



**Tanque de
Provas Numérico**
Universidade de São Paulo
TPN - USP

Projeto

Avaliação Náutica da Operação de Navios de Cruzeiros em Vitória/ES

RT1 – ESTUDO DE PREMISSAS E MODELAGEM HIDRODINÂMICA



GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO
Secretaria de Turismo

Março 2024



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

USP
Universidade de São Paulo



PROJETO

Avaliação Náutica da Operação de Navios de Cruzeiros em Vitória/ES

	CÓDIGO DO RELATÓRIO	TÍTULO DO RELATÓRIO				
	RT1	ESTUDO DE PREMISSAS E ALTERNATIVAS MODELAGEM HIDRODINÂMICA				
CLIENTE		COORDENADOR TPN				
		Prof. Dr. Eduardo Aoun Tannuri				
GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO <i>Secretaria de Turismo</i>	EQUIPE	Oceanógrafa Sandra Fachin Oceanógrafo Alexandre Braga				
	ORIGINAL	REVISÃO A	REVISÃO B	REVISÃO C	REVISÃO D	REVISÃO E
DATA	22/12/2023	29/03/2024				
EXECUÇÃO	Equipe	Equipe				
VERIFICAÇÃO	EAT	EAT				
APROVAÇÃO	EAT					

Sumário

1	Introdução	4
2	Embarcações tipo (Navios de Cruzeiro)	5
2.1	TPN Passageiro L306B37 (Calado 8,5m)	6
2.2	TPN Passageiro L333B38 (Calado 8,5m)	8
3	Embarcações tipo (Tenders e Escuna).....	10
4	Modelagem do Campo de Correntes e Elevação de Nível de Água	11
4.1	Caracterização Ambiental.....	11
4.1.1	Elevação.....	13
4.1.2	Correntes	16
4.1.3	Vazão	17
4.1.4	Ventos.....	18
4.2	Modelagem Numérica	23
4.2.1	Domínio e Batimetria	24
4.2.2	Condições de Fronteira	25
4.2.3	Resultados da Modelagem	26
5	Modelagem de Ondas	29
5.1	Estratégia de Modelagem.....	29
5.1.1	Etapa 1: Definição do conjunto de ondas offshore para a transferência do clima de ondas. 29	
5.1.2	Etapa 2: Propagação de ondas de <i>offshore</i> para <i>onshore</i>	30
5.2	Modelo de Propagação de Ondas.....	30
5.3	Dados e Domínio Computacional	30
5.3.1	Grade	30
5.3.2	Batimetria	31
5.4	Conjunto de Dados de Ondas Offshore	32
5.5	Pontos de Transferências das Ondas.....	34
5.6	Resultados.....	36
6	Referências Gerais.....	45

1 Introdução

O propósito do projeto é a realização de estudos técnicos e náuticos, simulações de manobra e análise de risco em áreas costeiras portuárias do Espírito Santo, mais especificadamente em Vitória/ES. A operação de estudo será de um navio de cruzeiro para fundeo com ferro e Sistema DP nas proximidades da Ilha do Boi com desembarque de passageiros por meio de embarcações menores (tenders ou escunas) para um ponto em terra, a ser definido.

A proposta de área para fundeo do navio e as alternativas para o ponto de desembarque, são mostradas na figura seguinte.



Figura 1 - Local de fundeo e possíveis pontos de desembarque

Este relatório apresenta as premissas dos estudos (Navios Tipo) e a Modelagem Hidrodinâmica das condições de onda, corrente e maré na área de estudo, bem como uma previsão das condições de vento associadas.

2 Embarcações tipo (Navios de Cruzeiro)

O estudo contemplará a verificação das condições de manobrabilidade e controlabilidade dos navios-tipos abaixo, bem como os impactos causados nos navios e rebocadores de apoio pelas forças ambientais.

Os navios selecionados para simulação foram:

- **TPN Passageiro L306B37** [$L305.7m$; $B37.2m$; $T8.5m$; *displacement* 61.504tonnes; *cargo capacity* 11.247DWT, 2 eixos x 21.000kW, 3 x 2200kW Bow Thrusters, 3 x 2200kW Stern Thrusters] – semelhante ao Costa Diadema
- **TPN Passageiro L333B38** [$L333.0m$; $B38.0m$; $T8.45m$; *displacement* 68.598tonnes; *cargo capacity* 10.100DWT, 2 eixos x 20.200kW, 3 x 3100kW Bow Thrusters, 2 x 3100kW Stern Thrusters] – semelhante ao MSC Fantasia



Figura 2 – Navios tipo

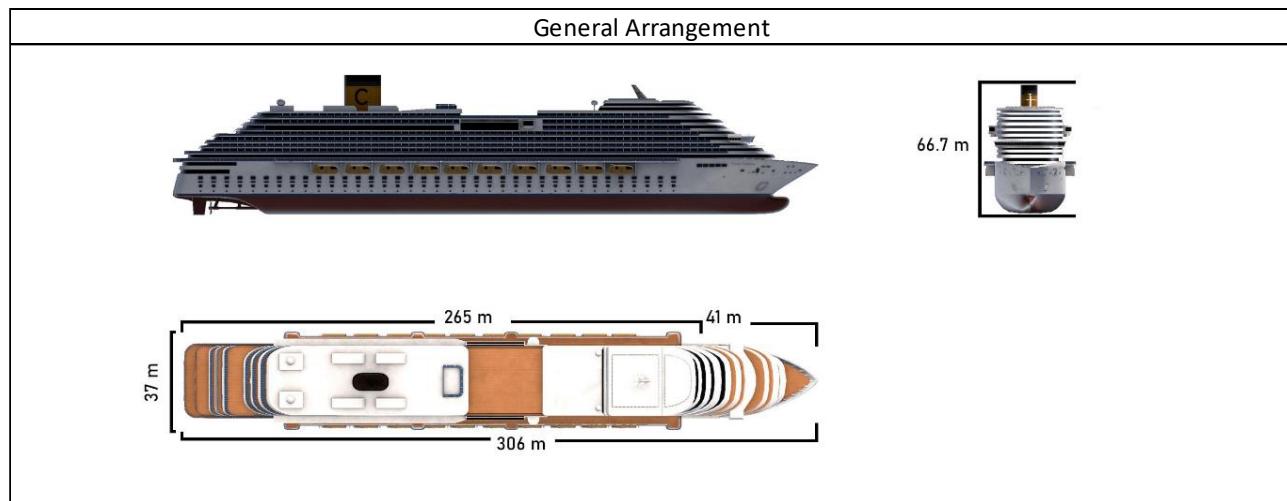
Os dados de manobra dos navios são apresentados nas seções seguintes.

2.1 TPN Passageiro L306B37 (Calado 8,5m)

Ship Name	TPN Passageiro L306B37
-----------	------------------------

Ship's Particulars

LOA	305.7	m	Cargo Capacity	11247	DWT
LBP	269.1	m	Block Coeff.	0.72	
Beam	37.2	m			
Draught (Aft)	8.5	m	Frontal Wind. Area	2202 m ²	
Draught (Fwd)	8.5	m	Lateral Wind. Area	11937 m ²	
Displacement	61504	tonnes	Air Draft	63.1	m

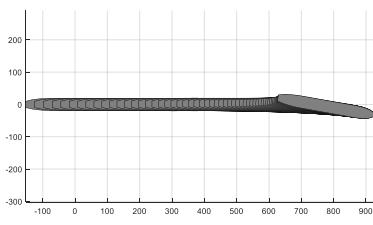
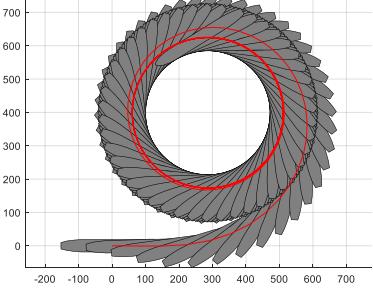
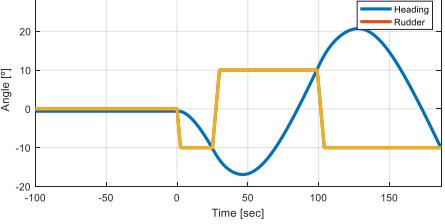


Propulsion Particulars

Propulsion Type	2 x General Electric	Telegraph	RPM / Teleg.	Speed (kts)
Engine Type	Diesel Electric	Full Sea Speed	139 / 100%	20.9
MCR	2 x 21000 kW	Full Speed	97 / 70%	14.7
Minimum RPM	rpm	Half Ahead	71 / 51%	10.7
	kts	Slow Ahead	47 / 34%	7.1
Full Ahead - Full Astern	min:sec	D. Slow Ahead	28 / 20%	3.7
Direction of Rotation	Clockwise	D Slow Astern	-28 / -20%	0.0
Propeller Diameter	5.8 m	Slow Astern	-47 / -34%	0.0
Astern Power	52 %	Haf Astern	-71 / -51%	0.0
		Full Astern	-97 / -70%	0.0

Steering Particulars

Rudder Type		Bow Thruster	3 x	2200kW
Rudder Area	2x 27 m ²	Stern Thruster	3 x	2200kW
Max Angle	45 deg			
Midships to Hardover	11.25 sec			

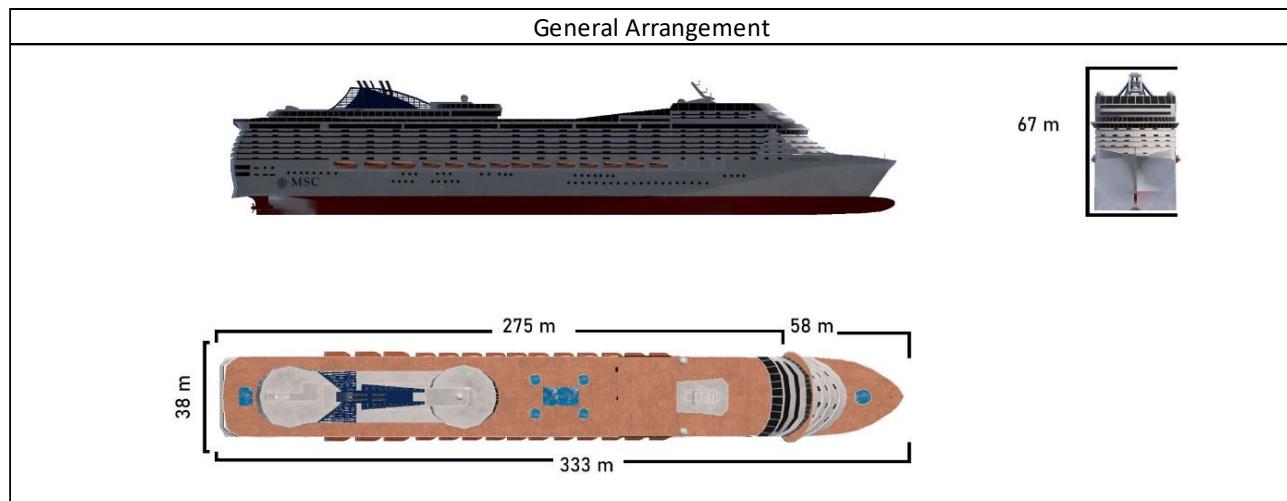
Manoeuvering Performance (Deep Water)	
Crash Stop (Half Ahead - Full Astern)	
Travel Distance	778 m
Head Reach	778 m
Side Read	8 m
Time to Stop	265 sec
	
Turning Circle (Full Ahead)	
Port/Stbd	
Advance	565
Tactical Diameter	635
Transfer	254
Speed Loss at 90 deg	33.34
	
10/10 Zig-Zag (Full Ahead)	
1st Overshoot	7 deg
2nd Overshoot	11 deg
Time to 1st Overshoot	47 sec
Time to 2nd Overshoot	128 sec
	

2.2 TPN Passageiro L333B38 (Calado 8,5m)

Ship Name	TPN Passageiro L333B38
-----------	------------------------

Ship's Particulars

LOA	333	m	Cargo Capacity	10100	DWT
LBP	296	m	Block Coeff.	0.72	
Beam	38	m			
Draught (Aft)	8.45	m	Frontal Wind. Area	2262 m ²	
Draught (Fwd)	8.45	m	Lateral Wind. Area	14345 m ²	
Displacement	68598	tonnes	Air Draft	67	m

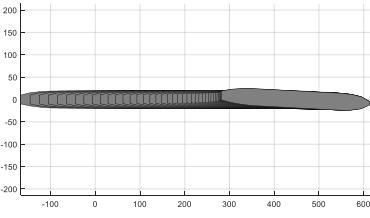
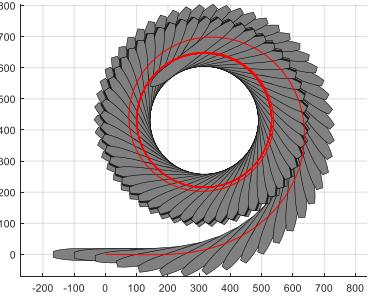
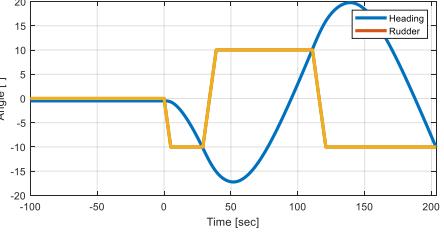


Propulsion Particulars

			Telegraph	RPM / Teleg.	Speed (kts)
Propulsion Type	2 x FPP		Full Sea Speed	130 / 100%	20.2
Engine Type			Full Speed	85 / 65%	13.1
MCR	20200	kW	Half Ahead	52 / 40%	8.1
Minimum RPM		rpm	Slow Ahead	36 / 28%	5.6
		kts	D. Slow Ahead	26 / 20%	3.4
Full Ahead - Full Astern		min:sec	D Slow Astern	-29 / -22%	-1.3
Direction of Rotation	Clockwise		Slow Astern	-39 / -30%	-2.8
Propeller Diameter	6	m	Haf Astern	-47 / -36%	-4.1
Astern Power	52	%	Full Astern	-85 / -65%	-8.0

Steering Particulars

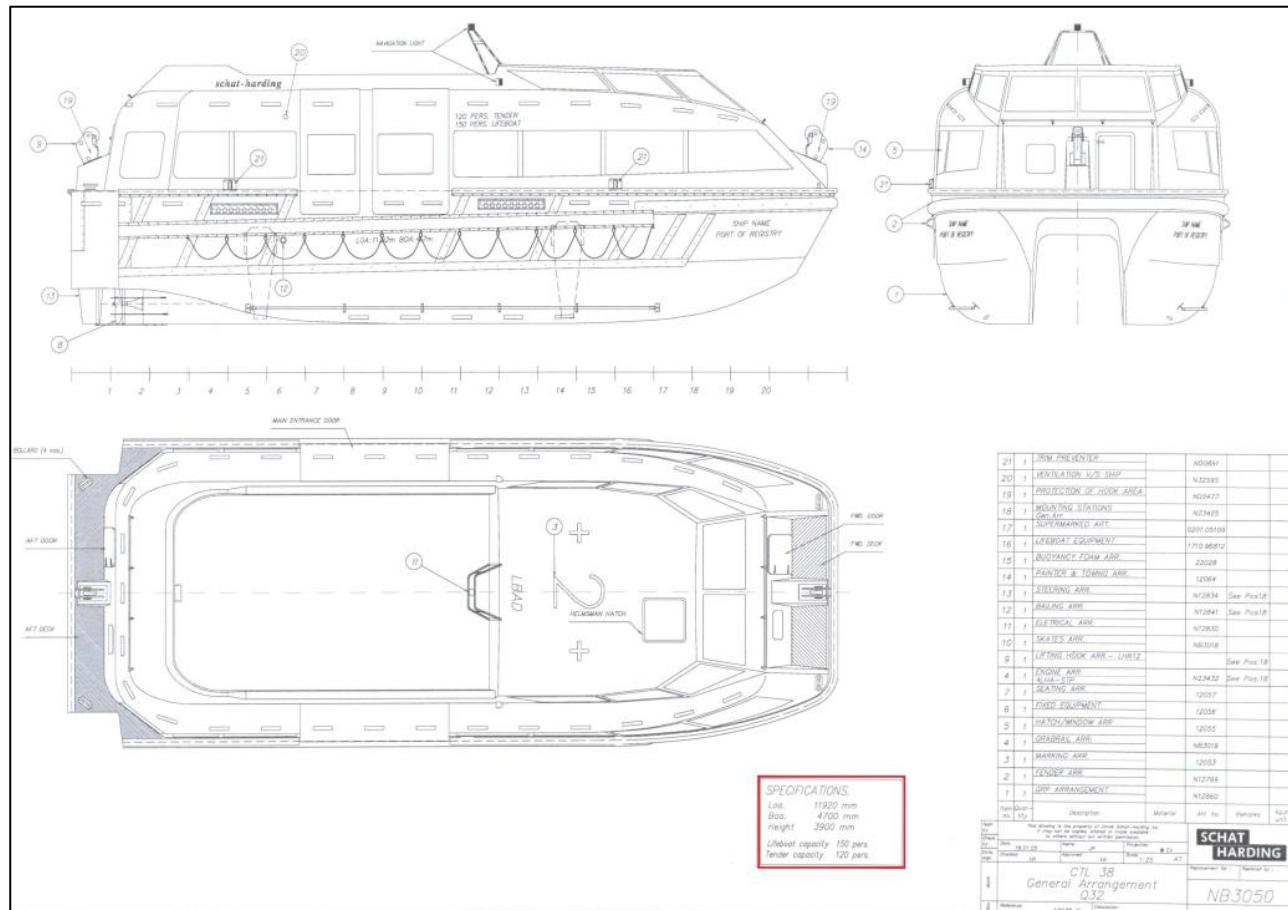
Rudder Type	2 x Becker rudder	Bow Thruster	3 x	3100kW
Rudder Area	2 x 27 m ²	Stern Thruster	2 x	3100kW
Max Angle	45 deg			
Midships to Hardover	22.5 sec			

Manoeuvering Performance (Deep Water)	
Crash Stop (Half Ahead - Full Astern)	
Travel Distance	448 m
Head Reach	448 m
Side Read	0 m
Time to Stop	192 sec
	
Turning Circle (Full Ahead)	
Port/Stbd	
Advance	619
Tactical Diameter	678
Transfer	274
Speed Loss at 90 deg	32.98
	
10/10 Zig-Zag (Full Ahead)	
1st Overshoot	7 deg
2nd Overshoot	10 deg
Time to 1st Overshoot	52 sec
Time to 2nd Overshoot	139 sec
	

3 Embarcações tipo (Tenders e Escuna)

Como alternativa para transporte dos passageiros, serão assumidas as embarcações a seguir:

- Tender [$L11.92m$; $B4.7m$; $T1.0m$]



- Escunas tipo (baseadas nas que operam em Balneário Camboriú):

Escuna	LOA [m]	Boca [m]	Calado [m]
Barco Pirata	29,24	6,5	1,6
Capitão Gancho	26,7	7,8	1,8
Aventura Pirata	31,4	7,2	1,7
Piratão	26,4	7,6	1,8

4 Modelagem do Campo de Correntes e Elevação de Nível de Água

A seguir são justificadas as condições ambientais consideradas durante os cálculos conceituais. Elas foram baseadas nos estudos Tetratech (2018), realizado previamente para estudos de navegação na Baía e Canal de Vitória. Este estudo é baseado em modelagem matemática, mas suportado por um conjunto de medições ambientais em campo oriundo do sistema VTMIS da CODESA (ano 2018), bem como dados anteriores da base de dados da Tetratech. A posição dos sensores do sistema VTMIS é indicada na figura seguinte:



Figura 3 – Posição dos sensores do sistema VTMIS da CODESA.

Para o presente trabalho, utilizaram-se as ferramentas computacionais e conhecimento científico/tecnológico mais atuais, visando apresentar o acoplamento dos resultados e informações locais com análise de dados e dos resultados provenientes das modelagens numéricas executadas. O sistema de modelos numéricos Delft3D, através de seu módulo hidrodinâmico Delft3D-FLOW, foi selecionado como ferramenta para atingir os objetivos propostos nesse estudo (Deltares, 2013).

4.1 Caracterização Ambiental

A região da Baía do Espírito Santo, onde está localizado o Porto de Vitória e a área de interesse do presente estudo, é caracterizada por dois tipos climáticos segundo Köppen, Tropical Úmido de Altitude e Tropical Úmido. O Tropical Úmido de Altitude ocorre nas encostas da serra da Mantiqueira e dos maciços costeiros, com intensas precipitações orográficas em vários períodos do ano e temperaturas amenas durante o verão. O Tropical Úmido ocorre nas faixas litorâneas, com temperaturas médias superiores a 22º C na região.

Nesta região, os ventos de nordeste estão associados ao Sistema Anticiclônico Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), enquanto os ventos do quadrante sul estão associados ao deslocamento de frentes frias que atingem a costa do Espírito Santo. Esses sistemas frontais ocorrem em média três vezes por mês (Climanálise Especial, 1986), e possuem efeitos distintos sazonalmente. Durante o verão, os sistemas passam mais próximos da costa e geram grande precipitação, enquanto durante o inverno, e passagem mais longe da costa, geram maiores gradientes de pressão e ventos intensos.

Na região a maré é classificada como semidiurna e a circulação da região é influenciada pela ação conjunta do vento com a maré.

A primeira etapa deste trabalho consistiu no levantamento de dados pretéritos meteorológicos e oceanográficos nas imediações da região de estudo. Essa fase visou disponibilizar informações para:

- (1) uma melhor compreensão da dinâmica da área;
- (2) validação do modelo hidrodinâmico; e
- (3) aplicação direta nas simulações.

Para este estudo em questão, foram consideradas duas bases distintas de dados para calibrar o modelo com a maior quantidade de informações possíveis, de modo a identificar as condições atuais com maior precisão. Deste modo, foram utilizados dados coletados na região entre o período de 2 a 22 de abril de 1999 e o período de agosto de 2017 a agosto de 2018. A Figura 1 apresenta a localização dos dados para o ano de 1999, enquanto a Figura 2 apresenta a localização dos dados para o período de 2017 e 2018.

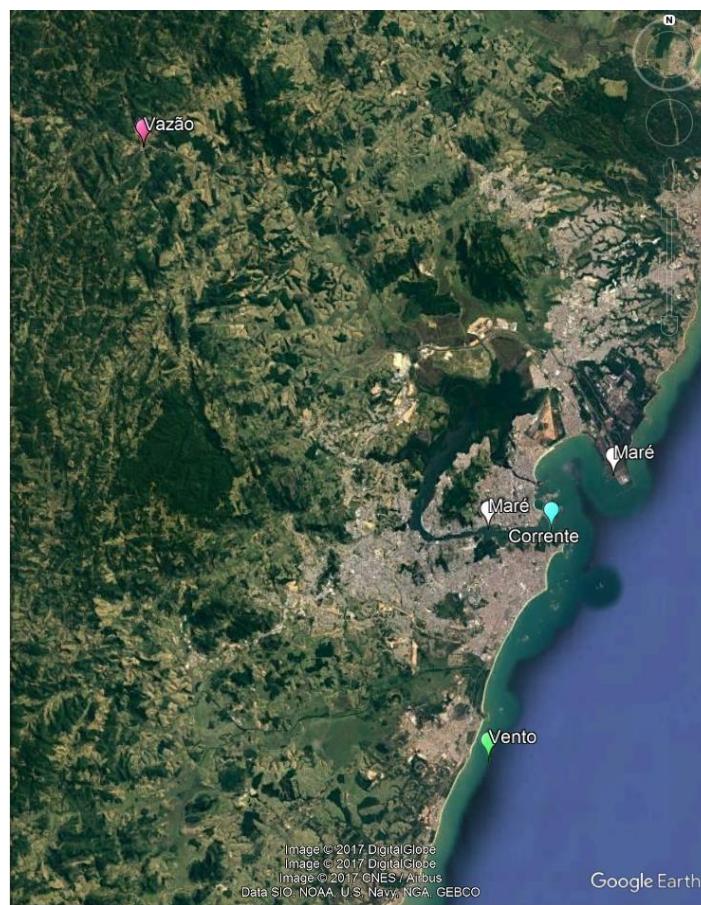


Figura 4 – Localização das estações de medições dos dados para a região de estudo para o período de 02 a 22 de abril de 1999.

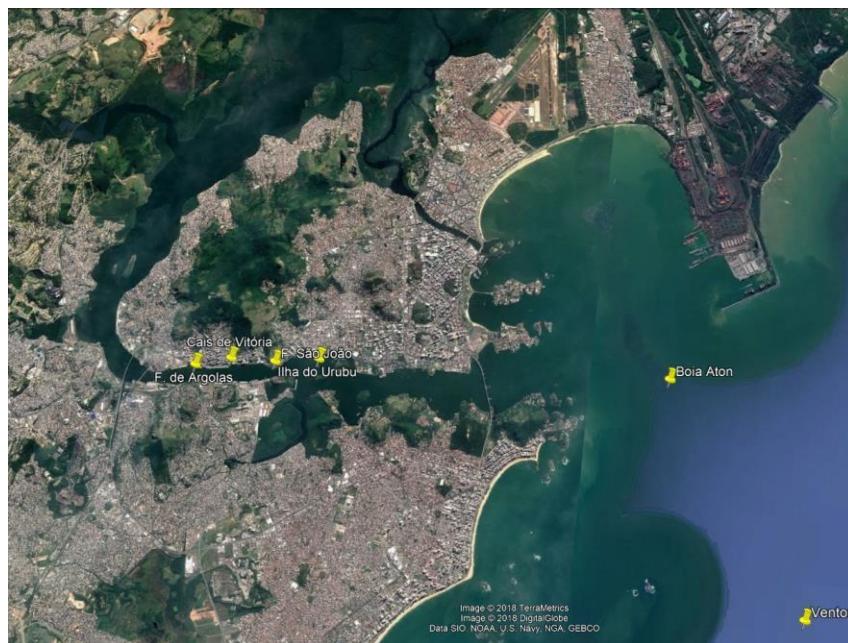


Figura 5 – Localização das estações de medições dos dados para o período de agosto de 2017 a agosto de 2018

4.1.1 Elevação

4.1.1.1 *Dados 1999*

A Figura 6 a seguir apresentam as constantes harmônicas fornecidas pela FEMAR¹ para o Porto de Vitória, que se localiza na latitude 20°19,2'S e longitude 40°19,1'W (sua posição é indicada na Figura 1). Nesta região, o componente de maré principal lunar (M_2) é o que apresenta as maiores amplitudes, seguida pelo componente principal solar (S_2).

A previsão harmônica de maré foi gerada para os períodos correspondentes àqueles utilizados na avaliação da simulação hidrodinâmica, de abril à maio de 1999. A série de previsão harmônica de maré é apresentada na Figura 7.

¹ Fundação de Estudos do Mar.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :	VITÓRIA (PORTO) – ES				
Localização :	Na Ilha do Urubu - Baía de Vitória				
Organ. Responsável :	INPH / DHN				
Latitude :	20° 19,2' S	Longitude :	40° 19,1' W		
Período Analisado :	01/03/61 a 21/02/62	Nº de Componentes : 32			
Análise Harmônica :	Método Tidal Liverpool Institute.				
Classificação :	Maré Semidiurna.				
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)	III H 42 min	Nível Médio (Zo):	80 cm acima do NR.		
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :	146 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :	106 cm acima do NR		
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :	13 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :	54 cm acima do NR.		

CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS

Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	5,5	002	MU₂	2,1	107
Ssa	0,7	074	N₂	6,8	097
Mm	1,5	274	NU₂	1,3	103
Mf	0,4	288	M₂	46,2	089
MTM	-	-	L₂	1,4	088
Msf	1,1	214	T₂	0,8	143
Q₁	2,6	067	S₂	20,4	099
O₁	8,8	098	K₂	6,1	097
M₁	0,1	146	MO₃	0,5	243
P₁	1,8	150	M₃	0,7	097
K₁	5,2	158	MK₃	0,2	195
J₁	0,3	275	MN₄	0,4	008
OO₁	0,1	296	M₄	0,3	340
MNS₂	0,6	098	SN₄	0,1	071
2N₂	1,6	112	MS₄	0,6	273

Referências de Nível: RN localizada na quina final do Cais, próximo aos trilhos do guindaste.

Obs: Outros Períodos: 03/08/83 a 02/09/83; 03/05/83 a 03/01/83; 01/07/80 a 31/12/80; 01/07/29 a 04/07/30; 01/03/61 a 21/02/62; 01/10/47 a 01/11/47.

Existem no INPH observações desde 1917

Consta das Tábuas das Marés.

Código BNDO: 40250

- 163 -

Figura 6 – Constantes harmônicas de maré para o Porto de Vitória (FEMAR, 2000).

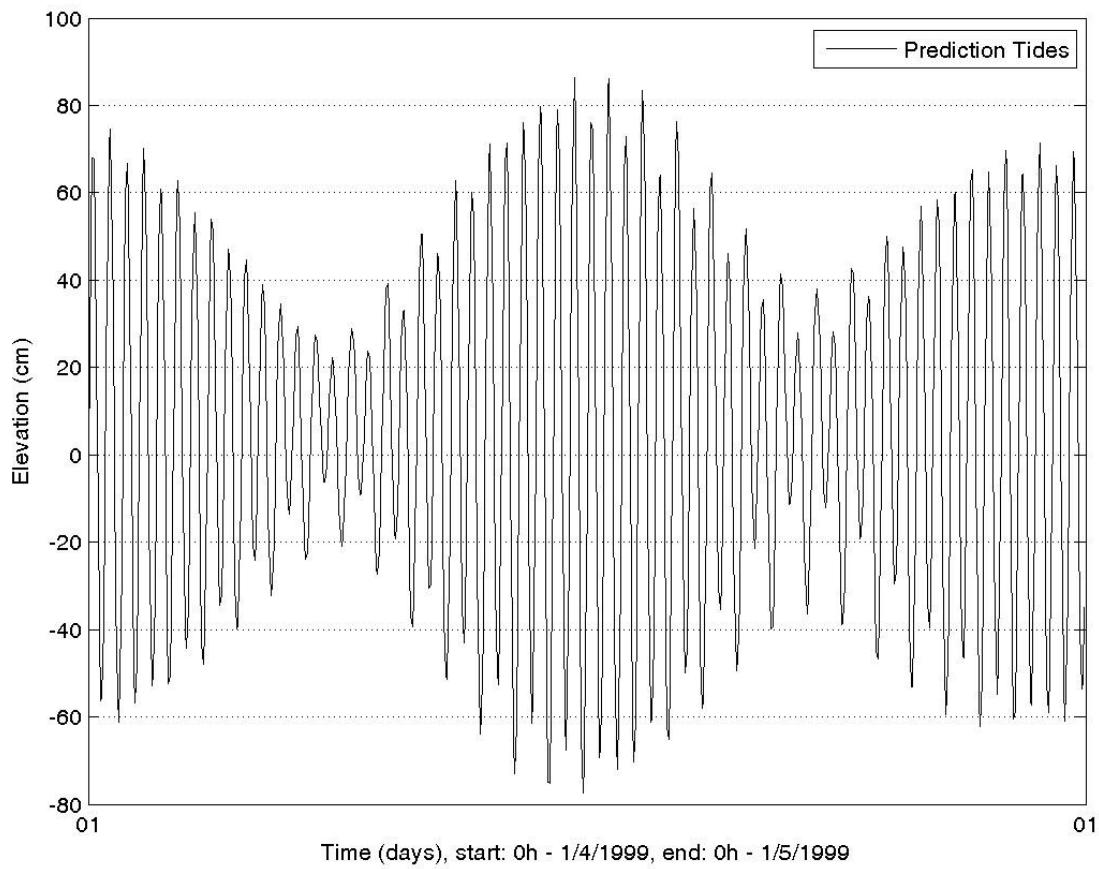


Figura 7 – Previsão harmônica de maré obtida para estação maregráfica do Porto de Vitória (ES) para o período de abril a maio de 1999, a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.

4.1.1.2 Dados 2017 - 2018

Foram utilizados dados de nível, coletados no Cais do Porto de Vitória, nas coordenadas 20°19'19"S e 40°20'06"W. O período de medições foi de 01 de agosto de 2017 a 01 de agosto de 2018. A Figura 5 apresenta estes dados plotados ao longo do período citado.

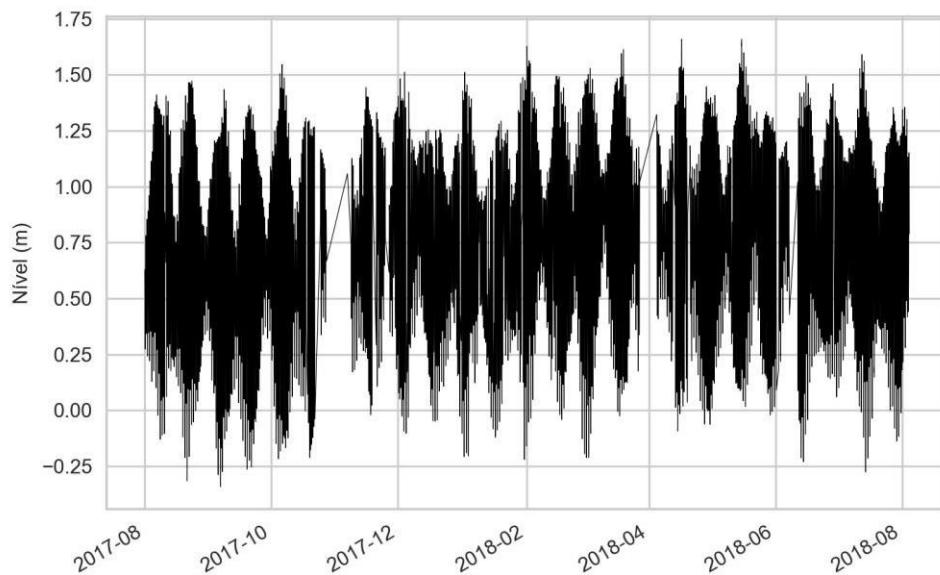


Figura 8 – Série temporal do nível do mar (m) obtida no Cais do Porto de Vitória entre agosto de 2017 e agosto de 2018.

4.1.2 Correntes

4.1.2.1 *Dados 1999*

Foram utilizados dados pretéritos de correntes marinhas, coletados em um fundeio realizado no canal de acesso ao Porto de Vitória, nas coordenadas 20°19'14"S e 40°16'49"W (Figura 3). O período de medições foi de 2 a 22 de abril de 1999, e o intervalo de amostragem dos dados foi de cinco minutos.

A Figura 9 apresenta séries temporais das componentes Leste-Oeste (gráfico superior) e Norte-Sul (gráfico inferior) da corrente medida. Observa-se que as intensidades da corrente neste local são maiores ao longo da direção Leste-Oeste, ou seja, orientadas ao eixo o canal.

A Figura 10 apresenta a rosa das correntes. A escala de cores representa a velocidade (em m/s) e os círculos concêntricos indicam a porcentagem de observações. Observa-se que a corrente neste local apresenta um fluxo bidirecional em torno do eixo ENE-WSW, com as maiores intensidades ocorrendo para ENE, ou seja, no sentido vazante (para fora do canal de acesso ao Porto de Vitória e em direção à Baía do Espírito Santo). As direções da corrente são consideradas a partir do Norte geográfico com os valores crescendo no sentido horário.

Os valores médios de velocidade oscilaram em torno de 0,17 m/s, enquanto a velocidade máxima observada foi de 0,63 m/s. Conforme descrito, a vazante apresentou maiores velocidades que a enchente, a velocidade média da corrente para ENE (vazante) foi de 0,26 m/s, enquanto na enchente (WSW) a média foi de 0,19 m/s, as máximas nestas direções foram de 0,61 m/s (ENE) e de 0,44 m/s (WSW).

A Figura 11 apresenta o espectro de amplitudes das componentes de correntes. Essa análise mostra que a corrente tem um caráter predominantemente de maré semidiurna: as maiores amplitudes ocorrem em torno das frequências de 2 ciclos por dia (cpd). Também são observados picos na faixa de 4 cpd.

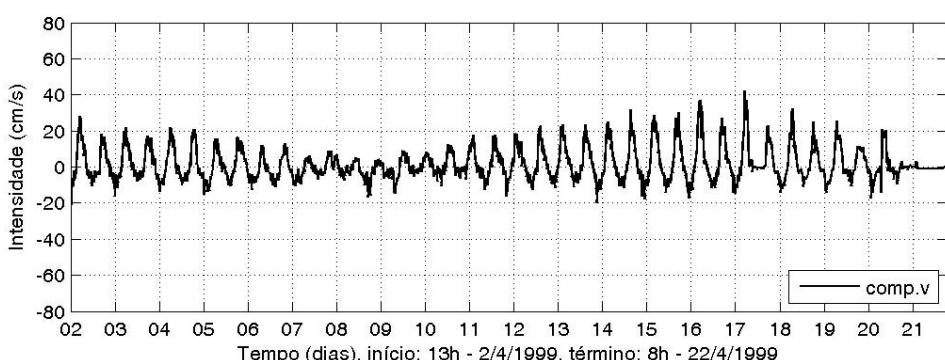
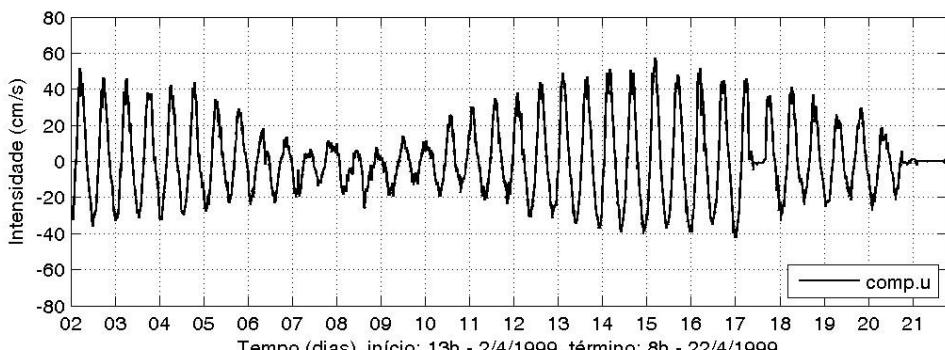


Figura 9 – Séries temporais das componentes Leste-Oeste (u, painel superior) e Norte-Sul (v, painel inferior) para dados coletados no período de entre os dias 02 e 22 de abril de 1999, no canal de acesso ao Porto de Vitória (ES).

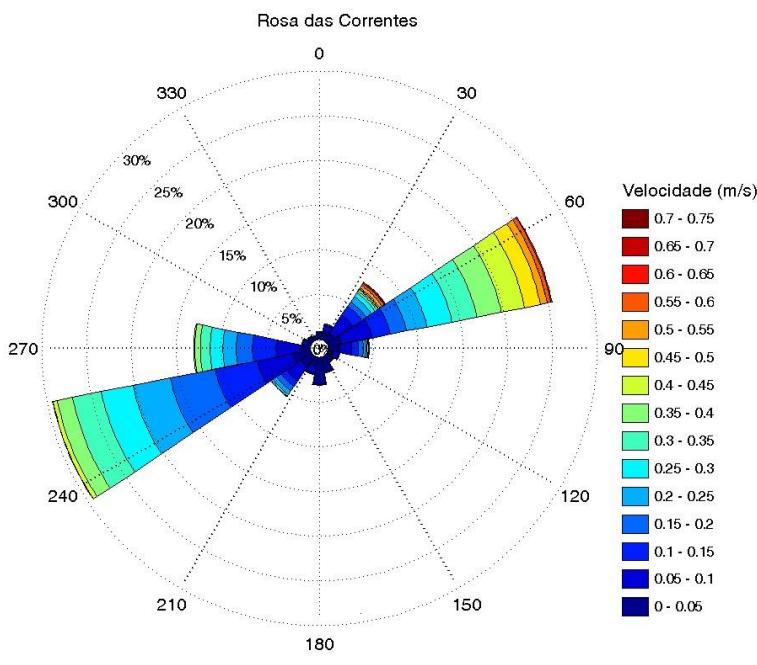


Figura 10 – Rosa das correntes para dados coletados no período de entre os dias 02 e 19 de abril de 1999, no canal de acesso ao Porto de Vitória (ES). A escala de cores representa a velocidade (em m/s) e os círculos concêntricos indicam a porcentagem de observações.

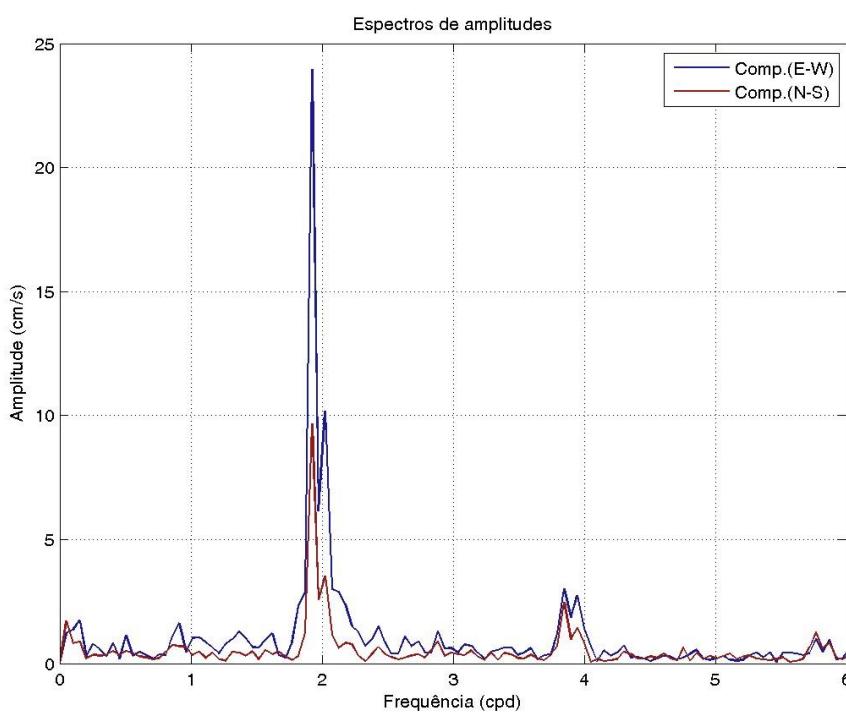


Figura 11 – Espectro de amplitudes das componentes do vetor velocidade da corrente no canal de acesso ao Porto de Vitória (ES).

4.1.3 Vazão

Dados de vazão para o Rio Santa Maria foram obtidos na estação fluviométrica Santa Leopoldina (ANA²), localizada nas coordenadas 20°06'01"S e 40°31'40"W, para o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2013. A Figura 12 apresenta o ciclo sazonal das vazões médias mensais registradas nesta estação.

² Agência Nacional de Águas.

O Rio Santa Maria apresenta uma vazão média mensal máxima de $38,9 \text{ m}^3/\text{s}$ e mínima de $11,6 \text{ m}^3/\text{s}$. O período de máxima seca ocorre entre os meses de agosto a setembro e a máxima cheia de dezembro a janeiro. A vazão média para o período amostrado foi de $19 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vazão do rio Santa Maria da Vitória - médias mensais - 2006 a 2013 - Estação Santa Leopoldina

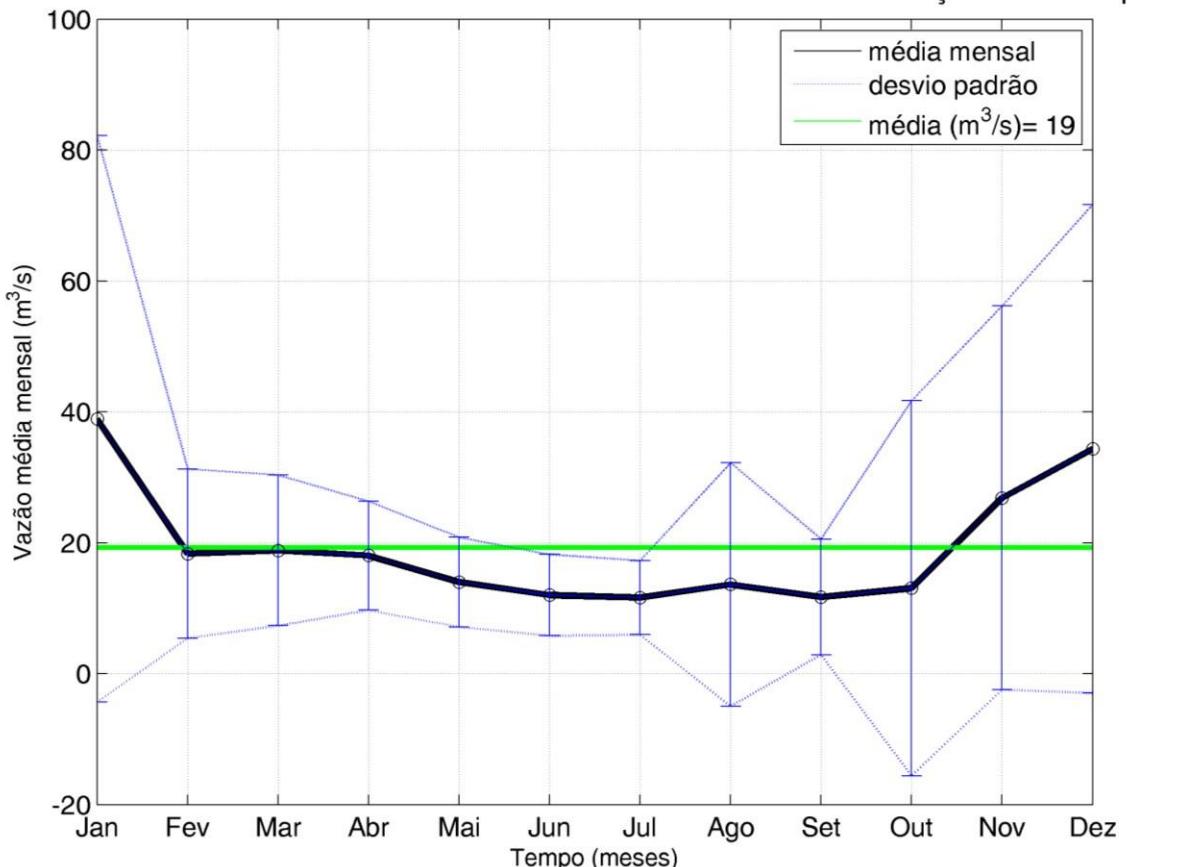


Figura 12 – Ciclo sazonal da vazão média mensal (m^3/s) do Rio Santa Maria.

4.1.4 Ventos

4.1.4.1 Dados 1999

Para implementação do modelo, os dados de vento (CFSR) foram extraídos de uma grade, com “ranges” de latitude variando de $20,954^\circ \text{ S}$ a $20,136^\circ \text{ S}$ e de longitude $40,909^\circ \text{ W}$ a $39,068^\circ \text{ W}$, localizada nas adjacências da Baía do Espírito Santo. O período analisado foi de 1º de janeiro de 1999 a 1º de maio de 1999. O parâmetro utilizado neste estudo compreende dados de vento a 10 m de altitude.

A CFSR é um produto gerado pelo Centro Norte-Americano para Previsão Ambiental, NCEP (*National Center for Environmental Prediction*), e distribuído pela Central NorteAmericana de Dados Climáticos, NCDC (*National Data Climate Centre*). Trata-se de um conjunto de assimilação de dados que acopla os sistemas oceano-superfície-atmosfera e continente-gelo, em escala global e em alta resolução, disponibilizando informações sobre estes domínios. A CFSR difere de outros produtos de reanálise pelo acoplamento entre o oceano e a atmosfera, por ter um modelo interativo de gelo marinho e também por assimilar dados de satélites através de um esquema de interpolação estatística.

Além disso, contém informações sobre variações nos níveis de dióxido de carbono, aerossóis atmosféricos e gases-traço, incluindo assim seus efeitos sobre o sistema climático terrestre.

A Figura 13 representa a rosa dos ventos dos dados para os períodos de verão. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica, com a intensidade em m/s, representada pela escala de cores. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de observações.

Observa-se que, que durante o verão os ventos mais frequentes foram provenientes de N (Figura 10), seguidos de NNE e NE. A Tabela 1 apresenta a frequência de ocorrência conjunta entre intensidade e direção dos ventos para o período de verão de 1999. Os ventos mais frequentes vieram de N (22,9%) e NNE (22,4%), com velocidades médias de 4,8 m/s para ambos. Os ventos mais intensos registrados, também foram provenientes de N com velocidade de 8,1 m/s, seguidos dos oriundos de NE com 8,0 m/s.

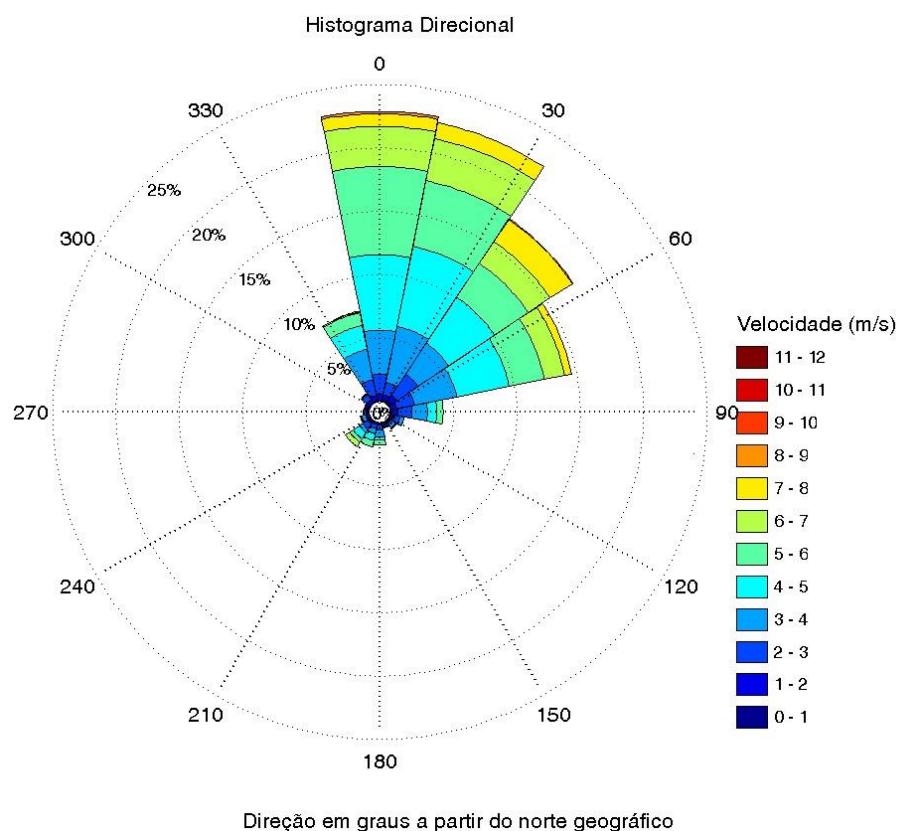


Figura 13 – Histograma direcional dos vetores de vento CFSR para o período de verão (janeiro a abril) de 1999. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de incidência, enquanto a barra de cores lateral indica intensidade do vetor de vento (m/s), o intervalo de amostragem é horário.

Tabela 1 - Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (º) do vento, para o período de verão. A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Intervalo de amostragem: 1h.

Veloc.(m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Tot.	Perc.	Dir.Méd.
0.0-1.0	1	4	6	1	2	2	2	2	2	0	4	0	4	4	0	2	36	1.6	31
1.0-2.0	12	8	11	10	11	4	3	4	2	4	3	6	1	4	8	9	100	4.6	28
2.0-3.0	34	22	44	32	24	12	4	3	8	7	10	1	4	1	11	28	245	11.2	37
3.0-4.0	76	98	64	74	27	7	6	1	13	9	7	7	1	0	2	53	445	20.4	31
4.0-5.0	130	141	95	92	16	0	2	0	5	12	13	0	0	0	0	42	548	25.1	28
5.0-6.0	152	115	70	62	11	0	0	0	9	11	7	2	0	0	0	22	461	21.1	23
6.0-7.0	69	74	45	36	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	2	235	10.8	26
7.0-8.0	22	28	46	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	109	5	33
8.0-9.0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.2	10	
Total	500	490	382	319	91	25	17	10	39	43	53	16	10	9	21	159	2184		
Porc.	22.9	22.4	17.5	14.6	4.2	1.1	0.8	0.5	1.8	2	2.4	0.7	0.5	0.4	1	7.3			
Vel. méd.	4.8	4.8	4.7	4.5	3.3	2.5	2.6	1.8	3.6	4	4.1	2.9	1.8	1.3	2.2	3.8			
Vel. máx.	8.1	7.8	8	7.7	5.8	3.9	4.1	3.4	5.8	6	6.8	5.6	3.3	2.6	3.4	7.3			
Perct.(0.9)	6	6	7	6	5	3	3.8	2.5	5	5	6	4.8	2.5	1.6	2.4	5			

4.1.4.2 Dados 2017 – 2018

Como forma de complementar o entendimento das condições ambientais da área de estudo foram analisados os registros de vento para o período de dezembro de 2017 a março de 2018 para a estação meteorológica boia AtoN. A descrição da série temporal é apresentada a seguir.

A Figura 11 representa a rosa dos ventos dos dados para o período de dezembro de 2017 a março de 2018 para a estação da boia AtoN. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica, com a intensidade em m/s, representada pela escala de cores. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de observações.

Observa-se que durante o período analisado os ventos mais frequentes foram provenientes de ENE (Figura 11), seguidos de NE e NNE. A Tabela 2 apresenta a frequência de ocorrência conjunta entre intensidade e direção dos ventos para o mesmo período. Os ventos mais frequentes vieram de ENE (23,6%) e NE (18,9%), com velocidades médias de 6,2 m/s (ENE) e 6 m/s (NE). Os ventos mais intensos registrados também foram dessas direções (10,8 m/s).

Rosa de Intensidade do Vento (m/s) - convenção meteorológica

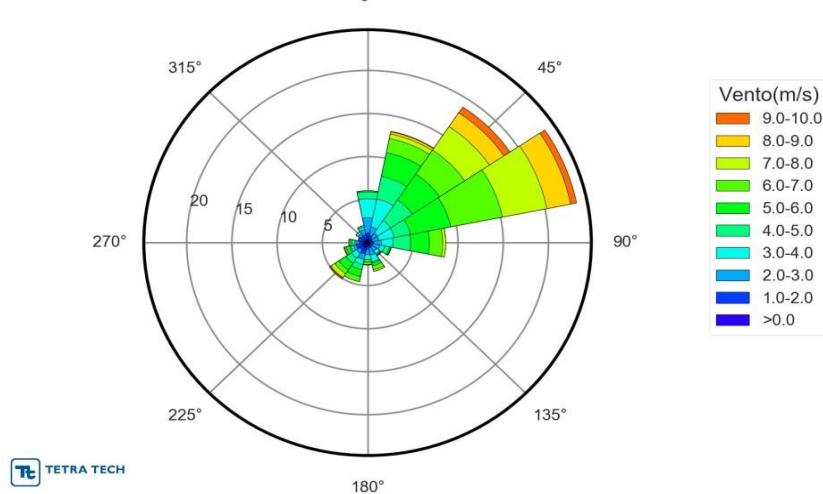


Figura 14 – Histograma direcional dos vetores de vento (boia AtoN) para o período de dezembro de 2017 a março de 2018. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de incidência, enquanto a barra de cores lateral indica intensidade do vetor de vento (m/s), o intervalo de amostragem é horário.

Tabela 2 - Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (º) do vento, para o período dezembro de 2017 a março de 2018 (boia AtoN). A direção é medida em graus a partir do norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Intervalo de amostragem: 1h.

Vento(m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	(%)
0,0-1,0	6	5	0	3	4	2	4	3	4	8	9	9	6	6	2	4	5,0
1,0-2,0	11	8	9	5	6	7	5	6	8	12	6	10	8	6	12	10	8,6
2,0-3,0	26	15	11	11	13	12	9	13	9	10	7	5	5	3	5	9	10,9
3,0-4,0	33	49	26	26	19	8	6	12	8	9	10	4	2	0	4	4	14,7
4,0-5,0	12	40	43	27	29	8	2	2	0	9	11	2	5	0	0	3	12,9
5,0-6,0	2	42	54	68	31	2	0	5	5	12	14	6	3	0	0	0	16,3
6,0-7,0	0	25	50	87	22	1	1	7	4	9	8	3	2	1	0	0	14,7
7,0-8,0	0	8	49	75	5	0	0	3	1	0	8	0	0	0	0	0	10,0
8,0-9,0	0	4	29	40	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5,0
9,0-10,0	0	1	12	10	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1,7
(%)	6,0	13,2	18,9	23,6	8,6	2,7	1,9	3,4	2,6	4,6	5,1	2,7	2,1	1,1	1,5	2,0	
Media	3,0	4,6	6,0	6,2	4,6	3,2	2,8	3,8	3,2	3,6	4,4	3,1	2,8	1,7	2,0	2,2	
Max.	5,4	9,6	10,8	9,9	7,8	10,6	9,2	10,3	7,7	6,9	9,6	10,5	6,7	6,2	3,3	4,6	

Para implementação do modelo, os dados de vento (CFSR) foram extraídos de uma grade, abrangendo as latitudes entre 20,954º S a 20,136º S e as longitudes entre 40,909º W s 39,068º W, localizada nas adjacências da Baía do Espírito Santo. O período analisado foi de 1º de agosto de 2017 a 1º de agosto de 2018. O parâmetro utilizado neste estudo compreendeu dados de vento a 10 m de altitude.

Com o intuito de justificar que os dados de reanálise são os dados mais adequados e representam a condição meteorológica local, foram extraídos para comparação trechos de outras bases correspondentes (simultâneos) ao dos dados da CFSR apresentados neste documento. Para tal comparação foram utilizados dados fornecidos pela Bóia AtoN (20,3167º S 40,25º W).

Com o objetivo de avaliar os dados de reanálise quanto à sua capacidade de reprodução das condições meteorológicas locais, foi realizada uma comparação entre os dados de reanálise CFSR extraídos de um ponto próximo à Bóia AtoN, e os dados obtidos pela bóia (Figura 15).

Os dados da obtidos pela bóia mostraram inconsistências de levantamento na aquisição dos dados. A Figura 15 mostra a comparação das duas bases de dados (Bóia AtoN e CFSR). Observa-se que, de maneira geral, os dados de reanálise são ligeiramente menos intensos que os dados da bóia. Contudo, representam de maneira satisfatória os padrões de ventos da região, incluindo a entrada de sistemas de baixa pressão (frentes frias). Devido a maior disponibilidade temporal e espacial os dados do CFSR, estes foram considerados como mais adequados para implementação do modelo hidrodinâmico.

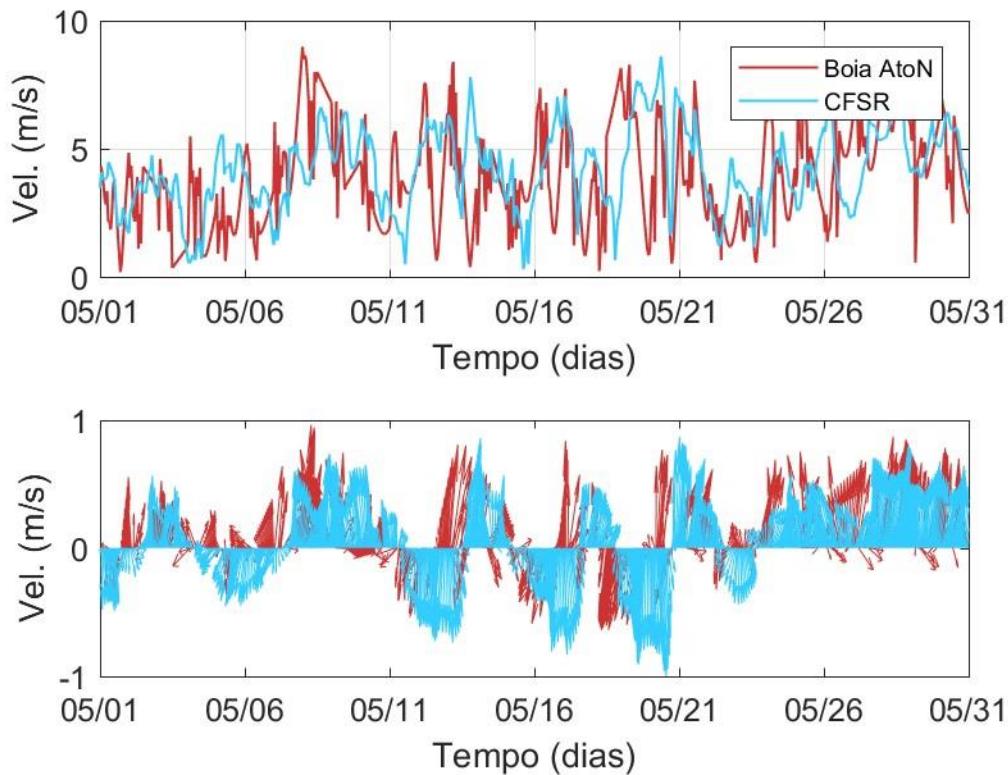


Figura 15 – Comparação entre os dados medidos pela boia AtoN e dados de reanálise da CFSR, para o mês de maio de 2018. A direção dos vetores (painel inferior) representa a direção de incidência dos ventos e o tamanho do vetor estabelece a intensidade em m/s.

Levando em consideração os resultados apresentados anteriormente, serão apresentados a seguir a caracterização dos dados do CFSR. A Figura 16 apresenta a rosa dos ventos, onde a direção é dada a partir do Norte Geográfico (0° , seguindo a convenção meteorológica), a intensidade do vento é dada pela escala de cores e a distância radial representa a porcentagem de ocorrências, e a Tabela 3 mostra o diagrama de ocorrência conjunta dos dados da CFSR.

Na Figura 16 observa-se a predominância dos ventos associados a aos quadrantes de N NNE e NE, confirmado a grande influência do Sistema Anticiclônico Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a presença de ventos muito intensos de SSW e S, que representa a entrada dos sistemas de baixas pressões.

Na Tabela 3 fica evidente a predominância dos ventos de N, com velocidades médias de 5,4 m/s e máximas atingindo 10,3 m/s; juntamente com os ventos dos quadrantes NNE e NE, representam 50,4 % das ocorrências da série observadas. As velocidades variam principalmente entre 2 a 6,0 m/s (61,7% dos dados observados para a série). As máximas observadas foram de 13,9 m/s e correspondem a ventos de SSW.

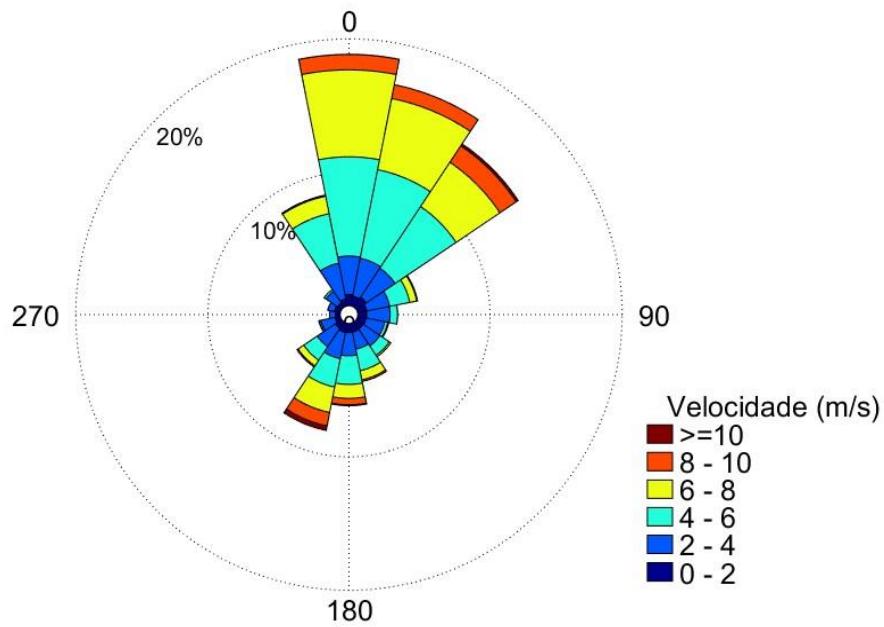


Figura 16 – Rosa dos ventos a 10 m acima do nível do mar, para os dados da CFSR no período de 1 de agosto de 2017 a 1 de agosto de 2018.

Tabela 3 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (º) do vento da CFSR para o período de 1 de agosto de 2017 a 1 de agosto de 2018, intervalo de amostragem horária (convenção meteorológica).

Veloc.(m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Tot.	Perc.
0.0-2.0	74	65	78	61	58	58	55	59	60	61	50	36	31	41	33	47	867	9.9
2.0-4.0	252	254	231	156	156	125	134	114	152	176	145	96	40	43	93	239	2406	27.5
4.0-6.0	652	593	486	135	49	21	74	144	188	190	107	10	0	1	14	331	2995	34.2
6.0-8.0	571	477	350	47	1	6	12	61	92	170	45	3	0	0	0	117	1952	22.3
8.0-10.0	101	92	130	6	0	0	0	11	42	90	9	0	0	0	0	8	489	5.6
10.0-12.0	1	0	15	0	0	0	0	0	6	24	0	0	0	0	0	0	46	0.5
12.0-14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	0.1
Total	1651	1481	1290	405	264	210	275	389	540	717	356	145	71	85	140	742	8761	
Porc.	18.8	16.9	14.7	4.6	3	2.4	3.1	4.4	6.2	8.2	4.1	1.7	0.8	1	1.6	8.5		
Vel.méd.	5.4	5.4	5.4	3.9	2.9	2.7	3.2	4.2	4.7	5.4	4	2.7	2.2	2	2.7	4.4		
Vel.máx.	10.3	10	10.9	8.9	6.1	7.6	6.8	9.6	10.4	13.9	9.8	7.8	3.9	4.2	5.2	8.5		
Perct.(0.9)	6	6	8	6	4	4	4	6	6	8	6	2	2	2	3	6		

4.2 Modelagem Numérica

O sistema de modelos numéricos Delft3D, através de seus módulos Delft3D-FLOW e Delft3D-WAVE (DELTARES, 2013), foi selecionado como ferramenta para se atingir os objetivos propostos neste estudo. Este sistema de modelos é capaz de simular a circulação hidrodinâmica como resposta a forçantes baroclínicas e barotrópicas, assim como a transferência de *momentum* ao sistema hidrodinâmico decorrente do sistema de ventos. As principais características deste sistema de modelos são descritas no Anexo A deste relatório.

Resultados obtidos com a modelagem numérica foram, então, comparados com os dados disponíveis (dados de elevação e ondas) para calibração e validação do modelo numérico.

Para a apresentação dos resultados das simulações hidrodinâmicas, foi escolhido o período de 01 de junho de 2017 até 01 de julho de 2018. O período foi escolhido considerando-se também a disponibilidade de dados de onda disponíveis nas bases de dados utilizados.

4.2.1 Domínio e Batimetria

As grades numéricas implementadas representam um compromisso entre os objetivos finais do projeto de modelagem e a descrição dos processos na região. A especificação desta é feita pela fixação dos pontos de grade ao longo da linha de costa (no plano) e pela batimetria (eixo vertical). Uma vez que estes pontos ao longo da linha de costa são determinados, as demais características batimétricas são associadas ao domínio.

Foi implementada uma grade numérica com dimensão horizontal de 243x151 pontos e espaçamento horizontal variando de 11m a 300m.

As informações de profundidade foram obtidas através da digitalização de cotas batimétricas das cartas náuticas da DHN³, nos 1.400, 1.401, 1.410 e 1.420, bem como com informações do banco de dados internos e dados enviados pela Autoridade Portuária.

Visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa, foram utilizadas também informações provenientes de imagens de satélite. As cotas batimétricas foram associadas a cada ponto da grade numérica do modelo através de interpolação triangular. Com isso, estes dados foram incorporados ao modelo, adequando-os à resolução adotada. Os resultados finais da discretização da grade numérica estão ilustrados na Figura 17.

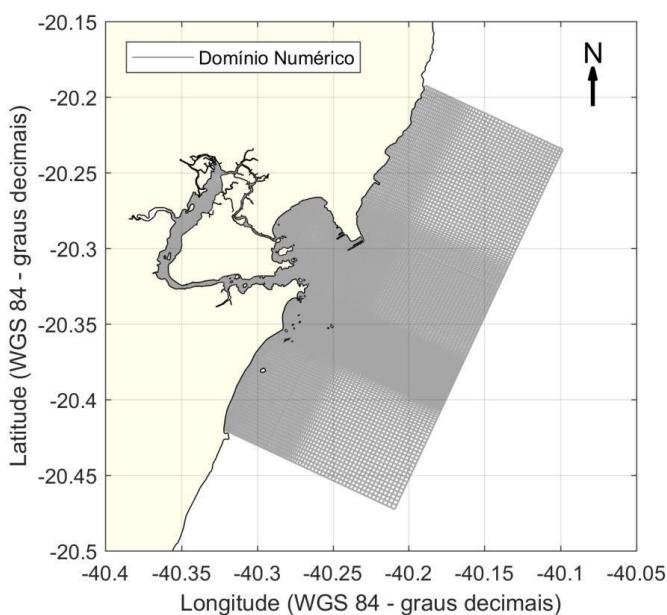


Figura 17 – Grade numérica utilizado na modelagem hidrodinâmica

A Figura 18 mostra a batimetria interpolada na grade utilizada para a simulação..

³ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

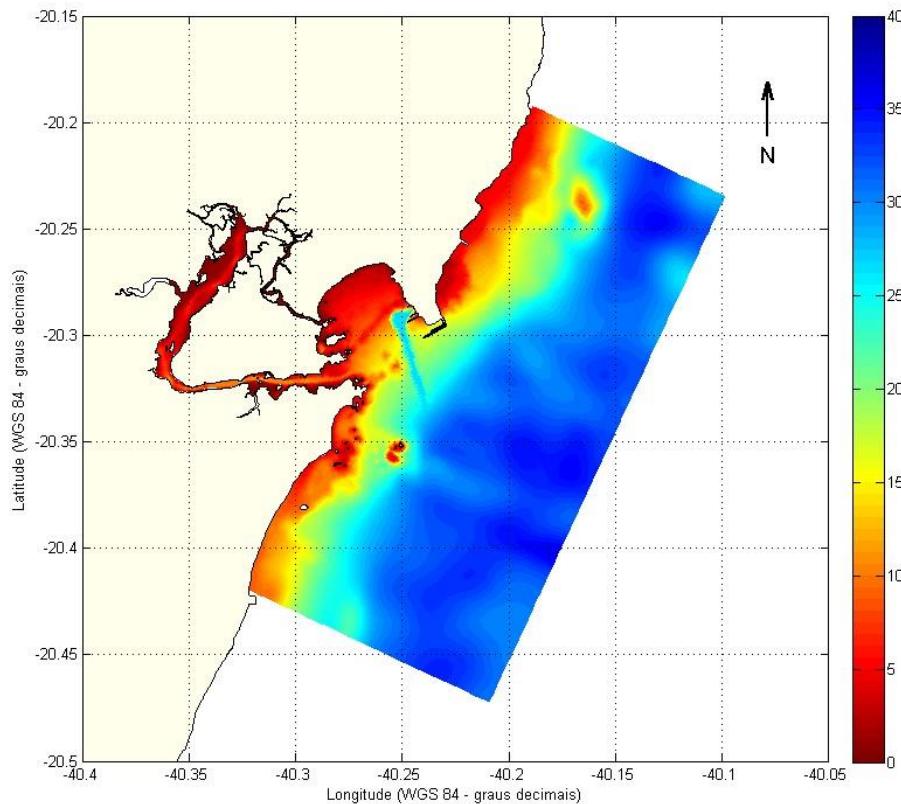


Figura 18 – Batimetria associada à grade numérica utilizada nas simulações

4.2.2 Condições de Fronteira

Para as simulações da hidrodinâmica, o sistema de modelos Delft3D possibilita a utilização de contornos abertos. Quando são aplicadas forçantes nas bordas abertas, pode se utilizar séries temporais ou valores constantes para diferentes variáveis pertinentes ao sistema estudado.

Para as simulações numéricas de ondas foram consideradas fronteiras abertas. Foram impostas como condições de fronteira um ano de parâmetros de onda (H_s , T_p e direção) provenientes de simulações do WaveWatch III.

Para as simulações numéricas foi considerado um conjunto de cinco bordas abertas. Em 3 delas foram impostas como condições hidrodinâmicas, séries temporais de elevação da superfície, obtida a partir da composição entre a previsão de maré a partir das constantes harmônicas do modelo global TPXO (da Universidade de Oregon, Egbert et al., 1994; Egbert e Erofeeva, 2002) e elevações de nível do CFSR. As outras duas fronteiras correspondem a rios, nessas foram usadas médias mensais obtidas através da análise de séries históricas de vazões da ANA (Agência Nacional das Águas).

Como forçantes atmosféricas para o modelo numérico hidrodinâmico e de ondas foram utilizados os dados de vento provenientes do CFSR (ver item 2.4).

A Figura 19 mostra as fronteiras oceânicas utilizadas na grade numérica para as simulações.

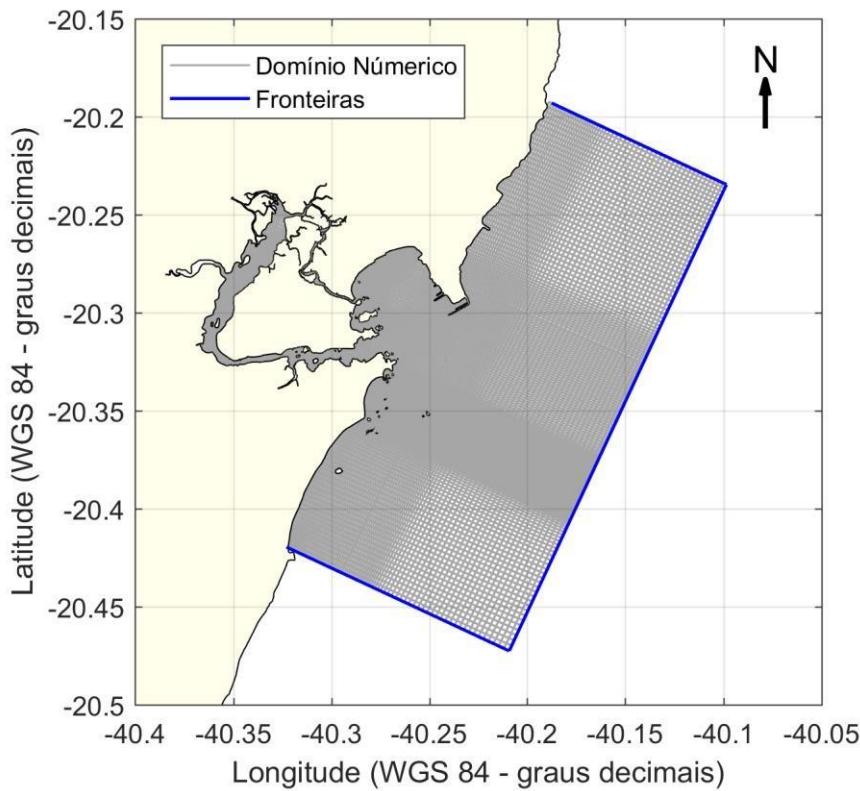


Figura 19 – Grade numérica utilizada na modelagem hidrodinâmica e as fronteiras utilizadas como condição de contorno.

4.2.3 Resultados da Modelagem

Foram realizadas simulações hidrodinâmicas e de ondas para o período de 01 de junho de 2017 até 01 de julho de 2018, com o objetivo de representar o padrão de correntes na entrada da Baía de Vitória. A Figura 34 representa a localização dos 9 pontos analisados., cujas coordenadas geográficas são:

- P1: $40^{\circ} 15' 25.4092''$ W $20^{\circ} 19' 4.3513''$ S;
- P2: $40^{\circ} 16' 21.1063''$ W $20^{\circ} 19' 2.2083''$ S;

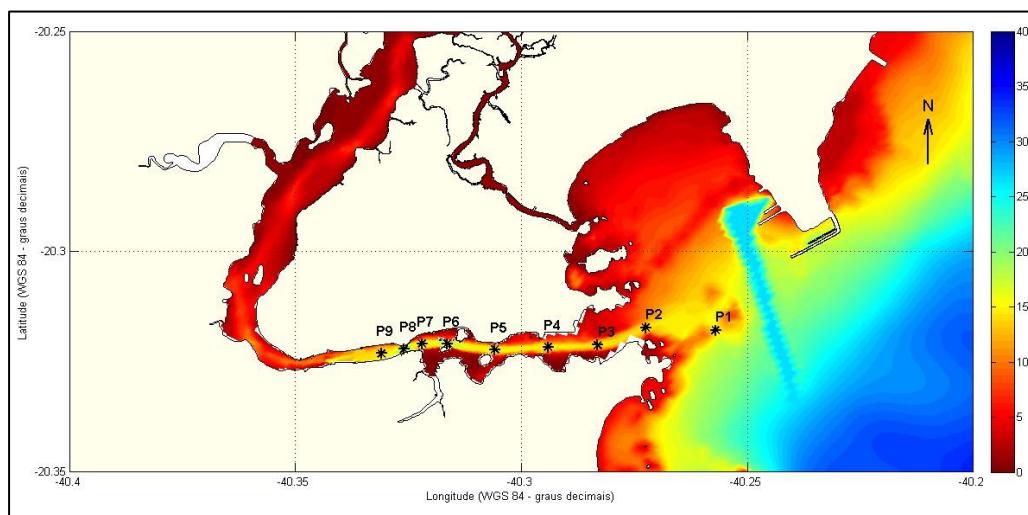
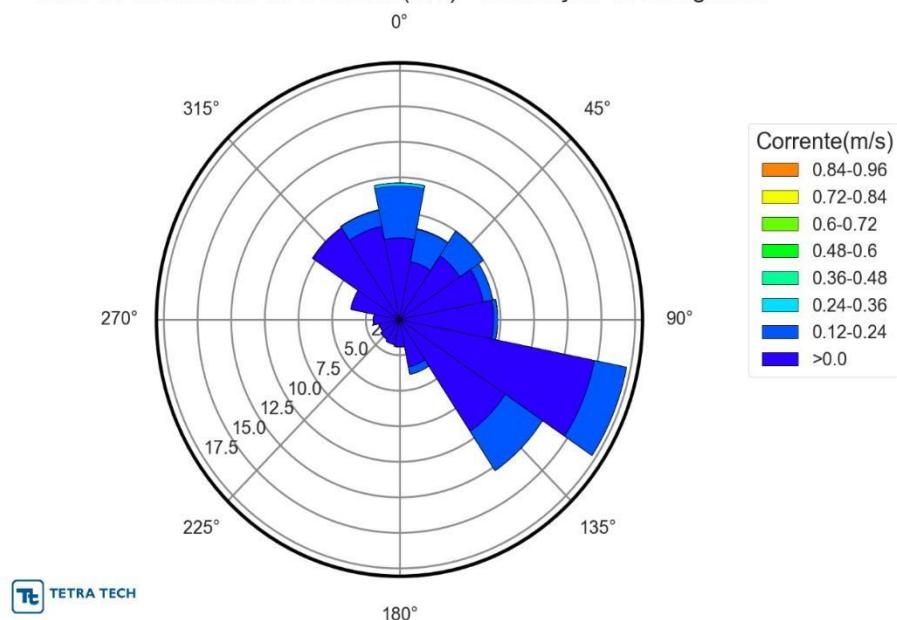


Figura 20 – Localização dos pontos de análise onde foram extraídos os resultados de correntes e ondas obtidos por modelo numérico.

Nas figuras seguintes são apresentados os histogramas direcionais dos resultados de corrente eferente aos pontos de interesse (P1 a P2) para todo o período da modelagem, para a média vertical da velocidade da corrente. Nestas figuras a direção é indicada a partir do Norte Geográfico, a intensidade (m/s) é indicada pela barra de cores e a frequência de ocorrências (%) é indicada pela distância radial.

Os resultados da modelagem mostraram que no ponto P1 as velocidades ocorrem em direção à leste-sudeste com maior frequência (17%), alcançando 0,19 m/s. Para norte-nordeste, a maior velocidade encontrada é de 0,35 m/s.

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica

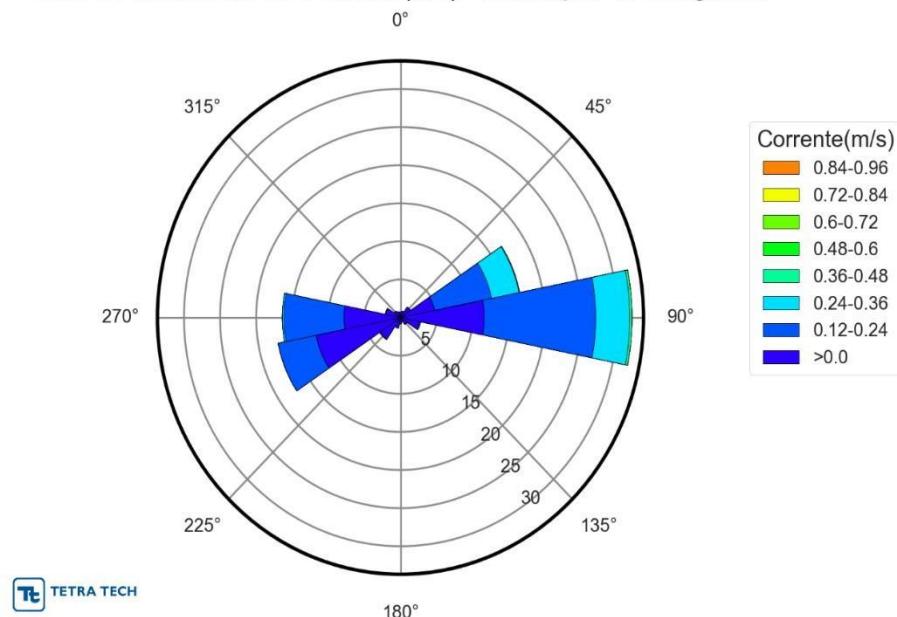


Corrente(m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	(%)
0,0-0,12	545	395	512	602	663	1399	896	323	180	171	159	143	183	350	734	635	83.2
0,12-0,24	346	218	197	68	28	231	315	49	2	0	0	0	0	0	2	108	16.5
0,24-0,36	19	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.3
0,36-0,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0,48-0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0,6-0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0,72-0,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0,84-0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
(%)	9.60	6.51	7.48	7.07	7.29	17.19	12.77	3.92	1.92	1.80	1.68	1.51	1.93	3.69	7.76	7.87	
Media	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.08	0.09	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	
Max.	0.33	0.35	0.20	0.20	0.19	0.19	0.22	0.21	0.13	0.12	0.08	0.08	0.08	0.09	0.13	0.26	

Figura 21 – Histograma direcional de corrente, referente aos resultados do modelo hidrodinâmico extraídos no ponto P1.

Os resultados da modelagem mostraram que no ponto P2 as maiores velocidades ocorrem nas direções leste e leste-nordeste, alcançando 0,42 m/s e 0,38 m/s, respectivamente.

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica



Corrente(m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	(%)
0,0-0,12	65	83	155	458	1100	255	101	58	75	134	318	1130	743	197	97	76	53.2
0,12-0,24	0	0	3	761	1465	15	2	0	0	0	11	508	789	8	0	0	37.6
0,24-0,36	0	0	0	368	446	0	0	0	0	0	0	1	20	0	0	0	8.8
0,36-0,48	0	0	0	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
0,48-0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0,6-0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0,72-0,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0,84-0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
(%)	0.69	0.88	1.67	16.82	32.08	2.85	1.09	0.61	0.79	1.41	3.47	17.29	16.37	2.16	1.02	0.80	
Media	0.03	0.04	0.06	0.17	0.16	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.10	0.12	0.06	0.04	0.03	
Max.	0.08	0.11	0.14	0.38	0.42	0.18	0.15	0.10	0.09	0.11	0.17	0.24	0.33	0.15	0.09	0.08	

Figura 22 – Histograma direcional de corrente, referente aos resultados do modelo hidrodinâmico extraídos no ponto P2.

5 Modelagem de Ondas

A seguir são justificadas as condições ambientais consideradas durante os cálculos conceituais. Elas foram baseada na modelagem realizada pela empresa Oceano Digital, no âmbito do presente contrato.

Foi gerada uma base de dados de ondas oceânicas de gravidade para pontos definidos no interior da Baía de Vitória e Baía do Espírito Santo (Figura 23). Para atender a essa solicitação, foi efetuada uma transferência dos parâmetros de ondas (H_s , T_p , D_p), obtidos na região offshore de Vitória, para cada ponto requerido, a partir de modelagem numérica de propagação de onda.



Figura 23 – Baía de Vitória e Baía do Espírito Santo. Fonte: Google Earth.

5.1 Estratégia de Modelagem

A caracterização das ondas foi realizada a partir de dados obtidos pelo modelo de reconstituição de ondas oceânicas (*hindcast wave models*) Wavewatch III. As ondas deste conjunto de dados obtidos na região offshore foram transferidas para pontos específicos de interesse por meio do modelo de propagação de ondas SWAN.

5.1.1 Etapa 1: Definição do conjunto de ondas offshore para a transferência do clima de ondas.

Os dados de onda foram obtidos a partir do modelo Wavewatch III (Tolman 1989, 1999). O conjunto de dados é composto pelos parâmetros de onda referentes à altura significativa (H_s), período de pico (T_p) e direção relativa ao período de pico (D_p), fornecidos a cada 3 horas, para 2 anos entre a primavera de 2021 e o inverno de 2023 ($2 \times 365 \times 8 = 5.840$ registros). A partir desse conjunto de dados, foram obtidas as ondas representativas para compor a matriz de transferência das ondas de *offshore* para *onshore*, meio pelo qual todos os dados são transferidos e estimados em todos os pontos específicos definidos pelo TPN/USP.

5.1.2 Etapa 2: Propagação de ondas de offshore para onshore

Nesta etapa, efetuou-se a propagação dos cenários representativos do conjunto de ondas offshore por meio do modelo numérico de propagação, transformação e dissipação de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1999; Ris *et al.*, 1999), que pertencente ao pacote de modelos Delft3D (WAVE) da Deltares. Os resultados da aplicação do modelo SWAN geraram uma matriz de transferência para cada ponto solicitado através da qual, foram estipulados, localmente, todas as ondas pertencentes ao conjunto original de dados. Assim, foram geradas séries temporais de 2 anos de ondas (H_s , T_p , D_p) nos pontos definidos pelo TPN-USP. Estas séries temporais de dados em cada um dos 6 pontos escolhidos fazem parte da entrega de dados ao TPN/USP.

5.2 **Modelo de Propagação de Ondas**

A propagação do conjunto de ondas offshore foi efetuada por meio do modelo numérico de propagação, transformação e dissipação de ondas SWAN, pertencente ao pacote de modelos Delft3D da Deltares (2014). O Delft3D-WAVE é baseado no modelo de ondas espectral SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) e simula a evolução das ondas de gravidade em águas costeiras. O SWAN é um modelo de ondas de terceira geração que usa uma aproximação euleriana (Booij *et al.*, 1999; Ris *et al.*, 1999), isto é, em cada ponto da grade, o balanço da energia espectral das ondas é resolvido simultaneamente. O modelo simula a propagação das ondas desde o largo até a zona de rebentação, incluindo os fenômenos da propagação, refração, difração, empolamento devido ao fundo e às correntes, bloqueio e reflexão por correntes opostas, bloqueio ou transmissão através de obstáculos, dissipação devida à arrebentação por excesso de declividade (*whitecapping*), dissipação devida à fricção do fundo e dissipação devida à rebentação induzida pela profundidade. Durante a propagação espectral das ondas, o SWAN considera ainda a ação dos ventos (crescimento das ondas), a dispersão direcional e a variação de energia por frequência (*frequency shifting*).

5.3 **Dados e Domínio Computacional**

Para a execução do modelo SWAN, além das definições dos parâmetros de onda (altura significativa, período e direção de pico de ondas) que são utilizados como condições de fronteira, são necessárias as definições do domínio computacional que faz parte desta execução. Assim, após a definição e criação do domínio computacional, o modelo pode ser ajustado para executar os cenários necessários e transferir os dados da região offshore para os pontos definidos na região das baías do Espírito Santo e de Vitória.

5.3.1 Grade

O domínio computacional utilizado nas simulações numéricas do SWAN foi definido por uma grade curvilinear com elementos de tamanho variável, de modo a possibilitar a discretização com um maior ajuste das fronteiras aos contornos da região a ser modelada. O domínio de cálculo apresenta faces dos elementos da grade curvilínea variando de 4 m (praias de Vitória) a 235 m (próximo à fronteira offshore), compondo uma matriz de 55744 elementos válidos com $m=417$ e $n= 277$ (Figura 24).

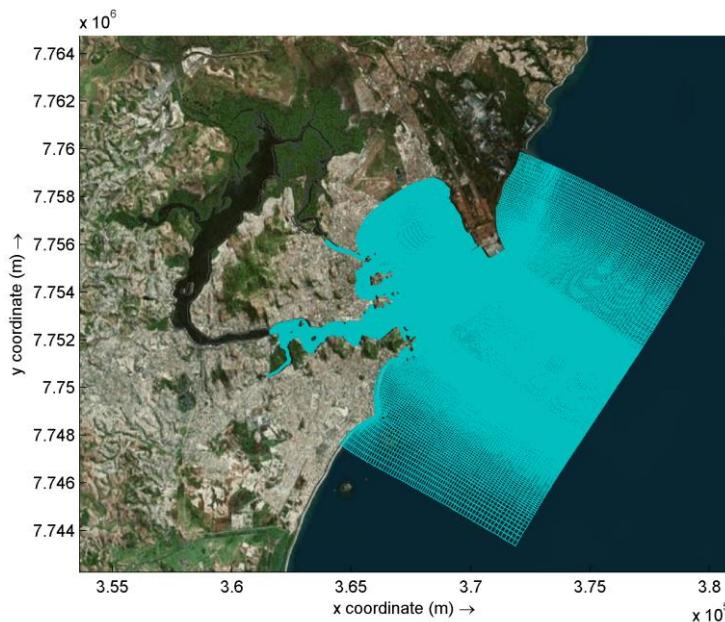


Figura 24 – Grade do domínio de cálculo utilizado nas simulações numéricas de ondas com o SWAN.

5.3.2 Batimetria

Para a definição do domínio morfológico de fundo, foram utilizados os dados das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil e dados obtidos de levantamentos batimétricos efetuados nas baías do Espírito Santo e de Vitória, pertencentes ao banco de dados da Oceano Digital, os quais estão listados na tabela seguinte e podem ser visualizados na Figura 25. Embora os dados batimétricos disponíveis variem de escala e origem, todos foram transformados numa base comum em Datum WGS84, coordenadas UTM e todas as profundidades e cotas foram referidas ao Nível Médio do Mar (NMM), que está a 0.8 m do zero DHN.

Tabela 4 - Dados batimétricos utilizados no domínio computacional:

Dados Topobatimétricos	Data
Carta nº 1400. Rio Doce ao Cabo de São Tomé. E: 1:296385	1960
Carta nº 1410. Proximidades dos Portos de Vitória e Tubarão. E:1:50000.	1975
Carta nº 1401 ^a . Portos de Vitória e Tubarão. Escala: 1:15000.	2004
Carta nº 1401b. Canal de acesso ao Porto de Vitória. Escala: 1:7500.	2004
Levantamento batimétrico na Baía do Espírito Santo	2008
Levantamento batimétrico na Baía de Vitória e Canal da Passagem	2008
Levantamento batimétrico na Baía de Vitória	2013
Levantamento batimétrico da região norte da praia de Camburi. E 1:2500	2014
Levantamento batimétrico na Baía de Vitória. E: 1:5000	2019

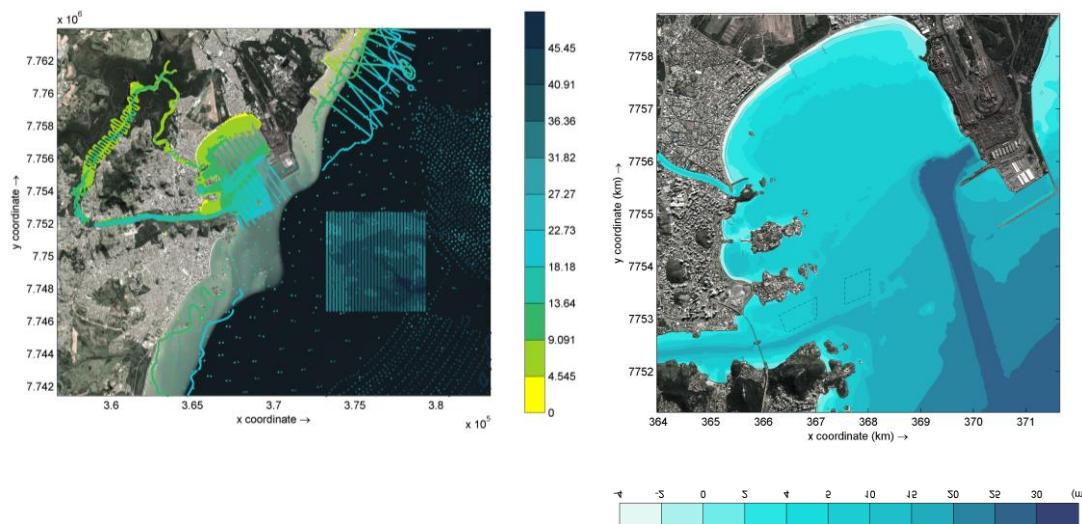


Figura 25 – Dados batimétricos utilizados neste estudo e a batimetrias dos domínios de cálculo. As profundidades estão em metros.

5.4 Conjunto de Dados de Ondas Offshore

As ondas utilizadas neste estudo proveem do conjunto de dados fornecidos pelo modelo de *hindcast* Wavewatch III para o ponto mais próximo da Baía do Espírito Santo (ponto WWIII Figura 26) que está localizado a cerca de 35 km da BES-BVIX.

Tabela 5 - Coordenadas do ponto WWIII.

LOCAL	LATITUD E	LONGIT UDE	UTM-Y	UTM-X	PROF.
WWIII	-20.5°	-40.0°	7732868 .42m S	395725.00m E	30m

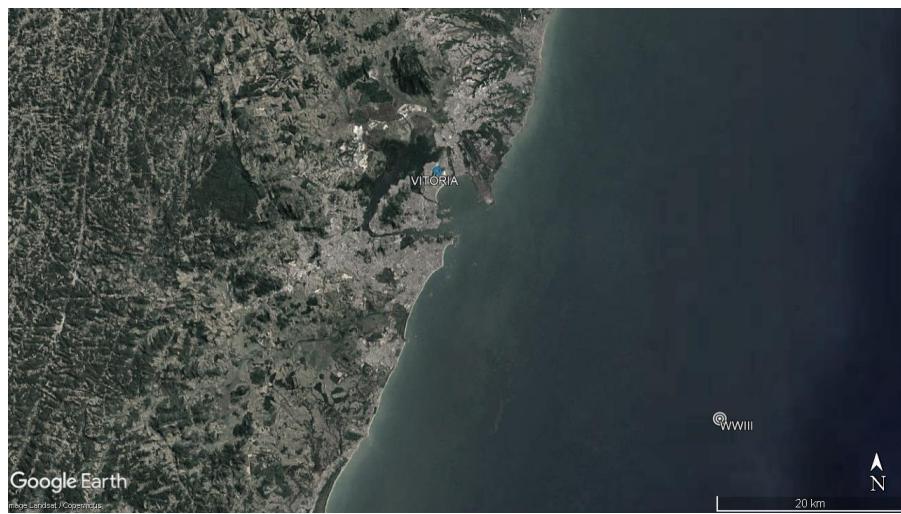


Figura 26 – Localização do ponto WWIII. Imagem Google Earth.

Os dados de ondas consistem em valores tri-horários da altura significativa (H_s), do período de pico (T_p) e da direção de pico (D_p), obtidos por simulação do campo de ondas utilizando o modelo Wavewatch III e incluem a reanálise dos ventos do NCEP.

A distribuição das alturas significativas de onda para o ponto WWIII está expressa nos histogramas polares das Figura 27 e no diagrama de dispersão direcional da Figura 28.

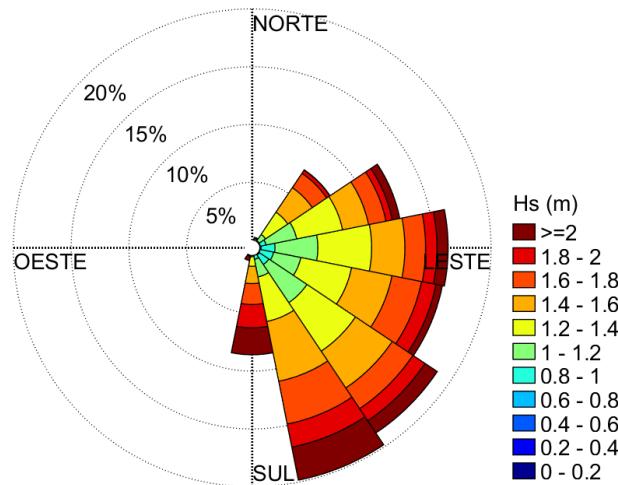


Figura 27 – Histograma polar obtido no ponto WWIII referentes ao resultado da transferência do conjunto de 2 anos de ondas (set/2021 a ago/2023).

A análise do conjunto de 2 anos de dados obtidos no ponto WWIII indicou que as ondas provenientes dos setores SSE (19.8%), SE (18.6%), E (16.3) e ESE (16.1%) possuem frequências de ocorrência com valores próximos, seguidas das ondas dos setores ENE (12.4%) e NE (7.4%). Neste conjunto, verificou-se uma baixa representatividade dos setores de proveniência de onda de SSW (0.5%) e NNE (0.3%).

As ondas de SSE, S e SSW foram as que possuem maiores valores de altura significativa, alcançando 3.4 m (0.12% das ocorrências) e geralmente estão associadas à ocorrência de eventos de tempestade na região sul do Atlântico Sul. As ondas mais frequentes no ponto WWIII estão entre 1.0 e 1.4 m (47.4%), enquanto as ondas abaixo de 2.0 m somam 95.1% do total.

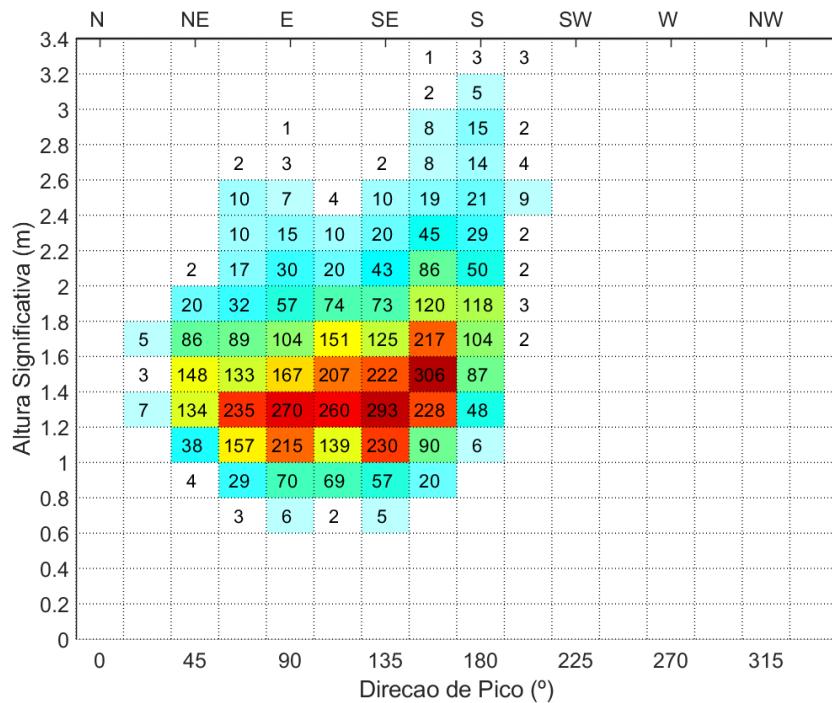


Figura 28 – Diagrama de dispersão das ondas na região offshore do Espírito Santo (ponto WWIII). Os valores indicam o número de ocorrências.

5.5 Pontos de Transferências das Ondas

A transferência do conjunto de ondas do modelo WWIII foi realizada para pontos específicos no interior da Baía de Vitória e Baía do Espírito Santo. Estes conjuntos de dados locais de ondas foram enviados para o TPN/USP como parte do material para integrar estudos de atracação e amarração. As coordenadas desses pontos selecionados estão apresentadas na Tabela e Figuras seguintes.

Tabela 6 - Coordenadas dos pontos para a definição dos conjuntos de onda costeiras.

	PONTO	UTM-X	UTM-Y
Canal da Passagem	P5	365602.01	7755586.75
Curva da Jurema (BES)	P1	365877.79	7753860.65
Baía do Espírito Santo (BES)	P0	368059.58	7754039.18
Baía de Vitória (BVIX)	P2	365707.34	7753207.66
	P3	364891.72	7752744.64
	P4	365532.67	7752294.36

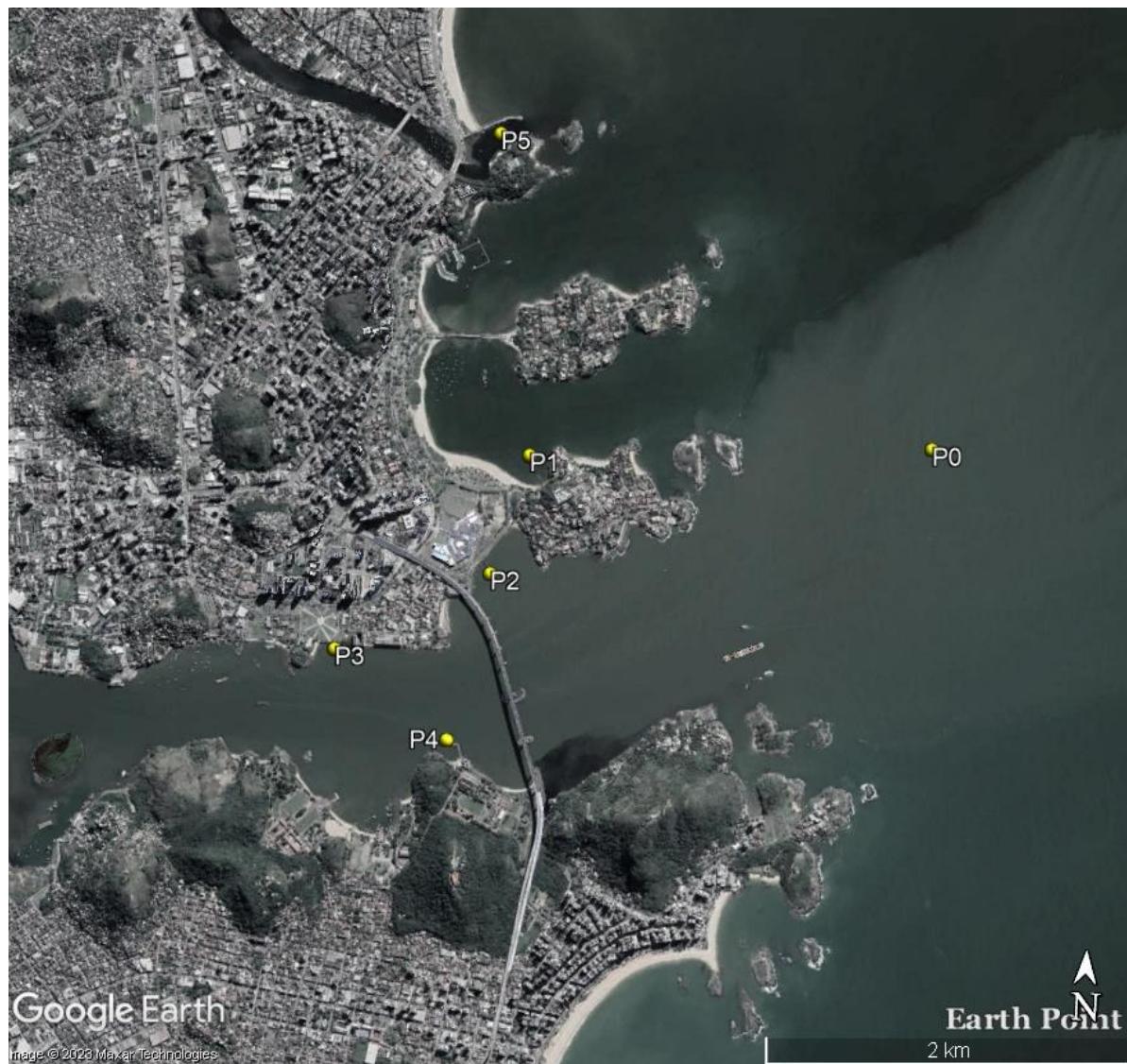
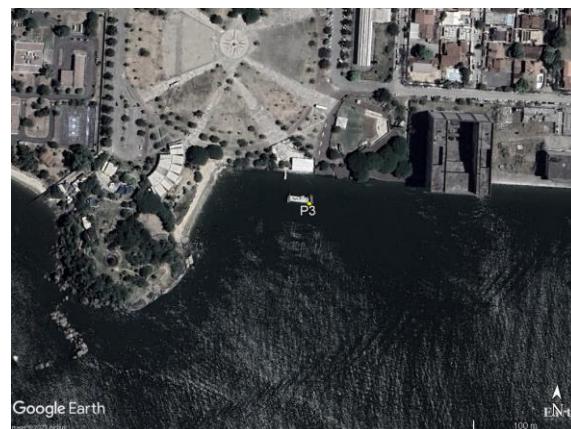


Figura 29 – Localização dos pontos. Imagem Google Earth.





P4



P5



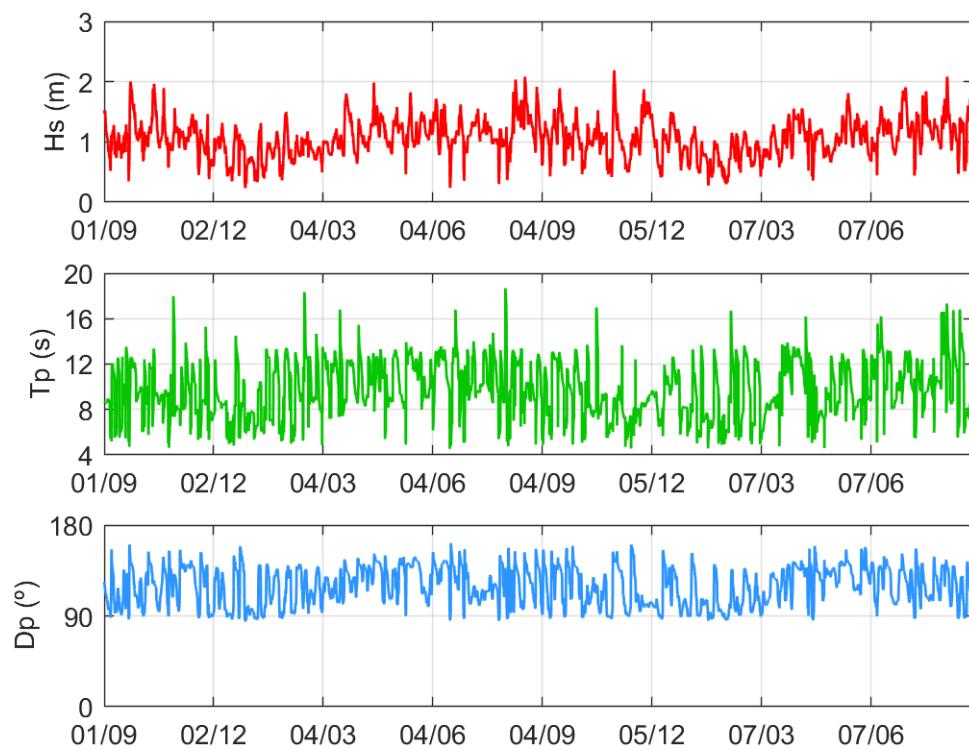
Figura 30 – Localização dos pontos. Imagem Google Earth.

5.6 Resultados

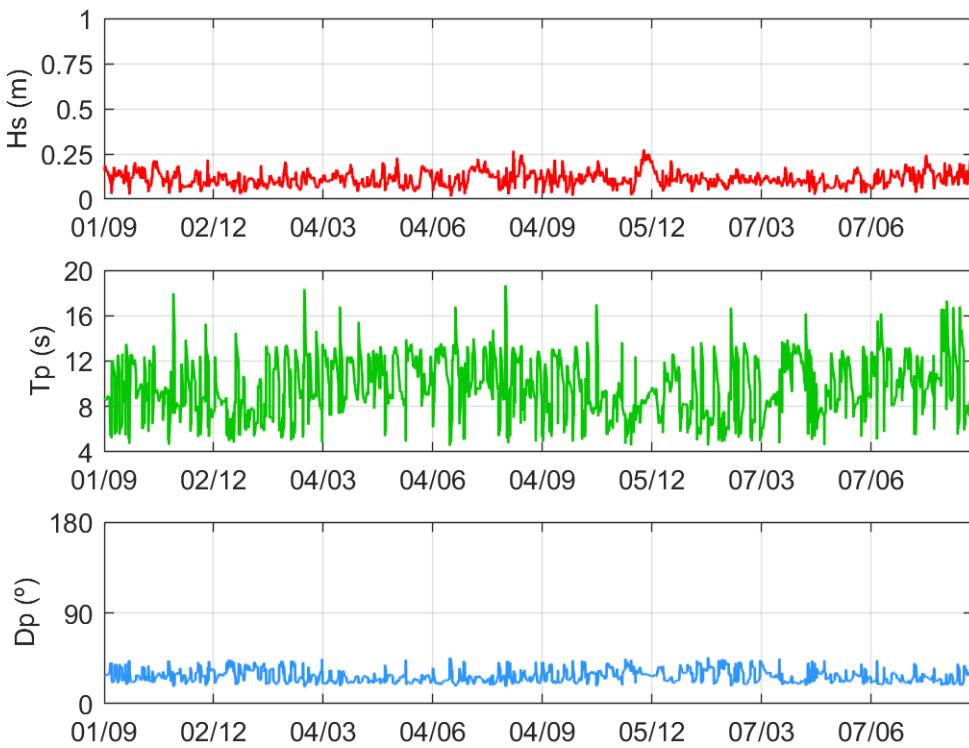
Os conjuntos de ondas obtidos nos pontos localizados nas baías de Vitória e Espírito Santo resultam da transformação e a deformação das ondas ocorrida durante a sua propagação do largo até a costa devido à sua interação com o fundo e as interações onda-onda.

A Figura 31 apresenta as séries temporais dos parâmetros de altura significativa (H_s), período de pico (T_p) e direção de pico (D_p) de 2 anos de dados de ondas (set/2021 a ago/2023), para cada ponto solicitado.

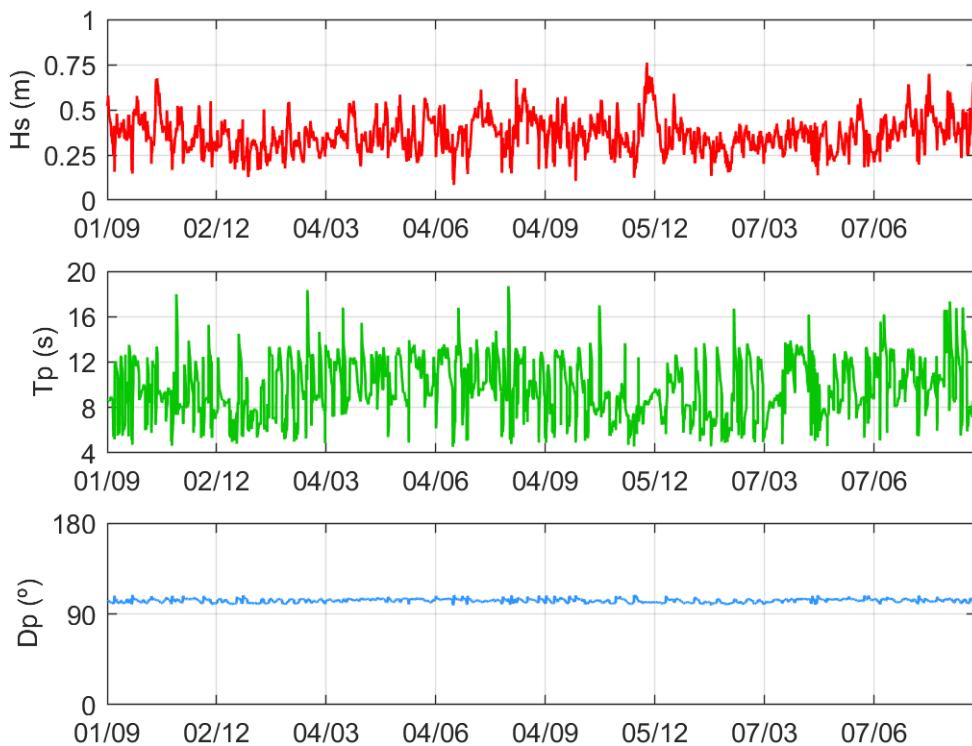
0



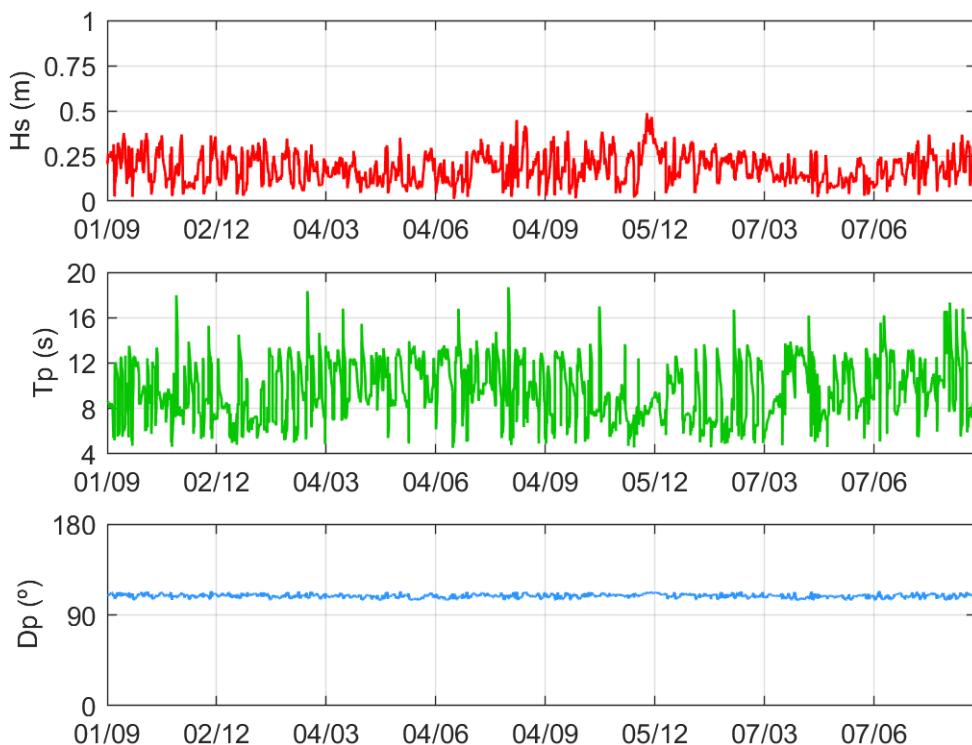
1



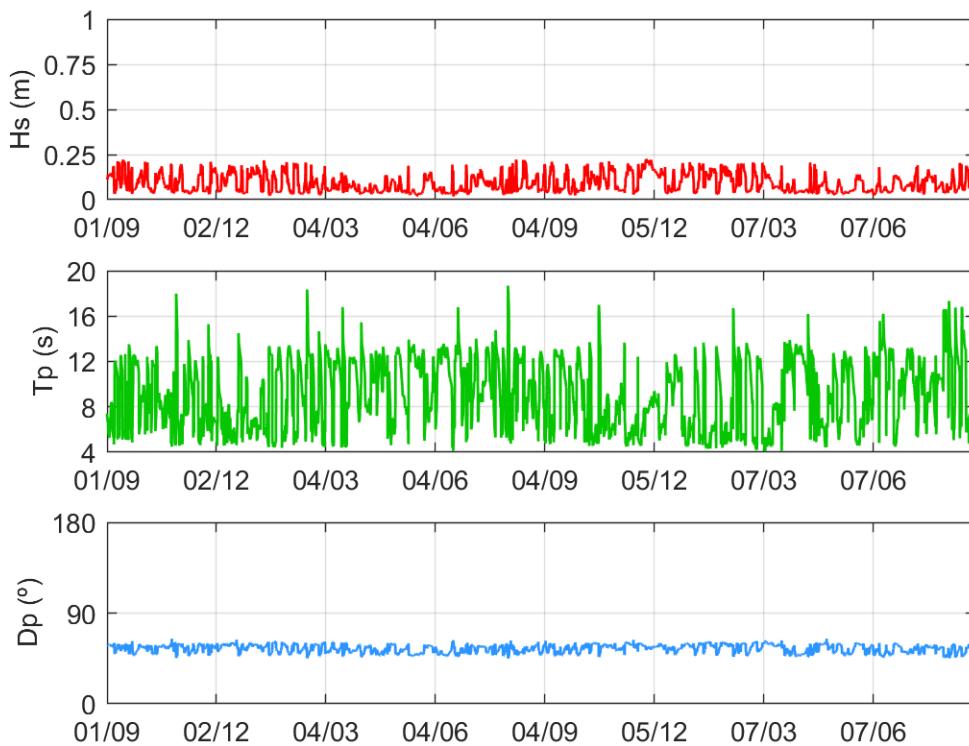
2



3



4



5

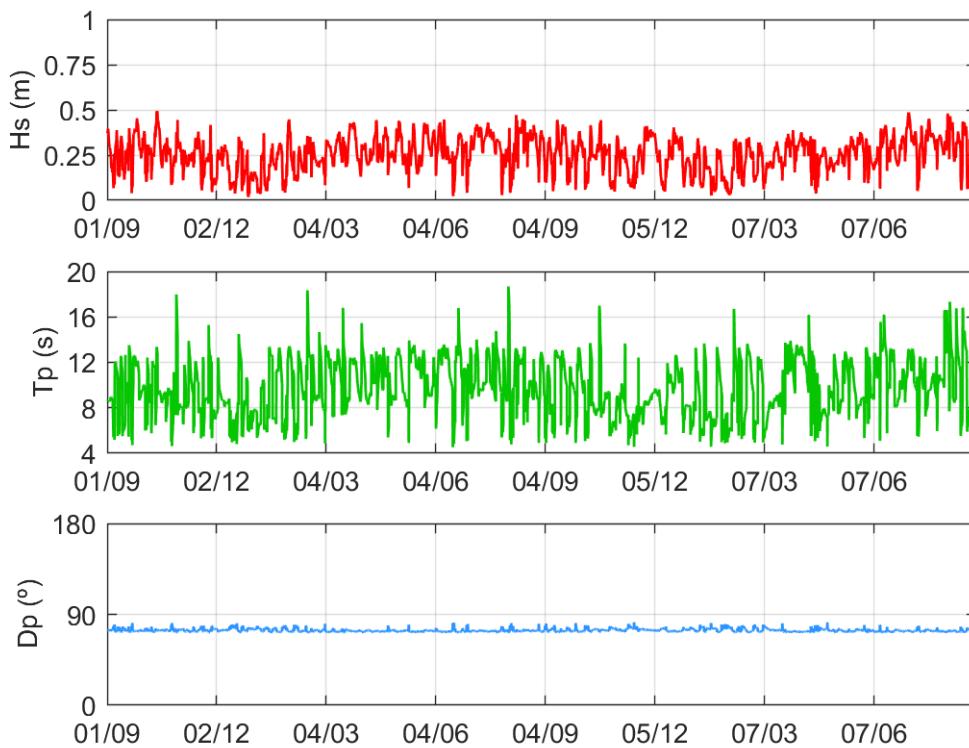


Figura 31 – Séries temporais das ondas nos 6 pontos de interesse referentes ao período de set/2021 a ago/2023.

A Figura 3-2 resume os 2 anos de dados de ondas (set/2021 a ago/2023), para cada ponto solicitado, na forma de histogramas polares de ondas.

Os principais efeitos das interações das ondas durante a sua propagação até os pontos de interesse são a diminuição da altura significativa e a diminuição da gama de direções de proveniência das ondas, além da ausência de alguns setores de proveniência das ondas nos resultados decorrentes das zonas de sombra causadas pela geografia das baías do Espírito Santo e Vitoria.

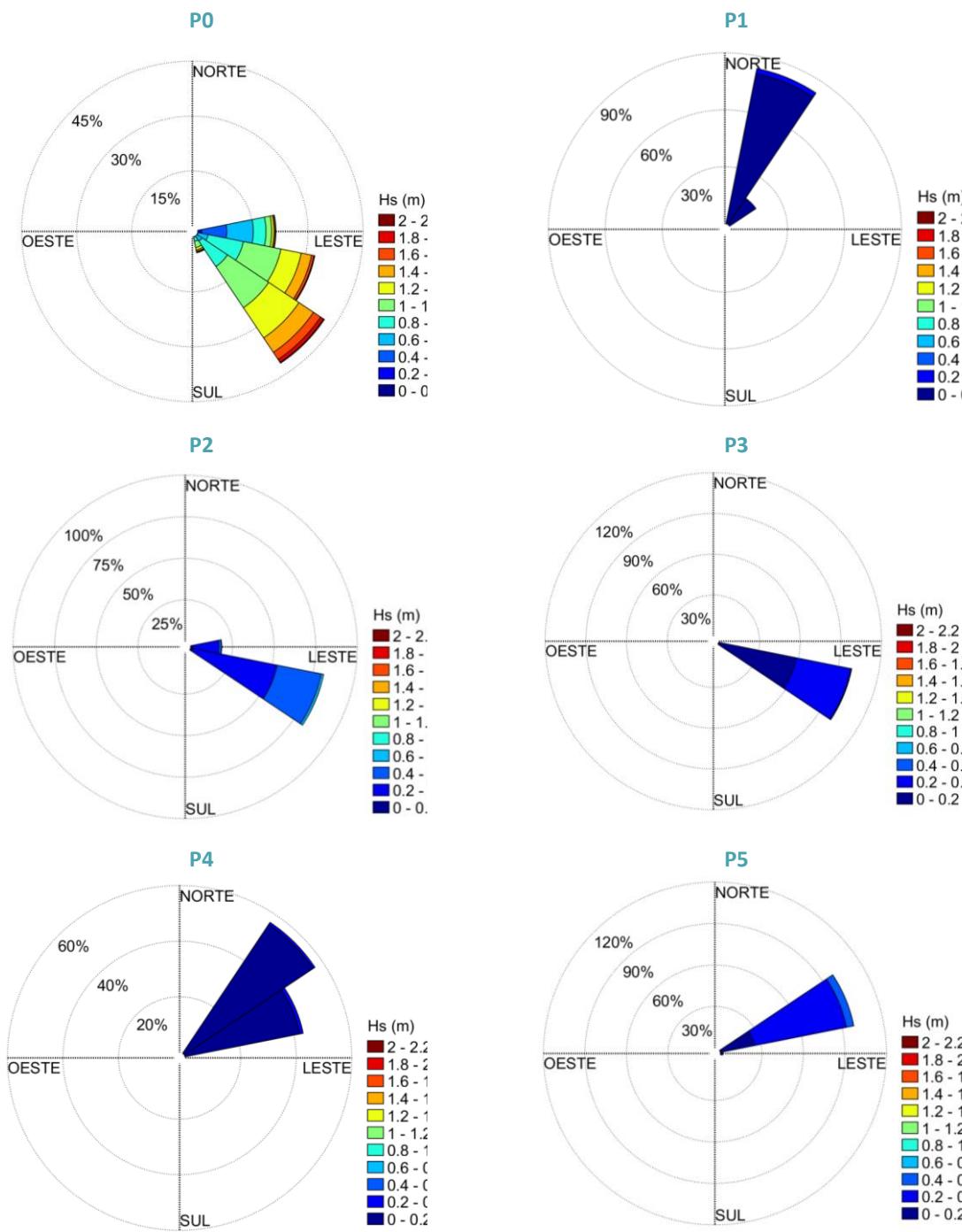


Figura 32 – Histogramas polares das ondas obtidos nos 6 pontos de interesse e referentes ao período de set/2021 a ago/2023 (2 anos).

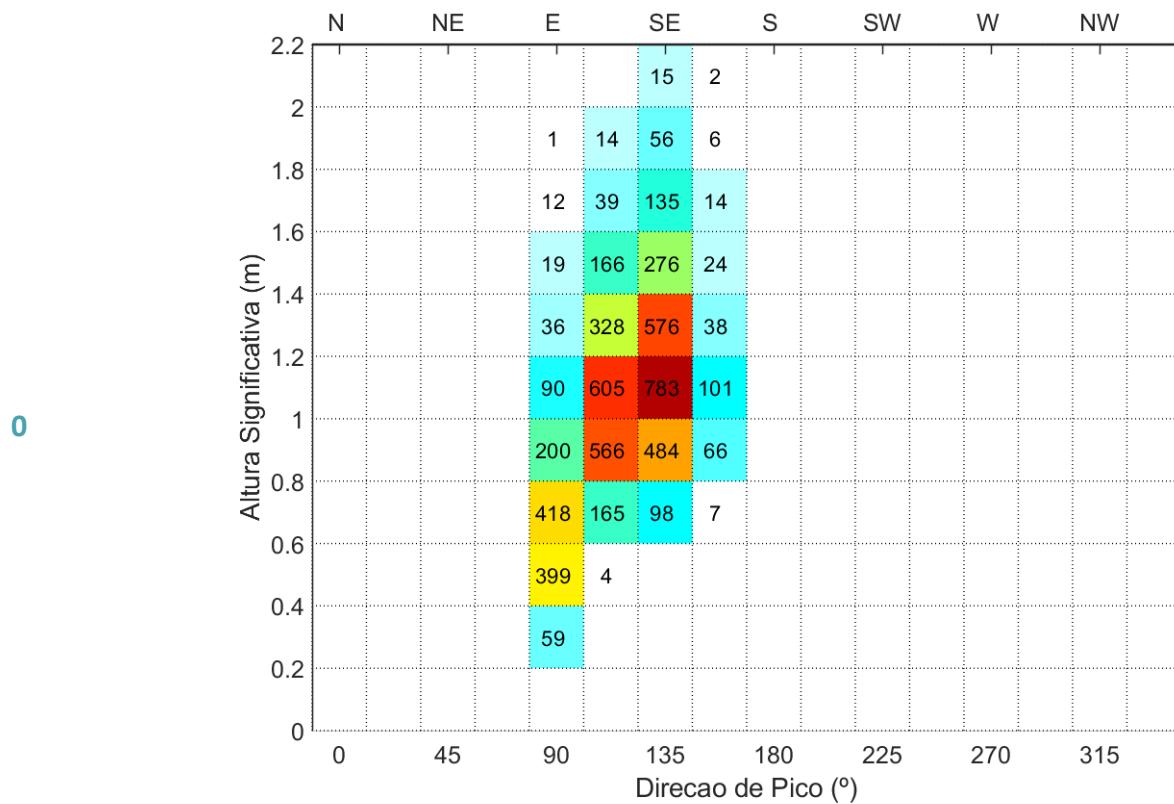
Os resumos das séries temporais em cada ponto dos píeres são apresentados na Tabela seguinte, contendo as médias de Hs, Tp e Tz para cada ponto. Os conjuntos de parâmetros de ondas na forma de

séries temporais, relativos a cada ponto foram enviados ao TPN/USP para o estudo de amarração de embarcações.

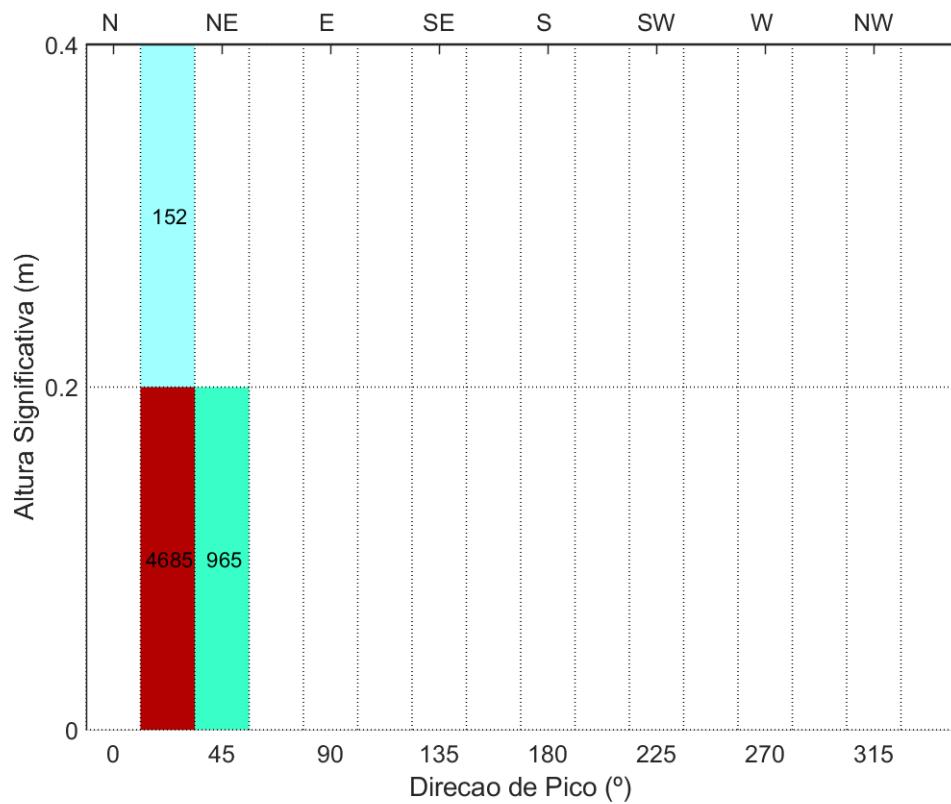
Tabela 7 - Médias de Hs, Tp e Tz das ondas nos 6 pontos de interesse do estudo.

Ponto	Hs (m)	Tp (s)	Tz (s)	Dp (º)
P0	1.06	7.8	9.7	119.7
P1	0.11	8.2	9.7	26.9
P2	0.36	7.7	9.7	103.2
P3	0.18	7.8	9.7	108.8
P4	0.09	5.7	9.1	54.7
P5	0.25	8.6	9.7	74.2

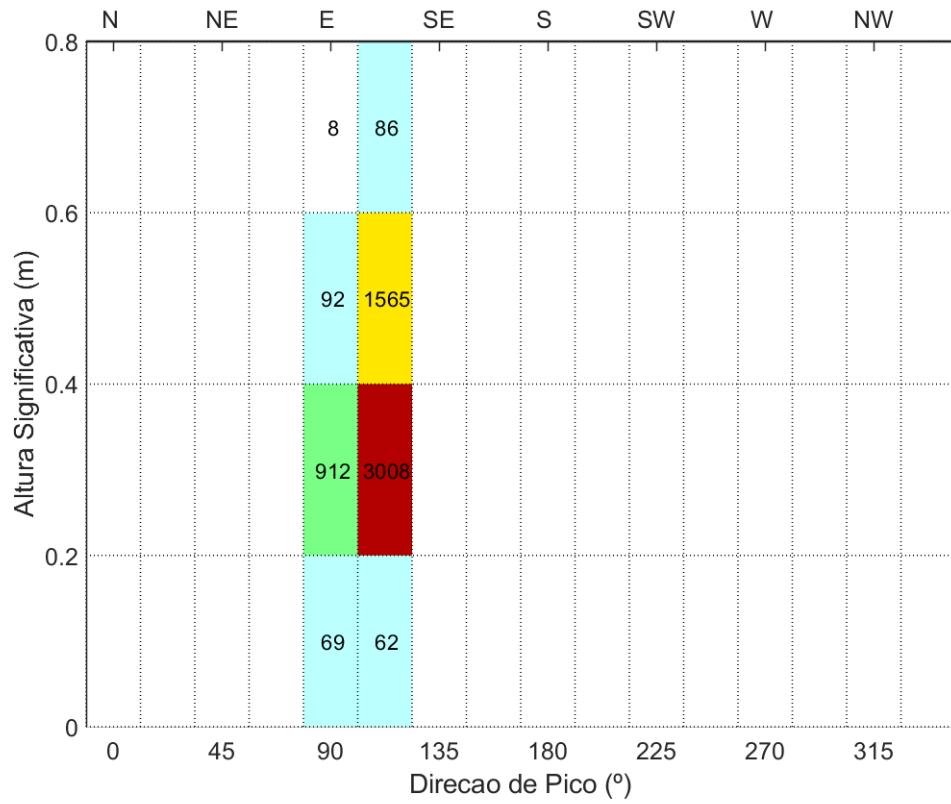
Os diagramas de dispersão, que são associados aos histogramas polares, estão presentes na Figura 33, contendo 2 anos de dados de ondas (set/2021 a ago/2023), para cada ponto solicitado.



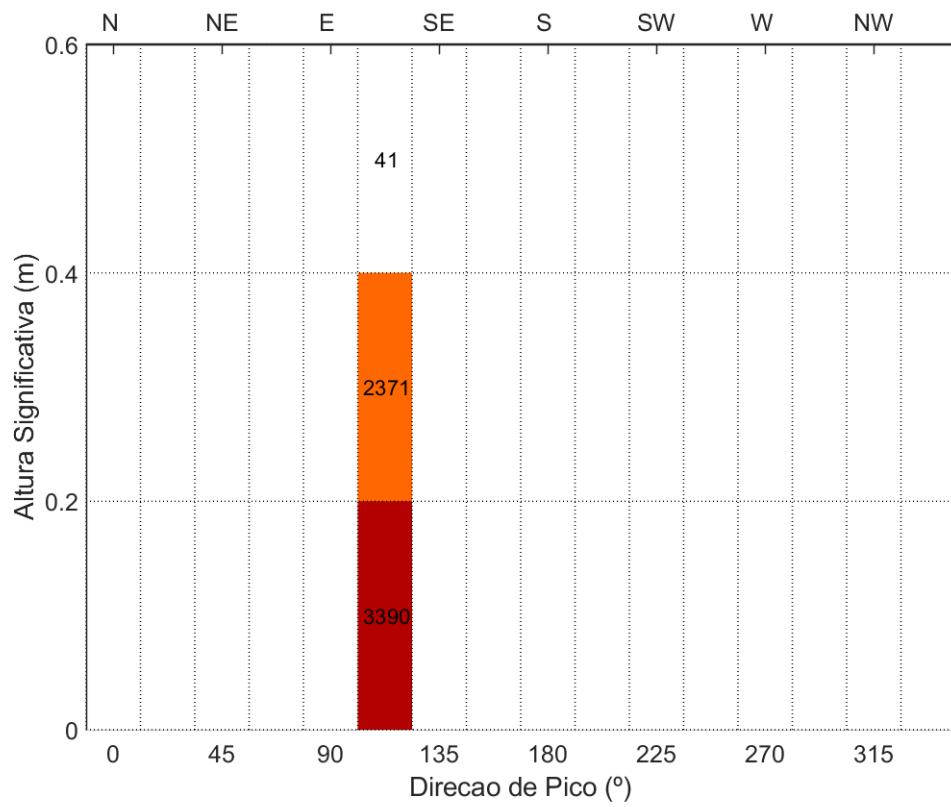
1



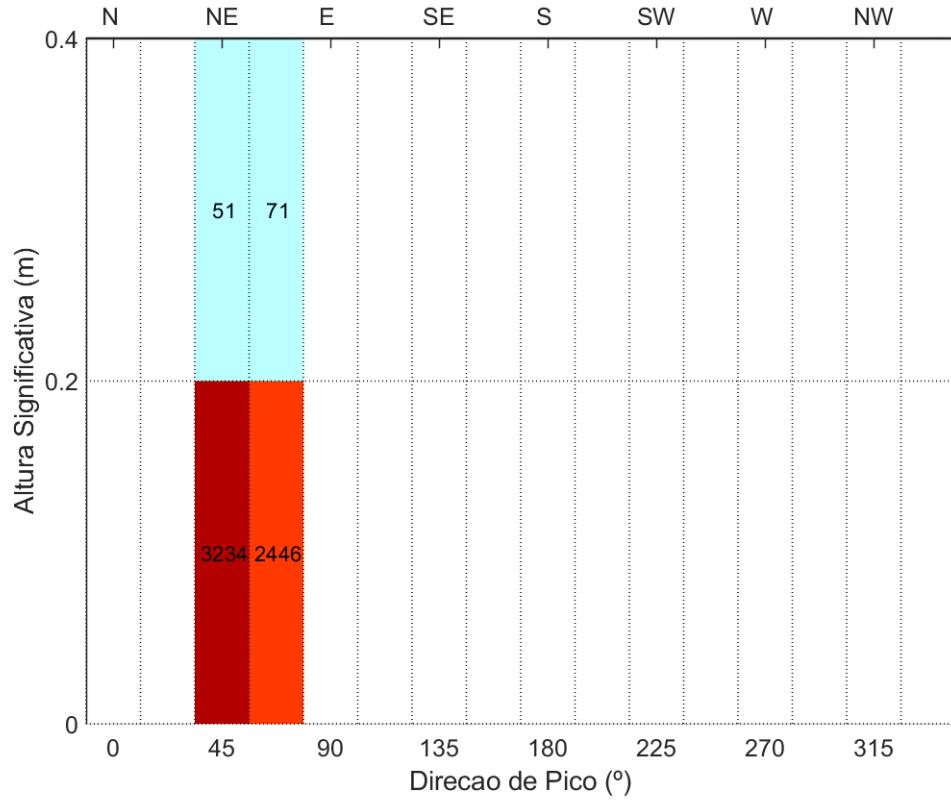
2



3



4



5

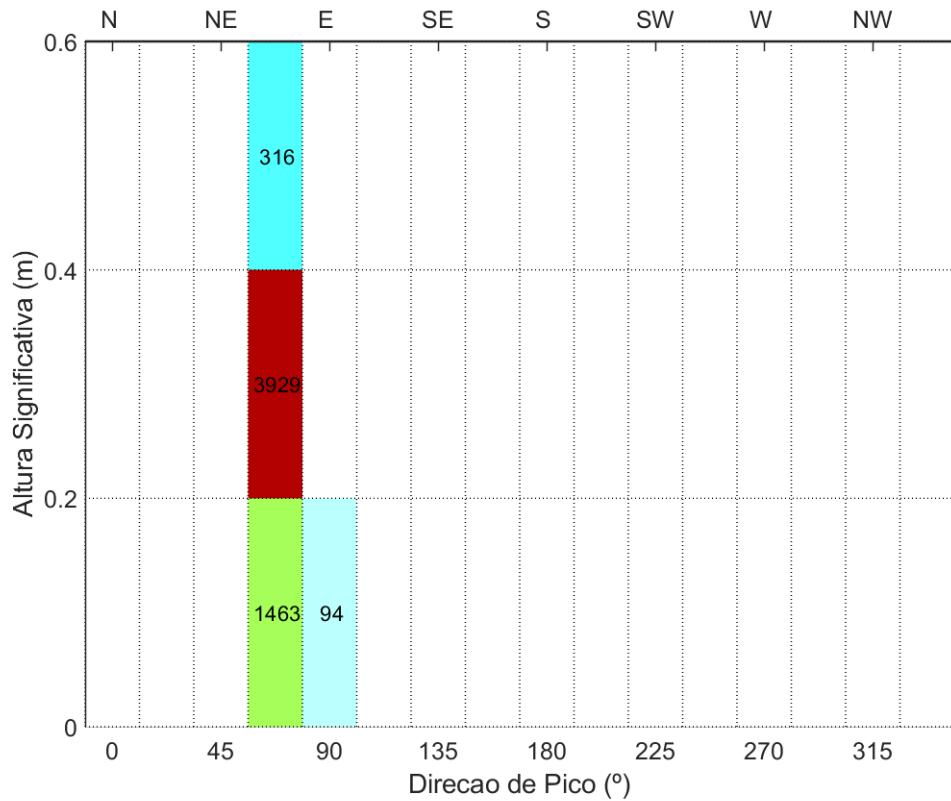


Figura 33 – Diagramas de dispersão das ondas obtidos nos 6 pontos de interesse e referentes ao período de set/2021 a ago/2023 (2 anos).

6 Referências Gerais

BARRERA, R.D. ; SCHIAVETO NETO, L.A. ; VIEIRA, D.P. ; MESQUITA, E.S. ; TANNURI, E.A. . Azimuth stern drive (ASD) vector tugs positioning and towing force prediction during docking, steering and braking maneuvers. APPLIED OCEAN RESEARCH, v. 110, p. 102611, 2021.

DELTARES, 2013. User Manual Delft3D-FLOW. Simulation of Multi-Dimensional Hydrodynamic and Transport Phenomena, Including Sediments. Deltares, Delft, The Netherlands. 702pp.

DELTARES, 2014b. Delft3D-WAVE: Simulation of short-crested waves with SWAN. User Manual, Deltares, Delft, The Netherlands.

DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Disponível em: https://www.mar.mil.br/dhn/chm/cartas/download/cartasbsb/cartas_eletronicas_Internet.htm.

HENSEN H., Tug Use in Ports, A Practical Guide, 2a Edição, The Nautical Institute, 2003.

IALA 1048 Guideline. "The Use of Simulation as a Tool for Waterway Design and AtoN Planning Edition 2.0." 2011.

IMCA, Specification for DP Capability Plots, The International Marine Contractors Association IMCA M140 Rev I Junho, 2000.

PIANC, "Harbour Approach Channels Design Guidelines, Report no 121." 2014.

ROM, "Recommendations for Maritime Works (Spain) ROM 3.1-99: Designing Maritime Configuration of Ports. Approach Channels and Floatation Areas, Spain: CEDEX", 1999.

Tetratech, 2018, Modelagem de Ondas e Hidrodinâmica para Suporte aos Estudos de Manobra no Canal de Acesso ao Porto de Vitória – ES - Modelagem de Ondas e Hidrodinâmica, Relatório Técnico O18118-MOG-01-C, Outubro/2018.

TOLMAN, H. L., 1989: The numerical model WAVEWATCH: a third-generation model for the hindcasting of wind waves on tides in shelf seas. Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Delft Univ. of Techn., ISSN 0169-6548, Rep. no. 89-2, 72 pp.

TOLMAN, H. L., 1999: User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.

**INFORMAÇÕES DO DOCUMENTO**

Documento capturado em 30/04/2024 10:36:19 (HORÁRIO DE BRASÍLIA - UTC-3)
por DILSON HENRIQUE DIAS (ANALISTA DO EXECUTIVO - GEINFRA - SETUR - GOVES)
Valor Legal: CÓPIA SIMPLES | Natureza: DOCUMENTO NATO-DIGITAL

A disponibilidade do documento pode ser conferida pelo link: <https://e-docs.es.gov.br/d/2024-SK9ZX5>