



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA



ANDRESSA MONTEBELLO SALES

**ESTUDO DO REGIME DE CORRENTES NO CANAL DE ACESSO DO PORTO DE
SUAPE, PERNAMBUCO, BRASIL**

RECIFE

2017

ANDRESSA MONTEBELLO SALES

**ESTUDO DO REGIME DE CORRENTES NO CANAL DE ACESSO DO PORTO DE
SUAPE, PERNAMBUCO, BRASIL**

Trabalho de Monografia apresentado ao Departamento de Oceanografia da Universidade de Pernambuco como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini.

Coorientadora: Dra. Daniele Laura Bridi Mallmann.

RECIFE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S163e Sales, Andressa Montebello.
Estudo do regime de correntes no canal de acesso do Porto de Suape, Pernambuco, Brasil / Andressa Montebello Sales – Recife, 2017.
59 f.: il., fig. tab.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini.
Coorientadora: Profa. Dra. Daniele Laura Bridi Mallmann.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Oceanografia, 2017.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Oceanografia. 2. Corrente longitudinal. 3. Vento longitudinal. 4. Fluxo residual. 5. Ondas de maré. I. Schettini, Carlos Augusto França (Orientador). II. Mallmann, Daniele Laura Bridi (Coorientadora). III. Título.

624 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2017/ 256

ANDRESSA MONTEBELLO SALES

**ESTUDO DO REGIME DE CORRENTES NO CANAL DE ACESSO DO PORTO DE
SUAPE, PERNAMBUCO, BRASIL**

Trabalho de Monografia apresentado ao Departamento de Oceanografia da Universidade de Pernambuco como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Oceanografia.

Data de Aprovação: 14 / 07 / 2017

Nota: 9.23

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (orientador)

Departamento de Oceanografia – UFPE

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (titular)

Departamento de Oceanografia – UFPE

M.Sc. Ernesto de Carvalho Domingues (titular)

Departamento de Oceanografia – UFPE

Recife, 14 de julho de 2017.

Dedico às minhas mães, Célia Maria (*in memoriam*) e Ana Paula (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me amparado em todos os momentos de dificuldade, me presenteado com os momentos de alegria e me concebido a maravilha de viver. Aos meus pais, minha irmã e meus avós, pois sem eles, nada sou. À minha mãe Ana Paula (*in memoriam*) e segunda mãe Célia Maria (*in memoriam*) por serem meus grandes espíritos de luz a me guiar, essa conquista é para vocês e por vocês. Ao meu pai, Andrei, por todo amor, carinho e paciência, por nunca ter questionado as minhas escolhas e sempre ter estado ao meu lado. À minha irmã, Letícia, pelas risadas que facilitaram toda a jornada, por ser meu guia com suas sábias palavras nos momentos de dificuldade e por ser, essencialmente, minha metade. Aos meus avós, Naasson e Maria do Céu, por me ensinarem em tão pouco tempo o valor da compaixão, união e família. Vocês são os meus pilares.

A todos os meus familiares que acompanharam de perto e de longe essa trajetória, o meu muito obrigada. Especialmente aos meus tios Ana Patrícia e Pedro Paulo, por estarem presentes e me apoiarem em absolutamente tudo que diz respeito a mim; e aos meus primos, Rafinha, Tutu e Kaka, por serem minha maior alegria. Vocês fazem a minha vida ganhar um propósito e ser mais leve. Amo vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Augusto Schettini, por todos os ensinamentos, oportunidades e dedicação a mim empregados. Pelas broncas e pelos puxões de orelha, especialmente, eles foram fundamentais na minha formação como aluna, pessoa e profissional. Agradeço também aos amigos que o LaHiCo me apresentou: Zé, Ernesto, Cris e Marília, por todo o aprendizado que adquiri ao lado de vocês, pela generosidade em me ajudar sempre e pelas risadas, claro, que tornaram o nosso cotidiano mais alegre.

Agradeço aos amigos que o curso de Oceanografia me presenteou, todos aqueles que me acompanham desde o início e aqueles que conheci ao longo desses anos de graduação, e a todos os professores que compõem o grupo docente do nosso Departamento de Oceanografia, sem distinção. Agradeço em especial ao Victor, por dividir comigo grandes recordações e ter me ajudado a construir os melhores anos da minha vida. Obrigada por tudo.

Não posso deixar de agradecer ao Porto de Suape, por ter concedido os dados que são a base deste estudo e pela oportunidade de estagiar na empresa, estes foram aspectos essenciais em minha formação. Aos amigos que o Porto de Suape me deu nestes últimos um ano e seis meses de convívio, vocês despertaram uma oceanógrafa que estava adormecida em mim (hahaha). Especialmente, a Danielle Cássia e Daniele Mallmann, por toda dedicação, pelos ensinamentos e pelo carinho concebidos a mim com grande generosidade, ganharam minha admiração e amizade, muito obrigada. À Thaís, pela alegria diária, sempre me divertindo com suas expressivas faces e pelo apoio mútuo nos dias difíceis. À minha querida Elo, simplesmente pelo amor de pessoa que és e pelos cuidados comigo, muito obrigada. À minha grande amiga Laiza, por sempre ceder seus ouvidos para as minhas lamúrias e sempre ter me colocado para cima com seu astral singular, não sabes quão grata sou por ter te conhecido. Ao querido Igor, por todo o apoio nessa fase difícil, pelas leituras e revisões de cada pedacinho desse texto, pela companhia diária em Suape e pelos momentos de risada, muito obrigada. Agradeço com muito carinho a todos os outros membros da equipe: Matheus, Camilla, Janaína, Diogo, Priscila, Flávio, Jaderson, Ricardo, Giovani e João, por todo o aprendizado diário ao lado de vocês e pelo carinho do dia a dia. Existe um pedaço de cada um de vocês nas entrelinhas deste trabalho, muito obrigada.

Aos meus amigos de sempre, especialmente a Carol, por ser mais que uma amiga, uma irmã para mim, estando sempre ao meu lado em todas as etapas de minha vida e me alegrando com pequenas coisas que tornaram meu dia a dia muito mais fácil. Obrigada por existir e fazer parte da minha vida, você é um presente de Deus. À Jessica, minha poli, que mesmo estando a um oceano de distância de mim, se fez presente em todos os instantes, obrigada por tudo. À Luiza, por ser a melhor amiga que eu poderia ter nos momentos bons e ruins, por todo o apoio e amor. Aos meus amigos Flavia, Serginho e Ceci, que acompanharam essa vitória e me ajudaram a enfrentar esta fase. Obrigada a todos vocês.

Enfim, fica registrado o meu agradecimento a todos. Nada saiu como planejado a alguns anos atrás, ainda bem. Viva a imprevisibilidade da vida!

*“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais
voltará ao seu tamanho original”.*

(Albert Einstein)

RESUMO

Estuários são ambientes costeiros transicionais que conectam as águas fluviais, oriundas do continente, com as águas marinhas, possuindo uma estratégica localização que os torna convenientes para o desenvolvimento de cidades em seu entorno, acelerando a ocupação dessas áreas e aumentando o risco de poluição nesses ambientes. O Complexo Industrial Portuário Eraldo Gueiros - Suape está localizado no litoral sul do estado de Pernambuco e, mediante a necessidade de controlar e/ou minimizar possíveis impactos decorrentes das suas atividades, o Porto de Suape implementou o Monitoramento Meteoceanográfico, o qual encontra-se ativo desde agosto de 2016 e conta com a instalação de instrumentos de medição de correntes, ventos, ondas e marés. O objetivo deste trabalho foi avaliar o regime de correntes em termos de sua componente longitudinal no canal de acesso, assim como empregar as técnicas de análise harmônica e filtragem dos dados para avaliar os principais constituintes harmônicos presentes na corrente longitudinal, bem como fluxo residual deste parâmetro, permitindo inferir sobre a circulação desse sistema estuarino. Os resultados obtidos indicaram uma predominância dos ventos alísios de sul e sudeste, com valores médios de 5,54 m/s. Porém, para os meses de outubro a dezembro, houve uma intensificação dos ventos alísios de nordeste. Os dados de corrente apresentaram valor médio de 0,0670 m/s, porém, do ponto de vista técnico, os dados não estão de acordo com o esperado, visto que não houve uma variação de intensidade que acompanhasse em proporção a oscilação da onda de maré. A temperatura variou, com média de 27,9°C, apresentando três quedas bruscas ao longo da série temporal, de aproximadamente um grau, nos meses de outubro a dezembro. A análise harmônica para a corrente longitudinal mostrou que a constituinte que apresentou o maior percentual de energia nos dados de corrente foi a M_2 , semi-diurna lunar principal, com 72%. A filtragem dos dados de temperatura indicaram uma relação direta entre o relaxamento do vento longitudinal com os períodos de queda na temperatura das águas, apontando para processos importantes de aporte de águas frias no canal de acesso ao porto. A corrente longitudinal residual apresentou um fluxo positivo prioritariamente, indicando que parte do volume de água que entra pelo canal de acesso durante o período de enchente pode sair pela abertura nos arrecifes mais ao norte.

Palavras-chave: Corrente longitudinal. Vento longitudinal. Fluxo residual. Ondas de maré.

ABSTRACT

Estuaries are transitional coastal environments that connect the fluvial waters with sea waters, having a strategic location that makes them convenient for development of cities in their surroundings, accelerating the occupation of these areas and increasing the risk of pollution in these environments. The *Complexo Industrial Portuário Eraldo Gueiros – Suape* is located in the southern coast of Pernambuco and, through the need to control and/or minimize possible impacts arising from its activities, the Suape Port implemented Meteoceanographic Monitoring, which is active since august 2016 and installed measuring instruments for currents, winds, waves and tides. The aim of this work was to evaluate current patterns based on its longitudinal component in the access channel and evaluate the main harmonic constituents in the longitudinal current signal, as well as residual currents, allowing to infer about the circulation of this estuarine system through the use of harmonic analysis and data digital filtering. The obtained results have indicated a predominance of southeast trade winds, with mean values of 5.54 m.s^{-1} . However, from october to december, there was an increase of the northeast trade winds. The current data presented an average value of 0.0670 m.s^{-1} , but from a technical point of view, the data are not in agreement with the expected one, since there was not a variation of current intensity in phase with the oscillation of the tidal wave. The temperature with a mean of 27.9°C , showing three sudden falls along the time series of one degree in the months from october to december. The harmonic analysis for the longitudinal current showed the component that presented the highest percentage of energy in the signal was M_2 (semi-diurnal lunar) with 72%. The filtration of the temperature data indicated a direct relationship between the relaxation of the longitudinal wind with the periods of temperature fall, pointing out to important processes in the access channel. The residual longitudinal current showed a positive flow primarily indicating that part of the volume of water entering in the access channel during the flood period can be drawn through the opening in the northern reefs.

Keywords: Longitudinal currents. Longitudinal winds. Residual current. Tidal wave.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Área do Porto Organizado.	26
Figura 2: Porto de Suape a) antes da abertura do canal de acesso ao porto interno; b) durante a obra de derrocagem.	27
Figura 3: mapa indicando a localização das duas estações de monitoramento meteoceanográfico no Porto de Suape.....	29
Figura 4: estação HMSUPIER e seus respectivos equipamentos instalados.	31
Figura 5: ADCP fundeado e ADCP fixado no casco de uma embarcação.	33
Figura 6: histograma indicando a direção das correntes a) antes e b) depois da rotação; c) distribuição das componentes u e v antes e depois da rotação.....	36
Figura 7: histograma indicando a direção dos ventos a) antes e b) depois da rotação.....	37
Figura 8: Tipos de filtros digitais; F_c – frequência de corte; F_n – frequência de nyquist; passband – banda de passagem e stopband – banda de paragem.....	38
Figura 9: Série sintética originada por ondas senoidais de frequência a) 100 Hz, b) 200 Hz, c) 300 Hz e d) 500 Hz, sendo e) a última a sobreposição de todos os sinais e seu respectivo filtro.	39
Figura 10: médias horárias para a) a velocidade e b) direção do vento durante o período de referência.	41
Figura 11: direção predominante dos ventos (em convenção meteorológica) e frequência de ocorrência.	42
Figura 12: variação da temperatura das águas durante o período de referência.	44
Figura 13: médias horárias para a) maré, b) velocidade e c) direção das correntes durante o período de referência.	45

Figura 14: variação da a) maré e b) das correntes longitudinais durante um período de 26 horas.	46
Figura 15: variação das componentes longitudinal (U) e transversal (V) ao estuário na a) superfície, b) fundo e c) média para a coluna d'água.....	47
Figura 16: a) maré medida e prevista e b) corrente longitudinal ao estuário observada e os dados previstos baseados nos constituintes harmônicos identificados.....	48
Figura 17: variação da a) temperatura; b) vento longitudinal e c) o vento transversal durante o período de estudo.	50
Figura 18: a) variação do a) vento longitudinal ao canal; b) corrente longitudinal ao canal; e c) corrente residual.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: características de alguns dos principais constituintes harmônicos das marés.	22
Tabela 2: descrição técnica dos instrumentos instalados para o Monitoramento Meteoceanográfico do Porto de Suape.....	30
Tabela 3: configuração do ADCP – Argonaut XR.....	34
Tabela 4: principais constituintes harmônicos em termos de percentual de energia, frequência e período, amplitude e fase, para a corrente longitudinal média para a coluna d’água.	49

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	Ambientes estuarinos	18
3.2	Marés.....	21
3.3	Importância da implementação de monitoramentos Meteoceanográficos em áreas portuárias	23
4.	ÁREA DE ESTUDO	25
5.	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1	Aquisição dos dados	28
5.1.1	<u>Funcionamento do ADCP</u>	31
5.2	Tratamento dos dados	34
5.2.1	<u>Análise harmônica</u>	37
5.2.2	<u>Filtragem dos dados</u>	38
6.	RESULTADOS.....	41
6.1	Descrição dos dados	41
6.1.1	<u>Ventos</u>	41
6.1.2	<u>Temperatura</u>	44
6.1.3	<u>Correntes e variação do nível das águas</u>	45
6.2	Componentes longitudinal e transversal da corrente	46
6.3	Análise harmônica.....	48

6.4	Filtragem dos dados	50
6.4.1	<u>Temperatura e ventos</u>	50
6.4.2	<u>Corrente longitudinal</u>	51
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – Visualização em tempo real pela plataforma Sismo	59
	APÊNDICE B – Valores mínimos, médios e máximos para os parâmetros: velocidade do vento, temperatura e correntes.....	60

1. INTRODUÇÃO

Estuários são corpos d'água costeiros semifechados, onde ocorre a diluição mensurável da água marinha pela água doce proveniente da drenagem continental, possuindo uma livre conexão com o mar aberto (CAMERON & PRITCHARD, 1963). Ou seja, o termo estuário é utilizado para designar um ambiente suscetível à descarga fluvial e à variação da maré e, portanto, sendo delimitado pelo limite máximo de influência da mesma.

Com o passar dos anos, a estratégica localização da região litorânea a tornou conveniente para o desenvolvimento de cidades em seu entorno, permitindo uma ocupação crescente e, conseqüentemente, expondo estes ambientes às atividades antrópicas e aos impactos delas decorrentes. Vários são os fatores que exercem uma significativa participação no agrave dos impactos recorrentes nestas regiões, entre os quais podem-se citar a especulação imobiliária e implantação de indústrias e de portos. A atividade portuária, embora inserida nesse contexto e comumente apontada por seu potencial poluidor, tornou-se essencial em termos de desenvolvimento econômico.

Mediante a necessidade de controlar e/ou minimizar possíveis impactos decorrentes da sua atividade, o Porto de Suape tem adotado medidas que permitam gerir melhor suas atividades e reduzir os riscos operacionais e ambientais. Uma das ações implementadas foi o recente Monitoramento Oceanográfico, através do qual foram instalados instrumentos de medição de correntes, ventos, marés e ondas. O monitoramento encontra-se ativo desde agosto de 2016 e tornou-se, em pouco tempo, uma ferramenta de grande relevância, visto que os dados assim gerados possuem diversas aplicações, desde o uso pela praticagem do Porto, reduzindo assim o risco de acidentes envolvendo navios, bem como a síntese de uma série histórica de variáveis que podem ser usadas, futuramente, para subsidiar obras de engenharia e estudos ambientais.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o regime de correntes no canal de acesso ao Porto de Suape, tendo em vista sua importância para a compreensão da complexa dinâmica do sistema estuarino e para o planejamento e gerenciamento ambiental adequados junto à área.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar o regime de correntes junto ao canal de acesso ao Porto de Suape.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar as características das correntes longitudinais ao longo do canal de acesso e sua variabilidade sazonal;
- Definir a contribuição/influência da maré sobre as correntes ao longo do canal de acesso;
- Utilizar-se de uma análise harmônica do sinal da maré e da corrente longitudinal ao estuário para determinar os principais constituintes harmônicos neste ambiente.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ambientes estuarinos

A palavra estuário deriva do adjetivo latino *aestuarium*, cujo significado é maré ou onda abrupta de grande altura, fazendo referência a um ambiente altamente dinâmico, com mudanças constantes em resposta às forçantes naturais (MIRANDA *et al.*, 2002). O termo estuário é, portanto, usado para designar ambientes complexos, nos quais ocorre o encontro das águas marinhas com as águas doces, estando este ambiente suscetível à descarga fluvial e à variação da maré, sendo comumente delimitado pelo limite máximo de influência da mesma. São ambientes costeiros transicionais que apresentam características únicas quanto ao transporte de nutrientes e compostos limitantes para a produtividade primária, sendo assim considerados áreas de berçário para o desenvolvimento de diversas espécies marinhas.

Estima-se que existem mais de quarenta definições para o termo estuário provindas de dicionários e enciclopédias, por especialistas de diferentes áreas associadas ao estudo de tais ambientes (PERILLO, 1955). No entanto, a mais adotada atualmente no campo da Oceanografia é a clássica definição de Pritchard (1955) e Cameron & Pritchard (1963), a qual designa estuários por corpos d'água costeiros semifechados, onde ocorre a diluição mensurável da água marinha pela água doce proveniente da drenagem continental, possuindo uma livre conexão com o mar aberto. Segundo Truccolo (2009), esta definição considera somente a região no estuário de influência da água do mar, excluindo a região de influência da onda de maré na porção fluvial do estuário. Muito embora esta definição incorpore aspectos referentes à hidrodinâmica estuarina, de extrema relevância, Fairbridge (1980) considera a definição de Dionne (1963) a mais abrangente, dadas suas considerações quanto à morfodinâmica deste ambiente, definindo estuário como “um braço de mar que adentra em um vale de rio tão para o interior quanto o limite de elevação da maré, usualmente sendo subdividido em três setores: (a) o baixo estuário (ou estuário marinho), com conexão livre com o mar aberto; (b) o médio estuário, sujeito à intensa mistura de água doce e salgada; e (c) o alto estuário (estuário fluvial), caracterizado por apresentar somente água doce, porém sujeito à ação das marés”.

Kjerfve (1987) apresentou outra definição, considerando não somente a gênese geológica, mas também os processos que contribuem para a formação desses ambientes, determinando que estuário é um ambiente costeiro com conexão restrita com o oceano adjacente, podendo ser subdividido em três zonas distintas: (a) zona de maré do rio (ZR) onde a parte fluvial possui salinidade praticamente igual a zero; (b) zona de mistura (ZM) sendo a região onde ocorre a mistura entre as águas doces oriundas da drenagem continental com as águas marinhas; e (c) zona costeira (ZC) região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina que delimita a cama limite costeira (CLC).

Mais recentemente, Dalrymple *et al.* (1992) introduziu uma nova definição quanto à classificação dos ambientes estuarinos, pondo em relevância aspectos relacionados à sedimentação e classificando este ambiente como “a porção de um vale afogado pelo mar que recebe sedimentos tanto de origem fluvial como marinha, contendo fácies influenciadas pelas marés, ondas e processos fluviais”. Esta definição considera que o estuário se estende desde o limite interno das fácies de maré até o limite oceânico das fácies costeiras na entrada.

Diante das definições quanto à morfologia e aos processos hidrodinâmicos que caracterizam o ambiente estuarino, é possível concluir que ao longo do estuário ocorrem variações quanto aos processos oceanográficos atuantes e que é possível identificar três regiões distintas em termos de sua proximidade com o oceano e nível de salinidade, podendo ainda cada região apresentar características sedimentológicas distintas. De forma resumida, pode-se afirmar que a hidrodinâmica estuarina é regida pela oscilação da onda de maré e pelas descargas fluviais, fatores que influenciam na morfologia do estuário e juntos controlam o balanço de material sedimentar, nutrientes e outros componentes ambientais relevantes, especialmente poluentes (SCHETTINI *et al.*, 2016).

Segundo Valle-Levinson (2010), os ambientes estuarinos podem ser classificados com relação à sua geomorfologia, sendo divididos em: (a) *ffjords*, os quais estão associados às altas latitudes, onde a atividade glacial é intensa, sendo normalmente profundos; (b) formados por barreiras, que são bacias de águas superficiais expostas em parte às variações dos níveis de maré e possuem uma barreira em frente à costa originada por bancos de areia com uma abertura que permite a conexão do estuário com o oceano adjacente; (c) estuários de planície costeira, também conhecidos por vales de rios afogados, sendo possivelmente originados pela elevação do nível do

mar em uma determinada época e se apresentando em geral largos, extensos e pouco profundos; e (d) tectônicos, originados por processos tectônicos que geraram fraturas na crosta terrestre, levando à sua formação.

Outro aspecto relevante sobre conhecimento desses ambientes está relacionado à estratificação de suas águas, classificando esses ambientes em altamente estratificados, parcialmente misturados ou bem misturados. Os estuários do tipo cunha salina ou altamente estratificados, estão associados a ambientes de regime de micromarés, havendo predominância da descarga fluvial sobre a maré (DYER, 1997). Ocorre o contrário para os estuários do tipo parcialmente misturados, os quais geralmente estão associados à dominância das marés sobre a descarga fluvial (TRUCCOLO, 2009). Estuários do tipo bem misturados possuem uma baixa influência da descarga fluvial em face de uma oscilação da maré que predomina sobre o ambiente, levando a uma possível estratificação horizontal (VALLE-LEVINSON, 2010).

A circulação induzida pela maré resulta das diferenças entre os fluxos de enchente e vazante, causados principalmente por uma interação não linear entre a geomorfologia estuarina e as correntes de maré (LINS, 2002). A força da maré é, normalmente, a principal componente em processos de mistura em estuários. No entanto, existem ambientes em que mais de uma condicionante atua intensamente sobre a circulação das águas, sendo, portanto, influenciados por outros fatores, tais como ventos e a descarga fluvial.

As características da circulação estuarina podem ser modificadas por atividades antropogênicas, incluindo modificações sobre a fisiografia da bacia estuarina, tais como modificação dos arredores para uso urbano ou industrial, bem como o aprofundamento ou ampliação do canal devido a atividades de dragagem (SCHETTINI et al., 2017). Os ambientes estuarinos, além de serem considerados como zonas transicionais importantes do ponto de vista científico, tornaram-se objeto de investidas econômicas e sociais devido à sua estratégica localização, possibilitando o crescimento desde cidades ao seu redor a complexos portuários e/ou industriais devido à sua favorável localização e às suas condições naturais.

3.2 Marés

Denomina-se maré o fenômeno periódico que envolve a variação vertical (nível) e horizontal (correntes de maré) das águas do mar (DEFANT, 1961). A maré nada mais é do que uma onda que transporta energia sobre a superfície oceânica, provocada pelas variações no campo gravitacional causado pelos movimentos relativos da Lua e do Sol em relação à Terra (PUGH, 2004). A não uniformidade do campo de força gravitacional que acaba por gerar as marés é resultante de forças geradas: pela variabilidade espacial da distância da Lua e do Sol na superfície terrestre; pelo movimento de rotação da Lua e da Terra em torno de um centro de massa no interior da Terra; e pela revolução do sistema Terra - Lua ao redor do sol. Este fenômeno torna-se relevante devido aos aspectos envolvidos, incluindo o transporte de energia, geração de correntes, o transporte de materiais em suspensão, a modificação da geomorfologia costeira, as alterações na composição da biota em ambientes marinhos, as enchentes dentre outros (LINS, 2002).

Isaac Newton descreveu o movimento dos planetas em campos gravitacionais e aproximou o conhecimento acerca da oscilação da onda de maré. Segundo Newton, dois corpos atraem-se mutuamente de forma proporcional a massa que possuem, contudo, de modo inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles, ou seja, quanto mais distantes estes corpos estiverem, menor será a atração gravitacional entre eles.

O modelo gravitacional de Newton para as marés, conhecido por Teoria do equilíbrio das marés de Newton, considerava a Terra como um planeta coberto uniformemente por água, desprezando a existência dos continentes, com órbita circular e totalmente esférico. Apesar de ser um modelo idealizado, foi de fundamental importância para a compreensão da variação dos níveis de água sobre a superfície terrestre. Para tal modelo, as marés surgiam como um deslocamento das massas de água gerado pela força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol sobre a Terra, atraindo parte do deslocamento na direção destas forças e na direção oposta, devido ao equilíbrio inercial das águas diante da rotação da Terra.

As marés são comumente classificadas quanto à sua amplitude e periodicidade. Quanto à sua amplitude, as marés podem ser classificadas em: (a) micromarés, com amplitudes inferiores a 1 m; (b) mesomarés, com amplitudes entre 1m e 3m; e (c) macromarés, com amplitudes superiores a 3 m (DUXBURY, 1996). Quanto à sua periodicidade, as marés podem ser classificadas em (a) semidiurnas, as quais possuem período de 12,42 h ou 12h25min e respondem essencialmente as fases lunares; (b) diurnas, menos comuns, apresentam período de 24,84 h ou 24h50min e; (c) do tipo mista, cuja apresenta uma superposição de oscilações com períodos relacionados a condicionantes astronômicos e meteorológicos (LINS, 2002).

Matematicamente, é possível estimar os vários constituintes harmônicos em um sinal de maré astronômica através do uso da técnica de análise harmônica, como soma de um número finito de componentes harmônicos. Segundo Pond & Pickard (1983), os componentes principais se resumem a quatro componentes semi-diurnas (M_2 , S_2 , K_2 e N_2) e três componentes diurnas (K_1 , O_1 e P_1), descritas na **Tabela 1**.

Tabela 1: características de alguns dos principais constituintes harmônicos das marés.

Constituinte harmônico	Modo da maré	Período (horas)
M2	Lunar principal	12,42
S2	Solar principal	12
N2	Lunar elíptica maior	12,66
K2	Declinação lunar-solar	11,97
K1	Declinação lunar-solar	23,93
O1	Lunar principal	25,82
P1	Solar principal	24,09
Mf	Lunar quinzenal	330
Mm	Lunar mensal	661
Ssa	Lunar semestral	4385

Fonte: POND & PICKARD, 1983.

O fenômeno da força geradora da maré (diferença entre a centrífuga e a força gravitacional de cada astro) de origem astronômica é perfeitamente conhecido, contudo o desenvolvimento da onda de maré pode ser perturbada por diversos fatores (ANTUNES, 2011). Várias são as condicionantes que exercem algum nível de perturbação sobre a propagação da onda de maré, tais como a variação da profundidade local, a presença de continentes e a interação com fenômenos de origem atmosférica.

Em águas rasas, a progressão da onda de maré é influenciada diretamente por efeitos não lineares que contribuem na distorção e dissipação de energia. Entre os efeitos estão listados: (1) a influência da fricção do fundo e constrição lateral do canal; (2) a configuração da costa que impõem variações na direção de fluxos de marés, e (3) a profundidade da coluna de água, que é comparável em escala com a amplitude da maré (PUGH, 1987; DYER, 1997 *apud* TRUCCOLO & SCHETTINI, 1999).

3.3 Importância da implementação de monitoramentos Meteocceanográficos em áreas portuárias

Áreas costeiras como baías e estuários hospedam cerca de 30 a 50% da população e portos marítimos que, por sua vez, lidam com 80% do comércio mundial (EOS, 2014). Consequentemente, estes ambientes estão cada vez mais vulneráveis às contaminações químicas decorrentes dessas atividades. Atualmente, o monitoramento de parâmetros meteorológicos e oceanográficos em portos tem crescido em número e grau de relevância no mundo. Representa uma ferramenta essencial para o acompanhamento e atendimento a eventuais emergências envolvendo aporte de óleo ou outras substâncias no mar (SUAPE, 2017a). Os registros das séries de dados têm inúmeras aplicações, as quais contemplam aspectos operacionais (otimização do período de operação do porto; planejamento mais seguro de manobras; redução de risco de acidentes; acompanhamento sistemático do calado real; emissão de alertas precoces, entre outros), ambientais (caracterização ambiental; suporte a resposta de emergências que envolvem aporte de óleo ou outras substâncias no mar; subsídios a modelagens; redução do impacto de dragagens, entre outros) e de planejamento/engenharia (subsídio para projetos de ampliação, manutenção ou adaptação –

engenharia de resiliência; planejamento de dragagens; subsídio a estudos de manobrabilidade e afins) (MALLMANN, B. L. D. comunicação pessoal).

Apesar do alto grau de regulação e de requisitos legais que devem ser atendidos pelas Autoridades Portuárias no Brasil, os mesmos não incluem monitoramentos como o supracitado em caráter obrigatório, de tal forma que ações desta natureza normalmente são adotadas em caráter de boa prática.

4. ÁREA DE ESTUDO

Durante a década de 1970, tiveram início as discussões a respeito do conceito de porto-indústria baseado em portos já existentes na época - Porto de Marseille-Fos, na França e de Kashima, no Japão (PERNAMBUCO, 2017). A viabilidade do Porto de Suape foi posta em questão, tendo em vista o intuito de criar um porto que fosse responsável por uma demanda complementar àquela existente no Porto do Recife, bem como minimizar os impactos oriundos do transporte e manipulação de derivados de petróleo e produtos químicos no centro da região metropolitana de Recife. Alguns pontos foram cruciais para a escolha da região em que se instalaria o porto, tais como sua estratégica localização, a extensa área para implantação de um parque industrial, a proximidade com Recife, a existência de um quebra-mar natural formado por recifes de arenito (*beachrocks*) e águas que atingem uma profundidade de cerca de 17 metros.

O Porto de Suape surgiu a partir de uma necessidade em impulsionar o desenvolvimento socioeconômico do estado de Pernambuco. Foi criado como instituição pública em 7 de novembro de 1978, por meio da Lei Estadual nº 7.763, que criou a empresa SUAPE - Complexo Industrial Portuário, cuja finalidade era administrar a implantação do distrito industrial, o desenvolvimento das obras e a exploração das atividades portuárias (SUAPE, 2017b). O complexo teve sua concepção durante a gestão do governador Eraldo Gueiros Leite (1971 – 1975) e como homenagem a esta iniciativa, seu nome batiza o próprio empreendimento (SUAPE, 2017c).

O Complexo Industrial Portuário Eraldo Gueiros – Suape está localizado no litoral sul do estado de Pernambuco, a uma distância aproximada de 40 quilômetros do município de Recife e abrange parte do território dos municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (**Figura 1**). O Complexo ocupa atualmente uma área aproximada de 13.500 hectares, dos quais cerca de 3.232 hectares correspondem à área do Porto Organizado (SUAPE, 2017d), área sob jurisdição da Autoridade Portuária onde são realizados o tráfego de embarcações e a movimentação de mercadorias.

Figura 1: Área do Porto Organizado.



Fonte: arquivo interno do Porto de Suape.

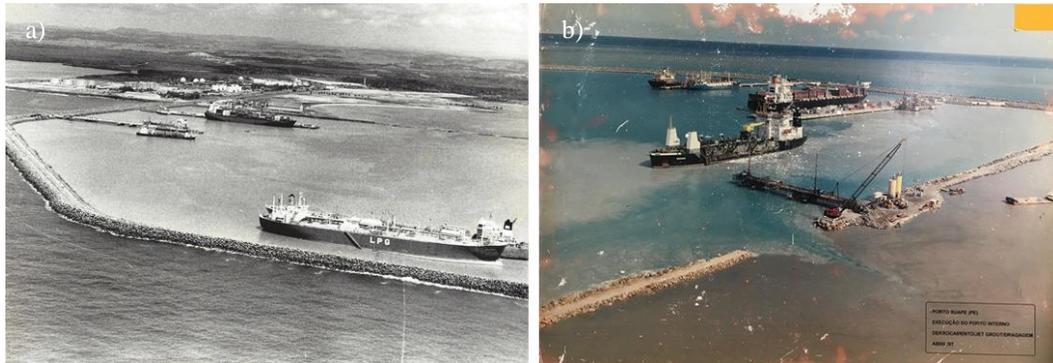
Considerando a classificação Koppen, o clima da região estudada é do tipo As' , isto é, tropical quente e úmido, com chuvas de outono-inverno distribuídas de março a agosto, tendo seu período seco compreendido entre setembro e fevereiro (CHAGAS, 2003). Portanto, a região apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa, com precipitação média mensal de 250 mm; e uma seca, com precipitação média mensal de 70 mm. A temperatura média anual é de 27°C e pluviosidade aproximada de 2000 mm/ano, distribuídos de modo desigual entre os períodos seco e chuvoso (SUAPE, 2017a).

Segundo Barros (2009), o arcabouço geomorfológico da região pode ser sistematizado em três compartimentos distintos denominados de domínio colinoso, rampas de colúvio e planície costeira, sendo esta última a mais representativa da área. A planície costeira abrange desde a linha de recifes até o sopé das formações mais antigas. A morfologia costeira se caracteriza pela existência de uma laguna separada do mar aberto por um extenso cordão de arenito, tendo na extremidade norte uma abertura natural que assegura sua ligação com o mar.

Quanto às condicionantes meteorológicas locais, predominam os ventos alísios de sudeste com variações ao longo do ano, geralmente durante o verão, quando ocorrem ventos de leste e nordeste (LINS, 2002). O estuário sofre influência direta de um regime de mesomarés com periodicidade semidiurna (ARAÚJO, 2005) e uma amplitude de variação média na quadratura de 1,4 m, enquanto que na sizígia atinge amplitude em torno de 2,2 m (LINS, 2002). A profundidade média no canal de acesso é de 17 m.

O complexo estuarino sofre influência direta dos rios Massangana e Tatuoca e possui uma barreira natural responsável pela divisão das águas em porto interno e porto externo. Ambos os rios fazem parte da formação de uma bacia hidrográfica de pequenos rios litorâneos que desaguam no oceano Atlântico, denominada por GL – 2. Segundo a APAC (2017), este grupo limita-se ao norte com a Bacia do Rio Capibaribe, ao sul com a Bacia do Rio Ipojuca e a leste com o Oceano Atlântico. O Rio Massangana delimita os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, tendo como formadores os rios Tabatinga e Utinga de Baixo, ambos com nascentes no município de Ipojuca, e encontra o Rio Tatuoca a 6 km da foz (CPRH, 2001).

Figura 2: Porto de Suape a) antes da abertura do canal de acesso ao porto interno; b) durante a obra de derrocagem.



Fonte: arquivo interno do Porto de Suape.

Diversas foram as modificações executadas nesta região visando a melhoria da infraestrutura do complexo, desde o aterro de uma grande área para implantação de indústrias ao uso de explosivos para a remoção de parte dos arrecifes que permite o acesso dos navios ao porto interno (**Figura 2a e 2b**). Porém, um dos principais impactos decorrentes da implementação do Complexo foi a alteração da fisiografia da Baía de Suape, através do represamento dos rios Ipojuca e Merepe, modificando as características físico-químicas e biológicas das águas (LINS, 2002).

5. MATERIAL E MÉTODOS

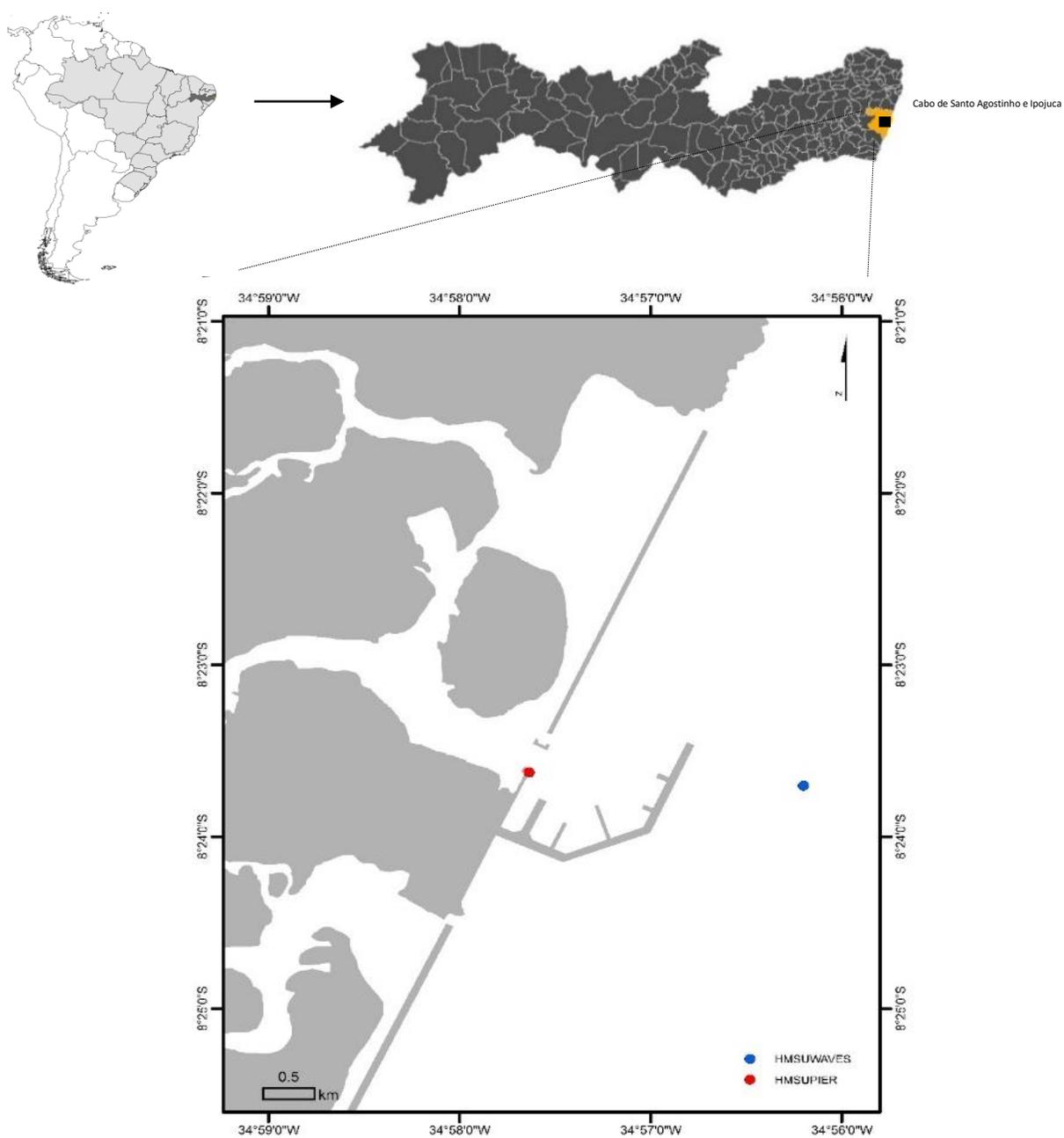
5.1 Aquisição dos dados

Os dados utilizados no presente trabalho foram concedidos pelo Porto de Suape e são oriundos do Monitoramento Meteoceanográfico, ação iniciada em agosto de 2016 cuja finalidade é monitorar parâmetros oceanográficos (correntes, ondas e maré) e meteorológicos (ventos). Para tais fins, foram instalados um perfilador acústico de correntes, um sensor de intensidade e direção do vento, um instrumento para medição do nível do mar e um medidor de altura e período de ondas não-direcional (**Tabela 2**) nas proximidades do canal de navegação do porto, todos trabalhando em regime contínuo, cujos dados estão disponíveis virtualmente e podem ser visualizados em tempo real.

O projeto conta com duas estações de monitoramento (**Figura 3**) intituladas por HMSUPIER e HMSUWAVES. A primeira indica o posicionamento dos dispositivos de sensoriamento ADCP (acrônimo do inglês para *acoustic Doppler current profiler*), anemômetro e marégrafo, enquanto que a segunda indica a localização do ondógrafo. Para o presente trabalho, serão utilizados apenas os dados obtidos pelos instrumentos da estação HMSUPIER.

A estação meteoceanográfica, denominada por HMSUPIER, encontra-se na divisa entre o Porto interno e o Porto externo, tendo como base de apoio a proteção do cabeço sul dos arrecifes, posicionada em latitude $08^{\circ}23'36,78''S$ e longitude $34^{\circ}57'33,10''O$. Foi instalada ali uma estrutura de suporte para os equipamentos que conta com uma torre de 9 metros de altura, tendo em seu topo o sensor de vento devidamente acomodado. Paralelamente, uma segunda torre foi instalada para sustentar a caixa de transmissão dos dados (*datalogger* e modem de transmissão), baterias e placa solar, além de uma estrutura de fixação para o marégrafo, a qual se encontra fixada a uma distância de 1,2 m da parede de proteção dos cabeços, a cerca de 0,5 m de altura. O marégrafo foi mantido nesta altura para que o seu transdutor fique voltado para a superfície da água, assim como foi posto na parte interna dos cabeços, contrário ao canal de navegação, objetivando minimizar possíveis impactos com as embarcações que ali trafegam (**Figura 4a**).

Figura 3: mapa indicando a localização das duas estações de monitoramento meteoceanográfico no Porto de Suape.

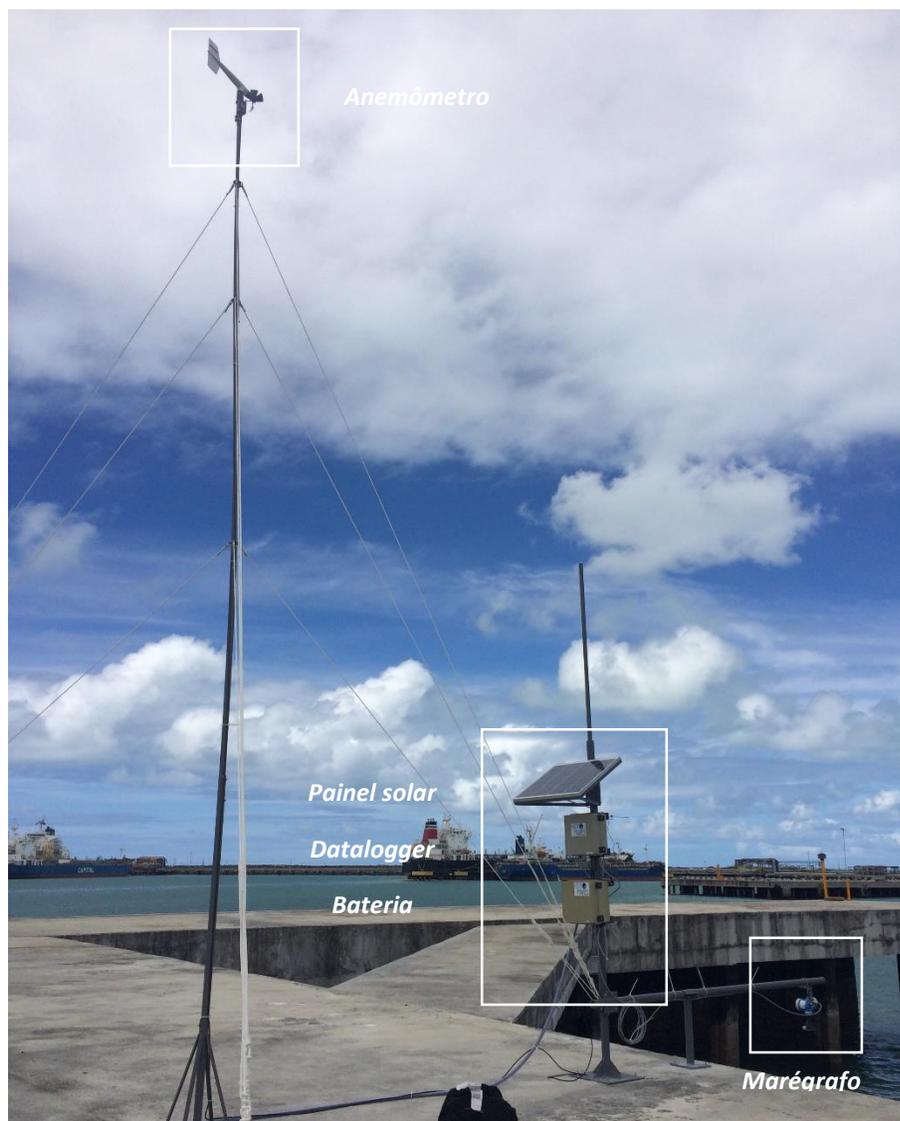


Por fim o ADCP, inserido em uma estrutura metálica acoplada a um *gimball* (compensador de inclinação), foi fundeado a uma profundidade aproximada de 17 m a uma distância aproximada de 1 m do fundo, tendo sido programado para a obtenção de dados de velocidade e direção das correntes em cinco células ao longo da coluna d'água. Os dados começaram a ser coletados e disponibilizados virtualmente (**Apêndice A**) a partir do dia 04 de agosto de 2016. Bimestralmente é realizada uma manutenção preventiva (descarregar dados, limpar e programar os instrumentos) nas estações, no intuito de aumentar a vida útil dos equipamentos e de manter a qualidade dos dados amostrados.

Tabela 2: descrição técnica dos instrumentos instalados para o Monitoramento Meteoceanográfico do Porto de Suape.

Instrumento	Fabricante	Modelo
<i>Anemômetro</i>	RM Young	05103
<i>Marégrafo</i>	WaterLOG	NILE502
<i>ADP vertical</i>	SonTek	Argonaut-XR .750

Figura 4: estação HMSUPIER e seus respectivos equipamentos instalados.



5.1.1 Funcionamento do ADCP

O ADCP é um perfilador acústico utilizado para a medição da velocidade e direção das correntes através de um sinal sonoro de alta frequência, que é refletido de volta para o aparelho pelas partículas em suspensão na água. A velocidade e direção das correntes são determinadas pelo desvio Doppler da frequência do sinal que retorna ao aparelho (EMERY & THOMSON, 1997 *apud* CALAZANS, 2011).

O efeito Doppler é uma mudança na frequência do som devido ao movimento relativo entre a fonte emissora de som e o observador. A frequência do som emitido por um objeto em movimento, para um observador parado, tende a aumentar quando o objeto se aproxima e diminuir quando o objeto se afasta do referencial. O efeito Doppler leva em consideração a frequência do som sem nenhuma interferência, a velocidade relativa entre a fonte e o receptor das ondas acústicas e a velocidade do som. Ele depende somente do movimento radial entre a fonte e o receptor, ou seja do movimento de aproximação ou afastamento entre eles. A Equação 1 apresenta as componentes para o cálculo da frequência Doppler (F_d).

$$F_d = F_s \frac{V}{C}$$

Onde:

F_d = Diferença de frequência (Hz)

F_s = Frequência transmitida de uma fonte (Hz)

V = Velocidade relativa entre a fonte e o objeto ($m \cdot s^{-2}$)

C = Velocidade do som no meio considerado ($m \cdot s^{-1}$)

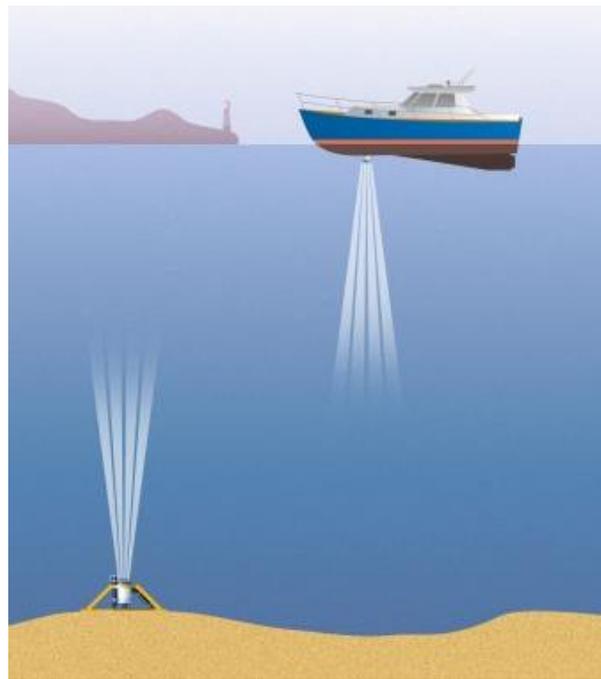
O ADCP é constituído por transdutores que são responsáveis pela emissão de pulsos de onda sonora, assim como pela recepção do sinal refletido. O princípio básico de funcionamento do ADCP parte do pressuposto de que as partículas na água se movimentam com a mesma velocidade que o fluxo de água, assim o instrumento emite uma onda sonora através do transdutor que, ao ser refletida pelas partículas em suspensão, retorna com uma frequência diferente da inicial (retro-espalhamento ou *backscatter*), proporcional à velocidade de deslocamento dessas partículas. Ou seja, o equipamento envia um sinal acústico que é refletido em diversas direções pelas partículas em suspensão, sendo parte deste sinal refletido em direção ao aparelho, mas agora com uma frequência diferente, originada pelo movimento das partículas em relação ao equipamento, determinando assim a velocidade das correntes. Existe, portanto, uma alteração na frequência entre o transdutor e a partícula que modifica a Equação 1:

$$F_d = 2F_s \frac{V}{C}$$

O instrumento é previamente programado para calcular a velocidade das correntes em termos de suas componentes (xyz) em diferentes profundidades, denominadas por células. Usualmente, a célula de número 1 é a mais próxima do transdutor.

Existem diversos tipos de perfilhadores acústicos diferenciados pela frequência de emissão da onda sonora, dependendo sobretudo do alcance desejado e do objetivo do trabalho. Quanto maior a profundidade do local a ser estudado, menor a frequência do sinal. Assim como, a depender da informação que se deseja obter, os ADCPs podem ser instalados de diversas formas (**Figura 5**), no entanto, os principais modos de instalação são: fundeados, os quais ficam fixos no fundo do leito marinho com os transdutores voltados para cima, seguindo o método Euleriano, o qual objetiva medir a variação de um determinado parâmetro em função do tempo; e embarcados, neste caso sempre acoplados a uma estrutura fixa lateralmente a embarcação, com os transdutores voltados para baixo, seguindo portanto o princípio Lagrangeano para obtenção de uma informação que varie no tempo e no espaço.

Figura 5: ADCP fundeado e ADCP fixado no casco de uma embarcação.



Fonte: NOAA, 2017.

Atualmente, o ADCP é o instrumento de medição com uso de sinais acústicos mais utilizado em pesquisas oceanográficas, com aplicabilidade em diversos ramos. A finalidade principal e a maior vantagem desse tipo de instrumento é o fato de possibilitar a obtenção de perfis verticais de velocidade de correntes (CALAZANS, 2011).

5.2 Tratamento dos dados

O período utilizado no presente trabalho é compreendido pelo início do Monitoramento, 04 de agosto de 2016 e estende-se até 28 de fevereiro de 2017, totalizando um período contínuo de sete meses (212 dias). Todos os dados foram concedidos em arquivos Excel, exceto pelos dados do ADCP, os quais foram repassados sem nenhum processamento prévio em arquivos de extensão *.arg*.

O ADCP foi previamente configurado antes de ser fundeado para registrar dados em intervalos de 5 minutos, com cinco células de medição distantes 3 metros entre si e *blank distance* de 1 metro (**Tabela 3**). As informações registradas pelo equipamento compreenderam: data; hora; velocidade e direção das correntes, assim como as respectivas componentes da velocidade no sistema de coordenadas ENU (*east, north, up*); amplitude do sinal; ruído; localização; temperatura e pressão, além de outros dados referentes ao posicionamento do equipamento e o desvio padrão para alguns parâmetros. Dados de vento e nível da água foram obtidos com a mesma periodicidade de cinco minutos, para o período amostral supracitado.

Tabela 3: configuração do ADCP – Argonaut XR.

Configuração do hardware	
<i>Tipo do instrumento</i>	XR
<i>Frequência (kHz)</i>	750
<i>Número de Beams (feixes)</i>	3
<i>Sensor de temperatura instalado</i>	SIM
<i>Sensor de pressão instalado</i>	SIM
<i>Tamanho das células</i>	3.0 m
<i>Número de células</i>	5
<i>Blank Distance</i>	1.0 m
<i>Average Interval</i>	250 s
<i>Sample Interval</i>	300 s
<i>Sistema de Coordenadas</i>	ENU (XYZ)

Em uma análise prévia dos dados, nota-se que durante os meses de agosto e setembro a velocidade das correntes não se comporta de acordo com o esperado devido à sua correlação com a maré local, relação esta perceptível durante o restante do período do estudo, indicando visualmente uma possível falha, que foi justificada nos relatórios técnicos da empresa prestadora do serviço (HIDROMARES, 2016) uma vez que durante o período supracitado houve um deslocamento lateral do cabo, indicando que o ADCP pode ter sido arrastado com as correntes, mesmo estando fundeado com uso de poitas para lastreio. No dia 17 de novembro foram tomadas as medidas cabíveis de manutenção, garantindo a segurança do sistema e permitindo que os equipamentos permanecessem em atividade contínua.

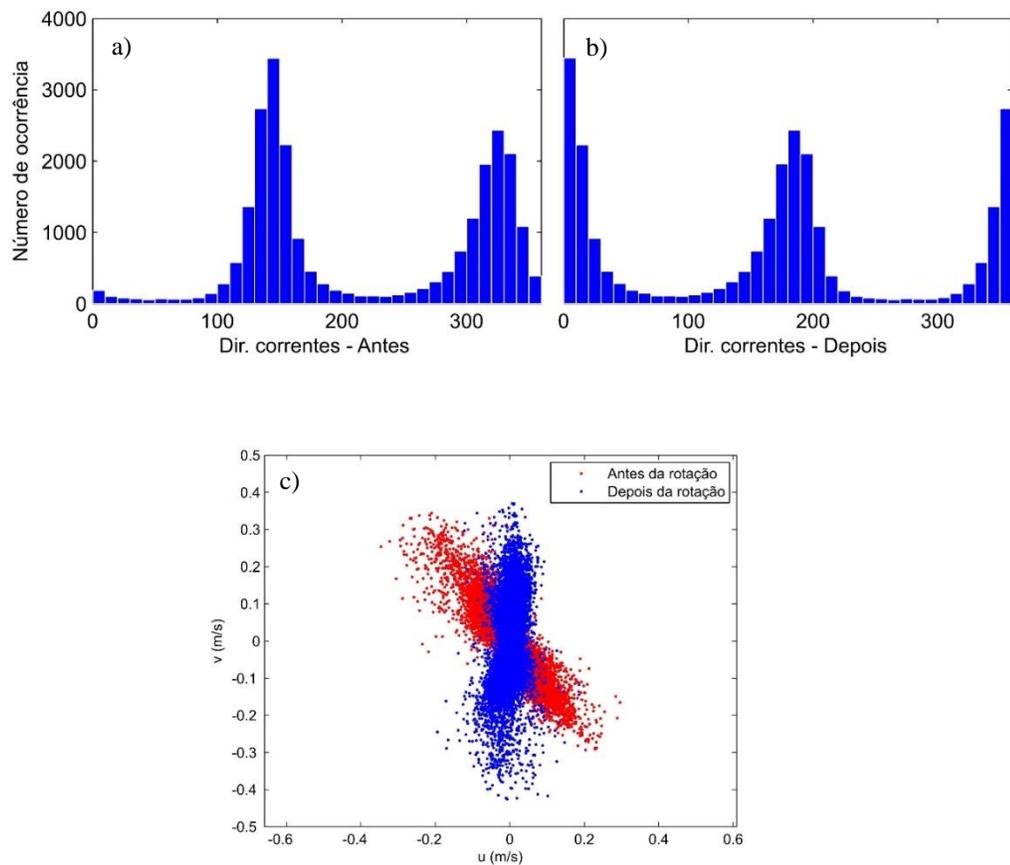
Os arquivos de armazenamento dos dados coletados pelo ADCP foram gerados no formato *.arg* porém, para que seja possível processá-los posteriormente, os arquivos devem ser convertidos para *.ascii*. O programa utilizado para uma visualização prévia dos dados no formato *.arg* e a conversão dos mesmos foi o ViewArgonaut (SONTEK, 2017), disponibilizado pelo fabricante em sua página virtual. Após a conversão dos dados de corrente, foi iniciado o processamento.

Foram necessários alguns níveis de processamento dos dados de corrente se utilizando de rotinas de programação com uso de um *software* específico. Primeiramente, os dados foram reorganizados para facilitar as análises posteriores, formulando uma base de dados mais acessível. O segundo nível de processamento dos dados está relacionado à eliminação dos dados espúrios, porém esta etapa não se fez necessária, visto que a utilização de um número reduzido de células impossibilita que o sinal acústico emitido pelo ADCP ultrapasse a superfície da água e gere ruídos nos dados. Segundo Miranda *et al.* (2002), a sobreposição dos movimentos gerados pela maré, ventos e descarga fluvial acabam por introduzir dificuldades no tratamento de dados experimentais, indicando a conveniência da utilização de médias no espaço e no tempo. Assim, o terceiro nível de processamento se resume à redução adequada dos dados para a obtenção dos valores médios horários.

Dados de vento e níveis da água passaram pelos mesmos níveis de processamento, exceto pela segunda etapa do tratamento dos dados, em que se fez necessário suprir algumas falhas nos dados considerando-os como o resultado de uma operação aritmética indeterminada, parâmetro conhecido por NaN, que permite que os dados sejam analisados sem interferir no resultado final.

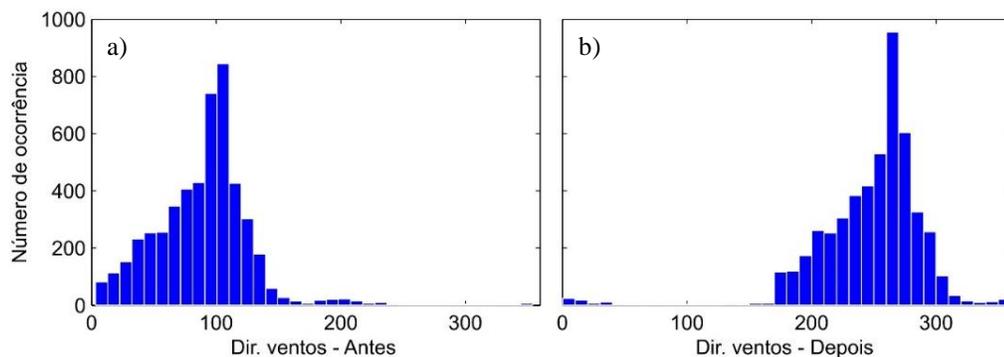
A quarta etapa do processamento se resume ao cálculo das componentes longitudinal (U) e transversal (V). A partir das componentes zonal (u) e meridional (v) das correntes foram obtidos valores para velocidade e direção, para cada célula e para a média da coluna d'água. A série de dados horária foi submetida ao cálculo da moda, objetivando determinar a direção que ocorria com maior frequência ou a mais comum, tendo sido obtido o ângulo de moda de 140° (**Figura 6a**). Assim, a direção das correntes foi reduzida do ângulo de moda (**Figura 6b**), sendo por fim calculadas as componentes U e V. Ao rotacionar os dados, uma de suas componentes passa a concentrar maior energia (**Figura 6c**), sendo esta a componente longitudinal ao estuário.

Figura 6: histograma indicando a direção das correntes a) antes e b) depois da rotação; c) distribuição das componentes u e v antes e depois da rotação.



O mesmo foi executado com os dados de vento, rotacionados em 16° (ângulo de inclinação da linha de costa) para determinar as componentes U e V. A direção do vento encontra-se em convenção meteorológica e com o intuito de deixar ambos os dados de corrente e vento sob a mesma convenção, foi reduzido também do ângulo da direção a defasagem em 180° (**Figura 7a e 7b**).

Figura 7: histograma indicando a direção dos ventos a) antes e b) depois da rotação.



As próximas etapas se resumem a aplicação de um filtro matemático para retirar a influência da maré astronômica sobre a corrente longitudinal, o vento longitudinal e a onda de maré; assim como a aplicação de uma Análise Harmônica para definir os principais constituintes harmônicos presentes nos dados e determinar a maré e a corrente longitudinal prevista para o canal de acesso do Porto de Suape.

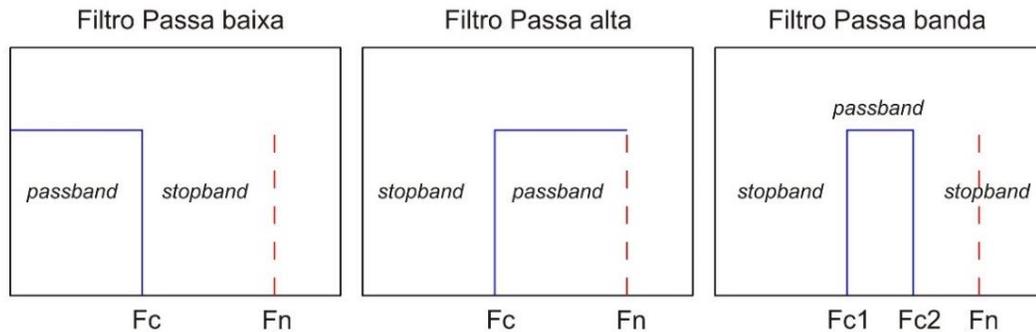
5.2.1 Análise harmônica

Para determinar os constituintes harmônicos de maior frequência no sinal da maré, da corrente longitudinal e do vento longitudinal ao estuário, foram utilizadas as rotinas do *toolbox* Utide (CODIGA, 2011). Esta análise possibilitou determinar a componente mareal das correntes e também analisar as principais constituintes nas camadas de água.

5.2.2 Filtragem dos dados

O filtro tem a função de retirar sinais indesejáveis como ruídos, ou ainda partes indesejáveis do sinal como determinadas componentes de frequência. Os filtros ideais são os filtros que possuem perda zero nas frequências desejadas (*passband*) e nenhuma amplitude nas frequências não desejadas (*stopband*) (BARROS, 2008). Os filtros digitais podem ser classificados em passa-baixa, passa-alta ou passa-banda (**Figura 8**).

Figura 8: Tipos de filtros digitais; F_c – frequência de corte; F_n – frequência de nyquist; *passband* – banda de passagem e *stopband* – banda de paragem.

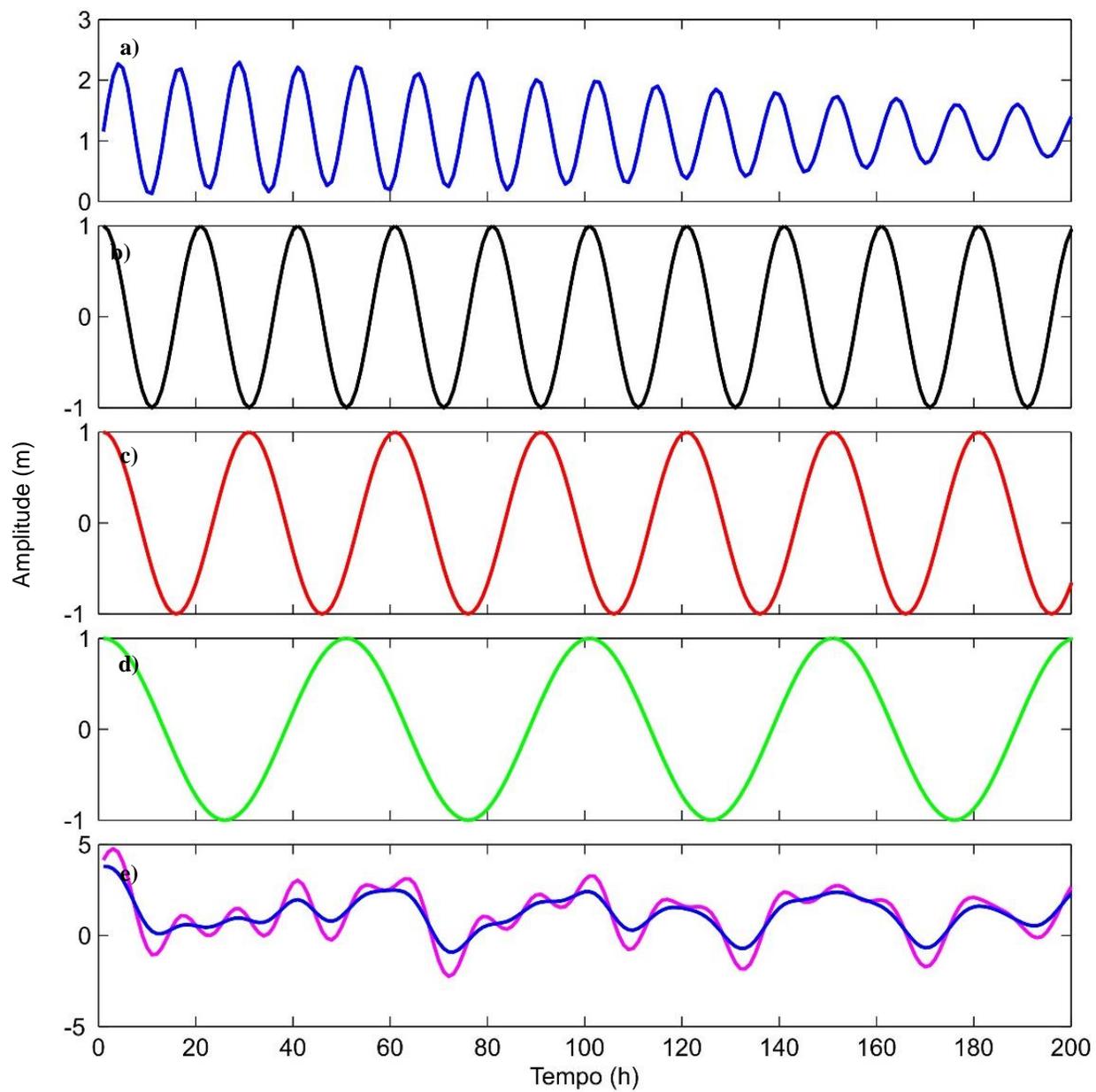


Fonte: adaptado de BARROS, 2008.

O filtro passa-baixa permite a passagem de baixas frequências e reduz a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte, porém a quantidade de atenuação para cada frequência varia de filtro para filtro. Quanto maior for a ordem do filtro, mais limpo será o sinal.

Com o intuito de demonstrar a aplicabilidade da técnica de filtragem, foi elaborada uma série sintética composta por ondas senoidais de frequência conhecida, variando de 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz e 500 Hz. O uso do filtro Buterworth foi feito para isolar uma determinada frequência. O filtro aplicado para a série sintética permitiu a passagem do sinal de alta frequência (baixa periodicidade), excluindo os sinais de baixa frequência (**Figura 9**). Ou seja, foi reduzida a amplitude das ondas de frequência superior à frequência de corte ($F_c = 100$ Hz), preservando os sinais com frequência acima de 100 Hz.

Figura 9: Série sintética originada por ondas senoidais de frequência a) 100 Hz, b) 200 Hz, c) 300 Hz e d) 500 Hz, sendo e) a última a sobreposição de todos os sinais e seu respectivo filtro.



A variação da maré e de movimentos inerciais se apresentam como “ruídos de alta frequência”. Com o objetivo de retirar o sinal da maré, faz-se necessário atenuar as componentes de curto período (alta frequência), tais como as marés diurnas e semidiurnas. O filtro escolhido para a análise das séries temporais presentes neste trabalho foi desenvolvido pelo físico Stephen Butterworth, aplicado inicialmente para circuitos elétricos (BUTTERWORTH, 1930). Atualmente, o filtro Butterworth tem sido largamente utilizado em estudos oceanográficos (EMERY & THOMNSON, 1997).

Para a filtragem das séries temporais visando excluir a tendência do sinal de maré, primeiramente foi determinado o número de ordem com o uso da função *buttord*, sendo utilizada a frequência de corte referente a um período de 40 horas ($F_c = 1/40h^{-1}$) e frequência de Nyquist de $0,5h^{-1}$. O teorema de Nyquist afirma que se existe um total de N pontos amostrais, então a maior frequência, ou menor comprimento de onda, que pode ser resolvida numa Transformada de Fourier é igual N/2. Em seguida, foi definido os componentes numéricos da função de transferência através da projeção do filtro com a função *butter* e redefinido o sinal com o uso do filtro *filtfilt*.

6. RESULTADOS

6.1 Descrição dos dados

6.1.1 Ventos

Durante todo o período do estudo, compreendido entre os meses de agosto de 2016 e fevereiro de 2017, o sensor de detecção de velocidade e direção dos ventos esteve em funcionamento sem maiores interferências. A **Figura 10** apresenta a variação da velocidade do vento ao longo deste período, indicando que os ventos de maior intensidade ocorreram entre os meses de outubro e dezembro e os de menor intensidade, janeiro e fevereiro. A velocidade média dos ventos foi de 5,54 m/s, sendo registrados como valores máximos 10,42 e 10,28 m/s nos meses de outubro e novembro, enquanto que os valores mínimos foram registrados em agosto e setembro, com magnitude de 0,47 e 0,60 m/s, respectivamente.

Figura 10: médias horárias para a) a velocidade e b) direção do vento durante o período de referência.

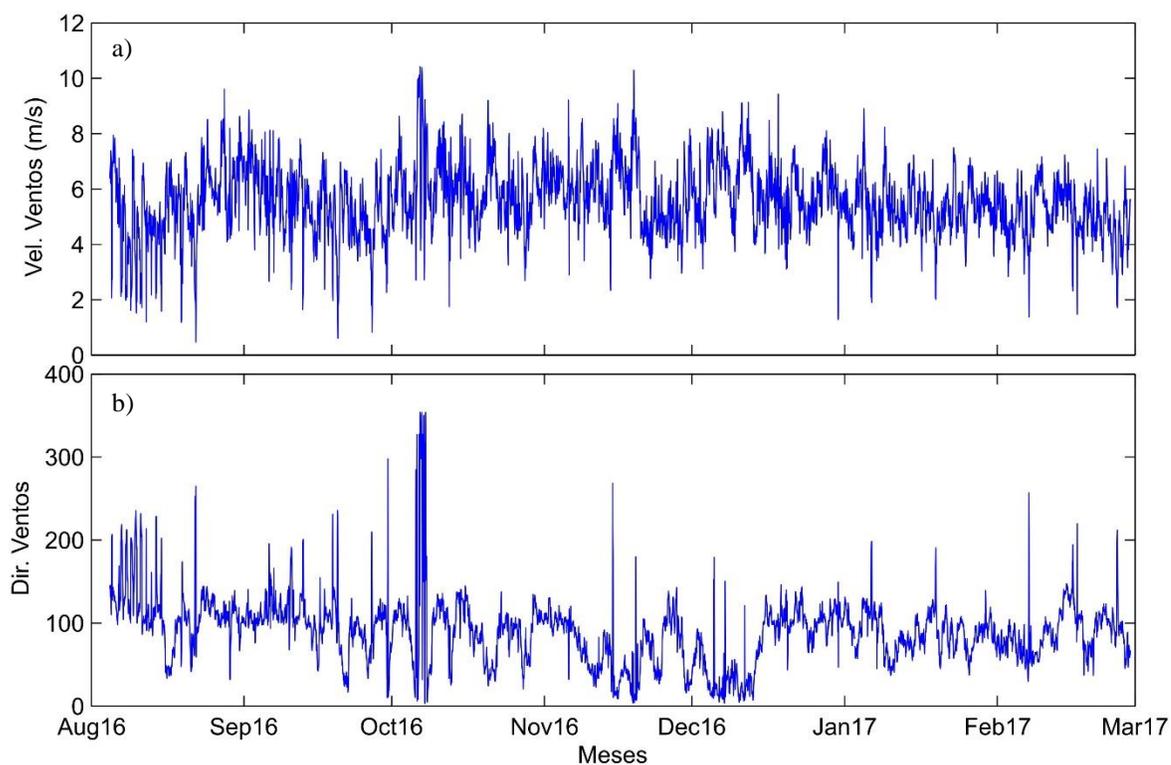
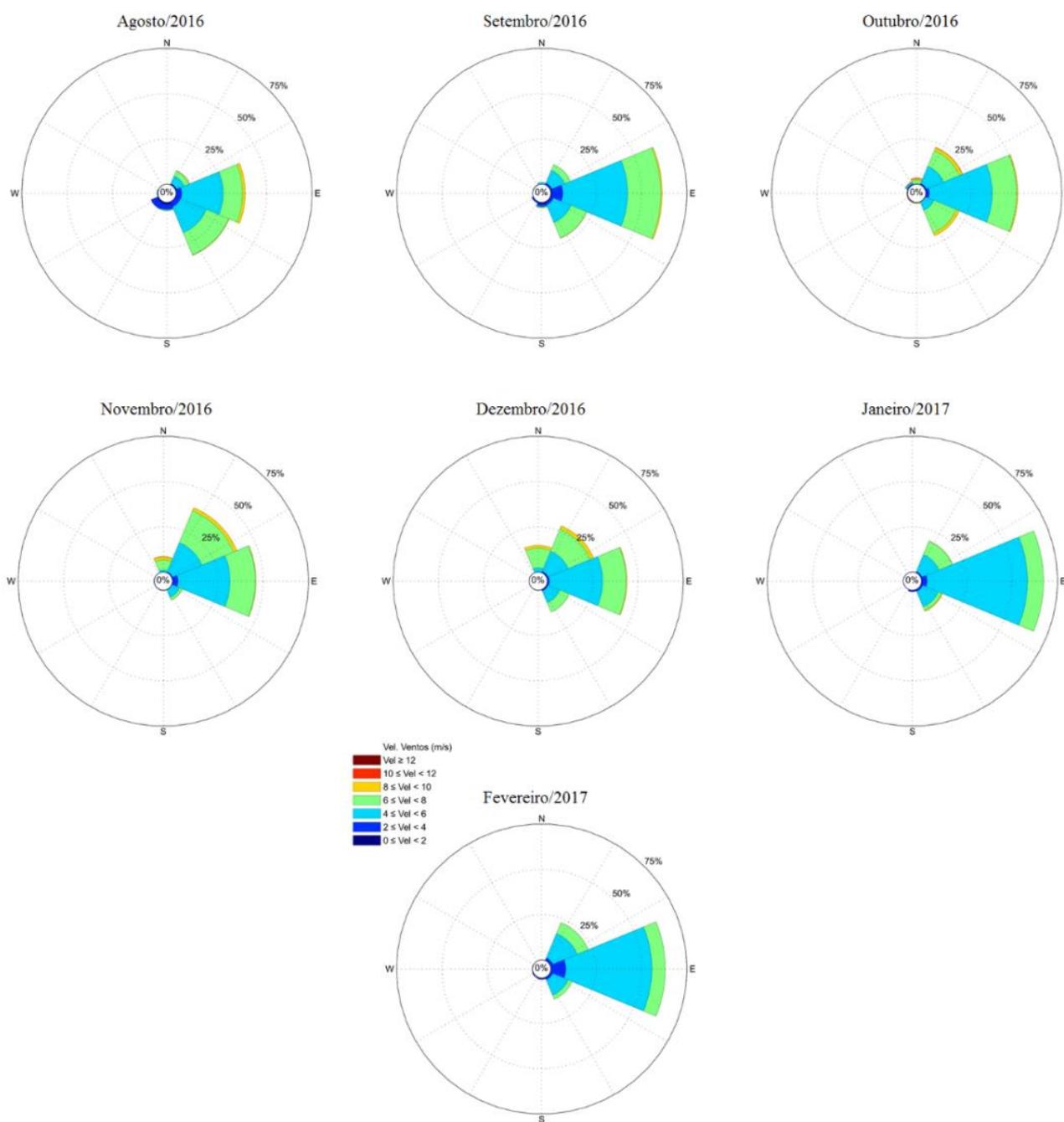


Figura 11: direção predominante dos ventos (em convenção meteorológica) e frequência de ocorrência.



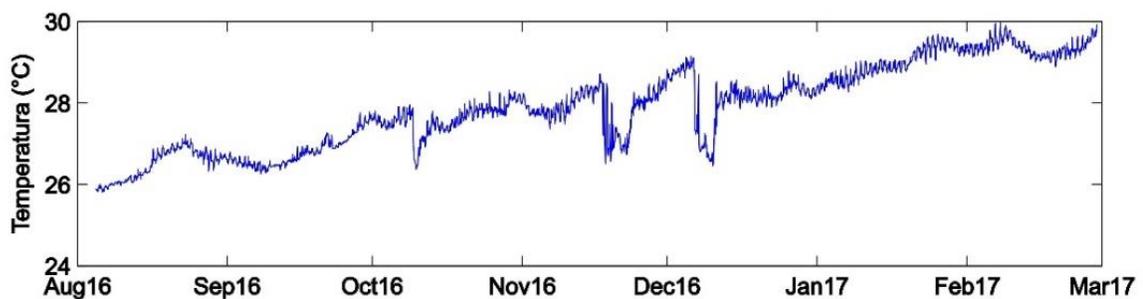
Os dados mostram uma predominância dos ventos alísios de leste e sudeste, característicos para a região, com variações de ventos de nordeste, principalmente no período de outubro a dezembro, quando os ventos alísios de nordeste intensificaram-se (**Figura 11**). Este fato decorre da presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), resultado da circulação global atmosférica, na qual ocorre a convergência dos ventos alísios de sudeste do Hemisfério Sul com os ventos alísios de nordeste oriundos do Hemisfério Norte, em baixos níveis de altitude. A variação do posicionamento latitudinal da ZCIT está diretamente relacionada com as alterações na temperatura da superfície do mar (TSM) dos oceanos Atlântico Norte e Sul.

As anomalias sobre a TSM caracterizam a formação de um gradiente de temperatura entre os oceanos Atlântico Tropical Sul e Norte. Logo, quando a temperatura do oceano Atlântico Tropical Sul está maior que a média e, durante o mesmo período a temperatura do Atlântico Norte está menor que a média, observa-se concomitantemente a pressão ao nível do mar (PNM) mais baixa do que a média sobre o Atlântico Sul e mais alta do que a média sobre o Atlântico Norte. Tal fenômeno leva ao enfraquecimento dos alísios de sudeste e à intensificação dos alísios de nordeste, resultando em uma baixa pressão à superfície e confluência dos ventos alísios deslocada mais para sul, relativamente ao seu posicionamento médio, e totais pluviométricos acima da média sobre o norte do Nordeste (HASTENRATH and HELLER, 1977). O oposto ocorre quando a temperatura das águas do Atlântico Tropical Sul está menor do que a média, enquanto que a temperatura do oceano Atlântico Tropical Norte está maior do que o esperado para o mesmo período, levando a uma intensificação dos ventos alísios de sudeste neste período e deslocamento da região de confluência dos ventos mais para norte. Ou seja, o posicionamento da ZCIT está mais ao sul durante a fase negativa do Dipolo do Atlântico, intensificando a formação de nuvens e aumentando os índices pluviométricos sobre a região norte do Nordeste Brasileiro. Por outro lado, o posicionamento da ZCIT mais ao norte pode estar relacionado à fase positiva do Dipolo do Atlântico, indicando inibição na formação de nuvens e causando possíveis secas.

6.1.2 Temperatura

A temperatura média das águas durante os meses em que se desenvolveu o estudo apresentou-se constantemente elevada, com valor médio de 27,9°C. As temperaturas mínimas registradas foram de 25,8 e 26,3°C e máximas de 29,7 e 30 °C durante o período de agosto e setembro de 2016 e, janeiro e fevereiro de 2017, respectivamente (**Figura 12**). As águas que cobrem a plataforma continental pernambucana adjacente à zona costeira demonstram, de uma maneira geral, ciclo sazonal bem definido (MMA, 2006). A temperatura da água nas regiões tropicais é elevada e apresenta uma grande estabilidade temporal, uma vez que depende grandemente do período e grau de insolação e variações meteorológicas, sendo estas condicionadas por períodos de maior ou menor nebulosidade. Apesar da temperatura se apresentar crescente de forma gradual ao longo da série temporal, houveram três quedas bruscas de temperatura nos meses de outubro a dezembro, tornando necessário filtrar esses dados e compará-los a série temporal de vento, buscando encontrar alguma correlação entre ambos.

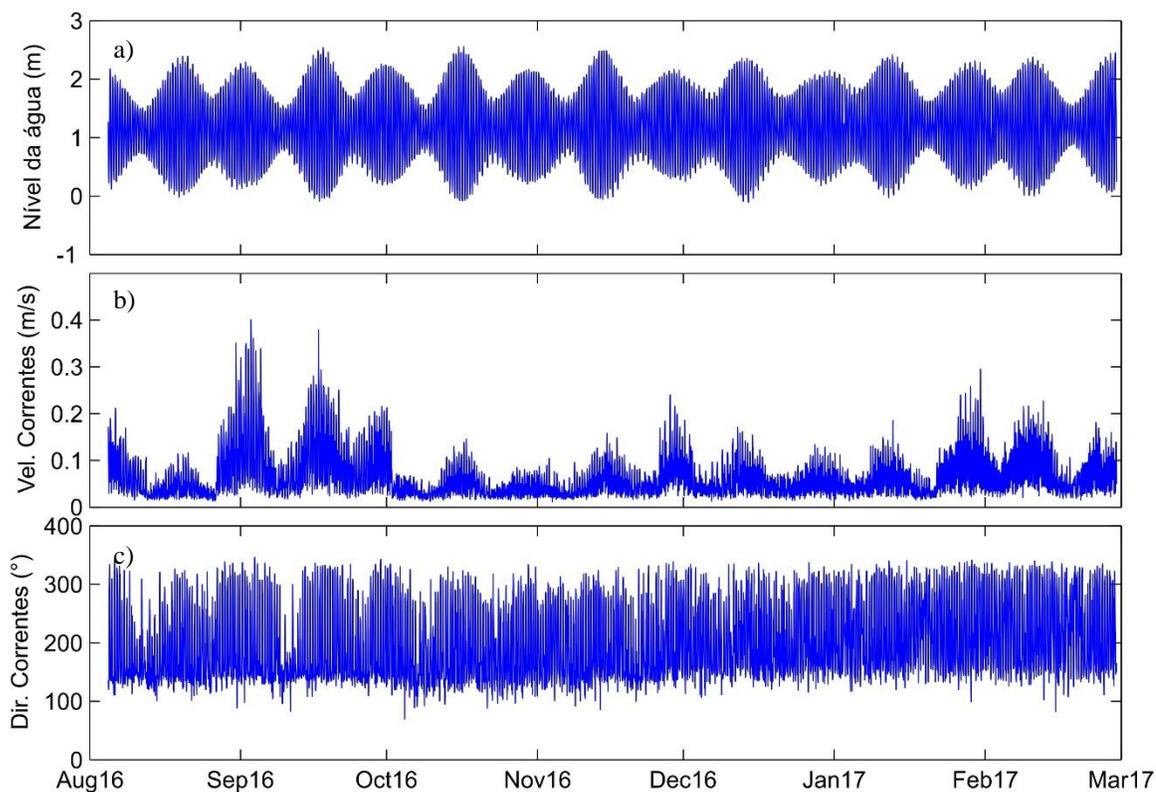
Figura 12: variação da temperatura das águas durante o período de referência.



6.1.3 Correntes e variação do nível das águas

A velocidade das correntes observada no período de referência é mostrada na **Figura 13b**. Visto que o ADCP foi fundeado a uma profundidade de 17 metros no canal de acesso, era esperado que as correntes variassem predominantemente de acordo com os períodos de vazante e enchente da maré (**Figura 13a**). A velocidade média das correntes foi de 0,0670 m/s, tendo as médias mensais aumentado gradativamente de outubro de 2016 a fevereiro de 2017. Os valores máximos registrados ocorreram durante os meses de agosto e setembro e os mínimos em outubro e novembro de 2016, com velocidades de 0,3505 e 0,4004 m/s e de 0,0121 e 0,0112 m/s, respectivamente.

Figura 13: médias horárias para a) maré, b) velocidade e c) direção das correntes durante o período de referência.



6.2 Componentes longitudinal e transversal da corrente

Após os dados terem sido rotacionados, a componente longitudinal passou a concentrar mais energia que a componente transversal ao estuário, como esperado. A **Figura 15** apresenta os gráficos para ambas componentes longitudinal e transversal na superfície, fundo e suas respectivas médias considerando a coluna d'água como única célula. Os valores positivos de U ocorrem durante os períodos de enchente, já os valores negativos durante os períodos de vazante da maré, como ilustrado na **Figura 14**. Quanto a componente V , os valores positivos indicam o sentido do vetor para norte, enquanto que os negativos para sul. As correntes longitudinal e transversal oscilaram analogamente com a variação da maré durante os meses de novembro a fevereiro, visto que trata-se de um sistema barotrópico.

Figura 14: variação da a) maré e b) das correntes longitudinais durante um período de 26 horas.

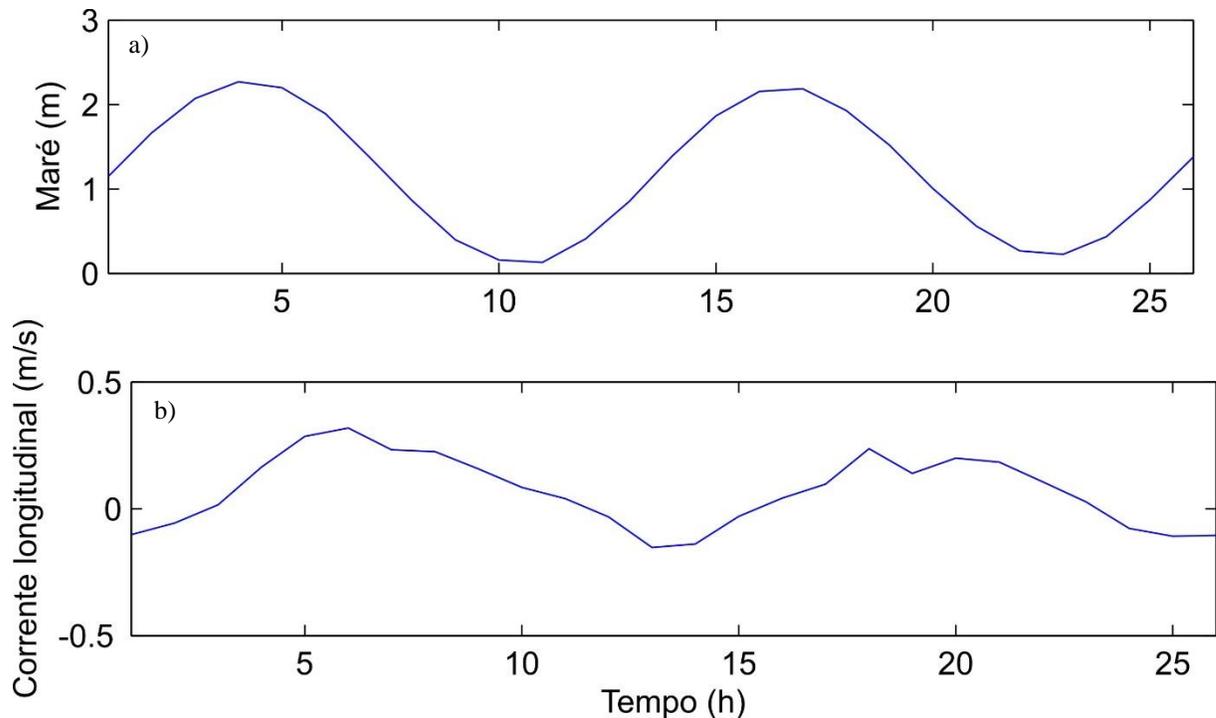
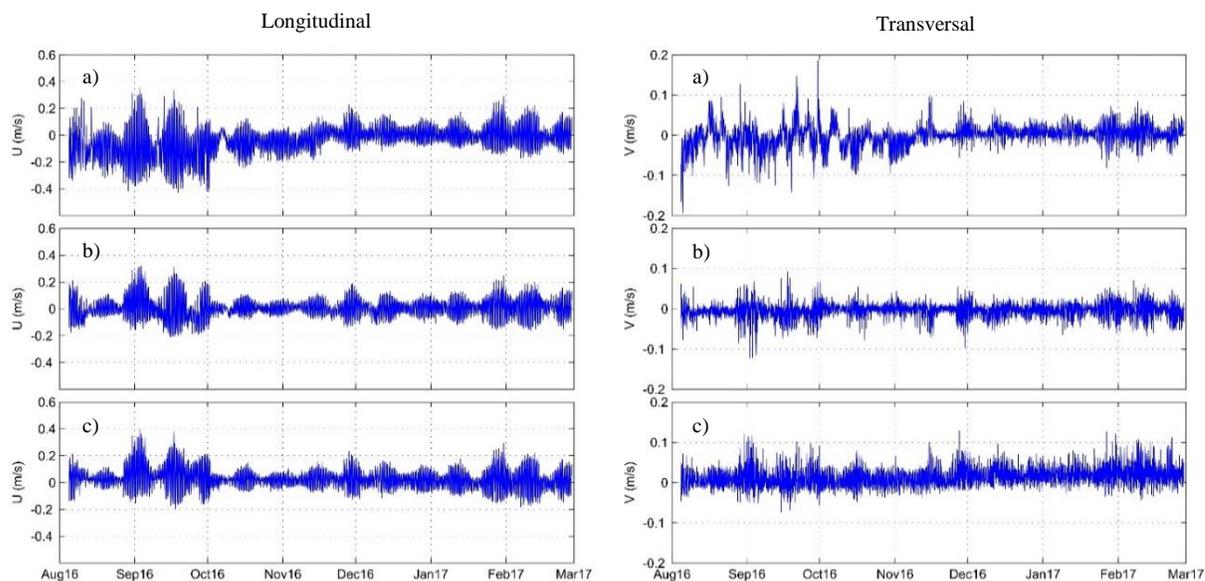


Figura 15: variação das componentes longitudinal (U) e transversal (V) ao estuário na a) superfície, b) fundo e c) média para a coluna d'água.

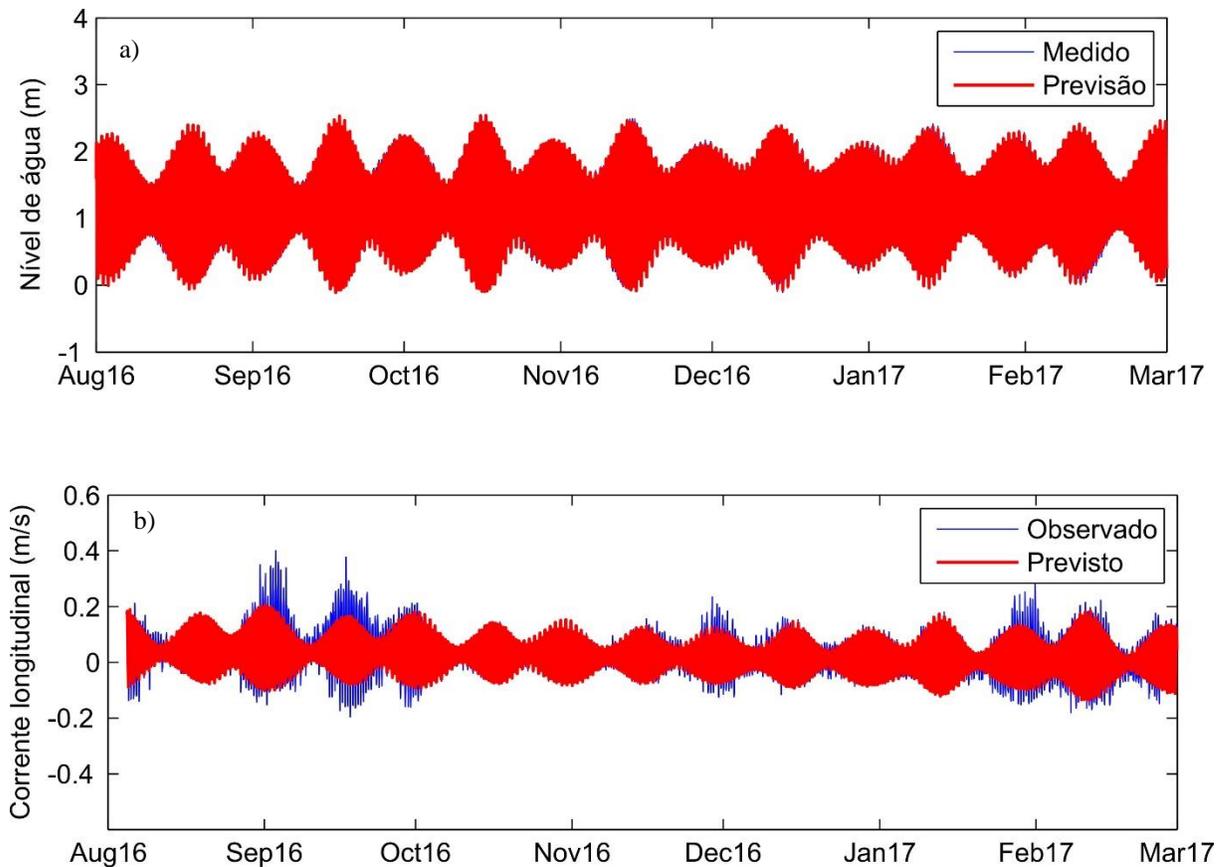


Os valores máximos obtidos para a corrente longitudinal de superfície e fundo ocorreram durante o mesmo período de janeiro e fevereiro, atingindo velocidades de 0,28 e 0,22 m/s para a superfície e de 0,24 e 0,20 m/s para a corrente longitudinal de fundo durante o respectivo período. A componente transversal não obteve valores máximos tão expressivos quanto a componente longitudinal, porém estes ocorreram durante os meses de janeiro e fevereiro similarmente a componente longitudinal, atingindo valores de 0,07 e 0,08 m/s para a superfície e 0,05 e 0,07 m/s para a célula de fundo.

6.3 Análise harmônica

Através da Análise Harmônica realizada para a componente longitudinal da corrente média, foi identificado os principais constituintes harmônicos que compõem este sinal, possibilitando a reconstrução do sinal e obtendo, por fim, a corrente longitudinal prevista para o canal de acesso (**Figura 16**). Com isto, observa-se uma significativa diferenciação na intensidade das correntes no canal, principalmente durante os meses de agosto e setembro, enfatizando o comportamento atípico das correntes durante este período, justificado anteriormente como uma falha ocasionada pelo arraste do ADCP. Os constituintes harmônicos mais relevantes que compõem o sinal da corrente longitudinal ao estuário estão apresentados na **Tabela 4**, em termos de seus ângulos de fase e amplitude, percentual de energia, frequência e periodicidade.

Figura 16: a) maré medida e prevista e b) corrente longitudinal ao estuário observada e os dados previstos baseados nos constituintes harmônicos identificados.



As constituintes harmônicas semi-diurnas (M_2 , S_2 , N_2, K_2) representam as de maior predominância sobre o sinal da corrente longitudinal média para a coluna d'água, tendo somente a componente lunar principal M_2 72% de energia sobre o sinal e a maior amplitude, com 0.0694 m.

Tabela 4: principais constituintes harmônicas em termos de percentual de energia, frequência e período, amplitude e fase, para a corrente longitudinal média para a coluna d'água.

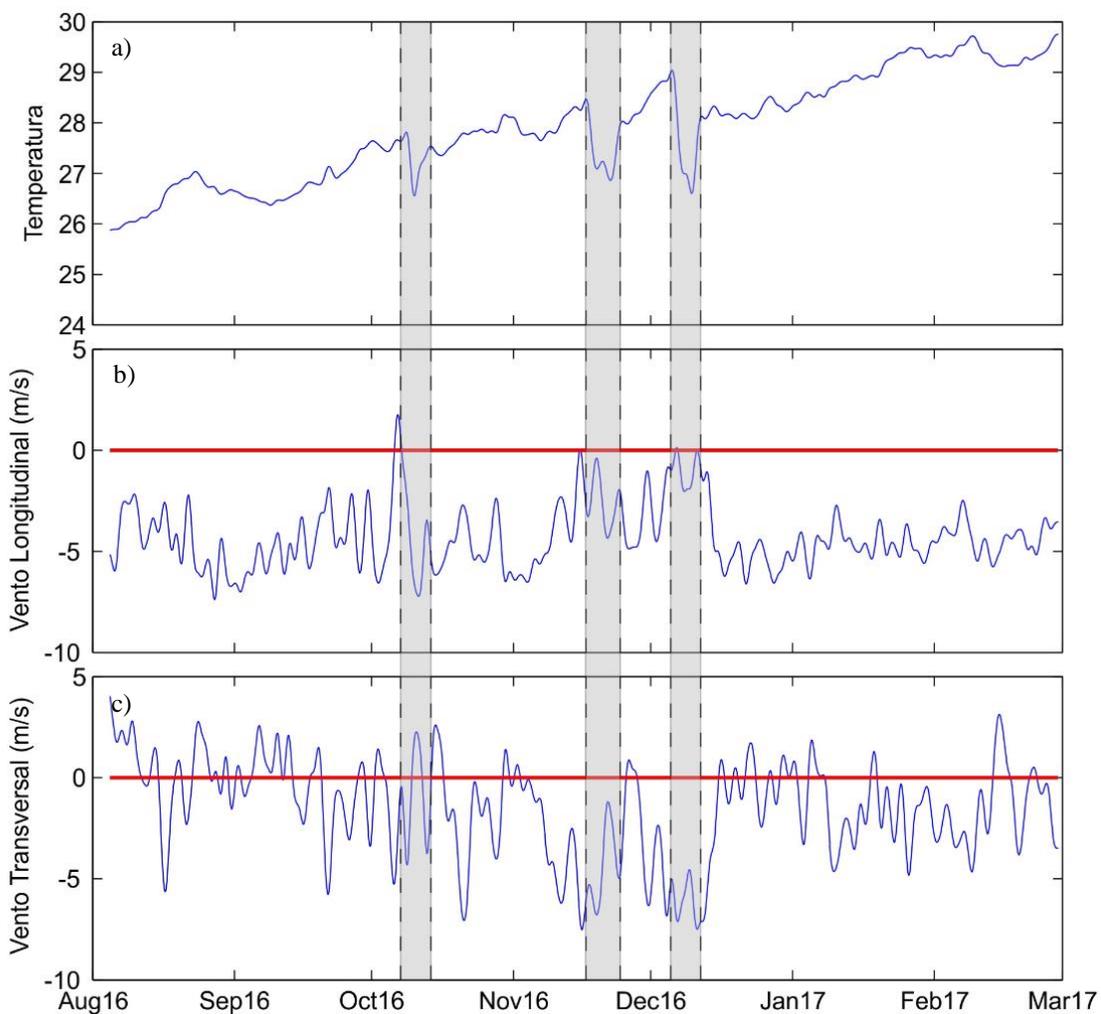
Constituintes Harmônicos	Média				
	Percentual de energia	Frequência	Período (h)	Amplitude (m)	Fase (°)
M_2	72.65	0.0805	12.4206	0.0694	187.81
S_2	14.78	0.0833	12	0.0313	198.06
N_2	2.46	0.0789	12.65835	0.0128	159.50
K_2	1.40	0.0835	11.96724	0.0096	148.93
K_1	0.07	0.0417	23.93447	0.0021	213.17
O_1	0.08	0.0387	25.81934	0,0023	267.79
P_1	0.20	0.0415	24.06589	0.0037	306.98
Mf	0.21	0.0030	327.8591	0.0037	297.06
Mm	0.18	0.0015	661.3096	0.0035	64.45
Ssa	0.21	0.0002	43840.42	0.0037	327.00

6.4 Filtragem dos dados

6.4.1 Temperatura e ventos

Devido às variações bruscas apresentadas nos dados de temperatura obtidos pelo sensor acoplado ao ADCP, algo pouco comum para a região, as séries temporais de temperatura e das componentes longitudinal e transversal do vento foram submetidas ao processo de filtragem, projetando o filtro *butter* de quarta ordem para ambos os dados. O resultado obtido indica que durante os meses de outubro e dezembro a temperatura atingiu o valor mínimo de $26,57^{\circ}\text{C}$, enquanto que para o mês de novembro o valor mínimo obtido foi de $26,84^{\circ}\text{C}$.

Figura 17: variação da a) temperatura; b) vento longitudinal e c) o vento transversal durante o período de estudo.



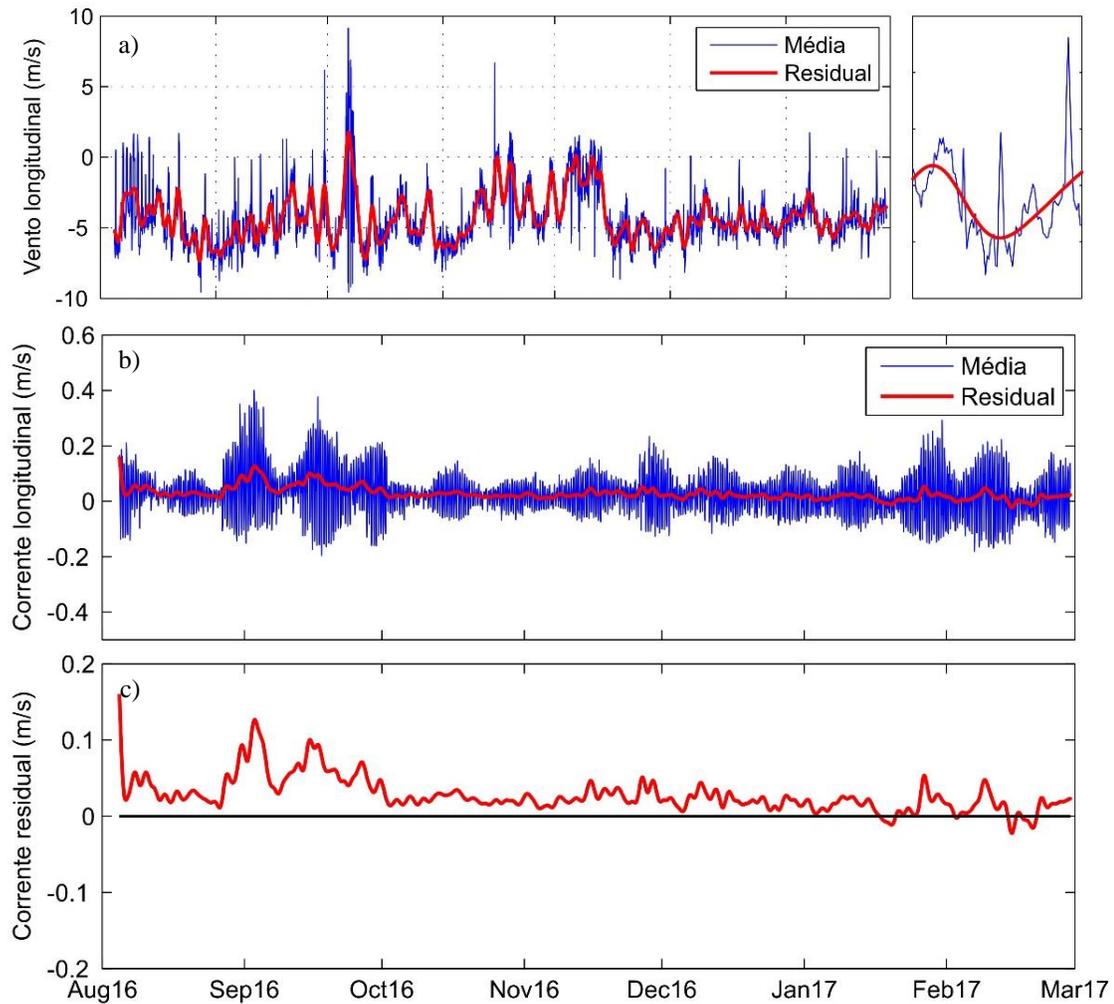
Para os períodos em destaque na **Figura 17** observa-se uma correlação entre o vento longitudinal e a temperatura, apontando que pouco antes dos períodos em que ocorreram a queda de temperatura, houve uma inversão da componente longitudinal do vento ou um período de ‘relaxamento’ desta componente, termo usado para indicar uma perda da intensidade ao cessar ou aproximar-se de valores nulos. Esta observação indica que possivelmente, durante os períodos supracitados, as correntes sobre a plataforma inverteram o sentido, processo este que levaria ao aporte de águas de fundo de menor temperatura à superfície. Muito embora a variação da temperatura não tenha sido tão significativa, destaca-se tal ocorrência sobre a série temporal por se tratar de um canal com profundidade média de 17 m.

6.4.2 Corrente longitudinal

A **Figura 18** a seguir, apresenta as variações da componente longitudinal ao estuário e o sinal filtrado da respectiva componente para a coluna d’água. O sinal filtrado, neste caso, representa a corrente longitudinal residual. Diante das falhas apresentadas no início do uso do instrumento no canal de acesso, obtendo como resultado valores irregulares, a filtragem dos dados para o período de agosto a setembro deve ser desprezada.

A corrente longitudinal residual apresentou uma variação com oscilação periódica característica durante os meses de novembro de 2016 a fevereiro de 2017 (**Figura 18b**), sem relação direta com os demais parâmetros aqui apresentados (ventos e maré). A componente longitudinal do vento também passou pelo processo de filtragem, submetendo os dados a um alisamento com o intuito de identificar uma possível correlação entre a corrente longitudinal residual e a componente longitudinal residual do vento, porém não foi obtida esta aproximação entre as variáveis.

Figura 18: a) variação do a) vento longitudinal ao canal; b) corrente longitudinal ao canal; e c) corrente residual.



Assumindo que os valores positivos para a corrente ocorrem durante os períodos de enchente, enquanto que os valores negativos ocorrem durante os períodos de vazante, a filtragem dos dados de corrente indica a predominância de um fluxo residual positivo, considerando os dados válidos apresentados para os meses de novembro de 2016 a fevereiro de 2017. Tal fenômeno justifica-se pela formação singular do sistema estuarino-lagunar que aloja o Porto de Suape, o qual possui duas aberturas que interligam o oceano adjacente a laguna. Logo, observa-se a possibilidade de uma reentrância de um volume de água pelo canal de acesso durante os períodos de enchente que não acompanharia em proporção o transporte do mesmo volume de água durante os períodos de vazante, pelo princípio de conservação de massas, se considerado este ponto isoladamente.

Porém, a resposta do resíduo da corrente longitudinal de forma positiva pode indicar que parte do volume de água que entra pelo canal de acesso sai pela ruptura natural nos arrecifes mais ao norte.

Visto que o ADCP encontra-se fundeado a uma distância de 25 m do cabeço sul, não seria correto inferir sobre a circulação deste estuário, atentando para o fato de que o posicionamento do instrumento não o torna favorável para discussão dos processos de circulação ao longo da seção transversal de um canal, já que o mesmo representa apenas uma parcela desta seção.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista técnico, a série temporal de correntes, objeto principal de estudo do presente trabalho, apresentou-se questionáveis, visto a disparidade notória entre a intensidade da velocidade das correntes com a variação da maré, algo atípico para um estudo sob as condições aqui apresentadas. O complexo estuarino de Suape é essencialmente influenciado pela oscilação da onda de maré, apresentando características de um sistema barotrópico. Contudo, os dados de corrente para os períodos de agosto a outubro de 2016, período em que se consolidou o início do monitoramento Meteoceanográfico do porto, apesar de terem sido apresentados ao longo do trabalho, não são capazes de caracterizar as correntes para a região de Suape.

A análise harmônica realizada para a corrente longitudinal indica uma representatividade maior da constituinte M_2 , a lunar principal, como esperado, com cerca de 72% de representatividade sobre o sinal e amplitude significativa de 0,0694 m. Os constituintes semi-diurnos principais apresentaram significativa relevância sobre os dados, totalizando 91% de representatividade sobre o sinal.

O procedimento de filtragem, o qual objetivou excluir os sinais de alta frequência (baixa periodicidade) sobre os dados, extraindo os resíduos das componentes longitudinais do vento e da corrente, e posteriormente da temperatura, foi um dos aspectos mais importantes do presente estudo. A temperatura não se apresentou constante durante todo o período, como esperado para a região. Ao invés disso, houve três quedas bruscas na série temporal horária que ocorreu analogamente aos períodos de relaxamento do vento longitudinal, permitindo inferir que durante estes períodos, o vento longitudinal cessou por alguns instantes coincidentemente com a inversão das correntes sobre a plataforma, indicando processos de aporte de águas de menor temperatura pelo fundo das águas do canal de acesso. Ainda que o gradiente de temperatura não tenha sido elevado, por se tratar de uma região de águas rasas, esta redução torna-se considerável.

A filtragem da corrente longitudinal apresentou um fluxo residual positivo sobre o complexo estuarino, resultando em um transporte residual de água durante os períodos de enchente. Contando com o fato deste ambiente possuir duas aberturas nos arrecifes que permitem a ligação do porto interno com o oceano adjacente, é possível que existam processos de circulação interno que justifiquem a corrente longitudinal residual ter sido predominantemente positiva.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G.O.; LINS, R.C., 1971. **As Regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização.** Os climas do nordeste. Em: Vasconcelo Sobrinho, J. (ed). Recife: CONDEPE. p. 95-138.
- SCHETTINI, C.A.F., MIRANDA, J.B., VALLE-LEVINSON, A., TRUCCOLO, E.C., DOMINGUES, E.C., 2016. **The circulation of the lower Capibaribe Estuary (Brazil) and its applications for the transport of scalars.** Brazilian Journal of Oceanography. p. 263-276.
- ANTUNES, C., GODINHO, J.M., 2011. **Estudo da Análise Harmônica da Maré Aplicada ao Marégrafo de Cais.** VII - CNCG. Lisboa. 10 p.
- APAC., 2017. **Bacias Hidrográficas.** Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=37>. Acesso em: 23 de maio de 2017.
- ARAUJO, M.; LHERITIER, D.; SILVA, M.A.; LUNA, M.C., and MEDEIROS, C., 2005. **Tidal turbulence and eddy-viscosity in coastal waters at Northeastern Brazil.** Journal of Coastal Research, 21(1), p. 18–27.
- BARROS, L.C., 2009. **Estudos Sedimentológicos, Batimétricos e Geoquímicos na Região Interna do Porto de Suape - PE.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 211 p.
- BARROS, P.R.S., 2008. **Dinâmica da variabilidade do sistema sub-corrente Norte do Brasil em escalas sub-inerciais.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 102 p.
- BUTTERWORTH, S., 1930. **On the theory of filter amplifiers.** The wireless engineer. p. 536-541.
- CALAZANS, 2011. **Estudos oceanográficos: do instrumental ao prático.**
- CAMERON, W.N. & PRITCHARD, D.W., 1963. **Estuaries.** Em: Goldberg, E.D.; McCave, I.N.; O'Brien, J.J. & Steele, J.H. (eds) The sea. New York, John Willey & Sons, p. 306-324.

CHAGAS, A.C.O., 2003. **Níveis de metais pesados e hidrocarbonetos em sedimentos do Complexo Industrial Portuário de Suape – PE – Brasil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 80 p.

CODIGA., 2011. **Utide.** Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46523--utide--unified-tidal-analysis-and-prediction-functions>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

CONDEPE., 1983. **Caracterização do Complexo estuarino-lagunar da área de Suape (Pernambuco - Brasil): Síntese Ecológica.** Recife. v. 1.

CPRH., 2001. **Diagnóstico socioambiental do Litoral sul de Pernambuco.** Agência Estadual de Meio Ambiente. Recife. 89 p.

DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.B.; BOYD, R., 1992. **A conceptual model of estuarine sedimentation.** *Jour. Of Sedim. Petrology*, 62. p. 1130-1146.

DEFANT, A., 1961. **Physical Oceanography.** Pergamon press, London. Vol. 3. 598 p.

DIONNE, J.C., 1963. **Towards a more adequate definition of the St. Lawrence Estuary.** *Geomorphology*. p. 36-44.

DUXBURY, A.C. & DUXBURY, A.B., 1996. **Fundamentals of Oceanography.** WCB publishers. 2 ed. London. 150 p.

DYER, K.R., 1997. **Estuaries: A Physical Introduction.** 2 ed, New Jersey: John Willey and Sons, 195 p.

EMERY, W.J. & THOMNSON, R.E., 1997. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography.** Pergamon, New York. 1 ed, 634 p.

ESKINAZI-LEÇA, E., SILVA-CUNHA, M.G.G.; KOENING, M.L.; MACEDO, S.J.; COSTA, K.M.P., 1997. **Variação espacial e temporal do fitoplâncton na plataforma continental de Pernambuco - Brasil.** *Trabalhos oceanográficos.* Universidade Federal de Pernambuco, Recife. v. 25., 16 p.

FAIRBRIDGE, R.W., 1980. **The estuary: its definition and geodynamic cycle.** Em: Olausson, E. & Cato. I (eds). *Chemistry and biochemistry of estuaries.* New York: Wiley & Sons, p. 1-35.

- HASTENRATH, S., HELLER, L., 1977. **Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil**. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society. v. 103, p. 77–92.
- HIDROMARES., 2016. **Relatório Técnico: Sistema de monitoramento Meteoceanográfico em tempo real**. Hidromares: Oceanografia, Consultoria e Equipamentos. 23 p.
- LINS, M.A.P., 2002. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do rio Ipojuca, PE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 87 p.
- MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M. & KJERVE, B., 2002. **Princípios de Oceanografia Física de estuários**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 414 p.
- MMA., 2006. **Erosão e Progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 476 p.
- NEUMANN, V.H.M.L., 1991. **Geomorfologia e sedimentologia quaternária da área de Suape, Pernambuco (Brasil)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 95 p.
- NOAA, 2017. **ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler**. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/currents/media/supp_cur07e.html>. Acesso em: 1 de julho de 2017.
- PERILLO, G. M. E., 1995. **Definitions and Geomorphologic classifications of estuaries**. Em: G.M.E. Perillo; M.C. Picollo; P. Quinoa (eds). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Berlin: Springer-Verlag, p. 17-49.
- PERNAMBUCO, GOV., 2017. **SUAPE - Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros**. Disponível em: <<http://www.lai.pe.gov.br/web/suape/institucional>> Acesso em: 12 de julho de 2017.
- POND, S. & PICKARD., 1983. **Introductory Dynamical Oceanography**. 5 ed, Butterworth Heinemann.
- PRITCHARD, D.W., 1955. **Estuarine circulation patterns**. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. p. 1-11.

PUGH, D., 1987. **Tides, surges and mean sea level.** A handbook for engineers and scientists. New York: John Wiley and Sons. 427 p.

SCHETTINI, C.A.F., VALLE-LEVINSON, A., TRUCCOLO, E.C., 2017. **Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses.** Regional Studies in Marine Science. V. 10. p. 52-64.

SONTEK, 2017. **ViewArgonaut** software. Disponível em: <<http://www.sontek.com//softwaredetail.php?ViewArgonaut-Software-21>>. Acesso em: 02 de abril de 2017.

SUAPE., 2017a. **Monitoramento Oceanográfico.** Disponível em: <<http://www.suape.pe.gov.br/pt/meio-ambiente/gestao-ambiental/ambiente-portuario/programa-de-monitoramento-da-qualidade-e-controle-ambiental/monitoramento-oceanografico>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

SUAPE., 2017b. **O que é Suape?** Disponível em: <<http://www.suape.pe.gov.br/pt/institucional/o-que-e-suape>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

SUAPE., 2017c. **Novo Plano Diretor - Suape 2030.** Disponível em: <http://200.238.112.201/images/institucional/plano_diretor/P14-Plano_Diretor.pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

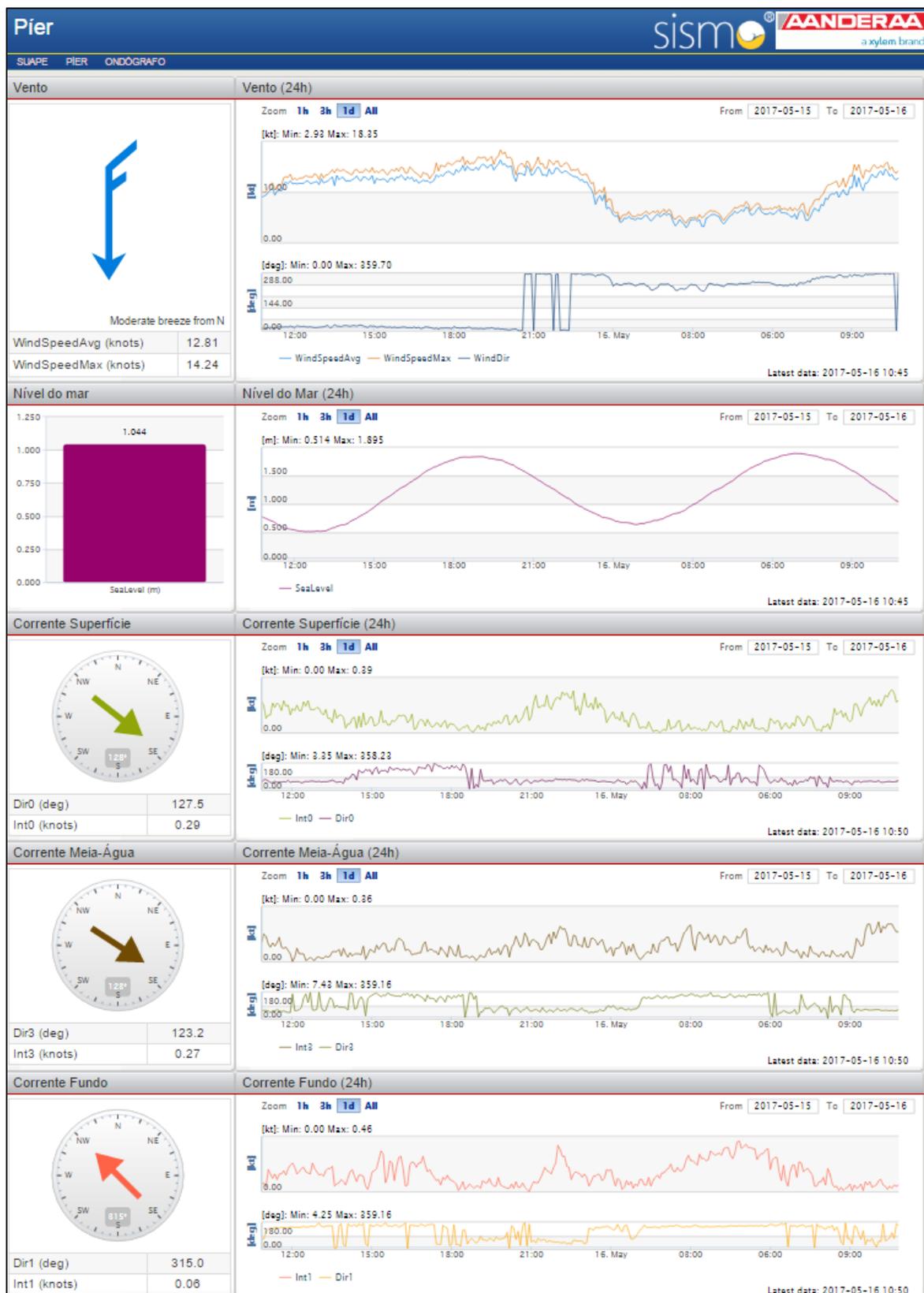
SUAPE., 2017d. **Características ambientais da área de influência do Porto.** Disponível em: <<http://www.suape.pe.gov.br/pt/meio-ambiente/gestao-ambiental/ambiente-portuario/caracteristicas-ambientais-da-area-de-influencia-do-porto>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

TRUCCOLO, E.C. & SCHETTINI, C.A.F., 1999. **Marés astronômicas na Baía de Babitonga, SC.** Notas Técnicas Facimar. Vol. 3. p. 57-66.

TRUCCOLO, E.C., 2009. **Hidrodinâmica em frequência mareal e submareal do Rio Itajaí-Açu, SC.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 204 p.

VALLE-LEVINSON, A., 2010. **Definition and classification of estuaries. Em: Contemporary issues in estuarine physics.** Valle-Levinson, A. (ed). University of Florida. 10 p.

APÊNDICE A – Visualização em tempo real pela plataforma Sismo.



APÊNDICE B – Valores mínimos, médios e máximos para os parâmetros: velocidade do vento, temperatura e correntes.

• **Ventos**

Tempo		Valores (m/s)		
ANO	MÊS	Mínimos	Médios	Máximos
2016	8	0.4716	5.2844	9.6034
2016	9	0.6075	5.3345	8.8519
2016	10	1.7573	6.0052	10.4218
2016	11	2.3403	5.8681	10.2889
2016	12	1.2827	5.9724	9.4341
2017	1	1.9077	5.3151	8.9016
2017	2	1.3791	5.0283	7.4543

• **Temperatura**

Tempo		Valores		
ANO	MÊS	Mínimos	Médios	Máximos
2016	8	25.8125	26.4791	27.2250
2016	9	26.2600	26.7873	27.7725
2016	10	26.3658	27.6049	28.3117
2016	11	26.5075	27.8545	28.7125
2016	12	26.4542	28.1620	29.1458
2017	1	28.1675	28.9276	29.6942
2017	2	28.8925	29.3645	29.9758

• **Correntes**

Tempo		Valores (m/s)		
ANO	MÊS	Mínimos	Médios	Máximos
2016	8	0.0128	0.0623	0.3505
2016	9	0.0176	0.1057	0.4004
2016	10	0.0121	0.0452	0.2124
2016	11	0.0112	0.0543	0.2401
2016	12	0.0126	0.0567	0.1853
2017	1	0.0136	0.0653	0.2946
2017	2	0.0151	0.0793	0.2272