

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO BURANHÉM,  
PORTO SEGURO – BAHIA**

**ANA CAROLINA RODRIGUES DE SÁ SILVA**

**Itajubá, outubro de 2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**ANA CAROLINA RODRIGUES DE SÁ SILVA**

**HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO BURANHÉM,  
PORTO SEGURO – BAHIA**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio ambiente e Recursos Hídricos.

**Área de concentração:** Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

**Orientador:** Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes

**Co-Orientador:** Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu

**Outubro de 2016**  
**Itajubá**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**ANA CAROLINA RODRIGUES DE SÁ SILVA**

**HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO BURANHÉM,  
PORTO SEGURO – BAHIA**

Dissertação aprovada por banca em 27 de outubro de 2016, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Meio ambiente e Recursos Hídricos.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Marcos Eduardo C. Bernardes (Orientador)

---

Universidade Federal do Sul da Bahia

Prof. Dr. Alessandro Luvizon Bérghamo

---

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini

---

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Itajubá

2016

*Dedico a Deus, que me ilumina e me dá forças e à  
minha mãe e irmã, que sempre estiveram ao meu  
lado dando apoio.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vitória da conclusão do mestrado.

Ao meu orientador, prof. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes, pela amizade, apoio, incentivo, paciência, disponibilidade e aprendizado.

Ao meu co-orientador, prof. Arcilan Trevenzoli Assireu, pela ajuda, paciência, disponibilidade, aprendizado e incentivo.

Ao Laboratório de Dinâmica Costeira, em especial ao prof. Dr. Eduardo Siegle, Paulo Henrique Sousa e Mirella Costa, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao prof. Alessandro Bérghamo, pela disponibilidade e ajuda.

À Marinha do Brasil e à Secretaria de Meio Ambiente de Porto Seguro pelo suporte na execução do trabalho de campo.

A toda equipe do projeto da CNPq: Diagnóstico e monitoramento ambiental do estuário do rio Buranhém e região costeira adjacente, Porto Seguro – BA.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

À minha mãe, Nair Rodrigues de Sá, e minha irmã, Ana Paula Rodrigues Silva, pelo apoio, companhia e incentivo.

Aos amigos do mestrado, em especial a Karen, Tatiane, Kelly e Liziara.

Aos professores do programa de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

À Universidade Federal de Itajubá.

## RESUMO

Estuários são geralmente associados a uma densidade demográfica elevada e a atividade turística, o que torna esses locais mais vulneráveis à influência do homem. Para se minimizar impactos negativos sobre esses ambientes, são necessárias medidas de prevenção, que devem ser baseadas em estudos como os hidrodinâmicos. Portanto, este trabalho objetiva realizar um estudo hidrodinâmico no estuário do rio Buranhém, Porto Seguro – BA, sob condições de maré de sizígia e quadratura, durante período de El Niño. Para isso, realizou-se um trabalho de campo entre os dias 30 de julho a 07 de agosto de 2015, além de um monitoramento contínuo pontual entre 18 de junho e 18 de dezembro de 2015. Durante o primeiro período, houve medições correntométricas e hidrográficas de modo contínuo em dois pontos do estuário: Marinha ( $39^{\circ} 3' 59,3''$  O,  $16^{\circ} 27' 7,8''$  S) e Quinta do Porto ( $39^{\circ} 3' 42,7''$  O,  $16^{\circ} 27' 26,9''$  S), na superfície e no fundo, enquanto na Marina ( $39^{\circ} 5' 4,7''$  O,  $16^{\circ} 26' 41,1''$  S) só houve coletas de dados hidrográficos. Mediu-se salinidade na superfície, meio e fundo da coluna d'água ao longo do estuário para traçar o perfil longitudinal. Mediu-se velocidade com ADP Nortek de 1 MHz ao longo da coluna d'água com células de 0,5 m. Foram utilizados derivadores para se estimar a corrente de superfície e de fundo de modo lagrangeano no período de vazante. Já no segundo período, de junho a dezembro de 2015, foram coletados apenas dados hidrográficos na estação Marina. Os dados de salinidade, temperatura, velocidade e vento foram filtrados pelo método das médias móveis. A velocidade foi decomposta nas componentes longitudinal e transversal. Também foi calculado o número de Richardson por camada para se conhecer o grau de estratificação na coluna d'água em diferentes momentos da maré, além da classificação do estuário pelo diagrama de Hansen-Rattray (1966). Como resultados, para campanha do dia 18 de junho ao dia 18 de dezembro de 2015, a direção predominante foi leste, enquanto para o monitoramento contínuo (31 de julho a 07 de agosto de 2015), direção foi nordeste. As temperaturas e a salinidade da água de superfície e de fundo na Marina, Marinha e Quinta do Porto apresentaram padrão similar, assim como o período de oscilação. A máxima velocidade do fundo foi de  $0,91 \text{ m.s}^{-1}$  e de  $0,88 \text{ m.s}^{-1}$  e da superfície, de  $0,70 \text{ m.s}^{-1}$  e de  $1,19 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente, na Quinta do Porto e na Marinha. As velocidades residuais, principalmente na Marinha, foram no sentido de saída do estuário, com predominância das correntes de vazante. Já na Quinta do Porto, a velocidade residual foi próxima de zero, o que pode favorecer o acúmulo de material em suspensão, como o banco de areia próximo a esse local. A maioria dos valores de número de Richardson por camada foi inferior a 2, indicando que o estuário é bem misturado. Pelo diagrama de Hansen-Rattray, classificou-se o estuário como tipo 1b (bem misturado), portanto, um estuário que apresenta a principal forçante física a maré e o transporte por difusão turbulenta. Na Quinta do Porto, a altura de maré foi de no máximo 2,40 m, na Marinha, de 2,16 m na Marina, e 1,92 m e predominância, portanto, de micromaré. A zona de mistura, associada à distribuição longitudinal de salinidade, do estuário do rio Buranhém teve comprimento de 9 km sob condição de maré de sizígia e de aproximadamente 5 km, sob maré de quadratura. Além disso, a área de estudo foi classificada como hiposíncrona e bem misturada, enquanto a propagação das ondas de maré apresentou comportamento misto. No monitoramento contínuo, o período foi caracterizado por uma estiagem sob a influência do fenômeno El Niño. As estratificações verticais de sal e de temperatura foram mais acentuadas no momento de preamar e na maré de quadratura.

**Palavras-chave:** salinidade, temperatura, maré, vento.

## ABSTRACT

Estuaries are environments that are typically associated with a high population density and high volumes of tourism, which makes them vulnerable to human influence. In order to minimize the vulnerability of these environments, it is necessary to propose preventive measures, which should be based on research of the environment. Therefore, this dissertation presents a hydrodynamic study of the estuary of the Buranhém river in Porto Seguro, Bahia, Northeast Brazil, under both spring and neap tidal conditions. To achieve this, fieldwork was carried out between July 30<sup>th</sup> and August 7<sup>th</sup>, 2015, while a seasonal monitoring took place between June 18<sup>th</sup> and December 18<sup>th</sup>, 2015. During the first period, salinity, temperature and depth were continuously monitored at three geographical locations of the estuary: Marina (39° 5' 4,7'' W, 16° 26' 41,1'' S), Marinha (39° 3' 59,3'' W, 16° 27' 7,8'' S) e Quinta do Porto (39° 3' 42,7'' W, 16° 27' 26,9'' S), on the surface and bottom, during the second period only in Marina. Salinity was measured on the surface, middle, and bottom of each water column along the estuary in order to create a longitudinal profile. Velocity was measured ADPs Nortek of 1 MHz with a configuration for estimating velocities in 0.50 m cells, in order to estimate the average velocity in each cell. During ebbing tidal conditions, drifters were used to estimate the water currents at the surface and the bottom of the water column. The data produced for salinity, temperature, and wind velocity and were filtered with a moving average method. The velocity was decomposed into longitudinal and transverse components. Finally, the layer Richardson number was calculated in order to find indications of the degree of salt stratification in the water column at different times in the tidal cycle and the estuary was classified by the Hansen-Rattray Diagram. As results, prevailing winds were east between July 30<sup>th</sup> and August 7<sup>th</sup>, 2015, and prevailing winds were northeast between June 18<sup>th</sup> and December 18<sup>th</sup>, 2015. Water temperature and salinity on the surface and bottom at three geographical locations of measurement had the same period of oscillation. Maximum velocity at the bottom was 0.91 m.s<sup>-1</sup> and 0.88 m.s<sup>-1</sup> and maximum surface velocity was 0.70 m.s<sup>-1</sup> and 1.19 m.s<sup>-1</sup> to Quinta do Porto and Marinha, respectively. Residual currents, mainly in Marinha, were seawards, with ebbing motions being dominant over flooding movements. At Quinta do Porto, residual velocity was close to zero, this favored the accumulation of particulate matter, which is confirmed by the presence of a sandbar in the area. Most layer Richardson number of values was less than 2, showed that the estuary is well mixed. According to the diagram of Hansen & Rattray, the estuarine system was type 1b (well-mixed), estuary with dominant tide and diffusion contributed to the upstream salt flux. The maximum tide height was 2.40, 2.16 and 1.92 m to Quinta do Porto, Marinha and Marina, respectively. Therefore, microtidal conditions prevailed. The length of mixing zone of estuary of the Buranhém River was estimated on 9 km (5 km) under spring (neap) tide conditions. It was classified as hyposynchronous and well mixed, while the tidal propagation presented mixed conditions. Regarding the continuous monitoring, the sampled period was under drought and El Niño conditions, with moments of vertical stratification of salt and higher temperature differences at the time of both high and neap tides.

**Keywords:** salinity, temperature, tides, wind

## Lista de Figuras

Figura 1: Processos e forçantes locais e remotas em ambientes estuarinos. ....	22
Figura 2: Diagrama de Circulação-Estratificação .....	27
Figura 3: Localização do estuário do rio Buranhém, Porto Seguro – BA. ....	30
Figura 4: Média histórica mensal da precipitação (mm) para o município de Porto Seguro, Bahia. ....	31
Figura 5: Rosa dos ventos para Porto Seguro no período de 25 de novembro de 2002 a 14 de agosto de 2010. ....	32
Figura 6: Rosa dos ventos dos meses de junho a dezembro a partir dos dados do aeroporto de Porto Seguro (BA) disponíveis na RedeMET do dia 25 de novembro de 2002 ao dia 24 de agosto de 2016. Porcentagem representa frequência dos dados. ....	32
Figura 7: Distribuição da intensidade média mensal dos ventos ( $m.s^{-1}$ ) ao longo do ano para Porto Seguro no período de 25 de novembro de 2002 a 19 de abril de 2014. ....	33
Figura 8: Distribuição da intensidade dos ventos ao longo do dia para Porto Seguro no período de 25 de novembro de 2002 a 19 de abril de 2014. ....	33
Figura 9: Vazão média diária no período de janeiro de 1973 a janeiro de 2015 da Fazenda Limoeiro, estação fluviométrica localizada no rio Buranhém, Porto Seguro – BA .....	34
Figura 10: Estuário do rio Buranhém, Porto Seguro – BA. ....	35
Figura 11: Localização dos pontos de coleta. ....	36
Figura 12: Fluxograma de organização dos dados .....	41
Figura 13: Arranjo da estrutura de suporte e os equipamentos ADP (maior; perfilador de corrente) e CT (menor; termocodutivímetro) para instalação sobre o leito do estuário. ....	43
Figura 14: MiniCT (Condutividade e Temperatura) e o miniCTD (Condutividade, Temperatura e Profundidade) .....	44
Figura 15: CTD (Condutividade, Temperatura e Profundidade) instalado na superfície. ....	44
Figura 16: Pontos de medição de salinidade no dia 31 de julho de 2015 durante preamar. ....	46
Figura 17: Pontos de medição de salinidade no dia 04 de agosto de 2015 durante baixa-mar. ....	47
Figura 18: Decomposição do vetor velocidade em componentes longitudinal (u) e transversal (v) e a representação do ângulo entre o eixo longitudinal do estuário e o norte verdadeiro ( $\gamma$ ) .....	49
Figura 19: Sistema de coordenadas para Quinta do Porto e para Marinha, respectivamente. ....	50



Figura 20: (A) Derivador, (B) vela do derivador (preta) e boia de subsuperfície (amarelo) que dá maior sustentação a estrutura vela-derivador.....	53
Figura 21: (A) Acessórios do derivador, (B) Interior do derivador (PACHECO, 2014). .....	53
Figura 22: Precipitação (mm) em Porto Seguro registrada pelo INMET .....	58
Figura 23: Temperatura do ar (°C) em Porto Seguro do dia 31/07/15 às 12:00 h até o dia 07/08/15 às 14:00 h: A) INMET, B) RedeMET .....	59
Figura 24: Intensidade do vento ( $m.s^{-1}$ ) em Porto Seguro registrado pelo: A) INMET, B) RedeMET do dia 31/07/15 às 12:00 h até o dia 07/08/15 às 14:00 h.....	60
Figura 25: Vento na A) estação do Inmet B) Estação do RedeMET do dia 31/07/15 às 12:00 h até o dia 07/08/15 às 14:00 h. Porcentagem representa frequência dos dados.....	61
Figura 26: Vazão ( $m^3.s^{-1}$ ) na estação Fazenda Limoeiro no período de 31/07 a 07/08/15.....	62
Figura 27: Temperatura (°C) na A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h .....	63
Figura 28: Oscilação vertical (m) da superfície da água: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h .....	64
Figura 29: Diferença de Temperatura (°C) entre fundo e a superfície: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 14 h.....	65
Figura 30: Salinidade (ups) na A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h.....	67
Figura 31: Diferença de salinidade (ups) entre o fundo e a superfície: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h....	68
Figura 32: Sigma-t ( $kg.m^{-3}$ ) na: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h.....	69
Figura 33: Perfil longitudinal de salinidade (ups) com isohalinas de 0,5 ups, 5 ups espaçamento de 5ups até 35ups A) do dia 31 de julho de 2015 (início da medição na preamar durante maré de sizígia), B) do dia 4 de agosto de 2015 (início da medição na baixa-mar na maré intermediária sizígia-quadratura, lua minguante no dia 06/08/15).....	71
Figura 34: Delimitação da zona de mistura: A) do dia 31 de julho de 2015, B) do dia 4 de agosto de 2015 .....	72
Figura 35: Magnitude do componente longitudinal da velocidade ( $m.s^{-1}$ ) na Quinta do Porto. Valores positivos: velocidade de saída (vazante); negativa: entrada (enchente). Linha preta representa a altura da coluna d'água.....	74

Figura 36: Magnitude do componente longitudinal da velocidade ( $m.s^{-1}$ ) na Marinha. Valores positivos: velocidade de saída (vazante); negativa: entrada (enchente). Linha preta representa a altura da coluna d'água .....	74
Figura 37: Intensidade e direções da velocidade da água na Quinta do Porto, em relação ao norte geográfico, do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h. Porcentagem representa frequência dos dados .....	75
Figura 38: Intensidade e direções da velocidade da água na Marinha, em relação ao norte geográfico, do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h. Porcentagem representa frequência dos dados .....	75
Figura 39: Velocidade média longitudinal (A) e transversal (B) medida e filtrada na Quinta do Porto do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h.....	78
Figura 40: Velocidade média longitudinal (A) e transversal (B) medida e filtrada na Marinha do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h .....	78
Figura 41: Perfil vertical do componente longitudinal da velocidade média entre 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água na Quinta do Porto .....	79
Figura 42: Perfil vertical do componente longitudinal da velocidade média entre 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água na Marinha .....	79
Figura 43: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade longitudinal ( $m.s^{-1}$ ), em preto, na Quinta do Porto entre 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água .....	80
Figura 44: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade longitudinal ( $m.s^{-1}$ ), em preto, na Marinha das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água.....	81
Figura 45: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade transversal ( $m.s^{-1}$ ), em preto de Quinta do Porto das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água .....	81
Figura 46: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade transversal ( $m.s^{-1}$ ), em preto, na Marinha das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água.....	81
Figura 47: Número de Richardson por camada (-) calculado na Quinta do Porto (A) e na Marinha (B) das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na	

coluna d'água. Lua Cheia (maré de sizígia) no dia 31/07 e lua minguante (maré de quadratura) no dia 06/08/15 .....	83
Figura 48: Diagrama de estratificação-circulação de Hansen-Rattray (1966) com a condição do ponto da Quinta do Porto do rio Buranhém, Porto Seguro - BA. Curvas paramétricas da proporção relativa ( $0 < v \leq 1$ ), linhas tracejadas, dos processos dispersivo e advectivo .....	85
Figura 49: Diagrama de estratificação-circulação de Hansen-Rattray (1966) com as condições do ponto da Marinha do rio Buranhém, Porto Seguro – BA, Curvas paramétricas da proporção relativa ( $0 < v \leq 1$ ), linhas tracejadas, dos processos dispersivo e advectivo.....	86
Figura 50: Trajetória dos derivadores no dia 01/08/2015 na maré de vazante. Horário de lançamento 9:45 h. Derivadores com velas: 1 (vermelho) e 2 (azul claro). Derivadores sem velas: 3 (rosa) e 5 (amarelo) .....	88
Figura 51: Velocidade ( $m \cdot s^{-1}$ ) dos derivadores no dia 01/08/2015 na maré de vazante (A) 1 (com vela) (B) 2 (com vela) (C) 3 (sem vela) (D) 5 (sem vela).....	89
Figura 52: Rosa dos ventos do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015. Porcentagem representa frequência dos dados .....	91
Figura 53: Vazão ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) na estação Fazenda Limoeiro do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015. Não há dados do dia 01/10/2015 ao dia 31/10/2015 e no dia 05/11/2015 .....	91
Figura 54: Temperatura ( $^{\circ}C$ ) do ar do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 registrada pela RedeMET .....	93
Figura 55: Temperatura ( $^{\circ}C$ ) média horária na superfície da água na Marina e no ar no período de 18 de junho de 2015 ao dia 28 de dezembro de 2015 registrada pela RedeMET ..	93
Figura 56: Temperatura ( $^{\circ}C$ ) da superfície (A) e do fundo (B) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 .....	94
Figura 57: Diferença de temperatura ( $^{\circ}C$ ) entre o fundo e a superfície na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 .....	94
Figura 58: Nível (m) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 .....	95
Figura 59: Salinidade (ups) da superfície (A) e do fundo (B) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 .....	95
Figura 60: Diferença de salinidade (ups) entre o fundo e a superfície da coluna da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 .....	96
Figura 61: MiniCTD da Marina incrustado .....	97

Figura 62: Sigma-t ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) da superfície (A) e do fundo (B) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015. Valor positivo: densidades maiores que $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ . Valor negativo: densidades menores que $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ .....	98
Figura 63: Diferença de densidade entre o fundo e a superfície na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 .....	98

## Lista de abreviações e siglas

ADP – *Acoustic Doppler Profiler*

ANA – Agência Nacional das Águas

CT – *Conductivity and Temperature*

CTD – *Conductivity, Temperature and Depth*

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

RedeMET: Rede de Meteorologia da Aeronáutica

$Ri_L$ : Número de Richardson por camada

ups: Unidade Prática de Salinidade

## Sumário

1.	Introdução .....	15
1.1.	Objetivos .....	16
1.1.1.	Objetivo geral.....	16
1.1.2.	Objetivos específicos .....	16
1.2.	Justificativa .....	17
2.	Fundamentação teórica .....	19
2.1.	Como e por que a água se movimenta? .....	19
2.2.	Estuários.....	20
2.3.	Forçantes físicas.....	21
2.3.1.	Maré .....	22
2.3.2.	Descarga fluvial .....	24
2.3.3.	Vento.....	25
2.4.	Salinidade.....	25
2.5.	Classificação estuarina.....	26
3.	Área de Trabalho .....	30
3.1.	Porto Seguro .....	30
3.2.	Rio Buranhém .....	34
4.	Materiais e Métodos .....	36
4.1.	Dados meteorológicos.....	42
4.2.	Dados hidrológicos .....	43
4.3.	Salinidade, temperatura, densidade e altura da coluna d'água .....	43
4.4.	Perfil longitudinal de Salinidade.....	46
4.5.	Velocidade e profundidade .....	48
4.6.	Derivadores .....	52

4.7. Classificação do estuário .....	54
4.8. Número de Richardson por camada.....	55
4.9. Filtragem dos dados .....	56
5. Resultados e Discussão.....	58
5.1. Campanha intensiva .....	58
5.1.1. Dados meteorológicos .....	58
5.1.2. Dados hidrológicos .....	62
5.1.3. Temperatura, salinidade e oscilação vertical .....	63
5.1.4. Densidade da água .....	69
5.1.5. Perfil longitudinal de salinidade .....	70
5.1.6. Velocidade .....	73
5.1.7. Número de Richardson por camada .....	82
5.1.8. Classificação do estuário.....	84
5.1.9. Derivadores .....	87
5.2. Monitoramento Contínuo.....	90
6. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	99
Referências .....	102

# 1. Introdução

Áreas litorâneas ou próximas destas estão entre as regiões de maior densidade demográfica no Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013). Devido à própria história de ocupação do território brasileiro que se deu inicialmente nas regiões costeiras, por causa da maior facilidade de acesso da metrópole, Portugal, com a colônia, Brasil. Mostrando que as regiões costeiras são importantes até hoje devido facilidade de acesso, como também, por causa das atividades relacionadas a lazer e navegação, por exemplo.

Portanto, as áreas litorâneas brasileiras apresentam uma maior população, que aumenta a vulnerabilidade desses locais, e, no contexto de mudanças climáticas, as regiões costeiras serão mais afetadas com a elevação do nível do mar.

Um dos ambientes mais importantes das regiões costeiras são os estuários, que são corpos d'água semifechados com uma conexão aberta para o oceano, no qual há a mistura da água continental, doce, com a água salgada, que é proveniente do oceano adjacente (CAMERON; PRITCHARD, 1963 apud PEREIRA et al., 2010). Esses ambientes prestam uma série de serviços ecossistêmicos, como berçário para a vida; proteção costeira; purificação da água, sequestro de carbono etc.

Os estuários são ambientes vulneráveis a ação humana, pois, normalmente, esses locais são via de acesso para o interior do continente, corpo receptor de efluentes naturais e industriais, e apresentam ocupação desordenada (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002, PEREIRA et al., 2010). Para minimizar a vulnerabilidade desses ambientes, é necessário propor medidas de prevenção a impactos negativos.

Um dos enfoques desses estudos é a hidrodinâmica – ou o movimento da água do estuário, que por sua vez depende de processos continentais (como a vazão fluvial), atmosféricos (ex: ventos e chuvas) e oceânicos (como marés e ondas em geral) em diferentes escalas espaço-temporais. Outras características do meio influenciam a hidrodinâmica, tais como a geomorfologia, climatologia, condições de tempo e o grau de antropização. Quando as águas do estuário se movem, levam consigo nutrientes, sedimentos, organismos, poluentes. Por exemplo, a depender da hidrodinâmica estuarina – além de outros processos, pode-se inferir qual será o destino e em qual concentração determinado poluente será transportado, seja para o oceano, seja para o continente.



Esta dissertação pretende contribuir para o estudo da hidrodinâmica do estuário do rio Buranhém (Porto Seguro, BA) através de medidas diretas. Essa dissertação está estruturada da seguinte forma: no Capítulo 1, são abordados os objetivos, seguidos pela justificativa do trabalho. No Capítulo 2, há uma revisão bibliográfica sobre estuários, suas principais forçantes e critérios de classificação sob o aspecto físico. A seção seguinte apresenta a climatologia do município de Porto Seguro e as características hidrodinâmicas e dados de campo anteriores do estuário do Buranhém. No Capítulo 4, é descrito como foram obtidos os dados meteorológicos, hidrológicos, físicos (salinidade, temperatura, nível da água, velocidade), além da metodologia de campo e de processamento dos dados. Em seguida (Capítulo 5), são apresentados e discutidos os resultados obtidos no ano de 2015, sendo esse capítulo subdividido em duas partes: dados da campanha intensiva e do monitoramento contínuo de seis meses. Finalmente, as principais conclusões e considerações desta dissertação são apresentadas no Capítulo 6, juntamente com as recomendações para trabalhos futuros.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Contribuir para a compreensão do comportamento hidrodinâmico do estuário do rio Buranhém, Porto Seguro – BA.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Contribuir para a compreensão da influência de forçantes atmosféricas, continentais e oceanográficas sobre a hidrodinâmica da área de estudo;
- Analisar as variações espaço-temporais de temperatura, salinidade, densidade, oscilação da superfície livre da água<sup>1</sup> e velocidade no estuário sob condições de marés de quadratura e sizígia a partir de referenciais eulerianos e lagrangeanos;
- Caracterizar a estratificação vertical e longitudinal de salinidade;

---

<sup>1</sup> Oscilação da superfície livre da água: é utilizada no lugar de “oscilação da superfície livre do mar”, pois a área de estudo é um ambiente estuarino e, portanto, observa-se a presença de águas doces, salobras e salgadas. Assim, as variações de nível da água dependerão dos processos hidrodinâmicos como vazão fluvial e movimento de água marinha.

- Determinar o grau de estratificação da coluna d'água pelo Número de Richardson por camada;
- Classificar o estuário de acordo com o Diagrama de Hansen-Rattray.

## 1.2. Justificativa

Além da grande extensão costeira, o Brasil apresenta uma distribuição demográfica bastante heterogênea no seu litoral. A maior concentração populacional ocorre nas capitais dos estados que, por sua vez, encontram-se majoritariamente na faixa litorânea. Desta forma, uma série de impactos negativos da ação humana no ambiente se manifesta nas zonas costeiras, como o lançamento indiscriminado de esgotos sem tratamento adequado e de resíduos diversos, assoreamento de corpos d'água, perda de biodiversidade e aumento da vulnerabilidade costeira a eventos extremos, como inundações e deslizamentos. Em escala global e com diferentes respostas locais, destacam-se os efeitos de fenômenos como o aquecimento global, as mudanças climáticas e as consequências nos processos costeiros, como a elevação do nível do mar ao longo do litoral brasileiro, alteração no regime de ventos, precipitação, ondas, correntes e o aumento da vulnerabilidade em ambientes costeiros.

No Brasil, há uma carência de dados e de informações básicas que permitam a tomada de decisão em torno de medidas de prevenção, mitigação e adaptação, que de fato permitam uma gestão responsável da zona costeira brasileira. Exemplo disso é a baixa resolução espacial e temporal da variação do nível do mar e sua influência sobre zonas de inundação na costa brasileira. Aliado à falta de um referencial geodésico comum entre ambientes continentais e marinhos, amplifica-se o risco de uma parte considerável da sua população costeira sujeita a inundações, perdas econômicas, culturais, etc.

O sul da Bahia é caracterizado por riquezas diversas e também por desafios sociais, econômicos, ambientais, dentre outros. A cidade de Porto Seguro, localizada na região, também apresenta uma série de situações de conflito de uso do seu espaço físico, além de características ambientais diversas, como a presença de fragmentos de Mata Atlântica, manguezais, recifes/arenitos, o que justifica a presença de parques nacionais na região, assim como sua relativa proximidade ao Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Como regra na maior parte do litoral brasileiro, há carência de dados e de informações básicas na região, como é o caso do estuário do rio Buranhém – também conhecido popularmente por rio do Peixe, no município de Porto Seguro.

Assim, estudos sobre a hidrodinâmica da região são estratégicos, de modo a subsidiar estudos relacionados ao transporte de sedimentos, evolução morfológica, saneamento e processos ecológicos diretamente vinculados ao transporte de matéria e energia em suspensão na água, sob um olhar sistêmico, que envolva a bacia hidrográfica, seu estuário e a zona costeira. A área de estudo é o estuário do rio Buranhém, que desempenha vários serviços ecossistêmicos, como manancial de recursos hídricos, abrigo para espécies da fauna e flora, proteção costeira e depuração de compostos químicos oriundos do esgoto doméstico e da agropecuária. Por fim, os estudos hidrológicos no estuário do rio Buranhém são escassos, que justifica este trabalho, como o projeto “Diagnóstico e monitoramento ambiental do estuário do rio Buranhém, Porto Seguro, Bahia”, ao qual esta dissertação está vinculada.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1. Como e por que a água se movimenta?

A hidrodinâmica, ou a dinâmica da água, é o estudo dos movimentos dos fluidos (AZEVEDO NETO et al., 1998). Em ambientes estuarinos ocorre a interação entre movimentos das águas do mar e fluvial, além de efeitos atmosféricos sobre esses movimentos. Um dos principais meios de se observar suas variações se dá através de variáveis conservativas como a salinidade. Afinal, se a salinidade em uma determinada região estuarina diminui, supõe-se que seja devido ao retorno de águas salgadas em direção ao mar. Já o aumento de salinidade sugere a penetração de águas salgadas nos estuários. Tais movimentos dependem da variação relativa entre descarga fluvial, ondas (como as marés), ventos, além da geomorfologia da região de interesse, dentre outros processos.

Cavalcante, Feary e Kjerfve (2013) estudaram a influência das marés e da morfologia local na circulação e transporte de sal no estuário do rio Caeté, que se localiza na costa norte do Brasil. A principal forçante do local é maré, sendo esta classificada como macromaré (alturas entre 4 e 6 m). No período de chuvas, a vazão fluvial apresentou grande relevância nos processos hidrodinâmicos. Portanto, para analisar a influência da maré e da morfologia local, mediram-se, em três locais diferentes, a velocidade, temperatura e salinidade durante 13 h, o que corresponde a um tempo de medição ligeiramente maior do que o período de um ciclo de maré semidiurna (12 h 25 min) do local. Para medir a velocidade da água, utilizou-se ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*); para estimativa da salinidade e temperatura, um CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*). Como resultado, encontraram assimetria entre a vazante e a enchente devido à morfologia local e classificaram o estuário como bem misturado quanto a sua estratificação vertical de salinidade e velocidade.

Outro exemplo de estudo hidrodinâmico em estuário foi realizado no estuário Konkouré, localizado na República da Guiné (país da África Ocidental). Nesse local, a hidrodinâmica se relaciona a salinidade, a vegetação de mangue, a maré, a vazão fluvial, a sedimentação. Como objetivo de entender o processo de sedimentação do local, Capo et al.(2009) utilizaram dados de batimetria, de sedimentos, de corrente, de elevação da água e de salinidade. Como resultado, encontraram correlação entre a concentração de sedimentos

suspensos e a velocidade da corrente, sendo a máxima concentração após a máxima velocidade, tanto no período de vazante como de enchente. Portanto, o estudo da hidrodinâmica dos estuários é complexo e busca compreender como funcionam as interações entre as forçantes físicas com efeitos locais e remotos.

Kakoulaki, MacDonald e Horner-Devine (2014) utilizaram derivadores de superfície com o objetivo de verificar o papel dos ventos no movimento e trajetória da pluma do rio Merrimack, localizado a nordeste dos Estados Unidos. Esses autores verificaram que a pluma foi sensível ao vento, alterando a trajetória, com ventos com intensidades maiores que  $4 \text{ m.s}^{-1}$ .

## 2.2. Estuários

Estuários são ambientes costeiros semifechados com uma conexão aberta para o oceano, no qual há a mistura da água continental, doce, com a água salgada, que é proveniente do oceano adjacente, ou seja, o estuário é um ambiente que há a conexão entre o continente e o oceano (CAMERON; PRITCHARD, 1963 apud PEREIRA et al., 2010; Figura 1). Portanto, os estuários são ambientes de transição entre o continente e o oceano. O limite superior do estuário é determinado pelo ponto mais distante a partir da costa da desembocadura em que a água salgada pode ser detectada (BROWN et al., 2006).

Esses ambientes são subdivididos em três partes (KJERFVE, 1987, apud MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002):

**Zona de Maré do Rio:** parte do rio que apresenta salinidade praticamente nula com influência da maré, salinidade menores que 1 ups;

**Zona de Mistura:** onde há a mistura da água fluvial (doce) com a água do mar (salgada), salinidade varia de 1 até 35 ups;

**Zona Costeira:** região costeira adjacente limitada pela Camada Limite Costeira, que é o limite da frente da pluma estuarina.

Loitzenbauer e Mendes (2011) utilizaram a salinidade como indicador da estrutura do ecossistema estuarino, ou seja, indicador para os limites do estuário. Esses autores propõem como limite superior, cabeceira, do estuário (zona de mistura) a salinidade de 0,5 ups, pois é o limite inferior de salinidade para águas salobras. Esse limite inferior para água salobra é o indicado pela Resolução CONAMA 357 de 2005.

Entretanto, os estuários são altamente dinâmicos com mudanças constantes em respostas à vazão fluvial, à maré, ao vento, à diferença de salinidade da água doce e salgada (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002). Ou seja, não há um estuário estático, e sim, um ambiente complexo com interação não linear da maré, vazão fluvial, vento, corrente, batimetria, diferença de densidade (HARDISTY, 2007).

### 2.3. Forçantes físicas

A dinâmica de um estuário depende de várias forçantes (Figura 1) como a maré, a vazão do rio, condições atmosféricas (como ventos, precipitação) e geomorfologia local (BECKER; LUETTICH JR.; MALLIN, 2010). Ou seja, os estuários sofrem influências das forçantes físicas que ocorrem na bacia e no oceano adjacente, que influenciam em duas variáveis importantes do estuário: a salinidade (intrusão salina), estrutura de circulação, movimentação no estuário.

De acordo com Miranda, Castro e Kjerfve (2002), os movimentos no estuário são gerados por variação do nível do mar, descarga fluvial, gradientes de pressão devido à influência termohalina da salinidade sobre a densidade, vento agindo sobre a superfície livre.

Assim, a velocidade longitudinal instantânea pode ser decomposta em componentes de acordo com a sua natureza pela equação 1 (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002; PEREIRA et al., 2010; D'AQUINO, 2011a):

$$u(x, z, t) = u_a(x) + u_t(x, t) + u_s(x, z) + u'(x, z, t) \quad (1)$$

- $u_a(x)$ : componente devido à contribuição fluvial. O valor médio durante os ciclos completos da maré gera um movimento sempre estuário abaixo, em direção à desembocadura;
- $u_t(x, t)$ : componente barotrópica. Resultado do efeito dinâmico da maré, que sendo proporcional com a inclinação gerada na superfície livre, portanto, independe da profundidade;
- $u_s(x, z)$ : componente baroclínica. Há geração de um gradiente horizontal da densidade provocado pela distribuição longitudinal de salinidade (densidade), resultado da diluição da água do mar pela descarga fluvial. A componente baroclínica gera movimentos estuário acima, sendo sua intensidade aumentar com a profundidade;

- $u'(x,z,t)$ : uma componente residual, que pode ser gerada por outras forças causadora de movimento, como o vento.

Portanto, há uma interação dinâmica entre as forças produzidas pela descarga fluvial, estuário afora, e pela maré, tanto para fora quanto para dentro.

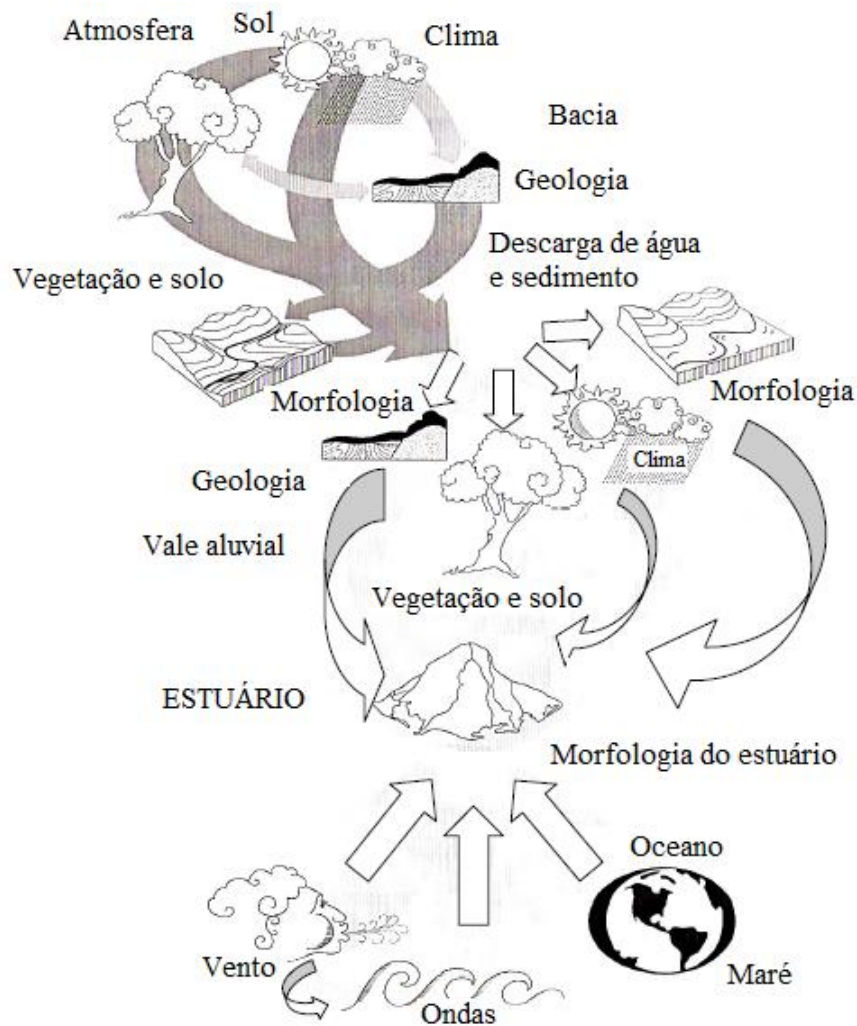


Figura 1: Processos e forças locais e remotas em ambientes estuarinos.

Fonte: Miranda, Castro e Kjerfve(2002).

### 2.3.1. Maré

Há diferentes tipos de movimentos nos estuários: difusos, que são movimentos microscópicos e aleatórios; e os advectivos, que são movimentos macroscópicos que auxiliam na mistura da coluna d'água e dispersão de poluentes (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE,

2002). Esses são dependentes da combinação entre as principais forçantes físicas do local de estudo como a maré. As marés são, geralmente, o mais importante promotor de turbulência, o que favorece processos de mistura (BECKER; LUETTICH JR.; MALLIN, 2010; UNCLES; STEHENS, 2011).

As marés são movimentos horizontais ou verticais periódicos da água, que são resultados da atração gravitacional e da força centrífuga entre a Terra e a Lua, e entre a Terra e o Sol, denominadas de marés astronômicas, de caráter determinístico (HARDISTY, 2007). Quando o Sol e a Lua estão na mesma linha em relação ao planeta Terra, ocorrem marés com maior variação de altura da água (diferença entre a máxima elevação e a mínima), denominadas de marés de sizígia e resultam em maiores variações nas magnitudes das correntes de maré. Quando o Sol e a Lua formam com a Terra um ângulo de  $90^\circ$ , há a formação de marés com menores variações do nível da água, denominadas de marés de quadratura (NUNES, 2007) e, portanto, correntes de maré menos intensas. Ao se consultar uma tábua de marés, ali está contida apenas a influência das marés astronômicas sobre o nível do mar em escala temporal de horas. Portanto, podem ocorrer diferenças entre a maré prevista e a observada, pois podem se sobrepor efeitos não previsíveis sobre o nível da água. São as chamadas marés meteorológicas, de comportamento estocástico, que são geradas pela interação entre o oceano e a atmosfera da Terra. Por exemplo, a atuação do vento e da pressão atmosférica sobre a água podem gerar variações no nível d'água (NUNES, 2007; HARDISTY, 2007) e, a depender da definição, podem ser incluídos todos os fenômenos que promovem variação do nível do mar, incluindo a ocorrência de tsunamis e outros efeitos tectônicos, que apresentam escalas maiores de tempo, que fogem ao escopo deste trabalho.

As marés também são classificadas de acordo com a variação da sua altura. Portanto, se a variação da maré for maior que 6 m, a maré é denominada hipermaré; se entre 4 e 6 m, macromaré; se for entre 2 e 4 m, mesomaré; e quando menor do que 2 m, micromaré (DAVIES, 1964 apud MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

Na propagação da onda de maré, quando a elevação da superfície livre está em fase com a velocidade caracteriza uma onda progressiva; quando há uma diferença de fase de  $90^\circ$  caracteriza uma onda estacionária, mas quando há uma situação intermediária as duas anteriores, há uma onda mista. Portanto, o momento de estofa (velocidade próxima de zero, em que há mudança das correntes de enchente para vazante e vice-versa) coincide com baixamar e preamar nas ondas estacionárias; porém, nas ondas progressivas, a estofa está no



momento intermediário entre a baixa-mar e a preamar da maré (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002; LEVINSON, 2010).

### **2.3.2. Descarga fluvial**

A descarga fluvial é a quantidade de água doce que chega ao estuário, que é resultado dos processos de balanço hídrico da bacia hidrográfica, que considera a precipitação, infiltração, evapotranspiração, entre outros processos (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002, ver Figura 1). Com a crescente retenção da água superficial em barragens, seja para abastecimento ou para geração de energia elétrica, a quantidade – sem falar na qualidade dessa água, impactada pelo descarte de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, por exemplo – cada vez menor de água que chega aos ambientes estuarinos tem causado a salinização de regiões costeiras.

Há, normalmente, uma diferença de densidade entre a água doce e salgada, sendo, de modo geral, a primeira menos densa por apresentar uma menor salinidade e a segunda mais densa. Quando há um aumento da vazão fluvial em relação à influência das marés, intensifica-se a estratificação vertical de sal e pode gerar um gradiente longitudinal de densidade, devido às diferenças de densidade entre a água doce e a salgada (BECKER; LUETTICH JR.; MALLIN, 2010; UNCLES; STEHENS, 2011). A partir do encontro da água doce com outras massas de diferentes salinidades, como salobras e salgadas, pode ser gerada a componente longitudinal da força de gradiente de pressão dita baroclínica, com a geração de gradientes horizontais e/ou verticais de sal. Em combinação ou não com os efeitos baroclínicos, também podem ocorrer variações na hidrodinâmica devido à componente barotrópica da força longitudinal do gradiente de pressão, originada a partir da geração de gradientes de pressão na água em que não haja necessariamente diferenças em relação ao campo de densidade da água.

Portanto, quando há o encontro do rio com o oceano, a vazão fluvial dilui a água salgada, que pode resultar em gradientes longitudinais de salinidade, de densidade e de temperatura no estuário, como também pode gerar um gradiente vertical dessas variáveis na coluna d'água (O'CALLAGHAN; PATTIARATCHI; HAMILTON, 2007).

### **2.3.3. Vento**

O vento é uma forçante com efeito tanto local como remoto (Figura 1) que, juntamente com os demais processos citados, ajudam a determinar o grau de estratificação vertical de sal, assim como a circulação do estuário, a intrusão salina (entrada de água salgada) e muitas concentrações de componentes importantes ecologicamente como o oxigênio dissolvido. Ou seja, o vento é uma forçante que auxilia na aeração do corpo d'água como também no eventual enfraquecimento ou eliminação da estratificação vertical (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002; BECKER; LUETTICH JR.; MALLIN, 2010; UNCLES; STEHENS, 2011).

O vento pode provocar alterações no nível da água, pois há transferência de energia e momento das massas de ar para a massa da água em qual o vento causa influência (NUNES, 2007). No entanto, o vento pode causar efeito sobre o estuário de duas maneiras: pelo efeito local ou remoto. O primeiro é quando os ventos atuam diretamente sobre o local de interesse, causando variações no nível da água. Variações na pressão atmosférica também podem contribuir para variações no nível do mar, a partir do fenômeno conhecido como “barômetro invertido”. Já o efeito remoto pode ser observado a partir da atuação de sistemas atmosféricos, como frentes, em locais “distantes” da área de interesse, mas afetada remotamente por esses sistemas. Em Oceanografia, um dos efeitos remotos mais observados é o chamado transporte de Ekman, em que ventos paralelos à costa excitam com mais intensidade o nível do mar e magnificam o transporte de massa e energia com mais vigor do que sob ventos perpendiculares à zona costeira. Efeitos remotos tendem a se intensificar quanto maiores às áreas superficiais dos ambientes estuarinos, assim como maior a latitude em que esses estuários se encontram.

## **2.4. Salinidade**

A salinidade pode afetar a qualidade da água superficial e subterrânea, assim como a fauna e flora aquáticas. Portanto, a salinidade é utilizada como indicador geral da dinâmica estuarina, como também da qualidade da água para distribuição de organismos em estudos sobre a diluição e uso da água (NGUYEN; UMEYAMA; SHINTANI, 2012). No Brasil, a resolução CONAMA 357/05 classifica as águas de acordo com a salinidade dividindo em três grupos: doce, salobra e salgada, para cada grupo, há os possíveis usos da água (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

A distribuição quantitativa da salinidade e seu comportamento é utilidade para interpretação das características físicas, químicas, biológicas e ecológicas do estuário; por exemplo, o sal tem papel importante na modificação da densidade da água, pois quanto mais sal apresenta a água, maior será sua densidade (UNCLES; STEHENS, 2011). Além disso, trata-se de uma variável conservativa que, diferentemente de bioindicadores, nesse caso se considera que não há fontes ou sumidouros de sal no sistema estuarino.

A intrusão salina é determinada, principalmente, pela variação relativa entre a vazão fluvial, a maré, e a geometria do estuário. Mais recentemente, deve-se incluir também a influência antrópica nesses ambientes e mesmo a montante dos mesmos, como na alteração hidrológica para os diversos usos da água, como em barramentos. No entanto, a distribuição de salinidade também apresenta variações temporais significativas de acordo com o tipo de maré, isto é, se de sizígia ou quadratura, com o período da maré, se está no momento de vazante ou enchente, com ocorrência simultânea de variações na vazão fluvial e nos ventos, dentre outros. Portanto, a salinidade vai refletir a hidrodinâmica do estuário, sendo sua distribuição quantitativa fundamental para se interpretar a circulação no estuário (NGUYEN et al., 2008; BECKER; LUETTICH JR.; MALLIN, 2010; NGUYEN; UMEYAMA; SHINTANI, 2012).

## 2.5. Classificação estuarina

O melhor indicador físico da presença de água marinha é a concentração de sais na água, conhecida como salinidade, e que pode ter repercussão em diferentes aspectos da dinâmica estuarina e da sua inter-relação com o ambiente costeiro adjacente. De acordo com o gradiente vertical de sal se define o tipo do estuário, pois Dyer (1973 apud D'AQUINO et al., 2011a) definiu três tipos de estuários: cunha salina, parcialmente misturado ou bem misturado:

- **Cunha salina:** são aqueles que apresentam a vazão de água doce bem maior que o prisma de maré, ou seja, são regiões que têm uma grande descarga de água fluvial e regime de micro maré. Por essa situação, não há uma mistura na coluna d'água e há uma acentuada estratificação de salinidade (haloclina) na interface entre a água doce e salgada, pois esse tipo de estuário apresenta fraca turbulência produzida pela maré (ÁVILA, 2013);

- **Parcialmente misturado:** há um equilíbrio entre a forçante fluvial e marinha, assim, o movimento da água doce ocorre na parte superficial e da água marinha no fundo ocasionando um movimento unidirecional e em sentido opostos;
- **Bem misturado:** estuários que apresentam uma entrada mais significativa de água salgada em comparação com a água doce. Como isso, a maré gera uma difusão turbulenta; portanto, há uma ausência de haloclina (PRITCHARD, 1955 apud SILVA, 2010; D'AQUINO et al., 2011b).

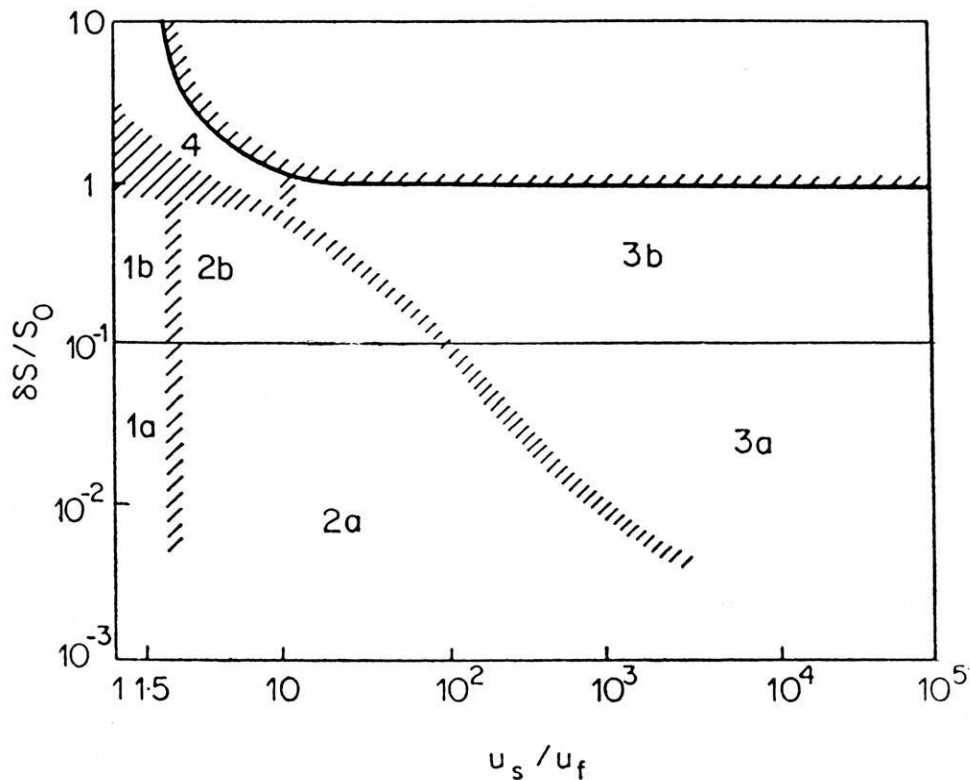


Figura 2: Diagrama de Circulação-Estratificação  
 Fonte: Hansen e Rattray, 1966 (apud MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002)

A classificação do estuário pode ser feita pelo diagrama de Hansen-Rattray (1966 apud DYER, 1997) que utiliza parâmetros de estratificação da salinidade, expressa pela razão entre a diferença de salinidade entre o fundo e a superfície com a salinidade média, e de circulação, razão entre as velocidades residual de superfície e velocidade gerada pela descarga fluvial (Figura 2). Essa classificação apresenta os seguintes tipos de estuário:

**Tipo 1: estuário bem misturado**, no qual o transporte de sal estuário acima é por difusão;

**Tipo 2: estuário parcialmente misturado**, em que tanto o processo de difusão como de advecção são importantes;

**Tipo 3: estuário do tipo fiorde**, com predominância do transporte advectivo em relação a difusão turbulenta;

**Tipo 4: estuário cunha salina**, em que ocorre estratificação máxima da salinidade, com predomínio da forçante fluvial.

Nos tipos 1, 2 e 3, há uma subdivisão em Tipo a e Tipo b, sendo que o Tipo a indica uma condição menos estratificada que a condição Tipo b.

Além dos parâmetros de circulação e estratificação determinados por Hansen e Rattay em 1966, é possível determinar o grau de estratificação na coluna d'água pelo número de Richardson por camada, que há uma comparação entre a força que produz a homogeneização na coluna d'água, mistura, e a força de estabilização, que ocasiona a estratificação, formação de camadas (CAVALCANTE; FEARY; KJERFVE, 2013; D'AQUINO et al., 2011a).

Outra metodologia de classificação do estuário é feita por Geyer (2010 apud GEYER; MACCREADY, 2014), que se propõe calcular o número de Froude fluvial ( $Fr_f$ ), que obtido pela equação 2, e o parâmetro de mistura (M), que é calculado pela equação 3:

$$Fr_f = \frac{U_R}{(\beta g S_{\text{oceano}} H)^{1/2}} \quad (2)$$

Onde:

$Fr_f$ : Número de Froude fluvial;

$U_r$ : Velocidade gerada pela descarga fluvial;

$\beta$ : coeficiente médio de contração salina ( $\approx 7,7 * 10^{-4}$ );

$g$ : aceleração da gravidade;

$S_{\text{oceano}}$ : salinidade da água do oceano;

$H$ : profundidade.

$$M^2 = \frac{C_D U_T^2}{\omega \left( \frac{\beta g s_{\text{oceano}}}{H} \right)^{1/2} H^2}$$

(3)

Onde:

M: Parâmetro de mistura;

$C_D$ : valor que varia entre  $1 \cdot 10^{-3}$  a  $2,5 \cdot 10^{-3}$ ;

$U_T$ : amplitude da média da velocidade da maré;

$\omega$ : frequência da maré;

$\beta$ : coeficiente médio de contração salina ( $\approx 7,7 \cdot 10^{-4}$ );

$g$ : aceleração da gravidade;

$s_{\text{oceano}}$ : salinidade da água do oceano;

H: profundidade.

Através o número do Froude fluvial ( $Fr_f$ ) e do parâmetro de mistura (M), pode-se classificar o estuário em Cunha Salina; Fortemente Estratificado; Estratificação Periódica; Parcialmente Estratificado; Bem Misturado; Fjord; Baía.

O estuário também pode ser classificado através da maré, ou seja, pela interação entre a propagação da maré e a morfologia do estuário. Pode haver a convergência ocasionada pelas margens do estuário que comprime lateralmente a maré, que pode provocar o aumento da altura dessa; e o atrito com as laterais do estuário pode dissipar energia, podendo diminuir a altura da maré. De acordo com o balanço destas duas influências, o estuário pode ser classificado como (DYER, 1997; MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002):

**Hipersíncrono:** a convergência é maior que a fricção (atrito), isso faz com que a altura da maré e as correntes aumentam na direção a montante do rio até a zona de maré do rio, região com salinidade praticamente nula que apresenta influência da maré.

**Síncrono:** a convergência é igual à fricção, como consequência a altura da maré e as correntes permanecem constantes na direção a montante do rio até a zona de maré do rio.

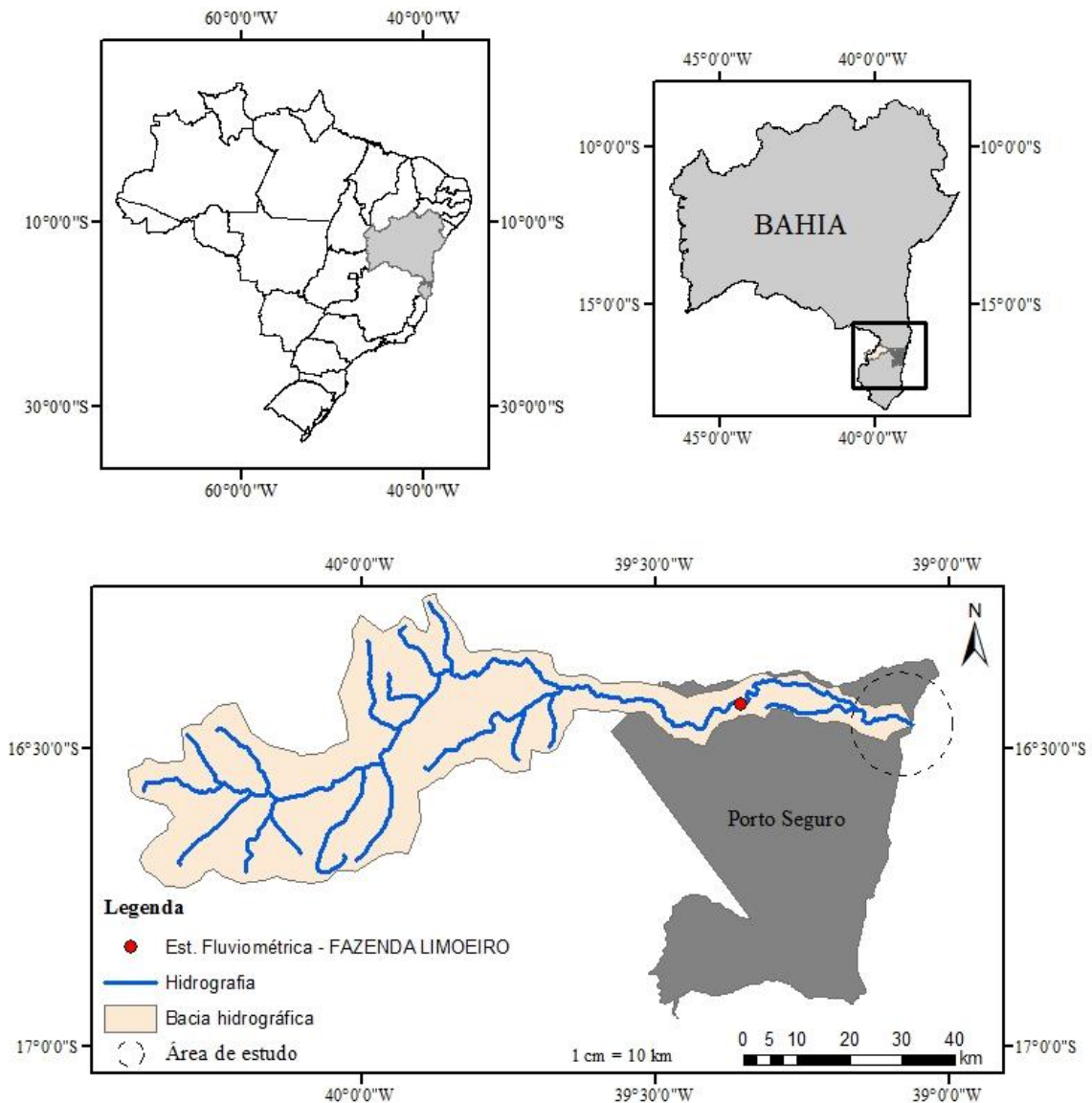
**Hipossíncrono:** a convergência é menor que a fricção, como efeito, a altura da maré diminui na direção que adentra ao estuário.

A classificação do estuário pode se alterar de acordo com a escala de espaço, de tempo, de observação, como a escala de horas, dias a meses etc., pois essas regiões são locais dinâmicos (D'AQUINO et al., 2011a).

### 3. Área de Trabalho

#### 3.1. Porto Seguro

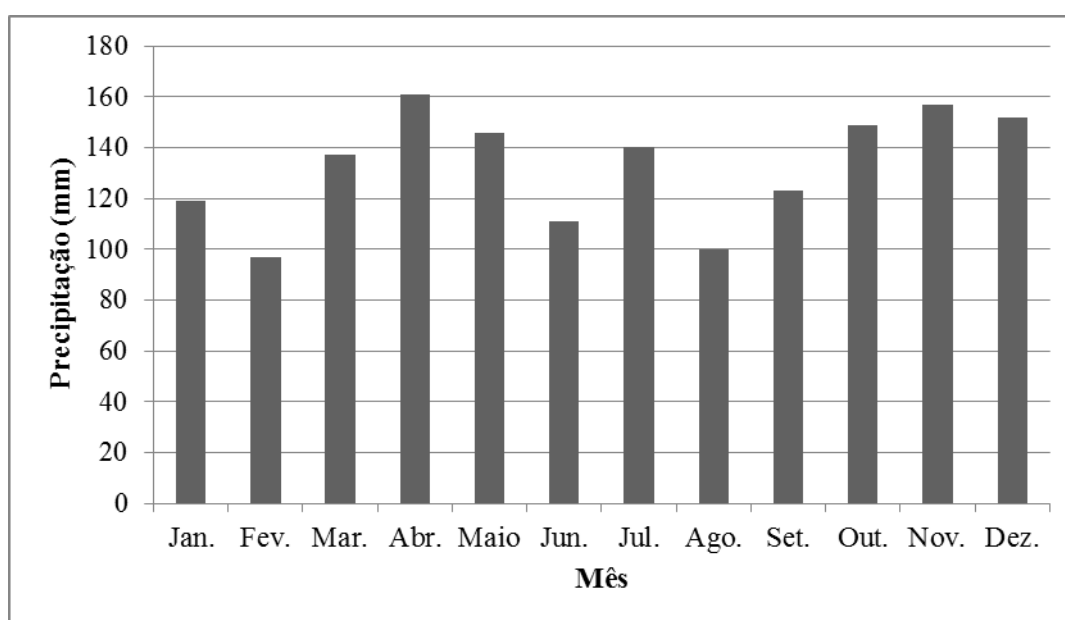
O município de Porto Seguro se localiza no extremo sul do estado da Bahia, fazendo fronteira com Santa Cruz Cabrália, Prado, Itabela, Itamaraju e Eunápolis, e a leste com o Oceano Atlântico (CERQUEIRA NETO, 2012; Figura 3). Sua altitude máxima é de 49 m, com coordenadas: 16°26'59" S 39°03'53" O, área total de 2.408,5 km<sup>2</sup> e a uma distância da capital da Bahia (Salvador) de aproximadamente 700 km (SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA, 2014).



Fonte: Agência Nacional das Águas (ANA), sem data.

Figura 3: Localização do estuário do rio Buranhém, Porto Seguro – BA.

Segundo Carvalho (2008), o regime pluviométrico médio anual do extremo sul da Bahia, onde se localiza o município de Porto Seguro, é de aproximadamente 1.787 mm, podendo chegar a 2.307 mm, especialmente entre os meses de março a maio. A partir da distribuição de chuvas mensais para a cidade de Porto Seguro (Figura 4), obtém-se uma precipitação média anual acumulada de 1.592 mm (LAMAS et al., 2014), valor menor do que indicado por Carvalho (2008) para a região do extremo sul da Bahia. O clima da região é do tipo tropical úmido (Af), pela classificação de Köppen. Não há estações secas definidas, pois todas as médias mensais de precipitação são superiores a 60 mm, além de serem observadas temperaturas médias do mês mais frio do ano superiores a 18°C; assim, na região, não há uma estação invernal (PEREIRA, 2008).



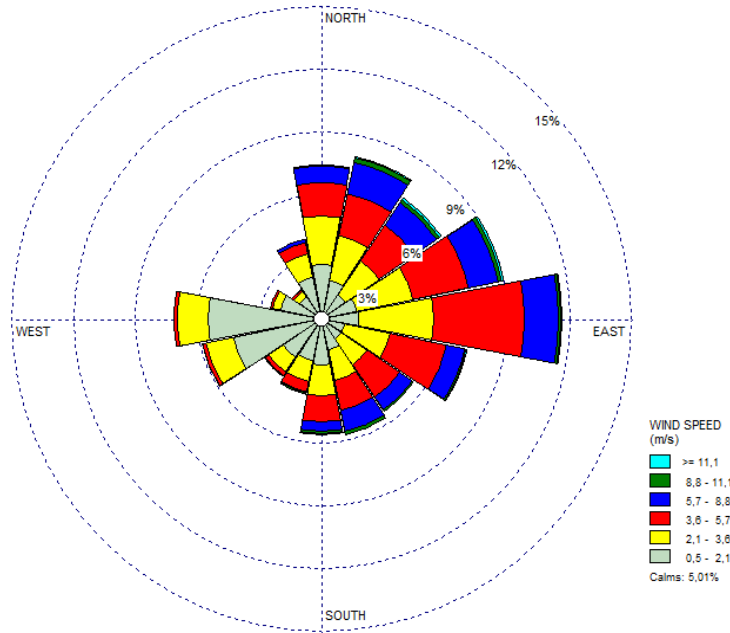
Fonte: Adaptado de Lamas et al., 2014

Figura 4: Média histórica mensal da precipitação (mm) para o município de Porto Seguro, Bahia.

A partir da análise dos dados de vento do aeroporto de Porto Seguro, disponíveis no banco de dados da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET, <http://www.redemet.aer.mil.br/>), de 25 de novembro de 2002 a 14 de agosto de 2010, a região apresenta ventos predominantes de leste e intensidade predominante entre 2 e 6 m/s e calmarias em torno de 5% do período analisado (Figura 5). Com os dados de 25 de novembro de 2002 a 24 de agosto de 2016, porém, somente para os meses de junho a dezembro, a região apresenta ventos predominantes de nordeste (Figura 6).



A partir da análise dos dados de vento do aeroporto de Porto Seguro, disponíveis no banco de dados da REDEMETS, de 25 de novembro de 2002 a 19 de abril de 2014, também se verificou que os ventos se intensificam mais no mês de outubro (Figura 7) e entre 15 e 21 h (Figura 8).



Fonte: adaptado de REDEMETS (2016).

Figura 5: Rosa dos ventos para Porto Seguro no período de 25 de novembro de 2002 a 14 de agosto de 2010.

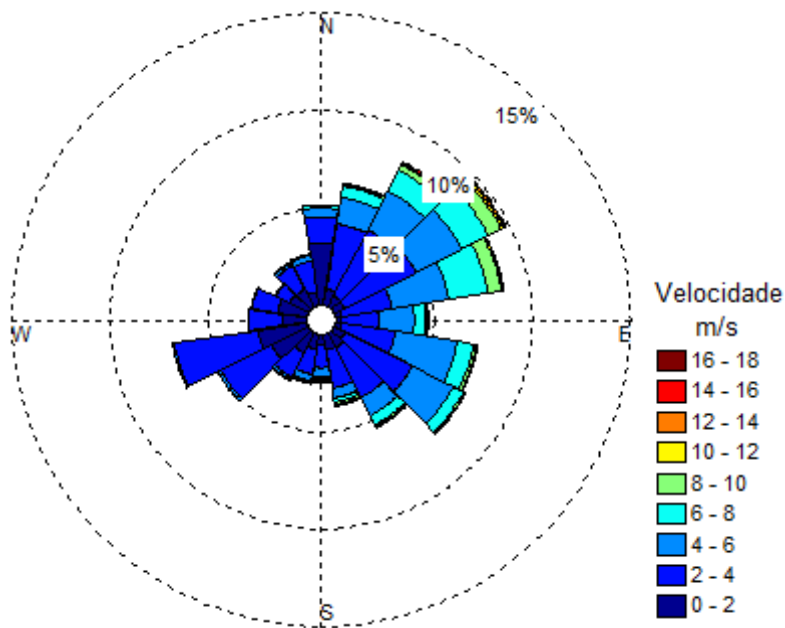
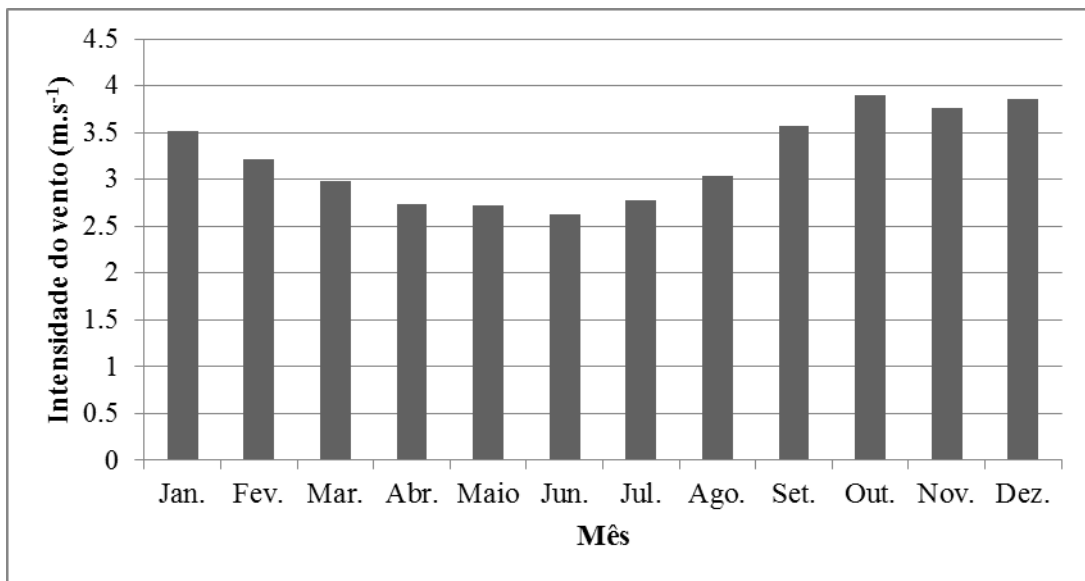
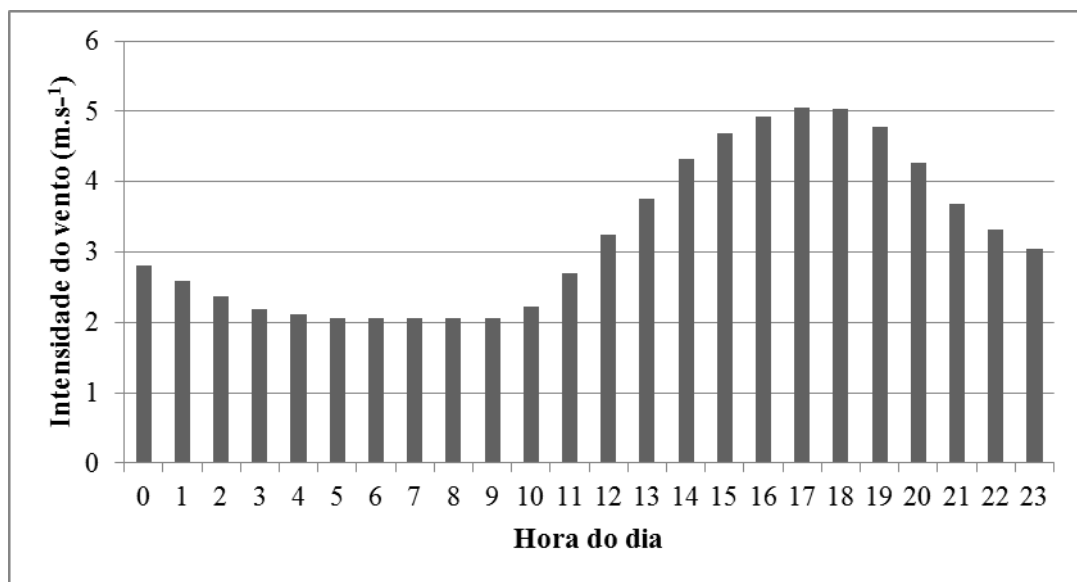


Figura 6: Rosa dos ventos dos meses de junho a dezembro a partir dos dados do aeroporto de Porto Seguro (BA) disponíveis na RedeMET do dia 25 de novembro de 2002 ao dia 24 de agosto de 2016. Porcentagem representa frequência dos dados



Fonte: adaptado de REDEMET (2014).

Figura 7: Distribuição da intensidade média mensal dos ventos (m.s<sup>-1</sup>) ao longo do ano para Porto Seguro no período de 25 de novembro de 2002 a 19 de abril de 2014



Fonte: adaptado de REDEMET (2016).

Figura 8: Distribuição da intensidade dos ventos ao longo do dia para Porto Seguro no período de 25 de novembro de 2002 a 19 de abril de 2014

### 3.2. Rio Buranhém

A bacia do rio Buranhém, ou rio do Peixe, localiza-se tanto no estado de Minas Gerais como na Bahia (CARVALHO, 2008, Figura 3). A nascente do rio é na Serra dos Aimorés, em Santo Antônio do Jacinto (MG), enquanto sua desembocadura está localizada no município de Porto Seguro. Seus afluentes são os córregos Sete Ranchos, Manoel Santos, São João do Sul, Itu e da Torre.

A Agência Nacional das Águas (ANA, 2016) possui uma estação fluviométrica, cujo nome é Fazenda Limoeiro, localizada no rio Buranhém, Porto Seguro – BA, com coordenadas  $16^{\circ} 25'30''$  S e  $39^{\circ} 21'12''$  O (Figura 3). Utilizaram-se os dados de vazão dessa estação de janeiro de 1973 a janeiro de 2015, sendo que de janeiro de 1973 a dezembro de 2005 são dados consistidos, os outros são dados brutos, para determinar a distribuição média mensal das vazões (Figura 9), obtendo uma vazão média de  $24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2002) estimou a vazão média do rio Buranhém no mesmo ponto e encontrou o valor de  $23,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , valor próximo ao estimado a partir da série histórica disponibilizada pela Agência Nacional das Águas (ANA).

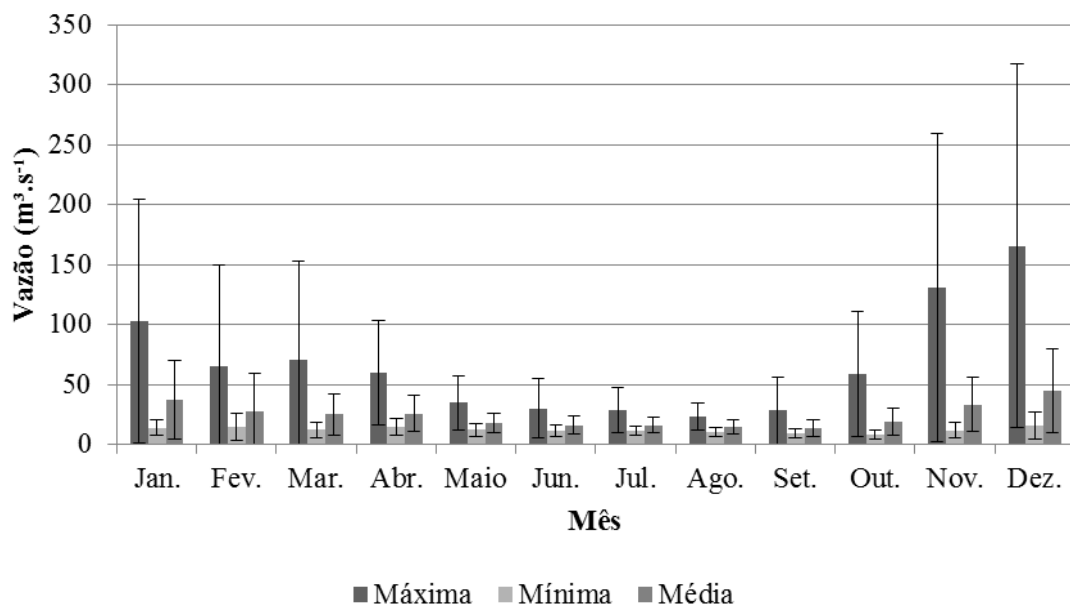


Figura 9: Vazão média diária no período de janeiro de 1973 a janeiro de 2015 da Fazenda Limoeiro, estação fluviométrica localizada no rio Buranhém, Porto Seguro – BA  
Fonte: Adaptado da AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2015

A partir da análise de cartas náuticas, especialmente a N<sup>o</sup> 1205 (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2000) e do estudo de Pereira et al. (2010) para os

estuários de Caravelas e Peruípe (ao sul de Porto Seguro, na região de Abrolhos), estima-se que a região está sujeita a um regime de micromaré a mesomaré astronômica, com variações do nível da água superiores a 2 m sob condições de marés de sizígia.

Uma feição morfológica de ainda mais destaque são os recifes/arenitos que, na desembocadura do rio Buranhém (Figura 10), têm um papel hidrodinâmico fundamental em uma série de processos, como direcionar a entrada e saída de água paralelamente à costa durante a maior parte do ciclo de maré. Com isso, contribuem para reduzir a eficiência hidráulica na promoção de uma depuração mais efetiva do rio e do seu estuário, ao restringir o contato entre águas continentais e marinhas e minimizar o efeito de mistura eventualmente promovido por ondas geradas pelo vento, notadamente nas marés baixas. Em efeito cascata, pode haver uma intensificação no acúmulo de sedimentos nessa região e provavelmente na deterioração da qualidade da água. Também se observa pela Figura 10 que a zona urbana de Porto Seguro fica ao norte do rio Buranhém. Além disso, um dos usos desse rio é ser utilizado como via de transporte entre Porto Seguro e Arraial d'Ajuda por meio de balsas.

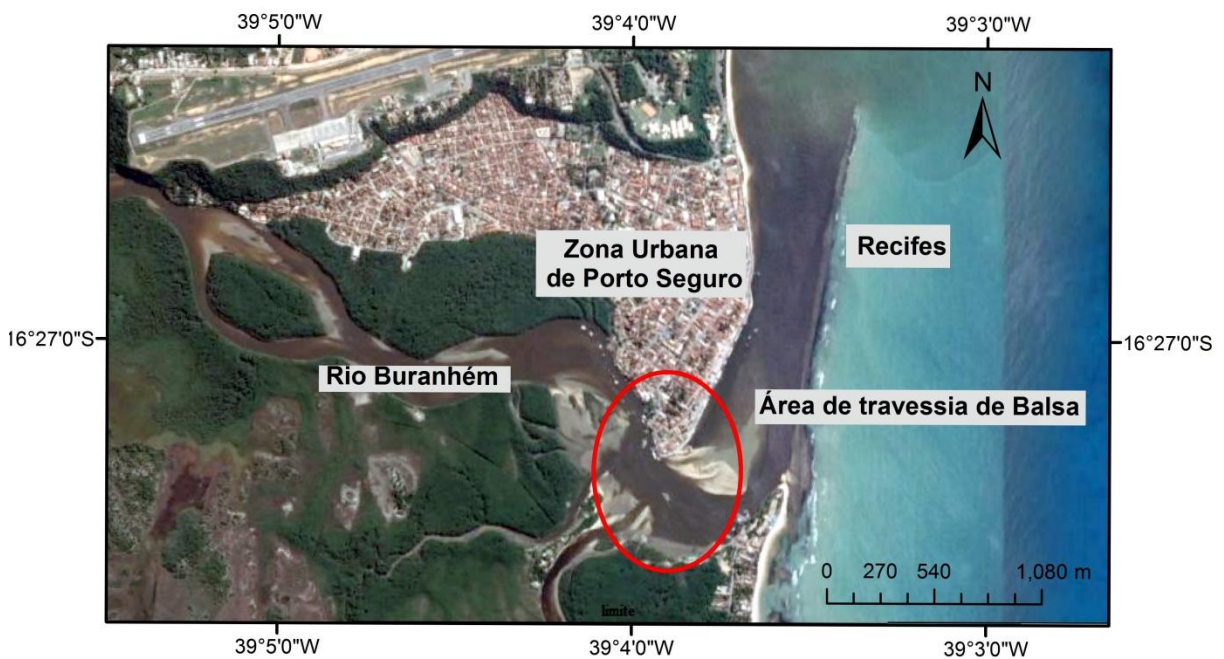


Figura 10: Estuário do rio Buranhém, Porto Seguro – BA.  
Fonte: Google Earth, 2015

## 4. Materiais e Métodos

Conforme já destacado em seções anteriores, dados ambientais da área de estudo são escassos. Como se pode verificar na Tabela 1, apenas dados atmosféricos e hidrológicos foram utilizados de terceiros. A partir de coletas realizadas no âmbito do projeto “Diagnóstico e monitoramento ambiental do estuário do rio Buranhém, Porto Seguro, Bahia” – ao qual esta dissertação está vinculada, foram obtidos dados oceanográficos a partir de duas estratégias complementares: i) monitoramento contínuo de temperatura, salinidade (ambos em superfície e fundo), além do nível da água e ii) campanha intensiva de coleta dos dados citados acima em outros dois pontos, assim como de velocidade, de 31 de julho (maré de sizígia) a 07 de agosto de 2015 (maré de quadratura; mais detalhes na Figura 11 e Tabela 1 e Tabela 2).

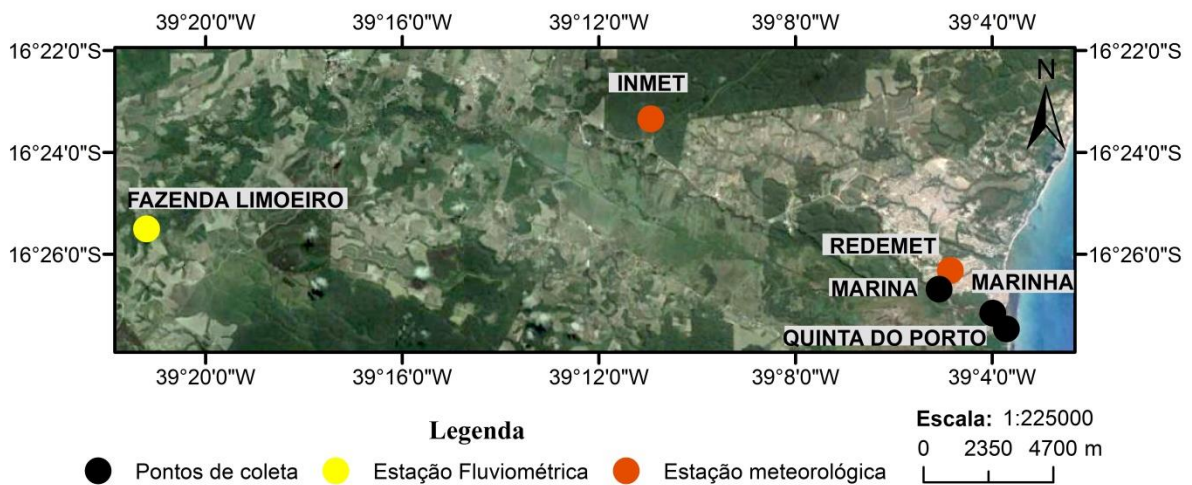


Figura 11: Localização dos pontos de coleta

Tabela 1: Síntese dos dados coletados

<b>Identificação do dado</b>	<b>Período considerado</b>	<b>Frequência Amostral</b>	<b>Coordenadas de coleta (Figura 11)</b>	<b>Tipo/marca/modelo de equipamento usado na coleta</b>	<b>Fonte de dados de terceiros</b>
<b>Precipitação</b>	31/07/2015 ao 07/08/2015	Horária	Lat.: 16.39° S Long.: 39.18° O	Não disponível	INMET
<b>Temperatura do ar</b>	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h	Horária	Lat.: 16° 26' 19'' S Long.: 39° 4' 51'' O	Não disponível	REDEMET
		Horária	Lat.: 16.39° S Long.: 39.18° O	Não disponível	INMET
<b>Vento</b>	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h.	Horária	Lat.: 16° 26' 19'' S Long.: 39° 4' 51'' O	Não disponível	REDEMET
		Horária	Lat.: 16.39° S Long.: 39.18° O	Não disponível	INMET
<b>Vazão</b>	18/06/2015 ao 18/12/2015	Diária	Lat.: 16° 25' 30'' S Long.: 39° 21' 12'' O	Curva-chave	ANA
<b>Temperatura da água - superfície</b>	18/06/2015 ao 18/12/2015	10 min	Marina Lat.16° 26' 41,1'' S Long.: 39° 5' 4,7'' O	DST CT – Marca Star Oddi - número de série S7508	Não se aplica
	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h	30 min	Marinha Lat.: 16° 27' 7,8'' S Long.: 39° 3' 59,3'' O	CT 267 - Modelo: ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica
		30 min	Quinta do Porto Lat.: 16° 27' 26,9'' S Long.: 39° 3' 42,7'' O	CT 269 - Modelo ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica

<b>Identificação do dado</b>	<b>Período considerado</b>	<b>Frequência Amostral</b>	<b>Coordenadas de coleta (Figura 11)</b>	<b>Tipo/marca/modelo de equipamento usado na coleta</b>	<b>Fonte de dados de terceiros</b>
<b>Temperatura da água - fundo</b>	18/06/2015 ao 18/12/2015	10 min	Marina Lat.16° 26' 41,1'' S Long.: 39° 5' 4,7'' O	DST CTD – Marca Star Oddi - número de série S7645	Não se aplica
<b>Temperatura da água – fundo</b>	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h	30 min	Marinha Lat.: 16° 27' 7,8'' S Long.: 39° 3' 59,3'' O	CTD 270 - Modelo ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica
		30 min	Quinta do Porto Lat.: 16° 27' 26,9'' S Long.: 39° 3' 42,7'' O	CTD 268 -Modelo ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica
<b>Salinidade da água - superfície</b>	18/06/2015 ao 18/12/2015	10 min	Marina Lat.16° 26' 41,1'' S Long.: 39° 5' 4,7'' O	DST CT – Marca Star Oddi - número de série S7508	Não se aplica
	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h	30 min	Marinha Lat.: 16° 27' 7,8'' S Long.: 39° 3' 59,3'' O	CT 267 - Modelo: ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica
		30 min	Quinta do Porto Lat.: 16° 27' 26,9'' S Long.: 39° 3' 42,7'' O	CT 269 - Modelo ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica

<b>Identificação do dado</b>	<b>Período considerado</b>	<b>Frequência Amostral</b>	<b>Coordenadas de coleta (Figura 11)</b>	<b>Tipo/marca/modelo de equipamento usado na coleta</b>	<b>Fonte de dados de terceiros</b>
<b>Salinidade da água - fundo</b>	18/06/2015 ao 18/12/2015	10 min	Marina Lat. 16° 26' 41,1'' S Long.: 39° 5' 4,7'' O	DST CTD – Marca Star Oddi - número de série S7645	Não se aplica
	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h	30 min	Marinha Lat.: 16° 27' 7,8'' S Long.: 39° 3' 59,3'' O	CTD 270 - Modelo ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica
		30 min	Quinta do Porto Lat.: 16° 27' 26,9'' S Long.: 39° 3' 42,7'' O	CTD 268 -Modelo ACTW - USB - Z - Marca: JFE Advantech	Não se aplica
<b>Altura da coluna d'água</b>	18/06/2015 ao 18/12/2015	10 min	Marina Lat. 16° 26' 41,1'' S Long.: 39° 5' 4,7'' O	DST CTD – Marca Star Oddi - número de série S7645	Não se aplica
<b>Altura da coluna d'água</b>	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h	30 min	Marinha Lat.: 16° 27' 7,8'' S Long.: 39° 3' 59,3'' O	ADP - Marca: Nortek Aquadopp Profiler e frequência: 1 MHz	Não se aplica
		30 min	Quinta do Porto Lat.: 16° 27' 26,9'' S Long.: 39° 3' 42,7'' O	ADP - Marca: Nortek Aquadopp Profiler e frequência: 1 MHz	Não se aplica
<b>Perfil longitudinal de salinidade</b>	31/07/2015 e 04/08/2015	--	--	Sonda multiparâmetro - Marca Hanna e modelos: HI8424 e HI9829-02202	Não se aplica



Identificação do dado	Período considerado	Frequência Amostral	Coordenadas de coleta (Figura 11)		Tipo/marca/modelo de equipamento usado na coleta	Fonte de dados de terceiros
<b>Velocidade da água</b>	12:30 h do dia 31/07/2015 até o dia 07/08/2015 às 13:30 h	30 min	Marinha Lat.: 16° 27' 7,8'' S Long.: 39° 3' 59,3'' O		ADP - Marca: Nortek Aquadopp Profiler e frequência: 1 MHz	Não se aplica
		30 min	Quinta do Porto Lat.: 16° 27' 26,9'' S Long.: 39° 3' 42,7'' O		ADP - Marca: Nortek Aquadopp Profiler e frequência: 1 MHz	Não se aplica
<b>Velocidade da corrente</b>	01/08/15 na maré vazante	10 s	Medida lagrangeano	Fundo	Derivador 1 - GPS Garmin	Não se aplica
				Fundo	Derivador 2 - GPS Garmin	Não se aplica
				Superf.	Derivador 3 - GPS Garmin	Não se aplica
				Superf.	Derivador 5 - GPS Garmin	Não se aplica

Como observado na Tabela 1, há diferentes instrumentos para medição de uma mesma variável em diferentes pontos, por questão logística, não foi feita a aferição dos instrumentos, ou seja, coloca-los no mesmo local e no mesmo horário e verificar se as medidas geradas pelos instrumentos eram iguais, verificando se eles estão com o mesmo padrão de medição.

Os dados coletados foram analisados de acordo com a Figura 12:

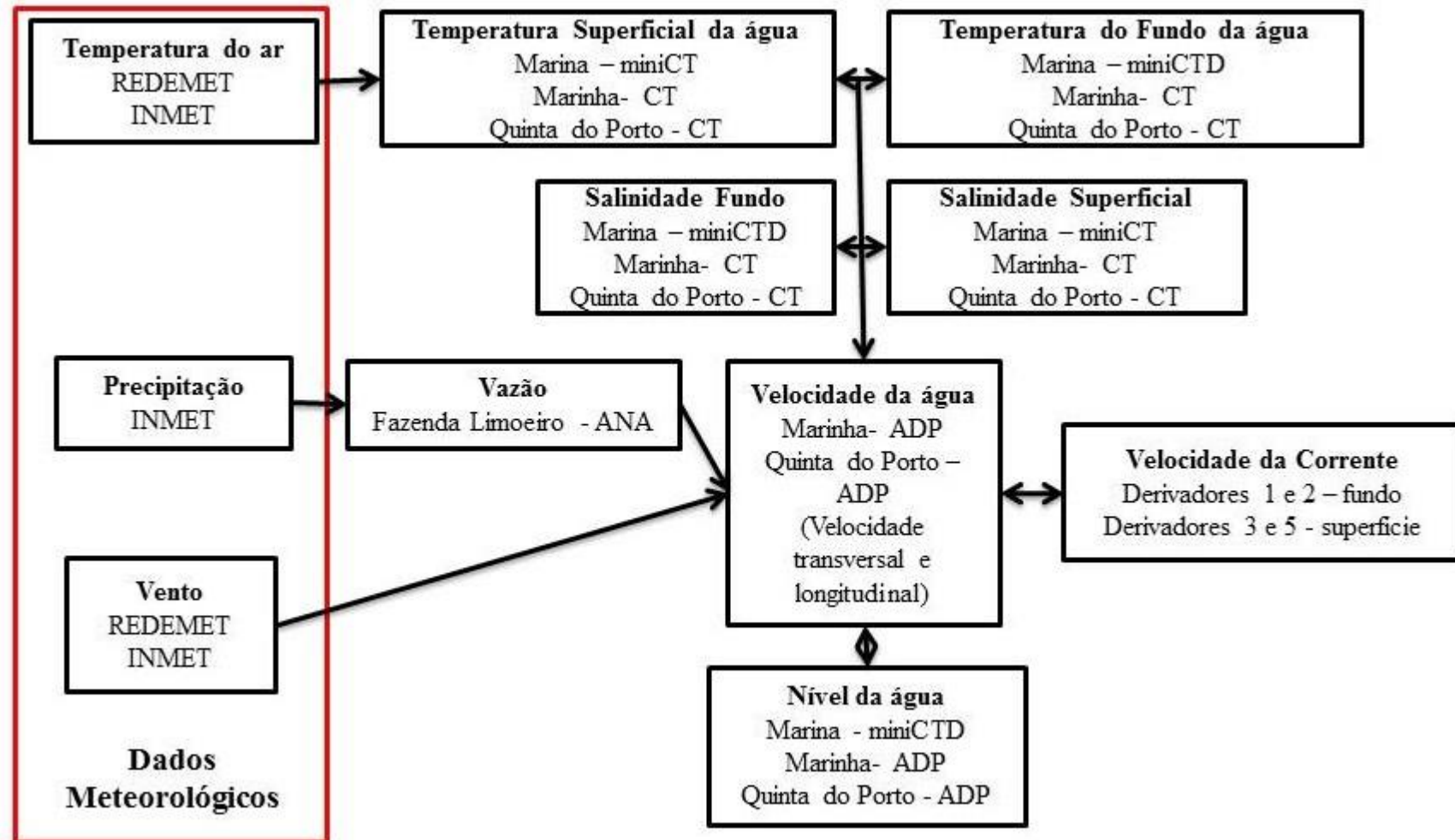


Figura 12: Fluxograma de organização dos dados

Tabela 2: Cronograma das atividades durante o trabalho de campo entre 30/07 a 07/08/15.

<b>Data</b>	<b>Atividades</b>
30/07/2015	Reconhecimento do local de estudo
31/07/2015	Instalação de CTs e ADPs para abordagem euleriana
31/07/2015	Medição da salinidade no meio, fundo e superfície da coluna d'água – perfil longitudinal de salinidade iniciando próximo ao período de preamar.
01/08/2015	Lançamento de derivadores – medida lagrangeana do escoamento durante maré vazante e enchente (estes dados não estão disponíveis na dissertação por problemas operacionais com os equipamentos).
03/08/2015 a 06/08/2015	Levantamento batimétrico <sup>1</sup>
04/08/2015	Medição da salinidade no meio, fundo e superfície da coluna d'água – perfil longitudinal de salinidade iniciando próximo ao período de baixa-mar.
07/08/2015	Retirada de CTs e ADPs

<sup>1</sup> Foi feito o levantamento batimétrico, mas por falta de base de comparação e por não ter havido medição em todos os pontos do estuário por questões técnicas (havia locais que não apresentavam profundidade mínima para o calado da lancha), esses dados da batimetria não foram incluídos na dissertação.

#### **4.1. Dados meteorológicos**

Os valores horários da temperatura do ar e da velocidade e direção do vento foram obtidos pelo site da RedeMET (Rede de Meteorologia da Aeronáutica, 2016), que possui uma estação meteorológica de superfície, em área exposta, pois se encontra nas imediações da pista de pousos e decolagens do aeroporto da cidade de Porto Seguro, nas coordenadas: latitude: 16° 26' 19'' S e longitude: 39° 4' 51'' O (Figura 11).

Também foram analisados dados horários de temperatura do ar, da velocidade e direção do vento e precipitação no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 2015), que possui uma estação meteorológica de observação de superfície automática de altitude 86 m, localizado em área de vegetação densa, nas coordenadas: latitude: 16.39° S, longitude: 39.18° O (Figura 11).

Uma comparação foi feita entre as séries meteorológicas de vento e temperatura do ar obtidas das estações RedeMET e INMET para seleção de uma delas. Em seguida, a série escolhida foi utilizada para interpretação dos efeitos atmosféricos no comportamento hidrodinâmico da região de estudo.

## 4.2. Dados hidrológicos

A Agência Nacional das Águas (ANA, 2016) possui uma estação fluviométrica, Fazenda Limoeiro (latitude: 16° 25'30'' S e longitude 39° 21'12'', Figura 11), a montante da região de estudo. Nessa estação, há medição da vazão de maneira indireta: a partir da leitura da cota do rio Bureném na estação fluviométrica, essa medida é convertida em vazão pela curva de descarga. O valor da vazão é disponibilizado no site da hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). A partir desse dado, plotou-se o hidrograma da vazão no Matlab para o período do dia 18 de junho 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015, para se conhecer a ordem de grandeza da vazão no local de estudo no período analisado.

## 4.3. Salinidade, temperatura, densidade e altura da coluna d'água

Na estrutura de fundeio do ADP, foi anexado um CT (*Conductivity and Temperature*; Figura 13) nos pontos denominados Quinta do Porto e Marinha (Figura 11) para a medição da salinidade e temperatura. O valor da profundidade nos dois pontos foi inferido a partir dos dados de ADP, como um subproduto no cálculo da velocidade da água no local.



Figura 13: Arranjo da estrutura de suporte e os equipamentos ADP (maior; perfilador de corrente) e CT (menor; termococondutivímetro) para instalação sobre o leito do estuário.

Um par de miniCTs (Figura 14) também foi fundeado na Marina, sendo que o sensor de fundo também monitora a profundidade a partir da pressão na coluna d'água (Latitude: 16° 26' 41,1'' S, Longitude: 39° 5' 4,7'' O, Figura 11).

Os CTs de superfície da Marinha e Quinta do Porto foram fixados a um suporte metálico (Figura 15) sob um cais flutuante, de modo que sempre representasse as condições superficiais, por oscilar de acordo com a maré (profundidade de 0,2 m). Ainda que de marcas diferentes, além dos dois CTs (ambos JFE Advantech) que ficaram instalados apenas entre 31/07 e 07/08/15 (Marinha e Quinta do Porto), também foram considerados os dados coletados por um miniCT (Star-Oddi) também em uma estrutura flutuante no condomínio Marina. No entanto, nesse último ponto, houve a medição no período do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015.



Figura 14: MiniCT (Condutividade e Temperatura) e o miniCTD (Condutividade, Temperatura e Profundidade)



Figura 15: CTD (Condutividade, Temperatura e Profundidade) instalado na superfície.

Os CTDs apresentam sensores de medição de temperatura, condutividade elétrica (para inferência da salinidade) e pressão (profundidade) e essas informações são registradas na memória interna do equipamento. Após o período de medição desejado, os dados podem ser transferidos via USB para o computador, no caso dos CTs e, para os miniCTs, a transferência foi via rádio-frequência.

No caso deste estudo, o período de amostragem foi do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 (Tabela 1) para Quinta do Porto e Marinha, e do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 para Marina. As frequências amostrais para Marinha e Quinta do Porto foram a cada 30 min, e, para Marina, cada 10 min. Para padronizar as frequências amostrais, os dados da Marina foram amostrados novamente para cada 30 min.

A partir dos dados de temperatura e salinidade dos três pontos de medição, calculou-se a densidade pela equação 4 (UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, 1981):

$$\rho(S, t, 0) = \rho_w + (b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4) S + (c_0 + c_1 t + c_2 t^2) S^{3/2} + d_0 S^2 \quad (4)$$

Onde:

$\rho$ : densidade da água ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

S: Salinidade (ups)

t: Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\rho_w$ : densidade da água pura, dada pela equação 5

$$\rho_w = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \quad (5)$$

As constantes das equações 4 e 5:

$b_0 = 8,24453 * 10^{-1}$	$c_0 = -5,72466 * 10^{-3}$	$a_0 = 999,842594$
$b_1 = -4,0893 * 10^{-3}$	$c_1 = 1,0227 * 10^{-4}$	$a_1 = 6,793952 * 10^{-2}$
$b_2 = 7,6438 * 10^{-5}$	$c_2 = -1,6546 * 10^{-6}$	$a_2 = -9,095290 * 10^{-3}$
$b_3 = -8,2467 * 10^{-7}$		$a_3 = 1,001685 * 10^{-4}$
$b_4 = 5,3875 * 10^{-9}$		$a_4 = -1,120083 * 10^{-6}$
	$d_0 = 4,8314 * 10^{-4}$	$a_5 = 6,536332 * 10^{-9}$

O cálculo da densidade pela equação 4 é válida, somente, para uma para salinidade maior igual a 0 e menor igual a 42 e para temperatura maior igual a  $-2^{\circ}\text{C}$  e menor igual a  $40^{\circ}\text{C}$ .

Para maior visualização da variação de densidade, calculou-se o Sigma-t ( $\sigma_t$ ) que é determinado pela subtração do valor  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$  (densidade padrão da água pura a  $4^{\circ}\text{C}$ ) do valor calculado da densidade, assim, valores positivos apresentam densidade maior que  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$  e negativos, valores menores que esse.

Para calcular a variação do nível da água, utilizaram-se os dados registrados de profundidade pelos ADCPs na Marinha e Quinta do Porto e pelo CTD na Marina. Para cada localidade, utilizou-se a equação 6:

$$y(t) = H(t) - \langle H \rangle \quad (6)$$

Onde:

$y(t)$ : oscilação vertical da superfície da água no instante  $t$  [m];

$H$ : profundidade no instante  $t$  [m];

$\langle H \rangle$  : profundidade média [m].

#### 4.4. Perfil longitudinal de Salinidade

Além do monitoramento em superfície e fundo em três pontos distintos do estuário, foram realizados dois perfis longitudinais de salinidade, sendo um durante a maré enchente e outro durante a maré vazante. Houve o cuidado de estar o mais a montante possível no momento de preamar, de modo a se garantir a observação da zona de penetração máxima da água marinha.

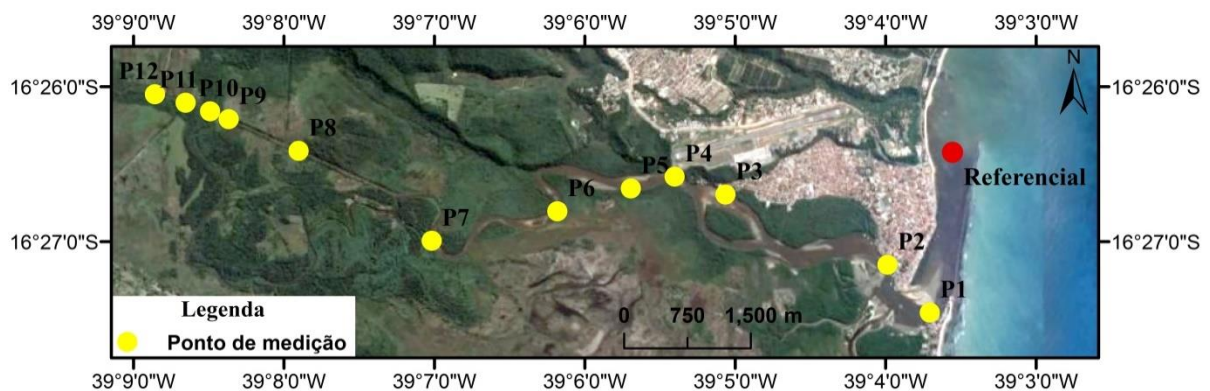


Figura 16: Pontos de medição de salinidade no dia 31 de julho de 2015 durante preamar.

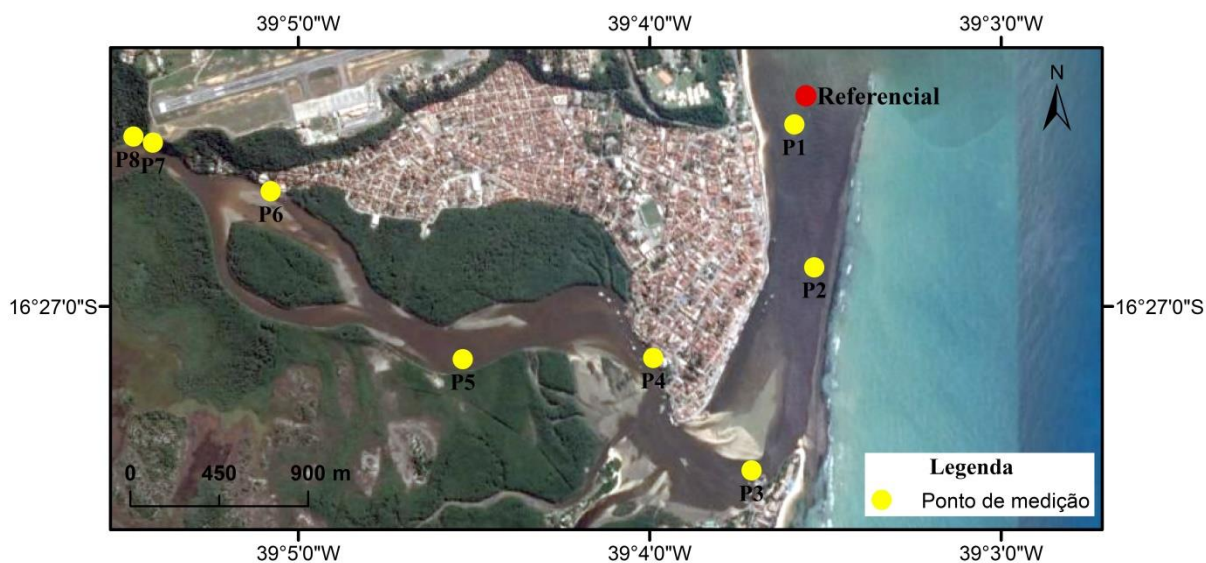


Figura 17: Pontos de medição de salinidade no dia 04 de agosto de 2015 durante baixa-mar.

Com isso, pôde-se estimar a região onde ocorre a diluição da água salgada pela descarga fluvial, ou seja, onde a zona de mistura se encontra. Afinal, tal como destacado na revisão bibliográfica, deve-se ter em mente que a variação relativa entre forçantes continentais, atmosféricas, oceanográficas e geológicas induz ao conceito de estuário dinâmico e não estático.

Para isso, utilizaram-se sondas multiparâmetros da marca Hanna e modelos HI8424 e HI9829-02202. Esse equipamento apresenta sensor para temperatura, condutividade elétrica (salinidade), pH e oxigênio dissolvido. No caso deste estudo, somente, os dados de salinidade foram analisados. Portanto, utilizaram-se as sondas para fazer medições na superfície, no meio e no fundo da coluna d'água.

O início das medições no dia 31 de julho foi em condições de maré preamar de sizígia em 12 pontos (Figura 16) com auxílio da lancha da Marinha do Brasil, localizada em Porto Seguro, Bahia. Nesse dia, a sonda Hanna teve problemas na medição da salinidade no ponto P1 (Quinta do Porto), assim, utilizou-se o dado de salinidade registrado pelo CT e CTD.

Outra campanha de medição de salinidade foi no dia 04 de agosto, as medições iniciaram em condições de baixa-mar em oito pontos (Figura 17) com auxílio da lancha da Secretaria do Meio Ambiente de Porto Seguro.

Ambas as campanhas para determinação do perfil longitudinal de salinidade levaram um tempo média de 4 h cada uma, portanto, não foi uma condição ideal, pois não se conseguiu a mesma condição da maré em todos os pontos. Além disso, uma limitação do trabalho foi que não houve a anotação da profundidade em cada ponto de medição.



A partir dos dados medidos em cada campanha, foi criada uma rotina em Matlab para traçar as isohalinas. Como não foi possível determinar a Zona de Maré do Rio com os dados do presente trabalho; portanto, determinou-se a Zona de Mistura a partir do ponto Referencial até o ponto que a salinidade foi igual a 0,5 ups (Figura 16 e Figura 17).

## 4.5. Velocidade e profundidade

Os dados de intensidade e direção da velocidade foram obtidos em dois pontos do estuário: na Marinha (Latitude:  $16^{\circ} 27' 7,8''$  S, Longitude:  $39^{\circ} 3' 59,3''$  O, Figura 11) e Quinta do Porto (Latitude:  $16^{\circ} 27' 26,9''$  S, Longitude:  $39^{\circ} 3' 42,7''$  O, Figura 11). Em cada um desses pontos, um ADP (*Acoustic Doppler Profiler* ou perfilador acústico de corrente por efeito Doppler) foi fundeado por meio de uma estrutura de metal e blocos de concretos, conforme Figura 13.

Esse equipamento é baseado na mudança na frequência de uma fonte em relação à velocidade da fonte e do observador, que permite a medição da velocidade de maneira contínua (SCHUCK, 2013). Os dois ADPs utilizados têm as seguintes especificações técnicas: Marca: Nortek Aquadopp profiler e frequência de 1 MHz.

Os ADPs foram fundeados no dia 31 de julho às 9:05 h na Quinta do Porto e às 12:05 h na Marinha, e foram retirados da água no dia 07 de agosto às 13:57 h na Quinta do Porto e às 15:00 h na Marinha. Na Quinta do Porto, houve profundidade mínima de 5 m e máxima de 7,4 m; na Marinha, houve profundidade mínima de 3,3 m e máxima de 5,4 m.

Os ADPs foram fundeados o mais próximo possível do talwegues do rio dentro das limitações técnicas e logísticas do trabalho de campo.

No caso do estudo, para efeito de comparação entre os resultados dos dois ADPs, considerou-se como hora inicial 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h (hora 169 após o início da medição). Além disso, os ADPs apresentaram uma faixa “cega” de 0,4 m a partir do fundo. Acima dessa zona, os equipamentos estimam a espessura da coluna da água, com configuração para estimativa das velocidades em células de 50 cm, a fim de se estimar as velocidades médias da célula. O registro do ADP foi feito a cada 30 minutos, com registro da data, horário, a profundidade da coluna d'água, além dos três componentes da velocidade de cada célula nos eixos x, y e z, sendo o eixo y, o eixo do norte magnético. Para cálculo dos componentes longitudinal e transversal de velocidade, a direção da velocidade foi ajustada ao sistema de coordenadas, considerando-se a declinação

magnética local e a orientação do estuário, conforme a equação 7 (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002):

$$\theta = 90^\circ - (dd \pm D) \pm \gamma \quad (7)$$

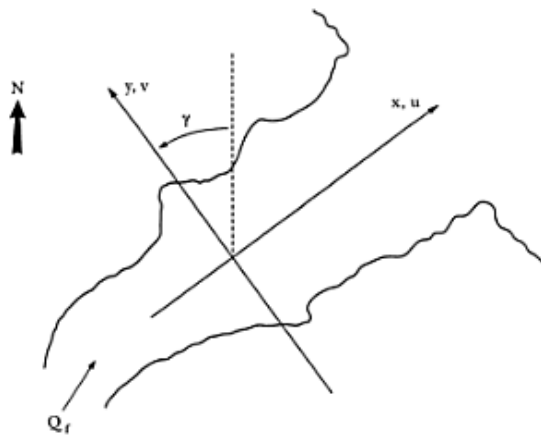
Onde:

$\theta$  : ângulo ajustado [°];

dd: direção da velocidade medido pelo ADP [°];

D: declinação magnética local [°];

$\gamma$  : ângulo entre o eixo transversal do estuário e o norte verdadeiro [°] (Figura 18).



Fonte: Miranda; Castro e Kjerfve (2002)

Figura 18: Decomposição do vetor velocidade em componentes longitudinal (u) e transversal (v) e a representação do ângulo entre o eixo longitudinal do estuário e o norte verdadeiro ( $\gamma$ )

Se a declinação magnética do local for para oeste (leste), o valor de D é negativo (positivo). Isso também se aplica ao ângulo entre o eixo longitudinal do estuário e o norte verdadeiro ( $\gamma$ ). Pela carta náutica 1205: Baías Cabrália e de Porto Seguro (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2000), há a indicação da declinação magnética de 22° 50' O para 1995 com um acréscimo anual de 5' O, resultando em um ângulo para o ano de 2015 de 24° 30' O (-24,50°).

Como a região de estudo é sinuosa, em cada ponto de medição das velocidades, foram obtidas equações distintas. Na Marinha, adotou-se um  $\gamma$  de +58° (ou seja, sentido horário) e de -70° (sentido anti-horário) para a Quinta do Porto, resultando nas seguintes equações 8 e 9 de rotação do sistema de coordenadas (Figura 19):

Marinha:

$$\theta = 90^\circ - (dd - 24,50^\circ) + 58^\circ \quad (8)$$

Quinta do Porto:

$$\theta = 90^\circ - (dd - 24,50^\circ) - 70^\circ \quad (9)$$

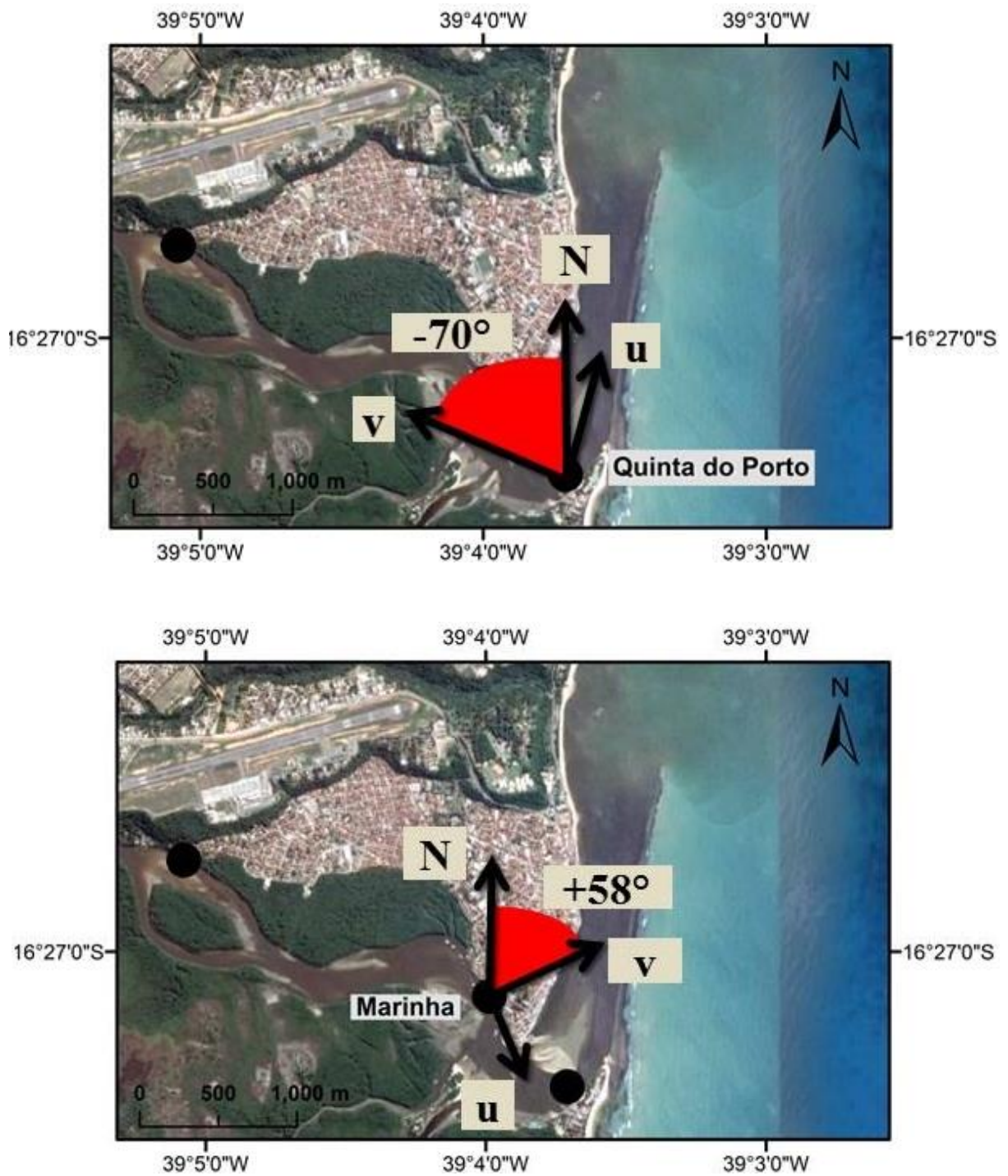


Figura 19: Sistema de coordenadas para Quinta do Porto e para Marinha, respectivamente

A partir do ajuste da direção, foi realizada a decomposição do vetor velocidade nos seus componentes longitudinal (equação 10) e transversal (equação 11) usando-se as relações trigonométricas:

$$u = V \cos\theta \quad (10)$$

$$v = V \sin\theta \quad (11)$$

Onde:

u: velocidade longitudinal [ $\text{m.s}^{-1}$ ];

v: velocidade transversal [ $\text{m.s}^{-1}$ ];

V: módulo da velocidade [ $\text{m.s}^{-1}$ ];

$\theta$ : ângulo ajustado [ $^\circ$ ].

Valores positivos do componente longitudinal de velocidade indicam correntes na direção ao mar.

A velocidade longitudinal instantânea em um dado instante pode ser decomposta em uma componente fluvial, barotrópica, baroclínica e residual. No caso deste trabalho, não houve a decomposição da velocidade em suas componentes, vendo o resultado como um todo, não determinando a componente barotrópica e nem a baroclínica da velocidade.

Como a altura da coluna d'água, ou profundidade, não é constante no tempo, estimou-se a profundidade adimensional pela equação 12 (MIRANDA, CASTRO E KJERFVE, 2002):

$$z = z_c * h(t)^{-1} \quad (12)$$

Onde:

z: altura adimensional [ - ];

$z_c$ : altura da célula [m];

h (t): altura total no instante t.

Assim, adotou-se o referencial em que a altura nula corresponde ao fundo, enquanto a superfície é representada pelo valor unitário. Porém, para cada horário de medição, encontraram-se alturas adimensionais diferentes dentro do intervalo de 0 (zero) a 1 (um). Para

padronizar as alturas adimensionais para todos os horários de medição, subdividiu a altura adimensional total (de zero a um) em intervalos iguais de 0,01. Com essas novas alturas adimensionais, utilizou-se o método *cubic spline* indicado por Miranda, Castro e Kjerfve (2002), por Bérghamo (2000) e por Cavalcante, Feary e Kjerfve (2013) para interpolação de dados de velocidade. De acordo com os autores citados, esse método permite um ajuste dos dados com um polinômio de terceiro grau. Portanto, utilizou-se o método *cubic spline* para fazer interpolações e extrapolações na velocidade longitudinal.

A partir das alturas adimensionais com intervalo de 0,01 de zero a um e as velocidades longitudinais correspondentes a cada altura adimensional em cada horário de medição, calculou-se a média temporal para encontrar a velocidade longitudinal média no tempo para cada valor da altura adimensional pela equação 13 (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002). Portanto, encontraram-se os perfis de velocidade longitudinal na Quinta do Porto e na Marinha.

$$\langle u(Z_j) \rangle = \frac{1}{n} \left[ \frac{u(Z_j, t_0)}{2} + \sum_k u(Z_j, t_k) + \frac{u(Z_j, t_n)}{2} \right] \quad (13)$$

Onde:

$\langle u(Z_j) \rangle$ : velocidade longitudinal média na altura adimensional  $i$  ( $m \cdot s^{-1}$ );

$\langle u(Z_j, t_k) \rangle$ :: velocidade longitudinal na altura  $Z_j$  e no tempo  $t_k$  ( $m \cdot s^{-1}$ );

$\langle u(Z_j, t_0) \rangle$ :: velocidade longitudinal na altura  $Z_j$  e no tempo  $t_0$  ( $m \cdot s^{-1}$ );

$\langle u(Z_j, t_n) \rangle$ :: velocidade longitudinal na altura  $Z_j$  e no tempo  $t_n$  ( $m \cdot s^{-1}$ );

$n$ : número total de medições (339 medições);

$k=1, 2, 3, \dots, n-1$ .

$t$ : tempo

## 4.6. Derivadores

Também foram realizadas medições da velocidade da água a partir de uma abordagem lagrangeana, na qual são levadas em consideração variações espaciais e temporais, ou seja, em que os derivadores seguem a trajetória de uma parcela do escoamento (Figura 20 e Figura 21A). Assim, tem-se um modo complementar a abordagem euleriana (ADPs fundeados) para se inferir o comportamento hidrodinâmico no local de estudo.

Os derivadores utilizados são esferas, que no seu interior apresentam um GPS (marca Garmin), um módulo de transmissão Global Star e um conjunto de baterias. Essas esferas apresentam, na sua parte externa, uma lâmpada de LED na parte superior, um sistema de vedação, e na parte inferior uma argola para amarrar uma corda que fixará uma vela de arrasto. A vela de arrasto tem como objetivo induzir o deslocamento da estrutura pelas correntes em diferentes profundidades de acordo com o seu tamanho e o tamanho da corda que a liga ao derivador. Quando se utiliza a vela de arrasto, utiliza-se em conjunto uma boia subsuperfície para dar uma maior estabilidade ao conjunto derivador - vela (Figura 20 e Figura 21, PACHECO, 2014).

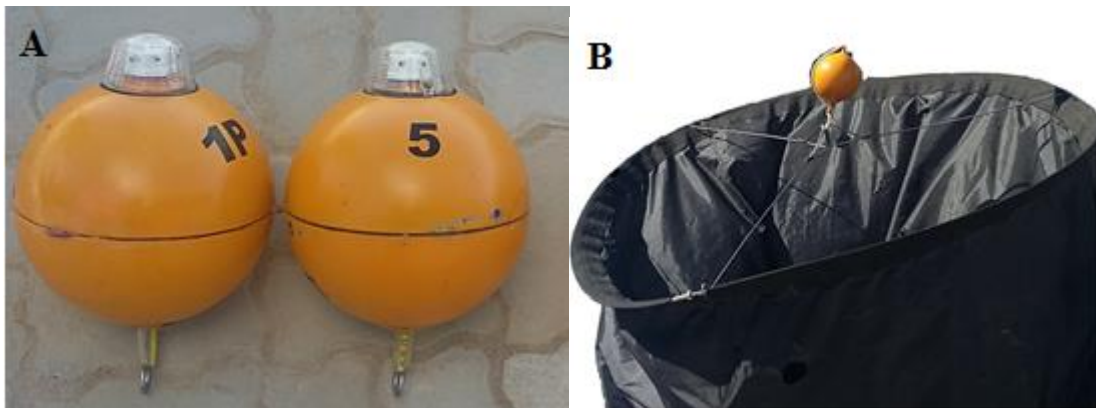


Figura 20: (A) Derivador, (B) vela do derivador (preta) e boia de subsuperfície (amarelo) que dá maior sustentação a estrutura vela-derivador

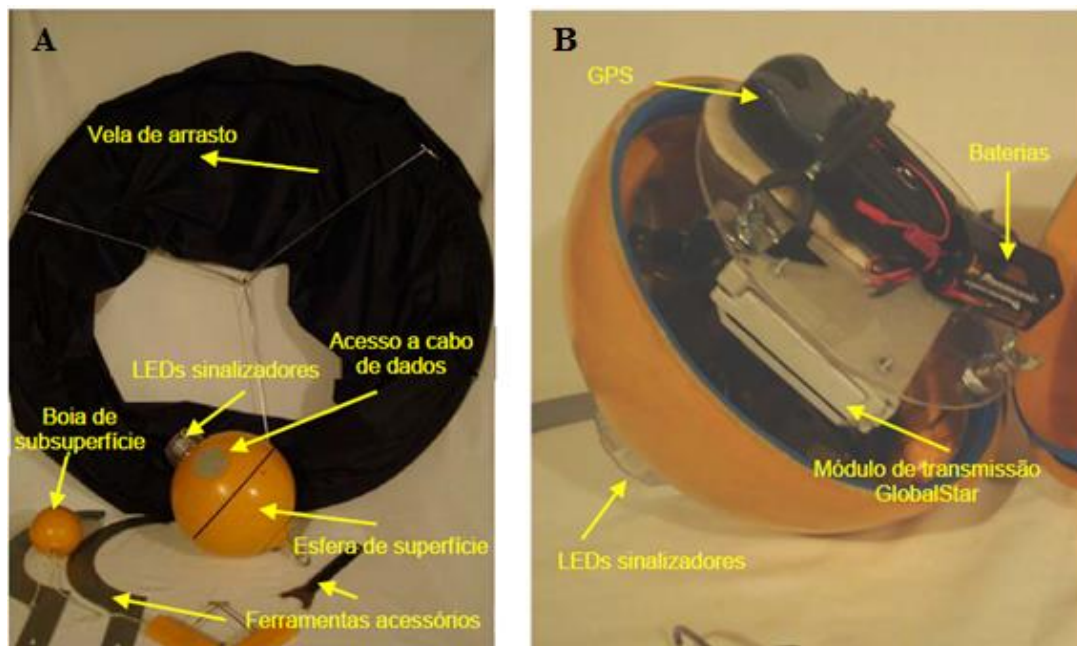


Figura 21: (A) Acessórios do derivador, (B) Interior do derivador (PACHECO, 2014)

Foram utilizados quatro derivadores, sendo dois sem vela submersa, com as numerações 3 e 5, outros dois com vela, com as identificações 1 e 2. O derivador 1 foi amarrado a vela por uma corda de 47 cm; já o derivador 2 por uma corda de 64 cm. O experimento foi realizado no dia 01/08, sob condição de maré vazante. O lançamento dos quatro derivadores ocorreu às 9:45 h, porém, o derivador 5 ficou preso na margem, então foi recuperado e lançado novamente às 10:29 h. Após os quatro derivadores serem recuperados, foram colocados na água novamente mais próximo da desembocadura às 10:49 h

Também houve lançamento dos derivadores no mesmo dia (01/08/2015) no período de maré enchente, mas, por problemas técnicos, esses dados foram perdidos. A frequência amostral de coleta de dados pelos derivadores foi de 10 s.

#### 4.7. Classificação do estuário

Classificou-se o estuário de acordo com o diagrama de estratificação-circulação proposto por Hansen e Rattray (1966), calculou-se o parâmetro de estratificação pela equação 14 (HANSEN; RATTRAY JUNIOR, 1996; DYER, 1997; MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002; BÉRGAMO; MIRANDA; CORRÊA, 2002):

$$P_e = \frac{S_f - S_s}{\bar{S}}$$

(14)

Onde:

$P_e$ : Parâmetro de estratificação (-);

$S_f$ : Salinidade de fundo (ups);

$S_s$ : Salinidade de superfície (ups);

$\bar{S}$ : Salinidade média na coluna d'água (ups).

O parâmetro circulação foi calculado pela equação 15:

$$P_c = \frac{u_s}{u_f}$$

(15)

Onde:

$P_c$ : Parâmetro de circulação (-);

$u_s$ : Corrente residual na superfície (m.s<sup>-1</sup>)

$u_f$ : Velocidade gerada pela descarga fluvial (m.s<sup>-1</sup>)

Como não foi medida a velocidade gerada pela descarga fluvial ( $u_f$ ), calculou-se um valor médio no espaço e no tempo da velocidade na coluna d'água como proposto por Miranda, Castro e Kjerfve (2002).

Para poder fazer a classificação pelo diagrama, precisa-se de uma condição estacionária para se calcular os parâmetros. Assim, na Quinta do Porto (39° 3' 42,7'' O, 16° 27' 26,9'' S), só houve esta condição quando se considerou todo o período de medição, o que resultou em apenas um ponto no diagrama. Já para Marinha (39° 3' 59,3'' O, 16° 27' 7,8'' S), foram calculados os parâmetros para cada ciclo completo de maré, assim como para o valor médio para o período completo de medição. Os parâmetros calculados foram plotados no diagrama de Hansen e Rattray (1966) utilizando a rotina em Matlab proposta por Bérghamo, Miranda e Corrêa (2002). Essa rotina plota o diagrama juntamente com as isolinhas do parâmetro  $v$ , que representa a proporção relativa entre os processos de dispersão turbulenta e advectivos.

#### 4.8. Número de Richardson por camada

Calculou-se o número de Richardson por camada ao invés do número de Richardson estuarino, pois esse utiliza a vazão fluvial, que não foi medida neste trabalho.

O número de Richardson por camada é definido pela equação 16 (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002):

$$Ri_L = \frac{g H \Delta\rho_v}{\rho u^2} \approx \frac{g H \beta \Delta S_v}{u^2}$$

(16)



Onde:  $Ri_L$ : número de Richardson por camada;

$g$ : aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ );

$H$ : profundidade local [m];

$\Delta\rho_v$ : diferença entre a densidade do fundo e da superfície [ $\text{kg.m}^{-3}$ ];

$\rho$ : densidade média na coluna d'água [ $\text{kg.m}^{-3}$ ];

$u$ : velocidade média na coluna d'água [ $\text{m.s}^{-1}$ ];

$\beta$ : coeficiente médio de contração salina ( $\approx 7,0 * 10^{-4}$ );

$\Delta S_v$ : diferença entre a salinidade do fundo e da superfície.

Como faixas de variação para esse número, se  $Ri_L > 20$ , então ocorrem condições estratificadas, pois a geração de turbulência do fundo é insuficiente para provocar mistura; se  $20 > Ri_L > 2$ , a mistura é cada vez maior com a diminuição do valor;  $Ri_L < 2$ , há uma total mistura (DYER, 1973).

O número de Richardson por camada foi calculado com os dados obtido na Marinha ( $39^\circ 3' 59,3''$  O,  $16^\circ 27' 7,8''$  S) e na Quinta do Porto ( $39^\circ 3' 42,7''$  O,  $16^\circ 27' 26,9''$  S) das 12:30 h do dia 31 de julho (hora zero de medição) às 13:30 h do dia 07 de agosto de 2015 (169 h de medição). Como as variáveis que entram no cálculo do número Richardson por camada foram medidas a cada 30 min, calculou-se a cada 30 min o valor de  $Ri_L$  (339 vezes).

## 4.9. Filtragem dos dados

Para retirar as flutuações da série provenientes de algum erro do equipamento ou alguma variação não esperada, ou seja, reduzir o ruído da série, filtros foram utilizados para tratamento da série de dados. O filtro utilizado foi a triangulação de Bartlett que tem como base uma média móvel de número de pontos ímpares, que tem como janela a equação 17 (POULARIKAS,1999):

$$w(n) = 1,0 - \frac{|n|}{\frac{N}{2}} \quad n = -\frac{N}{2}, \dots, -1, 0, 1, \dots, \frac{N}{2}$$

(17)

Onde:

$w(n)$  = janela do método de triangulação de Bartlett;

$N$  = número de dados do intervalo da amostra.

Após definir a janela (peso) do método para cada intervalo definido por  $N$ , calcula-se a média móvel ponderada para respectivo pela equação 18:

$$Y_f = \frac{\sum_t^{t+N-1} w_t * Y_t}{\sum_t^{t+N-1} w} \quad 1 \leq t \leq \text{total de dados}$$

(18)

Onde:

$Y_f$ : Dado filtrado

$Y_t$ : Dado na linha  $t$ .

Os dados filtrados com número de dados do intervalo da amostra são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados filtrados

<b>Dado</b>	<b>Nº de dados do intervalo da amostra</b>
Temperatura registrada pela REDEMET	15
Temperatura registrada pelo INMET	9
Ventos registrados pela REDEMET	13
Ventos registrados pelo INMET	13
Vento longitudinal à Marinha - REDEMET	11
Vento longitudinal à Marinha - INMET	11
Vento longitudinal à Quinta do Porto - REDEMET	13
Vento longitudinal à Quinta do Porto - INMET	13
Velocidade média longitudinal à Marinha	7
Velocidade média transversal à Marinha	9
Velocidade média longitudinal à Quinta do Porto	7
Velocidade média transversal à Quinta do Porto	9
Velocidade do Derivador 1	11
Velocidade do Derivador 2	7
Velocidade do Derivador 3	7
Velocidade do Derivador 5	9

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1. Campanha intensiva

#### 5.1.1. Dados meteorológicos

A precipitação é um dos componentes do ciclo hidrológico que pode alterar o regime de descarga fluvial. No período do trabalho de campo houve pouca precipitação (Figura 22), sendo chuva fraca e de curta duração. A precipitação mensal para Porto Seguro em julho de 2015 foi de 106 mm, enquanto a de agosto, 135,6 mm. A precipitação de julho foi, portanto, inferior à média histórica mensal de 140 mm, enquanto para o mês agosto foi superior à média histórica mensal de 100 mm (Figura 4). O monitoramento de seca realizado pela ANA no mês de julho de 2015 mostrou que houve realmente registros de precipitação abaixo da média, com valores mais significativos, no litoral baiano (ANA, 2015).

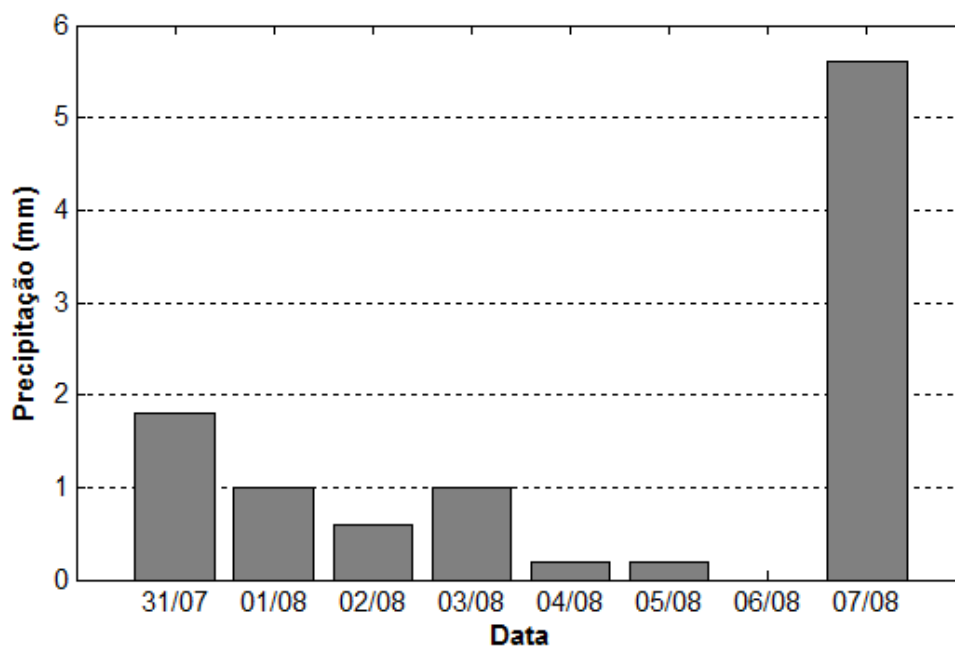


Figura 22: Precipitação (mm) em Porto Seguro registrada pelo INMET

A precipitação mostrada na Figura 22 não representou toda a bacia do rio Buranhém, pois a estação meteorológica se encontra próxima à zona urbana da cidade de Porto Seguro – BA, enquanto o rio Buranhém nasce no estado de Minas Gerais (Figura 3). Portanto, a

precipitação registrada em Porto Seguro pode alterar, somente, a vazão mais próxima à desembocadura.

De um modo geral, a vazão é alterada pelo balanço de precipitação e da evapotranspiração, como a intensidade da precipitação (Figura 22) foi baixa, concluir-se que essa precipitação não alterou a vazão.

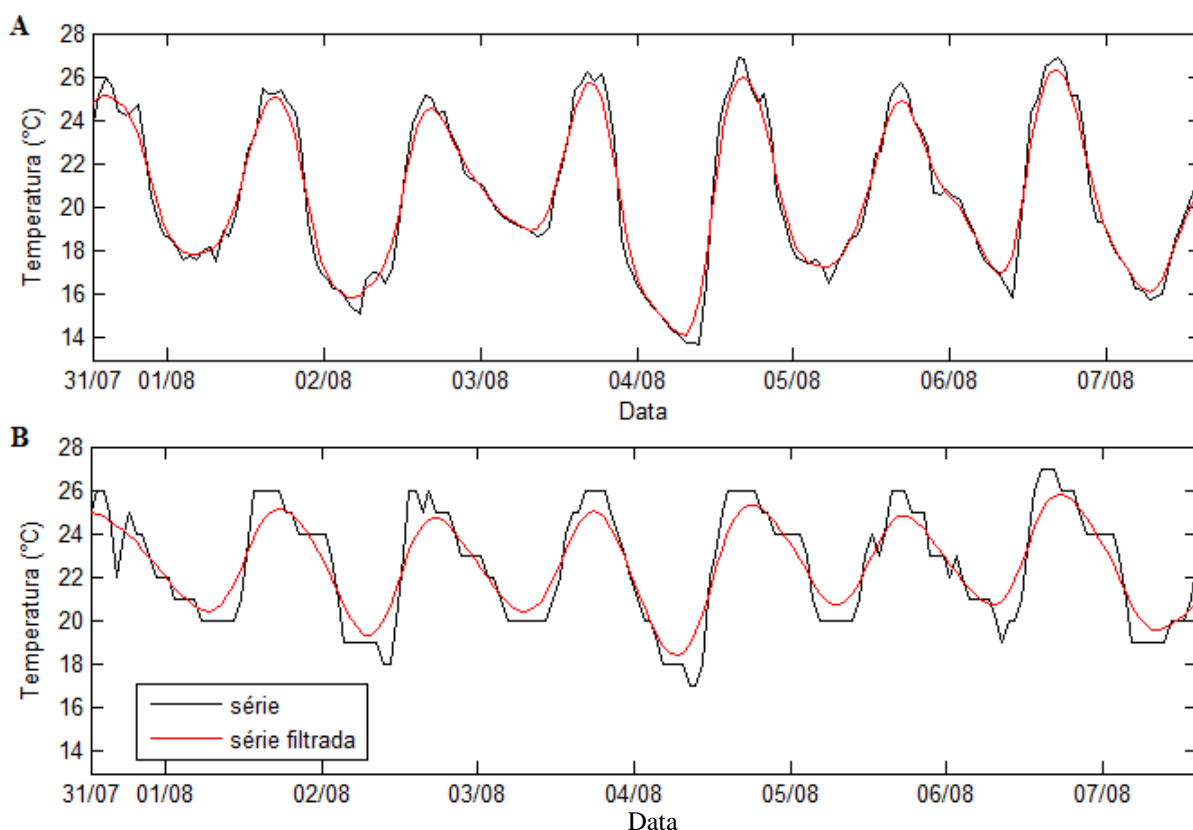


Figura 23: Temperatura do ar (°C) em Porto Seguro do dia 31/07/15 às 12:00 h até o dia 07/08/15 às 14:00 h: A) INMET, B) RedeMET

As temperaturas registradas pelo INMET mostraram que as temperaturas variaram de 13,7 °C a 26,9 °C, tendo a média de 20,5 °C e desvio padrão de 3,6 °C. As temperaturas registradas pela RedeMET mostraram que as temperaturas variaram de 17 °C a 27 °C, tendo a média de 22,5 °C e desvio padrão de 2,6 °C (Figura 23). Essa diferença de valores pode ser explicada pela localização das duas estações, sendo a primeira localizada no meio de uma área de vegetação densa; já a segunda, no aeroporto de Porto Seguro. A estação do RedeMET está localizada mais próxima ao mar que a estação do INMET, uma provável motivo da diferença de temperatura seria a maritimidade que teve uma maior influência na estação do aeroporto de Porto Seguro e a continentalidade, na estação do INMET.

Além disso, a estação do INMET apresenta dados com precisão de uma casa decimal, enquanto a da RedeMET somente números inteiros. Apesar das diferenças numéricas entre as temperaturas registradas, as séries apresentaram comportamento semelhante, ou seja, houve uma coincidência temporal na ocorrência dos máximos e mínimos das temperaturas (Figura 23).

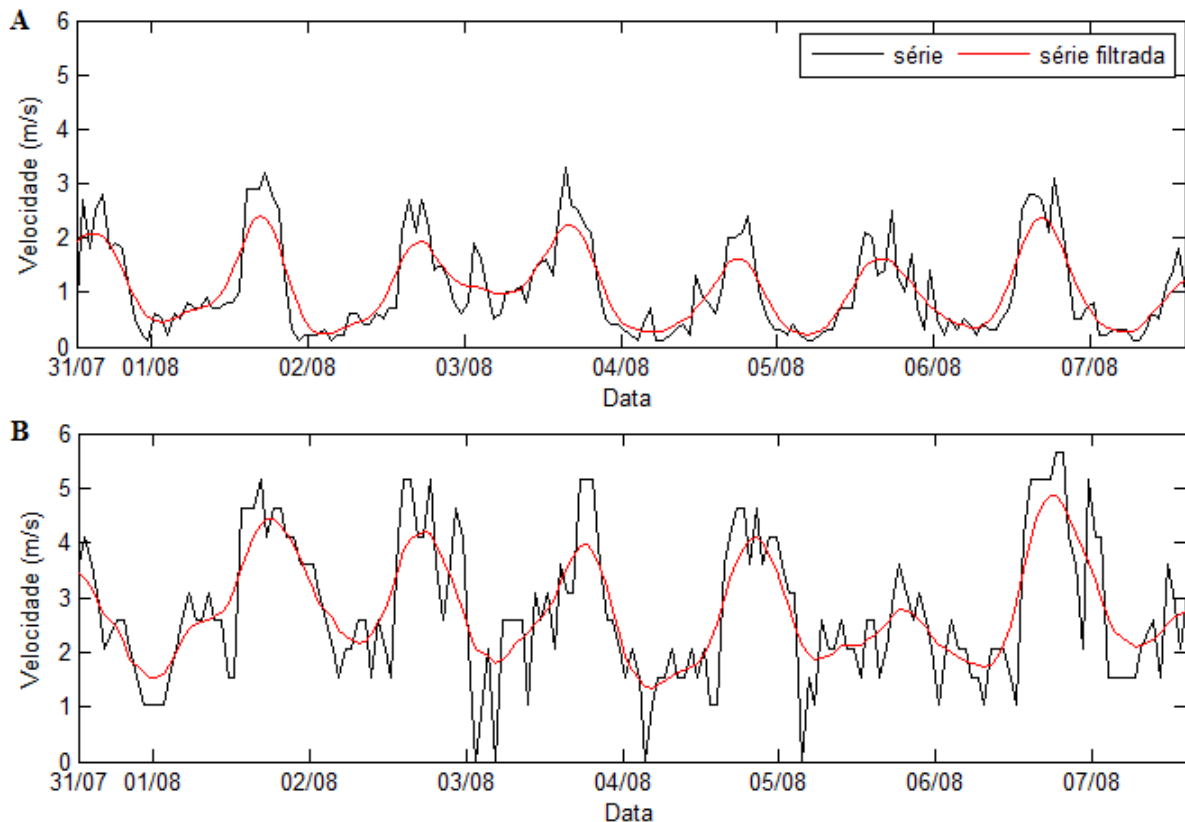


Figura 24: Intensidade do vento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) em Porto Seguro registrado pelo: A) INMET, B) RedeMET do dia 31/07/15 às 12:00 h até o dia 07/08/15 às 14:00 h

As intensidades da velocidade do vento registradas pelo INMET (Figura 24A) variaram de  $0,1$  a  $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  tendo a média de  $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e desvio padrão de  $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . As velocidades do vento registrados pela RedeMET (Figura 24B) variaram de  $0$  a  $5,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , tendo a média de  $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e desvio padrão de  $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Como a estação do INMET está localizada no meio da vegetação (Figura 11), houve uma atenuação do vento por causa da proteção vegetal, o que não ocorreu na estação da RedeMET. Como Pacheco (2014) salientou em seu trabalho, diferenças no arrasto superficial, diferença de uso e ocupação do local de medição, presença de montanhas no entorno podem causar grandes variações na intensidade do vento. Apesar das diferenças numéricas entre valores registradas, as séries apresentaram

comportamento qualitativo semelhante, ou seja, houve uma coincidência temporal na ocorrência dos máximos e mínimos de velocidade do vento (Figura 24).

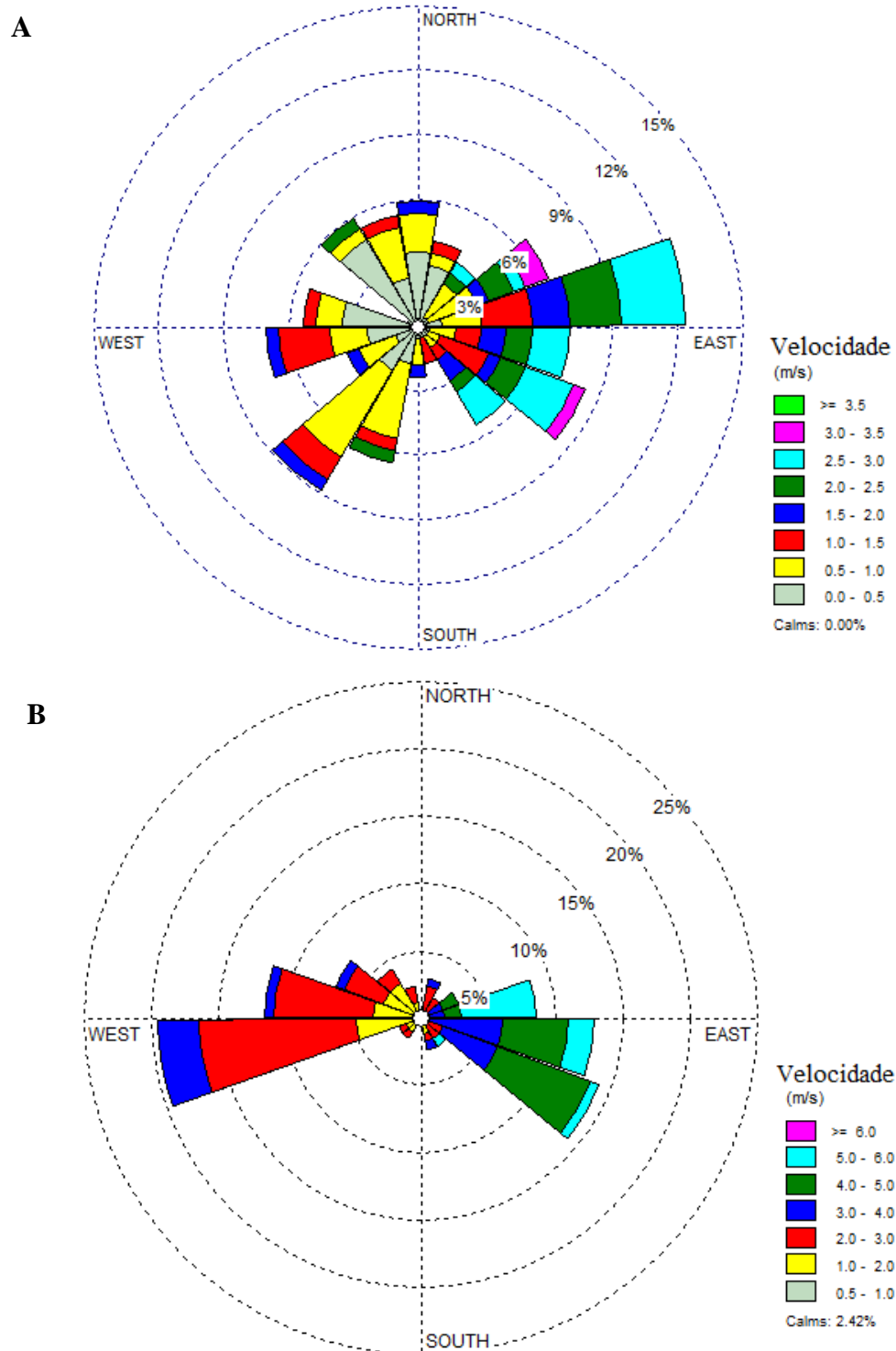


Figura 25: Vento na A) estação do Inmet B) Estação do RedeMET do dia 31/07/15 às 12:00 h até o dia 07/08/15 às 14:00 h. Porcentagem representa frequência dos dados

Quando se analisou a intensidade do vento juntamente com a sua direção (Figura 25), verificou-se a diferenciação entre os dois registros, pois pela estação do INMET, houve

componentes do vento em praticamente todas as direções, já na outra estação, houve ventos predominantemente na direção leste-oeste. Como a estação da RedeMET está mais próxima ao mar, o vento de oeste parece estar associado ao processo de brisa marinha, o que é confirmado pelos respectivos valores de intensidade mais modestos.

Como a estação da RedeMET está mais próxima ao local de estudo (Figura 11), seus dados foram os utilizados para área de estudo.

### 5.1.2. Dados hidrológicos

A vazão no período da campanha na Fazenda Limoeiro é mostrada na Figura 26, cuja vazão média estimada foi de  $12,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , com desvio padrão de  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Entre a estação fluviométrica e o local de estudo, são encontrados pequenos afluentes, que foram desconsiderados neste trabalho inclusive por estarem sob influência de águas estuarinas e marinhas. Durante o período de interesse, a vazão estimada na Fazenda Limoeiro variou de  $11,8$  a  $12,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Além disso, os valores de vazão estiveram dentro do esperado pela média histórica para os meses de julho e agosto (de  $11$  a  $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e de  $10$  a  $23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectivamente; Figura 9).

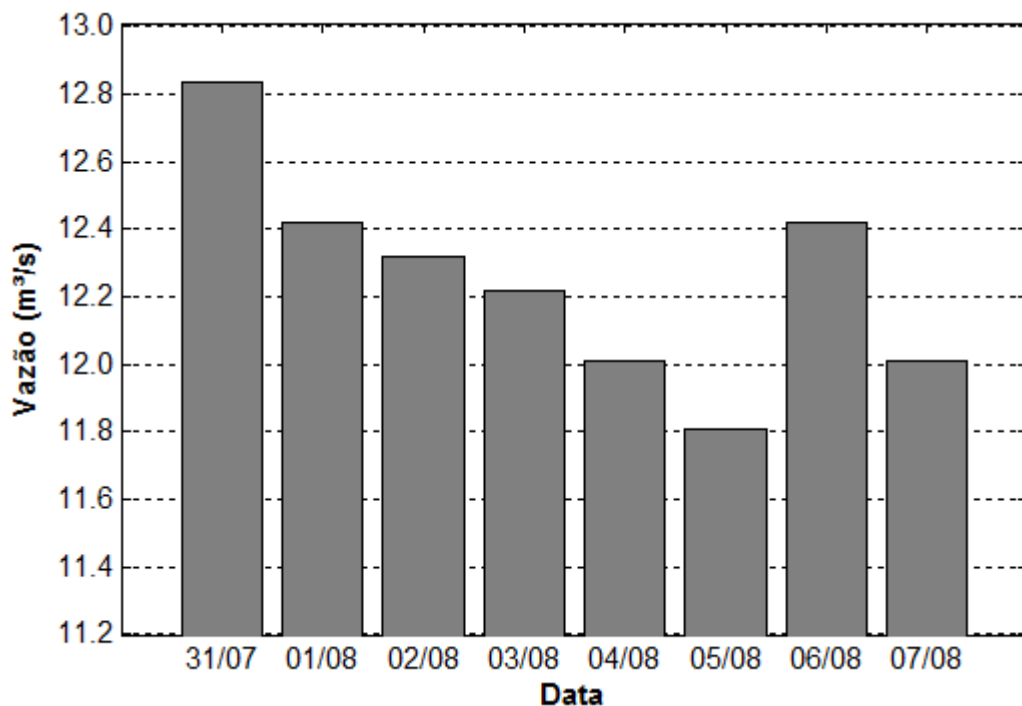


Figura 26: Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) na estação Fazenda Limoeiro no período de 31/07 a 07/08/15

Apesar de que os dados de vazão estão dentro da média histórica, o período de julho e agosto é caracterizado por uma menor vazão em comparação ao período de outubro a março

(Figura 9). Portanto, espera-se que a influência da forçante vazão fluvial seja menor durante a campanha intensiva em comparação de quando houver um maior aporte fluvial (entre outubro e março), ou seja, em comparação a um período que o aporte fluvial gere uma intensificação na importância da forçante vazão fluvial para determinação da circulação do estuário.

### 5.1.3. Temperatura, salinidade e oscilação vertical

A temperatura de superfície nos três pontos é representada na Figura 27. As três séries de dados apresentaram o mesmo padrão e período de oscilação dos dados. A temperatura superficial da Quinta do Porto apresentou valor mínimo de 24,0 °C e máximo de 26,5 °C, com média de 25, 4 °C e desvio padrão de 0,6 °C. A Marinha, valor mínimo de 23,8 °C e máximo de 26,5 °C, com média de 25, 3 °C e desvio padrão de 0,7 °C. A Marina, valor mínimo de 23,1 °C e máximo de 26,4 °C, com média de 24,6 °C e desvio padrão de 0,7 °C. A diferença dos valores pode estar associada a erros e precisão dos equipamentos.

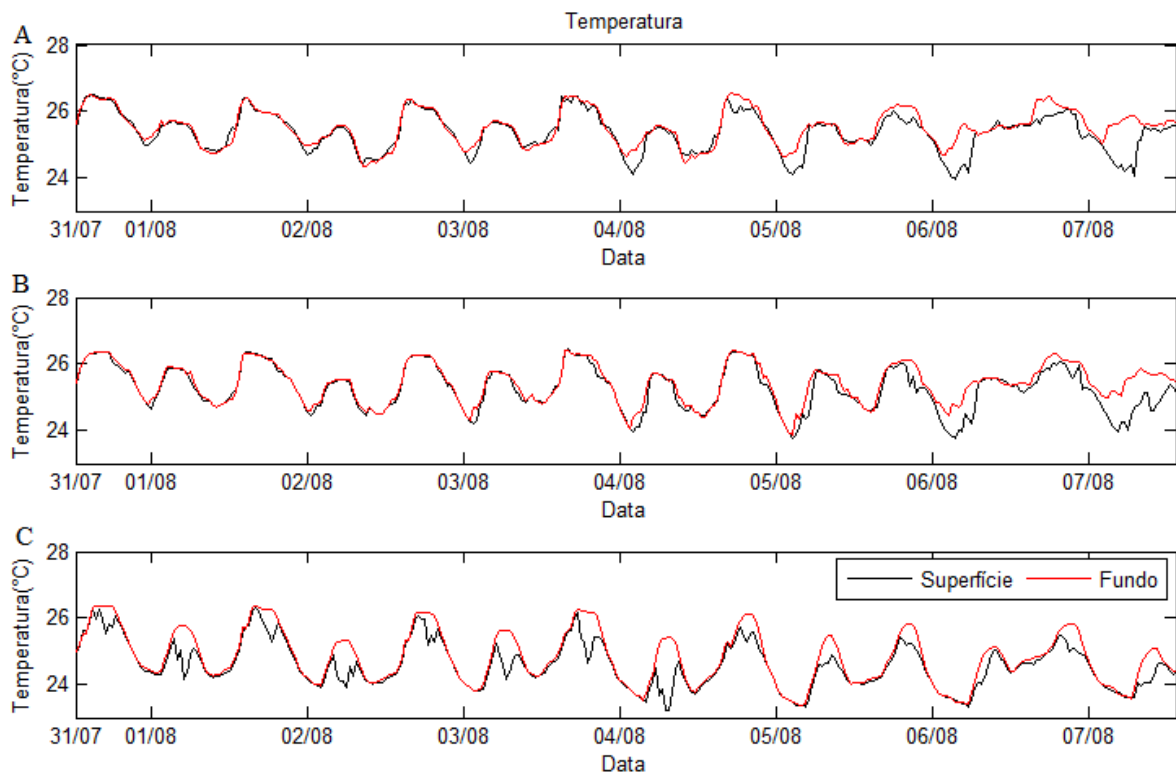


Figura 27: Temperatura (°C) na A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h



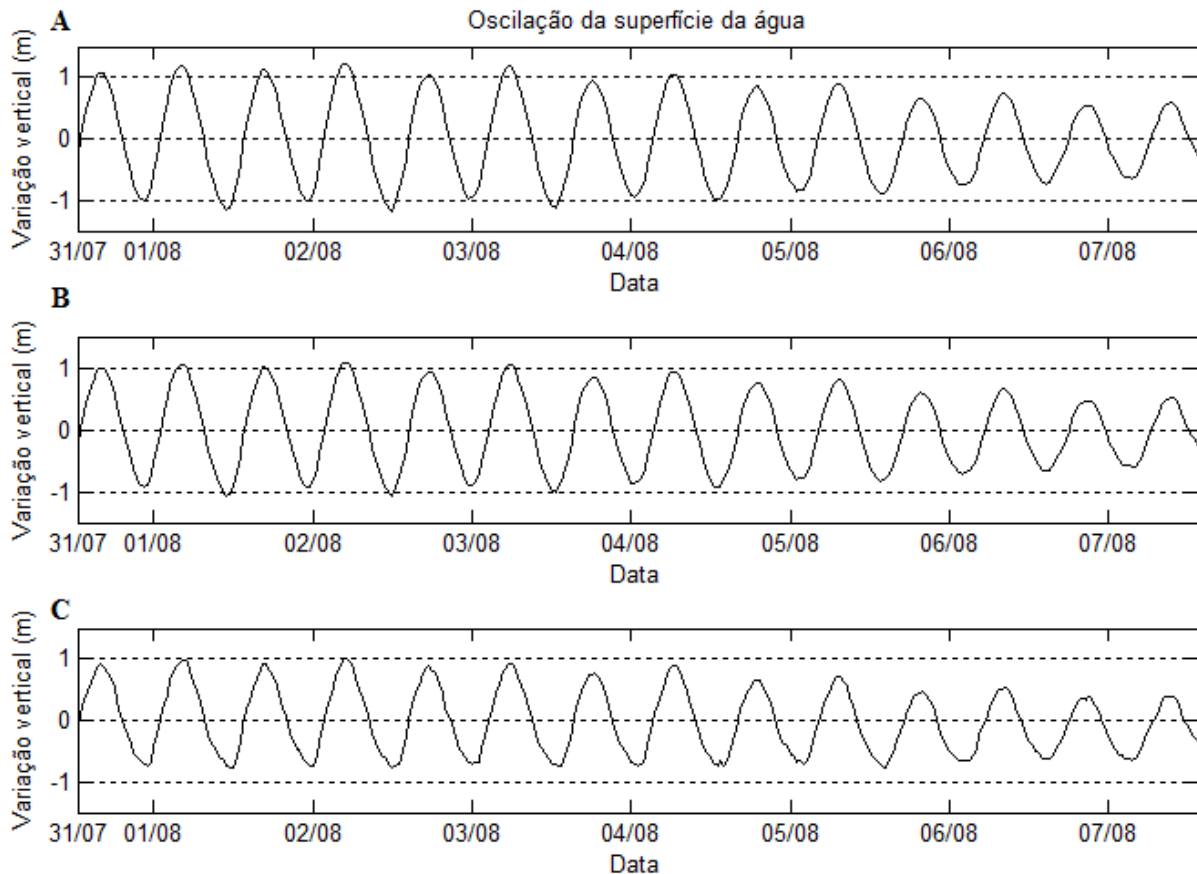


Figura 28: Oscilação vertical (m) da superfície da água: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h

Um dos principais fatores que altera a temperatura da água na superfície é a energia recebida pelo Sol em forma de calor. Assim, o comportamento de oscilação da temperatura da água apresentou mesmo padrão da temperatura do ar (Figura 23), mas não em mesma escala, pois a água tem maior calor específico do que o ar. Portanto, a temperatura do ar apresentou maiores variações térmicas do que a temperatura da água, conforme se verificou na Figura 23 e na Figura 27.

As temperaturas de fundo nos três pontos apresentaram o mesmo padrão e período de oscilação dos dados (Figura 27). As temperaturas de fundo na Quinta do Porto tiveram valor mínimo de 24,4 °C e máximo de 26,6 °C, com média de 25,5 °C e desvio padrão de 0,5 °C. Para a Marinha, teve valor mínimo de 23,9 °C e máximo de 26,4 °C, com média de 25,4 °C e desvio padrão de 0,6 °C. Para a Marina, valor mínimo de 23,4 °C e máximo de 26,4 °C, com média de 24,8 °C e desvio padrão de 0,8 °C.

A diferença dos valores pode estar associada a erros e precisão dos equipamentos, como também, a diferença da frequência amostral, que na Marinha e Quinta do Porto foi a cada 30 minutos e na Marina a cada 10 min, ou algum processo de mistura na coluna d'água.

Para garantir a padronização da taxa amostral nos três pontos, de 30 minutos, foi aplicada uma média aritmética de três dados nos dados da Marina, de modo a também se minimizar o ruído da série.

Quando se comparou as temperaturas superficiais e de fundo (Figura 27), houve coincidência no momento de picos de máximo e de mínimo. Mas, na Quinta do Porto, houve uma diferença entre as temperaturas de no máximo de  $1,78\text{ }^{\circ}\text{C}$  com média de  $0,20 \pm 0,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; na Marinha, valor máximo de  $1,53\text{ }^{\circ}\text{C}$  e média de  $0,18 \pm 0,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; na Marina, valor máximo de  $2,31\text{ }^{\circ}\text{C}$  e média de  $0,25 \pm 0,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

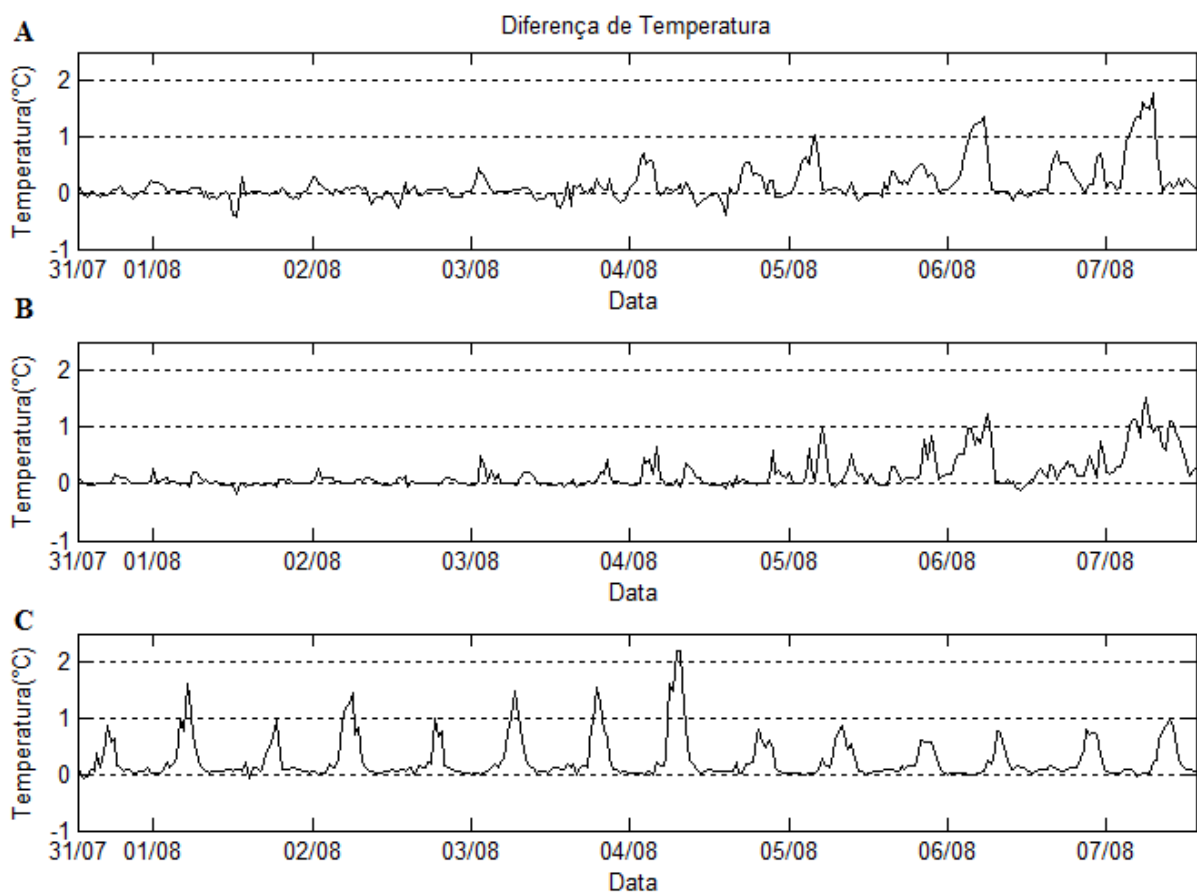


Figura 29: Diferença de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre fundo e a superfície: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 14 h

O período de maré de sizígia inicia no dia 31/07/2015 e o de maré de quadratura no dia 06/08/ 2015. A maior diferença entre a temperatura de fundo e superfície (Figura 29) foi observada nos últimos três ciclos de oscilação dos dados (a partir do dia 06/08), no qual houve menores amplitudes da maré (Figura 28, maré de quadratura no dia 06/08), esse fato foi verificado nos pontos da Marinha e Quinta do Porto. Por outro lado, na Marina, observou as

maiores diferenças na preamar. Portanto, as maiores estratificações térmicas na Quinta do Porto e na Marinha ocorreram na quadratura, enquanto, na Marina, foram na sizígia.

De modo geral, as temperaturas de fundo e superfície nos três pontos foram bem próximas, não havendo uma estratificação térmica na coluna d'água mais pronunciada.

Já a salinidade que é uma variável conservativa, pois se considera que não há fontes ou sumidouros de sal no sistema estuarino, ou seja, sua fonte é a água do mar. Na análise da salinidade de superfície (Figura 30), os três pontos apresentaram o mesmo padrão e período de oscilação. Na Quinta do Porto, a salinidade de superfície média foi de  $23,2 \pm 11,4$  ups, salinidade mínima de 2,7 ups e máxima de 36,4 ups; na Marinha, uma média de  $19,5 \pm 12,7$  ups, medida mínima de 0,8 ups e máxima de 36,4 ups; na Marina, valor médio de  $5,9 \pm 6,5$  ups, valor mínimo de 0 (zero) ups e máximo de 21,6 ups.

De acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005, água doce é que tem salinidade igual ou inferior a 0,5 ups, águas salobras, superior a 0,5 ups e inferior a 30 ups, águas salgadas, igual ou superior a 30 ups. Portanto, os dados de salinidade superficial mostraram que, na Quinta do Porto, a salinidade média esteve na faixa de água salobra e o seu mínimo também, ou seja, em todo o momento do trabalho de campo, houve a presença de água do mar na superfície. Fato também observado na Marinha. Já na Marina, a média se encontrou na faixa de água salobra, com valores mínimos na faixa de água doce, que é característico das águas fluviais. Ou seja, nos momentos de baixa-mar, a água fluvial foi marcante na superfície, enquanto na preamar houve uma mistura entre água doce (rio) e salgada (mar; Figura 28 e Figura 30).

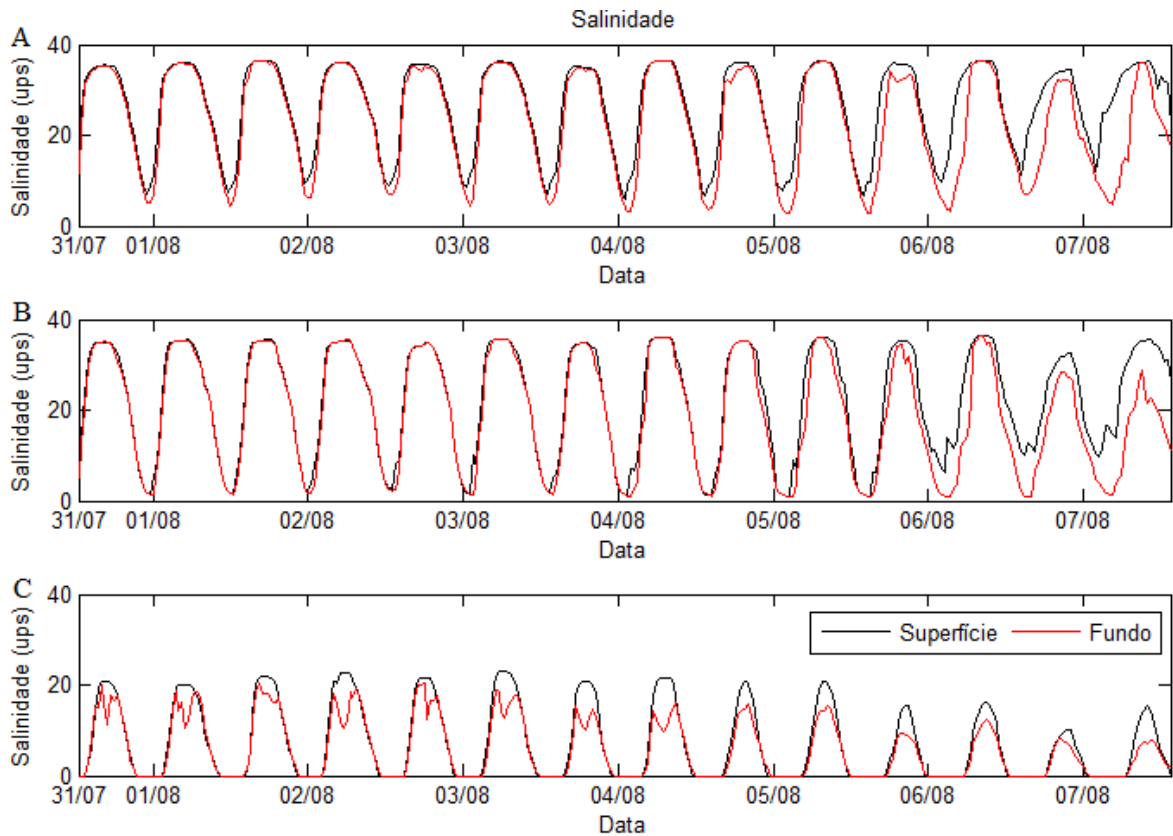


Figura 30: Salinidade (ups) na A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h

Na Figura 30, a salinidade de fundo nos pontos analisados teve o mesmo padrão e período de oscilação. Na Quinta do Porto, a salinidade de fundo teve média igual a  $26,4 \pm 9,8$  ups, salinidade mínima de 6,0 ups e máxima de 36,5 ups; na Marinha, uma média de  $22,4 \pm 12,1$  ups, medida mínima de 0,8 ups e máxima de 36,4 ups; na Marina, valor médio de  $7,4 \pm 8,2$  ups, valor mínimo de 0 (zero) ups e máximo de 23,1 ups. Como a Quinta do Porto se encontra mais próxima ao mar, a média de salinidade foi maior.

A salinidade de fundo esteve em fase com a salinidade de superfície e com as oscilações verticais da coluna d'água. Além disso, na Marina, as maiores diferenças de salinidade entre o fundo e a superfície ocorreram nos períodos de preamar (Figura 28, Figura 30, Figura 31).

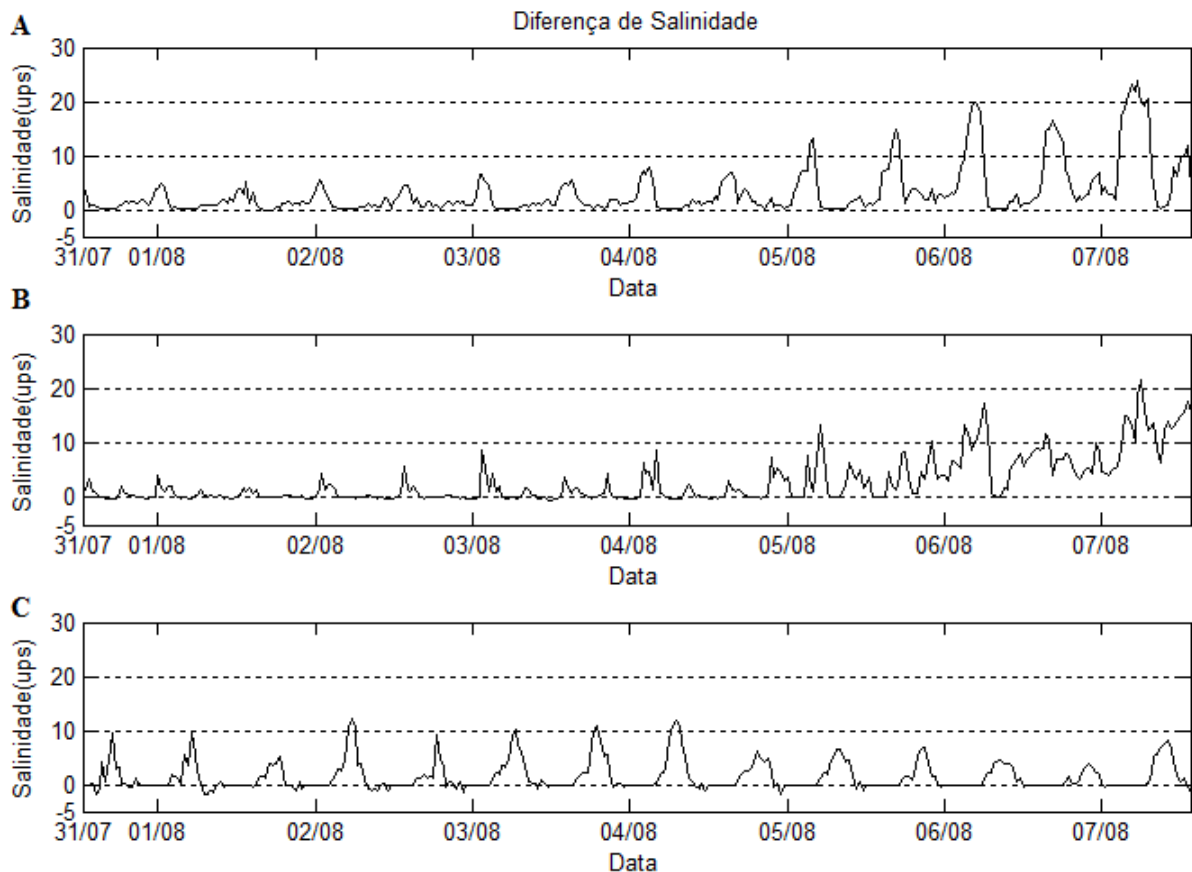


Figura 31: Diferença de salinidade (ups) entre o fundo e a superfície: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h

As oscilações verticais da superfície da água mostraram que as variações máximas da altura da maré foram de 2,40 m na Quinta do Porto, 2,16 m na Marinha e 1,92 m na Marina (Figura 28), o que permitiu a classificação do local com regime de marés de micromaré durante a maior parte do tempo.

De acordo com Miranda, Castro e Kjerfve (2002), o estuário pode ser classificado pelo balanço dos efeitos de convergência das margens e do atrito, sendo que a convergência causa o aumento da altura da maré e o atrito provoca a diminuição da altura da maré. Como houve uma pequena atenuação da altura da maré ao adentrar o estuário, pode-se classificar o estuário com tendência de ser hipossíncrono, ou seja, no qual a fricção excede o efeito de convergência. Porém, para confirmação dessa classificação, é necessária a análise do comportamento das velocidades da maré no estuário.

### 5.1.4. Densidade da água

Os valores positivos da Figura 32 representam o quanto a densidade foi maior que  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$  e negativos, valores menores que esse, a diferença entre a densidade e o valor de  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$  é denominada de sigma-t. Normalmente, valores positivos são causados pelo aumento da salinidade, já os valores negativos pelo aumento da temperatura.

O valor máximo de sigma-t superficial na Quinta do Porto foi de  $26 \text{ kg.m}^{-3}$  durante o período de medição, com uma densidade média de  $1014,9 \pm 8,8 \text{ kg.m}^{-3}$ , para o fundo, a o valor máximo foi de  $23,5 \text{ kg.m}^{-3}$  com densidade média de  $1017,3 \pm 7,6 \text{ kg.m}^{-3}$ . Para a Marinha, o valor máximo de sigma-t superficial e do fundo foi, respectivamente, de  $27,4$  e  $27,3 \text{ kg.m}^{-3}$ , e a densidade média de  $1012,0 \pm 9,7$  e  $1014,2 \pm 9,3 \text{ kg.m}^{-3}$ , respectivamente. Para a Marina, o valor máximo de sigma-t superficial e do fundo foi, respectivamente, de  $15,6$  e  $17,7 \text{ kg.m}^{-3}$ , e a densidade média de  $101,6 \pm 4,8$  e  $102,7 \pm 6,1 \text{ kg.m}^{-3}$ , respectivamente (Figura 32).

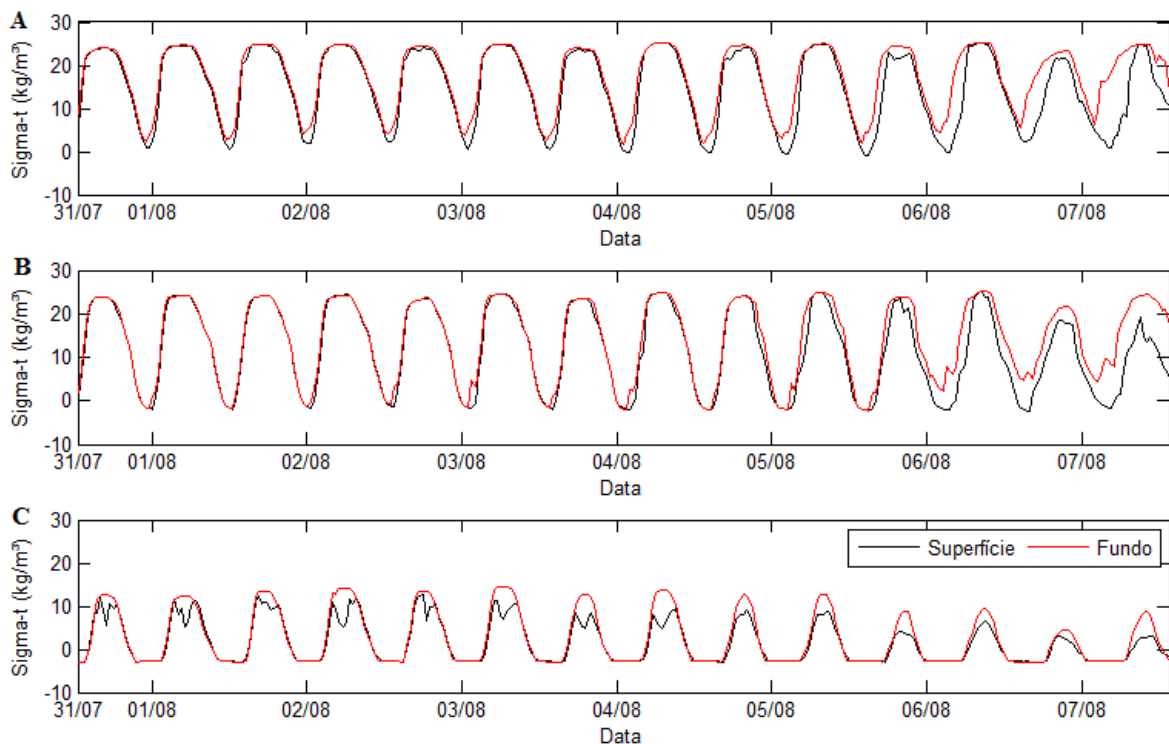


Figura 32: Sigma-t ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) na: A) Quinta do Porto; B) Marinha; C) Marina do dia 31 de julho às 12:30 h ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h

As maiores diferenças de densidades na Marinha e na Quinta do Porto ocorreram no período de maré de quadratura (06/08), no qual a maré gera menores velocidades de corrente que a maré de sizígia, portanto, não houve energia suficiente para uniformizar toda a coluna d'água. Enquanto, na Marina, ocorreram próximas ao preamar.

### **5.1.5. Perfil longitudinal de salinidade**

Os perfis longitudinais de salinidade (Figura 33 e Figura 34) mostraram até que distância a partir da desembocadura (referencial ilustrado na Figura 16 e Figura 17) para dentro do rio, onde houve sinal da água do mar, ou seja, a água salobra, salinidade superior a 0,5 ups. No dia 31 de julho com medições iniciando próximo ao período de preamar durante maré de sizígia, a zona mistura teve uma distância aproximada de 9.400 m (9,4 km) e, no dia 4 de agosto com medições iniciando próximo ao período de baixa-mar na maré intermediária sizígia-quadratura (lua minguante no dia 06 de agosto), de 5.070 m (5 km).

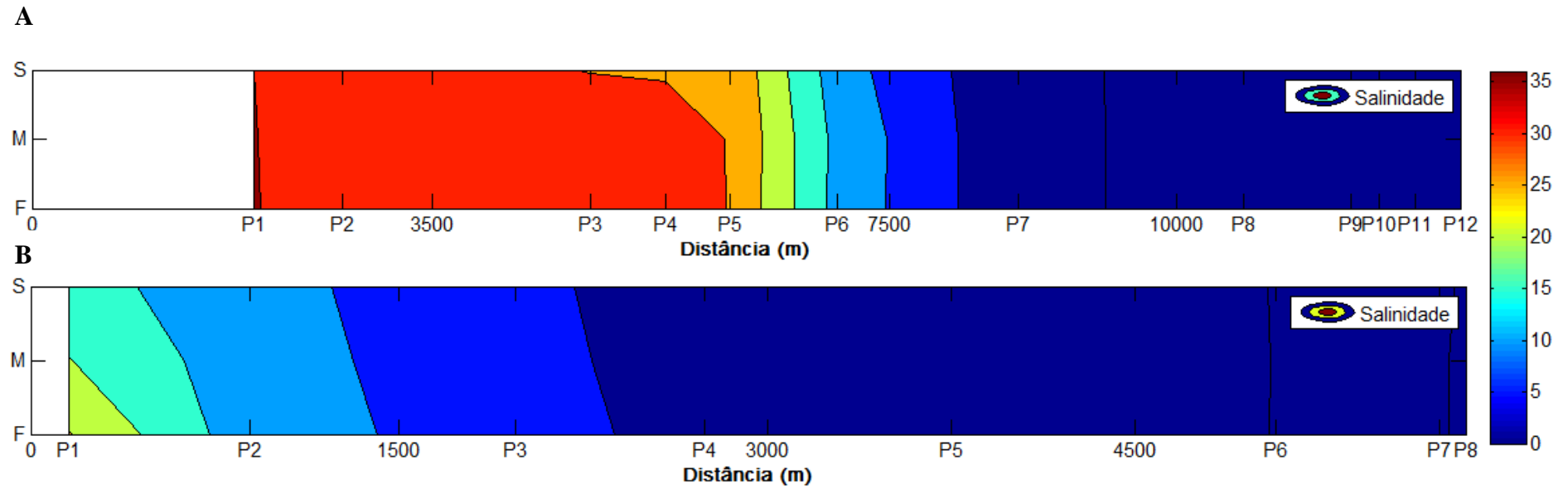


Figura 33: Perfil longitudinal de salinidade (ups) com isohalinas de 0,5 ups, 5 ups espaçamento de 5ups até 35ups A) do dia 31 de julho de 2015 (início da medição na preamar durante maré de sizígia), B) do dia 4 de agosto de 2015 (início da medição na baixa-mar na maré intermediária sizígia-quadratura, lua minguante no dia 06/08/15)



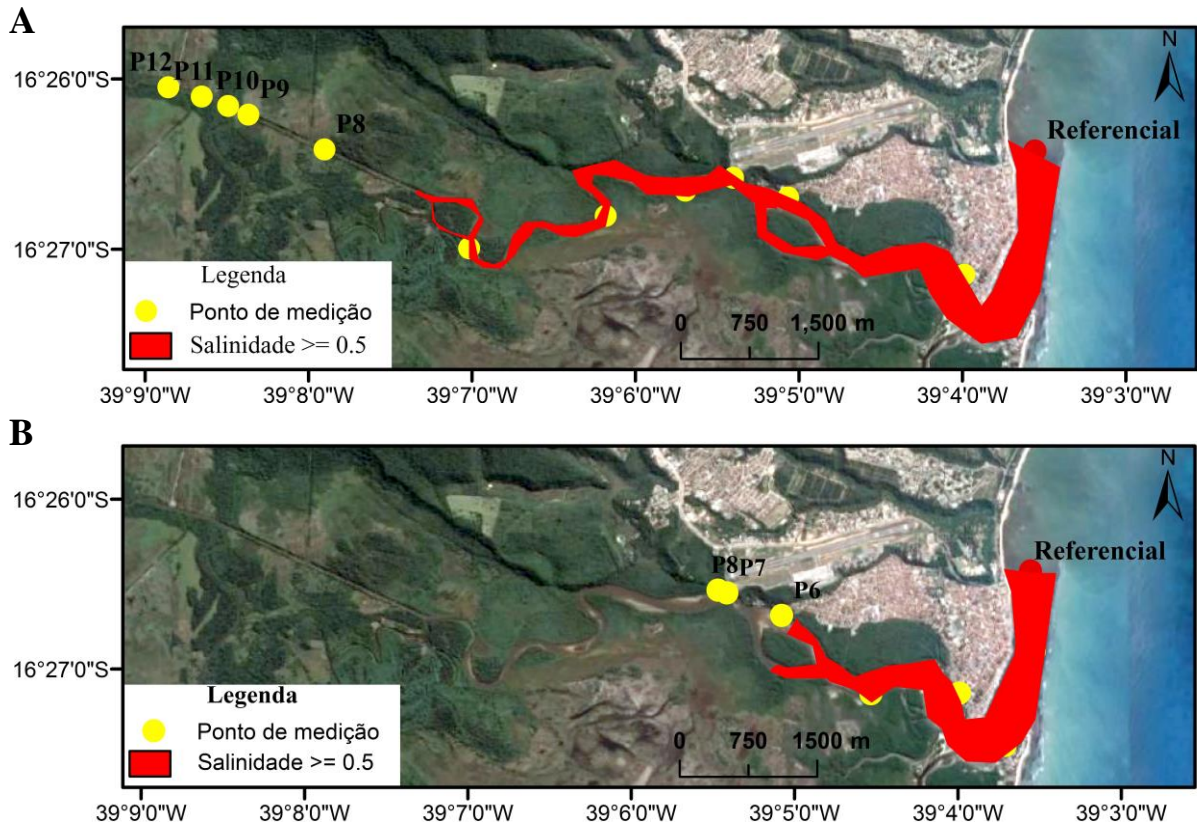


Figura 34: Delimitação da zona de mistura: A) do dia 31 de julho de 2015, B) do dia 4 de agosto de 2015

A medição de salinidade no dia 31 de julho de 2015 na Marina (P3) aconteceu às 17:10 h na superfície com valor de 29,87 ups, no meio da coluna, de 32,62 ups, no fundo, de 32,63 ups. Nessa data e horário o mini CT e mini CTD registraram uma salinidade de 9,59 ups e de 20,86 ups, respectivamente, na superfície e no fundo, sendo a altura da coluna d'água de 1,87 m acima do mini CTD. No dia 4 de agosto, na Marina (P6) às 12:20 h a salinidade medida pela sonda Hanna foi de 0,49 ups, o mini CT e o mini CTD registraram o valor de 0,0 ups para a superfície e para o fundo, com uma altura da coluna d'água de 0,46 m acima do mini CTD (Figura 30 e Figura 33).

A medição de salinidade no dia 31 de julho de 2015 na Marinha (P2) foi às 17:40 h na superfície foi de 32,81 ups, no meio da coluna, de 32,86 ups, e, no fundo, de 33 ups. Nessa data, às 17:30 h, o CT e CTD registraram uma salinidade de 34,81 ups de 34,71ups, respectivamente, na superfície e no fundo; às 18 h, 33,11 ups e 33,78 ups, com uma altura média de 5 m acima do ADCP. No dia 4 de agosto, na Marinha (P4) às 12:53 h, a salinidade foi de 2,27 para superfície, 2,29 para o meio da coluna, e 2,53 para o fundo; o CT e o CTD

registraram o valor de 4,58 e de 4,41 ups às 12:30 e de 2,45 e de 2,41 às 13 h, com altura média de 3,4 m acima do ADCP (Figura 30 e Figura 33).

No dia 04 de agosto às 13:03 h, a medição de salinidade na Quinta do Porto (P3) foi de 6,26, 6,83 e 7,73 ups, respectivamente, para superfície, meio e fundo; o CT e CTD às 13 h para mesma data registraram o valor de 5,86 e 8,30 ups, respectivamente, superfície e fundo (Figura 30 e Figura 33).

No trabalho de Uncles et al.(2000), verificou-se que para o estuário Tweed, localizado no Reino Unido com uma maré (regime de macromaré semidiurna) com penetração máxima de aproximadamente 13 km estuário adentro a partir da foz e vazão fluvial média de  $78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Também concluíram que a distribuição longitudinal da salinidade de superfície dependeu da altura da maré, mas, principalmente, da vazão fluvial: quando a vazão do rio aumentava, maior a velocidade de saída da água em direção ao oceano, a salinidade foi menor. Consequentemente, o comprimento do estuário também foi menor, localizado mais próximo da desembocadura, sendo o inverso observado também.

Já neste trabalho, a alteração entre um perfil e outro foi em relação o momento de preamar de uma maré de sizígia (do dia 31/07) e baixa-mar de uma maré intermediária entre sizígia-quadratura (lua minguante, maré quadratura, no dia 06/08). Portanto, no primeiro apresenta maior energia, tendência, da água salgada adentra a região em comparação a segunda situação do dia 04 de agosto. Por isso, o comprimento do estuário do dia 31 de julho foi maior que do dia 04 de agosto de 2015 (Figura 33e Figura 34).

### **5.1.6. Velocidade**

A intensidade da velocidade da Quinta do Porto foi maior no período de vazante próximo ao fundo, que poderia ser justificado por haver um banco de areia na proximidade ao local. Durante o período de vazante o banco de areia fica exposto o que diminui a seção transversal do escoamento com consequente aumento da velocidade. Como pode ter havido uma interferência no sinal, causando problemas nos registros de velocidade do ADCP.

A velocidade de fundo (medida a 0,9 m acima do fundo) da Quinta do Porto teve média de  $0,43 \pm 0,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , mínimo de  $0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  e máximo de  $0,91 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na superfície, a média da intensidade é  $0,29 \pm 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , mínimo de  $0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  e máximo de  $0,70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , comprovando maiores velocidades próximo ao fundo, devido uma menor área próxima ao fundo devido ao banco de areia presente na proximidade desse local de medição.

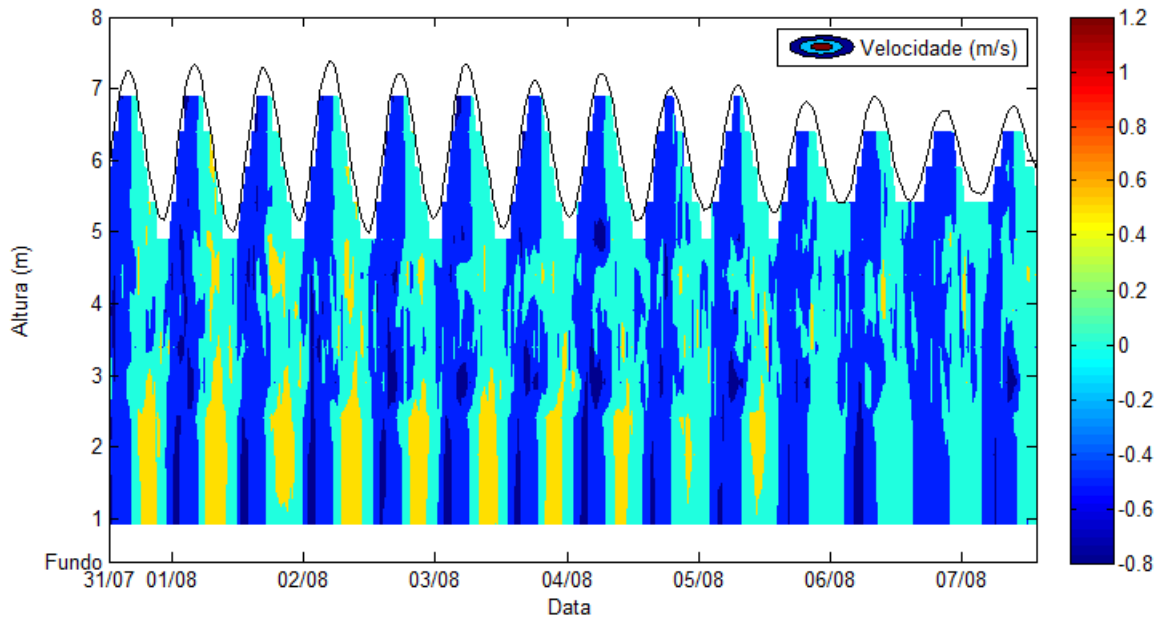


Figura 35: Magnitude do componente longitudinal da velocidade ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) na Quinta do Porto. Valores positivos: velocidade de saída (vazante); negativa: entrada (enchente). Linha preta representa a altura da coluna d'água

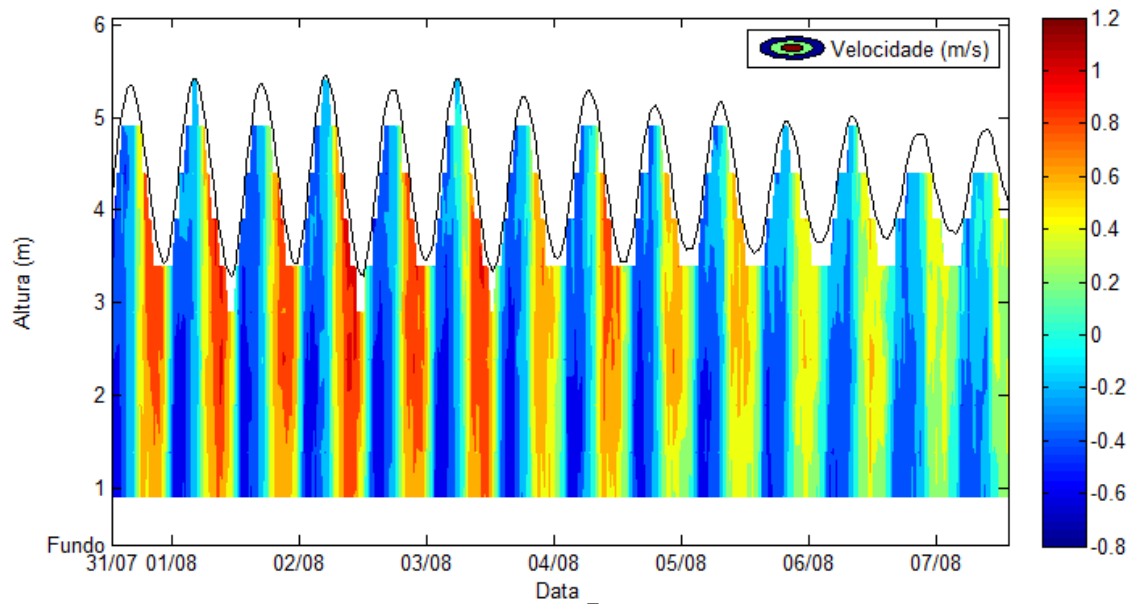


Figura 36: Magnitude do componente longitudinal da velocidade ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) na Marinha. Valores positivos: velocidade de saída (vazante); negativa: entrada (enchente). Linha preta representa a altura da coluna d'água

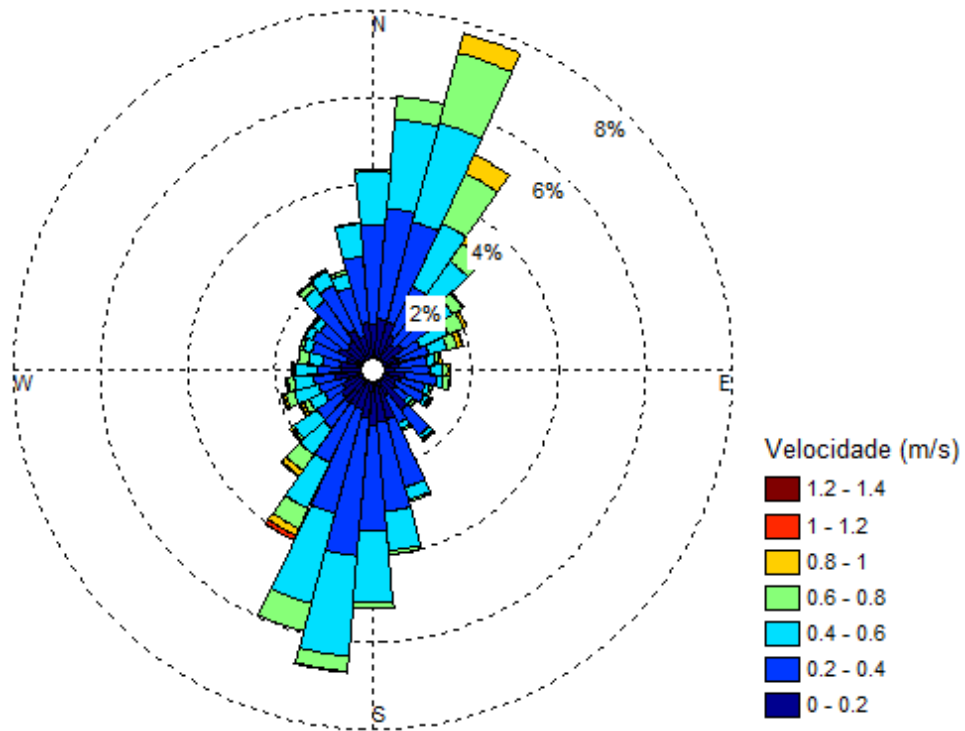


Figura 37: Intensidade e direções da velocidade da água na Quinta do Porto, em relação ao norte geográfico, do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h. Porcentagem representa frequência dos dados

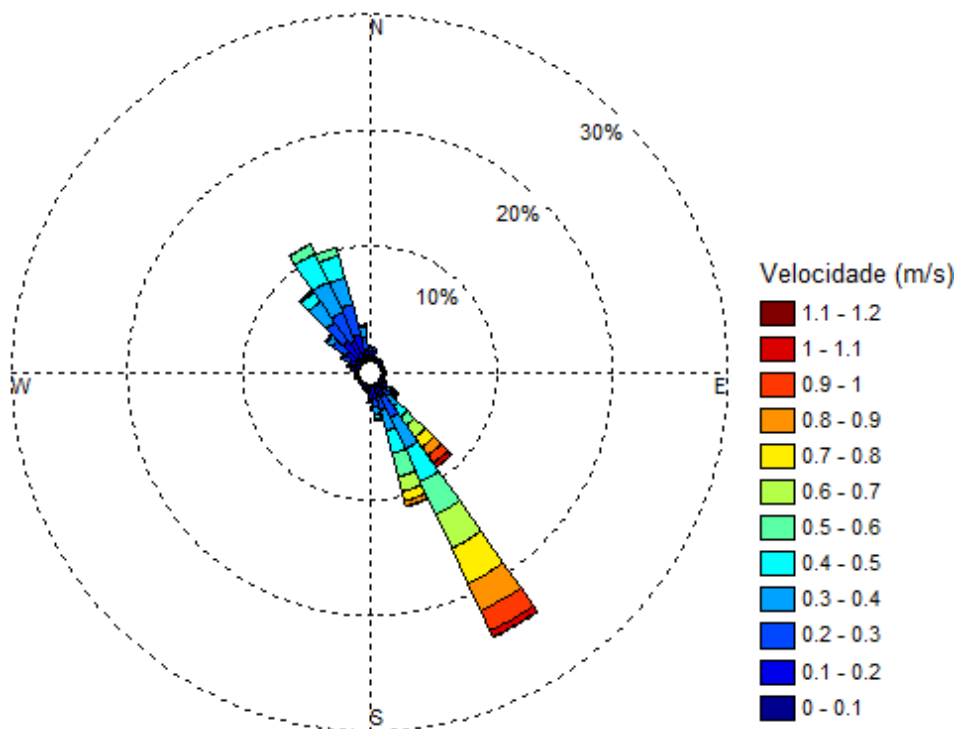


Figura 38: Intensidade e direções da velocidade da água na Marinha, em relação ao norte geográfico, do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h. Porcentagem representa frequência dos dados

As intensidades da velocidade da Marinha são maiores no período de vazante em comparação ao período de enchente, pois, na maré vazante, o escoamento fluvial e da maré se dão no mesmo sentido em direção ao oceano, mas a velocidade fluvial (vazão) no período de análise é baixa. Outra provável razão é a presença de manguezais no canal estuário, pois a velocidade máxima cresceria na vazante por causa dos maiores valores da força de arrasto no mangue (MAZDA *et al.*, 1995 apud RIGO, 2004). Outra provável razão é pode ser algum efeito batimétrico, mas pelos dados desta dissertação não pode afirmar qual a real razão das maiores velocidade no período de vazante.

A mínima intensidade no fundo na Marinha (primeira célula de medição do ADCP acima da zona “cega”) foi praticamente nula ( $0,004 \text{ m.s}^{-1}$ ), sendo a velocidade nula ocorreu no momento de enchente, a máxima intensidade foi de  $0,88 \text{ m.s}^{-1}$ . A velocidade média do fundo foi de  $0,36 \pm 0,20 \text{ m.s}^{-1}$ . A velocidade de superfície teve intensidade média de  $0,42 \pm 0,29 \text{ m.s}^{-1}$ , com valor mínimo de praticamente zero ( $0,01 \text{ m.s}^{-1}$ ) e máximo de  $1,19 \text{ m.s}^{-1}$ , esse ocorre no período de vazante, antes da baixa-mar.

A corrente predominante do fluido na Marinha foi a longitudinal ao canal principal do estuário, sendo os componentes transversais de menor intensidade. Por outro lado, na Quinta do Porto, houve uma maior influência da circulação lateral, devido à localização desse ponto ser em uma curva (Figura 37 e Figura 38).

As velocidades da Marinha foram, de modo geral, na vazante são maiores que da Quinta do Porto apesar de que na Quinta do Porto houver um estreitamento do canal causado pelo banco de areia, no entanto, nesse local há maiores profundidade que na Marinha, que poderia justificar este fato.

A velocidade longitudinal se correlaciona com os movimentos de enchente e vazante, sendo valores positivos indicando velocidade de saída (vazante) e negativa de entrada (enchente). Na Quinta do Porto, a velocidade longitudinal apresentou intensidades maiores no período de vazante; fato esperado, pois o sentido do movimento da maré era o mesmo do sentido natural do rio, causando a soma das duas velocidades: a da saída da água doce (rio) com a da saída da água salgada (maré). Além disso, o canal do estuário apresenta manguezais que poderia justificar parcialmente ou totalmente as maiores velocidade na vazante, mas pelos dados do presente trabalho não se pode afirmar a verdadeiro motivo.

Os maiores valores de velocidade na Quinta do Porto foram encontrados próximos ao fundo na vazante, em uma altura de 0,9 m a 3 m medidos acima do fundo, provavelmente,

foram causados pela batimetria do local, como um afunilamento no local, que pode ser devido ao banco de área próximo a esse ponto de medição (Figura 35).

Na Quinta do Porto, a velocidade longitudinal média da coluna d'água apresentou o máximo de  $0,51 \text{ m.s}^{-1}$  na enchente e de  $0,61 \text{ m.s}^{-1}$  na vazante; porém, as velocidades de enchente e vazantes foram simétricas, que, conseqüentemente, a velocidade residual será próxima de zero. Além disso, no perfil da velocidade média longitudinal por profundidade da coluna d'água apresentou velocidade praticamente nula em toda a coluna. Com isso, as velocidades em toda coluna e a residual serem praticamente nulas, favoreceu o acúmulo de material particulado, que poderia justificar a presença de um banco de areia próximo a Quinta do Porto (Figura 37, Figura 39 e Figura 41).

Na Marinha, a velocidade longitudinal mostrou que as maiores velocidades ocorrem no momento de vazante, no período final da vazante. A velocidade longitudinal média da coluna d'água apresentou valor máximo de  $0,46 \text{ m.s}^{-1}$  na enchente e de  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$  na vazante, havendo uma assimetria entre as velocidades de enchente e vazante, sendo que maiores intensidade foram na vazante, que, conseqüentemente, a velocidade residual teve sentido saindo do estuário, indo para o mar. Além disso, o perfil da velocidade média longitudinal por profundidade da coluna apresentou velocidade superficial de  $0,28 \text{ m.s}^{-1}$  (vazante), velocidade média na coluna d'água de  $0,16 \text{ m.s}^{-1}$  (vazante). Com isso, a velocidade residual teve sentido da vazante, então, na Marinha, o estuário se comporta como potencial exportador de material em suspensão para o mar durante o período amostrado (Figura 38, Figura 40 e Figura 42).

Durante o período de medição, a lua cheia ocorreu no dia 31/07 (início das medições) e lua minguante (06/08), portanto, no início das medições a maré foi de sizígia e no dia 06 de agosto foi de quadratura. Como as marés de sizígia apresentam maiores amplitudes que as de quadratura, geram intensidade de correntes maiores, portanto, as velocidades longitudinais médias, tanto na Quinta do Porto como na Marinha, apresentaram maiores intensidade no início das medições, quando houve maré de sizígia. Portanto, durante a maré de sizígia, a excursão (distância de penetração) da maré foi maior, pois é diretamente proporcional à amplitude da velocidade, e o volume de água salgada que entra no estuário (prisma de maré) foi maior, pois é proporcional a altura da maré, em comparação quando houve maré de quadratura.

A velocidade transversal, na Quinta do Porto, variou de aproximadamente de  $-0,24$  a  $0,29 \text{ m.s}^{-1}$ ; na Marinha, de  $-0,13$  a  $0,12 \text{ m.s}^{-1}$  (Figura 39 e Figura 40). De modo geral, a

velocidade transversal (Figura 39 e Figura 40), principalmente na Marinha, apresentou um comportamento irregular e com intensidades inferiores que a velocidade longitudinal.

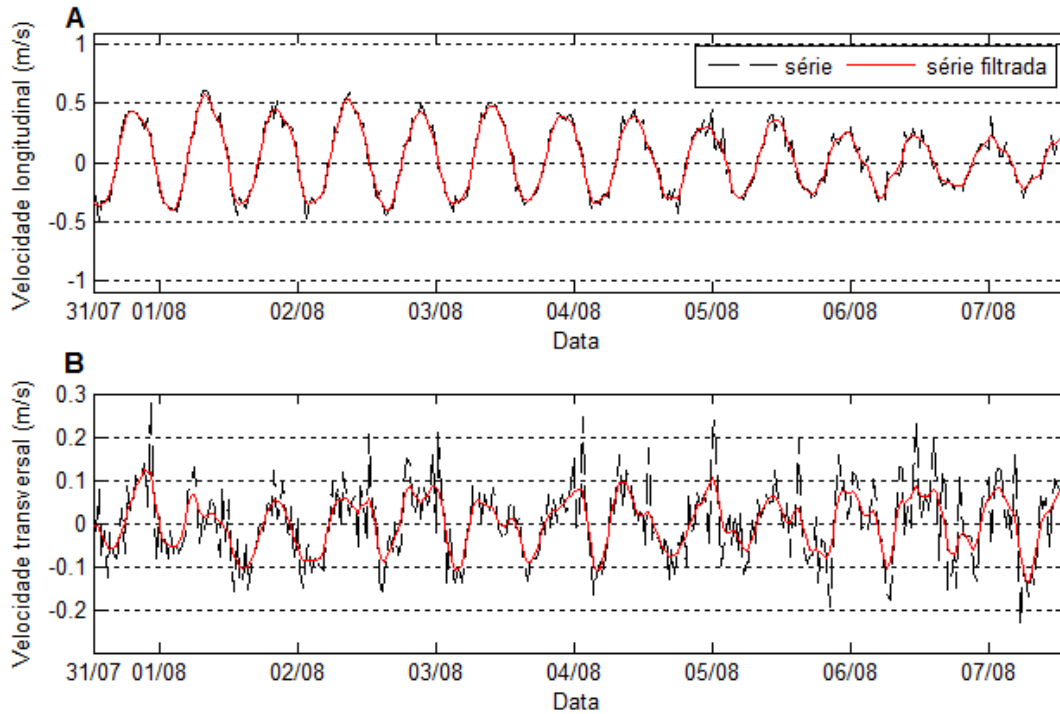


Figura 39: Velocidade média longitudinal (A) e transversal (B) medida e filtrada na Quinta do Porto do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h

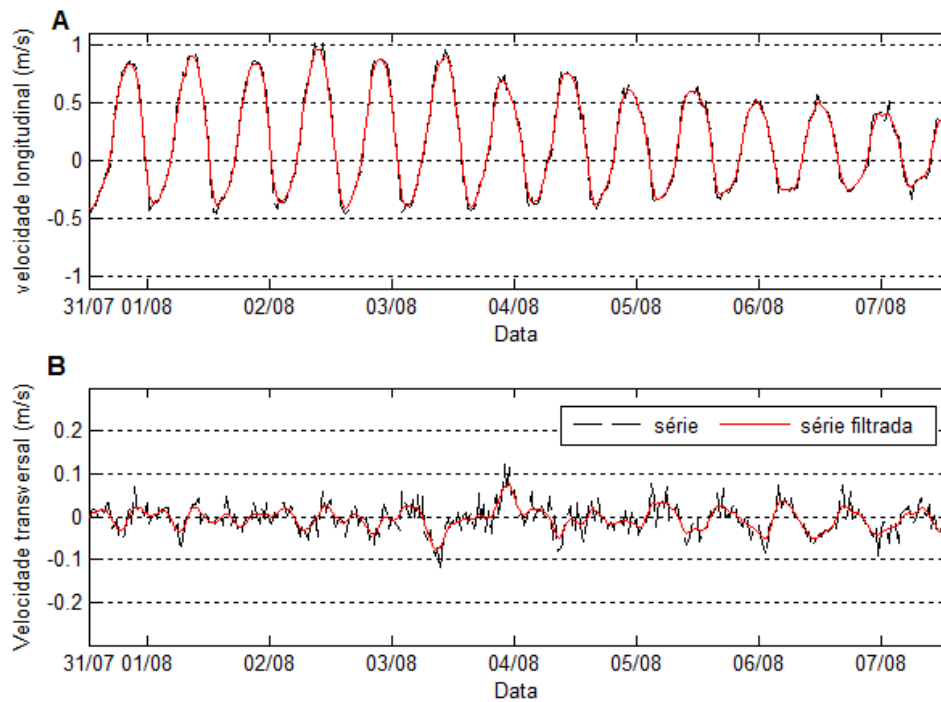


Figura 40: Velocidade média longitudinal (A) e transversal (B) medida e filtrada na Marinha do dia 31/07 às 12:30 h ao 07/08/15 às 13:30 h

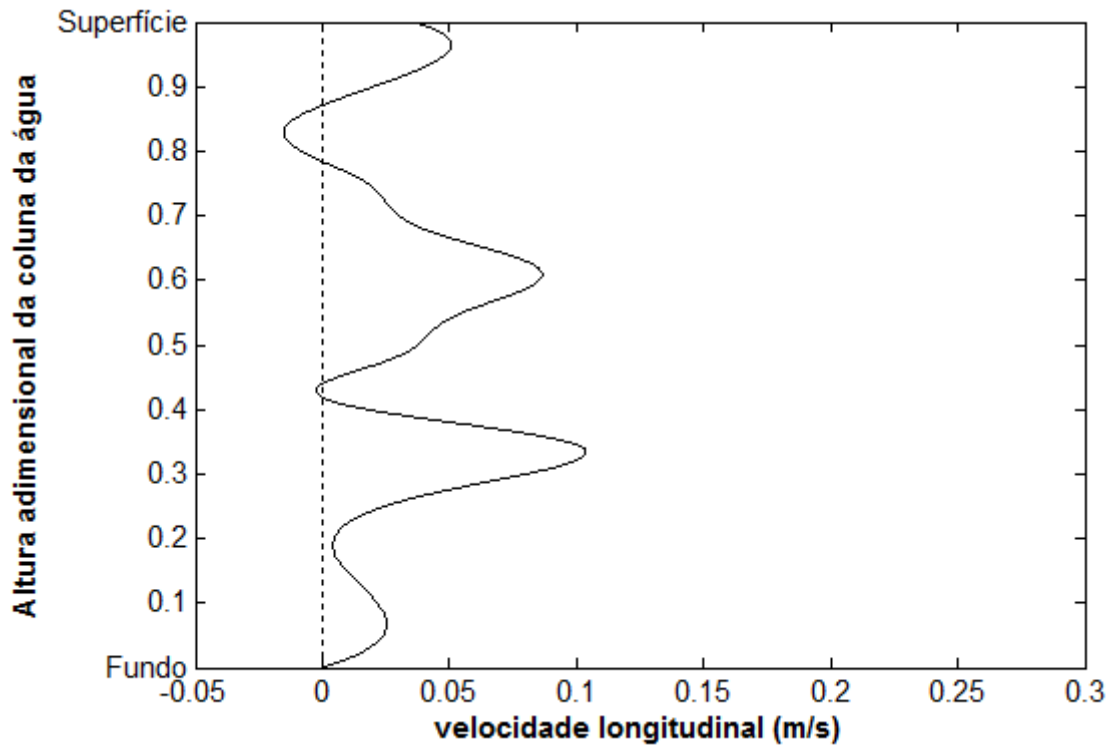


Figura 41: Perfil vertical do componente longitudinal da velocidade média entre 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água na Quinta do Porto

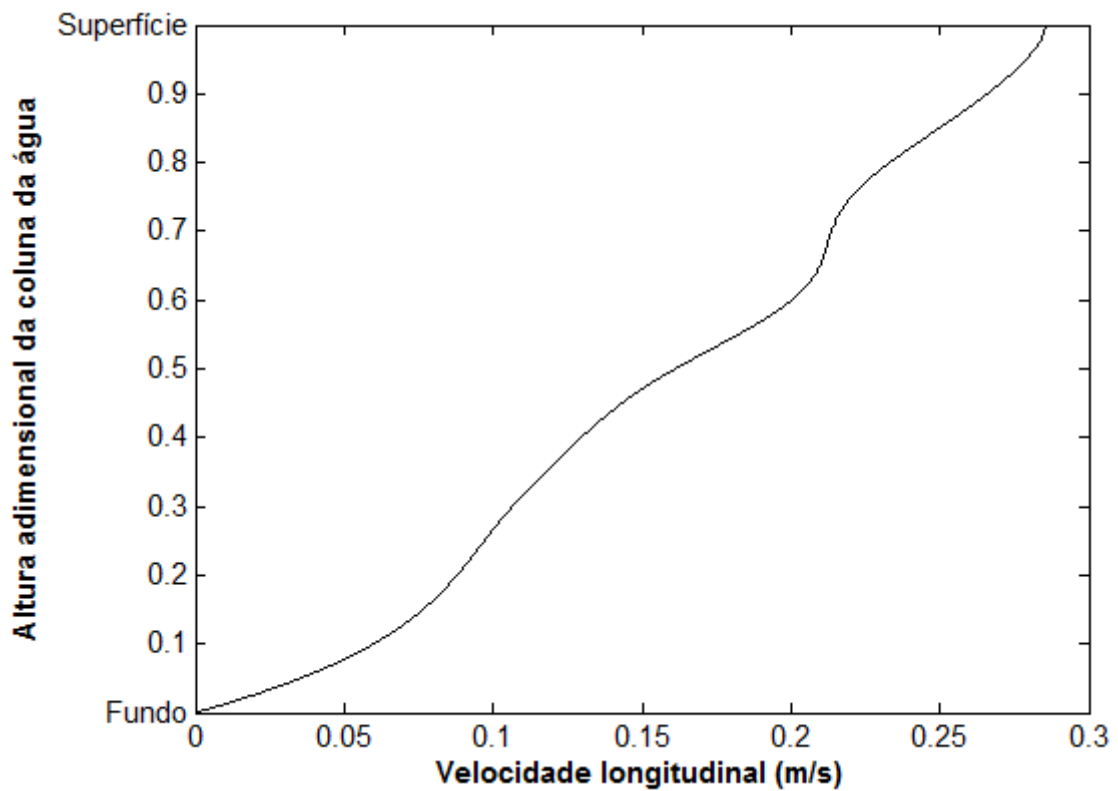


Figura 42: Perfil vertical do componente longitudinal da velocidade média entre 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água na Marinha



A oscilação da maré gera uma circulação no estuário, ou seja, uma movimentação (velocidade), com isso, a oscilação da maré se relaciona com a velocidade. Na Quinta do Porto e na Marinha, a oscilação vertical da água e a velocidade longitudinal não estavam em fase – comportamento típico de uma onda progressiva, ou mesmo sob uma defasagem de  $90^\circ$  - característica de onda estacionária. Portanto, pode-se classificar a onda de maré como mista, uma composição complexa de ondas progressivas e estacionárias (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002). Porém, a propagação da onda de maré apresentou um comportamento mais próximo de uma onda estacionária. Comportamento similar de ondas mistas ocorreu na comparação entre a oscilação vertical da água e o componente transversal de velocidade (Figura 43, Figura 44, Figura 45 e Figura 46).

Na Figura 43 e na Figura 44, observou-se que o momento de estofa (velocidade próxima de zero) ocorre entre a baixa-mar e a preamar. Nos momentos de estofa, há condições propícias para deposição do material em suspensão, pois as velocidades são próximas de zero.

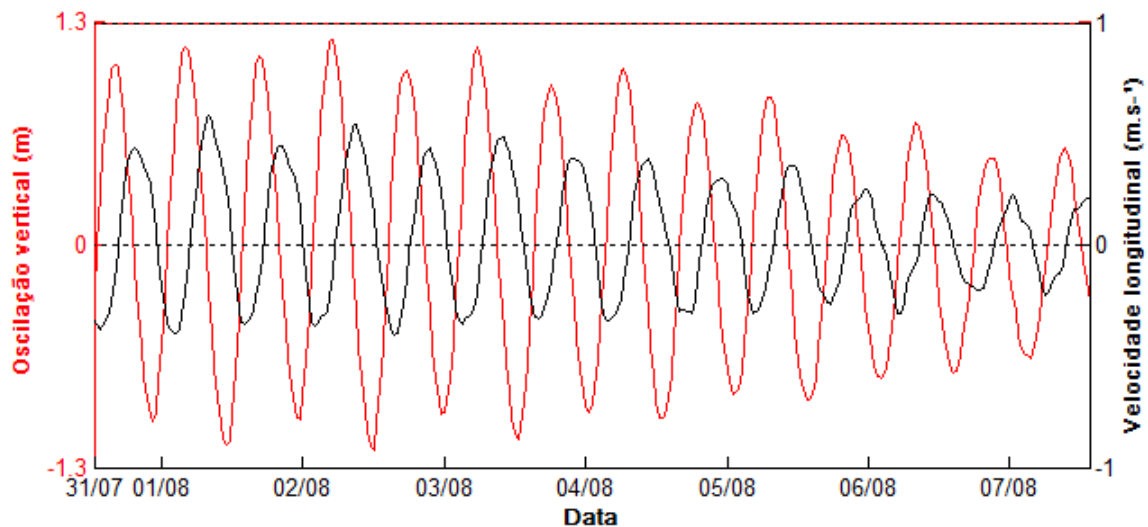


Figura 43: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade longitudinal ( $\text{m.s}^{-1}$ ), em preto, na Quinta do Porto entre 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água

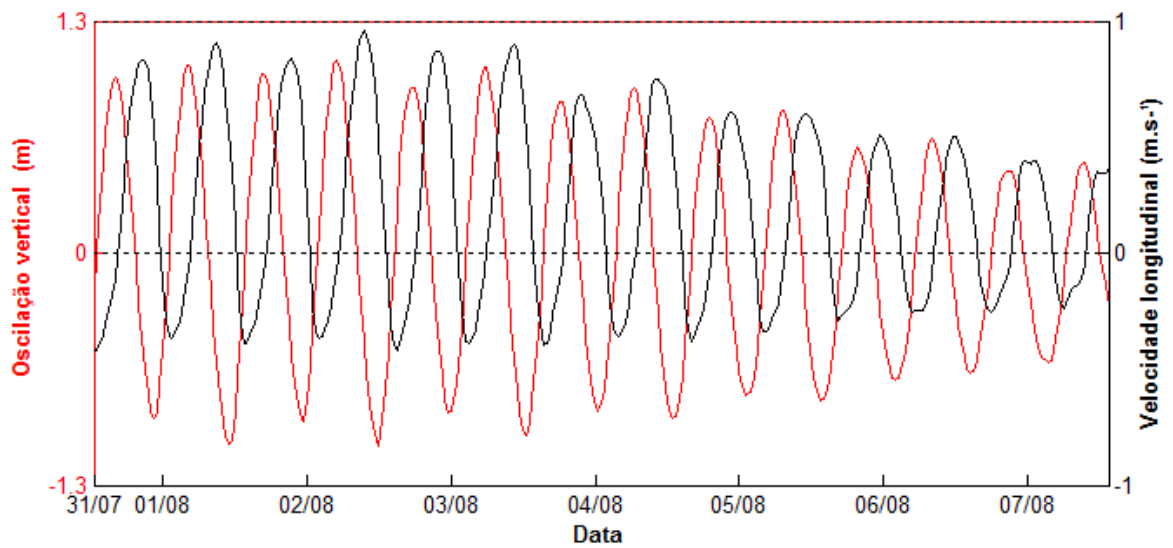


Figura 44: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade longitudinal ( $\text{m.s}^{-1}$ ), em preto, na Marinha das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água

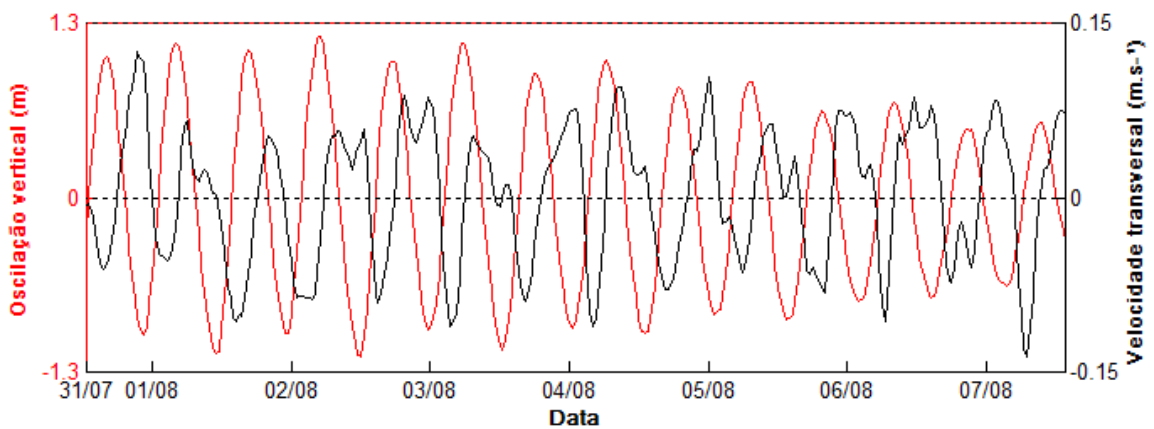


Figura 45: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade transversal ( $\text{m.s}^{-1}$ ), em preto, de Quinta do Porto das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água

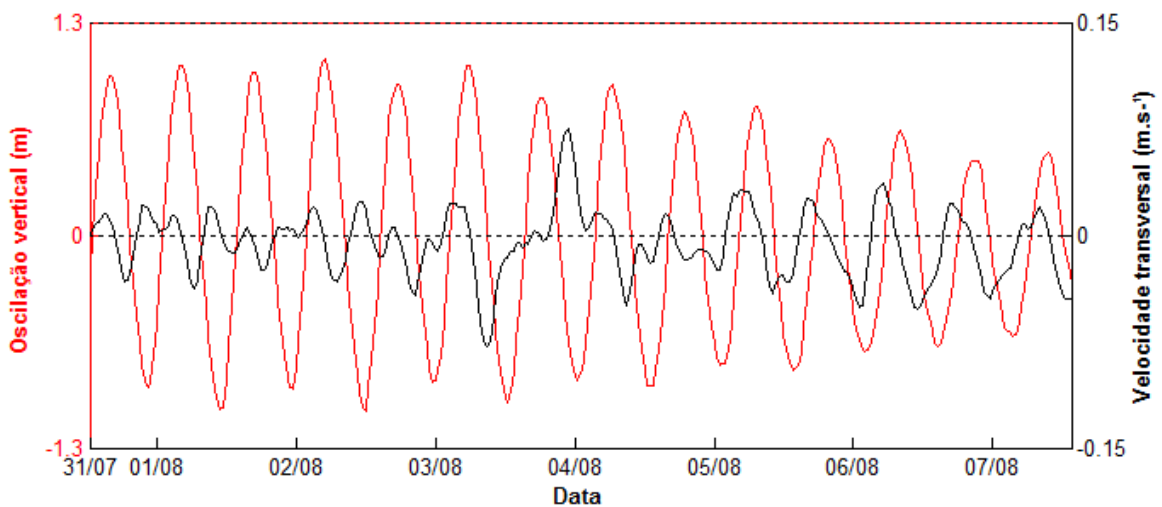


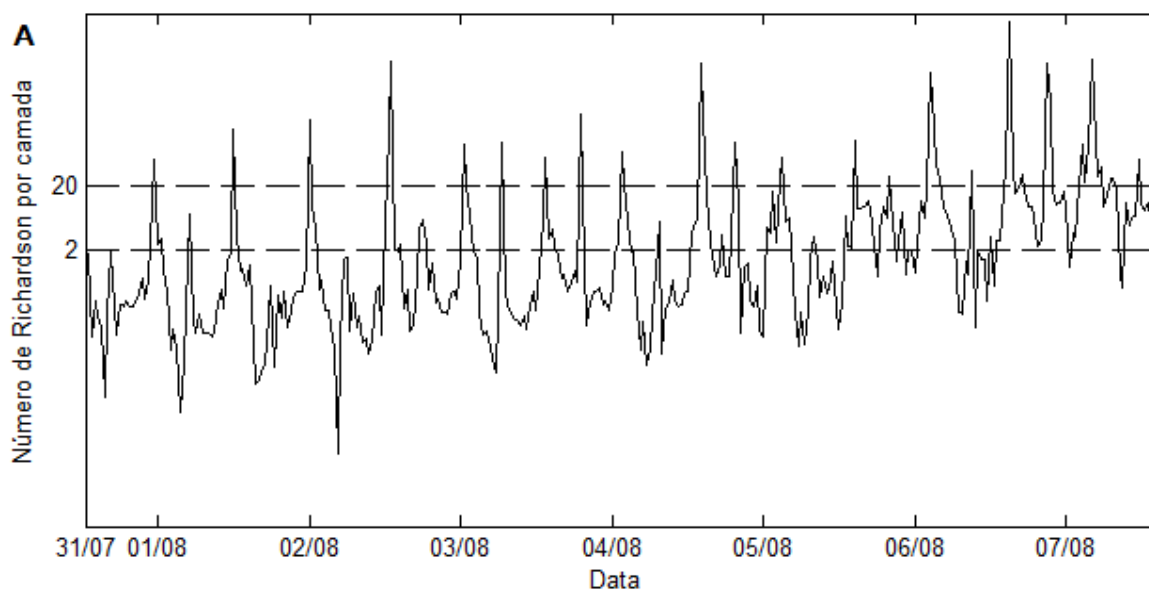
Figura 46: Oscilação vertical d'água (m), em vermelho, e a velocidade transversal ( $\text{m.s}^{-1}$ ), em preto, na Marinha das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água

### 5.1.7. Número de Richardson por camada

Pelo número de Richardson por camada ( $Ri_L$ ) permite avaliar a importância relativa entre turbulência e estratificação vertical em diferentes momentos da maré. De acordo com a Figura 47, na maior parte do tempo (60,2% na Quinta do Porto e 77,9 % na Marinha), o valor do  $Ri_L$  encontrou-se abaixo de 2, indicando uma total mistura na coluna d'água. Ou seja, a diferença de salinidade entre o fundo e a superfície foi pequena, o que pode ser confirmado pela Figura 30.

Nos momentos em que o  $Ri_L$  variou de 2 a 20, indicando uma maior mistura da coluna d'água, no entanto, não se observou a uma estratificação acentuada com a presença da haloclina, ou seja, a turbulência é suficiente para não gerar uma estratificação acentuada. No entanto, houve 12,1 % na Quinta do Porto e 5,6 % na Marinha das vezes que o valor de  $Ri_L$  foi maior que 20, isso indica que nesses momentos houve uma estratificação na coluna d'água, ou seja, a turbulência não foi suficiente para gerar mistura.

Encontraram-se maiores valores de  $Ri_L$  ( $>20$ ) quando a velocidade média na coluna d'água foi praticamente nula. Porém, houve um momento (dia 04/08 às 19:30 h) na Marinha em que o  $Ri_L = 23$ , mas a diferença de salinidade foi de 0.01 ups com uma velocidade média de  $0,004 \text{ m.s}^{-1}$  e profundidade de 5,098 m, como a diferença de salinidade é praticamente nula é pode ser inferida pela própria resolução do equipamento (do CTD e CT é de 0,02 ups). Portanto, nesse momento, o valor de  $Ri_L$  pode ser considerado como zero.



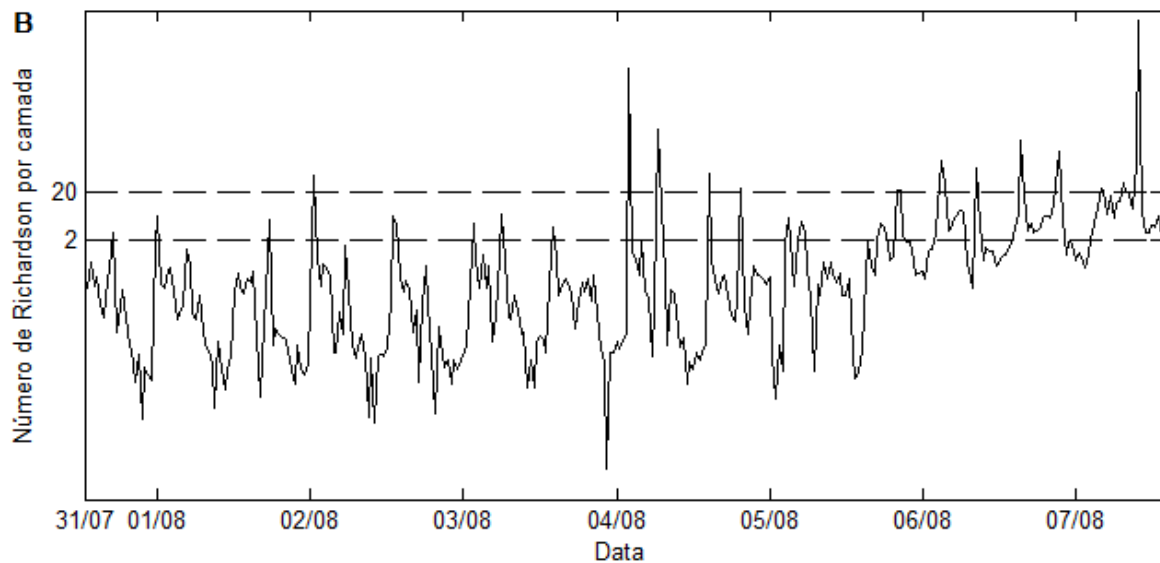


Figura 47: Número de Richardson por camada (-) calculado na Quinta do Porto (A) e na Marinha (B) das 12:30 h do dia 31 de julho de 2015 ao dia 07 de agosto de 2015 às 13:30 h na coluna d'água. Lua Cheia (maré de sizígia) no dia 31/07 e lua minguante (maré de quadratura) no dia 06/08/15

No dia 07/08 às 10:00 h na Marinha, encontrou-se o maior valor de  $Ri_L$  (59912), isso devido a diferença de salinidade encontrada de 13,94 ups com uma velocidade longitudinal média de  $0,002 \text{ m.s}^{-1}$  (praticamente nula). Na Quinta do Porto, observou-se condição semelhante (no dia 06/08 às 15:00 h), o maior valor de  $Ri_L$  (7542) foi devida a baixa velocidade longitudinal média na coluna ( $0,006 \text{ m.s}^{-1}$ , praticamente nula) e diferença de salinidade de 8,38 ups.

De modo geral, observou-se que sob condição de sizígia (lua cheia dia 31/07) houve maior mistura ( $Ri_L < 2$ ) que estratificação ( $Ri_L > 20$ ) em comparação a maré de quadratura (lua minguante dia 06/08). Isso é esperado, pois as marés de sizígia geram maiores velocidade de correntes em comparação às marés de quadratura, com isso, as marés de sizígia promovem uma maior mistura na coluna d'água.

Além disso, as maiores variações de salinidade (Figura 30) entre o fundo e a superfície ocorreram, principalmente, nos períodos finais do período de medição, onde se caracterizou por apresentar maré do tipo quadratura (Figura 28), ou seja, marés com menores amplitudes. Como a maré é um dos principais agentes causadores de turbulência, e consequentemente, de mistura, justifica-se o resultado. De modo geral, quando houve uma maré com maiores amplitudes (sizígia), houve maior mistura da coluna d'água, que se comprova pelo número de Richardson e vice-versa (Figura 47).

Observou-se também que, na Quinta do Porto, houve o aumento do número de Richardson por camada (máximos locais) quando a velocidade era próxima de zero (momento

de estofa). Na Marinha, houve o aumento do  $Ri_L$  (máximos locais) quando houve o máximo da velocidade longitudinal de enchente, isso ocorreu, pois houve o aumento da diferença de salinidade entre o fundo e a superfície devido à entrada da água salgada no estuário.

No trabalho de Capo et al. (2009) para o estuário Konkouré (República da Guiné, país da África Ocidental), os autores concluíram que a turbulência era maior (número de Richardson por camada menor do que 2) nos períodos de vazante e enchentes; e que os maiores valores de  $Ri_L$  foram encontrados no preamar e baixa-mar. A justificativa desse fato é que durante as cristas e vales da onda da maré, a turbulência gerada pelo fluxo do fundo diminui e não consegue gerar uma mistura tão eficiente. No presente trabalho, também se observou que houve aumento no  $Ri_L$  e, portanto, predomínio da estratificação vertical sobre a turbulência, próximo a preamar e baixa-mar. Isso pode ser justificado, pois a propagação da onda de maré no estuário é mista, ou seja, o período de estofa (velocidade praticamente nula) ocorre próximo à preamar e baixa-mar, como isso, a estratificação vertical de sal é favorecida nesses instantes de velocidades próximas a zero.

Na caracterização hidrodinâmica do estuário do rio São Francisco feita por Paiva (2015), observou-se também que houve estabilidade vertical ( $Ri_L > 20$ ) quando as velocidades foram próximas a zero, e uma instabilidade maior na coluna no período de enchente, período que o  $Ri_L$  foi menor que 2, portanto a mistura foi suficiente para igualar a salinidade de fundo e superfície.

### **5.1.8. Classificação do estuário**

A classificação do estuário tanto na Quinta do Porto (Figura 48) como na Marinha (Figura 49) foi do tipo 1b, ou seja, estuário bem misturado. Observaram-se na Figura 48 e na Figura 49, que as linhas tracejadas representam a proporção relativa entre o processo dispersivo e advectivo, pela classificação do estuário, a proporção foi 1 (um), que significa que há predominância do processo de difusão turbulenta em relação ao processo de advecção. Com isso, não há circulação gravitacional e o transporte de sal estuário acima é feito pela difusão turbulenta (MIRANDA, CASTRO, KJEFVE, 2002).

De acordo com Levinson (2010), esse tipo de estuário apresenta a velocidade residual com o sentido de saída do estuário, indo ao mar, em toda a coluna d'água, isso foi verificando

neste trabalho, a velocidade residual, principalmente na Marinha, foi no sentido de saída do estuário, predominância das correntes de vazante (Figura 41 e Figura 42).

O grau de estratificação vai depender nível de energia disponível para gerar mistura na coluna d'água, ou seja, há uma associação do grau de estratificação com a turbulência gerada pela maré (BARRETO; SCHETTINI, 2014). Como, nesse tipo de estuário, a maré tem um efeito maior, modulador, os perfis longitudinais de salinidade apresentaram isohalinas praticamente verticais, ou seja, a estratificação vertical é pequena (Figura 33), com isso, o fluxo vertical de sal é muito pequeno e o mistura ocorre, principalmente, na direção longitudinal (DYER, 1973 apud MIRANDA, CASTRO, KJEFVE, 2002).

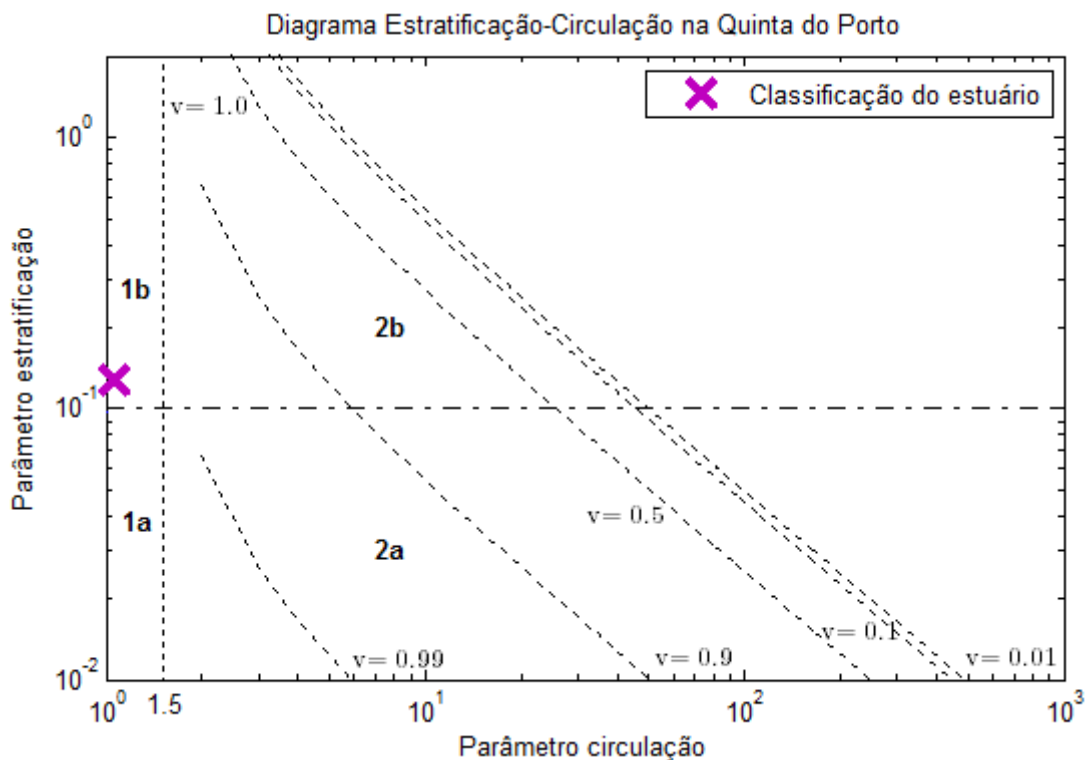


Figura 48: Diagrama de estratificação-circulação de Hansen-Rattray (1966) com a condição do ponto da Quinta do Porto do rio Buranhém, Porto Seguro - BA. Curvas paramétricas da proporção relativa ( $0 < v \leq 1$ ), linhas tracejadas, dos processos dispersivo e advectivo

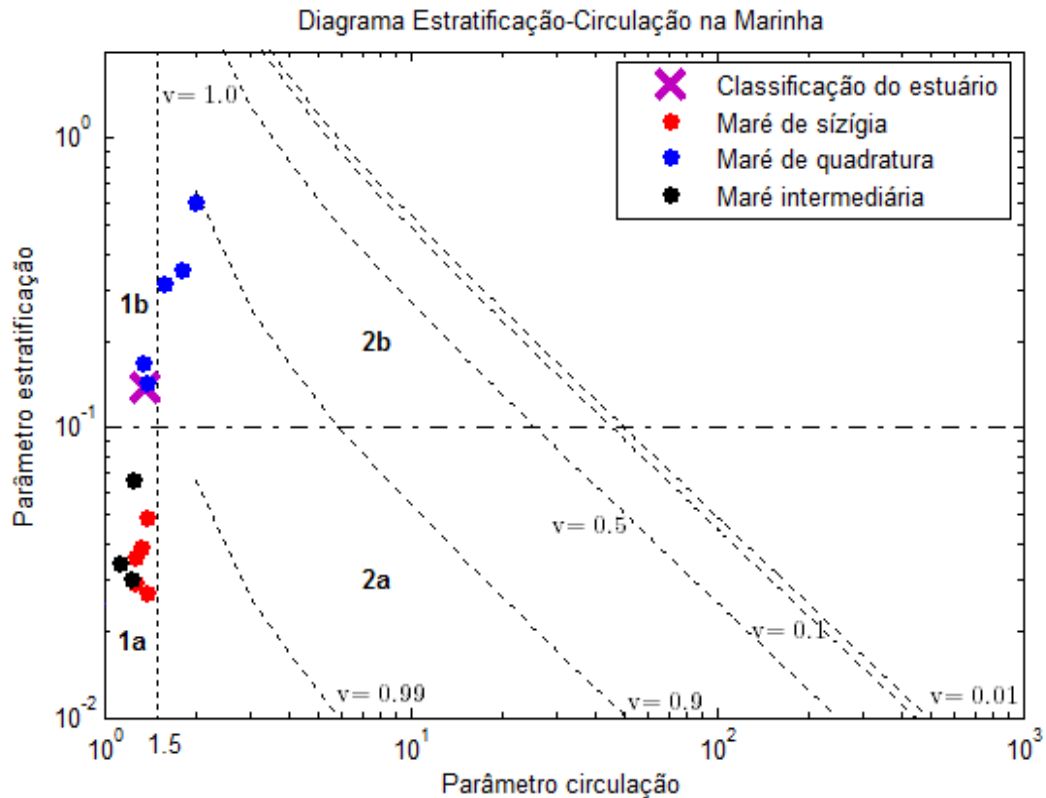


Figura 49: Diagrama de estratificação-circulação de Hansen-Rattray (1966) com as condições do ponto da Marinha do rio Buranhém, Porto Seguro – BA, Curvas paramétricas da proporção relativa ( $0 < v \leq 1$ ), linhas tracejadas, dos processos dispersivo e advectivo

A classificação do estuário no ponto da Marinha durante a maré de quadratura foi bem misturado (1b), enquanto na sizígia como bem misturado e fracamente estratificado (1a). Observou-se um padrão mais estratificado na maré de quadratura em comparação no período de sizígia durante o trabalho de campo, o que confirma uma ausência da estratificação salina durante o período de maré de sizígia. Isso é esperado, pois as marés de sizígia geram maiores velocidades de correntes que as marés de quadratura, que, conseqüentemente, as marés de sizígia podem promover maiores misturas.

Vitta (2005) encontrou uma alternância de classificação entre 1a e 1b para a Lagoa dos Patos que, por causa de períodos de alta e baixa descarga fluvial, sendo que na alta descarga, classificou-se o ambiente como 1b, uma condição mais estratificada que a classificação 1a. Já neste trabalho, essa modulação foi causada pela alteração da magnitude da maré. Os estuários do Tipo 1 apresentam fluxo residual estuário abaixo em toda a coluna d'água, enquanto o transporte de sal estuário acima é pelo processo de difusão turbulenta. Além disso, são estuários nos quais a principal forçante física são as marés, que têm energia

suficiente para superar a estratificação vertical de sal e homogeneizar verticalmente a coluna d'água.

Como a média de salinidade foi feita, somente, com os dados de salinidade de superfície e fundo, então o grau de estratificação (parâmetro estratificação) pode ser alterado com um número maior de medições em pontos da coluna d'água.

Pereira et al. (2010) classificaram o estuário do rio Caravelas, também localizado no extremo sul da Bahia (aproximadamente 180 km ao sul do local de estudo deste trabalho), como bem misturado e fracamente estratificado (1a).

De modo geral, o estuário bem misturado se caracteriza por apresentar um maior efeito da maré sobre a forçante da vazão fluvial, ou seja, a contribuição da forçante fluvial é secundária. Como os estuários são dinâmicos, sua hidrodinâmica pode mudar na escala de tempos, como a vazão fluvial se altera ao longo do ano (Figura 9). Para o rio Buranhém, a vazão torna-se maior entre novembro a abril, portanto, essa classificação do estuário pode ser alterada com a época do ano.

### **5.1.9. Derivadores**

O lançamento dos derivadores foi realizado no momento de maré vazante, a primeira vez que os derivadores foram colocados na água foi por volta das 9:45 h do dia 01/08/2015. Por isso, a tendência em se deslocarem para o mar (Figura 50). Em função da distância percorrida e do tempo necessário para isso, estimou-se a velocidade de deslocamento. Foram obtidas velocidades médias de 0,30, 0,23, 0,23, 0,36  $\text{m.s}^{-1}$ , respectivamente, para os derivadores 1,2,3 e 5. Já as intensidades da velocidade medidos pelo ADCP da Quinta do Porto nos horários de 9:30 h e 10:00 h foram, respectivamente, de 0,37 e 0,20  $\text{m.s}^{-1}$  na superfície, a velocidade média entre as profundidades de 1,385 e 1,885 m foi de 0,21  $\text{m.s}^{-1}$  para 9:30 h, e a velocidade entre as profundidades de 1,236 e 1,736 m foi de 0,32  $\text{m.s}^{-1}$  para as 10:00 h. Isso mostrou coerência entre as velocidades “estimadas” pelos derivadores e pelo ADCP.



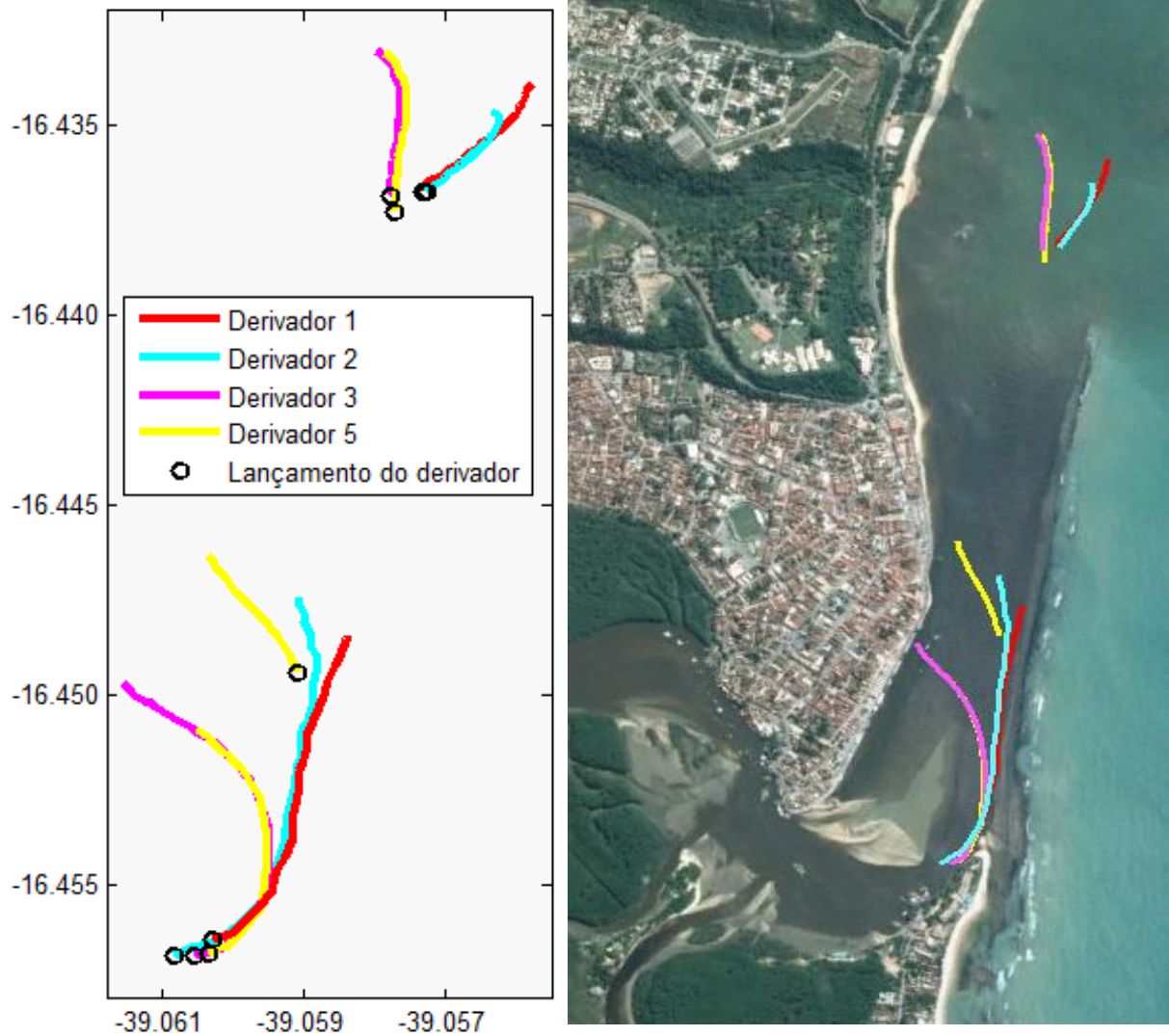


Figura 50: Trajetória dos derivadores no dia 01/08/2015 na maré de vazante. Horário de lançamento 9:45 h.  
Derivadores com velas: 1 (vermelho) e 2 (azul claro). Derivadores sem velas: 3 (rosa) e 5 (amarelo)

Os derivadores 1 e 2, por contarem com velas submersas (1,47 m e 1,64 m de profundidade, respectivamente), estavam mais sujeitos às correntes predominantes na coluna d'água. Esses derivadores apresentaram uma trajetória mais retilínea (Figura 50). Suas velocidades (Figura 51) foram na média de  $1,21 \pm 0,95 \text{ m.s}^{-1}$  e intensidade máxima de  $3,83 \text{ m.s}^{-1}$  para o derivador 1, para derivador 2, a média foi de  $0,96 \pm 0,69 \text{ m.s}^{-1}$  e intensidade máxima de  $2,76 \text{ m.s}^{-1}$ . Provavelmente, o comportamento desses derivadores foi influenciado pela presença de um canal próximo ao local do lançamento.

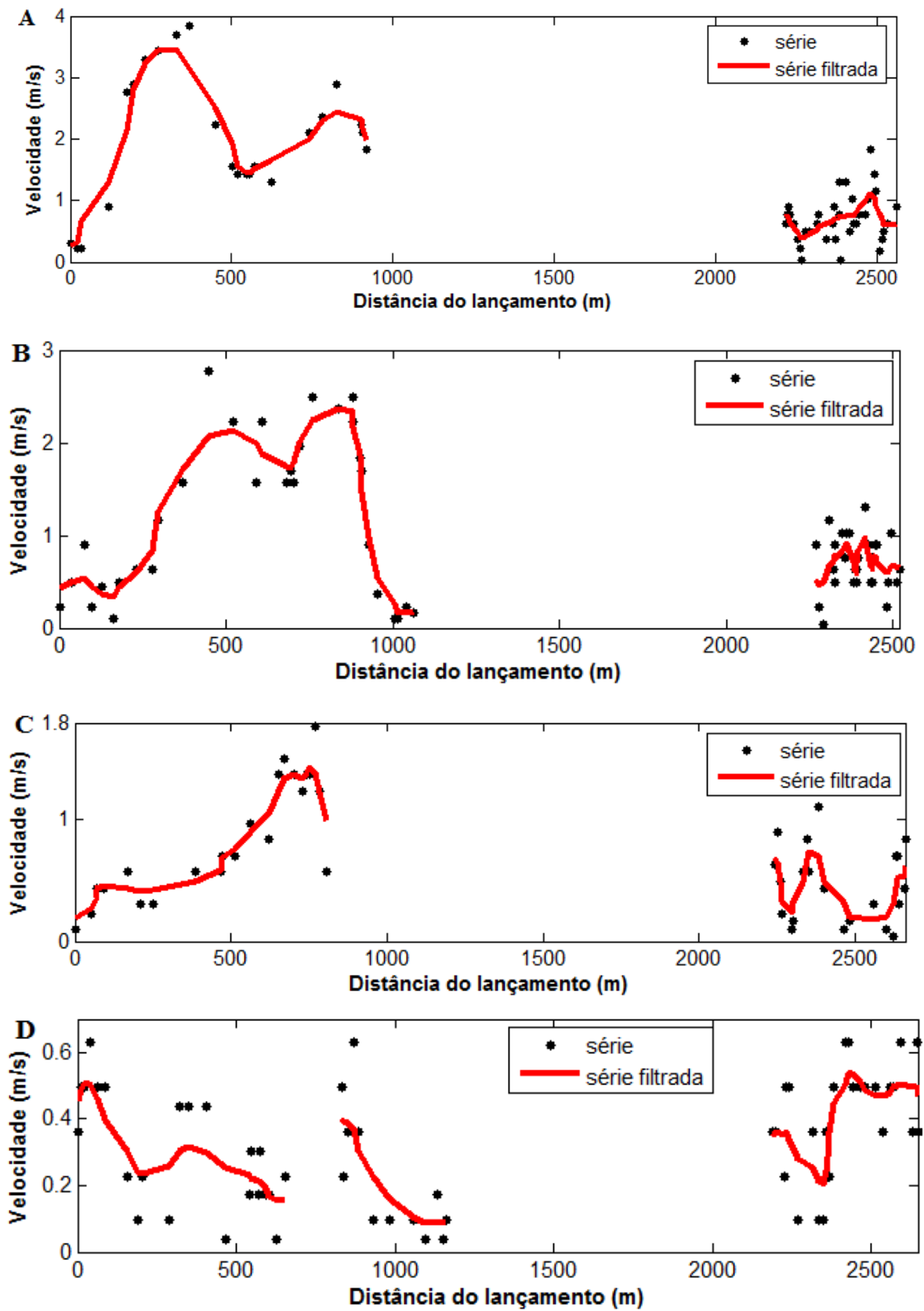


Figura 51: Velocidade ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) dos derivadores no dia 01/08/2015 na maré de vazante (A) 1 (com vela) (B) 2 (com vela) (C) 3 (sem vela) (D) 5 (sem vela).

Os derivadores 3 e 5 não continham velas submersas e, portanto, suas trajetórias foram mais influenciadas por correntes superficiais e pelo efeito do vento. Eles apresentaram um movimento de cruzar o estuário transversalmente e ir em direção à margem mais próxima, a orla de Porto Seguro. Essa tendência poderia ser explicada por ventos de leste que sopravam no instante do lançamento, o que poderia ter influenciado a trajetória dos derivadores sem vela (Figura 50). Contudo, na hora do experimento, a direção do vento foi de  $260^\circ$  (aproximadamente oeste), portanto, a direção do vento não explica esse comportamento. A justificativa mais plausível do desvio das trajetórias dos derivadores superficiais (3 e 5) deve ser devido ao cisalhamento no campo das correntes superficiais na região.

Ainda quanto a esses derivadores 3 e 5, foram obtidas velocidades médias de  $0,65 \pm 0,44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,33 \pm 0,18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente, intensidade máxima de  $1,77 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Portanto, a intensidade da velocidade medida pelos derivadores 3 e 5 (superficiais) são menores que as medidas pelos derivadores 1 e 2 (1,47 m e 1,64 m de profundidade, respectivamente). Portanto, materiais em suspensão apresentaram, nas condições do trabalho de campo, tendência maior de ficar retido por mais tempo no estuário que um material localizado numa profundidade entre 1,47 m e 1,64 m. No entanto, o material próximo ao fundo pode ficar preso nos obstáculos (recifes, pedras) do fundo do estuário como ocorreu com o derivador 1.

## 5.2. Monitoramento Contínuo

O vento predominante de durante os seis meses de monitoramento da salinidade, temperatura e profundidade foi de nordeste, vento que não coincide com a direção predominante do local, que são de leste, mas coincide com o vento predominante entre os meses de junho a julho (Figura 5, Figura 6 e Figura 52). Como a parte do canal próximo a Marina (Latitude:  $16^\circ 26' 41,1''$  S, Longitude:  $39^\circ 5' 4,7''$  O, Figura 11) tem direção noroeste-sudeste, então o vento predominante forma um ângulo aproximadamente de  $90^\circ$ , assim, o *fetch* principal do vento será menor, podendo o vento não ser uma forçante tão significativa nesse ponto do estuário, considerado, além disso, a proteção vegetal que há na proximidade do local.

As vazões médias estimadas entre junho e dezembro de 2015 foram as seguintes: para o mês de junho de  $16,87 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , para julho, de  $14,56 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , para agosto, de  $14,31 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , para setembro, de  $13,78 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , para novembro,  $4,10 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , para dezembro, de  $3,23 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (Figura 53). Os valores de vazão para os meses de junho a setembro estão dentro da margem do valor

esperado da vazão (Figura 9); porém, as vazões dos meses de novembro e de dezembro estão abaixo do valor esperado, ou seja, menor que a média mensal menos o desvio padrão ( $10,91$  e  $9,93 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  para novembro e dezembro, respectivamente), como também, menor do que as médias mínimas menos o desvio padrão dos respectivos meses ( $5,63$  e  $4,49 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  para novembro e dezembro, Figura 9).

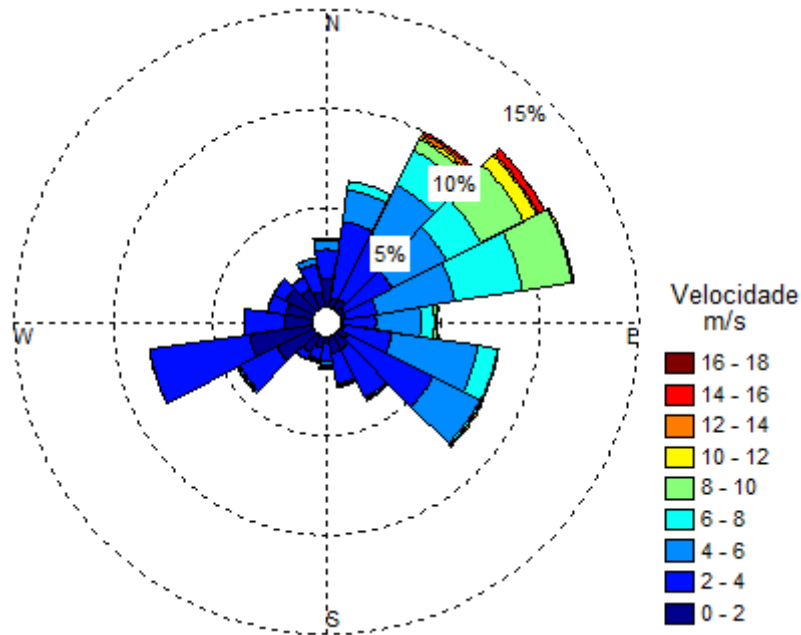


Figura 52: Rosa dos ventos do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015. Porcentagem representa frequência dos dados

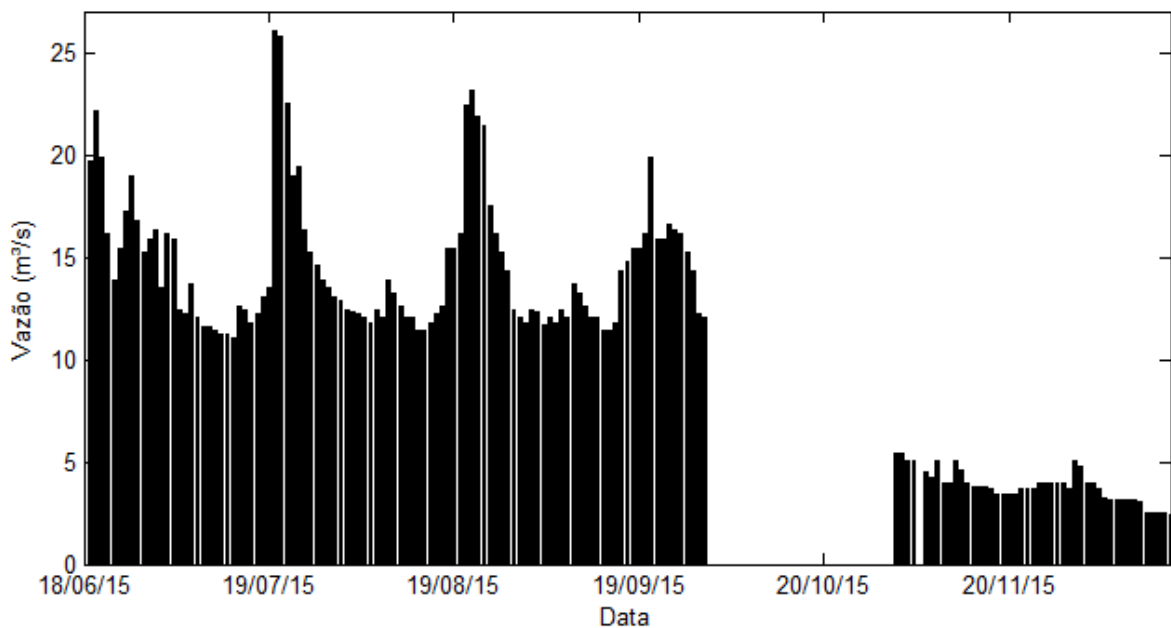


Figura 53: Vazão ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) na estação Fazenda Limoeiro do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015. Não há dados do dia 01/10/2015 ao dia 31/10/2015 e no dia 05/11/2015

Esperavam-se vazões menores devido a uma condição de estiagem, provocada por um período caracterizado como de El Niño. Segundo ONI (Índice Oceânico de El Niño, em inglês, Oceanic Niño Index), o ano de 2015 foi um ano que apresentou El Niño classificado como muito forte (NOAA, 2016). A vazão média na Fazenda Limoeiro no ano de 2015 foi  $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , valor que representa 50 % do vazão média ( $24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) encontrada entre janeiro de 1973 a janeiro de 2015, consequência da diminuição da chuvas no ano de 2015 provocada pelo fenômeno El Niño (temperaturas acima da média no Pacífico Equatorial).

Bernardes e Bernardes (2016) afirmam que a região de Porto Seguro estaria em um período de estiagem, e no monitoramento de secas da Agência Nacional das Águas (ANA, 2015) mostraram precipitações abaixo da média no segundo semestre de 2015 e indicaram que poderia estar associado ao fenômeno El Niño que estava sendo observado no Nordeste desse do primeiro semestre de 2015. A ANA (2015), por exemplo, registrou que a região de Porto Seguro em dezembro estava em uma seca extrema de curto prazo.

A temperatura do ar de Porto Seguro apresentou uma tendência de aquecimento, confirmando a tendência sazonal de aquecimento do inverno para o verão (de junho para dezembro). Isso refletiu numa tendência de aumento da temperatura da água de junho para dezembro (Figura 56).

Verificou-se também que a temperatura superficial e a do ar estão diretamente relacionadas, ou seja, havendo o aumento de uma, houve da outra. Além disso, as variações da temperatura do ar foram maiores do que as da água de superfície, devido ao menor calor específico do ar (ar:  $0,24 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ , água:  $1,00 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ ). Havendo momentos em que a água apresentou maiores temperaturas do que o ar, pois a taxa de resfriamento da água é menor, como também, momentos em que o ar apresentou maior temperatura do que a água, pois a taxa de aquecimento do ar é maior. Quando se analisou uma média horária, o ar apresentou maior temperatura que a água por volta das 15 h, pois a maior energia que a Terra recebe do Sol é ao meio dia, mas para que haja a transferência de calor da superfície para atmosfera leva um tempo, então, normalmente, a maior temperatura do ar é por volta das 15 h (Figura 54, Figura 55 e Figura 56).

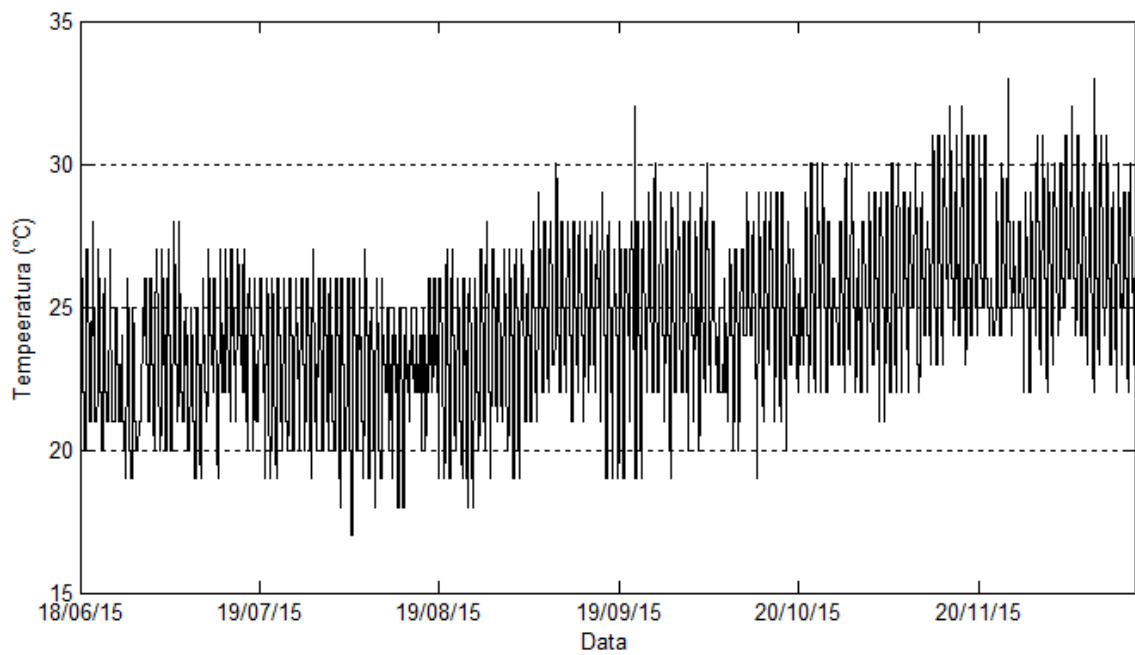


Figura 54: Temperatura (°C) do ar do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015 registrada pela RedeMET

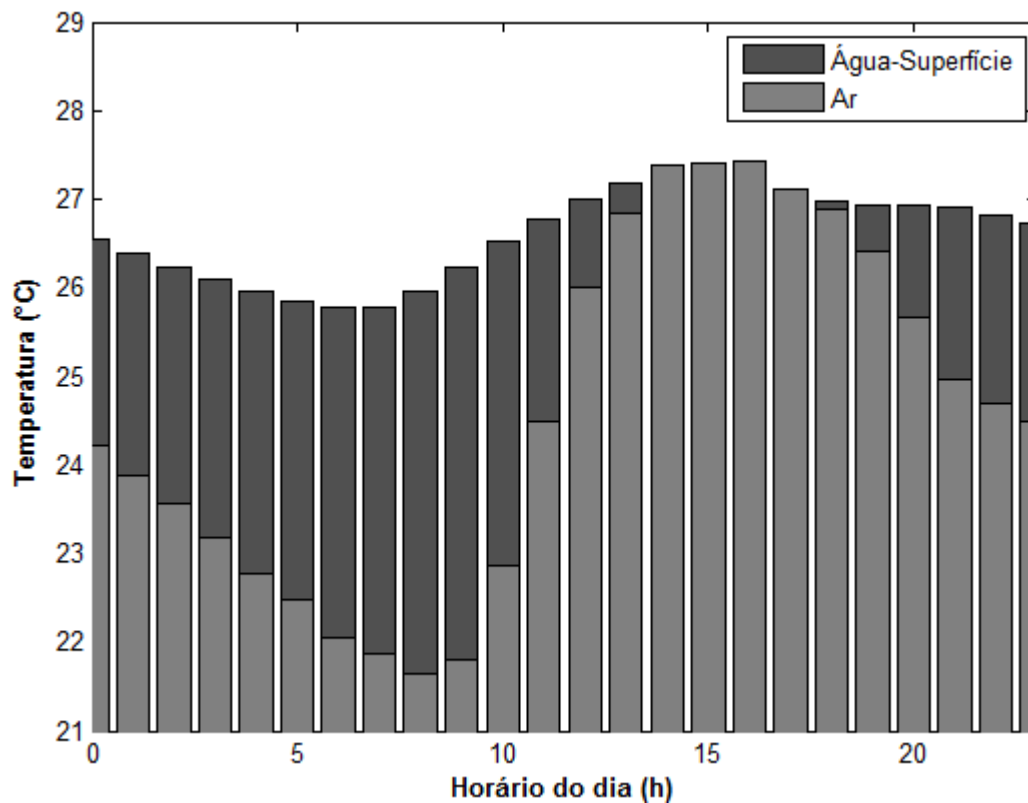


Figura 55: Temperatura (°C) média horária na superfície da água na Marina e no ar no período de 18 de junho de 2015 ao dia 28 de dezembro de 2015 registrada pela RedeMET

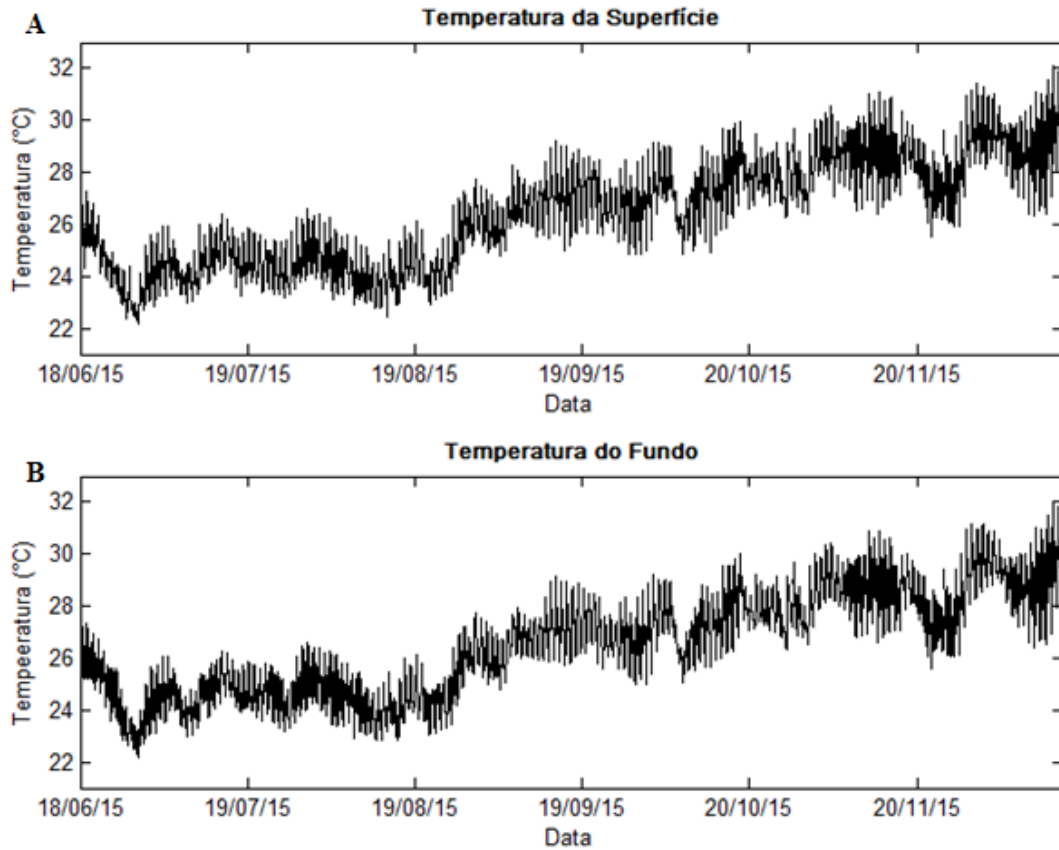


Figura 56: Temperatura (°C) da superfície (A) e do fundo (B) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015

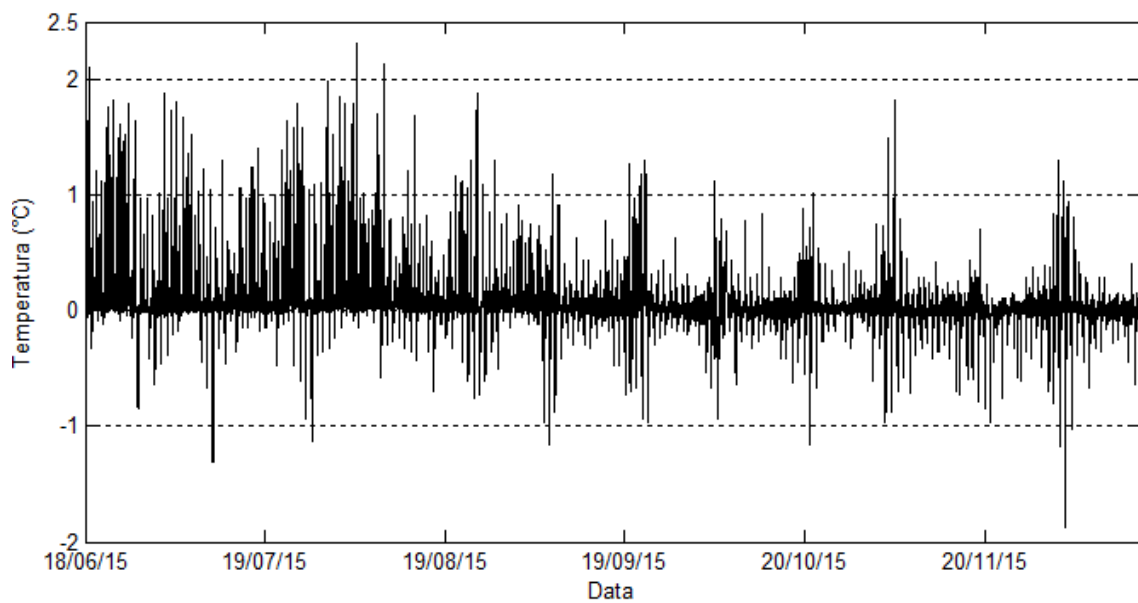


Figura 57: Diferença de temperatura (°C) entre o fundo e a superfície na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015

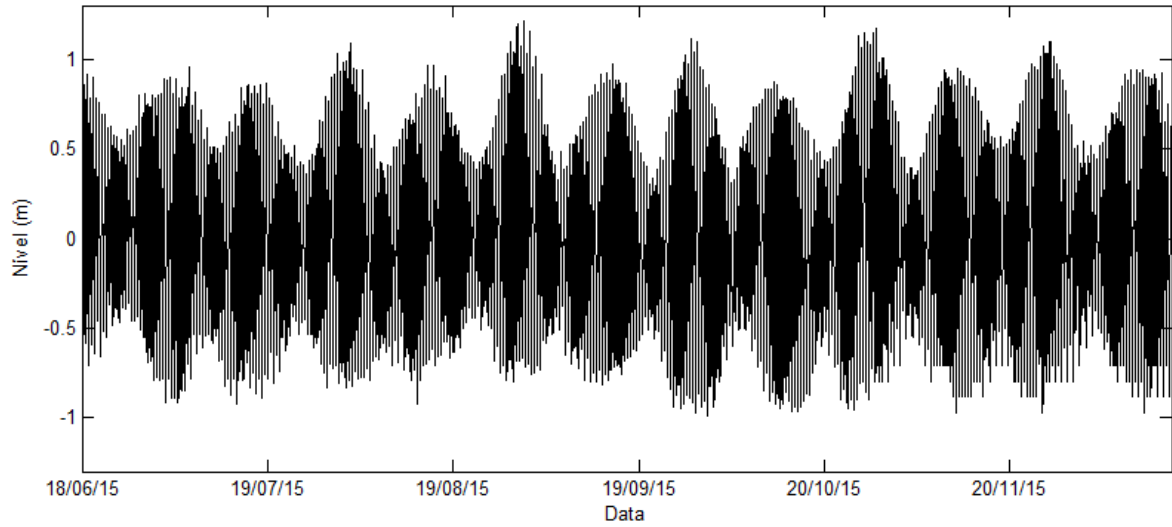


Figura 58: Nível (m) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015

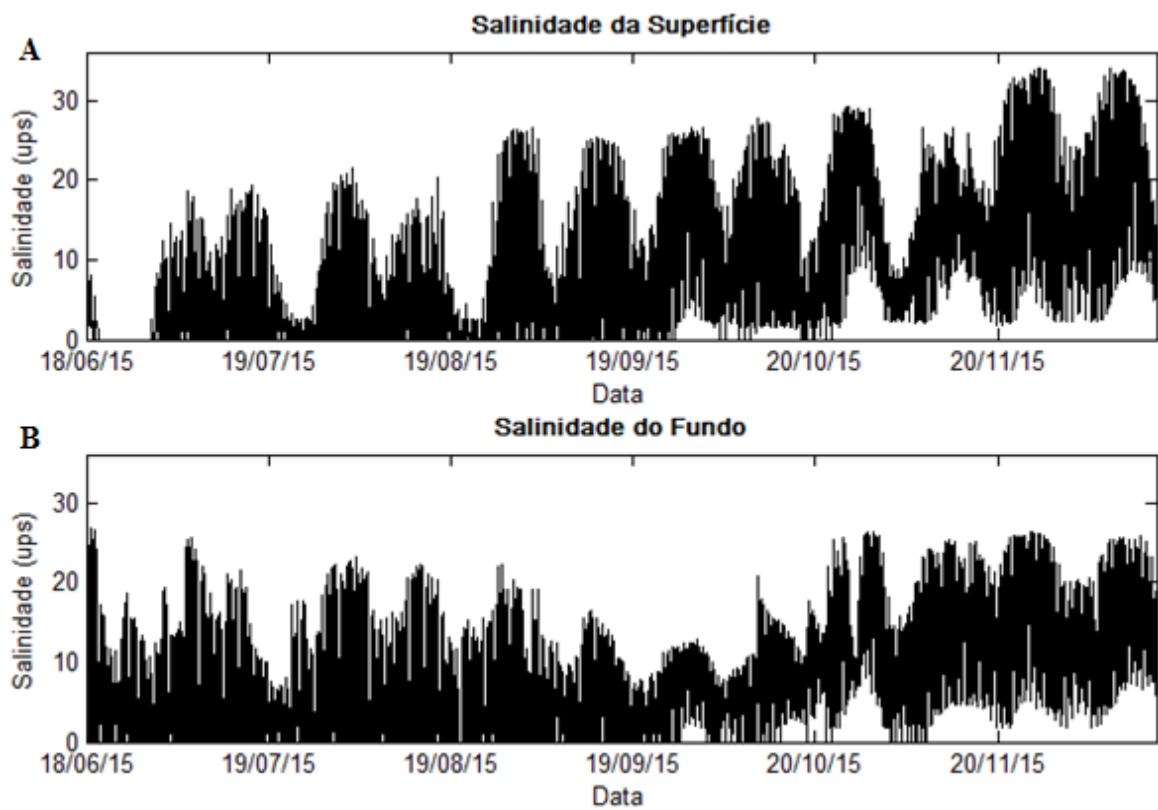


Figura 59: Salinidade (ups) da superfície (A) e do fundo (B) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015



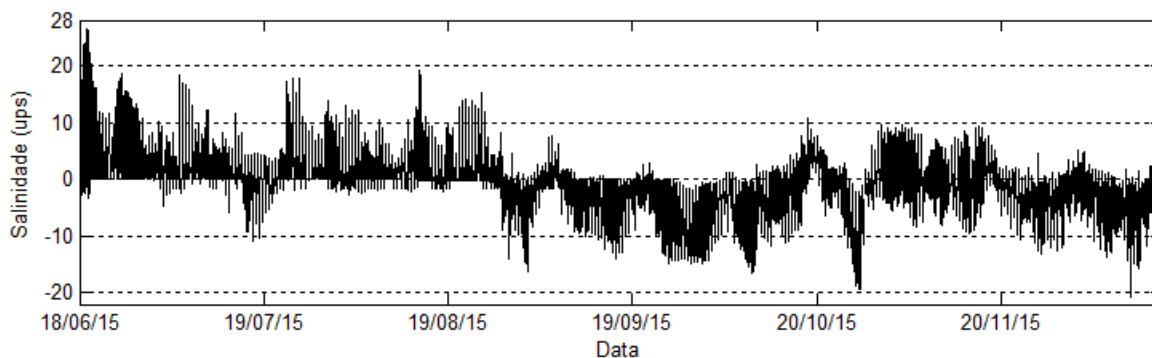


Figura 60: Diferença de salinidade (ups) entre o fundo e a superfície da coluna da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015

Quando se compararam as temperaturas da água do fundo e da superfície (Figura 56 e Figura 57), houve uma diferença máxima de 2,31 °C, sendo que mais de 80% dos dados apresentaram uma diferença de temperatura do fundo com a superfície de menor que 0,2 °C, que pode ser provocada por erro do equipamento (acurácia de  $\pm 0,1$  °C), portanto, de modo geral, não houve estratificação térmica no período analisado.

Houve maiores diferenças de temperatura no momento de preamar, como também, na maré de quadratura. No momento de preamar, pois há uma maior profundidade, o que dificultou a homogeneização da coluna d'água. Na maré de quadratura, as correntes geradas pela maré têm menores intensidades que correntes geradas na maré de sizígia, portanto, na condição de maré de quadratura apresenta uma menor energia em comparação com a maré de sizígia, assim, a maré de quadratura não gerou condições suficientes de mistura para homogeneizar a temperatura em toda a coluna d'água.

As marés observadas a partir dos níveis (Figura 58), de modo geral, apresentaram alturas menores do que 2 m, classificando as marés neste ponto como micromaré. No período de medição (18 de junho a 18 de dezembro de 2015), houve momentos de chuvas intensas em Porto Seguro que Leal *et al.* (2016) verificaram que juntamente no período de maré de quadratura houve uma tendência da zona estuarina migrar em direção ao mar.

Portanto, quando se avaliou a salinidade da superfície e do fundo (Figura 59) juntamente com as marés, verificou-se que as maiores salinidades se encontraram no período de maiores alturas de maré, pois houve maior energia para a água salgada adentrar no estuário. Pois quando a maré adentra o estuário, a salinidade aumenta no estuário, no entanto, na baixa da maré, a salinidade diminui (HARDISTY, 2007).

Durante o período de medição, houve alguns picos de vazão medidos na Fazenda Limoeiro, sendo que a descarga fluvial dilui a água salgada, podendo aumentar a diferença de

salinidade entre o fundo e a superfície. Assim, observou-se que houve um aumento da diferença de salinidade entre fundo e a superfície quando houve aumento da vazão (Figura 53 e Figura 60).

Além disso, na Figura 60, observou-se que houve períodos de grande diferenciação de salinidade entre o fundo e a superfície chegando a 26,48 ups, caracterizando um ambiente estratificado. Houve momentos que a salinidade de superfície foi maior que a salinidade de fundo, que se justificaria pela ocorrência de algum processo de salinização da água da superfície na Marina, porém, a justificativa mais plausível seria a relacionada a algum erro de medição do mini CTD e do mini CT, devido a incrustação biológica no equipamento (Figura 61).



Figura 61: MiniCTD da Marina incrustado

A diferença de densidade entre o fundo e a superfície (Figura 62 e Figura 63) mostrou que houve momentos que a densidade de superfície foi maior que a de fundo. A densidade é calculada a partir dos dados temperatura e salinidade, como houve erros nos dados de salinidade, conseqüentemente, gerou valores equivocados de densidade do fundo e da superfície.

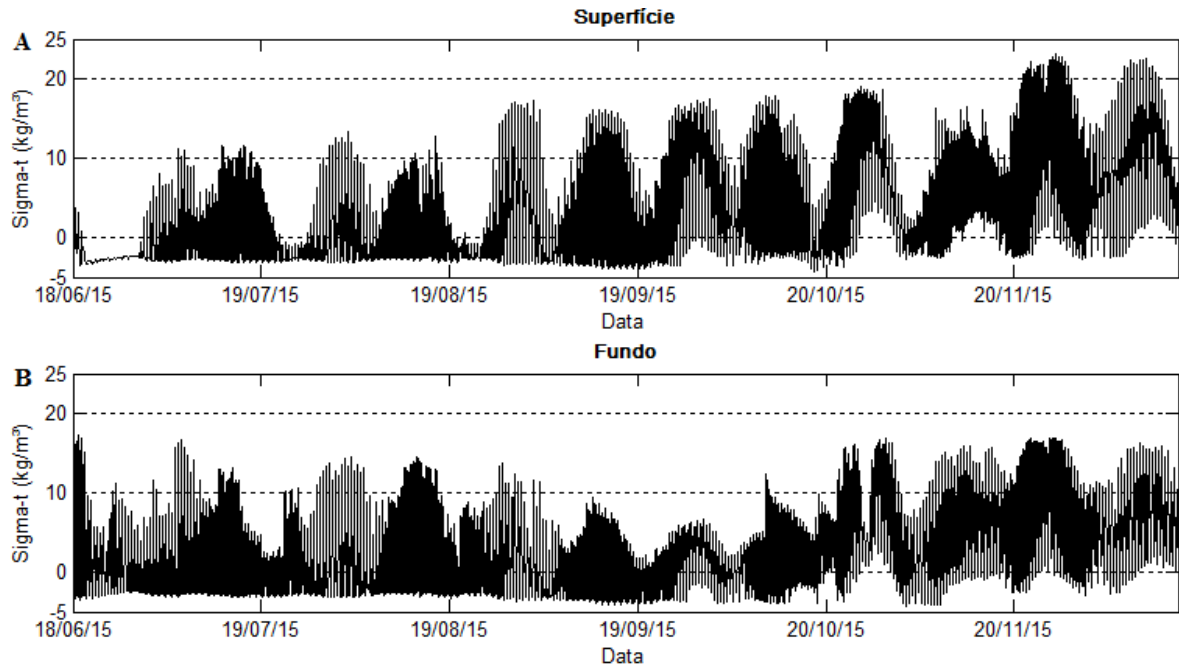


Figura 62: Sigma-t (kg.m<sup>-3</sup>) da superfície (A) e do fundo (B) da água na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015. Valor positivo: densidades maiores que 1000 kg.m<sup>-3</sup>. Valor negativo: densidades menores que 1000 kg.m<sup>-3</sup>

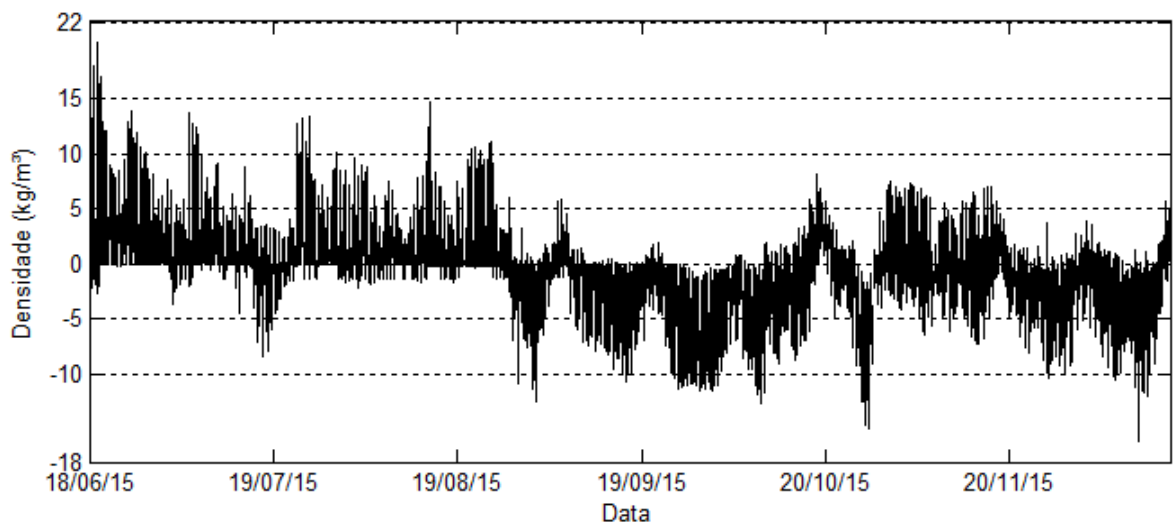


Figura 63: Diferença de densidade entre o fundo e a superfície na Marina do dia 18 de junho de 2015 ao dia 18 de dezembro de 2015

## 6. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Os ventos predominantes registrados na estação localizada no aeroporto de Porto Seguro da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (RedeMET) para campanha intensiva (18 de junho a 18 de dezembro de 2015) foram de direções leste-oeste, enquanto para o monitoramento contínuo (31 de julho a 07 de agosto de 2015), direção nordeste.

Os ventos podem gerar correntes superficiais, porém, no trabalho dos derivadores, não se observou alteração da trajetória dos derivadores superficiais provocada pela ação dos ventos. Com os derivadores, mostrou-se que os materiais em suspensão apresentaram, nas condições do trabalho de campo, tendência maior de ficar retido por mais tempo no estuário que um material localizado numa profundidade entre 1,47 m e 1,64 m, mas o material próximo ao fundo pode ficar preso nos obstáculos (recifes, pedras) do fundo do estuário.

O vento pode gerar movimentação no estuário, como também, as diferenças de densidade entre as camadas. A densidade é determinada pela pressão, temperatura e salinidade.

As temperaturas da água de superfície e fundo na Marina, Marinha e Quinta do Porto apresentaram mesmo padrão e período de oscilação. As temperaturas de superfície e fundo para Quinta do Porto foram  $25,4 \pm 0,6$  °C e  $25,5 \pm 0,5$  °C, respectivamente, para Marinha, foram  $25,3 \pm 0,7$  °C e  $25,4 \pm 0,6$  °C, para Marina, foram  $24,6 \pm 0,7$  °C e  $24,8 \pm 0,8$  °C. Para o monitoramento contínuo (18 de junho a 18 de dezembro de 2015), na Marina, a diferença máxima de temperatura entre o fundo e superfície foi de 2,31 °C. Mas, de modo geral, não houve estratificação térmica no período analisado.

No monitoramento contínuo, houve períodos de grande diferenciação de salinidade entre o fundo e a superfície chegando a 26,48 ups, caracterizando um ambiente estratificado. Como também, período que a salinidade de superfície ficou maior que a de fundo (diferença de 20,84 ups), que, nos cálculos de densidades, verificava-se uma densidade de superfície maior que a do fundo. Portanto, concluiu-se que, nesses momentos, houve erros de medição do miniCTD e/ou miniCT, gerados pela incrustação dos equipamentos.

A estratificação vertical de sal reflete no valor do número de Richardson por camada, pois esse permite avaliar a mistura em diferentes momentos da maré, ou seja, quando maior o  $Ri_L$  pode indicar uma maior estratificação vertical de salinidade, como também, velocidades menores.

Na maior parte do tempo, na Quinta do Porto e na Marinha, o valor do número de Richardson por camada indicou uma total mistura na coluna d'água. Os maiores valores do número adimensional foram encontrados na preamar e baixa-mar, pois a turbulência gerada pelo fluxo do fundo diminuiu e não conseguiu gerar uma mistura tão eficiente. Houve aumento da estabilidade, estratificação, da coluna d'água com a diminuição da amplitude da maré, conseqüentemente, com diminuição do módulo das correntes geradas pela maré, indicando o papel da maré como agente causadora de mistura.

Pelo  $Ri_L$ , pode se classificar o estuário em diferentes momentos da maré, já o diagrama de Hansen-Rattray (1966) precisa de uma condição quase estacionária. Pelo diagrama, classificou-se o estuário como tipo 1b (bem misturado com processo de difusão turbulenta dominante), sendo estuários que a principal forçante física é a maré.

A maré do local tem regime de micro a mesomaré, encontrando, na Quinta do Porto, altura de maré de máximo 2,40 m, na Marinha, de 2,16 m e na Marina, de 1,92 m.

O estuário foi classificado como hiposíncrono, no qual a fricção excede o efeito de convergência. Além disso, não houve coincidências nas fases da maré e da velocidade e nem uma defasagem igual  $90^\circ$ , classificando a onda da maré como mista, uma composição complexa de ondas progressivas e estacionárias. Com isso, os momentos de estofa (velocidade próxima de zero) ocorreram entre a baixa-mar e a preamar. Na estofa, há condições propícias para deposição de sedimentos, pois as velocidades são próximas de zero.

Apesar da baixa vazão fluvial no período estudado, as maiores velocidades foram encontradas durante as marés de vazante, quando a geomorfologia local tende a modular o escoamento em função da exposição de zonas intermareais. Além disso, na Quinta do Porto, as maiores velocidades foram na vazante, mas próximo ao fundo, provavelmente por algum afunilamento do local devido ao banco de areia ou mesmo relacionado a efeitos indesejáveis de posicionamento do ADP durante o seu fundeio.

Na Marinha, houve uma predominância das correntes de vazante sob as correntes de enchente, como isohalinas praticamente verticais nos perfis longitudinais de salinidade, classificou o estuário como bem misturado.

Conclui-se que o estuário do rio Buranhém, em condição de sizígia, tem a forçante maré ampliando sua importância, classificando o estuário como bem misturado na Marinha (1a), mas pelo diagrama de Hansen-Rattray (1966) o estuário, de modo geral, foi do tipo 1b. Além disso, o estuário apresentou marés semidiurnas de escala de micro a mesomaré. A zona

de mistura do estuário do rio Buranhém teve comprimento de 9 km no dia 31 de julho e 5 km no dia 4 de agosto.

Como sugestão de trabalhos futuros, propõe-se:

- Cálculo de transporte de sal e de material particulado no estuário;
- Medições diretas de vazão fluvial;
- Cálculo do número de Richardson estuarino;
- Fazer aferição dos diferentes instrumentos que medem a mesma variável;
- Comparação desses dados com os dados das campanhas futuras;
- Realização de levantamentos topo batimétricos do estuário do rio Buranhém, inclusive em áreas intermareais, além da zona costeira contígua a área de estudo;
  - Delimitação do estuário, verificando até que ponto há influência da maré, através de medições de velocidade em diferentes pontos e modelagem do local;
  - Investigação das causas para a assimetria da maré nas condições do trabalho de campo;
  - Classificação do estuário com os dados do presente trabalho e com campanhas futuras com o método de classificação de Geyer (2010 apud GEYER; MACCREADY, 2014) e comparar essa classificação com a classificação de Hansen-Rattray (1966);
  - Realização do perfil longitudinal da maré com um barco mais rápido, que consiga fazer as medições em todos os pontos na mesma condição de maré, além disso, obter a profundidade total em cada ponto de medição como o respectivo horário de medição;
  - Realização de trabalho de campo em época chuvosa e seca para verificar a importância da mudança de vazão no estuário.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Bases de Dados Georreferenciadas**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/solicitacaoBaseDados.asp>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2015). **Monitor de Secas do Nordeste do Brasil**. Disponível em: <<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 ago.2016

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2016). **Hidroweb: Séries Históricas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 05 jan.2016

ÁVILA, R. A. **Distribuição do material particulado em suspensão e suas inter-relações com diferentes propriedades no estuário da Lagoa dos Patos**. 2013. 91 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2013.

AZEVEDO NETO, J.M; ARAUJO, R.; FERNANDEZ, M.F; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8° Ed. São Paulo: Eduardo Blucher, 1998. 669 p.

BARRETO, G. A. M.; SCHETTINI, C. A. F. Papel da Maré e da Descarga Fluvial na Circulação do Estuário do Rio Araranguá. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n.3, p. 7-17, 2014.

BECKER, M. L.; LUETTICH JR., R. A; MALLIN, M. A. Hydrodynamic behavior of the Cape Fear River and estuarine system: A synthesis and observational investigation of discharge – salinity intrusion relationships. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 88, n. 3, p. 407–418, 2010.

BÉRGAMO, A. L. **Caracterização da Hidrografia, Circulação e Transporte de Sal: Barra de Cananéia, Sul do Mar de Cananéia e Baía de Trapandé**. 2000. 254 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Oceanografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BÉRGAMO, A. L.; MIRANDA; L. B.; CORRÊA, M. A. **Relatórios técnicos: Estuários: Programas para o processamento e análise de dados hidrográficos e correntográficos**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2002, 16 p.

BERNARDES, C. B.; BERNARDES, M.E.C. Análise da Anomalia de Elementos Meteorológicos da Influência Atmosférica em Processos Litorâneos na Região Costeira de Porto Seguro – BA. In: VII Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2016.

BROWN, E.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. **Waves, tides and shallow-water processes**. 2 ed. rev. England: Butterworth Heinemann The Open University, 2006. 227 p.

CAPO, S., BRENON, I., SOTTOLICHIO, A., CASTAING, P., GOULVEN, P. L. Tidal sediment transport versus freshwater flood events in the Konkouré Estuary, Republic of Guinea. **Journal of African Earth Sciences**, Oxford, v. 55, n. 1-2, p. 52-57, 2009.

CAVALCANTE, G. H.; FEARY, D. A.; KJERFVE, B. Effects of Tidal Range Variability and Local Morphology on Hydrodynamic Behavior and Salinity Structure in the Caeté River Estuary, North Brazil. **International Journal of Oceanography**, Londres, v. 2013, p. 1-10, 2013.

CARVALHO, C. R. Uma abordagem geográfica do Turismo em Porto Seguro. **Dissertação de Mestrado em Geografia Física** - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. 104 p.

CERQUEIRA NETO, S. P. G. Uma análise da dicotomia entre urbanização e meio ambiente no município de Porto Seguro/BA. **Revista Geografares**, Espírito Santo, v. 11, p. 60-86, 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM), Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 55. Rio de Janeiro, CPRM, 41 p., 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Distrito Federal, 10 mar. 2005, n. 53, p. 58-63.

D'AQUINO, C. A., ANDRADE NETO, J. S.; BARRETO, G. A. M.; SCHETTINI, C. A. F. Caracterização Oceanográfica e do Transporte de Sedimentos em Suspensão no Estuário do Rio Mampituba, SC. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 29, p. 217-230. 2011 a.

D'AQUINO, C.A.; SILVA, L. F.; COUCEIRO, M.A.A.; PEREIRA, M.D.; SCHETTINI, C.A.F. Transporte de Sal e Hidrodinâmica do Estuário do Rio Tubarão — SC, Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 113-125, 2011 b.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). Carta náutica 1205 – Baías Cabralia e de Porto Seguro. Diretoria de Hidrografia e Navegação, **Marinha do Brasil**, Niterói, RJ, 2000.



DYER, K. R. **Estuaries: a physical introduction**. 2 ed. England: John Wiley & Sons, 1997. 195 p.

GEYER, W. R.; MACCREADY, P. The Estuarine Circulation. **Annual Review of Fluid Mechanics**, Florida, v.46, p. 175–197, 2014.

GOOGLE EARTH (2015). Imagens da região de Porto Seguro.

HANSEN, D. V.; RATTRAY JUNIOR, M. New dimensions in estuary classification. **Limnology and Oceanography**, Hoboken, v. 11, n. 3, p. 319–326, 1966.

HARDISTY, J. **Estuaries: Monitoring and Modeling the Physical System**. 1. ed. Malden: Blackwell Publishing, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), **IBGE lança mapa de Densidade Demográfica de 2010**, 2013. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2501>> Acesso em: 16 maio 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática: Consulta Dados da Estação Automática: Porto Seguro (BA)**. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

KAKOULAKI, G.; MACDONALD, D.; HORNER-DEVINE, A. R. The role of wind in the near field and midfield of a river plume. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 41, p. 5132–5138, 2014

LAMAS, I.; PEREIRA, R.; CUNHA, R.; MAIA, M.; TEDESCO, E.; MORGADO, J.; NASCIMENTO, E. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Porto Seguro – Bahia**. Porto Seguro, 2014. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/PMMA-PORTO-SEGURO-TELA.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

LEAL, G. N. R.; MELGAÇO, G. G.; SILVA, A. C. R. D. S.; BERNERDES, M. E. C. Como o estuário do rio Buranhém (Porto Seguro, BA) responde a chuvas intensas? Respostas para eventos de Junho/Julho – 2015 e Janeiro/Fevereiro-2016 durante El Niño. In: 68ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2016, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: SBPC, 2016.

LEVINSON, A. V. **Contemporary Issues in Estuarine Physics**. New York: Cambridge University Press, 2010.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira. **Revista da Gestão Costeira Integrada**: v. 11, p. 233-245, 2011.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Historical El Nino/La Nina episodes (1950-present)**. NOAA. 2016. Disponível em: <[http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>. Acesso em: 21 jul. 2016.

NGUYEN, A. D.; SAVENIJE, H. H. G.; PHAM, D. N.; TANG, D. T. Using salt intrusion measurements to determine the freshwater discharge distribution over the branches of a multi-channel estuary: The Mekong Delta case. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 77, n.3, p. 433–445, 2008.

NGUYEN, D. H.; UMEYAMA, M.; SHINTANI, T. Importance of geometric characteristics for salinity distribution in convergent estuaries. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 448–449, p. 1-13, 2012.

NUNES, A. L. **Determinação das marés meteorológicas na região da baía do Espírito Santo e sua influência na drenagem de águas continentais**. 2007. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

O'CALLAGHAN, J; PATTIARATCHI, C.; HAMILTON, D. The response of circulation and salinity in a micro-tidal estuary to sub-tidal oscillations in coastal sea surface elevation. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 27, n. 14, p. 1947–1965, 2007.

PACHECO, F. S. **Caminhos do Carbono Respondendo a Padrões de Mistura da Massa d'água em Reservatórios de Hidrelétricas**. 2014. 107 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

PAIVA, B. P. **Variabilidade Espaço-Temporal da Estrutura de Salinidade e de Correntes em um Estuário Altamente Estratificado**. 2015. 64 p. Dissertação (Mestre em Oceanografia) - Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

PEREIRA, F. R. S. Avaliação do Impacto Antropogênico no Litoral Norte de São Paulo. **Monografia de Conclusão de Curso de Graduação em Geografia**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Geografia. Florianópolis, 2008. 87 p.

PEREIRA, M. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A. F. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 427-444, 2010.

POULARIKAS, A. D. Windows. In: \_\_\_\_\_. (Org.). **The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.

REDE DE METEOROLOGIA DO COMANDO DA AERONÁUTICA - REDEMET. **Consulta de mensagens automáticas**. 2016. Disponível em: <<http://www.redemet.aer.mil.br/>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

RIGO, D. **Análise do Escoamento em Regiões Estuarinas com Manguezais – Medições e Modelagem na Baía De Vitória, ES**. 2004. 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SCHUCK, A. **Utilização Do Acoustic Doppler Profiler (ADP) para a Estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS) e Turbidez**. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA - SEI. **Sistema de Informações Municipais**. Disponível em: <[http://sim.sei.ba.gov.br/sim/mapa\\_interativo.wsp](http://sim.sei.ba.gov.br/sim/mapa_interativo.wsp)>. Acesso em: 11 jun. 2014.

SILVA, E. D. O. **Evolução espaço-temporal do manguezal do estuário do rio São Mateus empregando técnicas de sensoriamento remoto**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

UNCLES, R.J.; BLOOMER, N.J.; FRICKERS, P.E.; GRIFFITHS, M.L.; HARRIS, C.; HOWLAND, R.J.M.; MORRIS, A.W.; PLUMMER, D.H.; TAPPIN, A.D. Seasonal variability of salinity, temperature, turbidity and suspended chlorophyll in the Tweed Estuary. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.: 251-252, p.: 115-124, 2000.

UNCLES, R. J.; STEHENS, J. A. The Effects of Wind, Runoff and Tides on Salinity in a Strongly Tidal Sub-estuary. **Estuaries and Coasts**, New York, v. 34, n. 4, p. 758–774, 2011.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards.** Sidney: Unesco, 1981, 28 p.

VITTA, A. P. **Caracterização Hidrodinâmica da Área do Canal de Acesso da Lagoa dos Patos por Medidas Diretas.** 2006. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanologia) - Universidade Federal do Rio Grande, 2006.