



# Nota Técnica

## Diagnóstico Meteoceanográfico Complementar da Expansão do Imetame Logística Porto (ES)

---

Cliente: IMETAME LOGÍSTICA

NT OD 2026-271 | MAR 2026

---

OceanoDigital 



**Nota Técnica:**

Diagnóstico Meteoceanográfico Complementar  
da Expansão do Imetame Logística Porto (ES)  
Aracruz, ES

**Cliente:**

IMETAME Logística Porto

**Equipe Técnica:**

Alexandre Braga Coli  
[Oceanógrafo, PhD em Engenharia Costeira]

**OceanoDigital**

# INDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. ASPECTOS CLIMÁTICOS E METEOROLÓGICOS</b>	<b>4</b>
2.1 Temperatura do Ar	7
2.1.1 Sensação Térmica	10
2.1.2 Radiação Solar	10
2.2 Pressão Atmosférica	12
2.3 Precipitação	15
2.3.1 Umidade Relativa do Ar	18
2.4 Ventos	19
2.4.1 Ventos na Região Marinha de Aracruz	20
2.4.1.1 Caracterização Sazonal dos Ventos	22
2.4.2 Ventos na Região Costeira	24
2.4.2.1 Caracterização Sazonal dos Ventos	26
2.4.3 Comparação dos Ventos na Região Marinha e Costeira	28
<b>3. OCEANOGRAFIA FÍSICA</b>	<b>31</b>
3.1 Marés	31
3.1.1 Maré Astronômica	31
3.1.2 Maré na Região Costeira (Portocel)	33
3.1.3 Maré na Região Marinha (ADCP Renova)	36
3.2 Correntes	39
3.2.1 Correntes na Região Marinha (ADCP Renova)	40
3.2.2 Correntes na Região Costeira (ADCP Podas)	45
3.2.3 Circulação Hidrodinâmica	50
3.2.4 Conclusão	50
3.3 Ondas	56
3.3.1 Ondas na Região Marinha (WWIII)	56
3.3.1.1 Caracterização Sazonal das Ondas	59
3.3.2 Ondas na Região Marinha (ADCP Renova)	60
3.3.3 Ondas na Região Costeira (ADCP Podas)	65
3.3.4 Propagação das ondas	69
3.3.5 Conclusão	71

4. ANÁLISE INTEGRADA 72

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

## PREÂMBULO

Esta Nota Técnica contém a caracterização meteoceanográfica realizada pela Oceano Digital para atender os Escopos 05 e 06 da especificação técnica ET-IL-MA-2505-01-175\_Modelagem\_Novo\_BF\_v0 da Imetame Logística visando complementar os estudos ambientais da expansão do Imetame Logística Porto em Aracruz, ES.

### **Escopo 05 - Aspectos Climáticos e Meteorológicos**

Diagnóstico dos padrões climáticos e meteorológicos da região, com ênfase na análise do regime de ventos (direção, intensidade e sazonalidade) com base em séries temporais representativas. Serão utilizadas estações meteorológicas locais e, se necessário, dados de reanálise validados, com apresentação de estatísticas e rosas dos ventos.

### **Escopo 06 - Oceanografia Física**

Caracterização das condições oceanográficas, incluindo marés, correntes e ondas, considerando sua variação sazonal e influência na dinâmica costeira. A análise abrangerá padrões de circulação, altura e direção de ondas, e será baseada em dados primários (se disponíveis), complementados com bases de dados secundárias validadas.

# 1 Introdução

Este diagnóstico ambiental é baseado nos dados primários fornecidos pelo Imetame Logística Porto, complementados pela utilização de bancos de dados oficiais (dados secundários) e pelos resultados obtidos dos estudos de modelagem realizados pela Oceano Digital especificamente para essa etapa do empreendimento (Oceano Digital, 2026a; 2026b).

Os dados e estudos utilizados para a caracterização climatológica, meteorológica e oceanográfica estão resumidos na Tabela 1-1 e são detalhados e discutidos nas seções 2, 3 e 4 desta Nota Técnica. Os locais de origem dos dados e medições *in situ* utilizados nos estudos de caracterização meteoceanográfica marinha e costeira estão presentes na Figura 1-1.

Os parâmetros meteorológicos analisados para a composição da climatologia foram a temperatura, sensação térmica, pressão atmosférica, umidade relativa, precipitação, radiação solar e ventos (intensidade e direção). Os parâmetros descritores do clima foram caracterizados por meio de 19 anos de dados da estação meteorológica do INMET em Linhares (2007 a 2025). Os ventos foram caracterizados utilizando-se 30 anos de dados obtidos pelo modelo GFS (*Global Forecast System*) para um ponto próximo ao Imetame Logística Porto e foram complementados pela análise dos ventos medidos na Estação Meteorológica da Portocel (19 anos). As análises são acompanhadas das caracterizações do clima e normais climatológicas de INCAPER (2024) e INMET (2022).

A maré astronômica foi caracterizada por meio das constantes harmônicas calculadas no Porto de Barra do Riacho (Portocel) e disponibilizadas pela Marinha do Brasil, complementada por medições de nível de água realizadas por um marégrafo instalado no cais da Portocel e pelos dados medidos por um instrumento ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) instalado na região marinha da plataforma continental interna de Aracruz.

As correntes foram caracterizadas a partir da análise de dados secundários de medições de dois instrumentos ADCP instalados na região costeira próxima à Imetame e na região marinha de Aracruz. Os campos hidrodinâmicos de verão e inverno foram obtidos a partir de modelagem numérica hidrodinâmica efetuada especificamente para este estudo (Oceano Digital, 2026a, 2026b).

As ondas foram caracterizadas com base na análise do regime de ondas derivado de uma série de 30 anos de dados obtidos do modelo WWIII (*Wavewatch III*), num ponto próximo ao Imetame Logística Porto. A caracterização das ondas a partir de medições foi efetuada por análises das alturas, períodos e direções de ondas medidas na região costeira próxima a Imetame e na região marinha da plataforma continental interna de Aracruz, complementada pelos campos de propagação de ondas obtidos de simulação

numérica da propagação de ondas para a região costeira efetuados especificamente para este estudo (Oceano Digital, 2026a, b).

**Tabela 1-1. Base de dados oceanográficos utilizados, períodos de aquisição, localização e profundidade (ZH).**

Dados	Fonte/Origem	Nome Estação	Período dos Dados	Localização (UTM)	Prof. (m)
VENTOS	Modelo GFS Dados Secundários	Aracruz	01/06/1995 a 31/05/2025	395390.7 7788206.4	-
VENTOS	Imetame/Portocel Dados Primários	Portocel	01/06/2006 a 30/09/2025	389484.5 7804681.0	-
MARÉS	Marinha do Brasil Dados Secundários (FEMAR, 2000)	Barra do Riacho (Portocel)	10/06/1976 a 11/07/1976	388979.4 7805855.3	-
MARÉS	Dados Secundários (Oceano Digital, 2025)	Marégrafo Portocel	01/09/2023 a 30/09/2025	389464.0 7805521.0	6
MARÉS	FEST / Poseidon / UFES Dados Primários	ADCP Renova	22/07/2020 A 30/08/2020	399721.2 7790168.6	39
MARÉS	FEST / Poseidon / UFES 'Dados Primários	ADCP Renova	21/01/2021 a 01/03/2021	399721.2 7790168.6	39
CORRENTES	Dados Secundários (Oceano Digital, 2025) Modelagem Numérica (Oceano Digital, 2026a, 2026b)	Região Marinha e Costeira	Cenários de Verão e Inverno	Regência e Aracruz	-
CORRENTES	FEST / Poseidon / UFES Dados Primários	ADCP Renova	22/07/2020 a 30/08/2020	399721.2 7790168.58	39
CORRENTES	FEST / Poseidon / UFES Dados Primários	ADCP Renova	21/01/2021 a 01/03/2021	399721.2 7790168.58	39
CORRENTES	Dados Secundários (Oceano Digital, 2025)	ADCP PODAS	01/09/2023 a 30/09/2025	390219.0 7806084.3	11
ONDAS	Dados Secundários (Oceano Digital, 2025) Modelagem Numérica (Oceano Digital, 2026b)	Região Marinha e Costeira	Cenários de Propagação de Onda	Regência e Aracruz	-
ONDAS	Modelo WWIII Dados Secundários	WWIII	1995 a 2025 (30 anos)	395390.7 7788206.4	41
ONDAS	Dados Secundários (Oceano Digital, 2025)	ADCP PODAS	01/09/2023 a 30/09/2025	390219.0 7806084.3	11
ONDAS	FEST / Poseidon / UFES Dados Primários	ADCP Renova	22/07/2020 a 30/08/2020	399721.2 7790168.58	39
ONDAS	FEST / Poseidon/UFES Dados Primários	ADCP Renova	21/01/2021 a 01/03/2021	399721.2 7790168.58	39

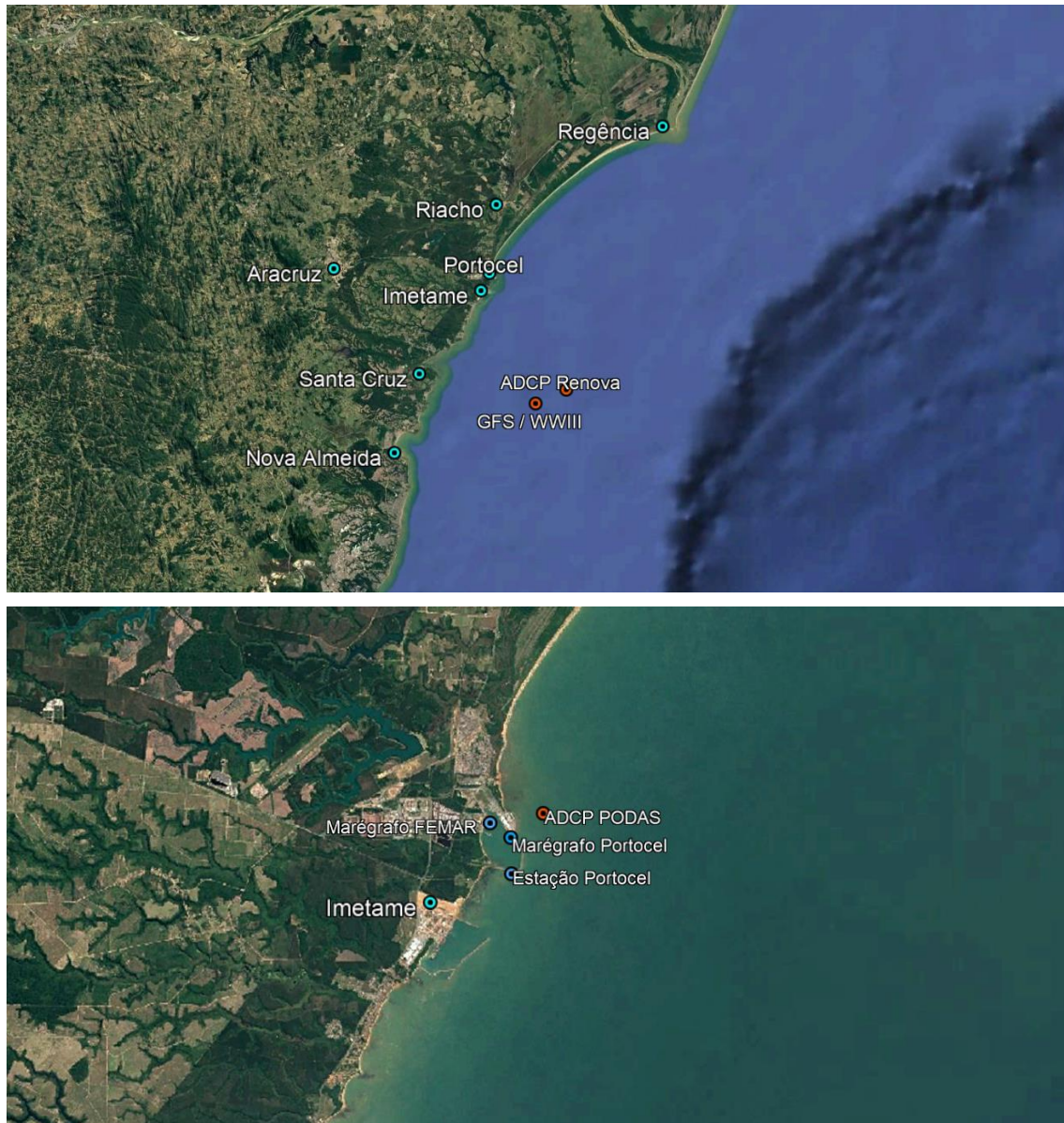


Figura 1-1. Locais de origem das fontes de dados para os estudos de caracterização da hidrodinâmica costeira e regime de ventos. Imagem Google Earth.

A Oceano Digital agradece à Fundação Espírito-Santense de Tecnologia (FEST), por meio do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, relativo à Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente (PMBA/RRDM), e ao Laboratório de Oceanografia Física da Universidade Federal do Espírito Santo (Poseidon/UFES), pela disponibilização dos dados de ADCP da região marinha de Aracruz, utilizados neste diagnóstico.

## 2 Aspectos Climáticos e Meteorológicos

A região sudeste do Brasil, é uma região de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e equatoriais e os climas temperados das latitudes médias, segundo Nimer (1989). O clima do Espírito Santo possui uma sazonalidade apresentando duas estações distintas e bem definidas, um verão úmido e quente e um inverno seco e ameno, sendo o outono e a primavera estações intermediárias.

A grande quantidade de energia solar, que atinge a região durante todo o ano, origina um inverno com temperaturas amenas. Nesta estação, predomina a atuação do Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a formação de frentes frias, que não proporcionam fortes chuvas no inverno por causa da baixa umidade existente nesta região justamente pelo posicionamento do ASAS mais próximo do continente (Cupolillo, 2008). No verão, o ASAS está posicionado mais distante da costa, na região oceânica e ocorrem mais movimentos convectivos (chuva) provenientes, principalmente, da formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que se estende desde o sul e leste da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul (Carvalho *et al*, 2004).

Segundo a classificação de Novais (2023), a região litorânea centro-norte do Espírito Santo, onde está o Imetame Logística Porto, se posiciona na Zona Climática Litorânea e enquadra no Domínio Climático Tropical Seco (Figura 2-1), que está relacionado com variáveis estatísticas de temperaturas médias do mês mais frio (TMMMMF) maiores que 18°C e mais de 8 meses considerados secos (relação entre precipitação e evapotranspiração).

Nesse contexto, a meteorologia e a climatologia foram obtidas a partir das análises dos parâmetros de temperatura do ar, sensação térmica, radiação solar, pressão atmosférica, precipitação, umidade relativa do ar e ventos (intensidade e direção) presentes na região de estudo. Todos esses parâmetros climatológicos foram caracterizados por meio de 19 anos de dados da estação meteorológica do INMET em Linhares (2007 a 2025), complementadas pelo do Atlas Climatológico do Incaper para o Espírito Santo (INCAPER, 2024) e pelos Mapas Climatológicos do INMET para o Brasil (INMET, 2022).

A localização da estação meteorológica A614 do INMET, em Linhares, onde foi realizada a medição dos parâmetros meteorológicos *in situ* está ilustrada na Figura 2-1 e as informações são reapresentados na Tabela 2-1.

**Tabela 2-2. Coordenadas dos locais de obtenção dos dados climatológicos.**

	Local	Data Início	Data Fim	Coordenadas	Alt. (m)
<b>Estação INMET</b>	Linhares	01/01/2007	31/12/2025	387758.4 7859332.1	40

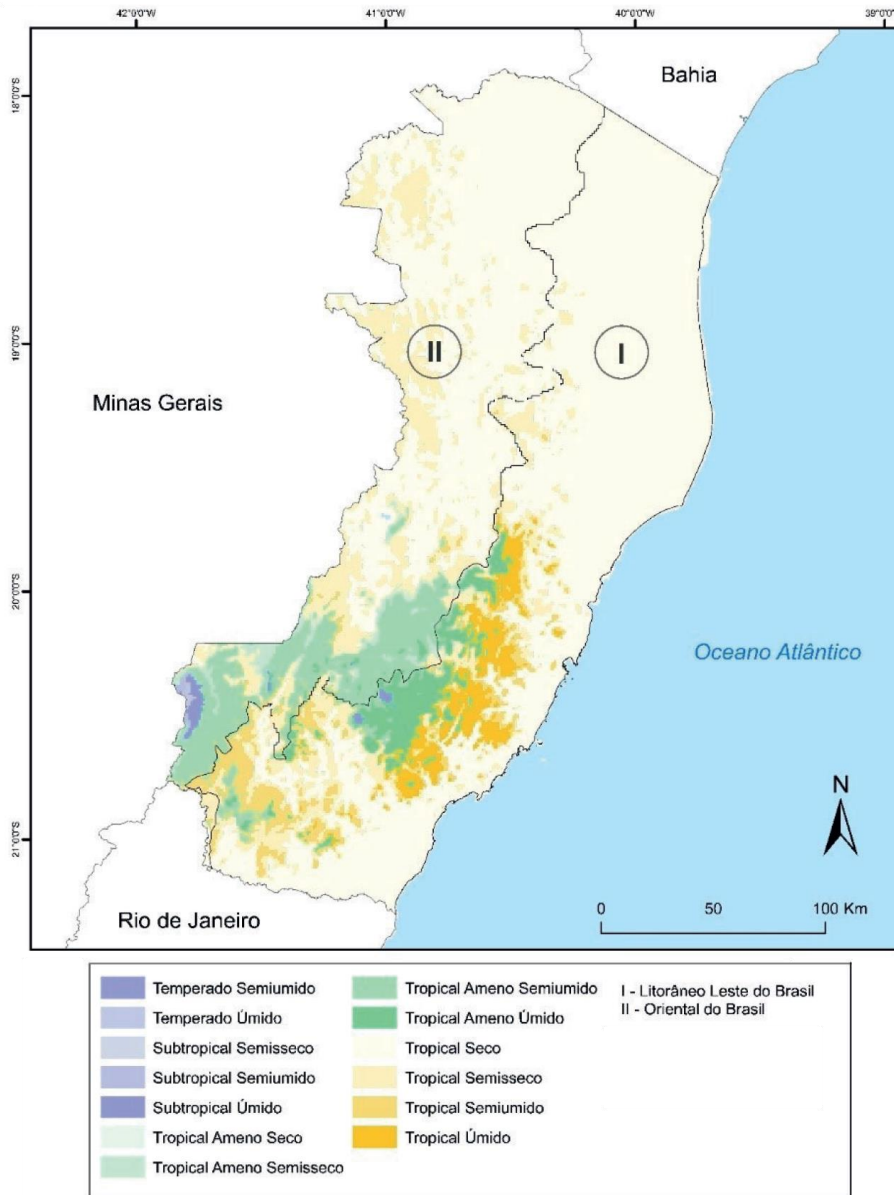


Figura 2-1. Subdomínios e tipos climáticos do Espírito Santo (Novais, 2023).

Os ventos foram caracterizados por meio das análises de 30 anos de dados, obtidos pelo modelo GFS (*Global Forecast System*) na região marinha próxima ao Imetame Logística Porto e 19 anos de parâmetros de velocidade e direção obtidos na estação meteorológica localizada no Terminal de Barra do Riacho (Portocel).

Os locais de obtenção dos parâmetros de vento de modelo GFS e dos dados medidos *in situ* na da estação meteorológica da Portocel estão ilustrados na Figura 1-1, e estão presentes na Tabela 2-2. Os parâmetros meteorológicos de todo o conjunto de medições realizadas na estação meteorológica do INMET de Linhares (pressão atmosférica, temperatura, radiação solar, umidade relativa, precipitação, sensação térmica) estão presentes nas séries temporais da Figura 2-2 e são discutidos nos tópicos a seguir.

Tabela 2-2. Coordenadas dos locais de obtenção dos dados de ventos.

	Local	Data Início	Data Fim	Coordenadas	Alt (m)
Modelo GFS	Aracruz	01/06/1995	31/05/2025	395390.7 7788206.4	10
Estação Portocel	Portocel	01/06/2006	30/09/2025	389484.5 7804681.0	16.4

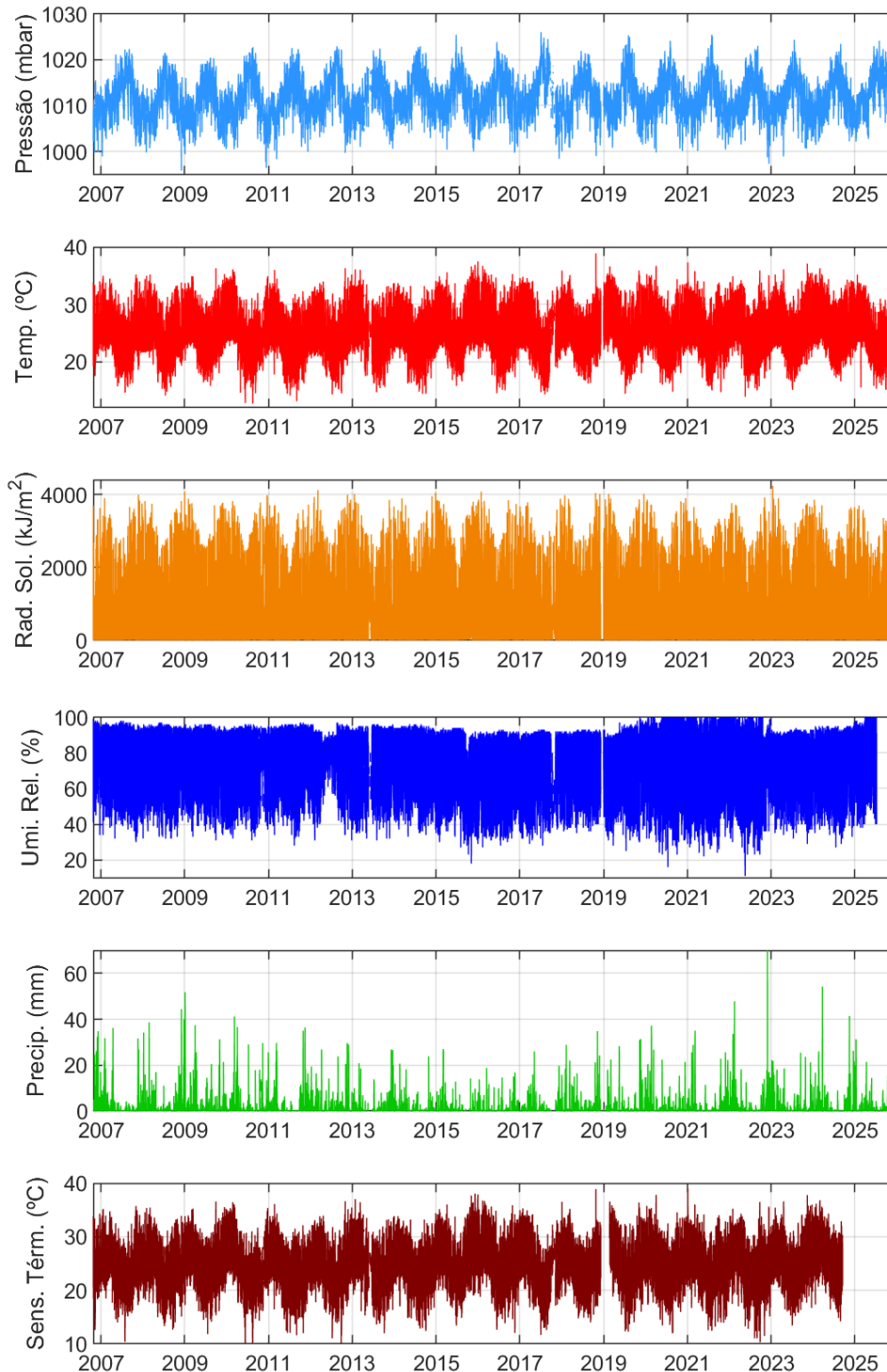
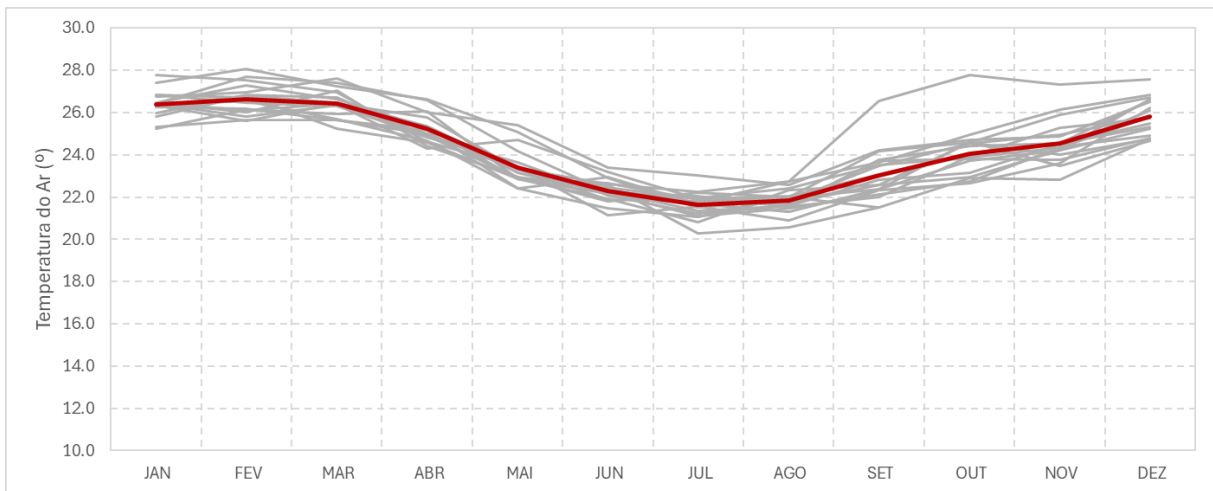


Figura 2-2. Séries temporais dos 19 anos de parâmetros meteorológicos medidos na estação do INMET de Linhares.

## 2.1 Temperatura do Ar

A temperatura do ar medida na estação meteorológica de Linhares apresentou uma variação mensal ao longo de todo o período analisado (Figura 2-1). Os valores médios de temperatura de todos os 19 anos de medições realizadas *in situ* estão presentes na Figura 2.1-1, com a linha da média das temperaturas mensais em destaque, indicando uma variação mensal média de temperatura entre 21.7° (julho) e 26.6° (fevereiro). Como esperado, as temperaturas médias mais altas foram medidas nos meses de verão e as mais baixas, nos meses de inverno.



**Figura 2.1-1. Variação das médias mensais dos 19 anos de temperaturas medidas na estação de Linhares (em cinza) e a média das temperaturas mensais de todo o conjunto (em vermelho).**

O histograma contendo do conjunto de dados de temperatura do ar medidos na estação de Linhares está presente na Figura 2.1-2. As temperaturas mais frequentes estiveram entre 22 e 26°C, somando 45.3% do total de dados analisados. A média anual foi de 24.2°, com desvio padrão de 3.5°.

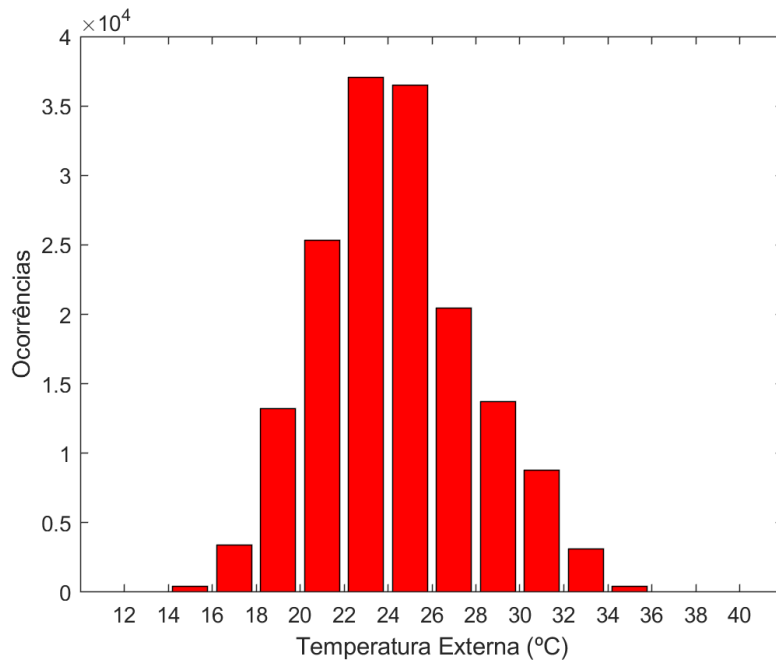


Figura 2.1-2. Histograma da temperatura do ar medida na estação de Linhares (2007 a 2025).

Os campos de temperatura do ar no Espírito Santo foram calculados pelo Incaper com base nos dados medidos em campo e são fornecidos no seu Atlas climatológico (Incaper, 2024), conforme reproduzido na Figura 2.1-3.

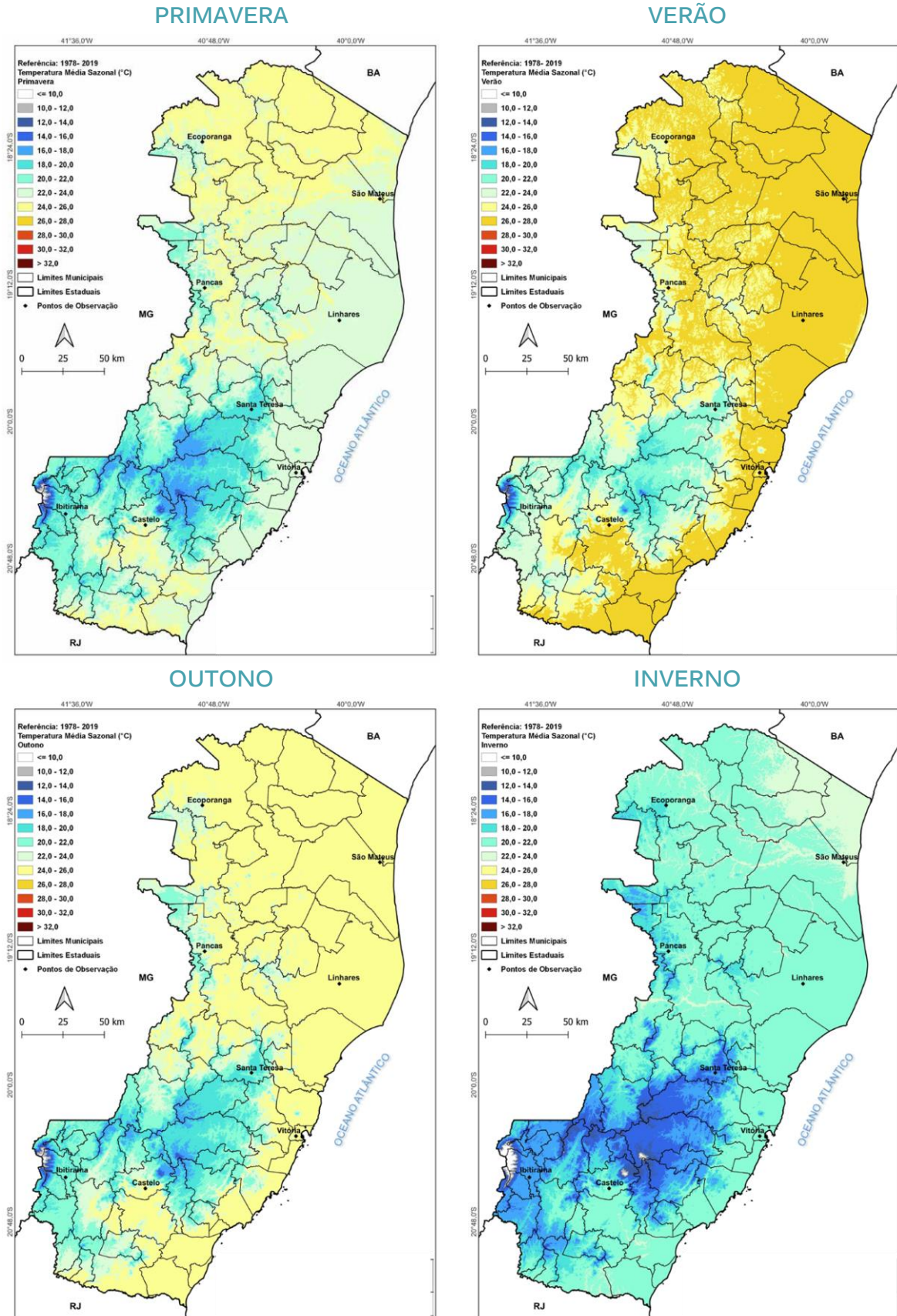


Figura 2.1-3. Campos de temperaturas médias medidas no Espírito Santo entre 1978 e 2019. Fonte: Incaper, 2024.

### 2.1.1 Sensação Térmica

A sensação térmica está associada à temperatura do ar, umidade e velocidade do vento, apresentando valores um pouco menores que a temperatura do ar ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ), com médias variando entre  $20.4^{\circ}$  (julho) e  $25.8^{\circ}$  (março). A Figura 2.1.1-1 ilustra os valores médios de temperatura de todos os 19 anos de medições realizadas *in situ*, com a linha da média das temperaturas mensais em destaque.

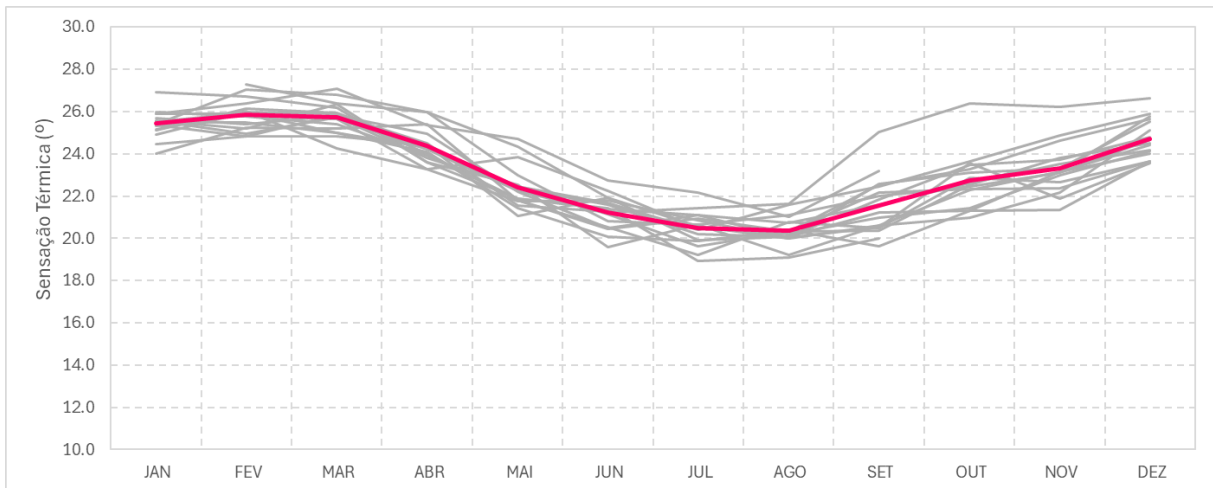


Figura 2.1.1-1. Variação das médias mensais de sensação térmica obtida a partir das medições realizadas na estação de Linhares (em cinza) e a média de todo o conjunto de dados (em vermelho).

### 2.1.2 Radiação Solar

A radiação solar está relacionada à temperatura do ar, na medida que o sol é a principal fonte de calor latente. A radiação solar medida na estação meteorológica de Linhares apresentou um comportamento semelhante à temperatura, conforme o esperado, com maior insolação nos meses de verão e menores valores nos meses de inverno. Os valores médios variaram de  $495$  (julho) a  $610$   $\text{kJ}/\text{m}^2$  (fevereiro). A Figura 2.1.2-1 ilustra a variação mensal dos valores de radiação solar dos 19 anos de medições *in situ*, com a linha da média das radiações solares mensais em destaque. No gráfico, os anos descartados da média estão presentes e são as linhas com valores mais baixos.

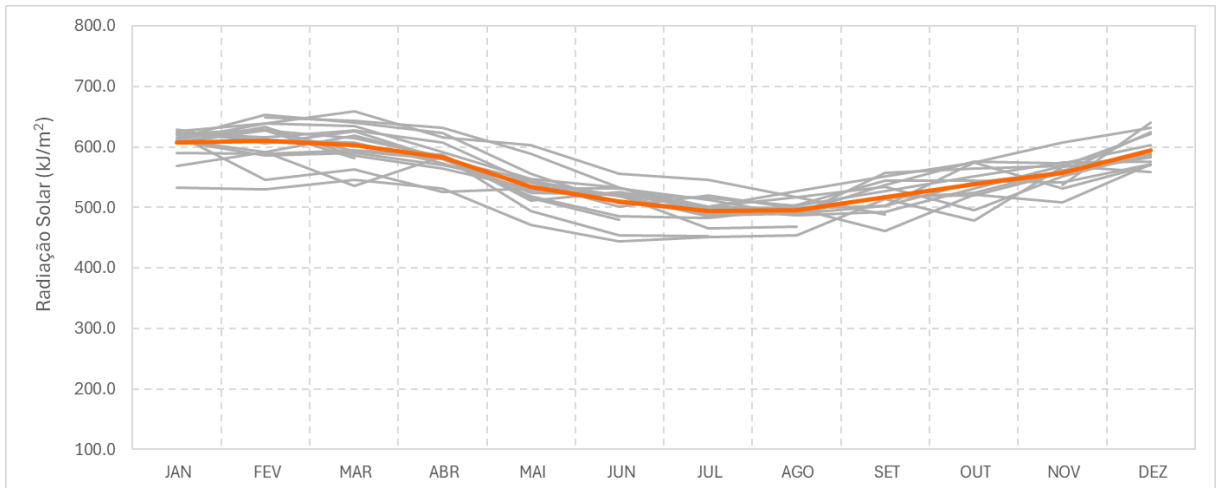


Figura 2.1.2-1. Variação das médias mensais dos 19 anos de radiação solar medidas na estação de Linhares (em cinza) e a média de todo o conjunto de dados (em laranja).

O histograma contendo do conjunto de dados de radiação solar medidos na estação de Linhares está presente na Figura 2.1.2-2. Os intervalos de radiação solar mais frequentes foram estiveram entre 500 e 600 kJ/m<sup>2</sup>, com 46.5% do total de dados analisados. A média anual foi de 555.0 kJ/m<sup>2</sup>, com desvio padrão de 51.4 kJ/m<sup>2</sup>.

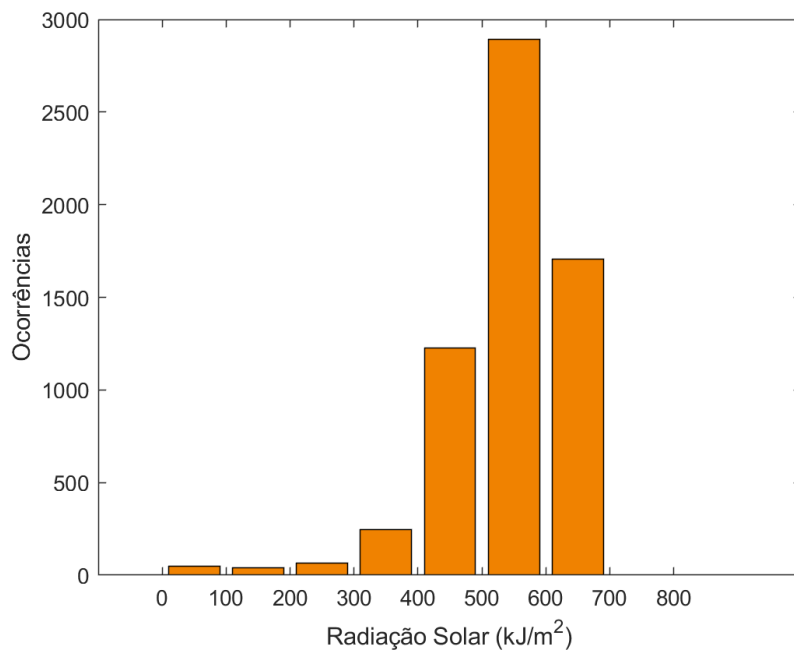


Figura 2.1.2-2. Histograma da radiação solar medida na estação de Linhares (2007 a 2025).

## 2.2 Pressão Atmosférica

A pressão atmosférica medida na estação meteorológica de Linhares apresentou uma variação mensal ao longo de todo o período analisado (Figura 2-1). A Figura 2.2-1 ilustra a variação mensal dos valores de pressão atmosférica dos 19 anos de medições *in situ*, com a linha da média das pressões mensais em destaque e valores médios entre 1008.4 mb (julho) e 1016.2 mb (dezembro). As pressões atmosféricas apresentaram médias mais altas nos meses de inverno e mais baixas nos meses de verão.

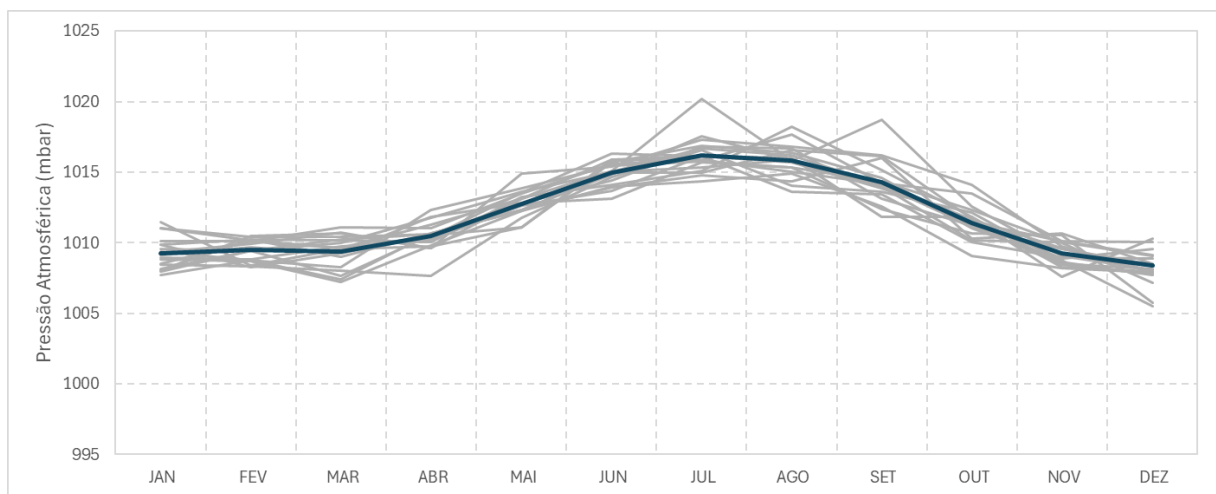


Figura 2.2-1. Variação das médias mensais dos 19 anos de temperaturas medidas na estação de Linhares (em cinza) e a média das temperaturas mensais de todo o conjunto (em azul).

O histograma contendo do conjunto de dados de pressão atmosférica medidos na estação de Linhares está presente na Figura 2.2-2. Os intervalos de pressão mais frequentes foram estiveram entre 1010 e 1015 mbar, com 43.4% do total de dados analisados. A média anual foi de 1011.8 mbar, com desvio padrão de 4.1 mbar.

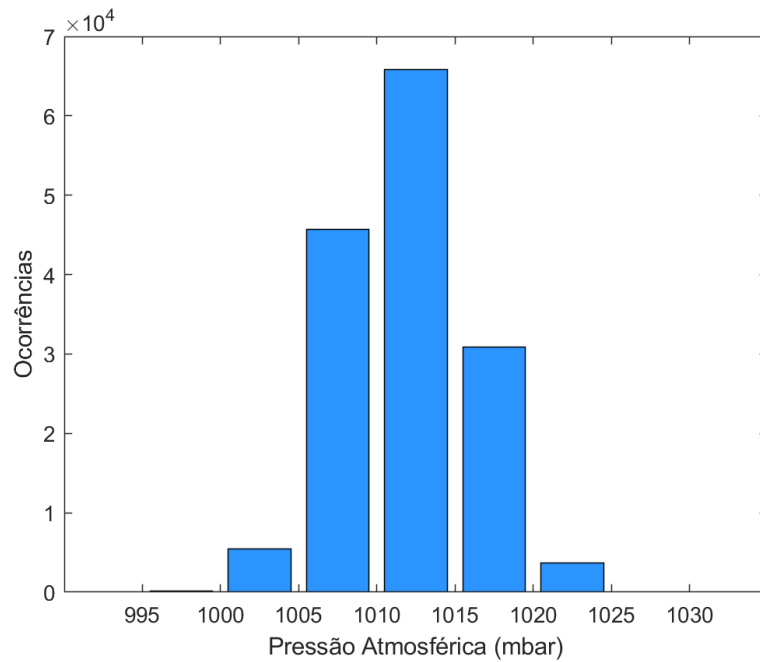


Figura 2.2-2. Histograma da pressão atmosférica medida na estação de Linhares (2007 a 2025).

Os campos de pressão atmosférica no Brasil foram calculados pelo INMET com base nos dados medidos em suas estações meteorológicas de 1991 a 2020 e são fornecidos no relatório técnico Normais Climatológicas (INMET, 2022), conforme reproduzido na Figura 2.2-3.

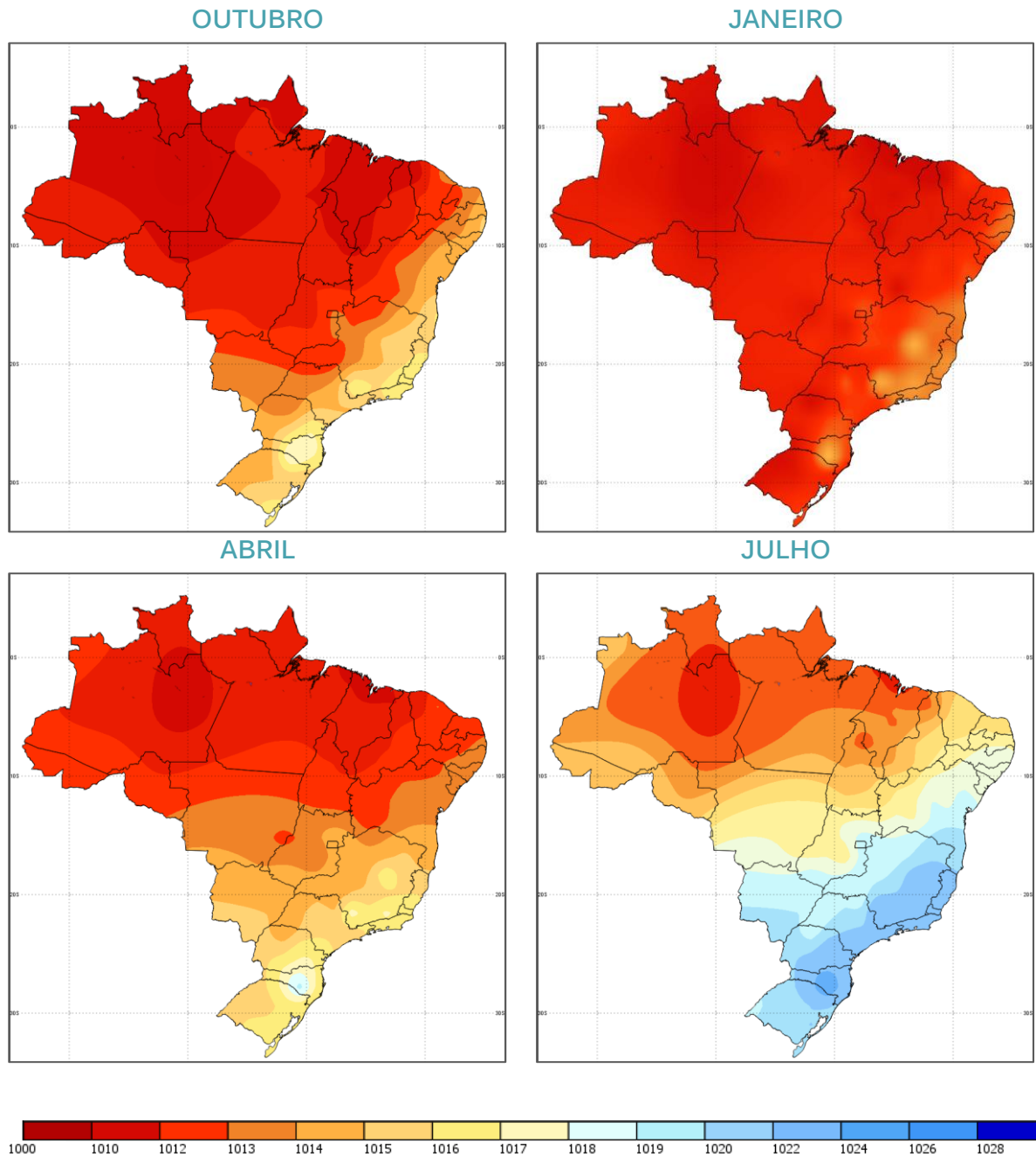
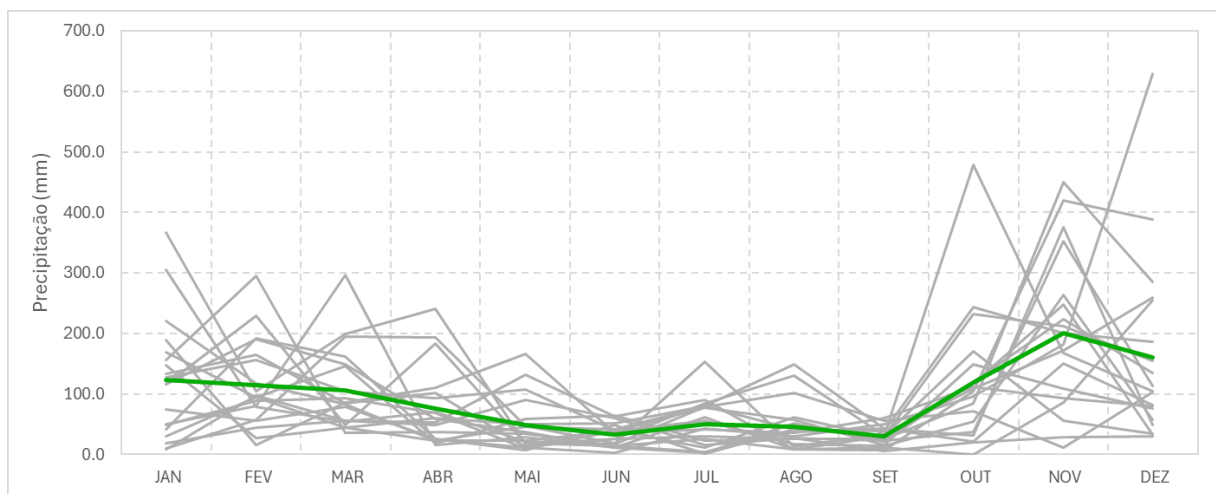


Figura 2.2-3. Campos de pressão atmosférica calculados com dados medidos de 1991 a 2020. Os meses correspondem aos meses centrais das estações do ano de Primavera, Verão, Outono e Inverno. Fonte: INMET, 2022.

## 2.3 Precipitação

A variação da quantidade de precipitação em todo conjunto de dados mostra um certo padrão ao longo dos 19 anos de dados medidos na estação de Linhares (Figura 2-1), no entanto, verifica-se que há muita variabilidade se forem consideradas as medições mensais sobrepostas (Figura 2.3-1). Essas variações de precipitação são maiores nos meses de outubro a abril, com valores médios entre 30 mm e 200 mm e a linha média indica uma tendência de mais chuvas no fim da primavera e no verão (Figura 2.3-1).



**Figura 2.3-1. Variação das médias mensais dos 19 anos de precipitação medidas na estação de Linhares (em cinza) e a média dos valores médios de precipitação de todo o conjunto (em verde).**

O diagrama de dispersão presente na Figura 2.3-2 mostra a grande variação da precipitação mensal de acordo com os 19 anos medidos na estação do INMET de Linhares, com meses bastante secos (4 mm) e outros muito chuvosos (629 mm). De modo geral, pode-se verificar valores menores de precipitação nos meses de inverno e grande variação nos demais, com uma tendência de mais chuvas nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro.

O histograma contendo do conjunto de dados de precipitação medidos na estação de Linhares está presente na Figura 2.3-3. A classe de precipitação mais frequente é de 0 a 50 mm, somando 43.8% do total de dados analisados. A média anual foi de 92.3 mm, com desvio padrão de 95.3 mm.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2007	116	229	49	183	18	15	4	38	43	21	150	82
2008	133	165	84	102	13	25	30	26	26	84	451	285
2009	367	105	199	241	17	26	84	131	32	479	168	104
2010	9	57	195	193	47	19	153	12	35	110	173	259
2011	50	80	297	16	28	11	61	8	30	232	213	155
2012	170	95	45	60	50	51	80	148	43	32	376	49
2013	74	56	78	25	11	2	43	30	51	96	181	629
2014	49	89	94	69	10	38	78	57	15	149	109	75
2015	30	94	146	19	59	65	23	27	5	20	28	29
2016	147	27	45	23	22	39	55	17	15	54	264	57
2017	18	45	56	53	132	64	90	9	11	0	86	254
2018	128	157	105	93	108	40	12	62	29	118	247	33
2019	8	98	56	49	91	60	16	28	23	37	353	114
2020	221	118	83	22	45	41	80	42	32	170	56	35
2021	41	192	162	26	8	48	1	41	39	244	200	186
2022	157	296	36	37	34	14	26	8	6	105	421	388
2023	305	78	54	71	21	18	79	101	56	71	11	103
2024	117	191	149	58	37	12	3	51	22	120	223	135
2025	190	15	86	111	166	36	41	36	60	112	93	80
Media	123	115	106	76	48	33	51	46	30	119	200	161
Máxima	367	296	297	241	166	65	153	148	60	479	451	629

Figura 2.3-2. Valores de precipitação mensal dos 19 anos de medições realizadas na estação de Linhares.

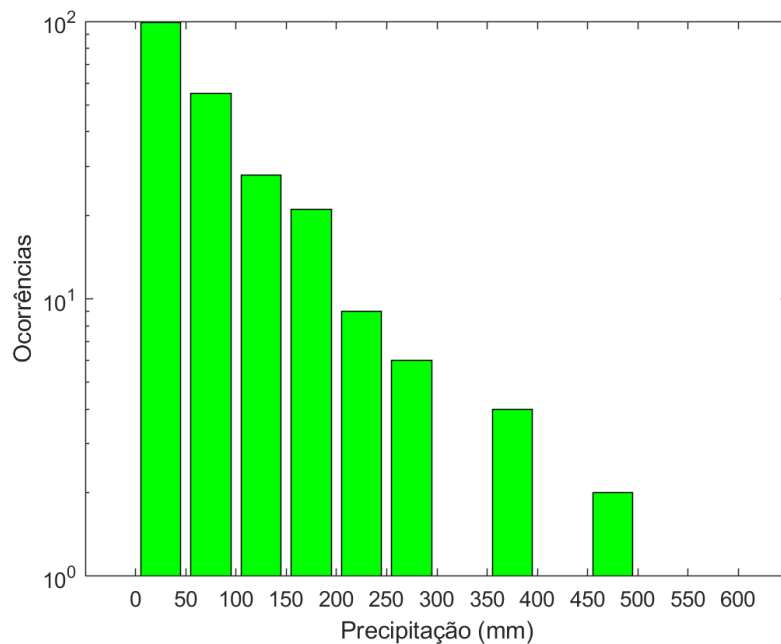


Figura 2.3-3. Histograma da precipitação média mensal medida na estação de Linhares (2007 a 2025).

Os campos de precipitação média calculados para o Espírito Santo pelo Incaper e fornecidos no seu atlas climatológico (Incaper, 2024), são reproduzidos na Figura 2.3-4. Pode-se verificar que a precipitação de chuvas no Espírito Santo possui variação maior na porção sul do estado. Na região de Linhares, as maiores diferenças de precipitação estão entre as estações de verão e inverno.

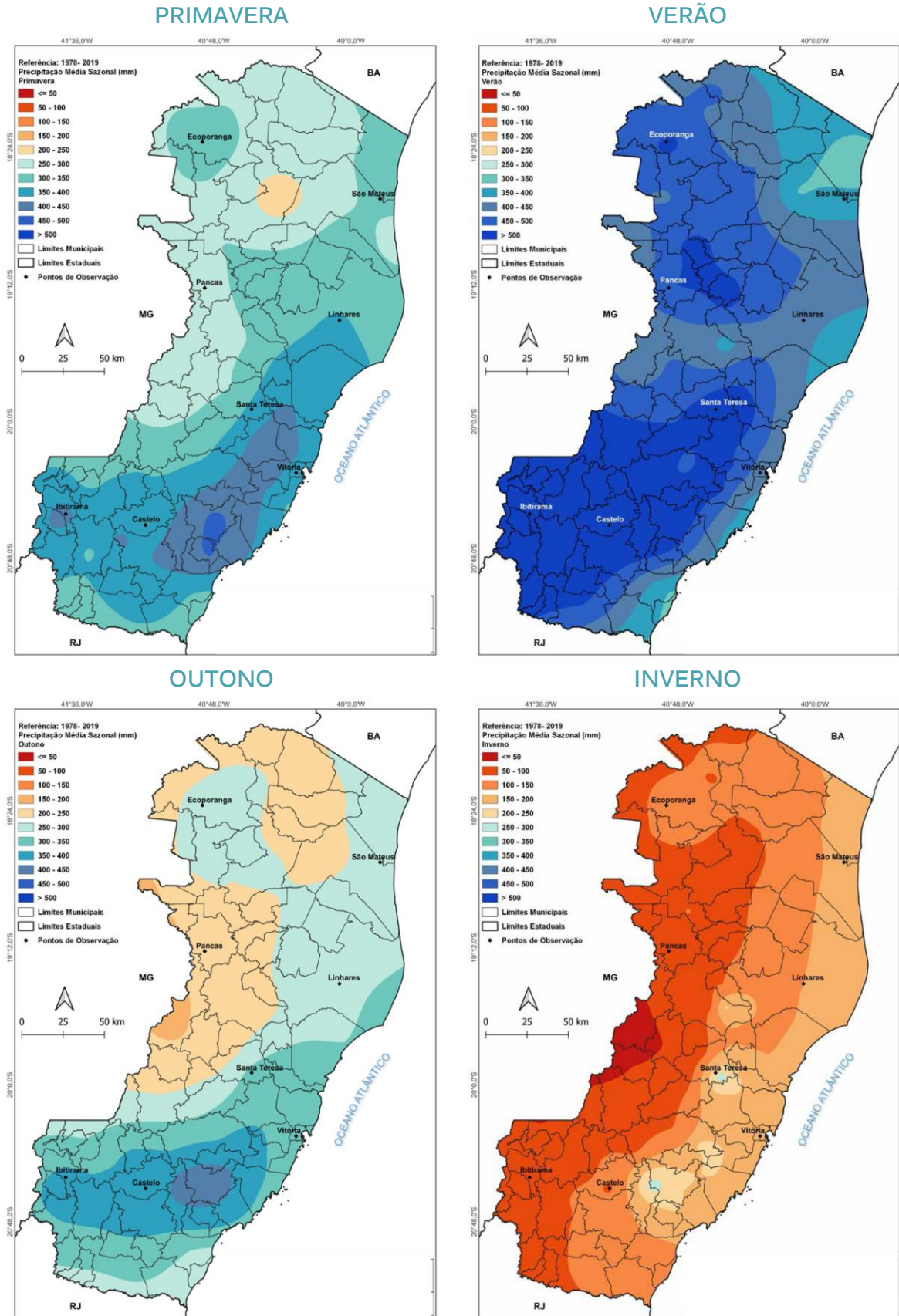


Figura 2.3-4. Campos de precipitação média medida no Espírito Santo de 1978 a 2019. Fonte: Incaper, 2024.

### 2.3.1 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa está associada à precipitação, uma vez que 100% de umidade relativa significa que está chovendo. A umidade relativa média mensal obtida a partir das medições realizadas na estação de Linhares é apresentada na Figura 2.3.1-1. Os valores de umidade relativa média mensal variaram entre 73.2% (setembro) e 77.9% (junho).

Os valores de umidade relativa indicam que há pouca variação das médias mensais ao longo do ano e, considerando os 19 anos, as médias mensais estiveram entre 65% e 90% de umidade relativa do ar.

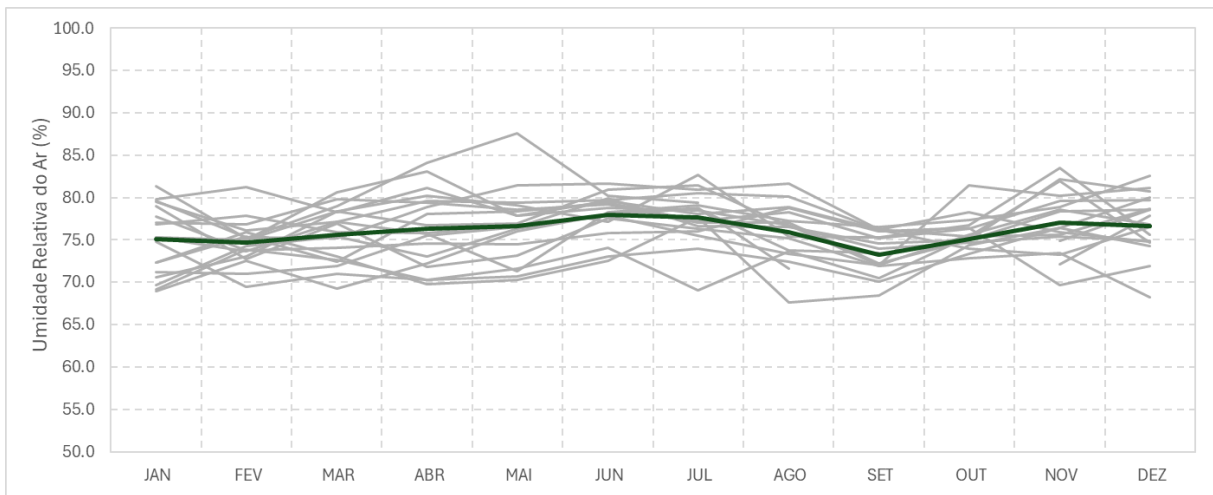


Figura 2.3.1-1. Variação das médias mensais de umidade relativa do ar obtida a partir das medições realizadas na estação de Linhares (em cinza) e respectivas médias mensais de todo o conjunto de dados (em verde).

O histograma contendo do conjunto de dados de umidade relativa do ar medidos na estação de Linhares está presente na Figura 2.3.1-2. Os intervalos de umidade relativa mais frequentes foram estiveram entre 85 e 95%, que, juntos, representam 34.8% do total de dados analisados. A média anual, no entanto, foi de 76.0%, com desvio padrão de 15.2%, indicando a influência das outras classes de umidade relativa na contabilização dessa média.

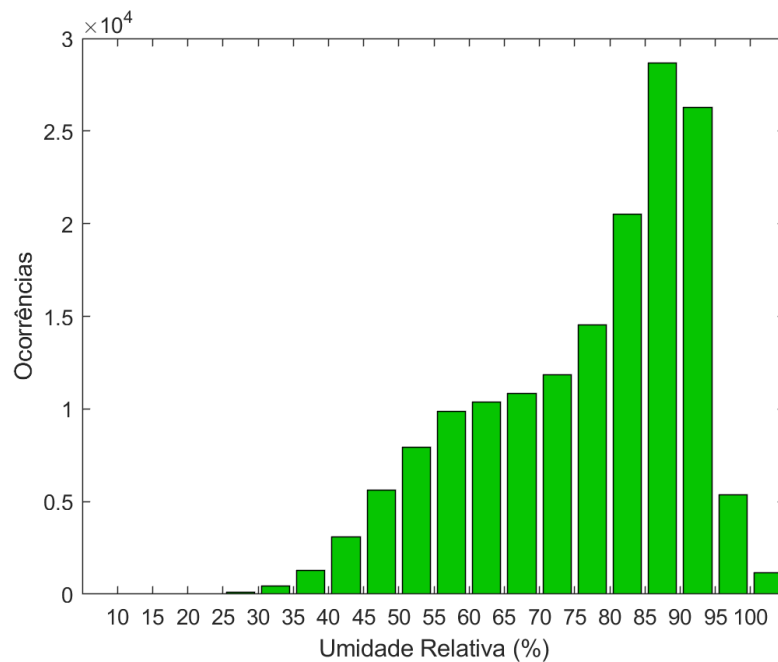


Figura 2.3.1-2. Histograma da umidade relativa do ar medida na estação de Linhares (2007 a 2025).

## 2.4 Ventos

Os ventos foram caracterizados por meio das análises de 30 anos de dados, obtidos pelo modelo GFS (*Global Forecast System*) num local próximo ao Imetame Logística Porto e 19 anos de parâmetros de velocidade e direção obtidos na estação meteorológica localizada no Terminal de Barra do Riacho (Portocel).

Os locais de obtenção dos parâmetros de vento de modelo GFS e dos dados medidos *in situ* na da estação meteorológica da Portocel estão ilustrados na Figura 1-1, cujas coordenadas e características são uma rerepresentadas na Tabela 2.4-1.

Tabela 2.4-1. Coordenadas dos locais de obtenção dos dados de ventos.

	Local	Data Início	Data Fim	Coordenadas	Cota (m)
<b>Modelo GFS</b>	Aracruz	01/06/1995	31/05/2025	395390.7 7788206.4	10
<b>Estação Portocel</b>	Portocel	01/06/2006	30/09/2025	389484.5 7804681.0	16.4

O modelo GFS é o modelo utilizado de modo acoplado ao modelo de ondas de *hindcast* Wavewatch III, cujos dados também foram utilizados nesse diagnóstico. Desse modo, a

nomenclatura do local de obtenção dos ventos ficou com o nome GFS, embora seja o mesmo ponto WWIII da caracterização de ondas.

### 2.4.1 Ventos na Região Marinha

O clima de ventos é definido sobre uma base longa de dados, geralmente considerada como um período de 30 anos ou mais. Na região da Portocel, o conjunto de dados de ventos obtidos pelo modelo global GFS (*Global Forecast System*) foi utilizado para alcançar esse período exigido, muito embora a estação meteorológica da Portocel tenha 19 anos de dados medidos *in situ*, um período bastante razoável, cujos dados serão analisados adiante.

O modelo atmosférico GFS é um modelo global de fluxos atmosféricos globais mantidos pelos NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), que pertencem à NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) dos Estados Unidos). Os parâmetros de ventos consistem em valores horários de intensidade (m/s) e direção média nesse período, com assimilação de dados de ventos de estações meteorológicas espalhadas pelo globo. Este conjunto possui 90553 estimativas dos parâmetros de ventos, entre 1995 e 2025, num ponto próximo à área de estudo, em Aracruz, cujas coordenadas estão presentes na Tabela 2.4-1 e a representação do ponto WWIII está na Figura 1-1.

Todo o conjunto de 30 anos de dados de ventos está resumido na forma de classes de altura e direção, ilustrado pela rosa dos ventos (histograma polar) da Figura 2.4.1-1 e pelo diagrama de dispersão da Figura 2.4.1-2.

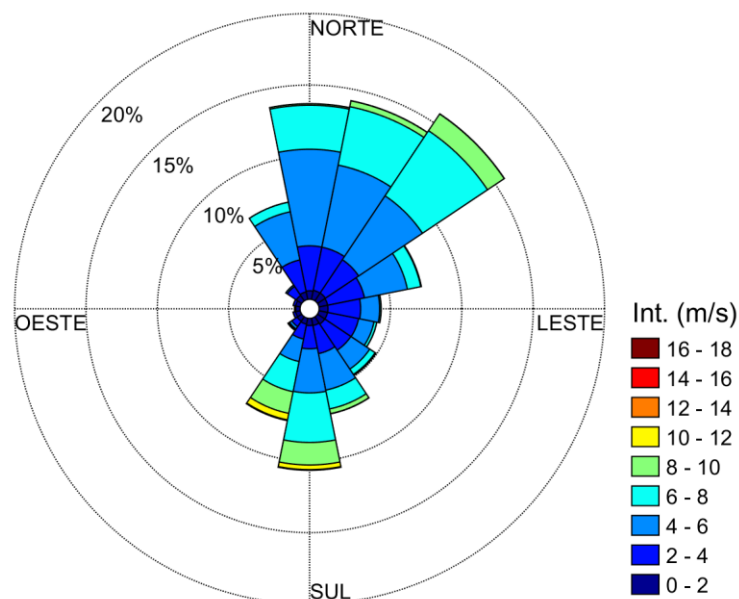


Figura 2.4.1-1. Rosa dos ventos obtida a partir dos dados do modelo GFS para a região de Aracruz (1995 a 2025).

A análise do conjunto de 30 anos de dados do WWIII na região mostrou que 52.7% dos registros de ventos anuais possuem direções provenientes de N ou NE, mais da metade do conjunto de dados globais. Estes ventos possuem média de velocidade de 4.8 m/s (N) e 5.3 (NE), com máximos alcançando 10.4 e 10.9 m/s, respectivamente. Os ventos provenientes de S (19.3%) e SE (10.2%) tiveram médias de 6.0 e 4.0 m/s, respectivamente, e valores máximos que alcançaram, 13.9 m/s.

Os ventos acima de 10 nós (5.1 m/s) somaram 28.7% dos ventos estimados na região marinha de Aracruz. As situações de calmaria somaram 8.2%.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	freq (%)
	22.5	67.5	112.5	157.5	202.5	247.5	292.5	337.5	
20 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
18 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
16 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
14 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
12 m/s	0	0	0	0	88	3	0	0	0.1
10 m/s	4	24	0	5	617	96	0	0	0.9
8 m/s	196	1530	10	154	2622	352	0	0	5.6
6 m/s	4739	7664	289	937	5139	599	1	69	22.2
4 m/s	10748	8858	2756	2952	4855	647	6	872	36.2
2 m/s	5256	4971	4144	3775	2802	865	198	1624	27.0
0 m/s	1047	1155	1071	1077	823	673	545	776	8.2
freq (%)	25.1	27.6	9.4	10.2	19.3	3.7	0.9	3.8	100.0
média	4.80	5.29	3.54	3.96	5.95	4.62	1.60	3.15	
máxima	10.41	10.88	9.76	10.19	13.89	13.03	6.38	7.68	

Figura 2.4.1-2. Diagrama de dispersão das classes de intensidade pelas classes de direção dos ventos obtidos a partir do conjunto GFS (1995 a 2025).

A Tabela 2.4.1-1 apresenta um resumo dos valores mínimos e máximos das velocidades dos ventos do conjunto GFS (1995 a 2025), com seus respectivos horários e parâmetros extraídos da onda representativa destes dados, acompanhados dos respectivos valores médios e desvios-padrão.

Tabela 2.4.1-1. Valores mínimos e máximos com suas respectivas datas e parâmetros associados e valores médios obtidos do conjunto de 30 anos de dados do conjunto GFS.

Dados	Parâmetros	Data	Hora	Velocidade (m/s)	Direção (°)
GFS	Vel. mínima	2021-05-07	21:00	0.04	219.3
	Vel. máxima	2016-11-19	03:00	13.89	199.9
	Média		Desvio-padrão		
	Velocidade (m/s)	4.85		2.04	

### 2.4.1.1 Caracterização Sazonal dos Ventos

O conjunto de 30 anos de dados de ventos, obtidos na plataforma continental de Aracruz, foi separado e analisado de acordo com as estações do ano. A Figura 2.4.1.1-1 apresenta os histogramas polares dos ventos obtidos para as quatro estações do ano.

Os resultados indicam uma presença significativa de ventos de N a NE em todas as 4 estações do ano. A frequência dos ventos dos setores de SE a SW indica a distinção entre as estações do ano. O outono e a primavera figuram como as estações de transição entre o verão e inverno, embora os resultados do outono tenham alguma semelhança com os resultados do inverno.

No verão, os ventos dos setores N a NE somam 81.2% do total, predominando sobre as demais condições meteorológicas de circulação atmosférica e apresentando médias entre 5.0 e 5.6 m/s. Os ventos abaixo de 10 nós somam 69.6% no verão.

No outono, os ventos estão mais distribuídos direccionalmente, com 18.6% para o setor N, 18.3% para NE, 29% para S e 12.2% para SE. As velocidades médias dos ventos de N e NE são menores que 4.4 m/s, enquanto a média das velocidades dos setores de S foi de 5.6 m/s. As velocidades máximas atingiram 13.6 m/s para o setor de S 9.4 m/s para o setor NE. Os ventos abaixo de 10 nós somam 78.0% no outono.

O inverno é a estação em que os ventos se distribuem mais uniformemente entre as várias direções de norte e sul. Os ventos de N somam 21.4%, NE totalizam 21.6% e S representam 22.2% do conjunto de dados na região marinha de Aracruz. As velocidades médias (6.2 m/s) e máximas (13.5 m/s) do setor S estão entre as maiores intensidades de vento do conjunto de dados analisado. Os ventos abaixo de 10 nós somam 76.8% no inverno.

Na primavera, os ventos dos setores de S (16.8%) e SE (10.4%) diminuem e se verifica a predominância dos ventos de N (25.1%) e NE (33.3%). As velocidades médias ficam com valores intermediários entre 4.6 e 6.7 m/s para esses setores. Os valores máximos encontrados foram do setor S, com 13.9 m/s. Os ventos abaixo de 10 nós somam 60.6% na primavera.

A Figura 2.4.1.1-1 apresenta os histogramas polares dos ventos obtidos para as quatro estações do ano na ordem primavera, verão, outono e inverno de modo a evidenciar as similaridades sazonais.

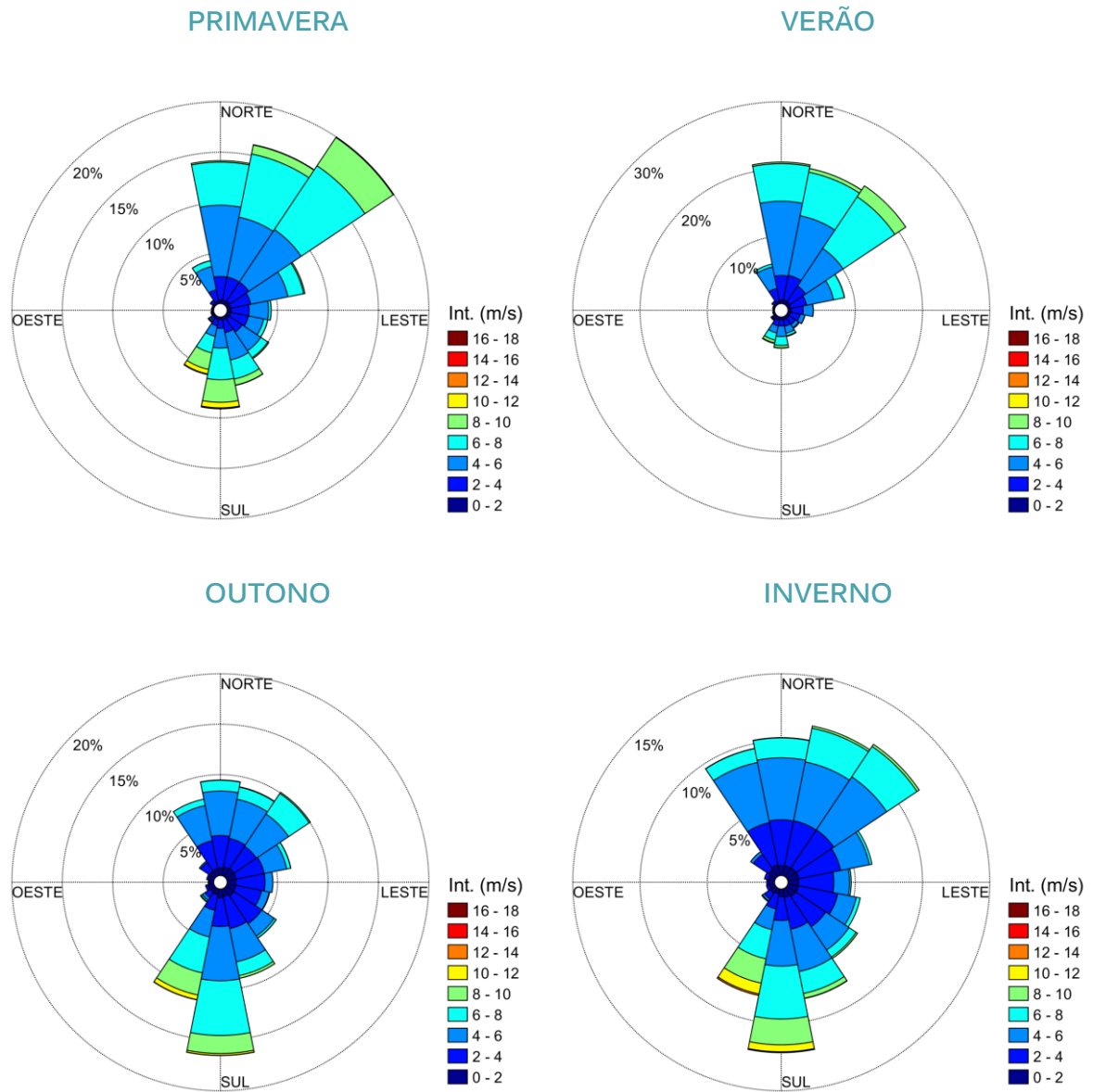


Figura 2.4.1.1-1. Histogramas polares das ondas do conjunto de dados GFS para as quatro estações do ano (1995-2025).

## 2.4.2 Ventos na Região Costeira

Os ventos na região costeira foram obtidos a partir das medições realizadas na Estação Meteorológica da Portocel durante o período de 01/10/2006 a 30/09/2025 (19 anos) (Figura 2-1, Tabela 2-1).

Todo o conjunto de 19 anos de dados de ventos foi condensado em classes de altura e direção, ilustrado pela rosa dos ventos (histograma polar) da Figura 2.4.2-1 e pelo diagrama de dispersão da Figura 2.4.2-2.

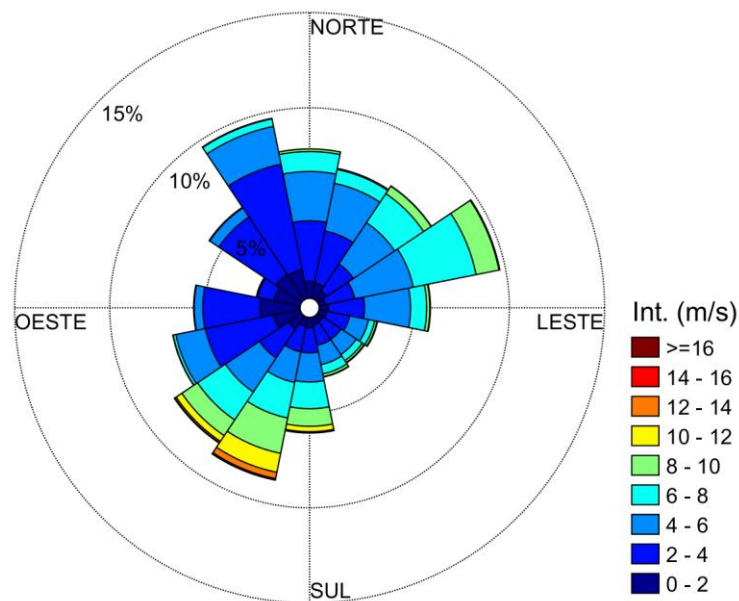


Figura 2.4.2-1. Rosa dos ventos dos ventos medidos na estação Portocel (2006 a 2025).

A análise do conjunto de 19 anos de dados medidos na Estação Meteorológica da Portocel mostrou uma distribuição bem mais uniforme das direções de ventos que o que o conjunto de 30 anos de dados obtido do modelo GFS. Essa distribuição pode estar relacionada com as brisas terrestre e marítima que ocorrem na região e afetam a direção principal de fluxo de ventos.

Os ventos medidos na Portocel foram provenientes de N (16.2%), SW (16.2%), NE (15.6%), NW (12.2%), S (11.9%) e E (11.9%), que são valores bastante próximos. Os valores das velocidades médias se mantiveram entre 2.7 e 5.7 m/s, condizentes com os valores do banco de dados GFS. No entanto, as velocidades máximas medidas foram maiores, com picos de 18.8 m/s (S), 17.8 m/s (E) e 17.2 (SW). Os ventos abaixo de 10 nós somaram 76.5%.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	freq (%)
	22.5	67.5	112.5	157.5	202.5	247.5	292.5	337.5	
20 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
18 m/s	0	0	0	0	2	0	0	0	0.0
16 m/s	0	0	1	0	8	10	0	0	0.0
14 m/s	0	0	1	4	44	90	0	0	0.1
12 m/s	0	0	10	8	271	360	2	0	0.5
10 m/s	6	71	61	64	1025	1141	2	1	1.8
8 m/s	252	1878	651	309	2457	2574	9	17	6.3
6 m/s	2278	5214	3205	966	3321	3757	63	183	14.7
4 m/s	6777	6693	5999	2445	3686	5273	1274	1771	26.3
2 m/s	9048	4747	4313	2867	3254	5518	6902	9620	35.9
0 m/s	2470	1459	1144	946	1299	2191	4737	4185	14.3
freq (%)	16.2	15.6	11.9	5.9	11.9	16.2	10.1	12.2	100.0
média	3.90	5.14	4.74	4.20	5.87	5.41	2.51	2.73	
máxima	11.02	11.67	17.84	15.74	18.82	17.20	13.22	10.97	

Figura 2.4.2-2. Diagrama de dispersão das classes de intensidade pelas classes de direção dos ventos medidos na estação Portocel.

A Tabela 2.4.2-1 apresenta um resumo dos valores mínimos e máximos das velocidades dos ventos da Estação Portocel (2006 a 2025), com seus respectivos horários e parâmetros extraídos da onda representativa destes dados, acompanhados dos respectivos valores médios e desvios-padrão.

Tabela 2.4.2-1. Valores mínimos e máximos com suas respectivas datas e parâmetros associados e valores médios medidos na estação Portocel (2006-2025).

Dados	Parâmetros	Data	Hora	Velocidade (m/s)	Direção (°)
PORTOCEL	Vel. mínima	2006-08-25	05:00	0	302.1
	Vel. máxima	2014-08-14	16:00	18.82	192.4
	Média		Desvio-padrão		
	Hs (m)	4.4		2.4	

### 2.4.2.1 Caracterização Sazonal dos Ventos

O conjunto das medições de ventos realizadas na Portocel foi separado de acordo com as estações do ano. A Figura 2.4.2.1-1 apresenta os histogramas polares dos ventos de acordo com as quatro estações do ano.

A distribuição dos ventos medidos na estação da Portocel são mais espalhados em direção, comparativamente, aos ventos estimados pelo modelo GFS nas respectivas estações. No entanto, pode-se retirar algumas semelhanças, como é o caso da quase ausência de ventos que rumam para os setores de S no verão e o aumento relativo desses ventos no inverno. As estações de verão e inverno possuem características distintas. O outono é mais semelhante ao inverno e a primavera é uma estação de transição entre o inverno e o verão.

No verão, os ventos dos setores N a NE somam 47.7% do total, representando quase a metade do total de ventos medidos no local e apresentando velocidades médias entre 3.8 e 5.1 m/s. Os ventos abaixo de 10 nós somam 80.8% no verão.

No outono, os ventos estão mais distribuídos direccionalmente, com 9.5% do setor N, 9.3% de NE, 22.3% de S, 14.9% de SE, 13.5% de W e 12.1% de NW. As velocidades médias dos ventos de N e NE são menores que 4.8 m/s, enquanto a média das velocidades dos setores de S foi de 6.0 m/s. As velocidades máximas atingiram 17.2 m/s para o setor de SW, 16.3 m/s para o setor S e 10.1 m/s para o setor NE. Os ventos abaixo de 10 nós somam 78.1% no outono.

O inverno é a estação em que os ventos se distribuem mais uniformemente entre as várias direções de norte e sul. Os ventos de N somam 11.6%, NE totalizam 10.3%, E teve 10.8%, SE com 6.3%, S representado por 13.1%, SW com 19.4%, W obtendo 13.6% e NW com 14.8% do conjunto de dados medidos na Portocel. As velocidades médias estiveram entre 2.5 m/s (W) e 6.5 m/s (S). As velocidades máximas alcançaram 18.8 m/s (S), 16.2 m/s (SE) e 11.0 m/s (NE). Os ventos abaixo de 10 nós somam 75.4% no inverno.

Na primavera, a frequência dos ventos dos setores de S (13.3%) e SW (14.0%) diminuem e se verifica uma predominância dos ventos de N (21.0%) e NE (19.4%). As velocidades médias ficam com valores intermediários entre 4.0 e 5.9 m/s para esses setores. Os valores máximos encontrados foram do setor E, com 17.8 m/s, seguido de SE, com 15.7 m/s e S com 15.5 m/s. Os ventos abaixo de 10 nós somam 71.1% na primavera.

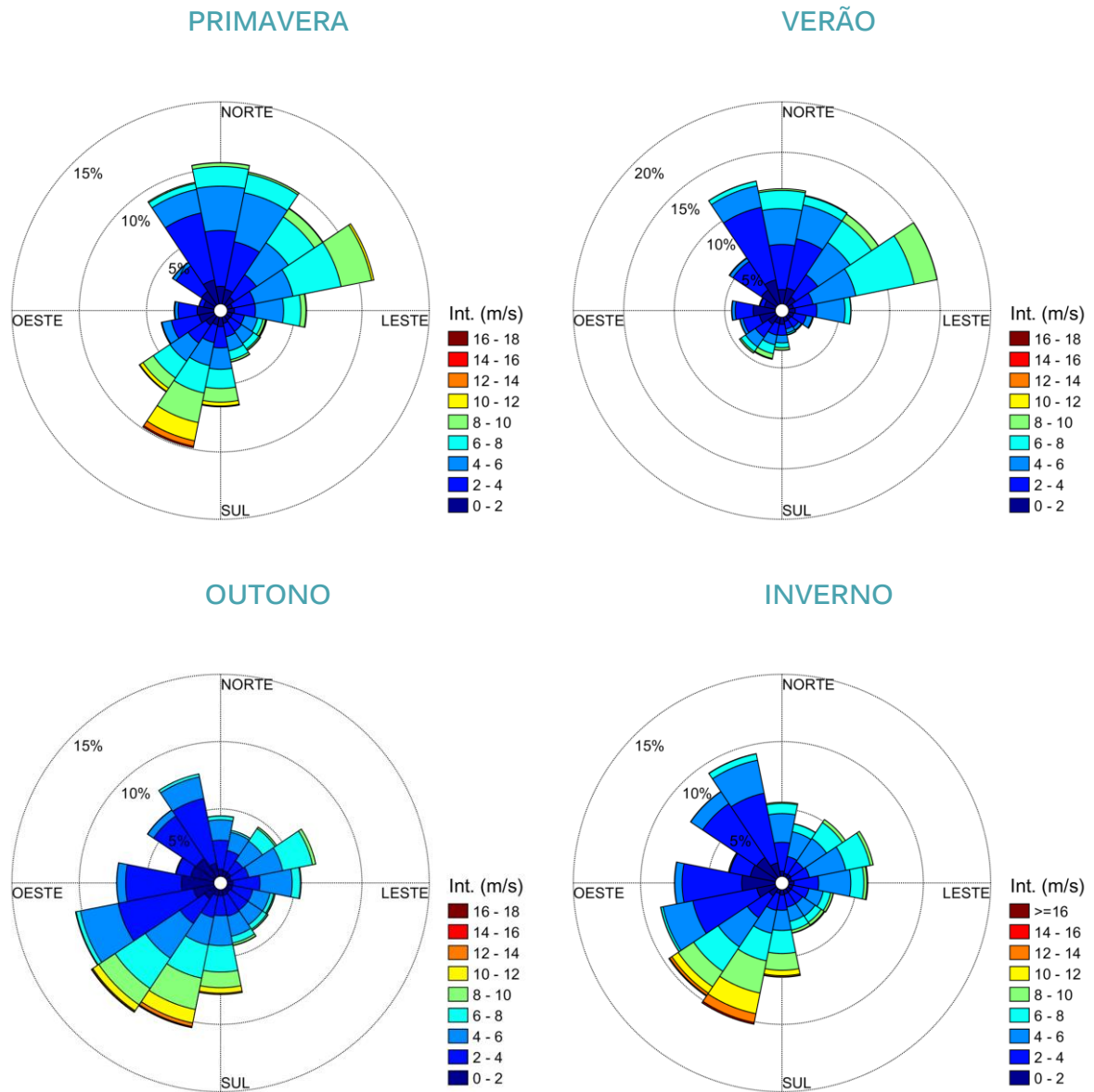


Figura 2.4.2.1-1. Histogramas polares dos ventos medidos na estação meteorológica da Portocel para as quatro estações do ano (2006-2025).

### 2.4.3 Comparação dos Ventos na Região Marinha e Costeira

Os ventos do conjunto de medições realizadas na estação meteorológica da Portocel e os parâmetros estimados pelo modelo GFS na região marinha próxima de Aracruz foram comparados nos mesmos intervalos de medição de correntes e ondas (janeiro de 2021, 2024 e 2025 e julho de 2020, 2020 e 2025). As comparações na forma vetorial estão presentes nas Figuras 2.4.3-1 a 2.4.3-5 (gráficos *stickplot*). Não houve medições de ventos na estação meteorológica em julho de 2020.

Os resultados mostram que o modelo acompanha bem os dados medidos in situ, em todos os cenários apresentados. Os desvios de cada série comparada estão presentes na Tabela 2.4.3-1, apresentando o desvio médio absoluto, erro quadrático médio (*root mean square*) e erro relativo. O erro quadrático médio também é referido como erro percentual médio de previsão e o resultado é um desvio entre as séries de 27%, enquanto o erro relativo representa um desvio médio em 22%. Em termos absolutos, o desvio é de 4.0 m/s.

Tabela 2.4.3-1. Desvios da comparação dos parâmetros de ventos estimados pelo modelo e medidos in situ.

Desvio Médio Absoluto (m/s)	Erro Quadrático Médio (RMSE)	Erro Relativo
4.00	0.27	0.22

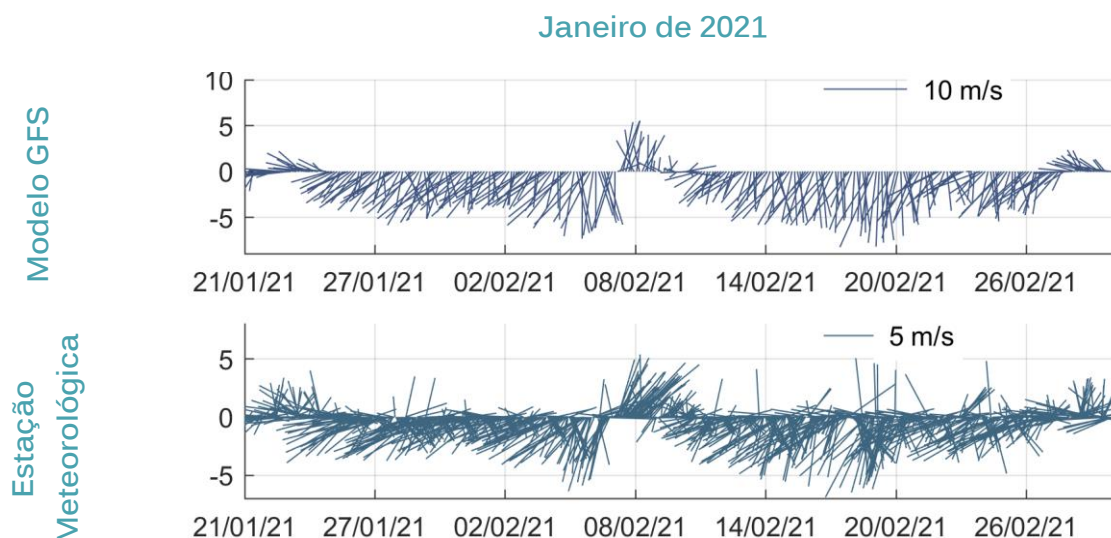


Figura 2.4.3-1. Representação vetorial (gráfico *stickplot*) dos ventos estimados pelo modelo global e medidos na estação meteorológica em janeiro de 2021.

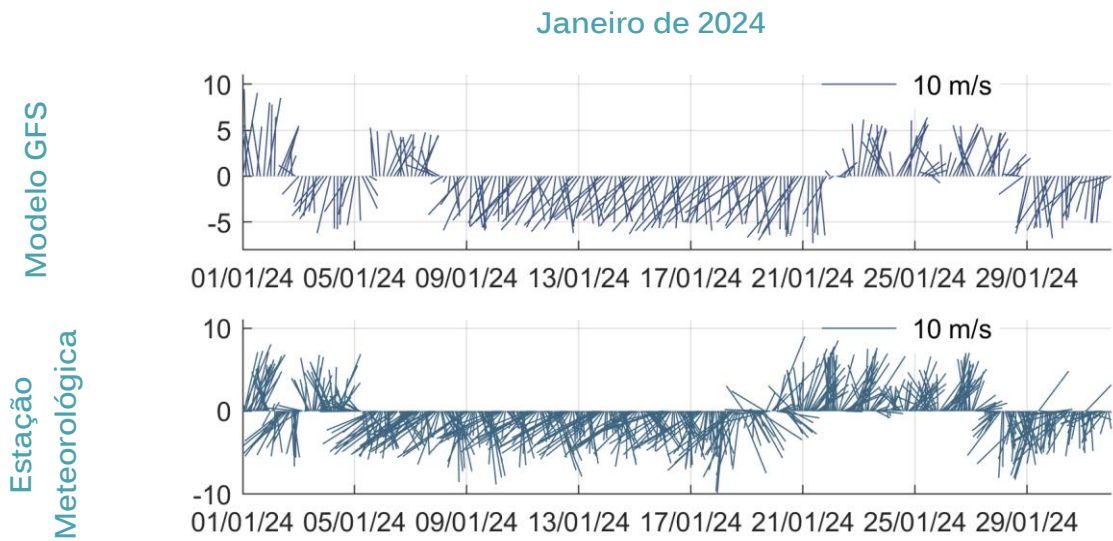


Figura 2.4.3-2. Representação vetorial (gráfico *stickplot*) dos ventos estimados pelo modelo global e medidos na estação meteorológica em janeiro de 2024.

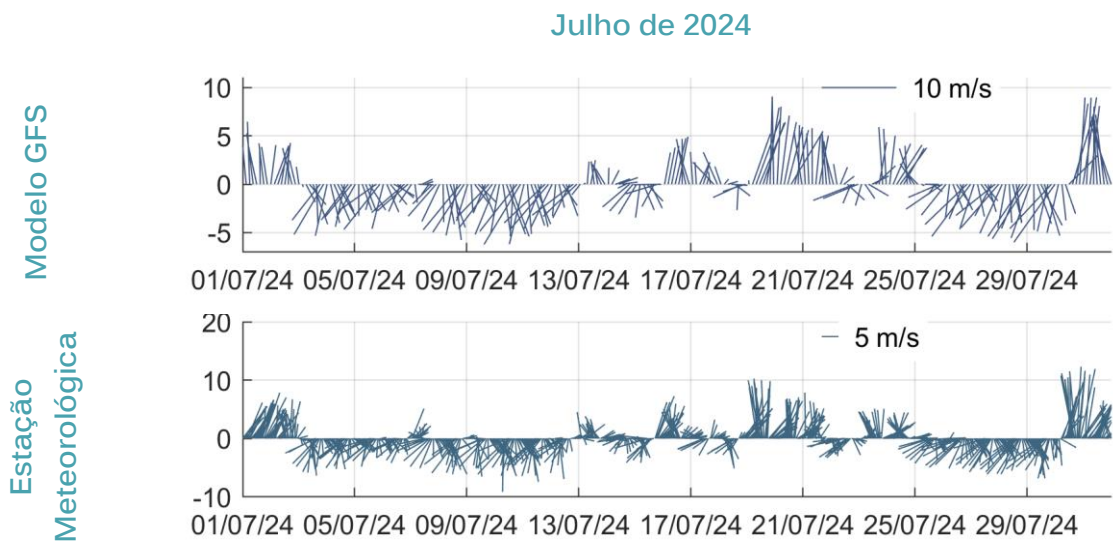


Figura 2.4.3-3. Representação vetorial (gráfico *stickplot*) dos ventos estimados pelo modelo global e medidos na estação meteorológica em julho de 2024.

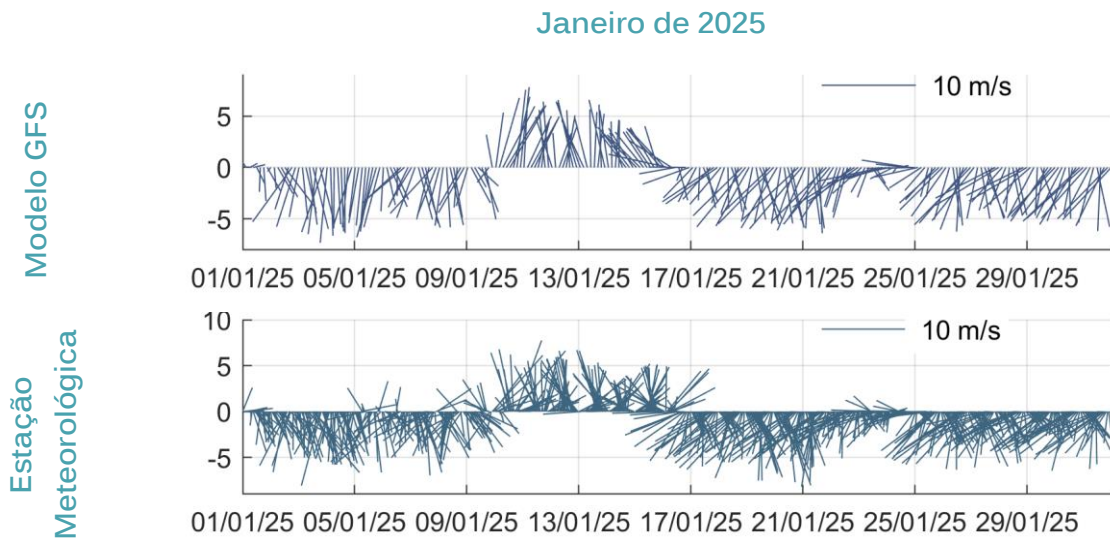


Figura 2.4.3-4. Representação vetorial (gráfico *stickplot*) dos ventos estimados pelo modelo global e medidos na estação meteorológica em janeiro de 2025.

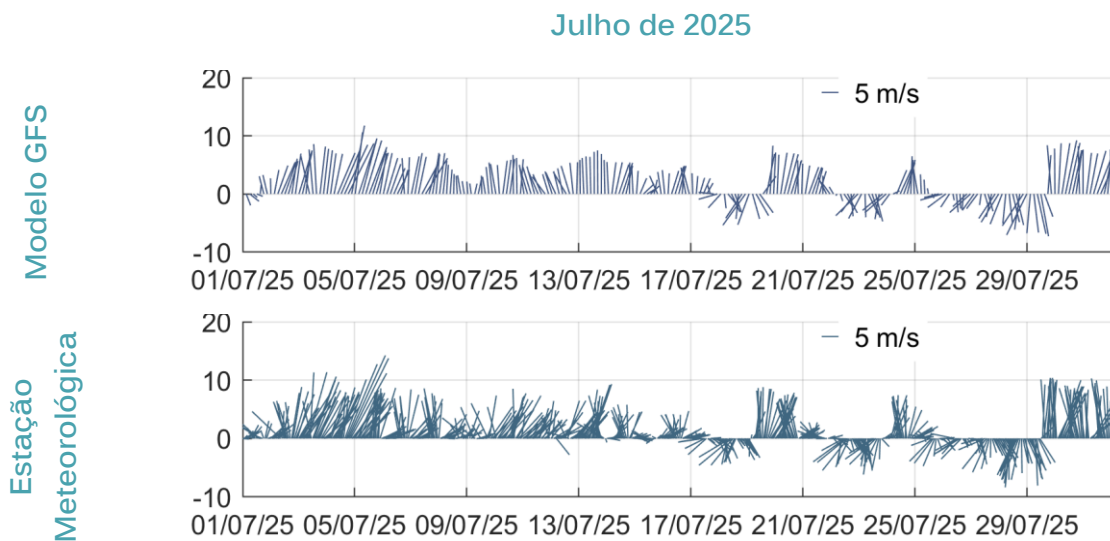


Figura 2.4.3-5. Representação vetorial (gráfico *stickplot*) dos ventos estimados pelo modelo global e medidos na estação meteorológica em julho de 2025.

## 3 Oceanografia Física

A caracterização da Oceanografia Física foi realizada por meio de análises de dados primários, secundários e resultados de modelagem numérica (Oceano Digital 2026a, b) relativo aos fenômenos de marés astronômicas, marés meteorológicas, correntes e ondas.

### 3.1 Marés

A maré astronômica foi caracterizada por meio das constantes harmônicas calculadas no Terminal Especializado de Barra do Riacho (Portocel) e disponibilizadas pela Marinha do Brasil (FEMAR, 2000), complementada pelos dados de nível de água medidos no cais da Portocel entre 2023 e 2025 e de um ADCP instalado na região marinha de Aracruz pela FEST/Renova (Tabela 3.1-1). Os locais de obtenção dos níveis de água e marés estão ilustrados na Figura 1-1.

**Tabela 3.1-1. Coordenadas e profundidades dos pontos de aquisição das séries de maré e níveis d'água medidos localmente (UTM, Datum WGS 84).**

	Local	Data Início	Data Fim	Coordenadas	Prof. (m)
<b>Maré Astronômica FEMAR</b>	Portocel	10/06/1976	11/07/1976	388979.4 7805855.3	-
<b>Nível de Água Cais Portocel</b>	Portocel	01/09/2023	30/09/2025	389464.0 7805521.0	6
<b>Nível de Água ADCP FEST/Renova</b>	Região Marinha	22/07/2020 21/01/2021	30/08/2020 01/03/2021	399721.2 7790168.6	39

#### 3.1.1. Maré Astronômica

O Imetame Logística Porto está localizado nas proximidades da estação maregráfica de Barra do Riacho (Portocel), código BNDO 40240 (FEMAR, 2000). As componentes de maré dessa estação, conforme definidas nas tabelas de maré da FEMAR (Fundação de Estudos do Mar) são adotadas como referência pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil), Figura 3.1.1-1.

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

<b>Nome da Estação :</b>		<b>BARRA DO RIACHO (PORTOCEL) – ES</b>			
<b>Localização :</b>		Praia das Conchas - Aracruz			
<b>Organ. Responsável :</b>		DHN			
<b>Latitude :</b>		19° 50,5' S	<b>Longitude :</b>		40° 03,5' W
<b>Período Analisado :</b>		10/06/76 a 11/07/76	<b>Nº de Componentes :</b>		36
<b>Análise Harmônica :</b>		Método Tidal Liverpool Institute			
<b>Classificação :</b>		Maré Semidiurna.			
<b>Estabelecimento do Porto: (HWF&amp;C)</b>		III H 50 min	<b>Nível Médio (Zo):</b>		80 cm acima do NR.
<b>Médias das Preamares de Sизigia (MHWS) :</b>		147 cm acima do NR.	<b>Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :</b>		103 cm acima do NR.
<b>Média das Baixa-mares de Sизigia (MLWS) :</b>		13 cm acima do NR.	<b>Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :</b>		57 cm acima do NR.
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU <sub>2</sub>	1,0	122
Ssa	-	-	N <sub>2</sub>	7,1	117
Mm	2,4	321	NU <sub>2</sub>	1,4	117
Mf	-	-	M <sub>2</sub>	45,1	107
MTM	-	-	L <sub>2</sub>	1,4	133
Msf	10,6	064	T <sub>2</sub>	1,3	095
Q <sub>1</sub>	2,9	086	S <sub>2</sub>	21,8	095
O <sub>1</sub>	8,9	119	K <sub>2</sub>	5,9	095
M <sub>1</sub>	0,5	126	MO <sub>3</sub>	0,9	061
P <sub>1</sub>	2,0	148	M <sub>3</sub>	0,7	174
K <sub>1</sub>	6,1	148	MK <sub>3</sub>	0,3	101
J <sub>1</sub>	0,2	062	MN <sub>4</sub>	0,3	132
OO <sub>1</sub>	0,8	067	M <sub>4</sub>	0,6	126
MNS <sub>2</sub>	-	-	SN <sub>4</sub>	0,1	098
2N <sub>2</sub>	0,9	126	MS <sub>4</sub>	0,3	077
<b>Referências de Nível:</b> RN-1 a 10 metros para dentro a partir do ancoradouro de barcos de pesca da Praia das Conchas.					
<b>Obs:</b> Não há referências a outros períodos. Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 40240

Figura 3.1.1-1. Constantes harmônicas obtidas para a estação maregráfica de Barra do Riacho (código BNDO 40240). Fonte: DHN/Marinha do Brasil.

A região centro-norte do Espírito Santo, onde está inserida esta estação, é uma região dominada pelo regime de micromarés, segundo a classificação de Davies (1964), contém as oscilações periódicas que apresentam amplitudes inferiores a 2.0 m. A maré astronômica em Barra do Riacho apresenta um comportamento semi-diurno, no qual há um domínio das componentes harmônicas M2 e S2 e uma influência das componentes diurnas O1 e K1 (FEMAR, 2000). Esse padrão resulta na ocorrência de duas preamares e duas baixa-mares por dia, com ligeiras desigualdades diurnas entre duas preamares e duas baixa-mares sucessivas (Figura 3.1.1-2). O intervalo de tempo entre uma preamar e a baixa-mar consecutiva é de aproximadamente 6 horas.

As marés astronômicas decorrem da ação das forças gravitacionais da lua e do sol nas massas de água dos oceanos, sendo as variações de altura da maré moduladas pelas fases da lua. As marés de sizígia possuem amplitudes maiores e estão associadas às fases de lua cheia e nova, enquanto as variações das marés de quadratura são menores e são relativas às fases de lua crescente e minguante (Figura 3.1.1-2).

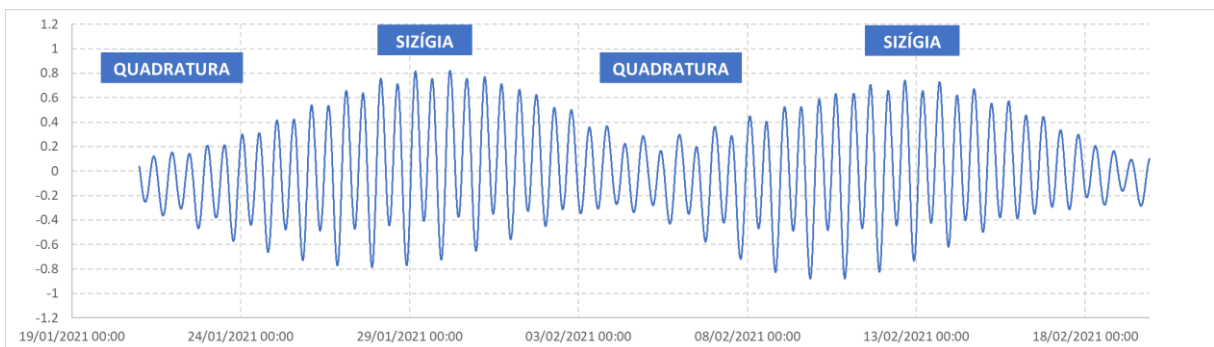


Figura 3.1.1-2 Exemplo de variação da maré astronômica em quadratura e sizígia obtida a partir das componentes de maré de Barra do Riacho (código BNDO 40240).

### 3.1.2 Marés na Região Costeira (Portocel)

As séries de maré foram obtidas a partir de medições de nível de água realizadas durante 2 anos por meio de um marégrafo instalado no bordo do cais de acostagem do Terminal da Portocel, conforme ilustrado na Figura 1-1 e nas coordenadas apresentadas na Tabela 3.1-1.

A variação do nível de água registrada pelo marégrafo resulta da interação de duas componentes associadas a fenômenos distintos. Enquanto as oscilações devido às marés astronômicas são consequência da ação das forças gravitacionais da lua e do sol, a maré meteorológica corresponde à variação do nível de água associada principalmente por alterações da pressão atmosférica e ação dos ventos sobre a

superfície do oceano. Essa variação é resultante de fenômenos atmosféricos de meso e grande escala como, por exemplo, a formação ciclones, frentes frias ou o efeito da tensão de cisalhamento do vento sobre uma faixa da superfície do oceano ('empilhamento').

Na prática, a maré meteorológica é definida, segundo Pugh (1987), como a diferença entre a maré observada e a maré astronômica prevista. De acordo com essa definição, as medições do nível do mar realizadas no Terminal da Portocel foram comparadas às previsões de maré realizadas pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil), definidas nas tabelas de maré da FEMAR (Fundação de Estudos do Mar), para o mesmo período Figura 3.1.2-1.

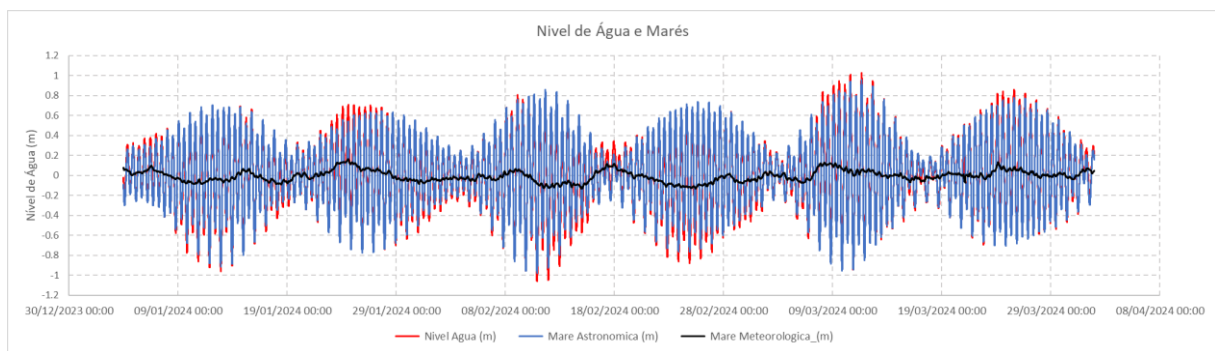


Figura 3.1.2-1. Nível de água medido no local do Terminal da Portocel, maré astronômica prevista pela DHN e maré meteorológica resultante. Exemplo de Janeiro a abril de 2023.

No período analisado de quase 2 anos (novembro de 2023 a setembro de 2025), foram registrados eventos meteorológicos negativos e positivos sobre o nível do mar. Os resultados indicam que a contribuição dos eventos meteorológicos na variação do nível do mar para a região portuária da Portocel variou entre -0.2 m e 0.3 m, com uma média de oscilação de 0.1 m, em valores aproximados (Tabela 3.1.2-1). A maior altura de maré meteorológica positiva registrada no marégrafo da Portocel, geralmente associada a eventos de elevação do nível do mar, foi de 0.30 m.

Tabela 3.1.2-1. Variação do nível de água devido à maré meteorológica na região portuária da Portocel.

Variação do Nível de Água	Amplitude (m)
Positiva Máxima:	0.30
Positiva Média:	0.10
Negativa Máxima:	-0.22
Negativa Média:	-0.09

A análise dos registros de nível de água medidos pelo marégrafo da Estação Portocel permitiu a realização de uma análise espectral do sinal, a partir da qual foram extraídas as componentes harmônicas de maré (Figura 3.1.2-2). Esta figura evidencia a dominância das componentes M2 e O1, com picos em M3 e S4, que configuram a maré semidiurna com variações entre as alturas de marés sucessivas presentes no Espírito Santo.

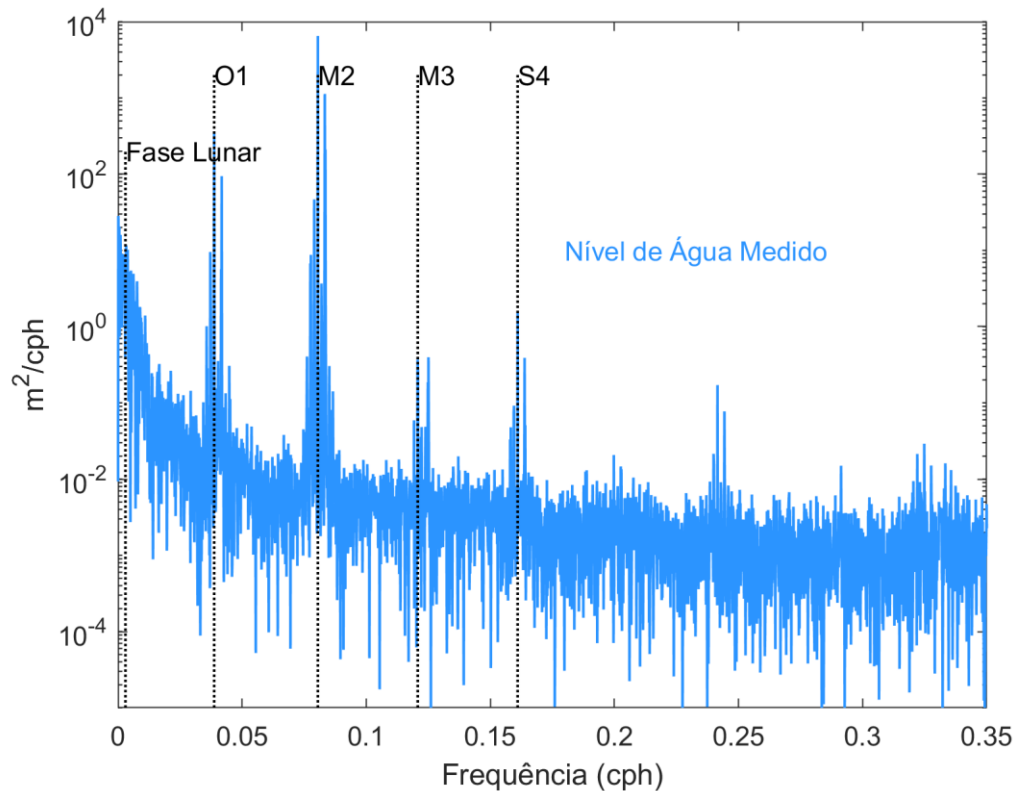


Figura 3.1.2-2. Espectro de potência do nível de água medido no Terminal da Portocel.

As amplitudes de maré são apresentadas na forma de histograma de frequência de ocorrência dos níveis de água medidos pelo marégrafo (Figura 3.1.2-3). Os resultados indicam que os níveis de água entre as classes -0.2 e +0.2 m, com relação ao nível médio do mar, correspondem as faixas de variação mais frequentes na região portuária da Portocel, em períodos de marés de sizígia e quadratura. Os valores máximos foram de -1.06 m a +1.09 m.

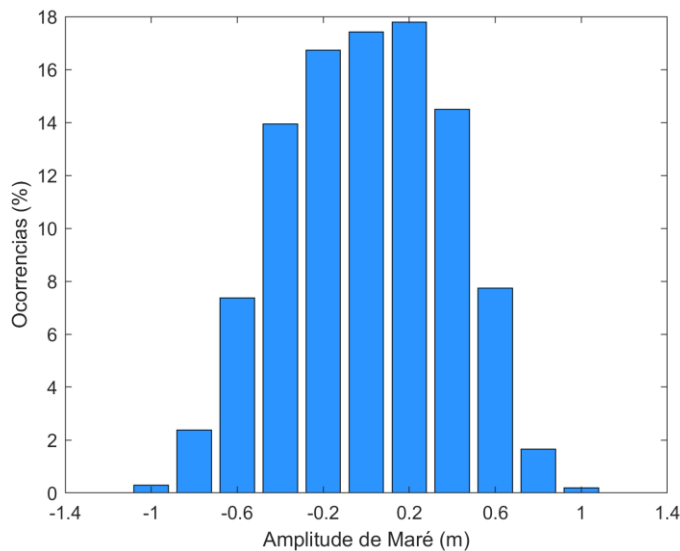


Figura 3.1.2-3. Histograma das amplitudes de maré em sizígia e quadratura obtido a partir das medições realizadas no Terminal da Portocel.

### 3.1.3 Marés na Região Marinha (ADCP Renova)

As marés na região marinha de Aracruz foram obtidas a partir de medições de nível de água realizadas por um ADCP instalado a aproximadamente 39 m de profundidade. O local de aquisição das medições de maré está ilustrado na Figura 2-1, e as coordenadas estão presentes na Tabela 3.1-1. Os dados disponíveis são relativos a séries de 38 dias para cada estação do ano, verão de 2021 e inverno de 2020.

As variações dos níveis de água, medidas pelo ADCP, foram comparadas às previsões de maré realizadas pela DHN (Marinha do Brasil) e as oscilações das marés meteorológicas puderam ser obtidas para o verão (Figura 3.1.3-1) e inverno (Figura 3.1.3-2).

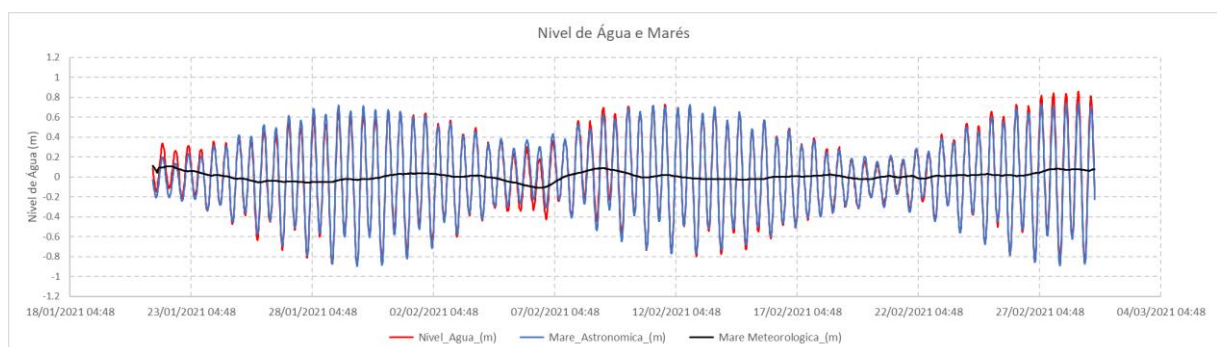


Figura 3.1.3-1. Nível de água medido na região marinha de Aracruz durante o verão de 2021, maré astronômica prevista pela DHN e maré meteorológica resultante.

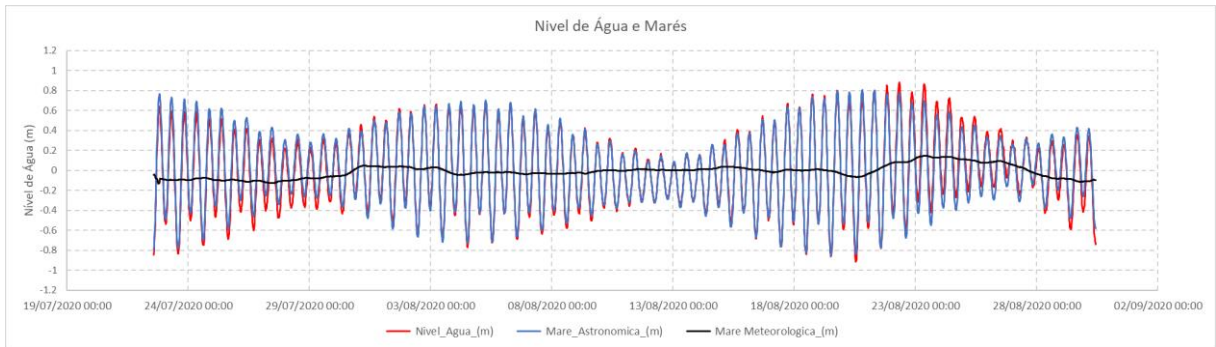


Figura 3.1.3-2. Nível de água medido na região marinha de Aracruz durante o inverno de 2020, maré astronômica prevista pela DHN e maré meteorológica resultante.

Nos períodos avaliados, foram registrados eventos meteorológicos com efeitos negativos e positivos sobre o nível do mar. Os resultados indicam que a contribuição meteorológica na variação do nível do mar para a região durante o período avaliado variou entre -0,2 m e 0,2 m, com uma média de oscilação de 0,1 m, em valores aproximados (Tabela 3.1.3-1). Os maiores valores de oscilação positiva associados à maré meteorológica foram de 0,19 m, no inverno e 0,14 m, no verão.

Tabela 3.1.3-1. Variação do nível de água devido à maré meteorológica na região marinha de Aracruz.

Variação do Nível de Água	Verão Amplitude (m)	Inverno Amplitude (m)
Positiva Máxima:	0.14	0.19
Positiva Média:	0.08	0.10
Negativa Máxima:	-0.14	-0.17
Negativa Média:	-0.09	-0.09

As análises dos registros dos níveis de água medidos pelo ADCP da FEST/Renova permitiram a realização de análises espectrais dos sinais a partir das quais foram extraídas as componentes harmônicas de maré (Figura 3.1.3-2). Mesmo considerando a limitação temporal de 38 dias dos dados medidos nas estações de verão e inverno, esta figura evidencia a dominância das componentes M2 e O1, com picos em M3 e S4, que caracterizam a maré semidiurna, com variações entre as alturas de marés sucessivas presentes na região marinha de Aracruz.

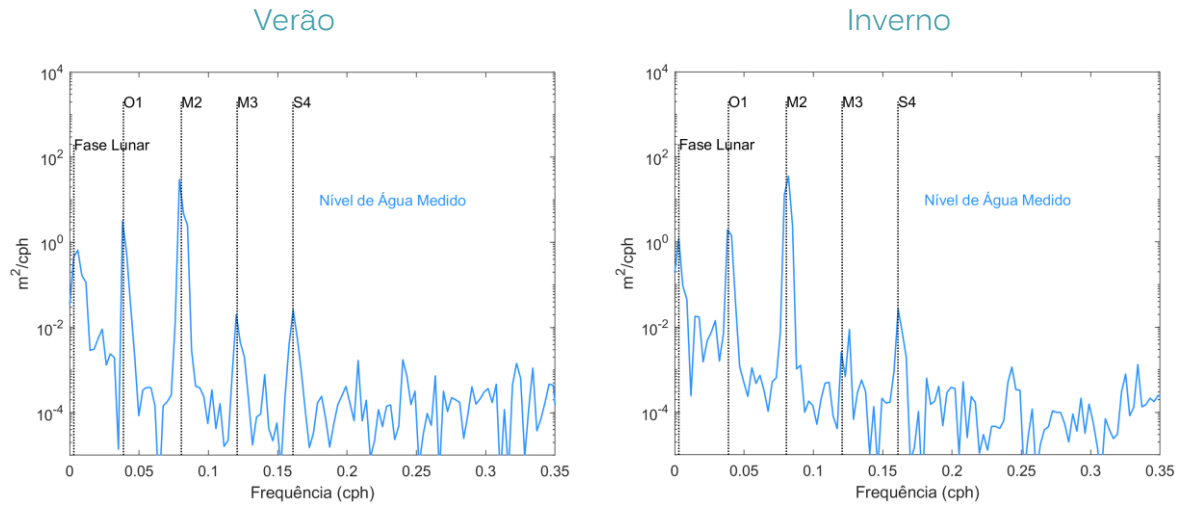


Figura 3.1.3-2. Espectros de potência do nível de água medido na região marinha de Aracruz, no verão e inverno.

As amplitudes de maré são apresentadas na forma de histogramas de frequência de ocorrência dos níveis de água medidos pelo ADCP na região marinha de Aracruz (Figura 3.1.3-3). Os resultados apresentam valores extremos entre as -0.9 e + 0.9 m com classes de maior frequência entre -0.2 e + 0.2 m.

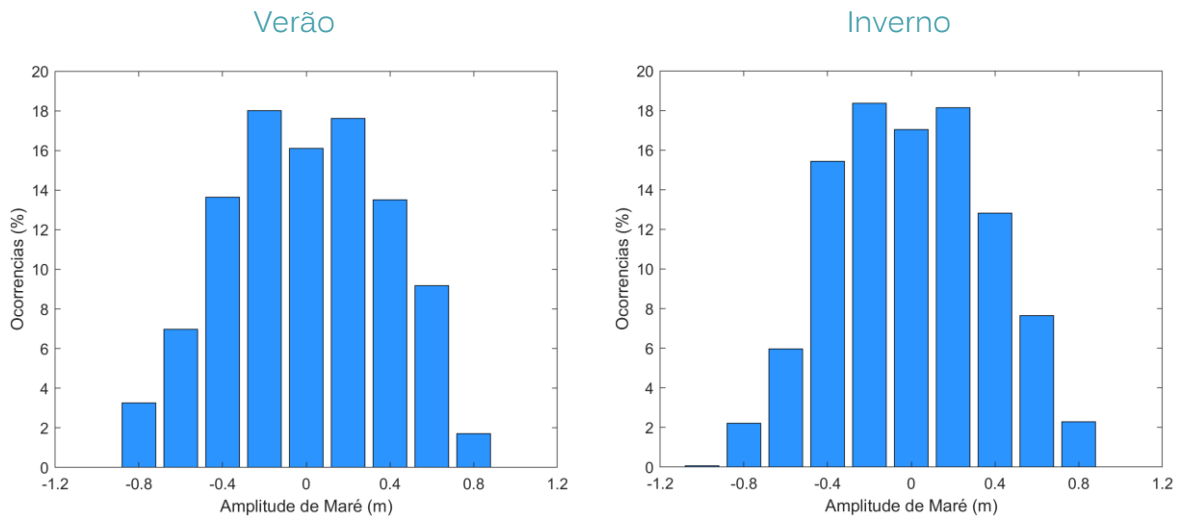


Figura 3.1.3-3. Histogramas das amplitudes de maré em sizígia e quadratura obtidos a partir das medições realizadas na região marinha de Aracruz no verão e inverno.

### 3.2 Correntes

O regime de correntes na região do Imetame Logística Porto foi caracterizado por meio de uma abordagem integrada, combinando medições *in situ* e modelagem numérica hidrodinâmica.

As medições foram obtidas por ADCPs instalados na região marinha de Aracruz e na região costeira próxima ao Terminal de Barra do Riacho, permitindo analisar a variabilidade temporal, vertical e sazonal das correntes.

Para a caracterização da circulação costeira, foram utilizados campos hidrodinâmicos representativos das condições típicas e críticas de verão e inverno, obtidos a partir da modelagem numérica desenvolvida para a região (Oceano Digital, 2026a). Essa abordagem possibilita a caracterização dos padrões regionais de circulação e a identificação dos principais mecanismos de forçamento, incluindo a atuação da maré, dos ventos, vazão de rios e da morfologia do fundo.

Os dados das medições de corrente costeiras (ADCP PODAS) e marinhas (ADCP Renova) disponíveis estão ilustrados na Figura 1-1. A origem dos dados secundários e os locais de obtenção das medições de correntes estão reapresentados na Tabela 3.2-1.

**Tabela 3.2-1. Coordenadas e profundidade dos locais das medições correntes costeiras e marinhas.**

Dados	Local	Data Início	Data Fim	Coordenadas	Prof. (m)
<b>Perfil de Correntes</b>	Região	22/07/2020	30/08/2020	399721.2	39
<b>ADCP FEST/Renova</b>	Marinha	21/01/2021	01/03/2021	7790168.6	
<b>Perfil de Correntes</b>	Região	01/09/2023	30/09/2025	390219.0	11
<b>ADCP PODAS</b>	Costeira			7806084.3	
<b>Modelagem Hidrodinâmica (Oceano Digital, 2026b)</b>	Região Costeira e Marinha de Linhares e Aracruz				

### 3.2.1 Correntes na Região Marinha (ADCP Renova)

As correntes presentes na região marinha de Aracruz foram medidas por um ADCP fundeado pela FEST/Renova/Poseidon a uma profundidade de 39 m, cujos dados disponíveis são relativos aos períodos do inverno de 2020 (22/07/2020 a 30/08/2020) e do verão de 2021 (21/01/2021 a 01/03/2021). As medições obtidas compõem-se de perfis verticais de velocidade e direção das correntes e indicam alguns padrões da hidrodinâmica da plataforma costeira interna para os períodos amostrados.

As séries temporais das correntes representando as condições hidrodinâmicas do período de medições de verão e inverno estão presentes na Figura 3.2.1-1, na forma gráfica vetorial (gráfico tipo *stick plot*). O sentido das direções das correntes está de acordo com a convenção oceanográfica.

Esses gráficos ilustram os resultados das medições, os quais mostram que as correntes de superfície, em geral, são mais intensas que as correntes de meia coluna de água e fundo.

Além disso, estas séries temporais mostram que as correntes existentes na região marinha de Aracruz são predominantemente voltadas para SW, tanto no verão (janeiro e fevereiro de 2021) como no inverno (julho e agosto de 2020), apresentando algumas inversões de fluxo que estão associadas, geralmente, à formação de frentes frias.

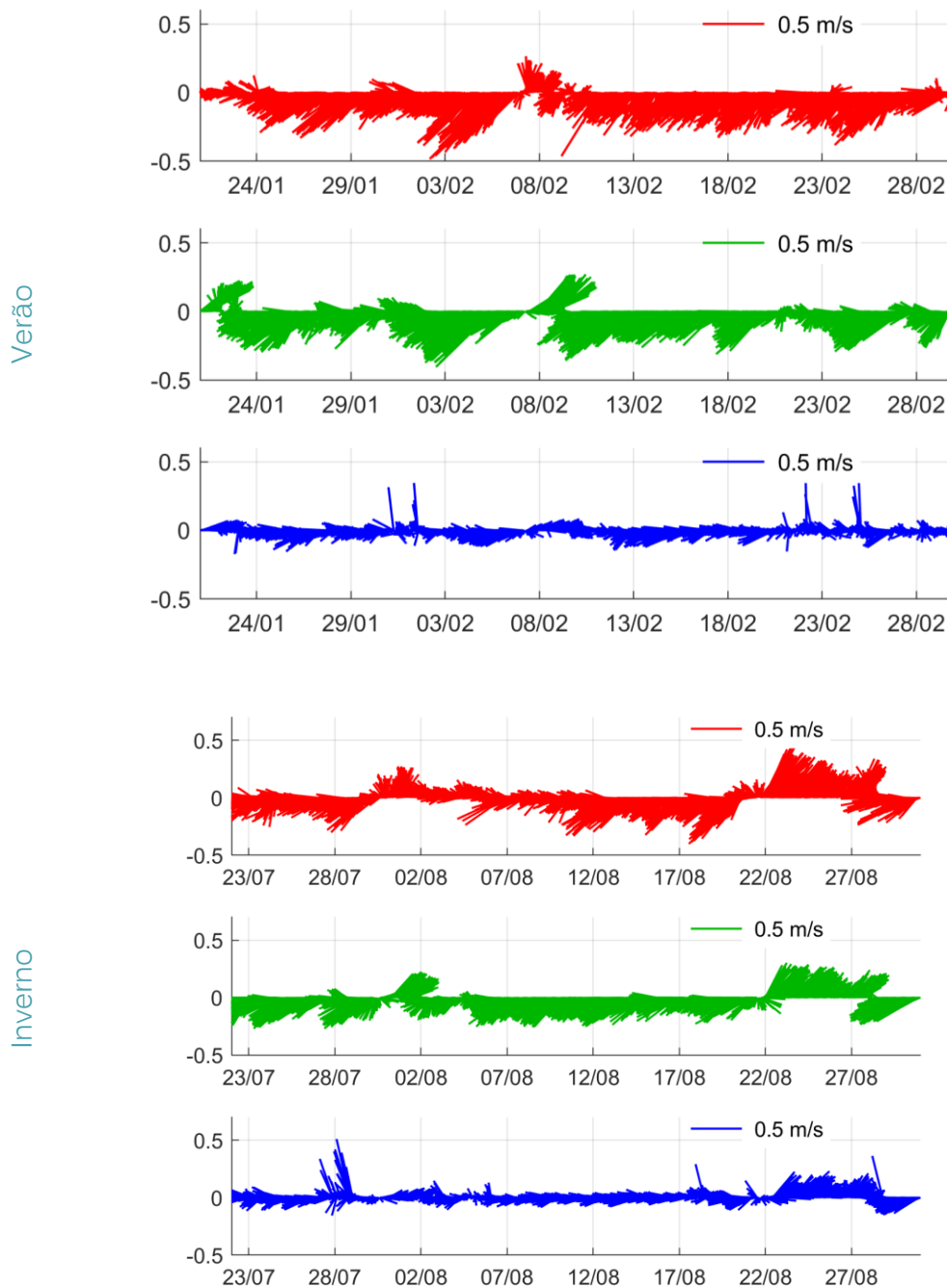


Figura 3.2.1-1. Gráfico tipo *stick plot* da série temporal das correntes de superfície, meio e fundo medidas pelo ADCP da FEST/Renova na região marinha de Aracruz no verão de 2021 e inverno de 2020.

As medições de correntes na região marinha de Aracruz são apresentadas de forma condensada na Figura 3.2.1-2, correspondendo a histogramas polares das correntes medidas na superfície (2.7 m de profundidade), meio da coluna de água (20 m) e fundo (39 m). A camada superficial das medições (0 a 2.2 m) apresentou elevado nível de ruído e foi substituída, nas análises, pela camada 2.7 m.

Nos períodos analisados de verão e inverno, verifica-se que as correntes de superfície e meia coluna de água apresentaram direções predominantes próximas ao eixo NE-SW, enquanto as correntes de fundo apresentaram um alinhamento mais próximo ao eixo E-W (Figura 3.2.1-2).

A direção predominante das correntes foi no sentido SW e W nas duas estações do ano, o que condiz com os ventos N e NE dominantes na região, que possuem ocorrência de 73.0%, no verão e 43.0% no inverno.

No verão, as correntes apresentaram direção predominante para SW (55.0%) e W (30.2%), considerando toda a coluna de água, o que pode ser verificado nos resultados gráficos apresentados na Figura 3.2.1-2 e dados da Figura 3.2.1-1. As velocidades médias foram 0.33 m/s para SW e 0.21 m/s para o setor W. As correntes marinhas que alcançaram valores acima de 0.5 m/s somaram 0.9% do conjunto total de dados, indicando baixa frequência de eventos de maior intensidade.

Nos dados de inverno, as correntes apresentaram direção predominante para SW (38.2%) e W (34.2%), com médias de 0.28 e 0.22 m/s, respectivamente. As correntes marinhas que ultrapassaram 0.5 m/s corresponderam a 9.4% do total de ondas medidas no local. As correntes direcionadas para NE representaram 15.6% do total de medições realizadas no inverno, enquanto, no verão, a frequência foi de 3.9%.

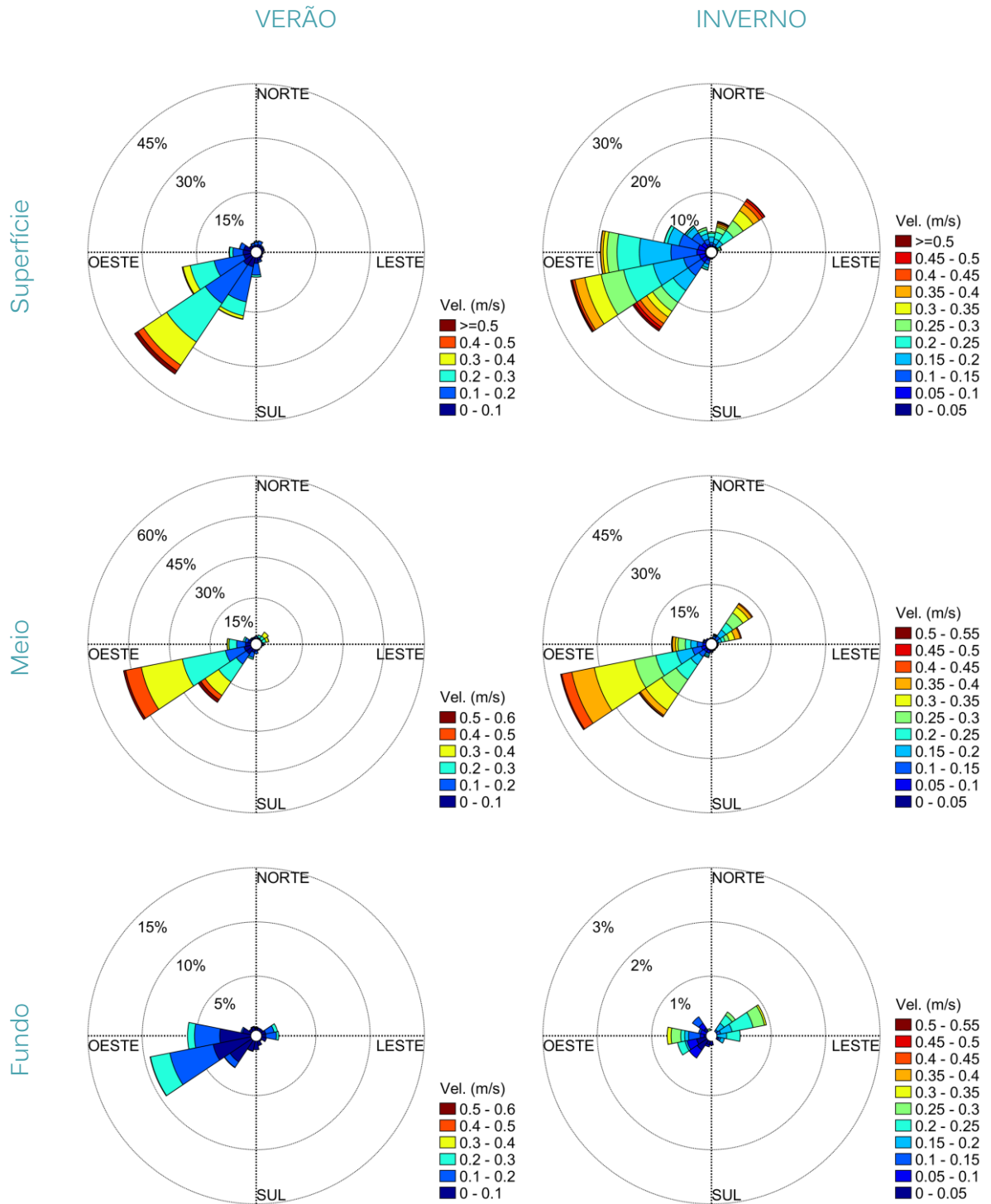


Figura 3.2.1-2. Histogramas polares das velocidades de corrente por setores de direção nas camadas de superfície, meio e fundo, medidas pelo ADCP da FEST/Renova na região marinha de Aracruz no verão de 2021 e inverno de 2020.

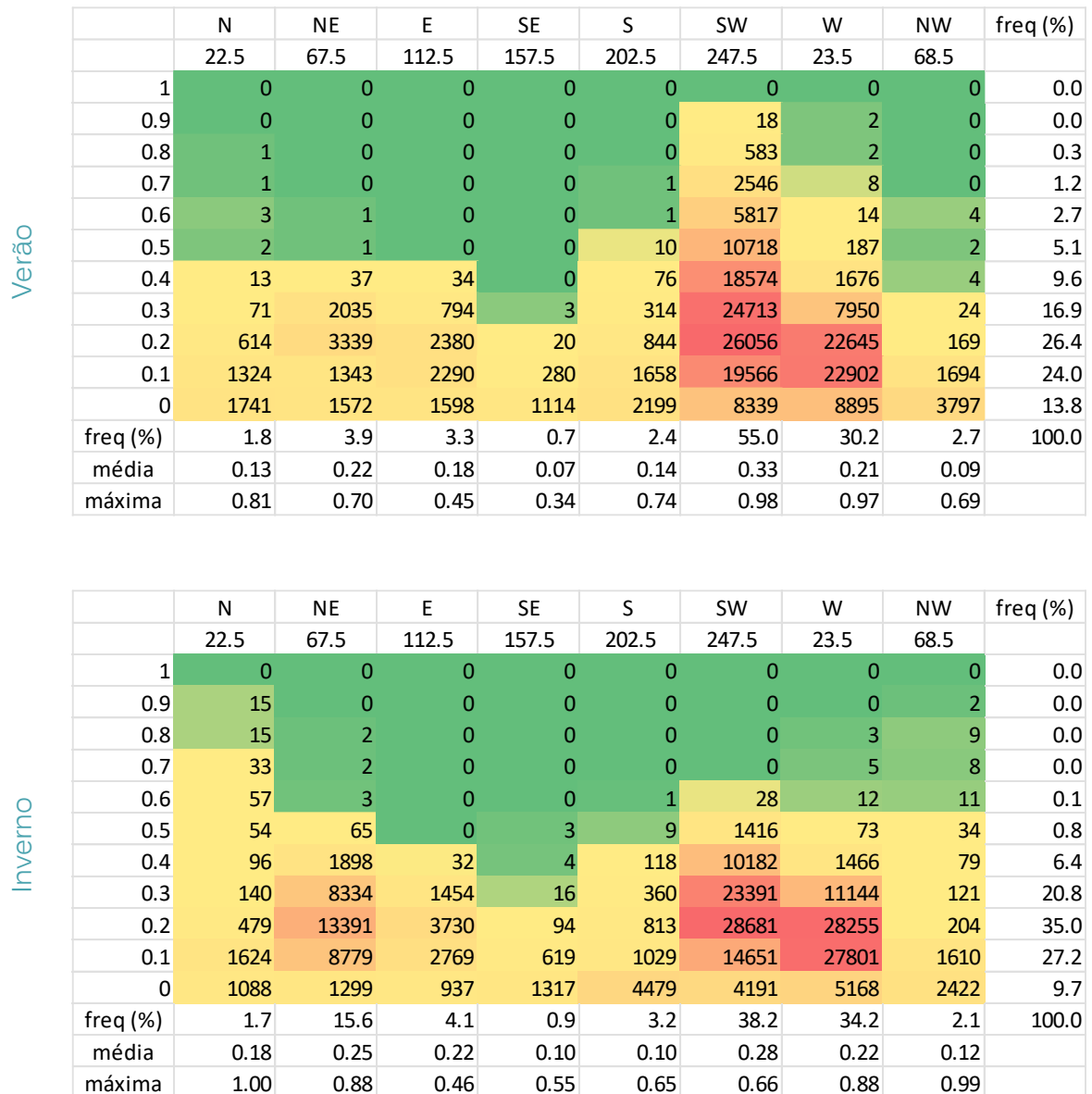


Figura 3.2.1-3. Diagramas de dispersão das velocidades de corrente por setores de direção obtidas das medições do ADCP da FEST/Renova na região marinha de Aracruz no verão de 2021 e inverno de 2020.

O resumo dos parâmetros estatísticos básicos das correntes medidas no ADCP fundeado na região marinha de Aracruz está presente na Tabela 3.2.1.1-1, que contém os valores médios e máximos das velocidades de corrente e respectivos desvios-padrão para as camadas de superfície, meio e fundo da coluna de água local.

Tabela 3.2.1-1. Valores das velocidades mínima, média e máxima obtidos a partir das medições do ADCP da FEST/Renova na região marinha de Aracruz no verão de 2021 e inverno de 2020.

Estação	Prof. (m)	Velocidade Mínima (m/s)	Velocidade Média (m/s)	Velocidade Máxima (m/s)	Desvio Padrão
VERÃO	2.7	0.01	0.19	0.69	0.102
	20	0.00	0.25	0.59	0.117
	39	0.00	0.11	0.41	0.070
INVERNO	2.7	0.00	0.21	0.56	0.095
	20	0.01	0.26	0.51	0.095
	39	0.00	0.15	0.52	0.068

### 3.2.2 Correntes na Região Costeira (ADCP Podas)

As correntes costeiras na região próxima ao Terminal de Barra do Riacho (Portocel) foram analisadas com base em dados de um estudo da Oceano Digital, 2025. A velocidade e a direção das correntes foram medidas por meio de um ADCP fundeado a aproximadamente 11 m de profundidade.

As séries temporais de correntes foram analisadas para períodos representativos de verão e inverno. Para o verão, foram considerados os intervalos de 01/12/2023 a 29/02/2024 e de 01/12/2024 a 28/02/2025. Para o inverno, os períodos analisados foram de 14/06/2024 a 31/08/2024 e de 01/06/2025 a 31/08/2025.

Os resultados são apresentados na Figura 3.2.2-1, por meio de gráficos vetoriais (tipo *stick plot*), e indicam a ocorrência de inversões de fluxo, de forma semelhante ao observado na região marinha de Aracruz. As correntes apresentaram alinhamento preferencial ao longo do eixo norte-sul, em função da orientação da linha de costa. Também pode-se verificar uma maior frequência de inversões nas direções das correntes no inverno do que no verão, possivelmente associadas a maior variabilidade meteorológica sazonal e à ocorrência de frentes frias.

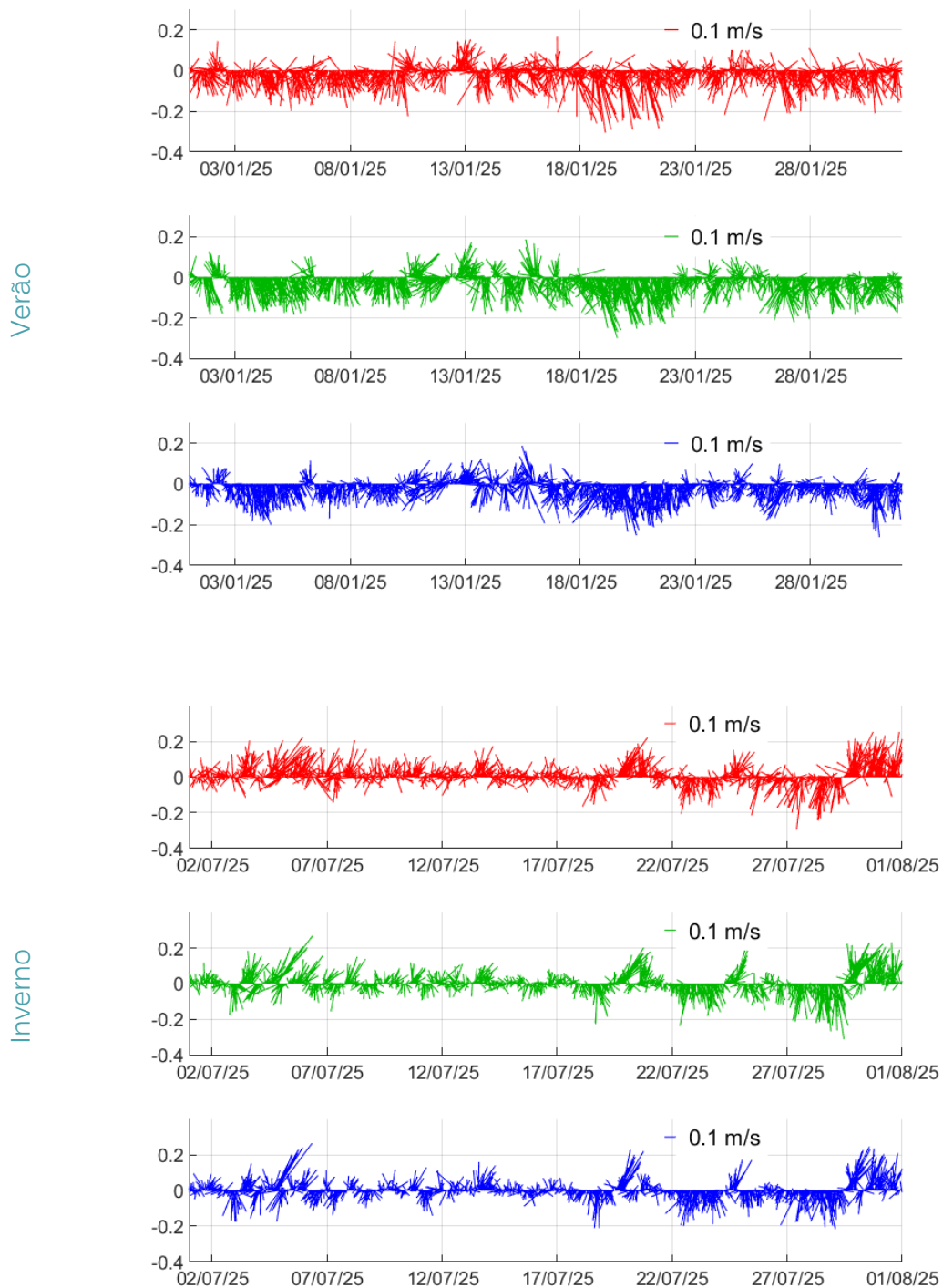


Figura 3.2.2-1. Séries temporais de correntes na região costeira próxima da Portocel (gráfico tipo *stick plot*) nos meses de janeiro (verão) e julho (inverno) de 2025. Fonte: Oceano Digital, 2025.

Os histogramas polares apresentados na Figura 3.2.2-2 se referem à compilação dos dados das correntes de verão e inverno de 2024 e 2025, conforme Oceano Digital (2025).

Os histogramas polares representam a distribuição da magnitude da velocidade de correntes nas camadas de superfície (1.2 m), meio da coluna de água (5.8 m) e fundo (10.4 m), divididos pelos respectivos setores de direção. O sentido das direções das correntes está de acordo com a convenção oceanográfica.

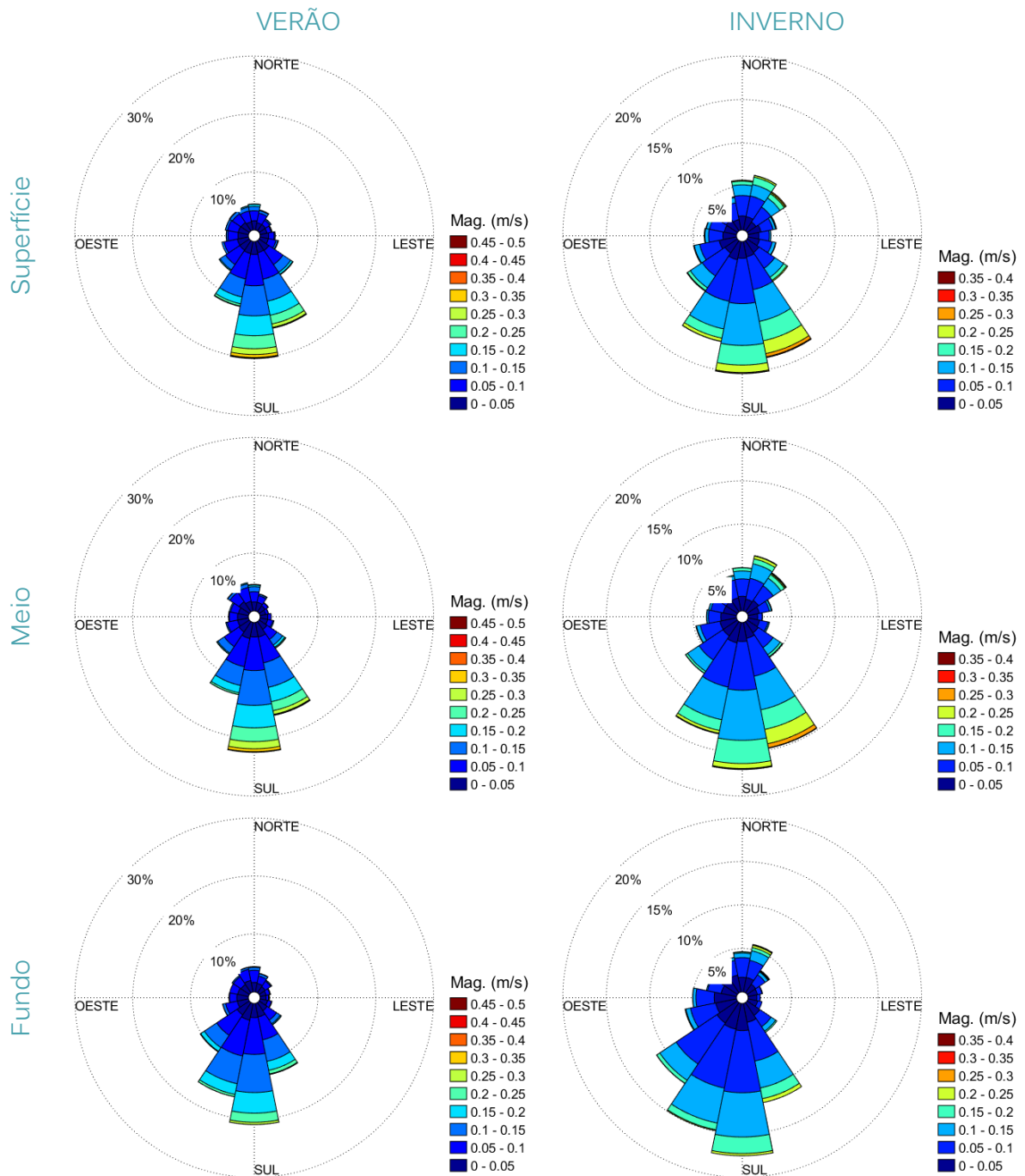


Figura 3.2.2-2. Histogramas polares das velocidades de corrente, por setores de direção, nas camadas de superfície, meio e fundo, medidas pelo ADCP PODAS nos verões e invernos de 2024 e 2025. Fonte: Oceano Digital, 2025.

Os diagramas de dispersão apresentados na Figura 3.2.2-3 representam a distribuição direcional e de velocidade das correntes para os períodos de verão e inverno nas três camadas da coluna de água (superfície, meia coluna e fundo). A similaridade dos padrões direcionais entre as camadas indica reduzida variação vertical nas direções das correntes ao longo da coluna d'água, nas condições observadas.

Os histogramas polares indicam predominância das correntes em direção ao sul no local de medições. No inverno, há um aumento da frequência das correntes em direção aos setores N e NE.

Do conjunto de correntes medidas no verão, 38.5% seguiram sentido S, 16.7% sentido SW e 12.5 sentido SE, somando 67.7% do total. A velocidade média das correntes na direção S foi de 0.13 m/s, enquanto a média de SW foi 0.09 m/s e de SE foi de 0.08 m/s. As velocidades máximas alcançaram 0.46 m/s (setor S).

As correntes de inverno também apresentaram predominância para o setor S (33%), seguidas das correntes para SW (17.7%) e SE (11.8%). As velocidades nesses setores foram semelhantes ao verão, com médias entre 0.09 e 0.11 m/s. No entanto, observa-se uma frequência maior de correntes na direção NE (8.8% no inverno e 4.7% no verão), com velocidades médias e máximas também mais elevadas (até 0.35 m/s no inverno e 0.22 m/s no verão).

O resumo dos parâmetros estatísticos básicos das correntes medidas na região próxima à Portocel está presente na Tabela 3.2.2-1, que contém os valores médios e máximos das velocidades de corrente e respectivos desvios-padrão divididos nas camadas de superfície, meio e fundo da coluna de água local no verão e inverno.

**Tabela 3.2.2-1. Valores das velocidades mínima, média e máxima dos dados do ADCP PODAS. Fonte: Oceano Digital, 2025.**

Estação	Prof. (m)	Velocidade Mínima (m/s)	Velocidade Média (m/s)	Velocidade Máxima (m/s)	Desvio Padrão
VERÃO	1.2	0.01	0.09	0.46	0.063
	5.8	0.06	0.09	0.39	0.064
	10.4	0.01	0.08	0.32	0.052
INVERNO	1.2	0.01	0.09	0.36	0.054
	5.8	0.04	0.09	0.28	0.054
	10.4	0.01	0.08	0.33	0.045

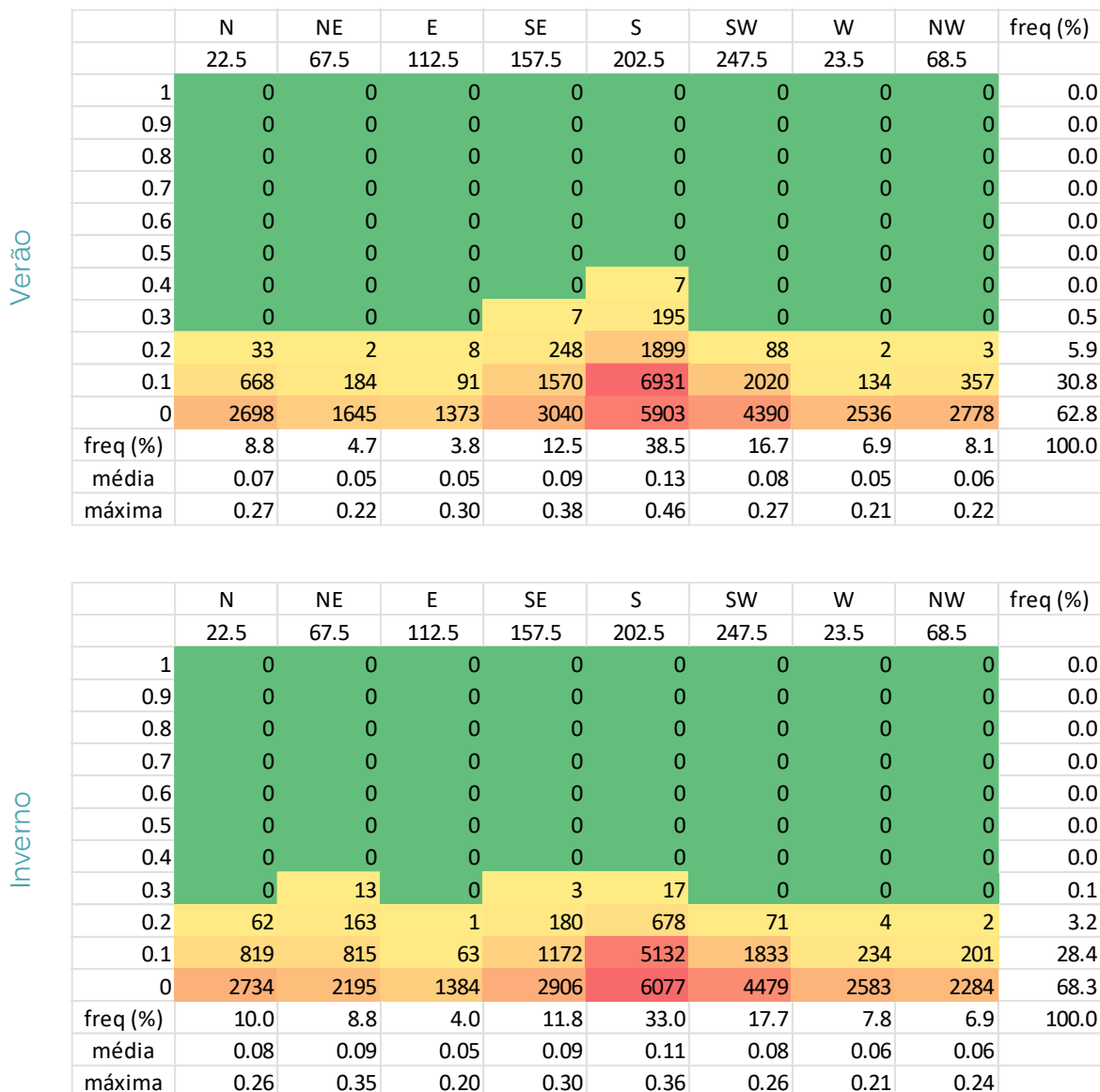


Figura 3.2.2-3. Diagrama de dispersão das velocidades de corrente por setores de direção (ADCP PODAS) do verão e inverno de 2024 e de 2025. Fonte: Oceano Digital, 2025.

### 3.2.3. Circulação Hidrodinâmica

A modelagem hidrodinâmica permite a representação integrada do campo de correntes, considerando a atuação conjunta das forçantes de maré, vento e vazões fluviais tributárias ao sistema marinho. Essa abordagem possibilita a análise espacial contínua dos padrões de circulação, identificando a influência da geometria costeira, da batimetria e das estruturas portuárias sobre a distribuição das correntes, complementando as medições pontuais disponíveis.

Os campos de correntes representativos das condições de verão e inverno na região costeira de Aracruz foram obtidos a partir das modelagens numéricas elaboradas para este estudo (Oceano Digital, 2026a).

O módulo hidrodinâmico Delft3D-FLOW foi utilizado para simular o campo de correntes e níveis d'água, resolvendo as equações de conservação de massa e quantidade de movimento em regime tridimensional, considerando a ação conjunta de maré, vento e vazões fluviais. O domínio computacional abrangeu a área entre Pontal do Ipiranga (Linhares) e Manguinhos (Serra). Os dados e informações referentes à definição das grades numéricas, compilação dos dados de batimetria da região, as condições de contorno aberto, os cenários meteoceanográficos utilizados nas simulações numéricas e a calibração e validação, estão descritos em detalhe em Oceano Digital (2026a).

As condições de contorno utilizadas e a configuração dos modelos foram ajustadas na etapa da Calibração e testadas na Validação. A calibração do modelo apresentou valores de desvio médio quadrático de 11.5% para a componente U das correntes, 13.0% para a componente V das correntes e 7.9% para o nível de água.

Os cenários de vento utilizados nas simulações hidrodinâmicas representam as condições típicas e críticas de verão e inverno, com base na distribuição direcional e nas velocidades médias e máximas. No verão, observa-se predominância de ventos dos setores N, NE e E, enquanto no inverno há aumento da frequência e da intensidade dos ventos provenientes dos setores S e SW.

Os ventos provenientes dos setores N-NE-E, típicos do período de verão, estão associados à predominância de correntes dirigidas para SW, enquanto ventos dos setores SE-S-SW, característicos do inverno, induzem correntes direcionadas para NE (Figura 3.2.3-1). Esse padrão indica a influência predominante das forçantes meteorológicas na definição do campo de correntes na região.

As estruturas marítimas dos terminais portuários da Imetame, Portocel e Seatrium (Jurong) modificam localmente esse padrão natural, sem alterar o padrão regional dominante, mas gerando efeitos hidrodinâmicos pontuais.

A presença dos quebramares promove a intensificação das velocidades nos trechos externos das estruturas e redução nas regiões abrigadas, à jusante do fluxo principal das correntes, tanto para norte quanto para sul. As zonas de abrigo hidrodinâmico se

estabelecem a jusante das estruturas em relação à direção do escoamento. Para correntes dirigidas para S-SW, essa zona se estende até a região em frente à praia de Barra do Sahy. Para correntes direcionadas para N-NE, a região abrigada ocorre nas proximidades da Portocel, estendendo-se até as proximidades da foz do rio Riacho, conforme ilustrado nas Figuras 3.2.3-2 a 3.2.3-5.

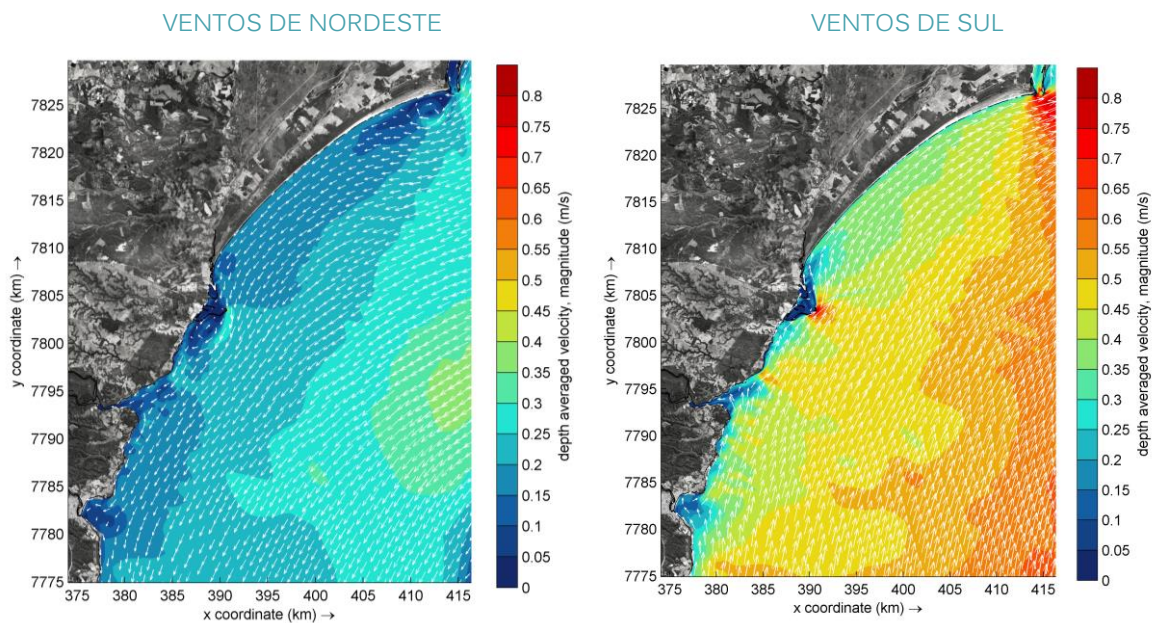


Figura 3.2.3-1 Campo de Correntes na região costeira de Aracruz. A escala de cores representa a velocidade média (m/s) e os vetores a direção das correntes. Fonte: Oceano Digital (2026a).

O regime de ventos associados aos quadrantes norte e nordeste são dominantes no verão, sendo responsáveis pela maior parcela do tempo de atuação das correntes na área de estudo.

Sob condições de ventos típicos e críticos de NE (Figura 3.2.3-2), as correntes na região costeira apresentam direção predominante para S-SW, tanto em maré de enchente quanto de vazante, indicando que o vento é o principal modulador do padrão direcional das correntes. Com ventos de nordeste, as estruturas portuárias da Portocel, Imetame e Jurong promovem a formação de zonas de abrigo hidrodinâmico na região em frente às praias de Barra do Sahy-Quinze, atenuando as velocidades das correntes nessa área. No ponto central do bota-fora, as velocidades atingiram valores máximos de 0,51 m/s, com média de 0,33 m/s.

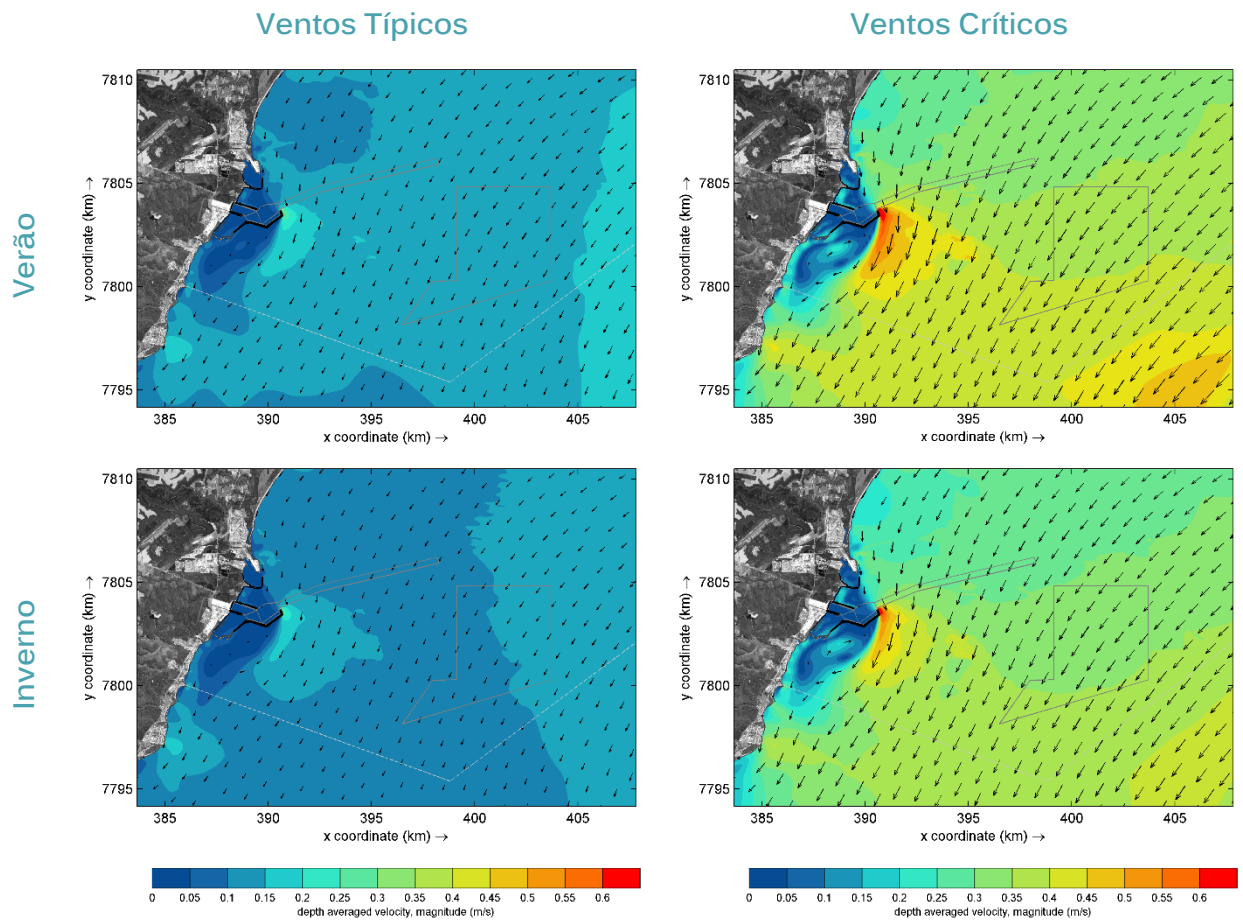


Figura 3.2.3-2. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos de NE típicos (em quadratura) e críticos (em sizígia). Fonte: Oceano Digital (2026a).

A hidrodinâmica correspondente às situações de ventos de E ((Figura 3.2.3-3) apresentam comportamento semelhante aos cenários de ventos de NE, com correntes de direção predominante para S-SW, porém, de menor magnitude. Esse padrão está associado à orientação da linha de costa, mais alinhada ao eixo NE-SW, de modo que ventos provenientes do setor E incidem de forma oblíqua em relação à costa. No ponto central do bota-fora, as velocidades atingiram valores máximos de 0,13 m/s, com média de 0,06 m/s.

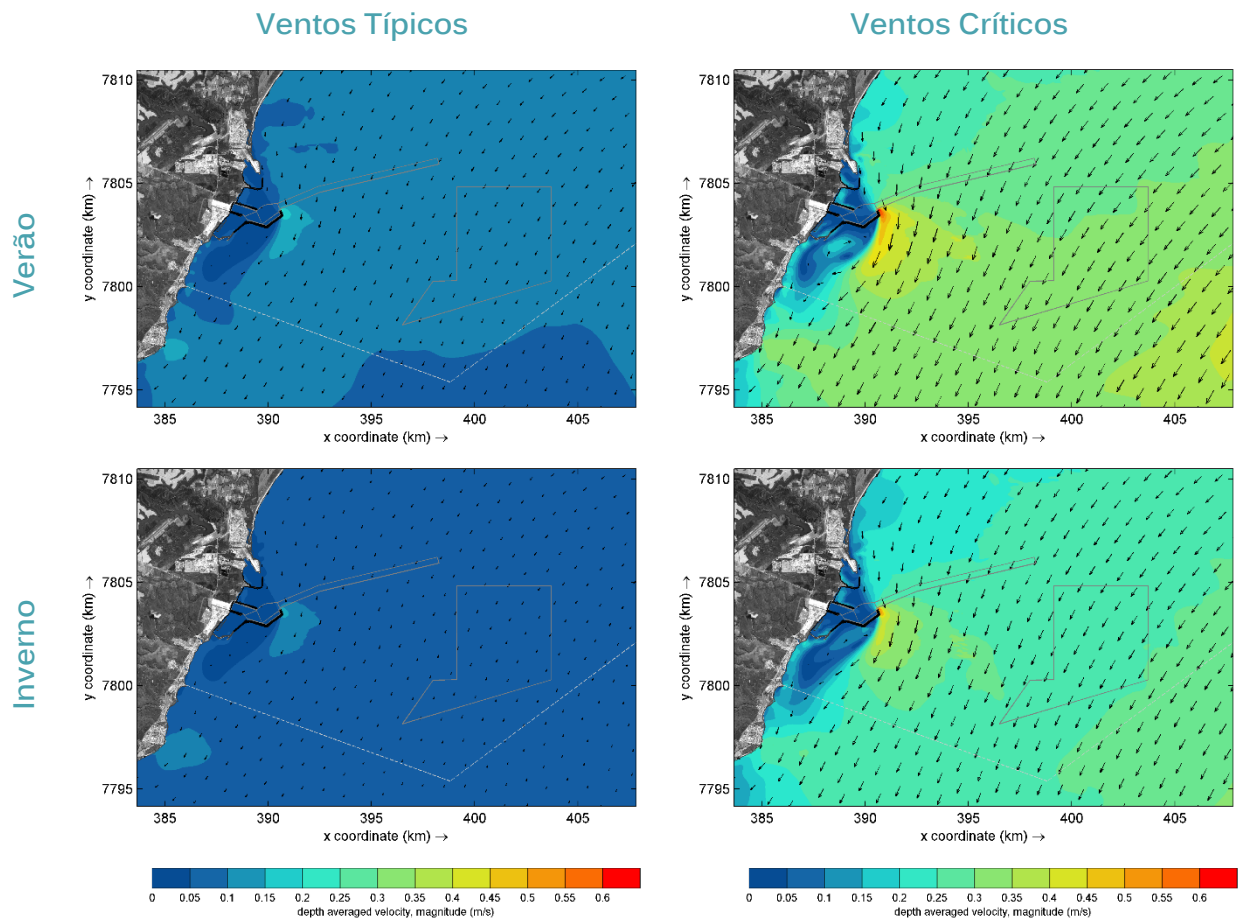


Figura 3.2.3-3. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos de E típicos (em quadratura) e críticos (em sizígia). Fonte: Oceano Digital (2026a).

Os resultados hidrodinâmicos resultantes dos cenários associados a ventos de SE resultam nas menores magnitudes de corrente na região marinha Figura 3.2.3-4, uma vez que esses ventos correspondem aos ventos que são perpendiculares à linha de costa, numa visão de escala regional. No entanto, próximo à linha de costa, apresentam um fluxo costeiro de correntes mais intenso que seguem sentido NE e N devido ao pequeno ângulo de inclinação existente, que não influencia na região marinha, mas que causa esse transporte de água na região costeira. No ponto central do bota-fora, as velocidades atingiram valores máximos de 0,08 m/s, com média de 0,04 m/s.

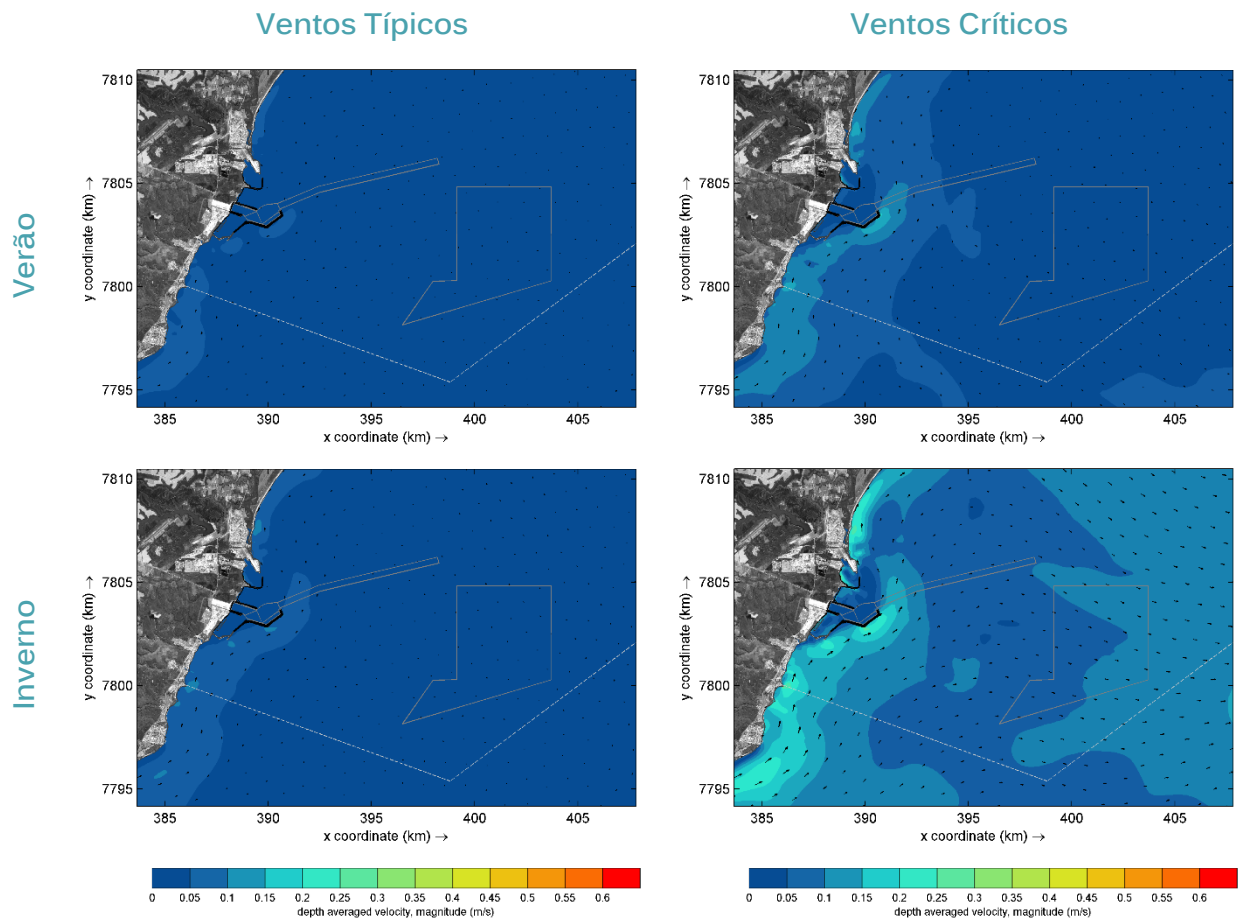


Figura 3.2.3-4. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos (quadratura) e críticos (sizígia) de SE. Fonte: Oceano Digital (2026a).

Os cenários associados aos ventos provenientes dos quadrantes sul, embora menos frequentes, apresentam maiores intensidades, principalmente no inverno e estão associados a eventos de maior energia e maior potencial de transporte de água.

Os resultados das simulações hidrodinâmica com ventos S apresentam a predominância de correntes direcionadas para N-NE, conforme pode ser visto na Figura 3.2.3-5. Esse é o regime hidrodinâmico mais energético, dessa região da costa do Espírito Santo. No ponto central do bota-fora, as velocidades atingiram valores máximos de 0,72 m/s, com média de 0,34 m/s.

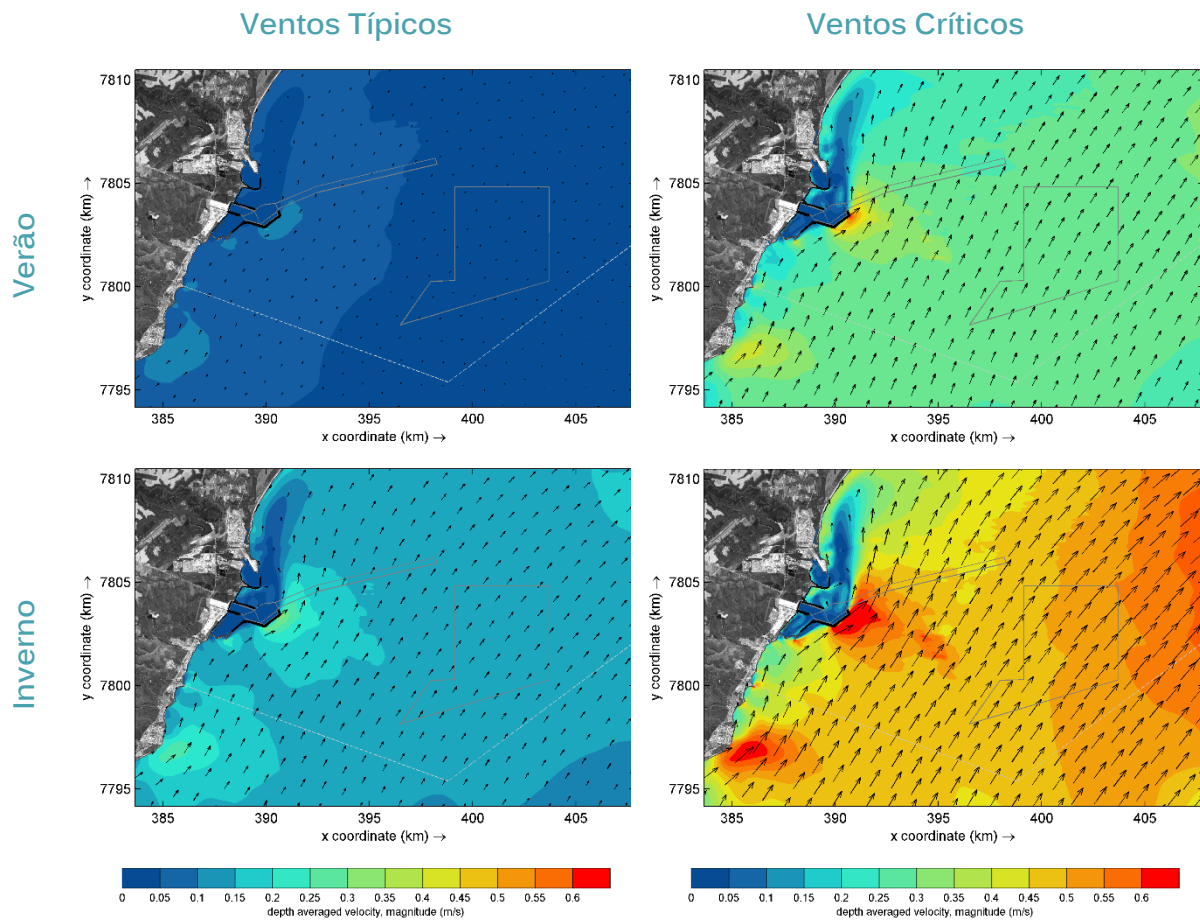


Figura 3.2.3-5. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos (quadratura) e críticos (sizígia) de S. Fonte: Oceano Digital (2026a).

### 3.2.4 Conclusão

O regime de correntes na área de estudo caracteriza-se por um padrão de escoamento predominantemente longitudinal à linha de costa, com inversões do sentido do escoamento controladas, principalmente, pela ação dos ventos e, portanto, possui variação sazonal na frequência de ocorrência. As maiores intensidades de corrente estão associadas aos ventos de S e SW, mais frequentes na estação de inverno.

Na região costeira, o escoamento apresenta maior alinhamento e menor magnitude média, refletindo o controle exercido pela batimetria e pelo atrito de fundo, enquanto na região marinha há maior resposta às forçantes meteorológicas. Essa configuração define um sistema dinâmico no qual a circulação é estruturada por condições típicas de menor energia, porém mais constantes e eventos sazonais de maior intensidade.

### 3.3 Ondas

As condições de onda na região do Imetame Logística Porto foram caracterizadas a partir de uma abordagem integrada, combinando dados de longo prazo, medições in situ e modelagem numérica. O clima de ondas em águas profundas foi definido com base em uma série temporal de 30 anos (1995–2025) proveniente do modelo de *hindcast* *Wavewatch* III (WWIII) para um local próximo ao Imetame Logística Porto.

Esta análise foi complementada com dados medidos por ADCP na região marinha (-39 m) e na região costeira (-11 m), permitindo a validação das características do regime de ondas e a análise da transformação do campo de ondas em águas rasas.

A propagação das ondas desde o largo até a zona costeira foi simulada por meio do modelo espectral SWAN (Booij *et al.*, 1999 e Ris *et al.*, 1999), permitindo avaliar os efeitos da batimetria, da orientação da linha de costa e da presença de estruturas na redistribuição da energia de onda (Oceano Digital, 2026b).

Os locais de obtenção dos parâmetros de onda de altura significativa, período de pico e direção, do banco de dados *Wavewatch* III (WWIII) e dos dados primários costeiros (ADCP PODAS) e marinhos (ADCP Renova) estão ilustrados na Figura 2-1, cujas informações da Tabela 1-1 são rerepresentadas na Tabela 5.2-1.

**Tabela 5.2-1. Coordenadas e profundidade dos locais de obtenção dos parâmetros das ondas marítimas de gravidade.**

	Local	Data Início	Data Fim	Coordenadas	Prof. (m)
Modelo WWIII	Aracruz	01/06/1995	31/05/2025	395390.7 7788206.4	41
Perfil de Correntes	Região	22/07/2020	30/08/2020	399721.2	39
ADCP FEST/Renova	Marinha	21/01/2021	01/03/2021	7790168.6	
Perfil de Correntes	Região	01/09/2023	30/09/2025	390219.0	11
ADCP PODAS	Costeira			7806084.3	
Modelagem Numérica Propagação Ondas	Região Costeira e Marinha de Linhares e Aracruz				

#### 3.3.1 Ondas na Região Marinha (WWIII)

A caracterização do clima de ondas deve se basear numa série temporal longa de dados, geralmente um período de 30 anos ou mais. Como no Brasil não existem bases de dados de longo prazo e, especificamente, nesta região não existem medições de longo período, foram utilizados os parâmetros de ondas estimados pelo modelo espectral *WAVEWATCH* III (WWIII) para a definição do clima de ondas na região marinha próxima ao Imetame Logística Porto.

O conjunto de dados utilizado é composto por séries tri-horárias de altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção média (Dm), obtidas a partir de simulações do campo de ondas com o modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1989; 2009), forçado por campos de vento provenientes de reanálises do modelo atmosférico global GFS (Global Forecast System). Este conjunto possui 90553 estimativas dos parâmetros das ondas oceânicas, entre os anos de 1995 e 2025, extraídos num ponto próximo à área de estudo, cujas coordenadas estão presentes na Tabela 5.1-1 e a representação do ponto WWIII está na Figura 2-1.

O Modelo WAVEWATCH III (Tolman 1999, 2009) é uma evolução de Wavewatch I, desenvolvido na Delft University of Technology (Tolman, 1989), que foi baseado, originalmente, no modelo WAM. O WWIII utiliza a formulação espectral na conservação da ação da onda e inclui geração de energia, dissipação devido à rebentação e ao excesso de declividade (*whitecapping*), refração e interações não lineares quadruplas. O WWIII é executado acoplado ao modelo atmosférico global GFS (*Global Forecast System*), mantido pelo NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), que pertencem à NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) dos Estados Unidos).

Todo o conjunto de 30 anos de dados do WWIII está resumido na forma de classes de altura e direção, ilustrado pelo histograma polar da Figura 3.3.1-1 e pelo diagrama de dispersão da Figura 3.3.1-2.

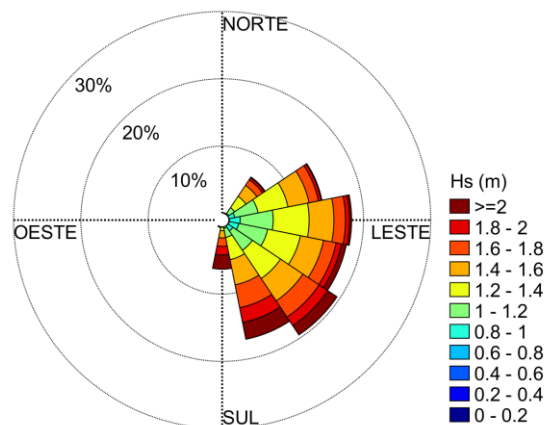


Figura 3.3.1-1. Histograma polar das alturas significativas de onda por setores de direção obtidos a partir dos dados do Wavewatch III (1995 a 2025).

A análise do período de 30 anos de dados indica que 92.2% dos registros com alturas significativas menores que 2.0 m, sendo 79.5% com Hs entre 1.0 e 1.8 m (Figura 3.3.1-2). Os períodos de pico entre 7 e 13 s somaram 85.3% da frequência dos casos e, dentre eles, 55.6% situam-se entre 7 e 10 s.

As ondas apresentaram direções de proveniência dentro do intervalo de NE a SW, com uma predominância dos setores SE (37.3%) e E (35.0%), seguido por S (14.1%) e NE (13.6%). As ondas significativas médias apresentaram valores entre 1.3 e 1.4 m nos

setores de NE, E e SE e Hs média de 1.8 m no setor S. As ondas máximas obtidas tiveram alturas significativas entre 2.9 e 3.3 m nos setores de E e SE e valores máximos de 3.7 m no setor S. Ondas com alturas significativas superiores a 1,0 m representam 94,6% dos registros, enquanto eventos com Hs superiores a 2,0 m correspondem a 7,7% do total.

	N	NE	E	SE	S	SW	freq (%)
	22.5	67.5	112.5	157.5	202.5	247.5	
3.8	0	0	0	0	0	0	0.0
3.6	0	0	0	0	4	0	0.0
3.4	0	0	0	0	10	0	0.0
3.2	0	0	0	10	53	0	0.1
3.0	0	0	0	41	80	0	0.1
2.8	0	0	3	72	162	0	0.3
2.6	0	3	7	129	227	0	0.4
2.4	0	5	46	315	531	0	1.0
2.2	0	32	172	765	760	1	2.0
2.0	0	128	415	1497	1277	1	3.8
1.8	0	481	1080	2630	2174	1	7.3
1.6	0	1538	2861	4975	2528	2	13.7
1.4	0	3105	6270	6871	2412	0	21.4
1.2	0	3806	8869	8190	1624	0	25.8
1.0	0	2291	8020	5539	427	0	18.7
0.8	0	419	2636	1442	40	0	5.2
0.6	0	10	150	52	0	0	0.2
0.4	0	0	0	0	0	0	0.0
0.2	0	0	0	0	0	0	0.0
0.0	0	0	0	0	0	0	0.0
freq (%)	0.0	13.6	35.0	37.3	14.1	0.0	100.0
média	0.0	1.39	1.33	1.48	1.79	1.93	
máxima	0.0	2.66	2.92	3.29	3.68	2.39	

Figura 3.3.1-2. Diagrama de dispersão das classes de alturas significativas de onda pelas classes de direção média obtidas a partir do conjunto WWIII (1995 a 2025).

A Tabela 3.3.1-1 apresenta um resumo dos valores mínimos e máximos das alturas e períodos do conjunto de ondas do WWIII (1995 a 2025), com seus respectivos horários e parâmetros extraídos da onda representativa destes dados, acompanhados dos valores médios e desvios-padrão das alturas significativas e períodos de pico.

Tabela 3.3.1-1. Valores mínimos e máximos.com suas respectivas datas e parâmetros associados e valores médios obtidos do conjunto de 30 anos de dados do conjunto WWIII.

Dados	Parâmetros	Data	Hora	Altura (m)	Período (s)	Direção (°)
WWIII	Hs mínima	2024-02-02	15:00	0.60	6.57	90.3
	Hs máxima	2007-05-10	06:00	3.68	9.39	190.3
	Tp mínimo	2018-06-11	21:00	0.9	3.6	84.9
	Tp máximo	1998-12-04	12:00	1.4	16.0	145.6
	Média		Desvio-padrão			
	Hs (m)	1.46	0.36			
	Tp (s)	9.4	2.39			

### 3.3.1.1 Caracterização Sazonal das Ondas

O conjunto de 30 anos de ondas, obtidas na plataforma continental a partir do WWIII (WaveWatch III), foi analisado por estação do ano. A Figura 3.3.1.1-1 apresenta os histogramas polares das ondas obtidos para as quatro estações do ano.

Em geral, observa-se que as ondas provenientes do setor E apresentam uma frequência de ocorrência relevante em todas as estações do ano. Os padrões direcionais de primavera e verão são semelhantes entre si, assim como os de outono e inverno. Em termos de altura significativa (Hs), os maiores valores médios ocorrem na primavera em relação ao verão, e no inverno em relação ao outono.

Na primavera e no verão, as ondas do setor E são predominantes, com 43% e 38% de frequência de ocorrência, respectivamente, com altura significativa média entre 1.2 e 1.4 m. Os setores de NE tiveram uma predominância secundária no verão (29% e média de 1.3 m) sendo que essa posição foi assumida pela frequência das ondas do setor SE, na primavera (33%, Hs média de 1.6 m).

No outono e no inverno, predominam ondas do setor SE, com frequências de 52% e 41%, respectivamente. As alturas significativas médias foram de 1.4 m no outono e 1.6 m no inverno. No inverno, as ondas do setor E também apresentaram alta frequência (37%) e Hs média de 1,4 m. No outono, os setores E (23%) e S (21%) apresentam frequências semelhantes. As alturas significativas médias, no entanto, foram de 1.2 m, no outono e 1.7 m no inverno.

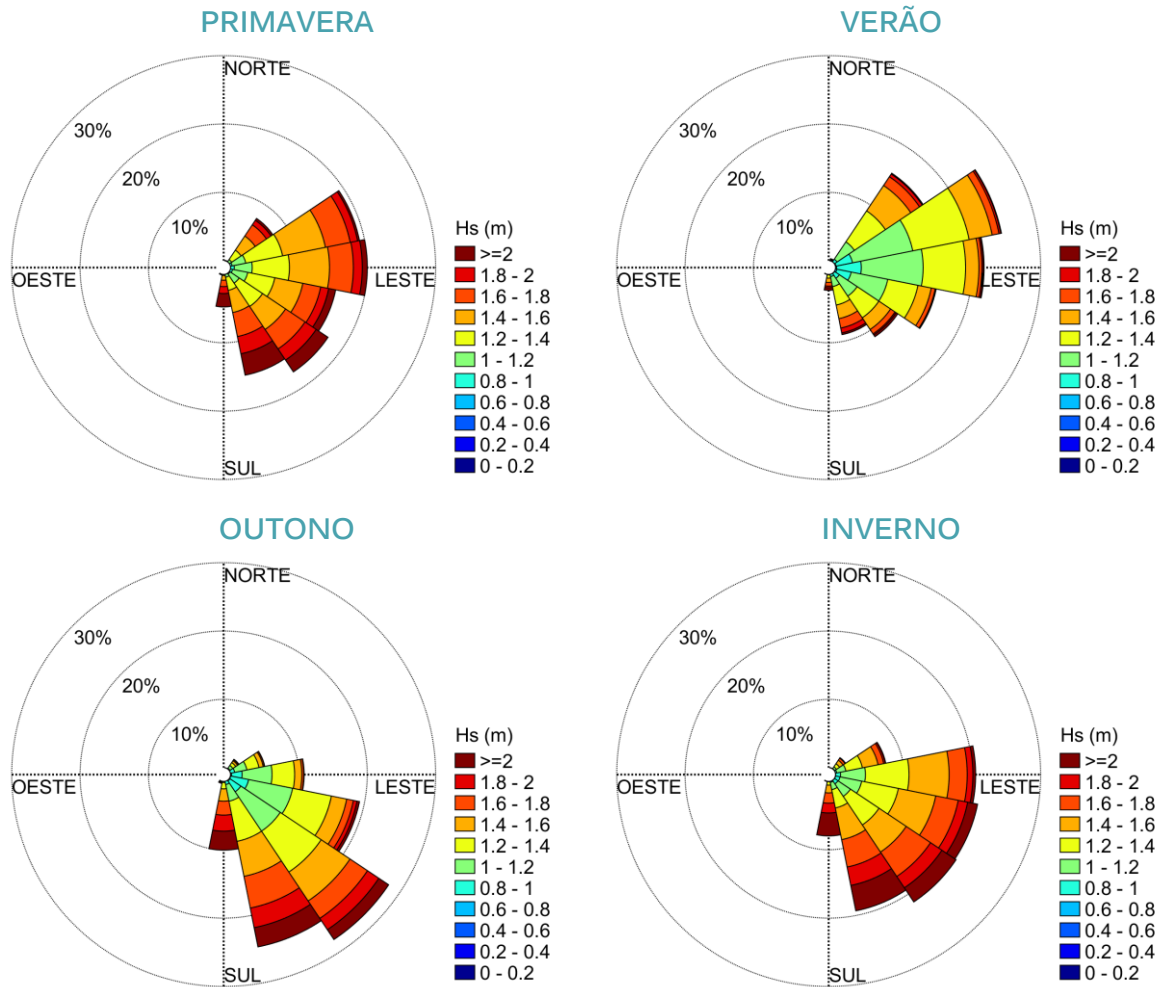


Figura 3.3.1.1-1. Histogramas polares das ondas do conjunto de dados do WWIII para as quatro estações do ano.

### 3.3.2 Ondas na Região Marinha (ADCP Renova)

As medições das ondas de gravidade na região marinha foram realizadas por um ADCP, fundeado numa profundidade de 39 m (DHN), cujos dados foram disponibilizados pela FEST/Renova por meio do laboratório Poseidon (UFES) para os períodos de 21/01/2021 a 01/03/2021 (verão) e 22/07/2020 a 30/08/2020 (inverno), ambos somando 38 dias. O local de obtenção das medições de ondas na região marinha de Aracruz está ilustrado na Figura 2-1, cujas coordenadas estão na Tabela 5.1-1.

A Figura 3.3.2-1 apresenta as séries temporais de altura significativa, período de pico e direção média medidas na região marinha de Aracruz durante o verão de 2021 e o inverno de 2020.

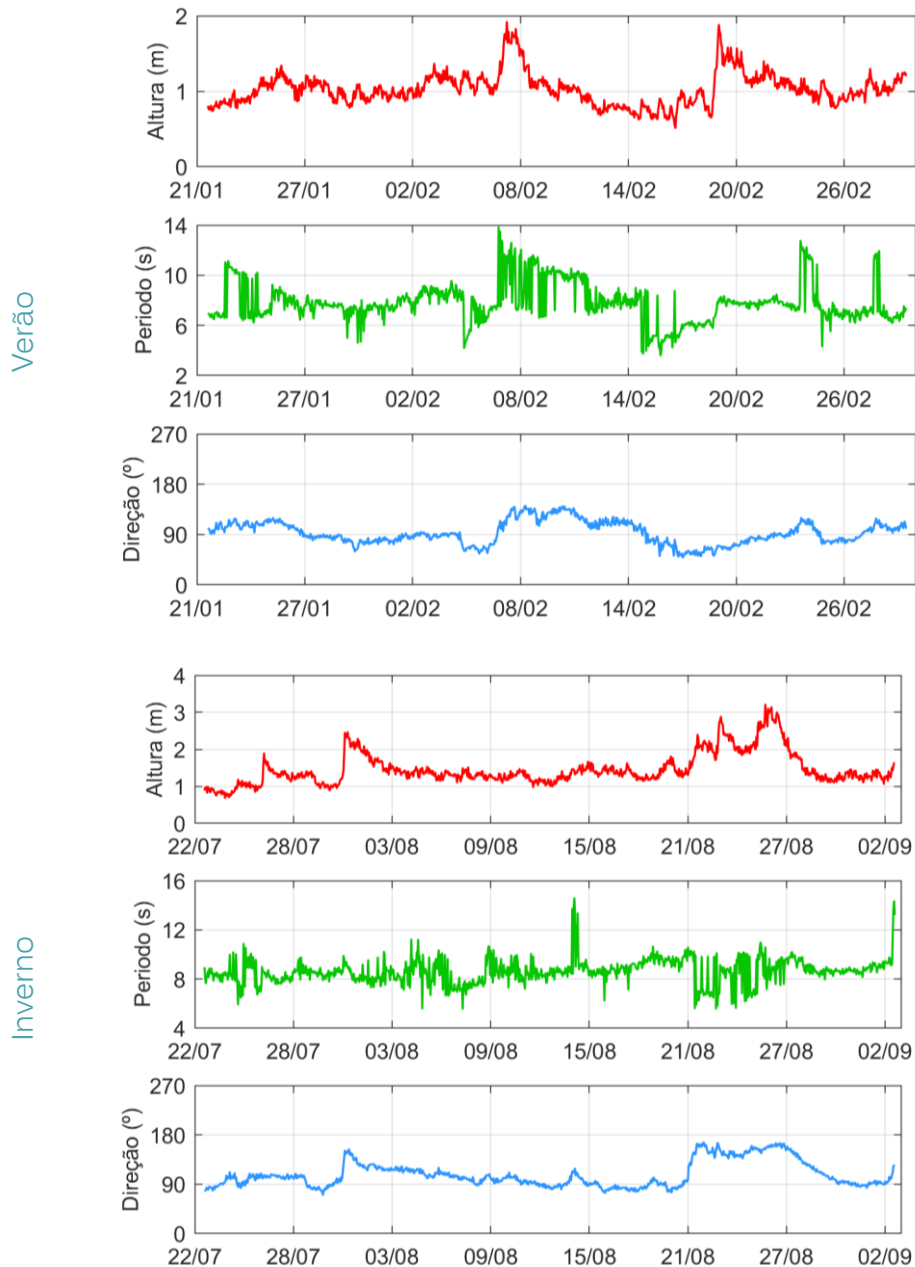


Figura 3.3.2-1. Séries temporais de altura significativa ( $H_s$ ), período médio ( $T_m$ ), período de pico ( $T_p$ ), direção média e direção de pico das ondas medidos pelo ADCP FEST/Renova durante os períodos de verão de 2021 e inverno de 2020.

Os dados de altura significativa ( $H_s$ ) medidos da região marinha de Aracruz foram agrupados em histogramas polares de verão e inverno, Figura 3.3.2-2. O histograma polar é o modo gráfico que representa a distribuição das alturas significativas de onda ( $H_s$ ) pelas direções de pico ( $D_p$ ), facilitando a identificação da direção de proveniência, frequência de ocorrência e altura de onda (cores). Os valores da distribuição direcional das alturas de onda pelas direções de proveniência são apresentados na Figura 3.3.2-3.

No verão, 100% dos registros apresentaram alturas significativas inferiores a 2,0 m, enquanto no inverno esse percentual foi de 87.6%. Essa diferença é mais evidente nas ondas com Hs inferiores a 1.0 m, que representam 47.3% dos registros no verão e apenas 7.4% no inverno (Figura 3.3.2-2). Os períodos de pico mais frequentes foram entre 7 e 10 s, no verão, somando 75.2% e entre 8 e 11 no inverno, que representou 88.0% do conjunto total de ondas.

As direções de proveniência das ondas variam entre NE e S, com predominância do setor E em ambas as estações, com 69.0% no verão e 71.0% no inverno, seguidos do setor SE, com 17.9% no verão e 26.7% no inverno. As alturas significativas mais frequentes no verão situam-se entre 0.6 e 1.2 m (85.7%) e entre 1.0 e 1.6 m no inverno (68.5%) (Figura 3.3.2-3).

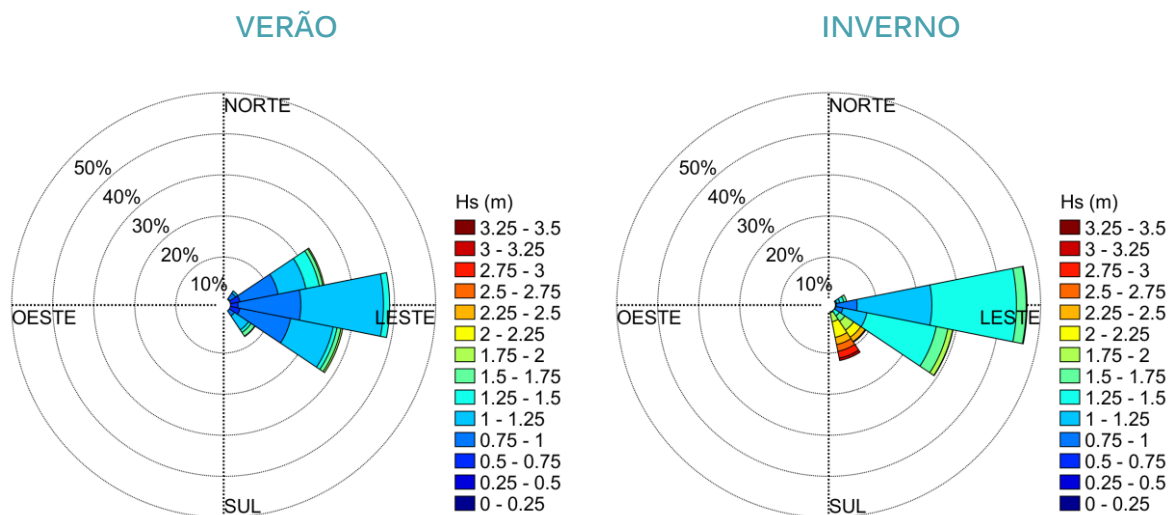


Figura 3.3.2-2. Histograma polar das alturas significativas de onda por setores de direção medidas na região marinha de Aracruz, no verão de 2021 e inverno de 2020.

Verão

	N	NE	E	SE	S	SW	freq (%)
	22.5	67.5	112.5	157.5	202.5	247.5	
3.4	0	0	0	0	0	0	0.0
3.2	0	0	0	0	0	0	0.0
3.0	0	0	0	0	0	0	0.0
2.8	0	0	0	0	0	0	0.0
2.6	0	0	0	0	0	0	0.0
2.4	0	0	0	0	0	0	0.0
2.2	0	0	0	0	0	0	0.0
2.0	0	0	0	0	0	0	0.0
1.8	0	0	1	2	0	0	0.3
1.6	0	0	6	16	0	0	2.4
1.4	0	8	8	7	0	0	2.5
1.2	0	11	63	9	0	0	8.9
1.0	0	31	251	76	0	0	38.6
0.8	0	38	247	41	0	0	35.1
0.6	0	15	81	15	0	0	12.0
0.4	0	0	2	0	0	0	0.2
0.2	0	0	0	0	0	0	0.0
0.0	0	0	0	0	0	0	0.0
freq (%)	0.0	11.1	71.0	17.9	0.0	0.0	100.0
média	0.00	1.02	1.01	1.11	0.00	0.00	
máxima	0.00	1.60	1.88	1.92	0.00	0.00	

Inverno

	N	NE	E	SE	S	SW	freq (%)
	22.5	67.5	112.5	157.5	202.5	247.5	
3.4	0	0	0	0	0	0	0.0
3.2	0	0	0	1	0	0	0.1
3.0	0	0	0	2	3	0	0.5
2.8	0	0	0	3	6	0	0.9
2.6	0	0	0	10	8	0	1.8
2.4	0	0	0	15	5	0	2.0
2.2	0	0	0	23	4	0	2.7
2.0	0	0	0	38	16	0	5.4
1.8	0	0	2	49	2	0	5.3
1.6	0	0	20	36	0	0	5.6
1.4	0	0	109	48	0	0	15.6
1.2	0	0	330	40	0	0	36.7
1.0	0	0	160	4	0	0	16.3
0.8	0	0	63	0	0	0	6.2
0.6	0	0	12	0	0	0	1.2
0.4	0	0	0	0	0	0	0.0
0.2	0	0	0	0	0	0	0.0
0.0	0	0	0	0	0	0	0.0
freq (%)	0.0	0.0	69.0	26.7	4.4	0.0	100.0
média	0.00	0.00	1.25	1.85	2.46	0.00	
máxima	0.00	0.00	1.89	3.21	3.14	0.00	

Figura 3.3.2-3. Diagramas de dispersão das alturas significativas de onda (Hs) pela direção de pico (Dp) obtidos a partir das medições realizadas na região marinha de Aracruz, no verão de 2021 e inverno de 2020.

A Tabela 3.3.2-1 apresenta um resumo dos valores mínimos e máximos de altura e período das ondas da região marinha de Aracruz, incluindo os respectivos instantes de ocorrência e parâmetros extraídos da onda representativa destes dados. Nesta tabela, são também apresentados os valores médios e desvios-padrão das alturas significativas e períodos de pico.

Tabela 3.3.2-1. Valores mínimos e máximos, com suas respectivas datas e parâmetros associados e valores médios obtidos do conjunto de medições na região marinha de Aracruz, no verão de 2021 e inverno de 2020.

Dados	Parâmetros	Data	Hora	Altura (m)	Período (s)	Direção (°)	
VERÃO	Hs mínima	2021-02-16	14:48	0.51	4.64	52.0	
	Hs máxima	2021-02-07	05:48	1.92	11.55	154.7	
	Tp mínimo	2021-02-15	18:48	0.9	3.6	54.9	
	Tp máximo	2021-02-06	18:48	1.2	13.8	150.5	
	Média		Desvio-padrão				
	Hs (m)	1.03			0.21		
	Tp (s)	7.8			1.60		
INVERNO	Hs mínima	2020-07-23	20:08	0.69	8.57	81.8	
	Hs máxima	2020-08-25	17:08	3.21	10.57	136.6	
	Tp mínimo	2020-08-07	07:08	1.5	5.6	104.5	
	Tp máximo	2020-08-14	02:08	1.4	14.6	156.0	
	Média		Desvio-padrão				
	Hs (m)	1.46			0.44		
	Tp (s)	8.6			1.02		

### 3.3.3 Ondas na Região Costeira (ADCP Podas)

As ondas na região costeira próxima da Portocel foram obtidas a partir de medições realizadas pelo ADCP PODAS, fundeado a uma profundidade de 11 m, para o período entre 01/09/2023 a 30/09/2025, (Figura 2-1, Tabela 5.1-1).

A Figura 3.3.3-1 apresenta as séries temporais de altura significativa, período médio e direção média medidas entre 2023 e 2025.

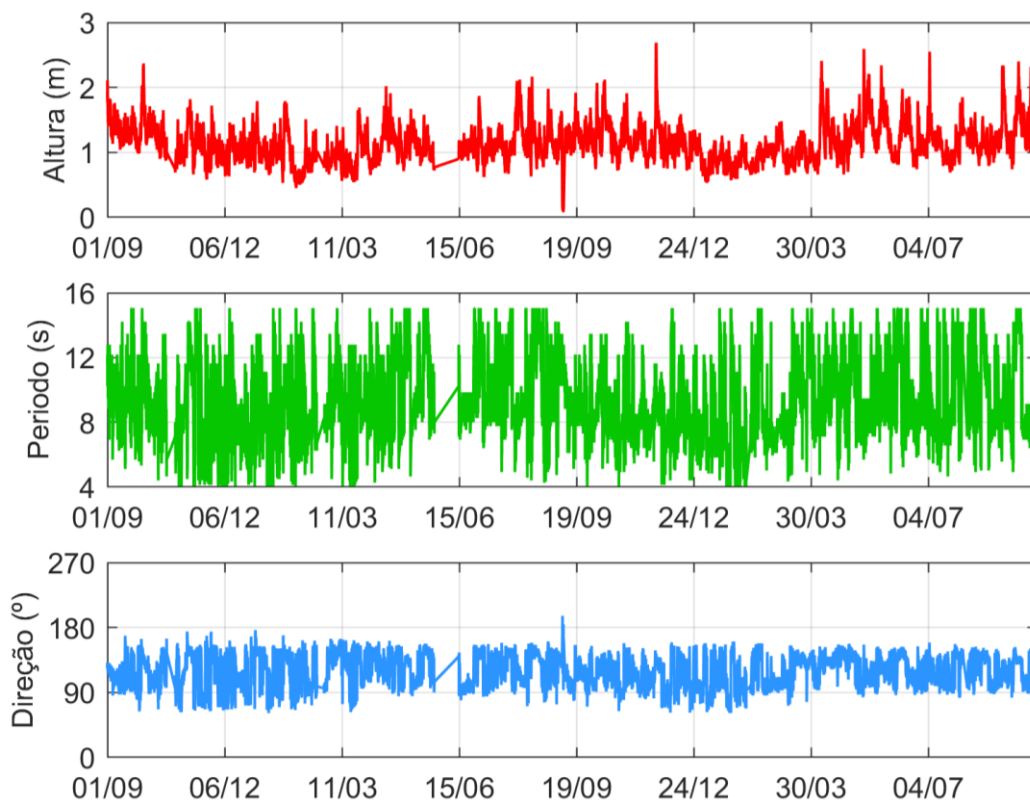


Figura 3.3.3-1. Séries temporais de altura significativa, período médio e direção média para o período de 01/09/2023 a 31/09/2025. Fonte: Oceano Digital (2025).

As ondas medidas na região costeira apresentaram 100% dos registros com alturas significativas ( $H_s$ ) inferiores a 2.5 m. No verão, 57.6% dos registros apresentaram  $H_s$  inferiores a 1.0 m, enquanto no inverno esse percentual foi de 25.7% (Figura 3.3.3-3). Os períodos de pico ( $T_p$ ) mais frequentes situam-se entre 8 s e 14 s, correspondendo a 64.0% dos registros no verão e 79.3% no inverno. Ondas com  $T_p$  inferiores a 8 s representam 30.1% das medições no verão e 5.6% no inverno.

As direções de proveniência das ondas variam entre NE e S no verão, e entre E e S no inverno. Em ambas as estações, predominam ondas provenientes dos setores E e SE. No verão, as ondas mais frequentes foram de E (58.6%) e SE (40.2%) e, no inverno, as

classes ficaram invertidas, com ondas de SE (55.6%) e E (44.3%). As ondas mais frequentes nestes setores tiveram alturas significativas entre 0.2 e 2.55 m, com médias entre 0.95 e 1.2 m (Figura 3.3.3-3).

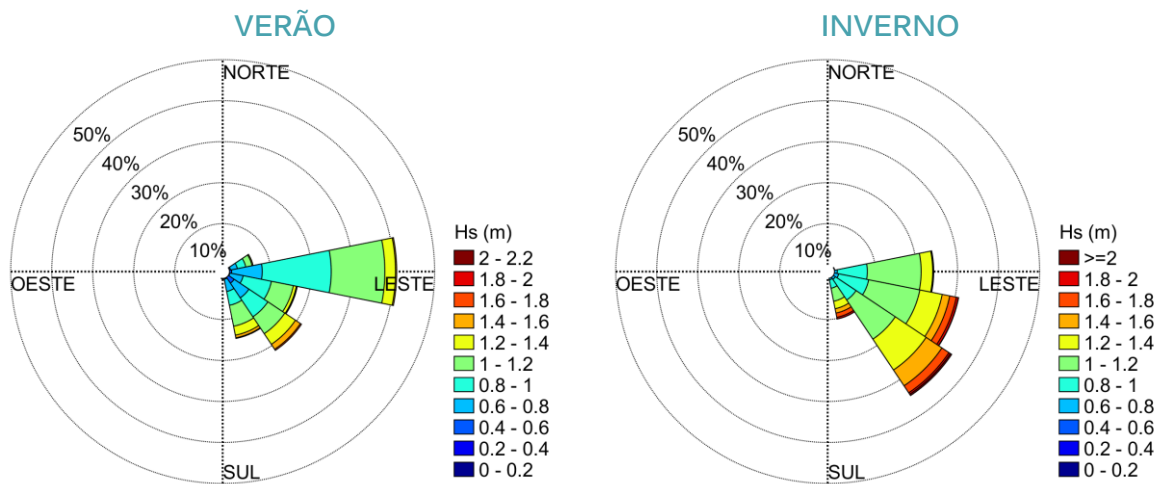


Figura 3.3.3-2. Histogramas polares das alturas significativas de onda (Hs) pelas direções médias (Dm) medidas na região costeira (ADCP PODAS) durante os verões e invernos de 2023 a 2025. Fonte: Oceano Digital (2025).

A Tabela 3.3.3-1 apresenta um resumo dos valores mínimos e máximos das alturas e períodos do conjunto de ondas costeiras do ADCP PODAS, com seus respectivos horários e parâmetros extraídos da onda representativa destes dados, acompanhados dos valores médios e desvios-padrão das alturas significativas e períodos de pico.

Os dados de altura significativa estão presentes em histogramas polares que apresentam as frequências de ocorrência das alturas significativas em relação aos setores de direção média considerados (Figura 3.3.3-2).

Tabela 3.3.3-1. Valores mínimos e máximos, com suas respectivas datas e parâmetros associados e valores médios obtidos do conjunto de medições costeiras. Fonte: Oceano Digital (2025).

Dados	Parâmetros	Data	Hora	Altura (m)	Período (s)	Direção (°)	
VERÃO	Hs mínima	2024-02-02	11:30	0.45	15.06	130.0	
	Hs máxima	2024-01-01	13:10	1.79	12.80	149.6	
	Tp mínimo	2023-12-03	14:00	1.2	4.1	74.3	
	Tp máximo	2023-12-10	00:30	1.2	15.1	147.7	
	Média		Desvio-padrão				
	Hs (m)	0.96			0.21		
	Tp (s)	8.4			2.47		
INVERNO	Hs mínima	2024-07-05	02:10	0.62	12.19	152.6	
	Hs máxima	2025-07-04	22:20	2.55	9.14	138.9	
	Tp mínimo	2024-08-23	13:40	1.3	4.3	76.1	
	Tp máximo	2024-06-27	04:30	1.1	15.1	139.2	
	Média		Desvio-padrão				
	Hs (m)	1.16			0.25		
	Tp (s)	9.9			2.41		

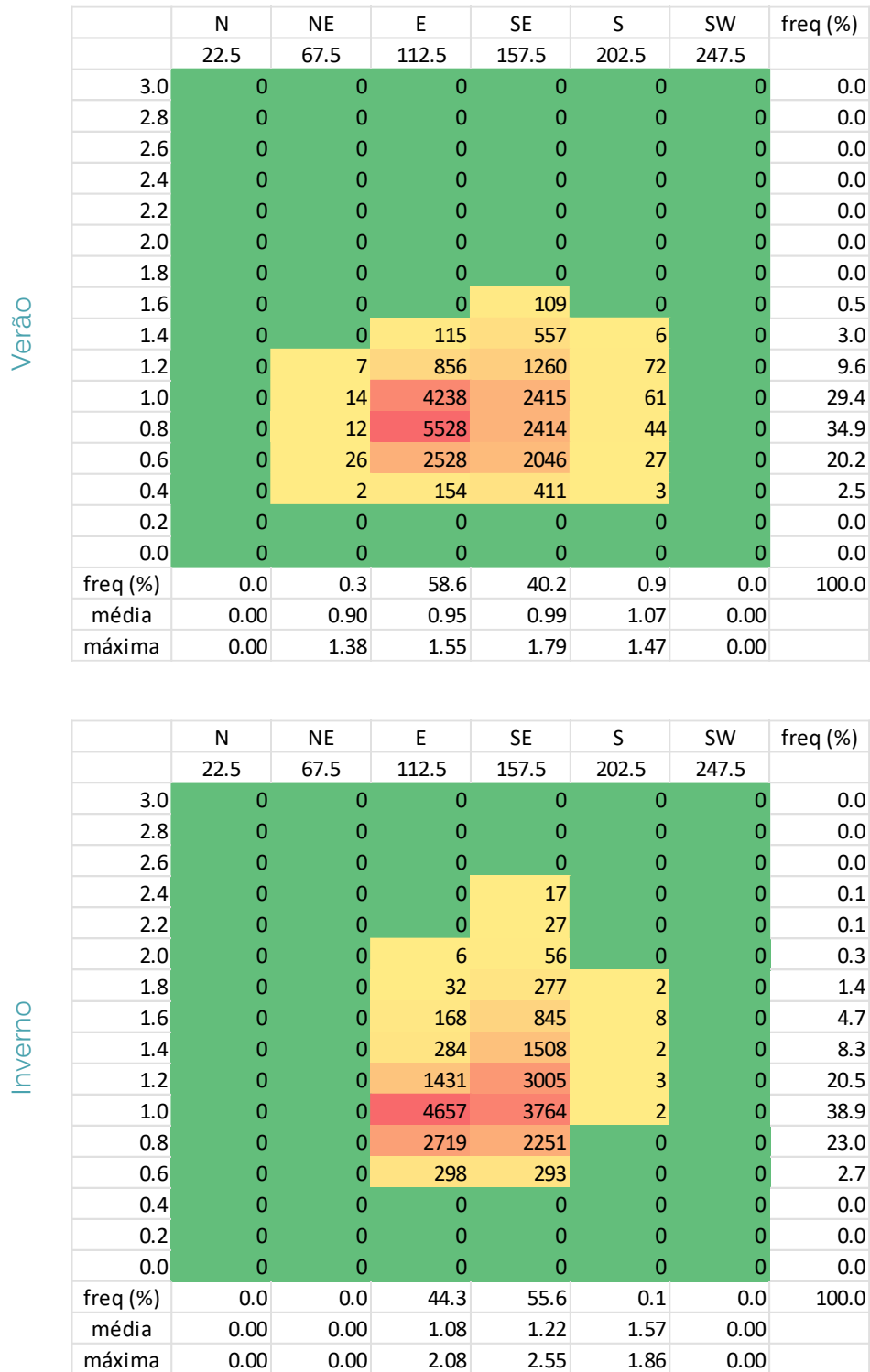


Figura 3.3.3-3. Diagrama de dispersão das alturas significativas de onda (Hs) pelas direções médias (Dm) medidas na região costeira próxima à Portocel durante os verões e invernos de 2023 a 2025. Fonte: Oceano Digital (2025).

### 3.3.4 Propagação das Ondas

A modelagem de ondas permite a avaliação da propagação e transformação do campo de ondas desde o largo até a região costeira, considerando as influências da batimetria, presença de estruturas costeiras e orientação da linha de costa. Essa abordagem possibilita identificar a distribuição espacial da energia de ondas e os padrões de abrigo e concentração, fornecendo base para a análise dos processos costeiros.

Os campos de propagação de ondas na região marinha e costeira de Aracruz foram obtidos a partir do estudo de modelagem numérica desenvolvido nos estudos para o Imetame Logística Porto (Oceano Digital, 2026b).

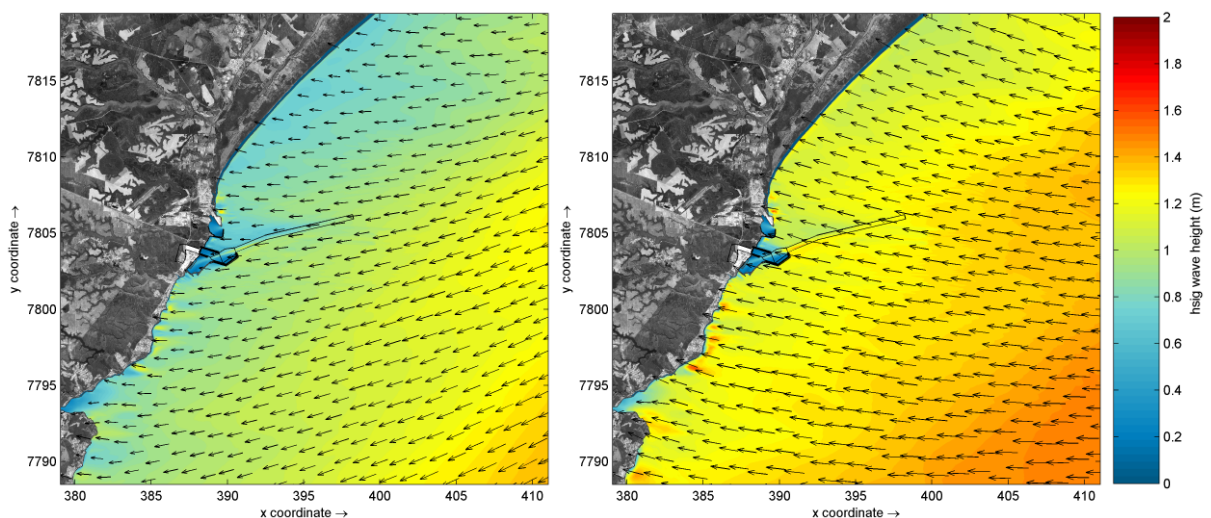
O módulo de ondas do modelo Delft3D (Delft3D-WAVE), baseado no modelo espectral SWAN, foi utilizado para simular a propagação e transformação das ondas na região centro-norte do Espírito Santo, considerando processos como refração, empolamento, interação com correntes e dissipação por arrebentação e fricção de fundo.

Os campos de propagação das ondas são apresentados para os principais setores direcionais das ondas incidentes na região costeira de Aracruz (NE, E, SE e S).

A orientação da linha de costa (SW–NE) e a morfologia da plataforma continental determinam a forma como as ondas desses 4 setores incidem sobre a região costeira. Em todos os cenários, devido ao efeito da refração, as ondas tendem defletir (girar) e se posicionar de modo que a propagação ocorra mais perpendicular à linha de costa. Os campos de ondas presentes na Figura 3.3.4 ilustram esse padrão que é mais intenso quanto mais rasa for a batimetria.

ONDAS DE NORDESTE

ONDAS DE LESTE



ONDAS DE SUDESTE

ONDAS DE SUL

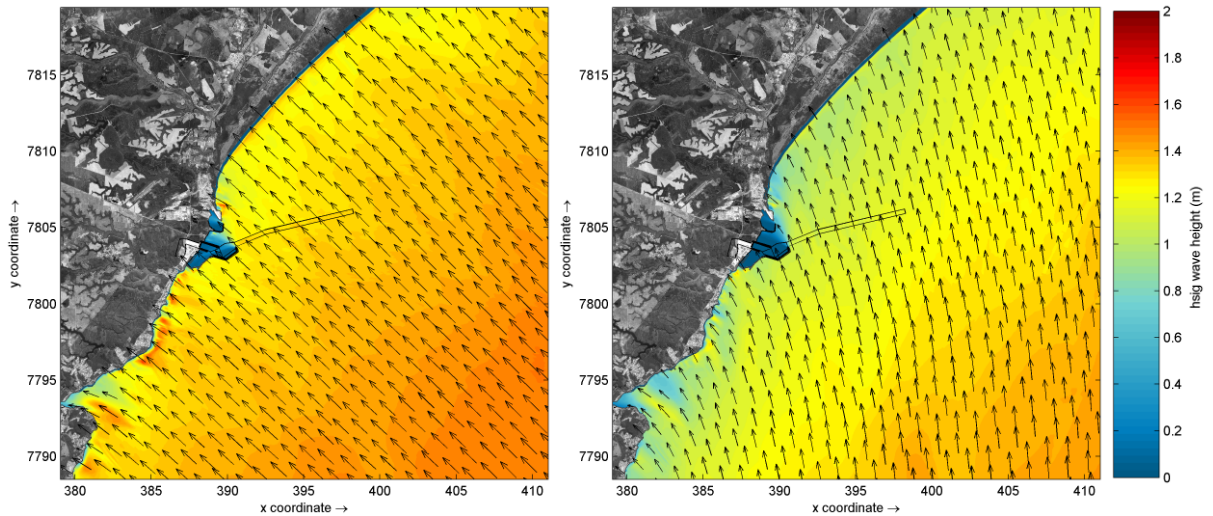
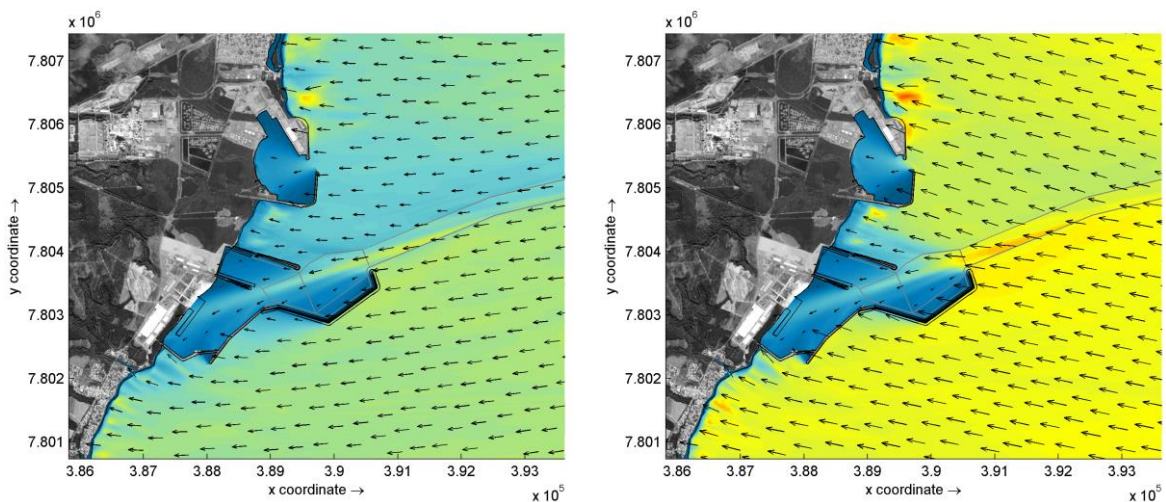


Figura 3.3.4-1. Propagação de ondas na região costeira do Imetame Logística Porto. A escala de cores representa a altura significativa de ondas em metros e os vetores, a direção. Fonte: Oceano Digital (2026b).

Na região litorânea, a presença das estruturas portuárias e os canais de navegação promovem alterações locais no campo de ondas, incluindo efeitos de abrigo, reflexão, empolamento (empinamento) e difração. Essas alterações resultam na redução significativa da altura de onda nas regiões abrigadas portuárias e à jusante das estruturas e na redistribuição da energia nas zonas externas ao porto, alterando as condições hidrodinâmicas nas áreas adjacentes (Figura 3.3.4).

ONDAS DE NORDESTE

ONDAS DE LESTE



### ONDAS DE SUDESTE

### ONDAS DE SUL

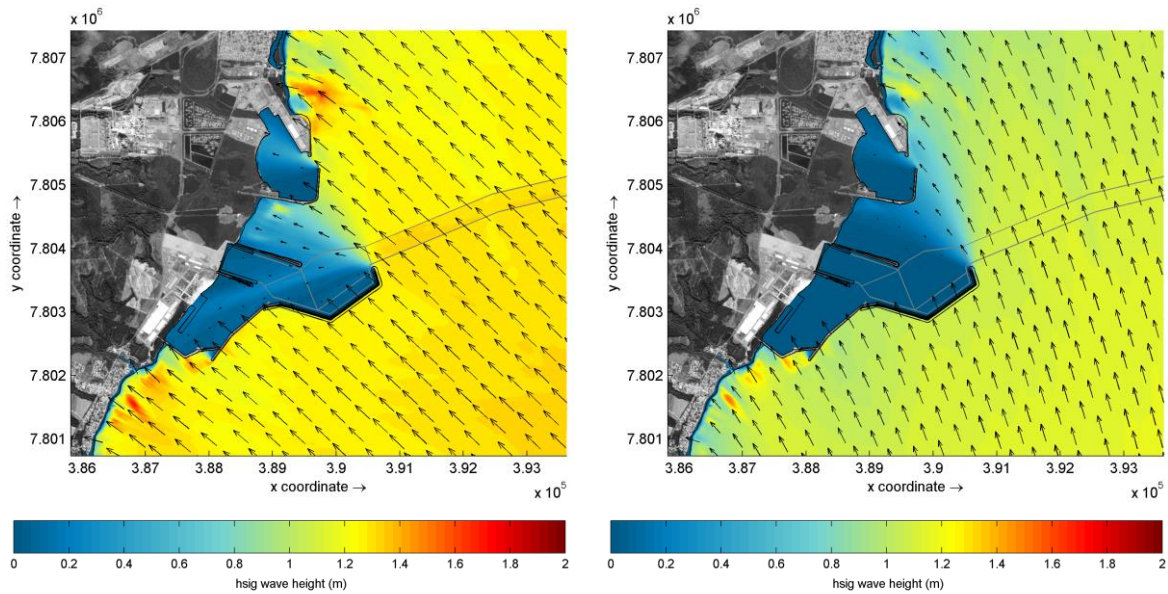


Figura 3.3.4-2. Propagação e transformação das ondas oceânicas ( $H_s = 1.5$  m,  $T_p = 10$ s) na região litorânea, próxima as estruturas costeiras dos portos, para os setores de NE, E, SE e S. Fonte: Oceano Digital (2026b).

### 3.3.5 Conclusão

A propagação das ondas desde o largo até a zona costeira evidencia a reorganização do campo de ondas sob influência da batimetria, das estruturas portuárias e da orientação da linha de costa.

Com relação à direção das ondas, o fenômeno da refração de ondas é o mais relevante e atuante na propagação das ondas na região marinha seja qual for a direção de proveniência. Com relação à altura de ondas, os resultados, indicam que as ondas no inverno são maiores do que no verão e que há uma perda de energia entre a região marinha e a região costeira, cujo reflexo é a diminuição da altura de onda. Nas medições da região marinha, no verão, 5.2% das alturas significativas são maiores que 1.4 m, sendo que, na região costeira, essa frequência é de 3.4%. No inverno, essas ondas representam 39.6% das ondas medidas na região marinha e, na região costeira, somam 14.9%.

Os cenários mais energéticos estão associados aos setores SE, cujas ondas estão mais presentes no inverno. As ondas de NE e, principalmente, de E são as mais frequentes no verão.

## 4 Análise Integrada

A análise integrada dos regimes de ondas e correntes na região do Imetame Logística Porto evidencia um sistema hidrodinâmico que responde pela interação entre ventos, ondas, marés sobre as configurações de fundo e da linha de costa.

A distribuição dos ventos na região marinha e costeira de Aracruz indicou maior predominância dos ventos N e NE, principalmente no verão e a presença relevante de ventos de S, no inverno. No conjunto de medições costeiras, os ventos de SW também estiveram bastante presentes, assim como a influência das brisas marítimas e terrestres.

As correntes medidas tanto na região marinha, como na região costeira apresentaram maiores valores de velocidade de corrente nas camadas superficiais da coluna de água. As correntes na região marinha tiveram uma predominância dos ventos sobre as condições de maré e seguiram, aproximadamente, o eixo ENE-SW, dependendo de qual quadrante sopravam os ventos. As medições próximas à costa indicaram correntes no eixo N-S devido, provavelmente, à proximidade das estruturas costeiras e foram mais dispersas devido à ação das correntes derivadas das marés.

As ondas não responderam diretamente ao regime de ventos, uma vez que, no Espírito Santo, as ondas são formadas tanto localmente quanto provêm de locais mais longínquos no Oceano Atlântico. As ondas provenientes do setor E apresentam uma frequência de ocorrência relevante em todas as estações do ano, apresentando medições de NE a S, no verão e de E a S, no inverno.

- **Ventos Marinhos e Costeiros**

O regime dos ventos foi caracterizado pelas análises de 19 anos de medições na estação meteorológica localizada no Terminal de Barra do Riacho e 30 anos de dados obtidos pelo modelo GFS (*Global Forecast System*) num local próximo ao Imetame Logística Porto.

Em termos gerais, os ventos medidos na região costeira se apresentaram mais dispersos nos setores de direção do que os ventos obtidos para a região marinha. Essa diferença de distribuição direcional pode estar relacionada ao efeito das brisas terrestres e marinhas que atuam desviando parcialmente os ventos nos horários de maior intensidade desses ventos litorâneos. Por outro lado, deve-se considerar que a menor distribuição das direções de ventos derivados do modelo GFS podem estar relacionada com a própria formulação dos modelos atmosféricos globais.

A distribuição dos ventos na região marinha e costeira de Aracruz indicou maior predominância dos ventos N/NE, principalmente no verão e a presença relevante de ventos de S, no inverno. No conjunto de medições costeiras, os ventos de SW também estiveram bastante presentes.

Considerando os conjuntos totais de ventos, os setores NW-N-NE representaram 56.5% do total de ventos obtidos na região marinha, enquanto a frequência de ocorrência desses ventos na região costeira foi de 44.0%. A média das velocidades desses setores foi de 4.6 m/s para ambos os conjuntos de dados, com valores máximos de 10.9 m/s na região marinha e 17.8 m/s medidos na estação costeira.

Os ventos dos setores de sul (SE-S-SW) corresponderam a 33.2% dos ventos do conjunto de dados da região marinha e 34.0% na região costeira. Os ventos da região marinha relativos a esses setores apresentaram média de 4.8 m/s e velocidades máximas alcançando 13.9 m/s. Na região costeira, os ventos tiveram 5.2 m/s de média e os valores máximos medidos foram de 18.8 m/s.

Com relação às estações do ano, os resultados indicaram uma presença constante de ventos de N a NE em todas as 4 estações do ano, mesmo considerando efeito de espalhamento da distribuição direcional dos ventos costeiros em relação aos marinhos. A frequência dos ventos dos setores de SE a SW, geralmente associados aos eventos de frentes atmosféricas, indica a distinção entre as estações do ano (Figuras 4-1 e 4-2).

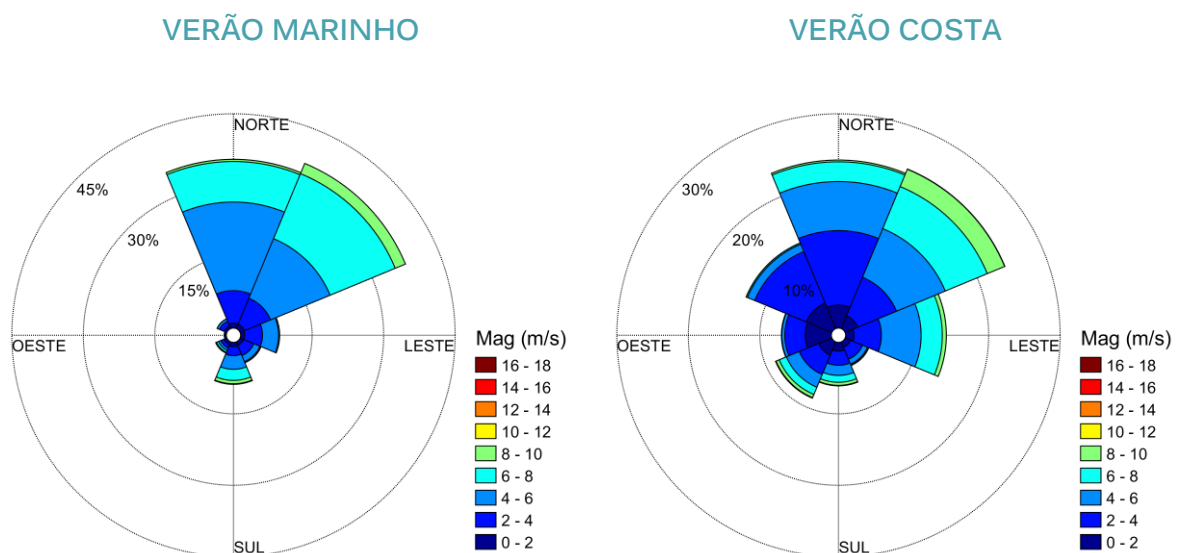
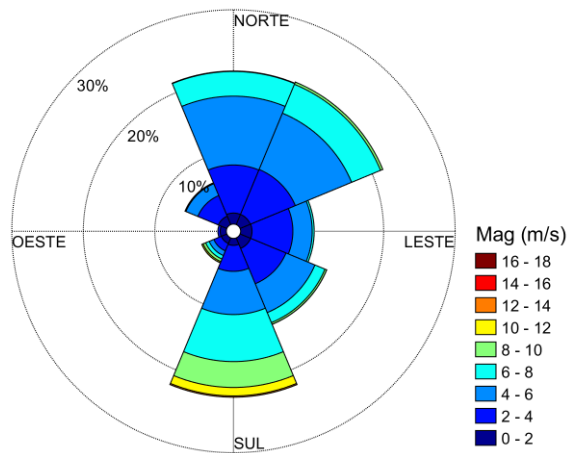


Figura 4-1. Rosa dos ventos estimados pelo modelo GFS e medidas in situ no verão e divididas em 8 setores de direção.

### INVERNO MARINHO



### INVERNO COSTA

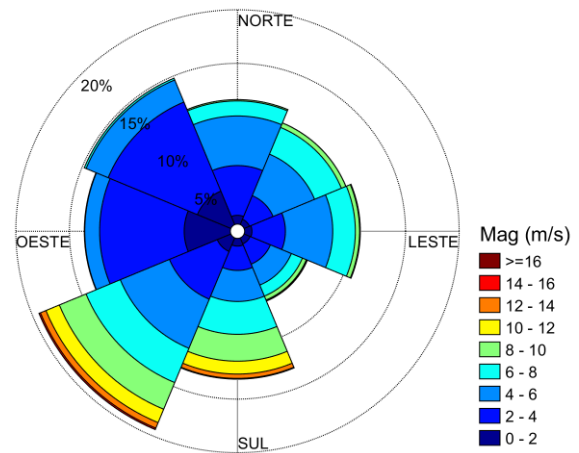


Figura 4-2. Rosa dos ventos estimados pelo modelo GFS e medidas in situ no inverno e divididas em 8 setores de direção.

No verão, os ventos são predominantemente provenientes dos setores N e NE, somando 73% do total na região marinha e 47.7% na região costeira. Os ventos dos setores de SW-S-SE, juntos, obtiveram uma frequência de ocorrência baixa, 16.1% na região marinha e 18.2% na região costeira.

No inverno, a ocorrência dos ventos dos setores S e SE aumenta na região marinha, com frequências de conjuntas de 35.3%. Na região costeira, os ventos de SW se tornam os principais e, em conjunto com os ventos de S, somam 32.5% dos ventos, valores próximos dos ventos marinhos.

- **Mares Astronômicas e Meteorológicas**

A região-norte do Espírito Santo é uma região dominada pelo regime de micromarés, pois apresentam oscilações periódicas com amplitudes inferiores a 2.0 m. A análise dos registros de nível de água medidos pelo marógrafo da Estação Portocel identificou valores máximos de -1.06 m a + 1.09 m, relativos ao nível médio, enquanto a análise das medições efetuadas por um ADCP na região marinha de Aracruz, aos 30 m de profundidade, verificou valores máximos de -0.91 m a + 0.88 m.

A maré astronômica apresenta um comportamento semi-diurno, no qual há um domínio da componente harmônica M2 e uma influência da componente diurna O1 e das componentes M3 e S4. O padrão resultante são duas preamares e duas baixa-mares por dia, com ligeiras desigualdades diurnas entre duas preamares e duas baixa-mares sucessivas.

A maré meteorológica foi calculada a partir dos dois conjuntos de dados disponíveis para este estudo. Na região portuária da Portocel, considerando o período de dados analisados de quase 2 anos (novembro de 2023 a setembro de 2025), a maré meteorológica variou, em média, entre -0.09 m e +0.10 m. O valor máximo positivo registrado, geralmente associado a eventos de inundação, foi de +0.30 m. Na região marinha de Aracruz (39 m de profundidade), a maré meteorológica média também variou entre -0.09 m e +0.10 m, com valor máximo positivo de 0.19 m. Os dados disponíveis na região marinha são relativos a séries de 38 dias no verão de 2021 e no inverno de 2020.

- **Correntes Marinhas e Costeiras**

Para a caracterização das correntes, foram utilizadas medições de corrente costeiras e marinhas realizadas por instrumentos perfiladores de correntes (ADCP). Visto que as medições não são contemporâneas, não possuem a mesma extensão temporal e não foram realizadas em profundidades semelhantes, as comparações realizadas devem ser consideradas com certo cuidado. O ADCP costeiro foi instalado a uma profundidade de 11m e os dados analisados correspondem a 3 meses nos verões e invernos de 2024 e 2025. O ADCP marinho esteve fundeado a 39 m de profundidade e os dados disponíveis somam 38 dias no inverno de 2020 e 38 dias no verão de 2021.

Em termos gerais, as correntes medidas tanto na região marinha, como na região costeira apresentaram maiores valores de velocidade de corrente nas respectivas camadas superficiais do mar. Nas medições da região marinha, o eixo principal dos resultados é aproximadamente ENE-SW na superfície e E-WSW no fundo, enquanto o eixo principal das medições efetuadas na região costeira é aproximadamente N-S na superfície e fundo.

Essa diferença ocorre porque local de instalação do ADCP costeiro fica distante cerca de 600 m do quebramar norte do Terminal de Barra do Riacho e esse posicionamento influencia a direção das correntes no eixo N-S, com algumas variações angulares. O ADCP marinho, por outro lado, não possui qualquer barreira física próxima.

Esse padrão está de acordo com as modelagens numéricas executadas em Oceano Digital (2025, 2026), cujo modelo foi calibrado e validado com valores de desvio abaixo de 13% (calibração) e 17% (validação). Na região costeira próxima da costa, há um alinhamento das correntes de acordo com a linha de costa e as estruturas costeiras e portuárias. Na região marinha, este alinhamento ocorre de acordo com a faixa litorânea do trecho centro-sul do ES (macroescala).

A análise das medições comparando-se as estações do ano mostra que os padrões possuem alguma semelhança se considerarmos que há uma diferença nos respectivos eixos principais (Figura 4-3). Nas medições realizadas em ambas as estações, as correntes são predominantes sentido SW e W na região marinha e SE-S-SW na região

costeira. No verão, há uma dominância dessas correntes na região marinha (85.2%) e costeira (67.7%), sendo que no inverno esses valores foram (72.4%) e (62.5%), respectivamente. Essa redução ocorre porque, no inverno, há uma maior ocorrência dos ventos de S-SW (26% no modelo e 32% na estação) devido à formação de frentes atmosféricas e o resultado são inversões de corrente e maior frequência das correntes no setor NE na região marinha (14.6%) e N-NE na região costeira (18.8%).

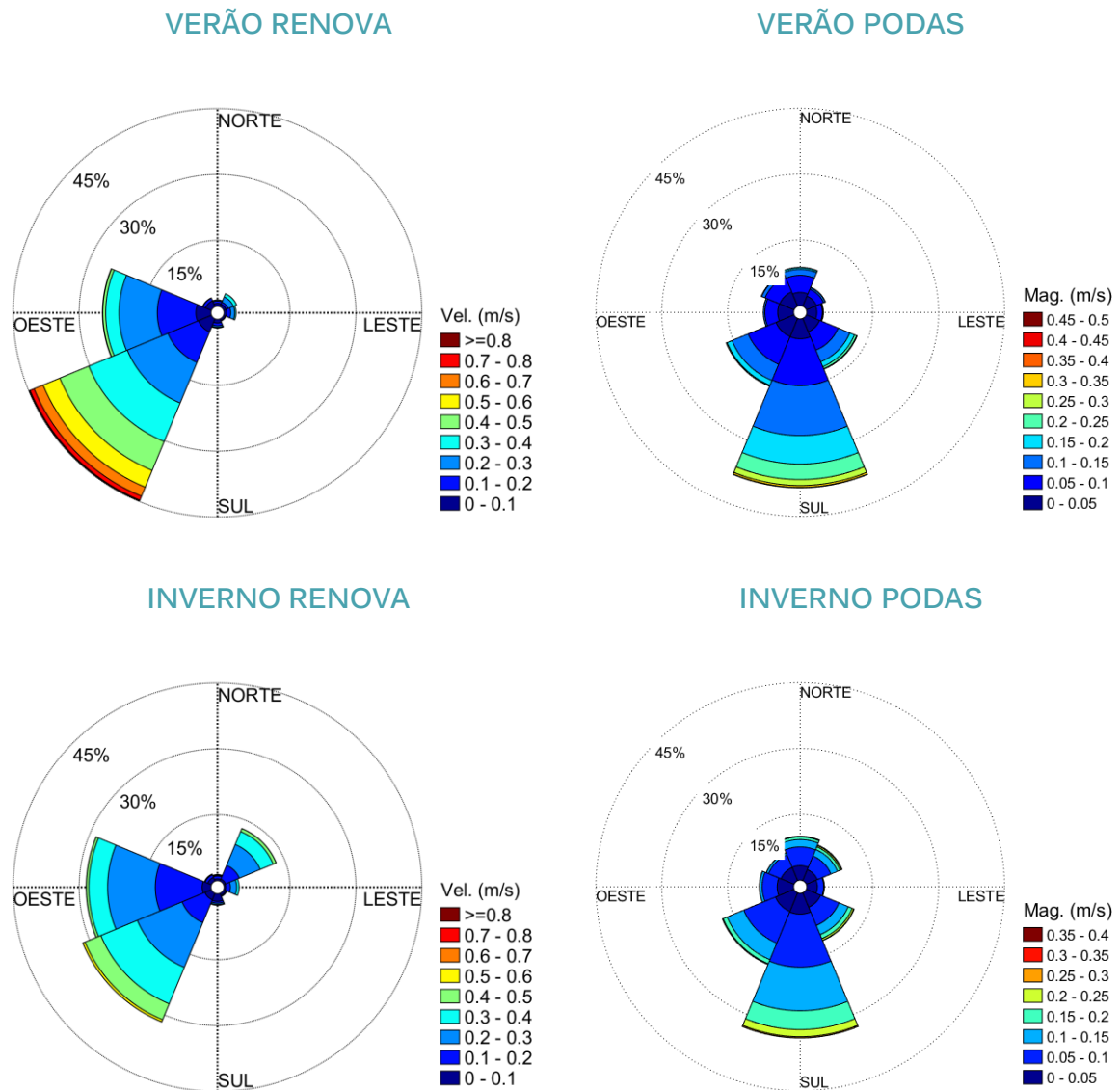


Figura 4-3. Histogramas polares das correntes medidas na região marinha e costeira, divididos em 8 setores de direção.

As Figuras 4-5 a 4-7 ilustram a situação dos ventos e respectivas medições de correntes na região marinha e costeira. Verifica-se que há uma concordância maior das direções das correntes marinhas com os ventos. Na região costeira, essa paridade é mais

complexa. Em ambos os arquivos pode-se verificar a influência da maré, sendo que os resultados das medições na região marinha mostram que a influência dos ventos é superior a oscilação das marés na porção centro-norte do Espírito Santo.

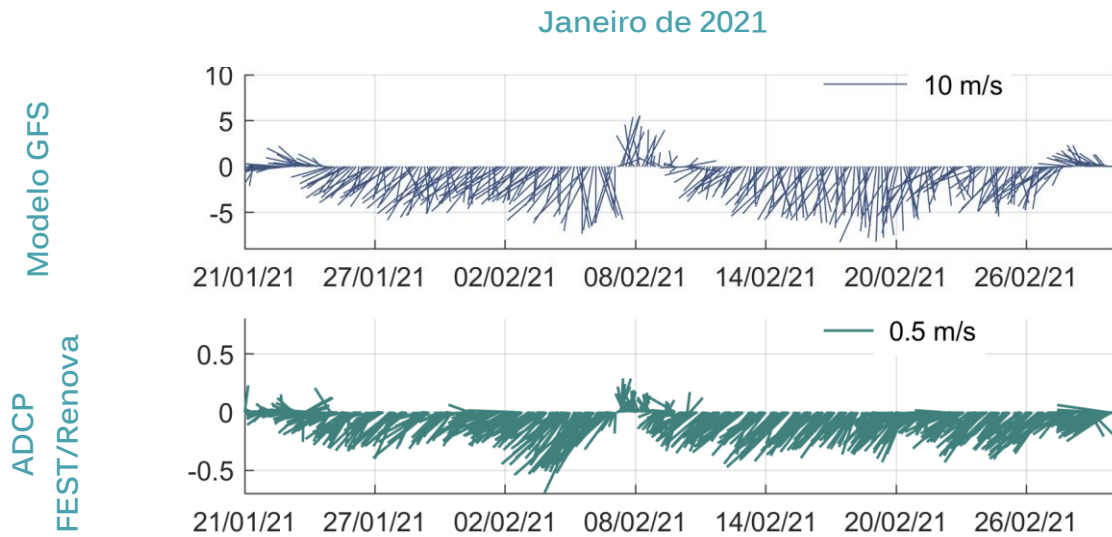


Figura 4-4. Série temporal de ventos e correntes medidas na região marinha em janeiro de 2021.

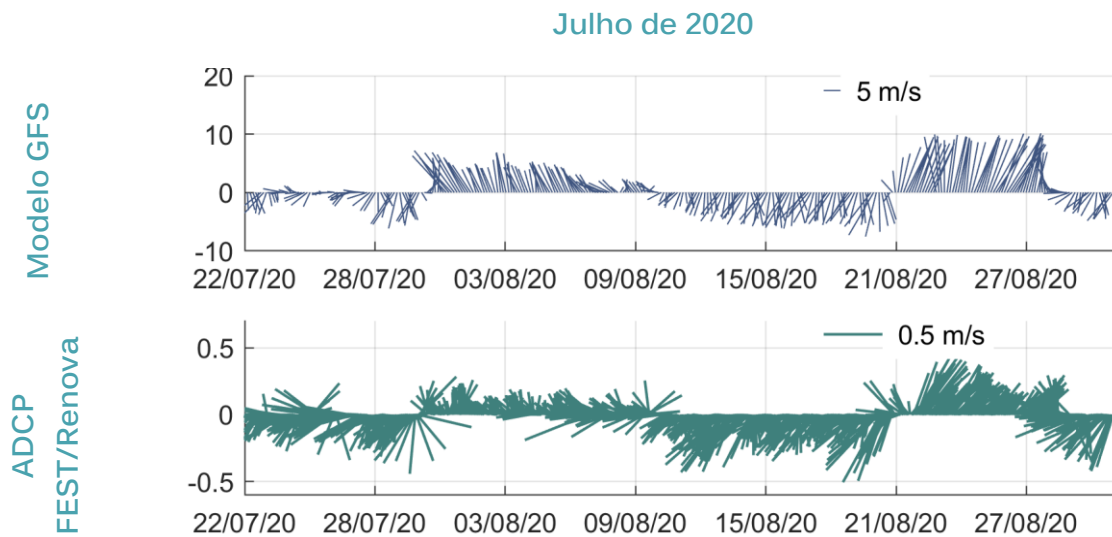


Figura 4-5. Série temporal de ventos e correntes medidas na região marinha em julho de 2020.

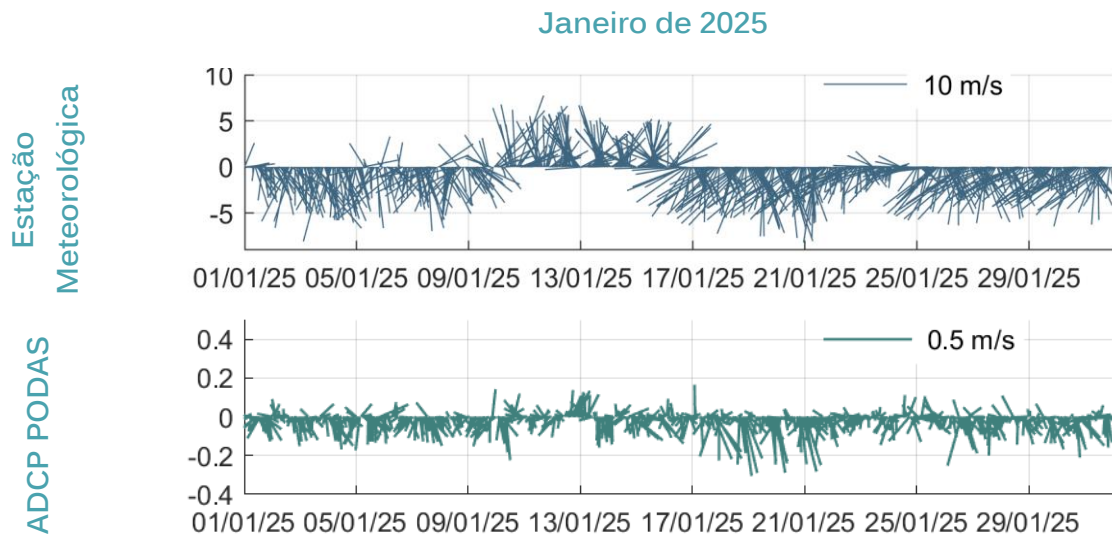


Figura 4-6. Série temporal de ventos e correntes medidas na região costeira em janeiro de 2025.

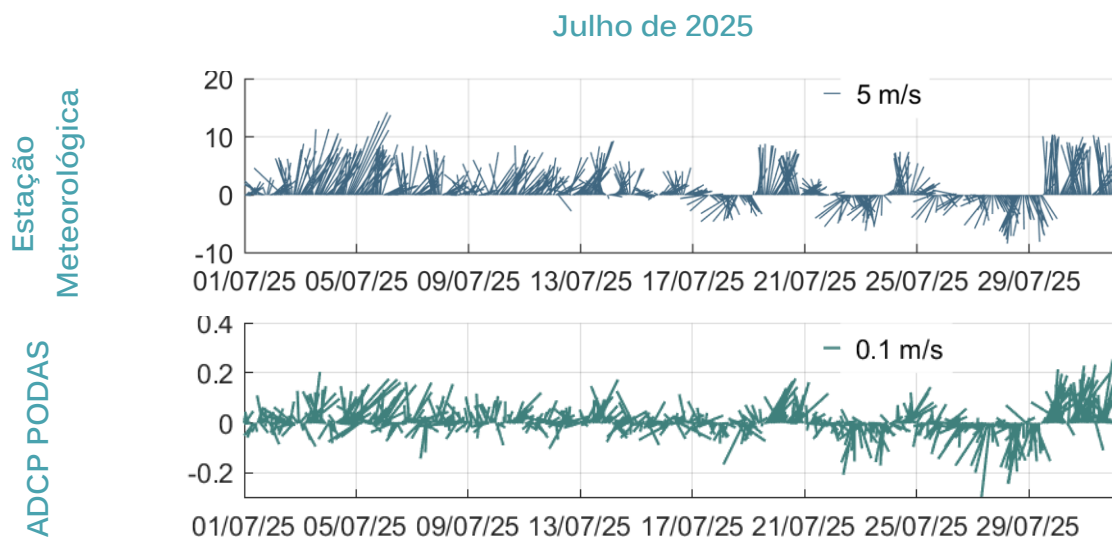


Figura 4-7. Série temporal de ventos e correntes medidas na região costeira em julho de 2025.

- Ondas na Região Costeira e Marinha

As condições de onda foram caracterizadas a partir medições in situ costeiras e marinhas e por uma seria temporal de 30 anos de dados proveniente do modelo de *hindcast* Wavewatch III. Os instrumentos de medição foram os mesmos dos parâmetros das correntes, um ADCP costeiro instalado a uma profundidade de 11m, com as análises correspondendo a 3 meses nos verões e invernos de 2024 e 2025 e um ADCP

marinho, que esteve fundeado a 39 m de profundidade, com 38 dias de medições no inverno de 2020 e 38 dias no verão de 2021.

Em geral, observa-se que as ondas provenientes do setor E apresentam uma frequência de ocorrência relevante em todas as estações do ano, independentemente do local de medições ou obtenção de dados (Figura 4-8).

No verão, as ondas na região marinha, obtidas de 30 anos de resultados do modelo Wavewatch, são provenientes de NE a S, com dominância do E (42.6%) e altura significativa média de 1.2 m. O setor de NE teve uma predominância secundária no verão (28.7% e média de 1.3 m), assim como as ondas de SE (22.5% e média de 1.3 m). As ondas de S tiveram baixa representatividade, com 6.2% do conjunto total, porém, com maiores valores de altura significativa média 1.5 m.

As ondas medidas na região marinha de Aracruz, sobre a isóbata de 39 m, em janeiro e fevereiro de 2021 (verão) apresentaram uma distribuição direcional em 3 setores, com dominância de E (71.0%), seguido de SE (17.9%) e NE (11.1%), com médias de 1.0 m, 1.1 m e 1.0 m, respectivamente.

As ondas medidas na região costeira, no verão, vieram de apenas 2 direções, também com predominância do setor E (58.6%), seguida de SE (40.2%), cujas alturas significativas médias foram de 0.95 m (E) e 0.99 m (SE).

No inverno, as ondas do setor SE são predominantes no conjunto de dados do Wavewatch relativo à região marinha, com frequência de 41.1% e alturas significativas médias de 1.6 m. As ondas do setor E tiveram boa representatividade no inverno (36.8%), com média de 1.4 m. As ondas provenientes do setor S apresentaram uma ocorrência menor, 17.3% do total, mas com as maiores alturas significativas médias (1.86 m).

Na região marinha, em julho e agosto de 2021, as direções das ondas medidas no ADCP apresentaram direções de E (69.0%), SE (26.7%) e S (4.4%), nas quais médias das alturas significativas foram 1.2 m, 1.8 m e 2.5 m, respectivamente.

Do mesmo modo que o verão, as ondas medidas na região costeira, no inverno, vieram de apenas 2 direções, com predominância do setor SE (55.6%), seguida de E (44.3%), cujas alturas significativas médias foram de 1.2 m (E) e 1.1 m (SE).

De modo geral, os resultados dos conjuntos de dados de ondas estão bem relacionados. Os parâmetros das ondas obtidas do modelo Wavewatch apresenta maior dispersão direcional justamente por se tratar de um modelo global acoplado e regido pelo regime de ventos. As medições realizadas por ADCP na região marinha, a 39 m de profundidade, resultaram em ondas com direção predominante de E, enquanto as medições na costa, a 11 m de profundidade, mostraram ondas provenientes de E e SE, direções mais perpendiculares às linhas de batimetria costeiras, o que condiz com

os efeitos de transformação das ondas, principalmente a refração até o local de medições.

As alturas significativas maiores na costa também estão de acordo com o esperado. Nas medições da região marinha, no verão, 5.2% das alturas significativas são maiores que 1.4 m, sendo que, na região costeira, essa frequência é de 3.4%. No inverno, essas ondas representam 39.6% das ondas medidas na região marinha e, na região costeira, somam 14.9%. Esses resultados, juntos com as médias, indicam que as ondas no inverno são maiores do que no verão e que há uma perda de energia entre a região marinha e a região costeira, cujo reflexo é a diminuição da altura de onda.

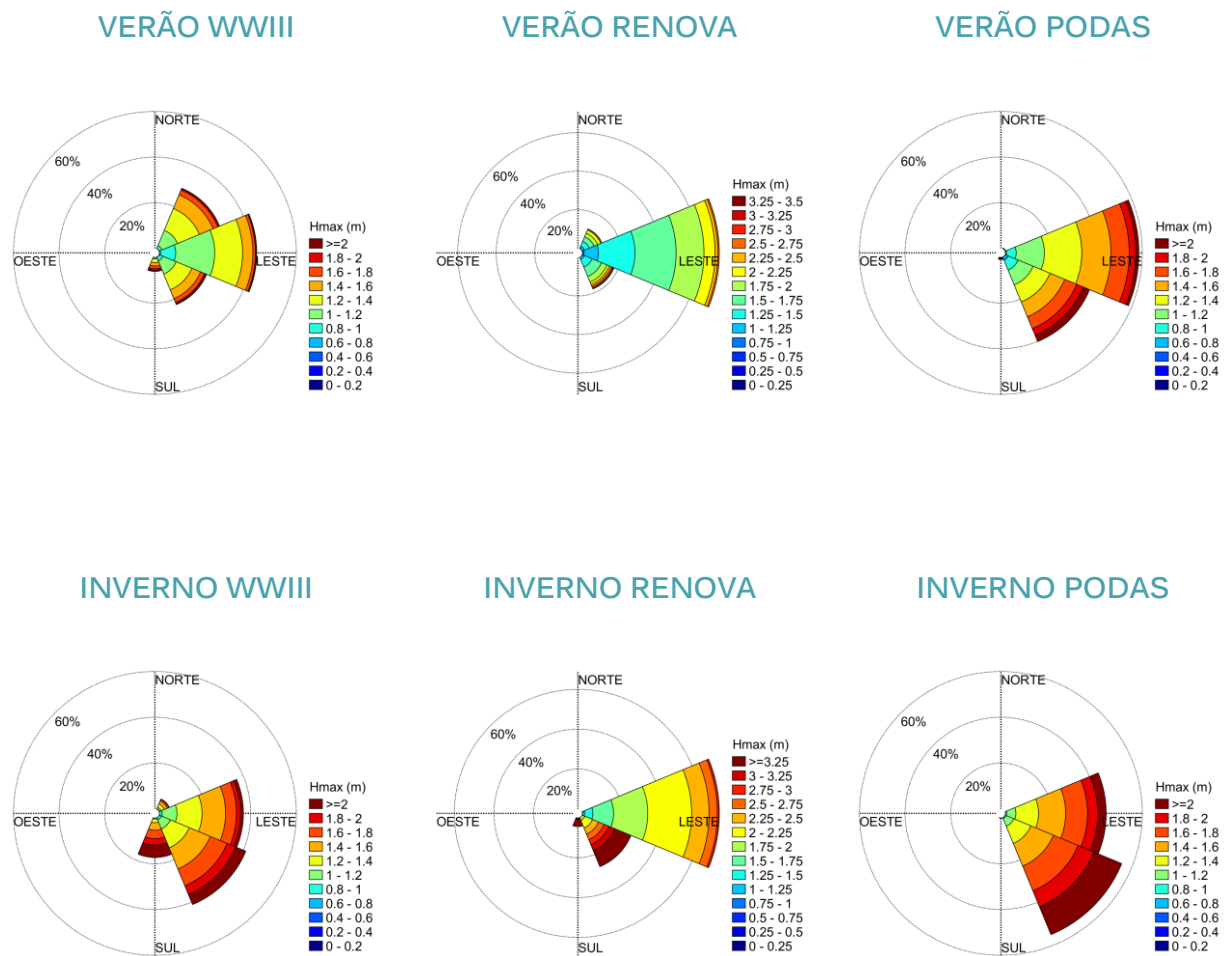


Figura 4-8. Histogramas polares das ondas estimadas pelo modelo WWIII e medidas na região marinha e costeira de Aracruz, divididos em 8 setores de direção.

As medições de ondas realizadas pelos ADCPs na região marinha e costeira de Aracruz, em comparação com as direções dos ventos, são apresentadas nas Figuras 4-9 a 4-12, de acordo com os dados das medições das ondas na região marinha (jul/2020 e jan/2021) e na região costeira (jan/jul 2025).

Pode-se verificar que existem trechos dos registros de onda (pequenos) que atendem o padrão de ventos, no entanto, como as ondas podem ser formadas localmente ou serem provenientes de regiões mais longínquas, não há uma concordância de 100% nos padrões de direção dos ventos e direção de ondas.

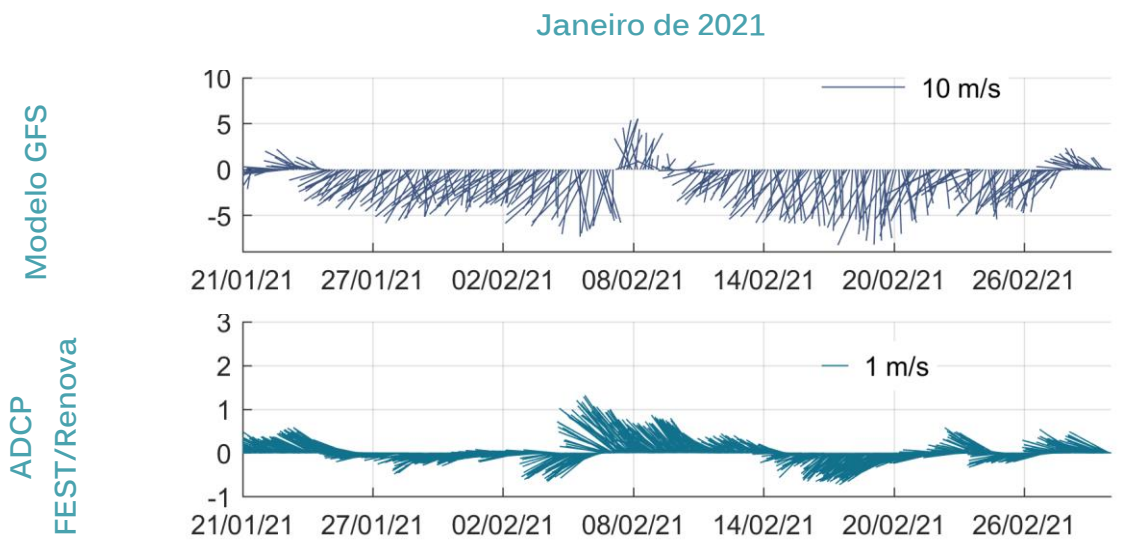


Figura 4-9. Série temporal de ventos e ondas medidas na região marinha em janeiro de 2021.

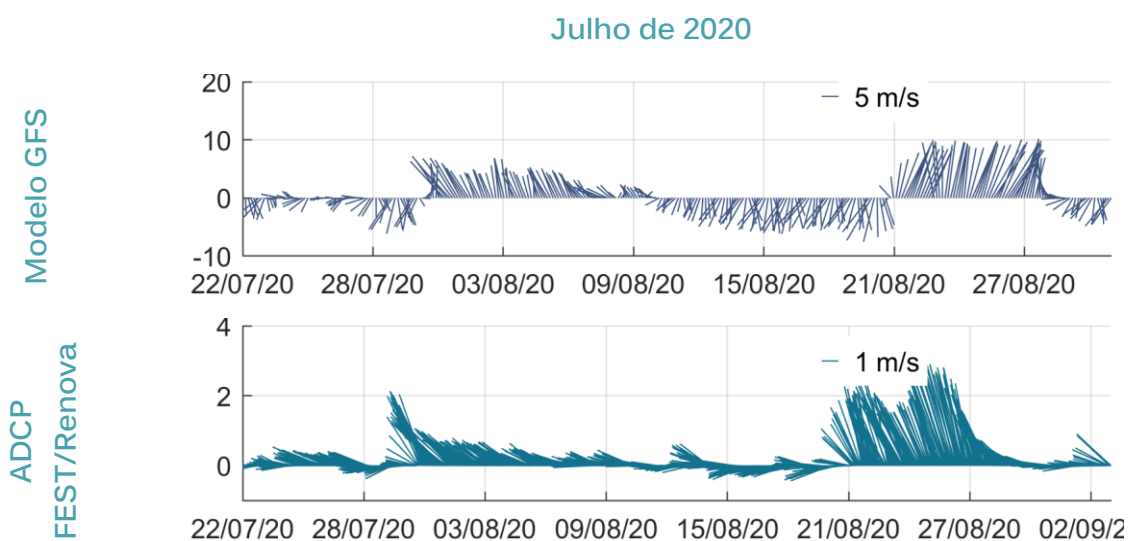


Figura 4-10. Série temporal de ventos e ondas medidas na região marinha em julho de 2020.

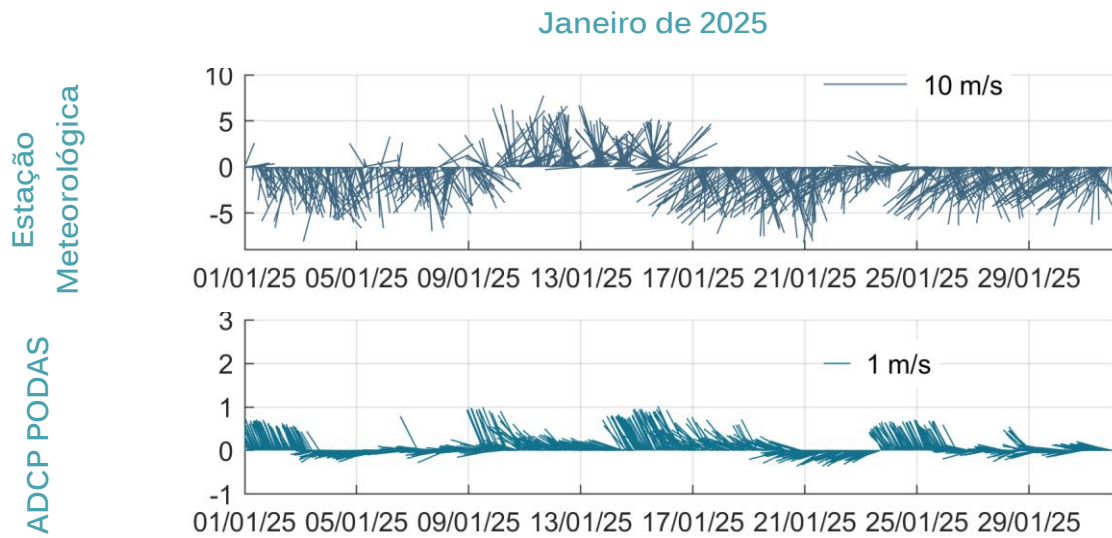


Figura 4-11. Série temporal de ventos e ondas medidas na região costeira em janeiro de 2025.

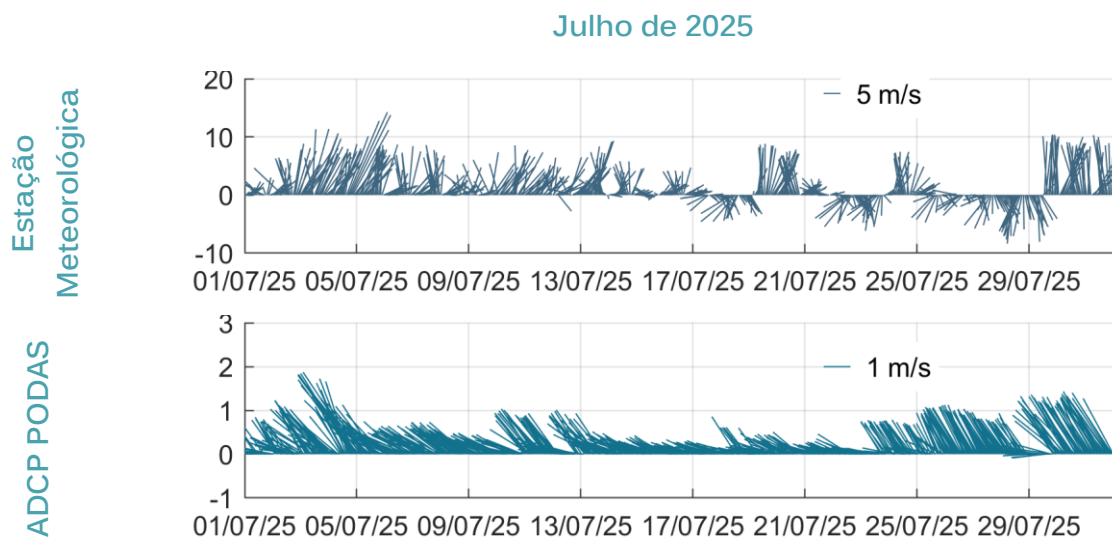


Figura 4-12. Série temporal de ventos e ondas medidas na região costeira em julho de 2025.

- **Síntese dos Processos Meteoceanográficos**

A dinâmica hidrodinâmica na área de estudo apresenta controle predominantemente meteorológico, com o regime de ventos atuando como principal forçante das correntes na plataforma continental interna, enquanto a maré exerce papel secundário, modulando a magnitude e a variabilidade temporal do escoamento.

Na região offshore, incluindo a área do bota-fora, as correntes refletem majoritariamente a resposta ao campo de ventos regionais, com baixa influência direta dos processos de transformação de ondas. Em contrapartida, na faixa costeira, a hidrodinâmica é fortemente condicionada pela incidência de ondas, que controlam os padrões de circulação litorânea.

A variabilidade sazonal está associada à alternância entre regimes menos energéticos (NE–E), típicos de condições dominadas por ventos alísios, e regimes mais energéticos (SE–S), frequentemente vinculados à atuação de frentes frias, que promovem aumento significativo da energia de ondas e maior potencial de mobilização sedimentar na zona costeira.

Dessa forma, a resposta do sistema costeiro resulta da interação entre forçantes atmosféricas e oceânicas, com distinção clara entre os domínios offshore e costeiro, sendo este último mais sensível a condições energéticas associadas a ondas de maior intensidade

## 5 Referências Bibliográficas

- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, p. 88–108, 2004.
- CUPOLILLO, F. Diagnóstico hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce. Belo Horizonte: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. 156 p.
- DAVIES, J. L. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 8, p. 127–142, 1964. (Sonderheft).
- FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR (FEMAR). Catálogo de estações maregráficas brasileiras. Rio de Janeiro: FEMAR, 2000. 281 p.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). *Atlas climatológico do Espírito Santo*. Vitória: INCAPER, 2024. 176 p. Organizadores: PANTOJA, P. H. B.; ZIVIANI, G. G. C.; MEDEIROS, T. T. B.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Normais climatológicas do Brasil: 1991–2020*. Brasília, DF: INMET, 2022. 27 p.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421 p.
- NOVAIS, G. T. Climas do Brasil: classificação climática e aplicações. Porto Alegre: [s.n.], 2023. 340 p.
- OCEANO DIGITAL. Modelagem numérica das plumas de sedimentos de dragagem, overflow e descarte da expansão do Imetame Logística Porto, Aracruz, ES. Relatório técnico RT OD 2026-271A. 113 p., 2026a.
- OCEANO DIGITAL. Modelagem morfodinâmica do impacto do bota-fora para a expansão do Imetame Logística Porto, Aracruz, ES. Relatório técnico RT OD 2026-271B, 2026b.
- OCEANO DIGITAL. Regimes de ondas para o estudo de amarração de navios no Porto de Barra do Riacho (ES). Relatório técnico RT OD 2025-277. 44 p., 2025.
- BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, v. 104, n. C4, p. 7649–7666, 1999.
- RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N. A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. *Journal of Geophysical Research*, v. 104, n. C4, p. 7667–7681, 1999.

TOLMAN, H. L. The numerical model WAVEWATCH: a third-generation model for the hindcasting of wind waves on tides in shelf seas. Delft: Delft University of Technology, 1989. (Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Rep. 89-2). 72 p.

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

