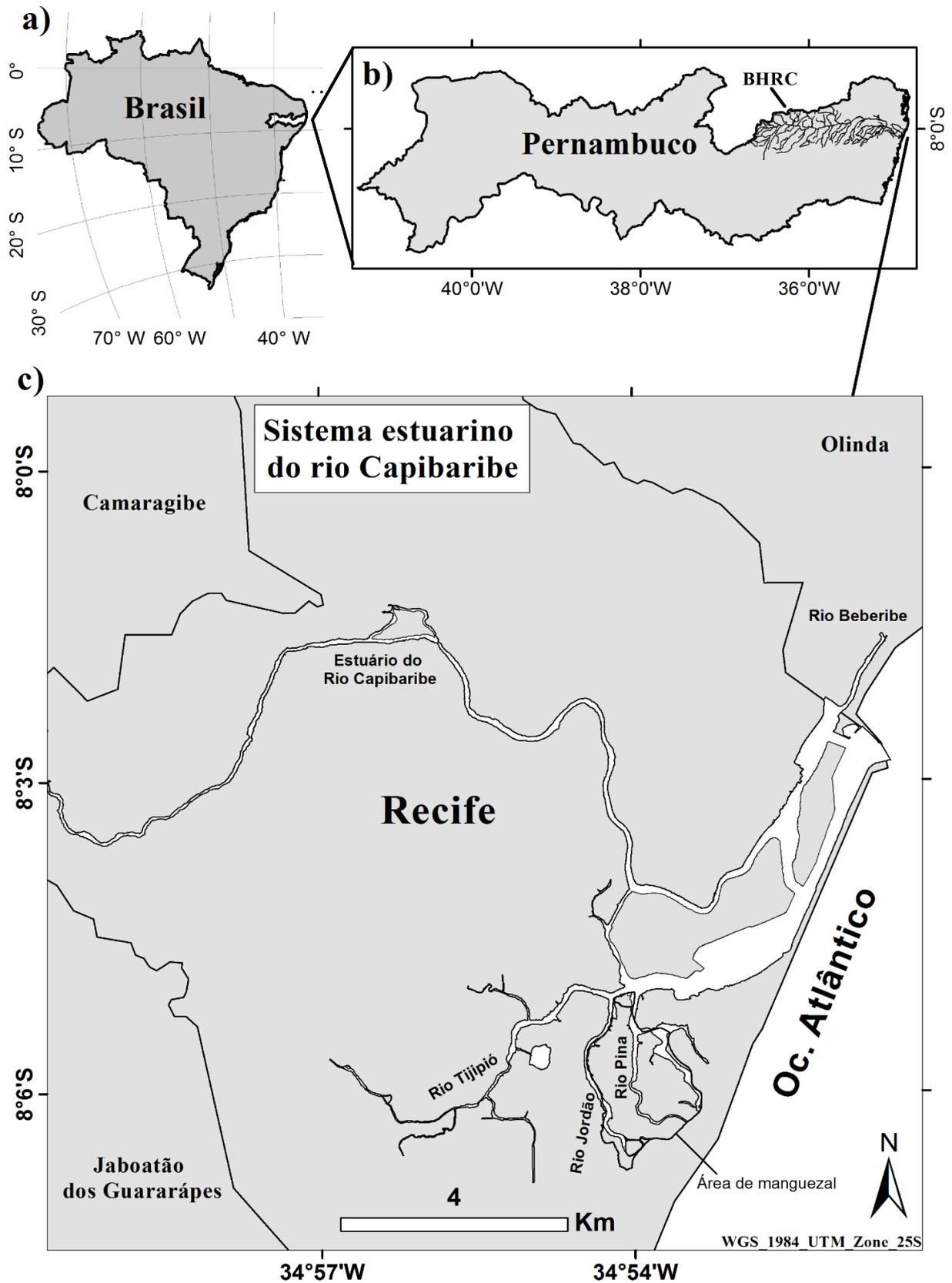
Fonte: o autor.

O estuário do rio Capibaribe tem uma extensão de aproximadamente 25 km, largura média de aproximadamente 100 m e área total de aproximadamente 10 km². O limite do estuário a montante é marcado por uma elevação brusca do relevo com formações rochosas no leito do rio. A batimetria é caracterizada por profundidades máximas próxima a 15 m na região do Porto do Recife, desembocadura, e entre 3 e 5 m ao longo do estuário. Há presença de manguezal nas margens do estuário e na região da Bacia do Pina, que é uma área de aproximadamente 2 km² inserida totalmente na área urbana e palco de diversos conflitos socioambientais. Ainda há atividades extrativistas no estuário (Schettini, 2016 “a”).

O estuário passa desde regiões pobres, onde predominam as palafitas e moradias precárias sem nenhuma estrutura de saneamento básico, e regiões de moradia das classes média e alta, servindo como fonte de descarte de esgotos a céu aberto. Durante o período de baixa descarga, as águas residuais da RMR, que estão a jusante da estação fluviométrica, podem chegar até mais de três vezes do que a descarga fluvial (Schettini, 2016 “a”; Zanardi-Lamardo *et al.*, 2016).

A maré na região da plataforma adjacente ao estuário do rio Capibaribe é caracterizada por regime semi-diurno com variações entre 0,7 e 2,5 m durante marés de quadratura e sizígia, respectivamente (Schettini *et al.* 2016).

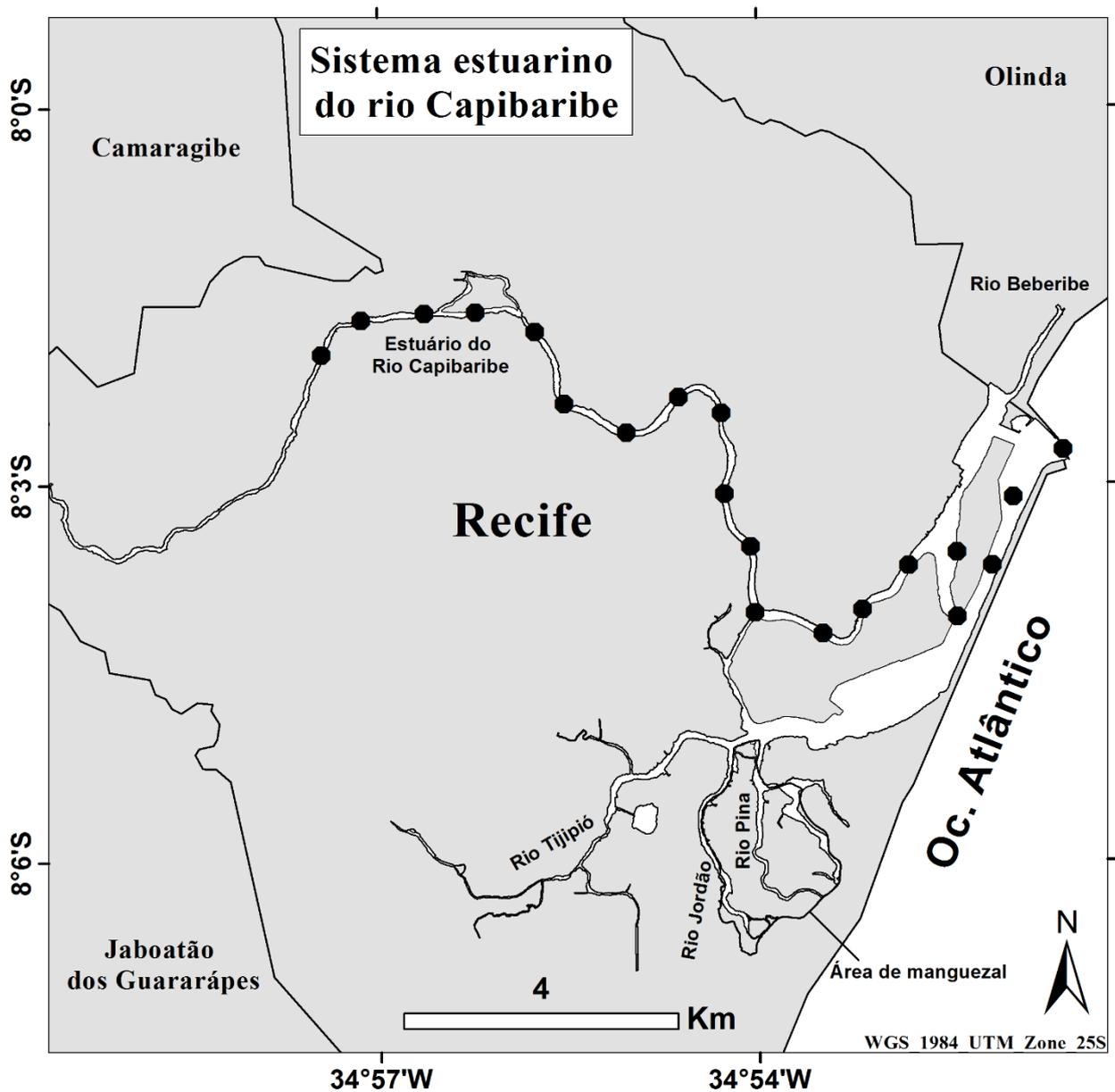
Figura 2.2 - a) Localização do estado de Pernambuco no Brasil; **b)** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe (BHRC) no estado de Pernambuco; **c)** Localização do sistema estuarino do rio Capibaribe.



3 MATERIAL E MÉTODOS

As coletas de dados foram realizadas desde a desembocadura até 19 km sentido montante. As estações de coletas foram distribuídas com o espaçamento de 1 km entre elas, totalizando 20 estações de coleta em cada campanha (**Figura 3.1**).

Figura 3.1 - Localização das estações de coletas (pontos pretos).

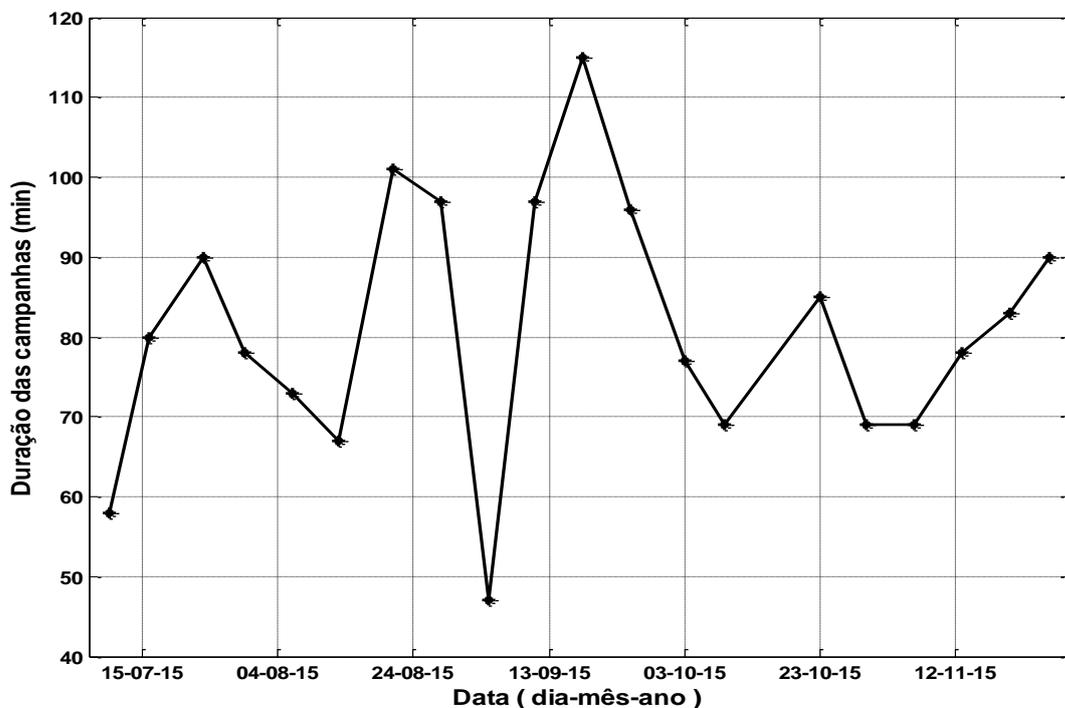


Fonte: o autor.

As campanhas ocorreram entre julho e novembro de 2015. Foi realizada 1 campanha por semana, totalizando 20 campanhas, todas durante a preamar para reduzir o erro amostral devido as variações de maré e ter uma melhor análise da variação sazonal. Cada campanha começou na desembocadura do rio sentido montante para manter um padrão de coleta. Somente a campanha do dia 04 de setembro de 2015 iniciou a partir do 4º ponto de coleta sentido montante, e está representada com cor diferenciada nos gráficos.

As campanhas tiveram duração entre 47 e 115 minutos (Figura 3.2) e o tempo decorrido do início de cada campanha até o momento de topo da preamar variou entre 1 e 97 minutos, das quais onze campanhas coincidiram o momento de topo da preamar com o início da campanha, e uma coincidiu com o final. Outras 5 campanhas ocorreram depois do momento de topo da preamar e outras 3 ocorreram antes. De modo geral, as campanhas duraram em média 80 min e iniciaram em um intervalo de aproximadamente 1h para mais ou menos do topo da preamar, garantindo a visão sinótica da distribuição dos dados coletados. Estes levantamentos foram realizados com uma embarcação rápida. Para facilitar as campanhas, a embarcação foi guardada no Cabanga Yate Club entre as campanhas.

Figura 3.2 - Duração das campanhas.



Fonte: o autor.

Em cada estação foi registrado um perfil vertical de salinidade, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido e clorofila com uma sonda tipo CTD (Conductivity, Temperature and Depth) da marca JFE Advantech modelo Rinko Profiler. O CTD foi configurado do modo de registro em função da profundidade em intervalos de 0,1 m. A taxa de aquisição de dados do CTD é de 10 Hz, e foi utilizada uma velocidade de descida de 0,5 m/s para garantir uma melhor qualidade dos dados. Esta metodologia de coleta de dados forneceu valores espaçados regularmente na vertical e horizontal com resolução de 0,1 m e 1000 m, respectivamente. A resolução para os parâmetros são: profundidade, 0,1 m; temperatura, 0,001 °C; salinidade, 0,001 PSS 78; turbidez (retroespalhamento ótico), 0,03 FTU; clorofila (fluorescência), 0,01 ppb; saturação de OD (optode), 0,04 %. Previamente a cada campanha foi ajustado o relógio, carregada a bateria e apagada a memória. Após as campanhas os dados foram descarregados na forma bruta (arquivos “.raw”), convertidos para formato ascii (arquivo “.csv”) e feita a manutenção do equipamento.

Os parâmetros coletados foram posteriormente trabalhados no software Matlab® (MathWorks Inc.TM). Num primeiro momento foi gerada uma matriz completa com as 20 campanhas, totalizando 400 perfis verticais e 21.898 medições. Foram removidas as coletas dos primeiros 0,3 m de profundidade para evitar possíveis erros que possam ter ocorrido no momento que o equipamento passa do ar para a água. Foram determinados 3 níveis de análises: coluna d’água, superfície e fundo, que representam respectivamente, todas as profundidades, os primeiros 1 m de profundidade e 1 m acima da profundidade na qual o CTD encostou na calha do rio. Posteriormente, foi realizada estatística básica para determinação de médias, máximas e mínimas de todos os parâmetros. Foram processadas matrizes das estatísticas para as estações e posteriormente para as campanhas.

A partir dos dados processados foram gerados os seguintes gráficos:

- Distribuição longitudinal (distância da desembocadura x profundidade x parâmetro);
- Média por estação: média, mínimo e máximo por estação de coleta (tempo x distância da desembocadura x parâmetro);
- Médias totais: média das médias, dos mínimos e dos máximos de cada campanha, gerando um único valor por campanha (tempo x parâmetro);
- Diferença entre a média do fundo e superfície por estação de coleta;
- Diferença entre a média do fundo e superfície por campanha;

Além dos gráficos descritos, foram processados vídeos do gradiente longitudinal de cada parâmetro para cada nível de investigação. Cada imagem do vídeo corresponde a uma campanha e os quadros (*frames*) variam no tempo.

Dados auxiliares de maré, vazão e precipitação foram extraídos dos bancos de dados da Marinha do Brasil, Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), respectivamente. Todos os dados foram sincronizados para o mesmo intervalo de tempo dos dados coletados em campo com o CTD. Desta forma, foi possível investigar as variações hidrodinâmicas dos parâmetros entre diferentes picos de marés, e também a transição do período chuvoso para o seco, que influencia diretamente a vazão do rio Capibaribe.

A estação meregráfica de referência foi a do Porto do Recife, número 30645, situada aproximadamente na latitude -8.056800° e longitude -34.866500° , nas proximidades da desembocadura do rio Capibaribe (**Figura 3.3**).

Para os dados hidrológicos foi utilizada a estação São Lourenço da Mata II, código 00835048, situada aproximadamente na latitude -7.998600° e longitude -35.031900° , a 70 m acima do nível do mar (**Figura 3.3**). Esta é a estação hidrológica mais próxima do estuário que tem autonomia para coletar dados de cota do rio Capibaribe, que após processamento através de uma curva-chave de vazão, gera os dados de vazão neste local (**Tabela 3.1**). O Serviço Geológico do Brasil, que tem o nome fantasia Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), e a ANA são os responsáveis pelo processamento da vazão dessa estação hidrológica. Vale ressaltar que esta estação hidrológica está a montante das águas residuais e que os dados de medição da cota disponíveis no site foram conferidos com os coletados em campo por uma pessoa responsável em anotar todos os dias de 7 e 17 horas a medição da água na régua de medição que está fixada na margem do rio.

Tabela 3.1 - Data das campanhas, maré de preamar, vazão do rio Capibaribe e fase mais próxima da lua.

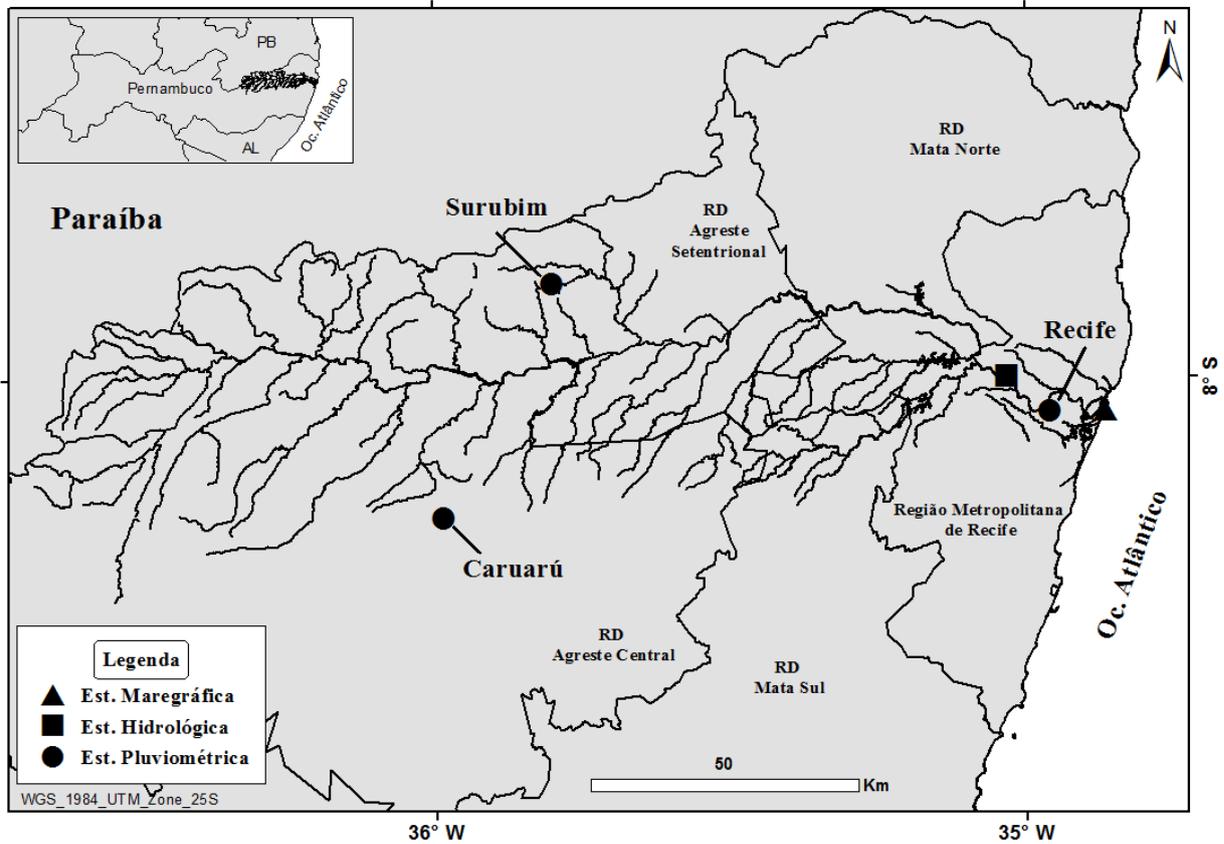
Data	Maré (m)	Vazão (m³/s)	Lua
10/07/2015	1,83	2,92	Minguante
16/07/2015	2,19	7,21	Nova
24/07/2015	1,80	9,69	Crescente
30/07/2015	2,18	12,18	Cheia
06/08/2015	1,99	2,57	Minguante
13/08/2015	2,14	3,11	Nova
21/08/2015	1,67	1,53	Crescente
28/08/2015	2,25	0,97	Cheia
04/09/2015	2,02	1,66	Minguante
11/09/2015	2,10	1,40	Nova
18/09/2015	2,10	1,66	Crescente
25/09/2015	2,05	1,07	Cheia
03/10/2015	2,00	1,18	Minguante
09/10/2015	2,00	1,93	Nova
23/10/2015	1,99	1,40	Crescente
30/10/2015	2,39	1,53	Cheia
06/11/2015	1,80	1,46	Minguante
13/11/2015	2,29	1,46	Nova
20/11/2015	1,90	2,16	Crescente
26/11/2015	2,49	0,97	Cheia

Fonte: o autor.

Foram coletados dados de precipitação de 3 estações pluviométricas situadas dentro da BHRC (**Figura 3.3**):

- Recife, código OMM: 81958, situada aproximadamente na latitude -8.059280° e longitude -34.959239° , esta a 11 m acima do nível do mar. Representa a precipitação da região metropolitana de Recife;
- Surubim, código OMM: 81917, situada aproximadamente na latitude -7.839628° e longitude -35.801056° , a 421 m acima do nível do mar. Representa a região central – norte da bacia hidrográfica do rio Capibaribe;
- Caruaru, código OMM: 81956, situada aproximadamente na latitude -8.236069° e longitude -35.985550° , está 570 m acima do nível do mar. Representa a região central – sul da bacia hidrográfica do rio Capibaribe;

Figura 3.3 - Localização das estações pluviométricas (Recife, Caruarú e Surubim), hidrológica (São Lourenço da Mata) e maregráfica (Recife); Localização das regiões de desenvolvimento de Pernambuco (RD) que a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe está inserida.



Fonte: o autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia empregada neste estudo visou avaliar a variação sazonal dos diversos parâmetros ao longo do estuário, onde interagem os processos regidos pelo balanço hidrológico na bacia hidrográfica, que resultarão na vazão, e os efeitos da maré. A maré foi isolada do problema ao ser adotado o procedimento de realizar os levantamentos sempre nos momentos próximos da preamar. Desta forma, os resultados são apresentados tendo-se em vista que a principal variante no problema e a variação da descarga fluvial, ou a evolução do sistema a partir do período chuvoso quando ocorrem as maiores vazões.

4.1 Maré

A **Tabela 3.1** apresenta os valores de nível de água previsto pela Marinha do Brasil durante a realização dos levantamentos. A menor preamar observada durante as campanhas foi no dia 21 de agosto com altura de aproximadamente 1,7 m. A maior preamar atingiu aproximadamente 2,5 m de altura, no dia 26 de novembro. A variação dos momentos de maré que foram realizadas as campanhas são apresentados na **Figura 4.1.1A**. Na sua maioria as campanhas não coincidiram com períodos de extremos de sizígia ou quadratura, e isto se deve à logística adotada, com a realização das campanhas sempre no mesmo dia da semana (6.a feira).

4.2 Precipitação e Vazão

Os dados de vazão do rio Capibaribe apresentaram comportamento sazonal de acordo com o regime de precipitação na região da BHRC. Foi observado período de maior vazão entre 10 de julho e 19 de agosto, variando entre aproximadamente 2 e 30 m³/s, e período de menor vazão entre 19 de agosto e a última campanha, variando entre 0,8 e 2 m³/s. Os dados de precipitação nas 3 estações pluviométricas (Recife, Caruaru e Surubim) apresentaram, de forma simultânea, uma maior frequência de picos até aproximadamente 19 de agosto de 2015, após esta data houve picos de precipitação com frequências menores.

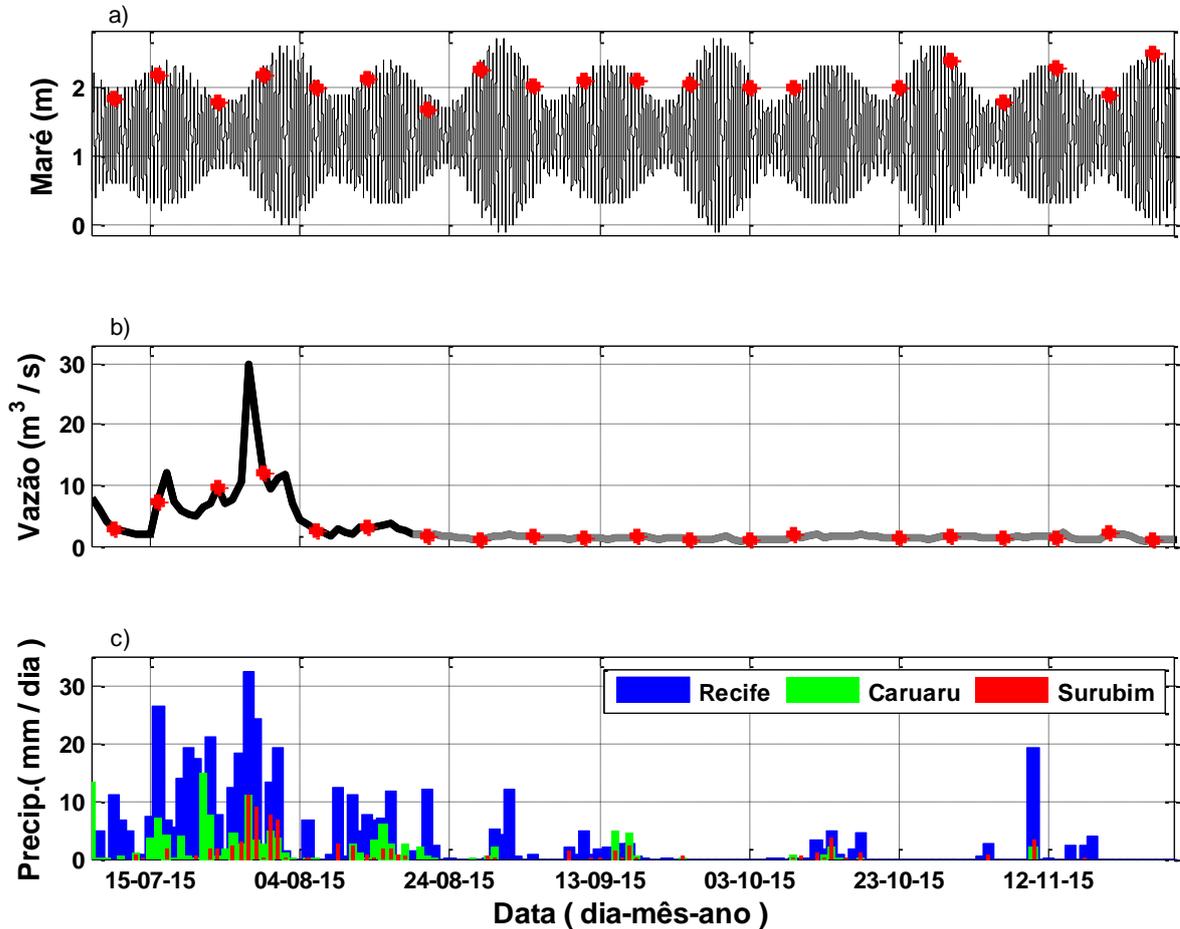
Durante o período de precipitações mais frequentes e alta vazão, foi observado que as estações pluviométricas Recife, Caruaru e Surubim, tiveram os valores máximos diários de aproximadamente 32, 15 e 11 mm/dia, respectivamente. Em Recife houve precipitação mais intensa porque está mais próximo do oceano. No período de precipitações menos frequentes e baixa vazão esses valores máximos diários passaram para aproximadamente 19, 5 e 3,5 mm/dia, respectivamente.

De modo geral, foi observado que no período de alta vazão, que corresponde a 44 dias do experimento completo, para as estações pluviométricas de Recife, Caruaru e Surubim os valores acumulados de precipitação foram aproximadamente 362, 114 e 57 mm, respectivamente. Já no período de baixa vazão, que corresponde a 103 dias, ou seja, mais que o dobro de dias do que o período de alta vazão, esses valores decresceram para 108, 21 e 19 mm, respectivamente.

Estabelecendo uma média diária, pode-se afirmar que, no período de alta vazão, as médias diárias de precipitação para as estações de Recife, Caruaru e Surubim foram respectivamente 8,2 , 2,6 e 1,3 mm/dia, e no período de baixa vazão esses valores decresceram para 1, 0,2 e 0,18 mm/dia, respectivamente.

O período de maior vazão está diretamente relacionado ao regime pluviométrico na BHRC (**Figura 4.2.1**). No dia 28 de julho ocorreu o máximo de vazão observado, aproximadamente 30 m³/s, esse pico esteve associado com o maior valor de precipitação nas estações pluviométricas de Recife e Surubim e o segundo maior em Caruaru. O menor valor de vazão foi observado no dia 2 de outubro, aproximadamente 0,8 m³/s, este momento está associado a nenhuma precipitação durante 7 dias anteriores, 25 de setembro a 02 de outubro de 2015.

Figura 4.2.1 - a) Maré prevista pela tábua de maré na desembocadura do rio Capibaribe pela Marinha do Brasil. *Vermelho*: momento das campanhas; **b)** Vazão do rio Capibaribe. Estação hidrológica de São Lourenço da Mata II. *Preto*: período de alta vazão (44 dias). *Cinza*: período de baixa vazão (103 dias). *Vermelho*: momento das campanhas. **c)** Precipitação na BHRC. *Azul*: estação pluviométrica Recife, representa a precipitação da RMR. *Verde*: estação pluviométrica Caruaru, representa a região central – sul. *Vermelho*: estação pluviométrica Surubim, representa a região central – norte da BHRC.

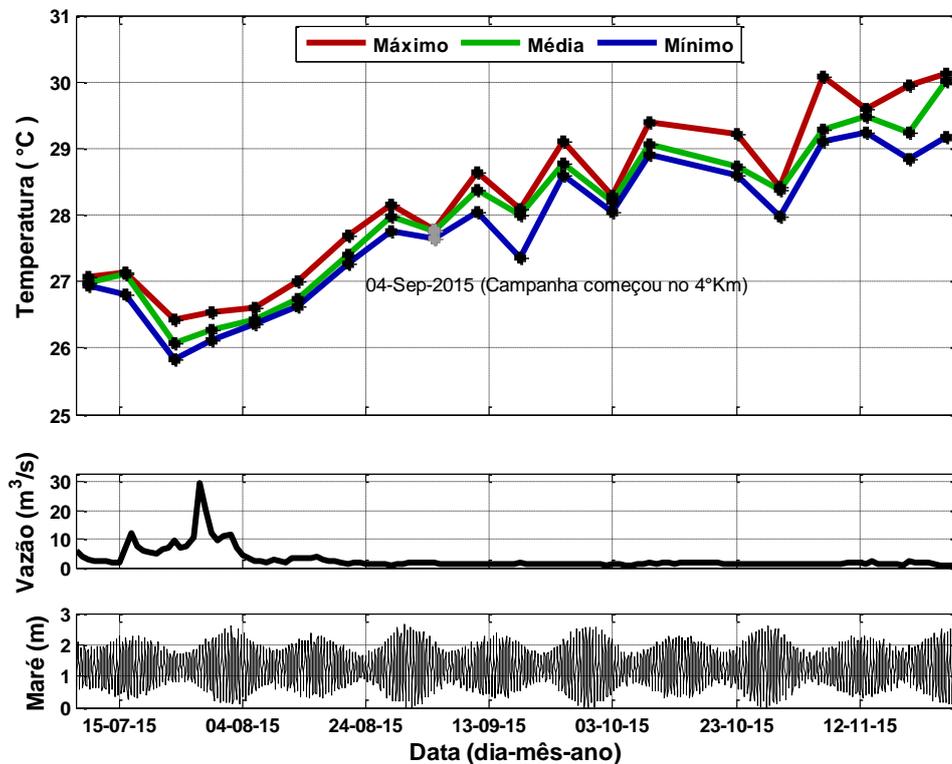


Fonte: o autor.

4.3 Temperatura da água

A temperatura média da água variou de aproximadamente 25°C, no dia 24 de julho, a 30°C no dia 26 de novembro. Isso é explicado pela transição do período de menor para maior incidência solar, bem como pela variação na cobertura de nuvens, maior durante o inverno. Foi observado que a temperatura média mínima ocorreu no período de maior vazão e maré de quadratura e a máxima no período de menor vazão e maré de sizígia (**Figura 4.3.1**).

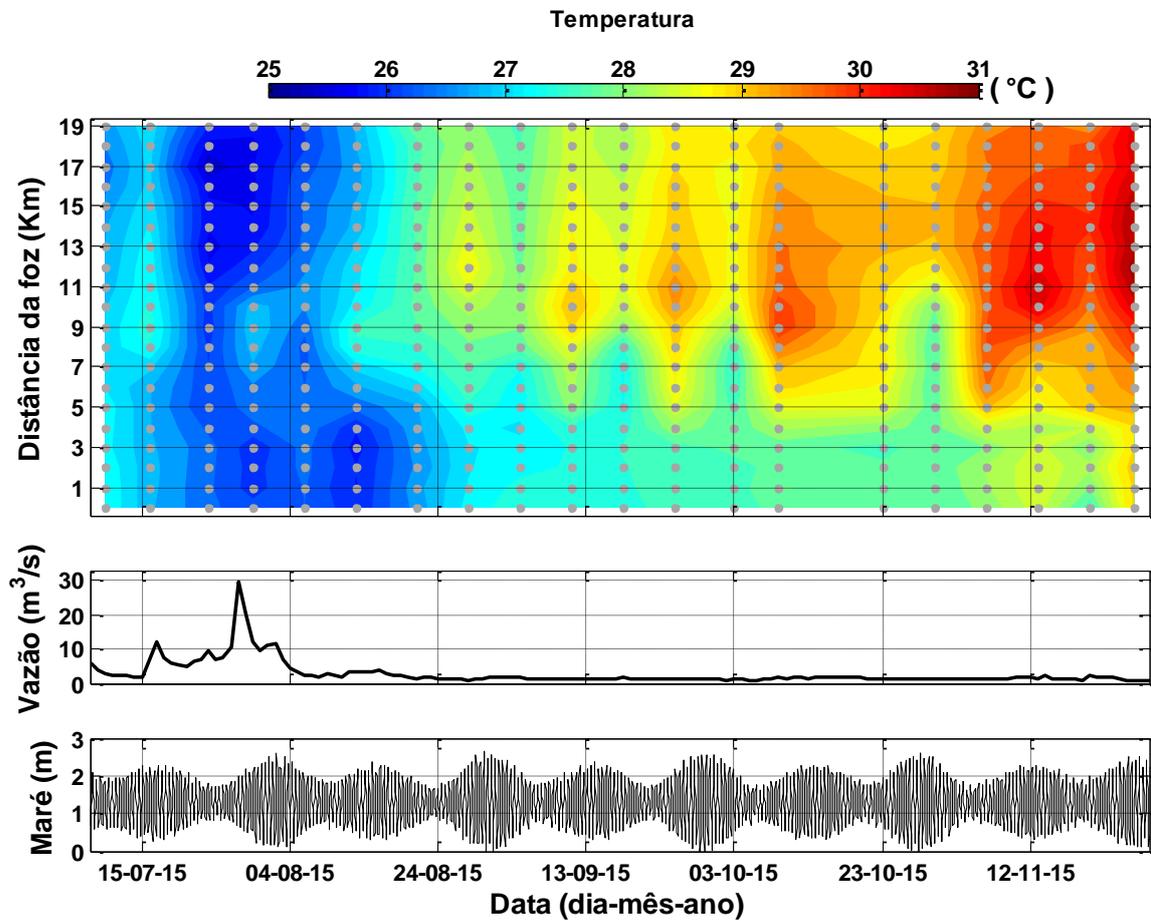
Figura 4.3.1 - Gráfico de média total de temperatura, máximos e mínimos (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.



Fonte: o autor.

A **Figura 4.3.2** apresenta o campo de distribuição temporal/longitudinal da temperatura. Entre 10 de julho e 13 de agosto, foi observado que as águas mais próximas da desembocadura e as mais a montante apresentaram temperaturas muito próximas entre si. Em alguns momentos as águas a montante estavam com temperaturas mais baixas e em outros momentos mais altas do que a da desembocadura, porém com diferença de aproximadamente 1°C. A partir do dia 13 de agosto até a última campanha, a temperatura das águas mais a montante apresentaram valores mais altos do que próximo a desembocadura, com diferença de até aproximadamente 3°C. Isto pode ser explicado pelo menor volume de água a partir de 3 km, e o maior tempo de residência da água, produzindo um gradiente positivo para montante durante o período de baixa vazão.

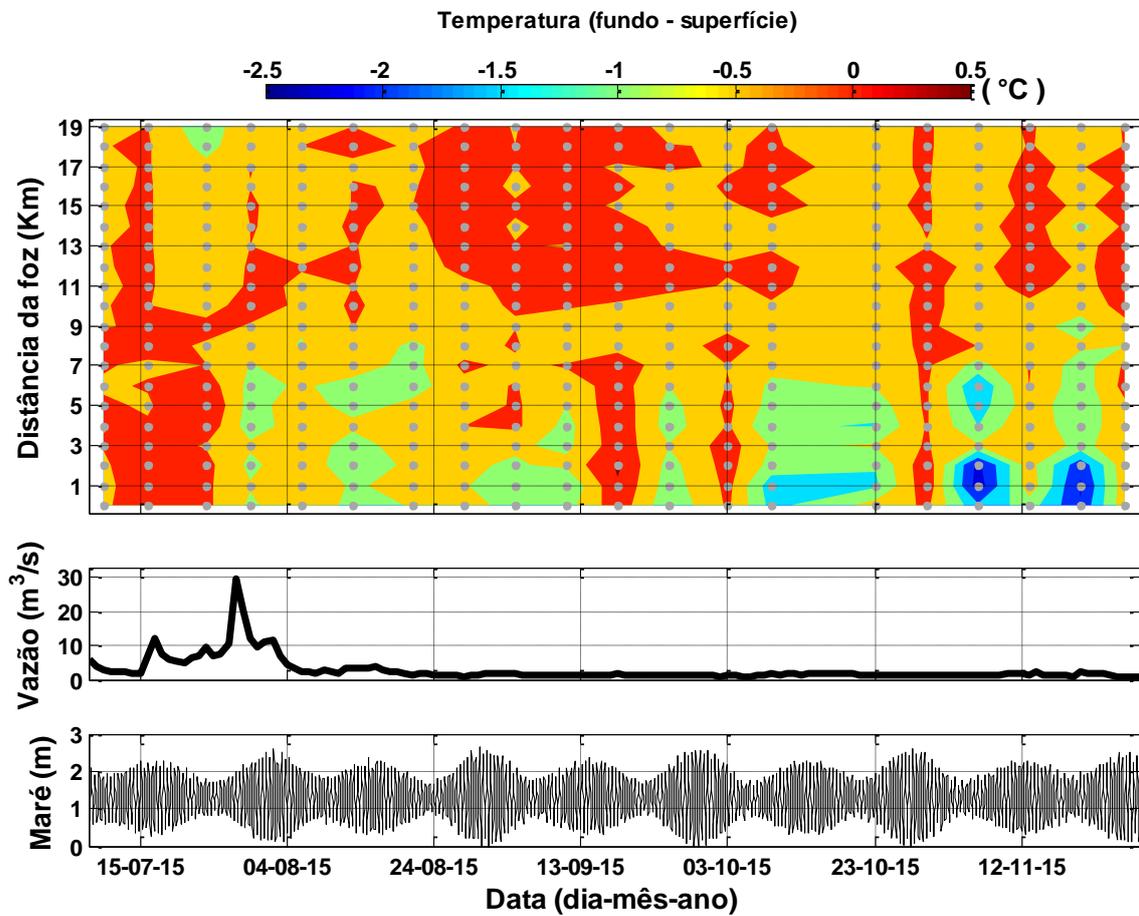
Figura 4.3.2 - Gráfico de média por estação de temperatura das estações ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.



Fonte: o autor.

De modo geral, foi observado que as temperaturas médias das águas superficiais são maiores que as do fundo, porém com diferenças muito pequenas, inferiores a 1°C. Também, que as águas superficiais possuem maiores variações de temperaturas do que as águas de fundo. Isso ocorre devido a troca de calor e aquecimento radiativo se dar na superfície. Os primeiros 0,5 m de profundidade sofrem maior influência da radiação solar, com temperaturas mais altas e variações entre máximos e mínimos que podem atingir 3°C (**Figura 4.3.3**).

Figura 4.3.3 – Gráfico da diferença entre a média de temperatura do fundo e da superfície por estação de coleta, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.

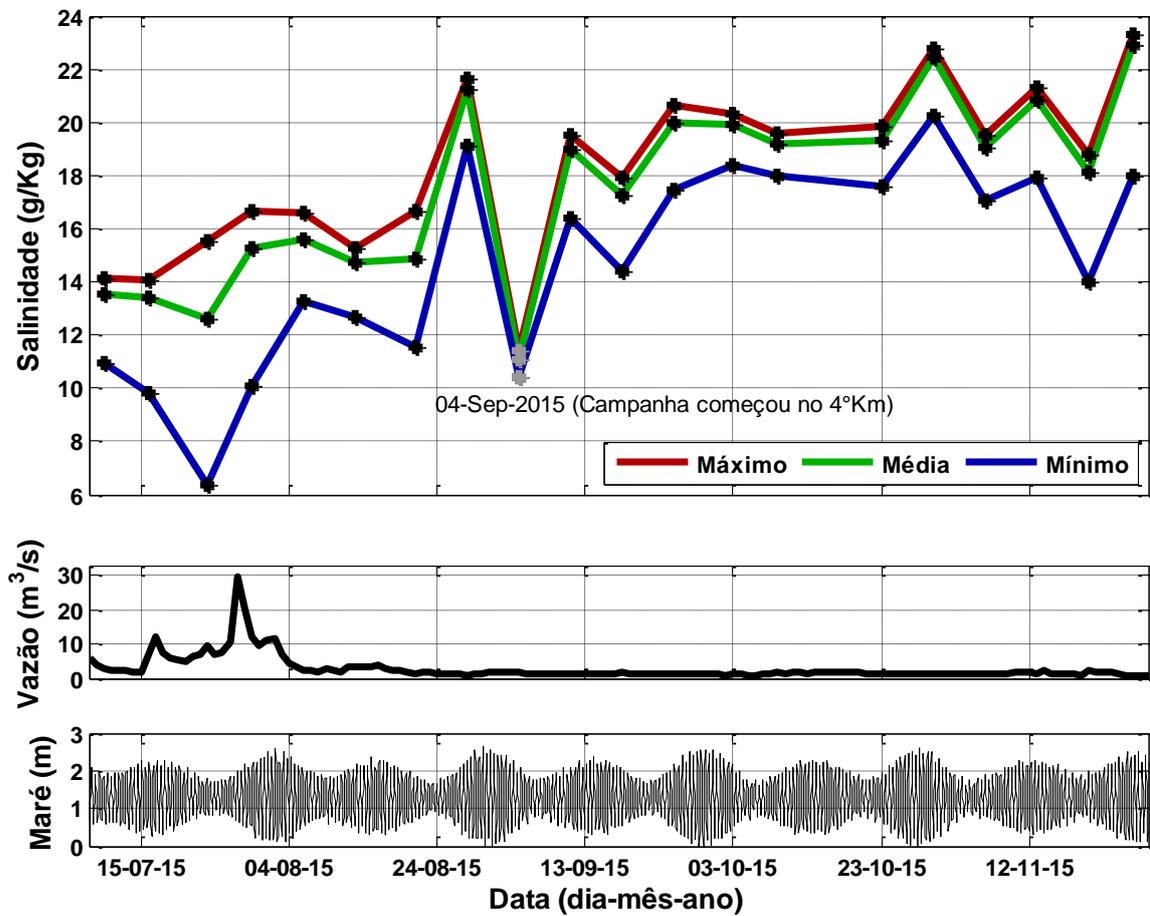


Fonte: o autor.

4.4 Salinidade

A salinidade média geral do estuário apresentou a tendência de aumentar de acordo com a transição do período chuvoso para o seco (**Figura 4.4.1**). A salinidade média apresentou o valor mínimo no dia 24 de julho e máximo no dia 26 de novembro. O valor mínimo está associado com vazão mais elevada, aproximadamente $10 \text{ m}^3/\text{s}$, e maré de quadratura aproximadamente 1,8 m. E o valor máximo está associado com menor vazão, aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{s}$, e maré de sizígia com aproximadamente 2,5 m.

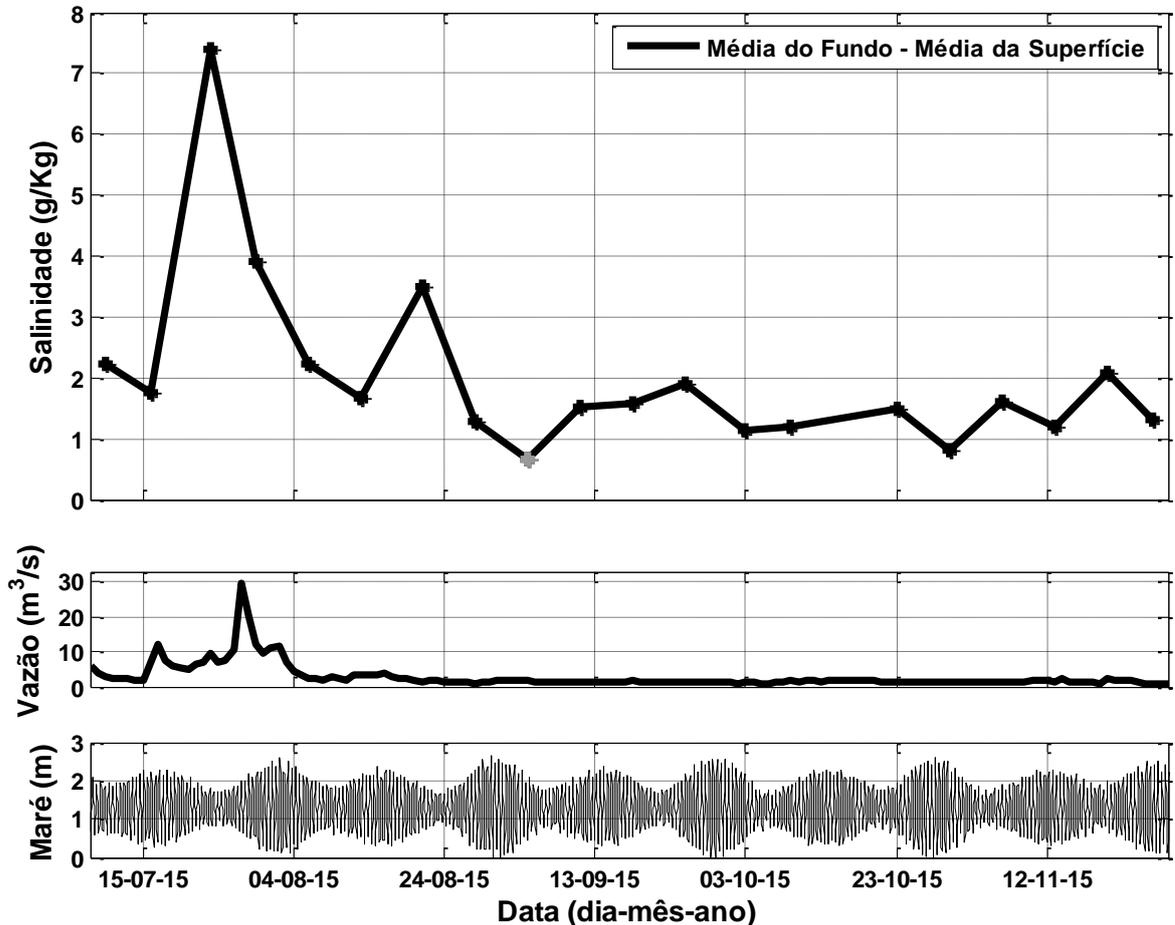
Figura 4.4.1 - Gráfico de média total de salinidade, máximos e mínimos (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.



Fonte: o autor.

A salinidade média próxima ao fundo é invariavelmente maior do que a salinidade em superfície (**Figura 4.4.2**), embora a variação vertical seja de poucas unidades na maior parte do tempo. No período chuvoso foi observado os maiores níveis de estratificação vertical, chegando a ocorrer uma variação de 7,5 g/kg de diferença. No período seco houve um padrão uniforme e variação de 1psu entre superfície e fundo. A maior estratificação durante o período chuvoso se deve ao maior aporte de água doce, que se converte em fluxo de empuxo, com a água doce flutuando sobre a água salgada. No período de baixa vazão, por outro lado, as marés desempenham o papel de misturar a coluna de água. Contudo, não ocorre a completa homogeneização da coluna de água, mesmo vários meses após a ocorrência dos picos de vazão.

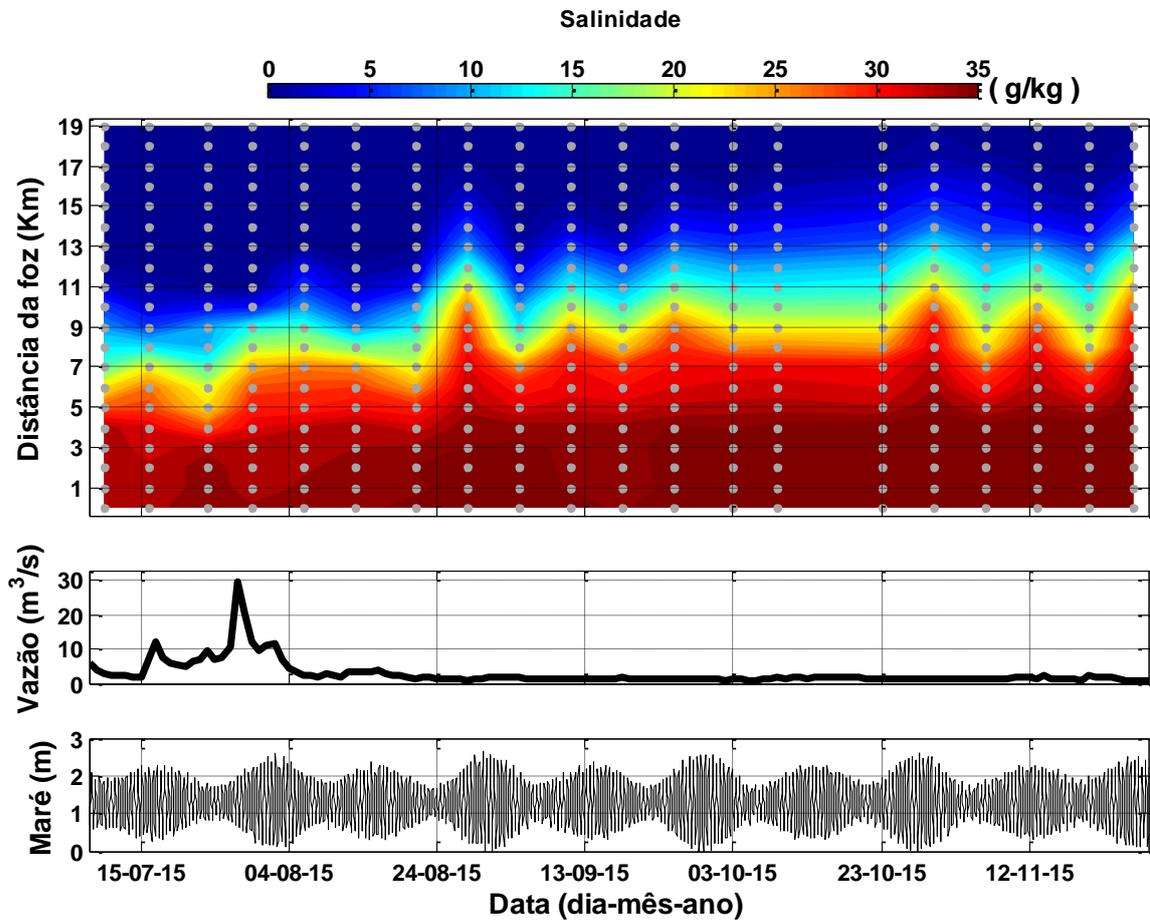
Figura 4.4.2 – Gráfico da diferença entre a média de salinidade do fundo e da superfície por campanhas, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. O ponto cinza representa a campanha que foi realizada a partir do 4º km de distância da desembocadura.



Fonte: o autor.

Foi considerado como referência para o limite da frente salina o valor de salinidade de 1 g/kg. No dia 24 de julho, a vazão esteve em aproximadamente 10 m³/s e a altura da maré em aproximadamente 1,8 m, neste dia a frente salina atingiu sua menor distância da desembocadura, aproximadamente 11 km. No dia 30 de outubro, a vazão e altura de maré observadas foram respectivamente 1,5 m³/s e 2,4 m e a frente salina atingiu a maior distância da desembocadura, aproximadamente 19 km.

Figura 4.4.3 - Gráfico de média vertical de salinidade por estação ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.



Fonte: o autor.

A partir dessas observações, podemos afirmar que entre 11 e 19 km de distância da desembocadura há uma zona de máxima temperatura que oscila de acordo com a variação hidrodinâmica da frente salina e que pode estar relacionada a atividades biológicas associadas as águas residuais lançadas no estuário, é necessária uma investigação direta e mais aprofundada. Essa região pode vir a atingir áreas mais próximas ou distantes da desembocadura em eventos atípicos que venham a alterar as forçantes maré, vazão e drenagem da própria região ao entorno do estuário.

4.5 Turbidez

A turbidez é uma variável que reflete a concentração de material em particulado em suspensão (MPS; Schettini et al., 2016), e pode estar presente em função do aporte fluvial ou da ressuspensão de sedimentos de fundo. Diferente das variações observadas para a temperatura e salinidade, a média total de turbidez no estuário do rio Capibaribe apresentou valores maiores no período de alta vazão e valores menores em períodos de baixa vazão (**Figura 4.5.1**). A maior turbidez no período chuvoso, quando a salinidade é menor, indica a origem fluvial do MPS neste período. As chuvas na bacia desempenha um papel erodindo o solo, que é carregado para os cursos de água. Isto reflete que há uma relação direta entre vazão e concentração de MPS. Os maiores valores de turbidez são encontrados próximo ao fundo (**Figura 4.5.2**). Neste nível o gradiente vertical de turbidez é maior, apresentando diferenças significativas entre máximos e mínimos. Na superfície foram encontrados valores menores e um gradiente vertical mais homogêneo de turbidez.

Figura 4.5.1 - Relação entre média total de turbidez com a vazão.

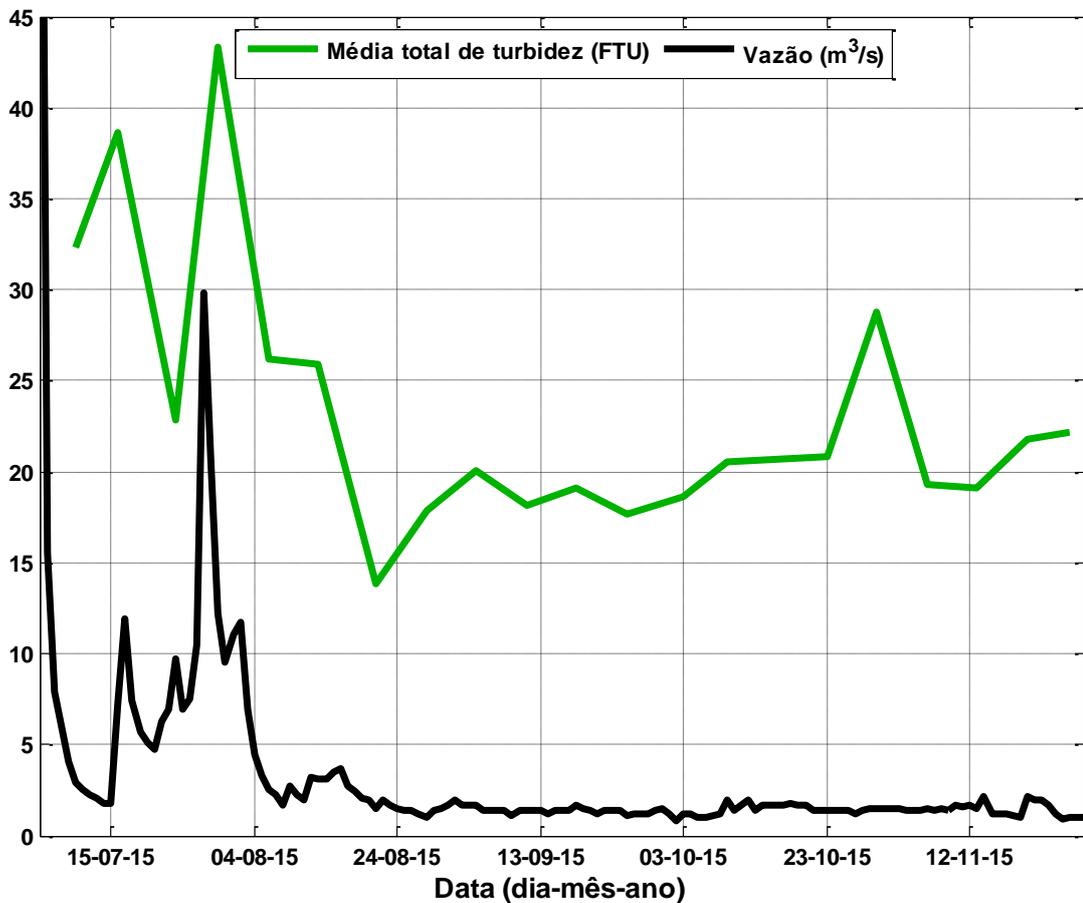
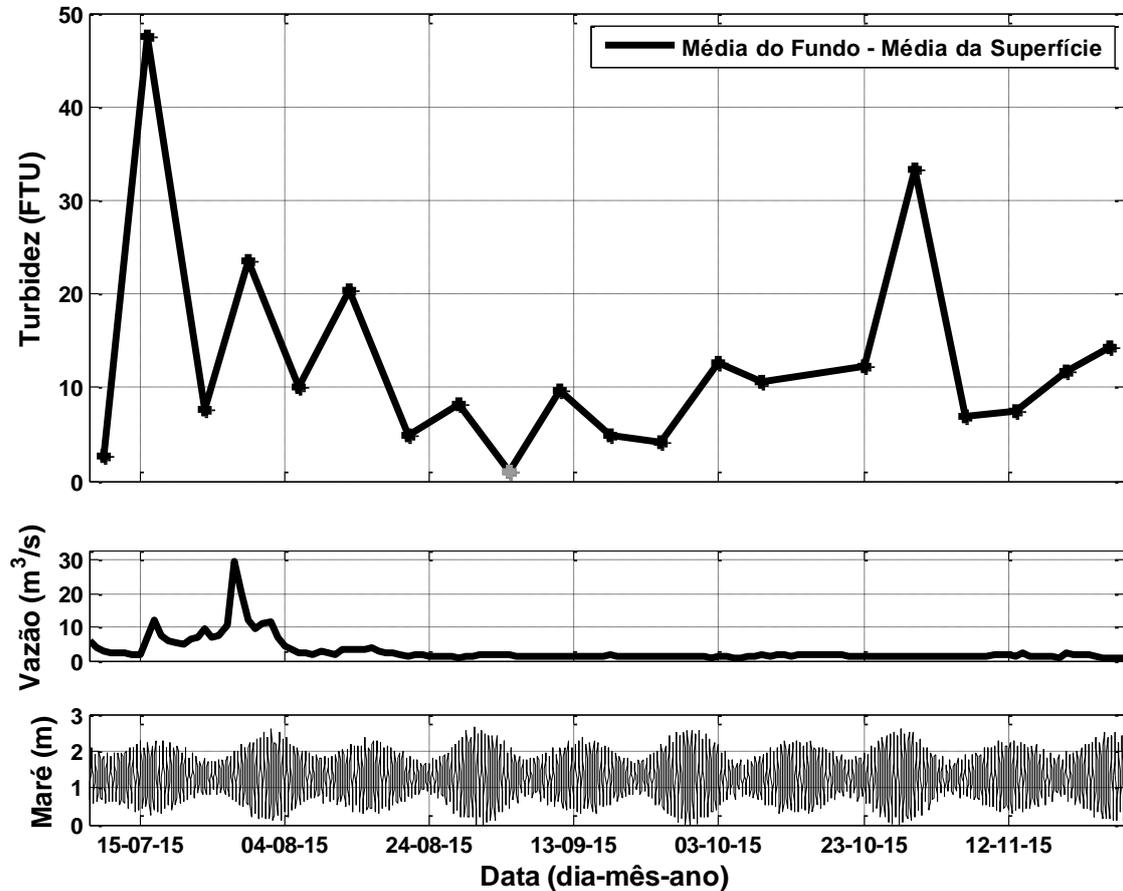


Figura 4.5.2 – Gráfico da diferença entre a média de turbidez do fundo e da superfície por campanhas, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. O ponto cinza representa a campanha que foi realizada a partir do 4º km de distância da desembocadura.

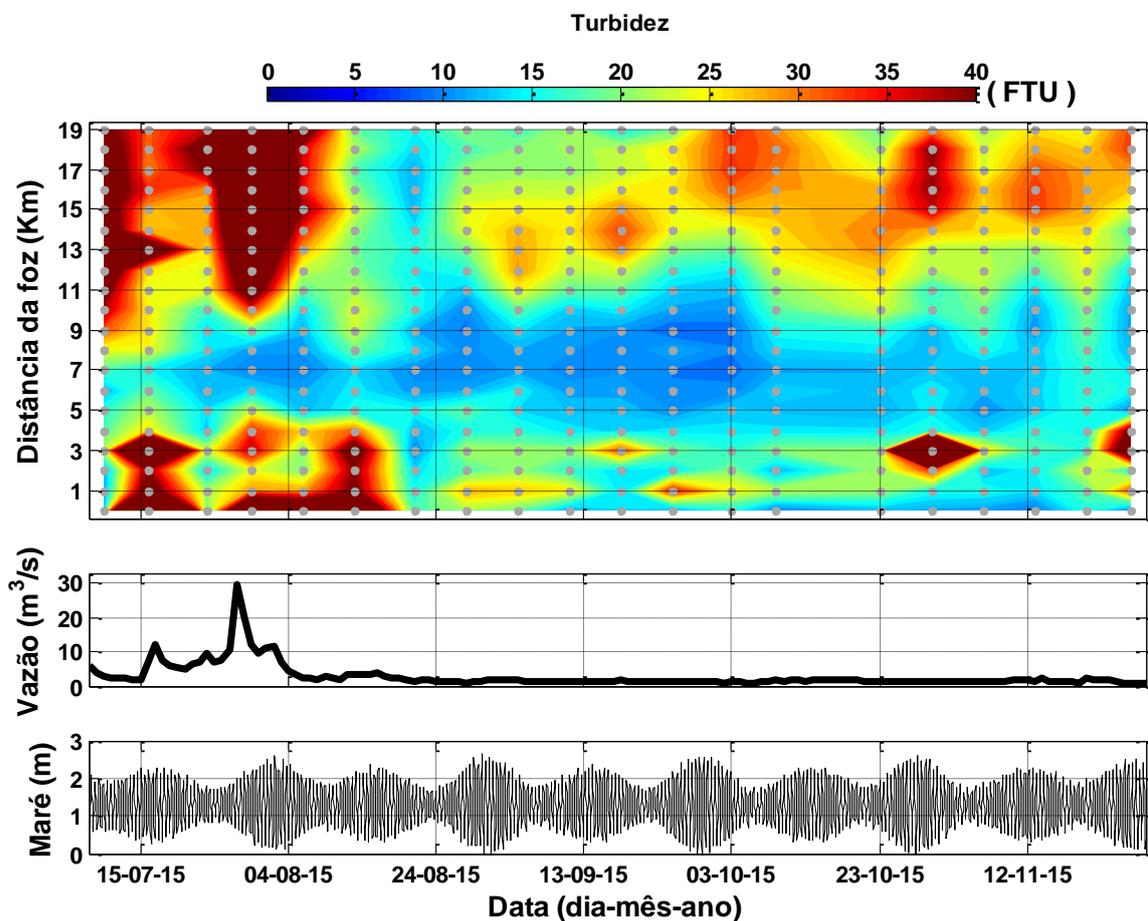


Fonte: o autor.

A **Figura 4.5.3** apresenta a distribuição temporal/longitudinal da turbidez. São notadas duas zonas de maior turbidez. A primeira entre 2 e 4 km de distância da desembocadura, e a segunda mais a montante, entre 9 e 19 km de distância da desembocadura. A primeira está associada a diminuição abrupta da profundidade, de aproximadamente 15 para 4 m nos primeiros 4 km de distância da desembocadura. Essa variação de profundidade existe devido a dragagem do canal do Porto do Recife para circulação de embarcações. Com a diminuição da profundidade e estreitamento da largura do rio devido a ocupação urbana nas margens, ocorre a diminuição da área transversal do rio, conseqüentemente, durante o momento de enchente a água é forçada a passar por um canal cada vez mais estreito e raso, gerando maior atrito com a calha e margens do rio e ressuspendendo materiais para a coluna de água.

A segunda constitui a Zona de Turbidez Máxima (ZTM), e é um fenômeno relatado em diversos estuários no mundo (Schoellhamer, 2001; Abril *et al.*, 2000; Feste *et al.*, 1978; Uncles *et al.*, 1993; Feng *et al.*, 2002). Essa ZMT está associada a região da frente salina e ocorre devido aos processos de mistura entre a água salina e doce devido a interação da vazão do rio, dinâmica da maré e circulação gravitacional (Dyer, 1988). Esta zona tem importância ecológica significativa para o estuário, pois com o acúmulo de matéria orgânica, sedimentos e poluentes na ZTM, diversos organismos como zooplâncton e bacterioplâncton se desenvolvem (Schettini *et al.*, 2016 “b”).

Figura 4.5.3 - Gráfico de média vertical de turbidez (FTU) por estação ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.



Fonte: o autor.

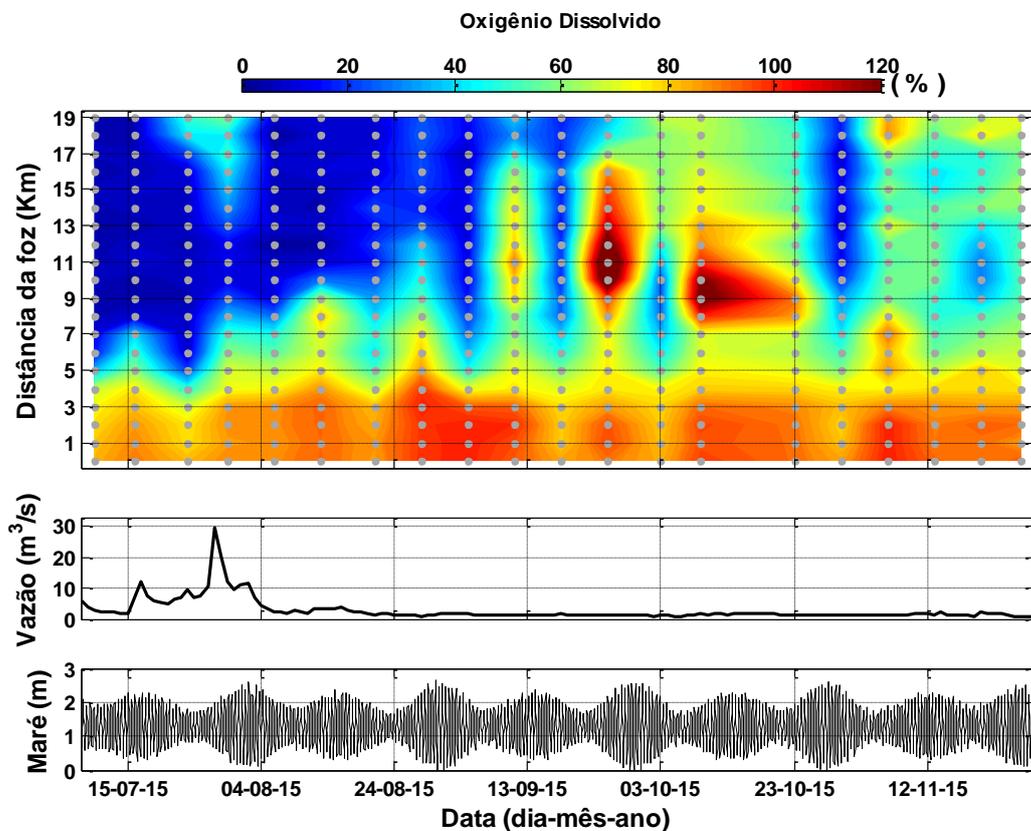
A campanha que mais foge ao padrão observado é a do dia 30 de outubro, que apesar dos valores de vazão serem baixos, 1,5 m³/s, e a altura da maré atingir valor próximo a outras campanhas de mesma vazão, 2,4 m, a média total de turbidez atingiu valor equivalente ao período de alta vazão.

Foi observado que nos 12 dias anteriores ao dia 30 de outubro não choveu em nenhuma das 3 estações pluviométricas, portando não há indícios para as águas vindas do rio apresentassem alto valor de turbidez. Ao observar o gráfico do perfil longitudinal de turbidez (**Anexo I**), fica claro que as duas ZMT apresentaram alta medida de turbidez e o restante do estuário esteve com baixa turbidez. Portanto, neste dia, a maré de preamar alta acompanhada de vazão baixa e nenhuma chuva nos 12 dias anteriores, foi capaz de ressuspender uma quantidade significativa de material para a coluna de água. Há a hipótese de que as águas residuais, que não foram medidas neste trabalho, sejam o fator principal dessa turbidez elevada, uma vez que a vazão foi baixa e a maré de preamar alta, fazendo com que as águas residuais estivessem retidas no estuário no momento de coleta.

4.6 Oxigênio dissolvido (OD)

Foi observado que a distribuição de OD na água do estuário tem similaridade com a distribuição de salinidade. Na região de maior e menor salinidade, foi observado maior e menor OD, respectivamente. Porém, há forte relação entre processos geoquímicos, atividades biológicas e poluição com a distribuição do OD no estuário.

Figura 4.6.1 Gráfico de média da saturação de oxigênio dissolvido das estações ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.



Fonte: o autor.

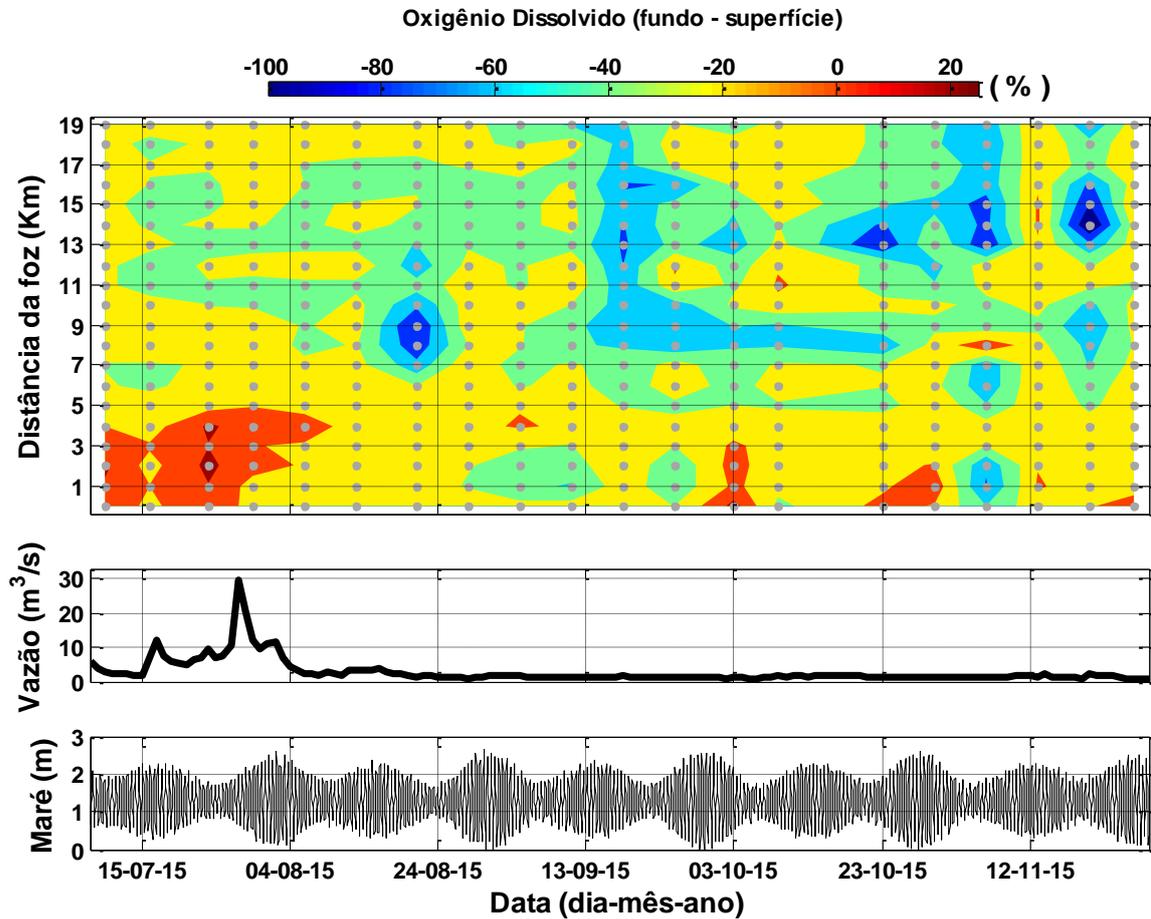
No período chuvoso, foi observado que até pouco antes da frente salina, aproximadamente 1 km, a saturação de OD está presente e, após a frente salina, a saturação de OD é quase nula. Neste período, foi observada saturação de OD (aproximadamente 80%) até aproximadamente 11 km de distância da desembocadura.

No período de menor intensidade de chuvas e vazão, foi observado que a saturação de OD esteve presente mais a montante que o período chuvoso. Entre as 14 campanhas realizadas no período seco, 9 apresentaram saturação de OD distribuído ao longo de todo o estuário e em todas as profundidades.

As zonas de alta/baixa saturação de OD observadas no período seco estão relacionadas respectivamente com campanhas que foram realizadas no momento da tarde/manhã. A hipótese que explica este comportamento é que as atividades biológicas durante o dia disponibilizarem OD para o sistema através da fotossíntese e a noite, quando não há luz, o OD é consumido, um ciclo diário e complexo que necessita de investigação direta e aprofundada.

De modo geral foi observado que o OD está mais presente em superfície do que no fundo. A única região em que apresenta OD menor na superfície é próximo a desembocadura, no período de maior vazão.

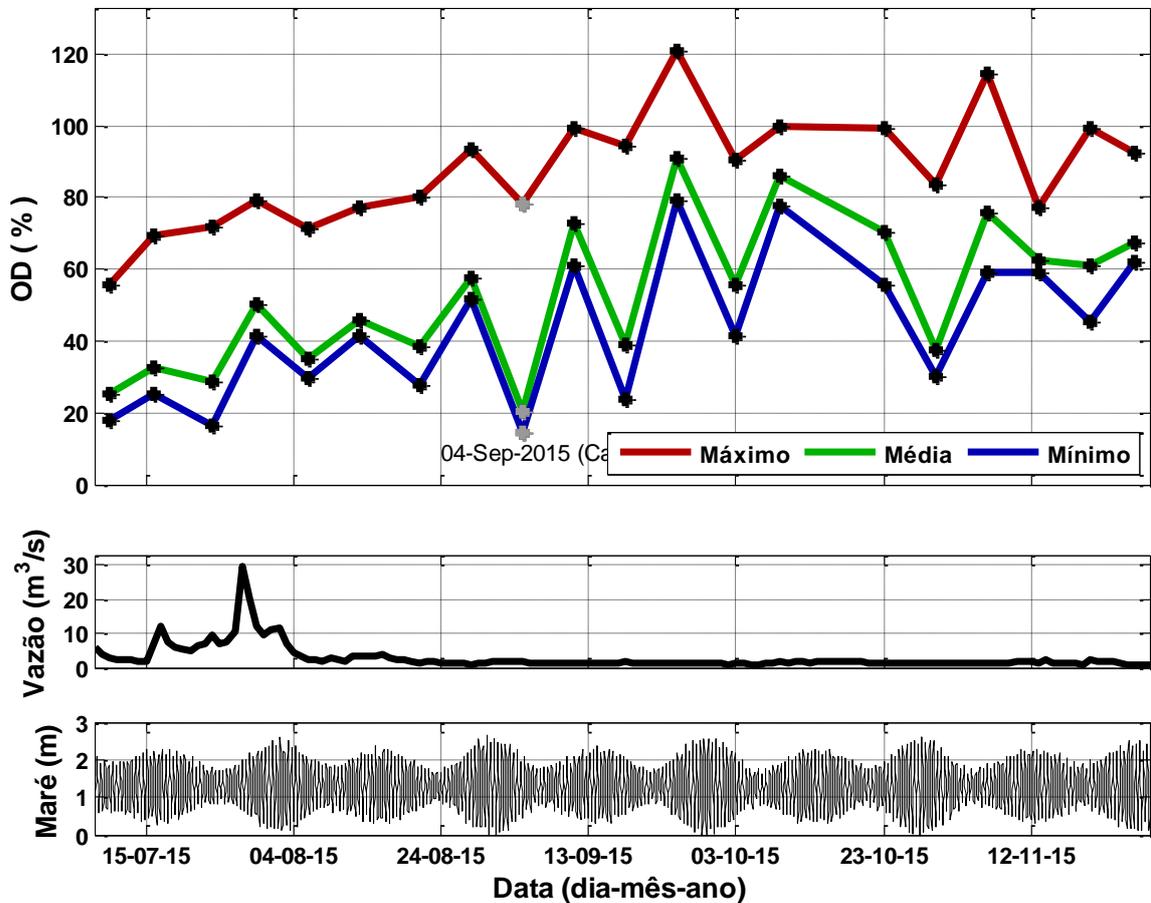
Figura 4.6.2 – Gráfico da diferença entre a média de OD do fundo e da superfície por estação de coleta, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.



Fonte: o autor.

A variação sazonal da média total de OD deixa claro que no período chuvoso há menos OD na água do estuário do que no seco. Portanto, foi observado que as águas do rio Capibaribe que chegam ao estuário são pobres em OD, isso ocorre devido ao grande volume de água residual que chega ao rio ser rico em diversos nutrientes e poluentes, ou seja, ocorre a eutrofização e contaminação da água e as atividades biológicas retiram todo o OD da água. A variação de maré, com conseqüente intrusão das águas do oceano próximo a desembocadura, é o principal fornecedor de OD para o sistema estuarino do rio Capibaribe.

Figura 4.6.3 - Gráfico de média, máximos e mínimos de OD por campanha (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.



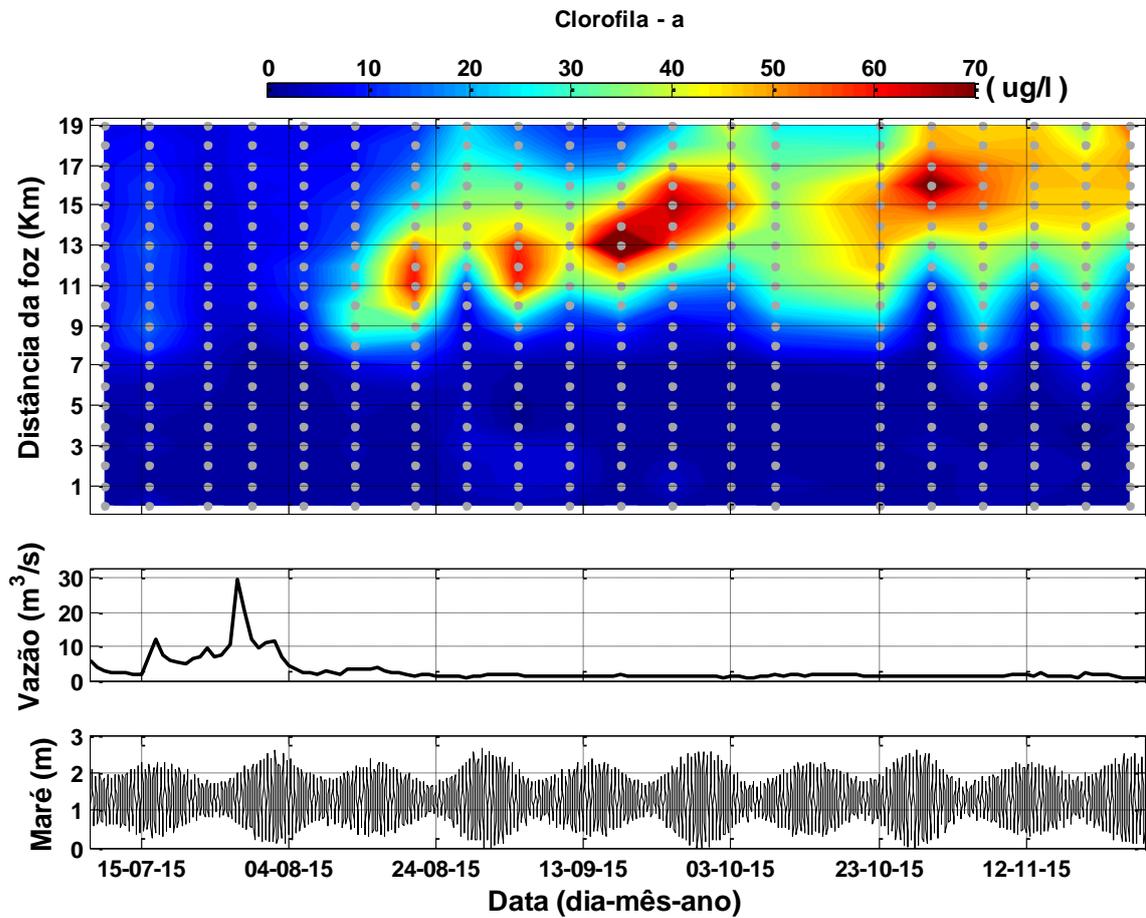
Fonte: o autor.

4.7 Clorofila

A distribuição de clorofila no estuário do rio Capibaribe tem relação com a distribuição de salinidade, temperatura e turbidez. Foi observado que quanto maior a salinidade, menor a quantidade de clorofila, e quanto maior a temperatura e turbidez, maior a quantidade de clorofila. Essa relação pode ser observada nas figuras do **Anexo I**.

Nos gráficos de médias verticais por estações, **Figura 4.7.1**, foi observada uma região de maior medida de clorofila que compreende a mesma região da segunda ZMT relatada, entre 9 e 19 km de distância da desembocadura, a partir do dia 13 de agosto, justamente na transição do período chuvoso para o seco, onde acontece o aumento significativo de temperatura.

Figura 4.7.1 - Gráfico de média de clorofila das estações ao longo do tempo, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. Os pontos cinzas representam as estações de coletas.

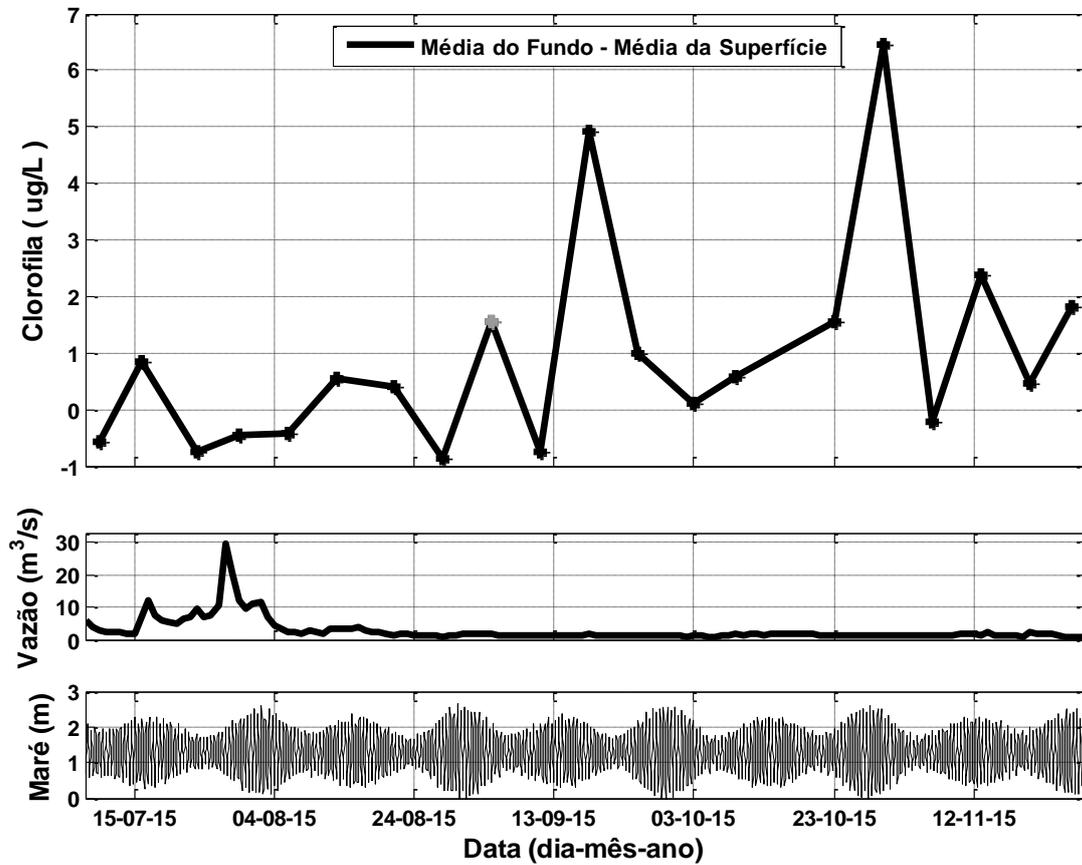


Fonte: o autor.

Foi observado que há medidas significativas de clorofila (igual ou maior do que $10 \mu\text{g L}^{-1}$) na região da frente salina e a montante se houver temperatura igual ou maior do que $27 \text{ }^\circ\text{C}$, alguma medida de turbidez (aproximadamente 10 FTU) e salinidade igual ou menor que 27 g/kg.

De modo geral, a medida de clorofila é maior no fundo, acompanhando maiores temperaturas e turbidez. Foi observada alta medida de clorofila no fundo nos dias 18 de setembro e 30 de outubro, que estão associados com alta temperatura e turbidez neste nível. A campanha de máximo clorofila é a mesma de máximo turbidez, dia 30 de outubro.

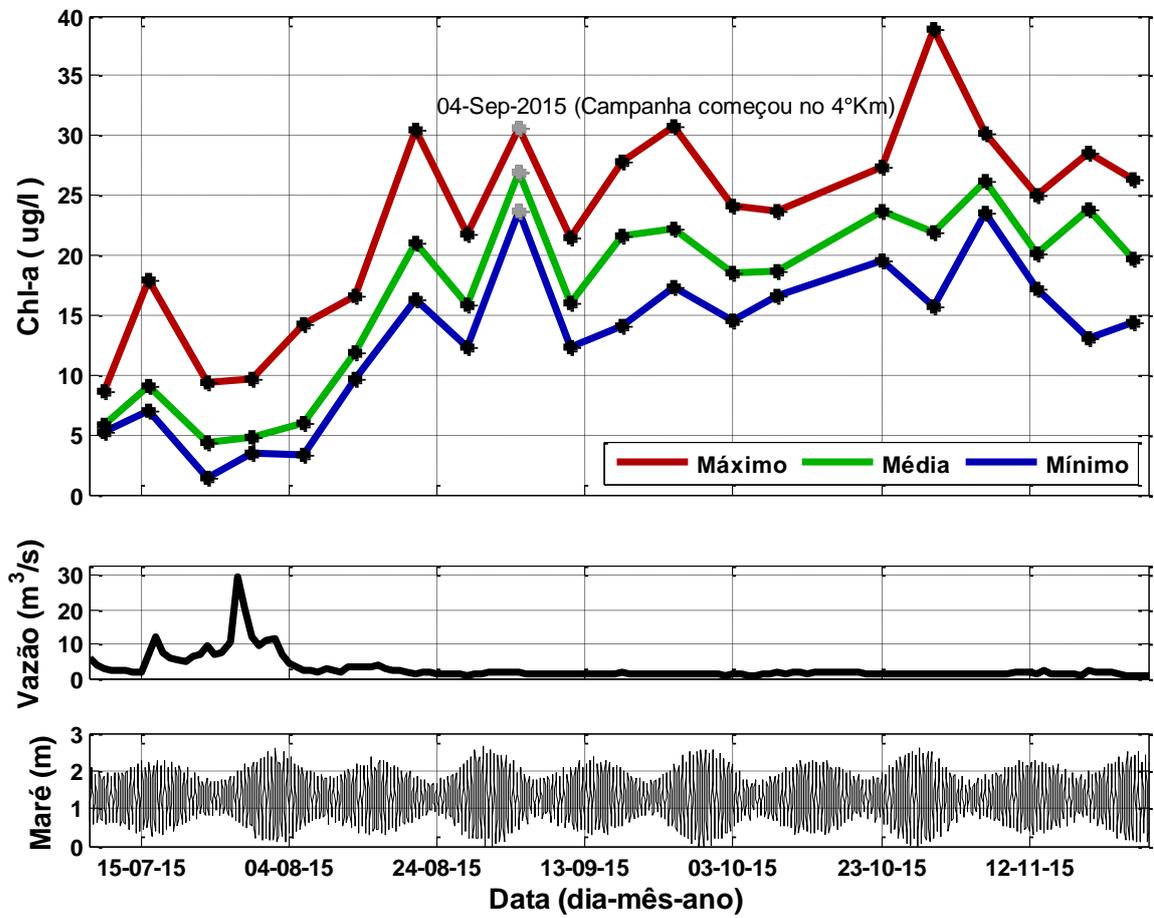
Figura 4.7.2 – Gráfico da diferença entre a média de clorofila do fundo e da superfície por campanhas, acompanhado dos gráficos de vazão e maré. O ponto cinza representa a campanha que foi realizada a partir do 4º km de distância da desembocadura.



Fonte: o autor.

Também foi observado que a clorofila varia sazonalmente acompanhando a temperatura. No período seco é maior a quantidade de clorofila distribuída em todo o estuário e a clorofila é encontrada predominantemente próximo ao fundo. No período chuvoso a distribuição de clorofila é observada com mais predominância em superfície e com valores muito inferiores em relação ao período seco.

Figura 4.7.3 - Gráfico de média total de clorofila, máximos e mínimos (os pontos pretos representam os momentos das campanhas), acompanhado dos gráficos de vazão e maré.



Fonte: o autor.

4.8 Padrões Médios Temporais

A Figura 4.8.1 apresenta as variações longitudinais dos valores médios e desvio padrão em termos temporais para todas as campanhas. Nesta figura são apresentados também os valores médios verticais de cada campanha, utilizando o gradiente de cor para indicar a evolução temporal. Tons de azul escuro indicam o início do monitoramento, e os tons de azul claro o final. As mesmas informações são também apresentadas geograficamente na Figura 4.8.2, onde os valores são indicados pelo gradiente de cor e o desvio padrão é representado proporcionalmente ao diâmetro do círculo externo.

A salinidade apresenta claramente um padrão de tangente hiperbólica esperado para a distribuição de salinidade longitudinal em estuários (Monismith et al., 2002). Dentro do conceito de setores estuarinos proposto por Dionne (1963), a partir da distribuição da salinidade é possível estabelecer razoavelmente bem os setores baixo, médio e alto para o estuário do rio Capibaribe. O baixo estuário é onde predominam condições marinha, indicado pela maior salinidade. No presente caso o baixo estuário seria da desembocadura até 3 km. O médio estuário, onde ocorre a mistura entre água doce e marinha, fica principalmente entre 3 e 17 km. A partir deste ponto para montante é caracterizado o alto estuário, onde a água é praticamente doce, porém ainda há os efeitos da maré. Embora estes limites variem em função da descarga fluvial, aqui eles representam a média temporal e o gradiente entre período chuvoso e seco, o que é evidenciado pela distribuição longitudinal do desvio padrão da salinidade.

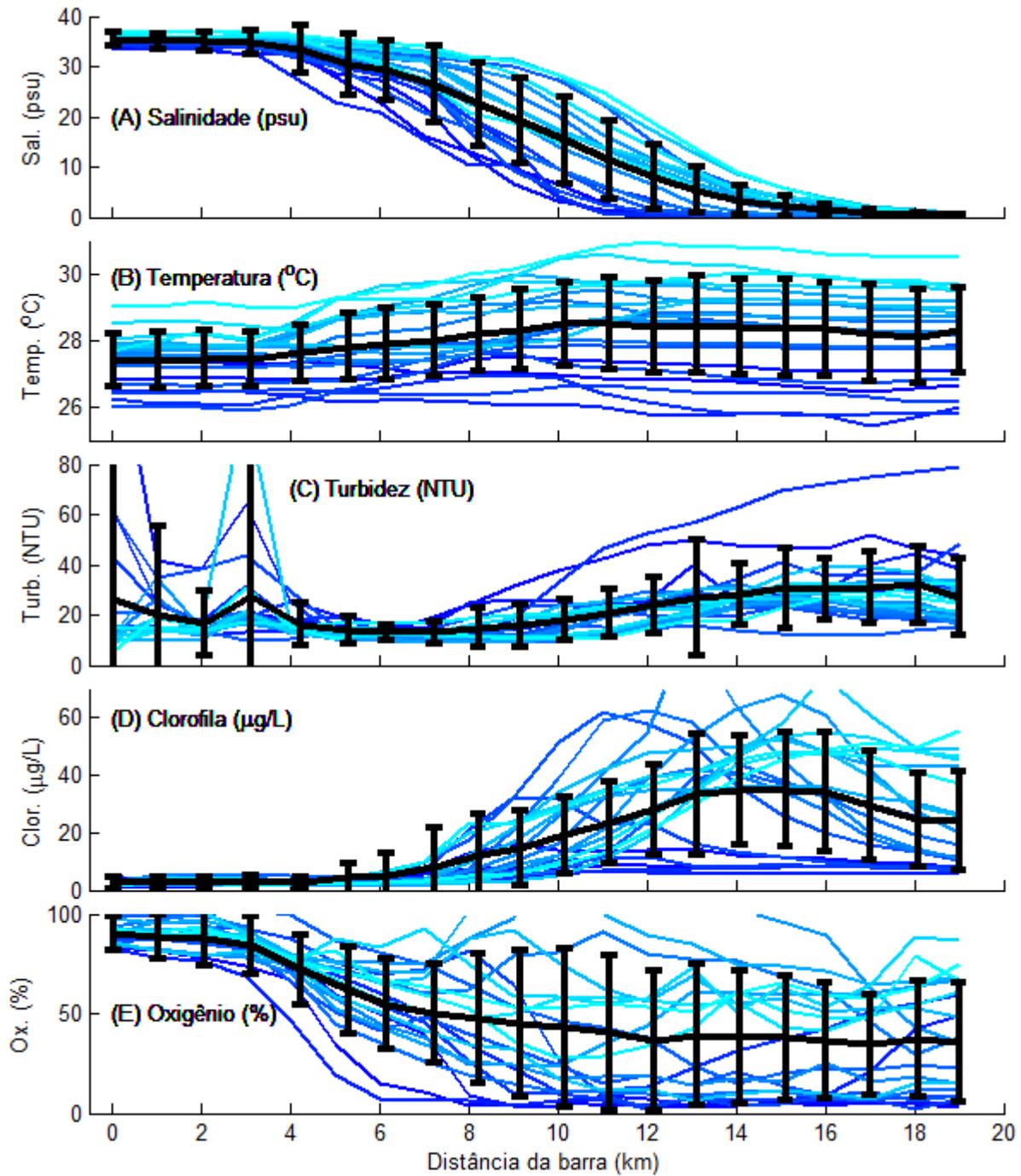
A temperatura também apresenta uma distribuição média em função de tangente hiperbólica, porém inversa à apresentada pela salinidade. A variação da salinidade ocorre em função da diluição da água marinha pela água doce, em função do influxo de água doce e dispersão de salinidade estuário acima, o que vai delimitar e extensão da intrusão salina (MacCready, 2007). Embora os mesmos processos influenciem a distribuição da temperatura, há ainda o efeito do balanço térmico através da superfície (Uncles e Stephens, 2001). Os resultados indica que a temperatura no baixo estuário é cerca de 1 grau menor do que no alto estuário, e a parte mais a montante do médio estuário. O gradiente térmico ocorre entre o baixo estuário e a metade do médio estuário. Embora exista uma variabilidade ao longo de todo o estuário, que representa a variação sazonal, há maior variabilidade relativa a partir do quilômetro 10.

A turbidez é uma variável que indica a concentração de material particulado em suspensão, que é uma propriedade bastante não conservativa, pois sua concentração pode ser em função da advecção ou das trocas com o fundo. O padrão médio longitudinal apresenta três regiões bem definidas. No baixo estuário há maior variabilidade (maior desvio padrão), principalmente na

desembocadura e no quilômetro 3. Estas maior variabilidade possivelmente está associada a efeitos morfológicos associados com momentos de erosão de sedimentos (Schettini et al., 2016a). Ao longo do médio estuário ocorre o gradual aumento da turbidez até o quilômetro 14. A partir deste ponto a turbidez permanece aproximadamente constante, havendo uma diminuição na última estação. Esse padrão está associado à presença da zona de turbidez máxima (Schettini et al., 2016b).

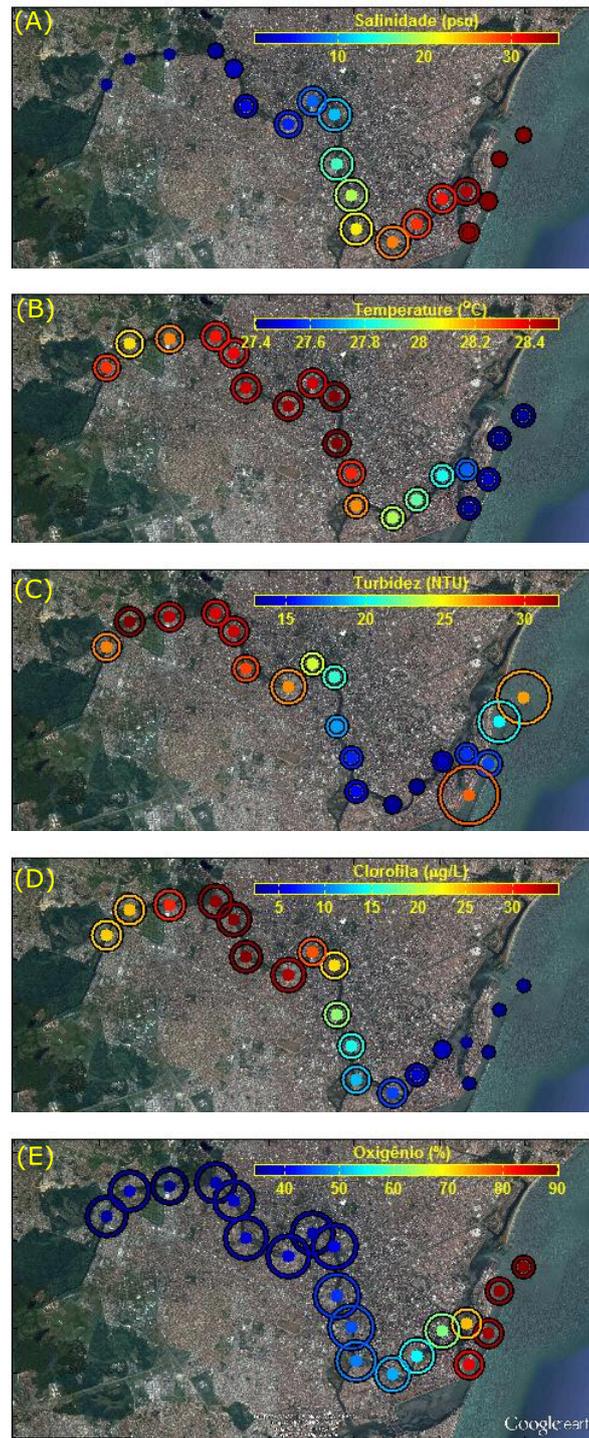
A distribuição longitudinal média da clorofila apresenta valores mínimos no baixo estuário, aumentando progressivamente até alcançar o valor máximo entre os quilômetros 13 e 16, e diminuindo a partir deste ponto. O desvio padrão varia de acordo com o aumento dos valores médios. Praticamente não há variabilidade no baixo estuário, e a máxima variabilidade ocorre na porção superior do médio estuário. O oxigênio dissolvido apresenta padrão inverso ao da clorofila. No baixo estuário o sistema está continuamente saturado, enquanto que a medida que desloca-se para montante, a saturação média diminui e a variabilidade aumenta. A maior variabilidade é registrada entre os quilômetros 8 e 12.

Figura 4.8.1. Variações longitudinais da média temporal e desvio padrão para salinidade, temperatura, turbidez, clorofila e oxigênio



Fonte: o autor.

Figura 4.8.2 Representação geográfica da variabilidade da salinidade, temperatura, turbidez, clorofila e oxigênio dissolvido no estuário do rio Capibaribe.



Fonte: o autor.

5 CONCLUSÕES

A frente salina varia entre 11 e 19 km de distância da desembocadura e altera a distribuição de temperatura, turbidez, OD e clorofila. Maior medida de temperatura, materiais em suspensão e clorofila é encontrada nesta região, assim como é observado menor medida de OD. Essa similaridade na distribuição hidrodinâmica dos parâmetros investigados foi observada na maioria das campanhas.

Há duas zonas de maior turbidez no estuário. A primeira entre 2 e 4 km de distância da desembocadura, e a segunda entre 9 e 19 km de distância da desembocadura. Durante a transição do período chuvoso para seco, e no período seco, a região da segunda ZMT coincide com a maior medida de clorofila no estuário.

O OD está mais presente em superfície do que no fundo. No período chuvoso, quando a vazão é maior, há menos OD na água do estuário do que no período seco, isso mostra que as águas do rio Capibaribe são pobres em OD, e esta observação leva a crer na hipótese de que a grande quantidade de águas residuais despejadas no rio Capibaribe seja o principal causador desta falta de OD. A intrusão das águas do oceano, devido a oscilação da maré, é o principal fornecedor de OD para o sistema estuarino.

De modo geral, a variação sazonal de precipitação na BHRC altera significativamente a vazão do rio Capibaribe. No período chuvoso, os valores de temperatura, salinidade, e concentrações de OD e clorofila são inferiores e a turbidez é superior em relação ao período seco. A diferença entre o fundo e superfície mostrou que: a temperatura e OD tendem a ser maior em superfície; a clorofila é maior em superfície no período chuvoso e, no período seco, é maior no fundo; a salinidade e turbidez tende a ser sempre maior no fundo, porém no período chuvoso é muito maior no fundo.

Vale ressaltar que não foram levados em conta os dados de águas residuais, o que deixa em aberto diversos assuntos a serem aprofundados mais pontualmente posteriormente. Se faz necessários estudar qual o real efeito das águas residuais na distribuição de temperatura, OD e clorofila, e em quais regimes de vazão e maré são possíveis verificar os extremos.

Neste trabalho científico, foi realizado durante as campanhas a produção de um minidocumentário chamado “CapibaPodre #1”, que está disponível no site <https://www.facebook.com/rallb>.

REFERÊNCIAS

- Attrill, M. J. & Rundle, S. D. Ecotone or Ecocline: Ecological Boundaries in Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 55, 929–936. doi:10.1006/ecss.2002.1036
- Batista, R.A.L.; Oliveira Fo, J.C.; Paiva, B.P.; Truccolo, E.C.; Schettini, C.A.F. The Salt Intrusion and Estuarine Turbidity Maxima in the Highly Impacted Capibaribe Estuary, Brazil. Apresentado em formato oral no Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2016.
- Batista, R.A.L., 2015. Variação intra-mareal da distribuição da salinidade no estuário do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco. Monografia de conclusão de graduação. UERJ. 2015.
- Batista, R.A.L.; Schettini, C.A.F.; Melo, G.V.; Filho, J.C.O.; Rodrigues, L.O. Movimentação da Frente Salina no Estuário do Rio Capibaribe. Apresentado em formato painel no Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2014.
- Cameron, W.M. & Pritchard, D.W. 1963. Estuaries. In M. N. Hill (editor): *The Sea* vol. 2, John Wiley and Sons, New York, 1963. pp.306-324.
- Compesa - < <http://servicos.compesa.com.br/esgotamento-sanitario/>>. Acessado em abril de 2017.
- Dalrymple, R.W.; Zaitlin, B. B. & Boyd, R. A Conceptual Modelo of Estuarine Sedimentation. *J. Sedim. Petrology*, 1992. 62:1130-1146.
- Dustan, P.; Pinckney, J. L. Tidally induced estuarine phytoplankton patchiness. *Limnology and Oceanography*, Lawrence, v. 34, n. 2, p. 410-419, 1989.
- Dyer, K.R. Fine sediment particle transport in estuaries. In: Dronkers, J.; Van Leussen, W. (Ed.). *Physical Processes in Estuaries*. Berlin: Springer-Verlag, 1988. p. 427-445.
- Dyer, K.R. Sediment transport processes in estuaries. In: Perillo, G.M.E. (Ed.) *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries: Developments in Sedimentology*. New York, Elsevier Science B.V., 1995. pp.423–449.
- EIA/RIMA-Novo Recife. Projeto de Navegabilidade dos Rios Capibaribe e Beberibe (Novo Recife). Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) - Recife/Olinda – Pernambuco – Brasil – (Processo CPRH N° 3.049/2011) 2011.
- Fairbridge, R.W. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: Olausson, E. & Cato, I. (Eds.) *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. New York, John Wiley and Sons, 1980. p.1-35.

- Frota, F. F.; Paiva B. P.; Schettin I C. A. F. Intra-tidal variation of stratification in a semi-arid estuary under the impact of flow regulation. *Brazilian Journal of Oceanography*, 2013, 61(1):23-33.
- Grabemann, I.; Uncles, R. J.; Krause, G. & Stephens, J. A. Behaviour of Turbidity Maxima in the Tamar (U.K.) and Weser (F.R.G.) Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 45: 235 – 246.
- Governo de Pernambuco - < <http://www.pe.gov.br/>>. Acessado em novembro de 2016.
- Hatje, V.; Payne, T. E.; Hill, D. M.; Mcorist, G.; Birch, G. F. & Szymczak, R. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: effects of pH, salinity, and particle loading. *Environmental International*, 2003, 29 (5): 619 – 629.
- IBGE - < <http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acessado em dezembro de 2016.
- Kjerfve, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: Day Jr., J. W., C. H. A. S. Hali., Kemp W. M. & Yáñez-Arancibia, A. (eds.). *Estuarine Ecology*. New York, Wiley, 1987. p. 47-78.
- Lima, T. M. J. & Tognella, M. M. P. Estrutura e função dos manguezais: revisão conceitual. *Enciclopédia Biosfera*. Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15. 2012.
- MacCready, P. 2007. Estuarine adjustment. *Journal of Physical Oceanography*, 37:2133-2145.
- MacCready, P. & Geyer, W.R. *Advances in Estuarine Physics*. *Annual Review of Marine Science*. 2010. 2:35–58 10.1146/annurev-marine-120308-081015
- Maciel, D. C., Costa, B. V. M., Santos, L. P. S., Souza, J. R. B., Zanardi-Lamardo, E. Avaliação da toxicidade dos sedimentos do Sistema Estuarino do Capibaribe (Pernambuco, Brasil) utilizando o copépodo bentônico *Tisbe biminiensis* Volkmann Rocco (1973). *Tropical Oceanography*, v. 43, n. 1, 2015. p. 26-37.
- Masson, D. & Pena, A. Chlorophyll distribution in a temperate estuary: The Strait of Georgia and Juan de Fuca Strait. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v: 82. 2009. p. 19–28
- Melo, V.G. Intrusão salina e mecanismos de mistura no estuário de Guapimirim, Baía de Guanabara / RJ. Tese de Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense. 2010.
- Miranda, L.B.; Castro, B. M. & Kjerfve, B. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (Acadêmica; 42). 2002.

Monismith, S.G.; Kimmerer, W.; Burau, J.R.; Stacey, M.T. 2002. Structure and flow-induced variability of the subtidal salinity field in northern San Francisco bay. *Journal of Physical Oceanography*, 32:3002-3019.

Nóbrega, A.S.C. Fontes de contaminação no estuário do rio Capibaribe, Pernambuco. Monografia em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco. 2011.

Ottmann, F. & Ottmann, Jeanne-Marie. La maree de Salinite Dans le Capibaribe. Recife-Brasil. Trabalho do Instituto de Biologia Marítima e Oceanografia. Universidade do Recife. Recife: v. 1. n. 1. p. 39-49, 1959. (a)

Ottmann, F. & Ottmann, Jeanne-Marie. Les Sediments de L'Embouchure Du Capibaribe. Recife-Brasil. Trabalho do Instituto de Biologia Marítima e Oceanografia. Universidade do Recife. Recife: v. 1. n. 1. p. 51-69, 1959. (b)

Prefeitura do Recife - <<http://www2.recife.pe.gov.br/>>. Acessado em dezembro de 2016.

Pritchard, D.W. What is na Estuary: Physical Viewpoint. Lauff G. H. (ed). *Estuaries*. Washington, D.C., American Association for the Advance of Science, pp. 3-5, 1967.

PROJETEC–BRLi. Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe. TOMO I: Diagnóstico Hidroambiental e TOMO II: Mapas. 2010.

RALBfotografia - <<https://www.facebook.com/rrallb>>

Ralston, D.K.; Geyer, W.R.; Warner, J.C. Bathymetry controls on sediment transport in the Hudson River estuary: lateral asymmetry and frontal trapping. *Journal of Geophysical Research*, v.117, 2012.

Silva, M.A.M.; Souza, M.F.L.; Abreu, P.C. Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll- α in a tropical estuary in northeastern brazil: dynamics of nutrient removal. *Braz. j. oceanogr.*, São Paulo , v. 63, n. 1, p. 1-15, Mar. 2015 .

Silva, J. P. Sedimentologia, batimetria, qualidade da água e vulnerabilidade do rio Capibaribe na cidade do Recife – PE. Dissertação de Mestrado, UFPE. 2003.

SRHE. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. Mapa Climatológico. In: Atlas de Bacias Hidrográficas. 2006.

Schetini, C.A.F.; Miranda, J.B.; Valle-Levinson, A.; Truccolo, E.C.; Domingues, E.C. The circulation of the lower Capibaribe estuary (Brazil) and its implications in the transport of scalars. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64, n. 3, p. 263-276. 2016 (a)

Schettini, C.A.F.; Paiva, B.P.; Batista, R.A.L.; Oliveira Fo, J.C.; Truccolo, E.C. Observation of an Estuarine Turbidity Maximum in the Highly Impacted Capibaribe Estuary, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(2). p. 83-87. 2016 (b)

Schettini, C.A.F.; Batista, R.A.L.; Oliveira Fo, J.C.; Paiva, B.P.; Truccolo, E.C. The Estuarine Turbidity Maxima of the Highly Impacted Capibaribe Estuary, Brazil. Apresentação em formato painel no 17º Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS) conference, 2014.

Schettini, C.A.F. Caracterização física do estuário do Rio Itajaí-açu, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 7. n. 1. P. 123-142. 2002.

Schoellhamer, D.H. Influence of salinity, bottom topography, and tides on locations of estuarine turbidity maxima in northern San Francisco Bay, in McAnally, W.H. and Mehta, A.J., ed., *Coastal and Estuarine Fine Sediment Transport Processes*: Elsevier Science B.V., p. 343-357. 2001. URL: <http://ca.water.usgs.gov/abstract/sfbay/elsevier0102.pdf>

Stretta, E. Position du Rio Capibaribe Dans L'ensemble Hydrogéologique Du Bassin de Recife. Trabalho do Instituto de Biologia Marítima e Oceanografia. Universidade do Recife. Recife: v. 1. n.1. p. 71-76. 1959.

Travassos, P.E.P.; Macêdo, S.J; Koenig, M.L. Aspectos Hidrológicos do Estuário do Rio Capibaribe (Recife-Pernambuco). *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, Recife, v. 22, p. 9-38. 1993.

Uncles, R.J.; Stephens, J.A. 2001. The annual cycle of temperature in a temperate estuary and associate heat fluxes to the coastal zone. *Journal of Sea Research*, 46:143-159.

Valle-Levinson, A. Contemporary Issues in Estuarine Physics. In: United States of America. Cambridge University (ed), New York. 2010.

Zanardi-Lamardo, E., Nóbrega, A. S. C., Santos, R. H. A., Maciel, D. C. Fontes e níveis de contaminação do Sistema Estuarino do Rio Capibaribe (Pernambuco/Brasil). *Tropical Oceanography*, v. 44, n. 2, p. 118-131. 2016.

Anexo I - Gráficos de perfil longitudinal de todos os parâmetros coletados em todas as campanhas. Fonte: o autor.

