



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA – IO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA



MORFODINÂMICA DA EMBOCADURA DO ARROIO CARAHÁ.
LAGOA DOS PATOS, SÃO LOURENÇO DO SUL - RS.

Tese apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Doutora em
Oceanografia Física, Química e Geológica.

Orientador: Dr. Lauro Júlio Calliari

Co-Orientador: Dr. José Antônio Scotti Fontoura

Discente: Natália Lemke

Rio Grande

Dezembro/2015

Agradecimentos

Aos professores Dr. José Antônio Scotti Fontoura e Dr. Lauro Júlio Calliari pela orientação, pelo apoio incondicional, pela dedicação, pelos preciosos ensinamentos e pela amizade que construímos. Aprendi muito com vocês nas aulas teóricas, nas maravilhosas saídas de campo e durante toda nossa convivência na FURG. A seriedade e o comprometimento de vocês, professores, permitiram que este trabalho fosse realizado. Agradeço muito a vocês!

Ao meu amor, Marcelo Wiegand, que sempre apoiou as minhas escolhas e compreendeu a minha ausência durante muito tempo (desde a época da graduação). Muito obrigada por estar sempre ao meu lado, pelo carinho, amor e incentivo e por todo auxílio durante os trabalhos de campo em que você acabou participando! Sou eternamente grata a você!

Agradeço muito a minha amada Mãe, Elisa Beatriz Kuhn Lemke, e ao meu amado Pai, João Mário Lemke! Vocês me deram a vida! Uma vida repleta de amor, carinho e incentivo. Proporcionaram toda base educacional para que eu pudesse chegar até aqui! Não tenho palavras para agradecer tudo que vocês fizeram por mim! A vocês, a minha eterna gratidão!

Ao meu irmão, Alexandre Lemke, por todo apoio, incentivo e amizade e pelo espaço que ocupei no teu apartamento no início do Doutorado. Muito obrigada por tudo!

Às professoras Dr^a Débora Martins Machado e Dr^a Salette Figueiredo e aos professores Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr. e Dr. João Luiz Nicolodi por terem aceitado participar da banca de doutoramento. A contribuição de vocês será extremamente valiosa para enriquecer este trabalho.

Aos professores Dr. Eloi Melo e Dr. Marco Romeu pela amizade e pela preciosa contribuição na modelagem numérica e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores, colegas e amigos da UFPel Dr. Cláudio Duarte, Dr^a. Daniela Tisot, Me. Ana Carolina Santos e Dr^a. Etiene Villela Marroni pelo apoio incondicional e incentivo para que eu pudesse concluir este trabalho. Agradeço muito a vocês!

Aos grandes amigos Me. Déborah Aguiar e Me. Fábio Dias por terem compartilhado comigo muitos conhecimentos sobre as técnicas da modelagem numérica, entre tantos outros assuntos científicos. A amizade que construímos permitiu que vocês continuassem me auxiliando, mesmo após irem para a Austrália. Tenho muito a agradecer a vocês, meus amigos!

Às queridas amigas do LEC Marine Bastos, Mariana Passos, Nicole Ferreira, Cátia Von-Ahn, Bruna Sá Britto Valério e aos queridos amigos Carlos Simão, William Mendes e Arthur Gerard, que muito me ajudaram em várias etapas do Doutorado! Compartilhamos muitos conhecimentos no laboratório e nas saídas de campo, com direito ao chimarrão da Mariana e aos nossos “estoques de emergência”! O que seria de mim sem vocês? A amizade que construímos vale ouro! Muito obrigada, de coração!

Agradeço muito à amiga e Técnica do LEC, Veridiana Herreira, pela paciência que teve comigo, pelo excelente trabalho com as intermináveis amostras de sedimentos e pela grande amizade! Muito obrigada por tudo Veri!

Ao amigo e Técnico do LEC, Marcelo Goulart, por todo apoio, auxílio e dedicação na operação com ondógrafo.

À querida Dr^a. Elaine Siqueira Goulart por todos ensinamentos transmitidos e pela amizade!

Aos amados Vó Lídia, Vô Rude, Vó Norma e Vô Mário (*in memorian*) pela base da nossa família, pelo carinho que sempre recebi de vocês, por todo apoio, pelo incentivo e pela compreensão da minha ausência. Agradeço muito a vocês!

Queridos primos Alberto Kuhn Klumb e Elsa Kuhn Klumb, agradeço pela nossa amizade, pela parceria de muitas viagens (SLS-Pel) e por toda motivação que sempre me deram!

As minhas queridas tias Guerda Maria Kuhn Klumb e Ema Eliza Lemke Gehrke pelo apoio incondicional e pela motivação para que eu sempre realizasse meus objetivos.

A todos os familiares e amigos (não poderia citar todos os nomes) pelo incentivo que sempre me proporcionaram.

Sou eternamente grata às minhas queridas amigas Me. Alessandra Migliorini e Regina Vieira por simplesmente TUDO! Acolheram-me com todo amor e carinho no aconchegante lar de vocês desde a época da graduação. A amizade que construímos é preciosíssima! Muito obrigada por tudo!

A grande amiga Me. Ana Paula Gomes e a toda a sua maravilhosa família por todo apoio e incentivo que sempre me deram desde a época da graduação. Vocês são muito importantes para mim!

As minhas amadas *old friends* e irmãs do coração Andréia Schneid, Natielle Schneid, Tatiana Gouvêa, e ao grande amigo Fabrício Spiering pela nossa eterna amizade, pelo companheirismo e pelo incentivo!

A querida amiga e irmã do coração, Julia Rabelo! Muito obrigada por ter surgido na minha vida, pela amizade sólida que construímos, e pelo companheirismo na FURG. A nossa amizade vence qualquer distância minha irmã nordestina!

As amigas Nilza Rodrigues e Cristina Petrazzini por todo auxílio e apoio que recebi durante o curso.

Aos amigos Naile Vagheti e Eliton Figueiredo pela nossa amizade e parceria de inúmeras viagens (Pel – RG).

Ao amigo Dr. Christian Serpa, por todos os conhecimentos transmitidos e pelo magnífico trabalho realizado na primeira saída de campo em São Lourenço do Sul.

Ao amigo Me. Felipe Sprovieri por todo o conhecimento sobre modelagem numérica que gentilmente transmitiu.

Aos amigos Manuel e Milico pelo apoio, incentivo, pelos inúmeros trabalhos de campo e pela amizade!

Aos amigos marinheiros da Lancha Larus! O trabalho de vocês foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho!

A Prefeitura de São Lourenço do Sul pelo apoio.

A equipe do projeto Rede Ondas pelo excelente trabalho realizado com o ondógrafo na Lagoa dos Patos.

A equipe da Praticagem da Barra do Rio Grande pela gentileza de fornecer todos os dados de ventos medidos.

RESUMO

Este trabalho apresenta o propósito de investigar os processos costeiros que envolvem o fechamento da foz do Arroio Carahá, situado em São Lourenço do Sul, na margem oeste da Lagoa dos Patos, bem como propor uma obra de fixação da barra que permita a navegabilidade de pequenas embarcações e, assim, avaliar a influência desta estrutura sobre as praias adjacentes.

Para tal, inicialmente foi realizado um estudo sobre a evolução da linha de costa através da análise de aerofotografias e imagens de satélite georreferenciadas, referentes aos anos de 1953, 1977 e 2010. Constatou-se a ocorrência de um acentuado processo de retração na margem ao norte da foz do Arroio Carahá, atingindo 1,4 m/ano, assim como a ocorrência de avanço na margem ao sul da foz, com taxa média de 0,18 m/ano.

Após, realizou-se o levantamento de vários dados oceanográficos referentes à região que engloba a Lagoa dos Patos, assim como ao específico local de estudo, São Lourenço do Sul.

Através das análises de dados de ventos medidos na estação da Praticagem da Barra do Rio Grande, determinou-se o ano representativo (2008) de uma série temporal maior (2004 a 2010). A correlação linear entre dados de ventos da Praticagem e dados de ventos do modelo de reanálise europeu ECMWF mostrou que não há significativa variação espacial do vento sobre a extensa área da Lagoa dos Patos.

Parâmetros de ondas (Hs, Tp e Dir) foram adquiridos através do ondógrafo fundeado na Lagoa dos Patos durante o período de 22/01/2015 a 01/07/2015, à aproximadamente 14 km de São Lourenço do Sul. Os valores médios de Hs, Tp e Dir obtidos no verão foram de 0,51 m, 3,2 s e 119°, respectivamente; e no outono foram de 0,36 m, 2,7 s e 137°, concomitantemente. Durante todo período de operação do ondógrafo, ondas mais frequentes ocorreram de leste, com períodos de pico curtos (entre 2 e 3,5 s) e pequenos valores de alturas significativas (até 0,6 m).

As séries temporais adquiridas pelo ondógrafo, referentes a março de 2015, auxiliaram no processo de calibração do SWAN, modelo de geração e propagação de ondas que foi aplicado à Lagoa dos Patos. A comparação entre dados modelados e dados medidos resultou em valores de inclinação quadrática média (SS) iguais a 0,89, 0,78 e 0,83, respectivamente, para Hs, Tp e Dir. De um modo geral, o modelo apresentou um bom desempenho, mas com a tendência de subestimar os valores medidos pelo ondógrafo. No entanto, eliminou-se esta tendenciosidade ao se multiplicar os resultados do SWAN pelos fatores de ajuste calculados, os quais são: 1,14, 1,36 e 1,39, concomitantemente, para Hs, Tp e Dir. Após, com séries temporais de vazões do Complexo Guaíba e Rio Camaquã do ano de 2008, com a vazão média do Canal São Gonçalo e com dados de ventos da Praticagem do ano de 2008, realizou-se a simulação do modelo hidrodinâmico da Lagoa dos Patos. A comparação entre dados de variações de níveis d'água medidos no linígrafo de São Lourenço do Sul e os correspondentes dados gerados pela modelagem no mesmo local, mostrou um desempenho satisfatório do modelo, visto que o valor da inclinação quadrática média (SS) é de 0,68.

Com o modelo SWAN devidamente calibrado, simulou-se a geração e a propagação de ondas na Lagoa dos Patos para todo ano de 2008 (ano representativo de ventos), registrando parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir) no contorno da grade numérica local (São Lourenço do Sul), os quais foram corrigidos com os respectivos fatores de ajuste. Selecionaram-se 36 cenários (ondas com correspondentes ventos) representativos para atuarem como forçantes do modelo morfológico local. Os 36 casos de ondas selecionados mostraram-se característicos de ambientes de baixa energia, com valores de H_s entre 0,16 e 1,03 m, e de T_p entre 2,05 e 4,54 s.

Com a batimetria detalhada da enseada e com o valor médio do D_{50} das amostras sedimentares coletadas na região, realizou-se a simulação dos 36 cenários representativos no modelo morfológico local. Verificou-se a ocorrência de correntes bidirecionais (SW e NE) com intensidades entre 0,011 m/s e 0,184 m/s. Na margem ao norte da foz, as correntes geradas apresentaram direção para SW em todos os cenários simulados. No entanto, na margem ao sul da foz, surgiram correntes para SW, quando as ondas incidiram com ângulos entre 30° e 150° ; e ocorreram correntes com direção oposta (NE) com a incidência de ondas entre os ângulos de 150° e 210° . Constatou-se a formação de uma zona de convergência na foz do Arroio Carahá a partir do encontro das correntes NE da margem sul com as correntes SW da margem norte. As taxas médias de transporte sedimentar obtidas ao longo de três perfis analisados (ao norte da foz, na foz e ao sul da foz) foram de $9 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$, $7,3 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ e $6,7 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$, respectivamente, com sentido de NE para SW. Embora estas taxas apresentem pequenos valores, foram suficientes para realizar o processo de fechamento da foz com a formação da barra arenosa. As condições de baixa energia do ambiente e a vazão do Arroio Carahá, pouco significativa, não permitem remobilizar os sedimentos depositados na foz. Portanto, como a barra arenosa está constantemente formada na foz do Arroio Carahá, as pequenas embarcações apenas navegam pelo canal em condições de cheia da Lagoa dos Patos, quando o seu nível está alto.

Por fim, realizou-se a simulação do modelo morfológico por um período de 5 anos, com a implementação de dois molhes perpendiculares à linha de costa e aprofundamento do canal de 1,6 metros. As taxas médias de transporte de sedimentos diminuíram consideravelmente, atingindo valores de $0,45 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ e $1,4 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$, respectivamente, nos perfis norte e sul. Devido à presença de correntes bidirecionais houve deposição de sedimentos em ambas as margens adjacentes às estruturas, de forma a aumentar a largura das praias nestas regiões. Através da modelagem, constatou-se que a obra é viável, visto que com o comprimento de 400 metros os molhes atingem a profundidade de 1,6 metros na Lagoa dos Patos, onde não há remobilização dos sedimentos (para os casos simulados, com o valor médio do D_{50}).

Palavras-chave: Lagoa dos Patos, morfodinâmica lagunar, barra arenosa, foz do Arroio Carahá.

ABSTRACT

This thesis investigates the coastal processes that involve the closing of the mouth of the Arroio Carahá, located in São Lourenço do Sul, on the west bank of the Patos Lagoon. From this knowledge it indicates a coastal structure that would allow the navigability of small vessels analyzing the influence of these structures on the adjacent beaches.

Thus, it was initially conducted a study on the coastline evolution through aerofotography analysis and geo-referenced satellite images for the years 1953, 1977 and 2010. It found the occurrence of a sharp process of coastal recession on the northern shore of this creek which reached 1.4 m/year, as well as, the occurrence of coastal progradation on the southern shore at an average rate of 0.18 m/year.

The sequence took place raising various oceanographic data on the region encompassing the Patos Lagoon, as well as the specific location represented by the city of São Lourenço do Sul.

Through the analysis of measured wind data at the Praticagem station of the Patos Lagoon Inlet, it was determined the representative year (2008) of a larger time series (2004-2010). The linear correlation between the Pilot's station winds and wind data of the European reanalysis ECMWF model showed no significant spatial variation of wind on the large area of the Patos Lagoon.

Wave parameters (Hs, Tp and Dir) were obtained through a wave rider anchored in the Patos Lagoon during the period of 01/22/2015 to 01/07/2015, at approximately 14 km from São Lourenço do Sul. The average values of Hs, Tp and Dir obtained in the summer were 0.51 m, 3.2 s to 119°, respectively; and fall were 0.36 m, 2.7 s to 137° concurrently. During the entire time the most frequent waves were from east with short peak periods (between 2 and 3.5 seconds) and small significant height values (up to 0.6 m).

The time series acquired by the wave rider, referring to March 2015, helped in the calibration process of SWAN, a generation and wave propagation model that was applied to the Patos Lagoon. The comparison between modeled data and measured data resulted in mean square slope values (SS) equal to 0.89, 0.78 and 0.83 respectively for Hs, Tp and Dir. In general, the model showed a good performance, but with a tendency to underestimate the values measured by the wave rider. However, this bias was removed by multiplying the results calculated by the SWAN adjustment factors, which are: 1.14, 1.36 and 1.39 concomitantly to Hs, Tp and Dir. After with the time series flows of the Guaíba Complex and the Camaquã river, the average flow of the São Gonçalo Channel and winds of the Pilot's station all from the 2008 year, the simulation of the hydrodynamic model of the Patos Lagoon was done.

The comparison between data variations in water levels measured in São Lourenço do Sul and the corresponding data generated by modeling on the same site showed satisfactory performance of the model, since the value of the mean square slope (SS) is 0.68.

With the SWAN model properly calibrated the generation and propagation of waves in the Patos Lagoon for the whole year 2008 (representative year winds) was simulated. The wave parameters (H_s , T_p and Dir) were registered on the boundary of the local numerical grid (São Lourenço do Sul), which were corrected with the corresponding adjustment factors. Thirty six (36) scenarios (waves with corresponding winds) were selected as representative to serve as forcing the local morphological model. The 36 cases of selected wave shown to be characteristic of low-energy environments with H_s values between 0.16 and 1.03 m, and T_p between 2.05 and 4.54 s.

With detailed bathymetry of the bay and the average value of D_{50} of sedimentary samples collected in the region, was held a simulation of the 36 representative scenarios on the local morphological model. It was observed the occurrence of bidirectional currents (NE and SW) with intensities between 0.011 m/s 0.184 m/s. On the shore north of the mouth, the currents generated presented SW direction in all simulated scenarios. However, on the shore south of the mouth, there were currents to SW when the waves focused with angles between 30° and 150° ; and there were currents with opposite direction (NE) with the incidence of waves between the angles of 150° and 210° .

It was found the formation of a convergence zone at the mouth of Arroio Carahá from the meeting of the two opposite currents NE and SW. The average sediment transport rates obtained over three analyzed profiles (north of the mouth, at the mouth and south of the mouth) were $9 \text{ m}^3/\text{year}/\text{m}$, $7.3 \text{ m}^3/\text{year}/\text{m}$ and $6.7 \text{ m}^3/\text{year}/\text{m}$, respectively, with a sense to SW. Although these rates show small values were sufficient to carry out the process of closing the mouth with the formation of sandy bar. The low energy environment conditions and the small flow of Arroio Carahá, do not allow remobilize sediments deposited at the mouth. Therefore, as the sandy bar is constantly formed at the mouth of Arroio Carahá, small boats just sail through the canal when the Patos Lagoon level is high.

Finally, the simulation of the morphological model with the implementation of two breakwaters perpendicular to the coastline and deepening of the channel 1.6 meters for a period of five years was done. The average rates of sediment transport decreased considerably, reaching values of $0.45 \text{ m}^3/\text{year}/\text{m}$ and $1.4 \text{ m}^3/\text{year}/\text{m}$, respectively, in the northern and southern sections. Due to the presence of bidirectional currents sediment deposition in both adjacent edges of structures occurred with the respective increase in width of the beaches. Through modeling, it was found that the structure is feasible, since with the length of 400 meters the jetties reach a depth of 1.6 meters in the Patos Lagoon, where there is no remobilization of the sediments (for the simulated cases, with the average value D_{50}).

Keywords: Patos Lagoon, coastal lagoon morphodynamics, sandy bar, mouth of the Arroio Carahá.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	13
LISTA DE TABELAS	16
LISTA DE FIGURAS	21
1. INTRODUÇÃO	30
1.1 Considerações Iniciais	30
1.2 Motivação	33
1.3 Hipótese	34
1.4 Objetivos	35
1.4.1 Objetivo Geral	35
1.4.2 Objetivos Específicos	35
1.5 Justificativa	35
1.6 Estrutura da Tese	36
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS E OCEANOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO	37
2.1 Localização	37
2.2 Geologia	38
2.3 Morfologia	40
2.4 Sedimentos	41
2.5 Hidrodinâmica	43
2.6 Ondas	44
3. METODOLOGIA	47
3.1 Introdução	47
3.2 Estudo da Evolução da Linha de Praia	47
3.2.1 Introdução	47
3.2.2 Aquisição de imagens	48

3.2.3	Confecção dos mosaicos	49
3.2.4	Delimitação da linha de costa	50
3.2.5	Determinação do erro de amostragem	52
3.3	Aquisição e Tratamento de Dados	53
3.3.1	Coletas de Sedimentos para Análise Granulométrica	54
3.3.2	Batimetria	57
3.3.3	Análise de Dados de Ventos	62
3.3.4	Análise de Dados de Níveis d'água na Lagoa dos Patos	66
3.3.5	Vazões dos Principais Afluentes da Lagoa dos Patos	67
3.3.6	Vazão do Arroio Carahá	68
3.3.7	Medição de Ondas na Lagoa dos Patos	71
3.4	Modelagem Computacional através do software DELFT-3D	77
3.4.1	Introdução	77
	Modelo Numérico de Ondas - Delft3D Wave (SWAN)	78
	Modelo Numérico Hidrodinâmico – Delft3D Flow	79
	Modelo Numérico Morfológico Delft3D-MOR	81
3.4.2	Calibração do Modelo de Ondas para a Lagoa dos Patos	82
3.4.3	Calibração do Modelo Hidrodinâmico para a Lagoa dos Patos	86
3.4.4	Geração de Ondas na Lagoa dos Patos	86
3.4.5	Modelagem da Evolução Morfológica	88
4.	RESULTADOS	92
4.1	Introdução	92
4.2	Estudo da Evolução da Linha de Praia	92
4.3	Aquisição e Tratamento de Dados	95
4.3.1	Coletas de Sedimentos para Análise Granulométrica	95
4.3.2	Levantamento Batimétrico	103

4.3.3	Resultados das Análises de Dados de Ventos	105
4.3.4	Resultados das análises de níveis d'água no linígrafo em São Lourenço do Sul	144
4.3.5	Vazões dos principais afluentes da Lagoa dos Patos	146
4.3.6	Vazão do Arroio Carahá	146
4.3.7	Resultados dos Parâmetros de Ondas	147
4.4	Resultados da Modelagem Computacional	171
4.3.8	Calibração do Modelo de Ondas para a Lagoa dos Patos	171
4.3.9	Calibração do Modelo Hidrodinâmico para a Lagoa dos Patos	175
4.3.10	Geração de Ondas na Lagoa dos Patos	178
4.3.11	Resultados da Modelagem Morfológica	188
5.	DISCUSSÕES	208
6.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	220
6.1	Conclusões	220
6.2	Considerações Finais	223
	ANEXO A	224
	ANEXO B	227
	ANEXO C	229
	ANEXO D	244
	ANEXO E	264
	ANEXO F	268
	ANEXO G	304
	REFERÊNCIAS	340

LISTA DE SÍMBOLOS

ALM	Agência da Lagoa Mirim
ANA	Agência Nacional de Águas
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ECMWF	<i>European Center for Medium-Range Weather Forecast</i>
NCEP/NCAR	<i>National Centers for Environmental Prediction e National Center for Atmospheric Research</i>
u_z	Velocidade do vento em uma determinada altura Z
$u_{z_{obs}}$	Velocidade vento registrada em uma altura observada.
Z	Altura
V	Velocidade do escoamento de um rio
n	Número de rotações por segundo da hélice do molinete
a	Constante (passo da hélice)
b	Constante (velocidade de atrito)
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
p	Profundidade
F	Fundo
S	Superfície livre
\bar{v}	Velocidade média
SM	Método da seção média
MS	Método da meia seção
a_n	Área de cada segmento
l_n	Largura de cada segmento
q_i	Vazão de cada segmento
Q	Vazão total

H_s	Altura significativa das ondas
T_p	Período de pico das ondas
Dir	Direção de pico das ondas
t	Tempo
x e y	Direções de propagação da onda no espaço geográfico
θ	Direção da propagação da onda
σ	Frequência relativa
$N(\sigma, \theta)$	Espectro de densidade da ação da onda
C_x	Velocidade de propagação da onda na direção x
C_y	Velocidade de propagação da onda na direção y
C_θ	Velocidade de propagação no espaço θ
C_σ	Velocidade de propagação no espaço σ
$S(\sigma, \theta)$	Densidade de energia.
u	Componente da velocidade promediada na vertical (m/s)
v	Componente da velocidade promediada na vertical (m/s)
U	Intensidade da velocidade resultante ($U = \sqrt{u^2 + v^2}$)
F_x e F_y	Componentes das forçantes externas em relação a ventos e a ondas (N/m^2)
C	Coefficiente de Chézy ($m^{0,5}/s$)
g	Aceleração da gravidade (m/s^2)
f	Parâmetro de Coriolis
d	Profundidade em relação ao nível médio do mar (m)
η	Nível d'água (m)
ρ_w	Densidade da água (kg/m^3)
ν_w	Coefficiente de difusão (m^2/s)
c_s	Concentração de sedimentos em suspensão (m^3/m^3)

c_{se}	Concentração de equilíbrio de sedimentos em suspensão (m^3/m^3)
w_s	Velocidade de queda do sedimento em suspensão (m/s)
$\varepsilon_x, \varepsilon_y$	Coeficientes de dispersão (m^2/s)
α_u e γ	Coeficientes adimensionais
z_a	Nível do leito (m)
S_x	Transporte na direção x ($m^3/m/s$)
S_y	Transporte na direção y ($m^3/m/s$)
ε_{por}	Porosidade do material do fundo
C_D	Coeficiente de cisalhamento do vento
W_{10}	Intensidade da velocidade do vento a 10 metros de altura
m	Resultados do modelo
o	Resultados das medições (observações)
N	Número de dados medidos ou modelados
V	Viés
Vr	Viés relativo
$RMSE$	Erro médio quadrático
SI	Índice de espalhamento
SS	Inclinação quadrática média
α	Fator de ajuste
m_c	Resultado do modelo ajustado
D_{50}	Tamanho médio do grão (mediana)

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Erros de amostragem nos mosaicos.	52
Tabela 3.2: Campanhas realizadas com seus correspondentes períodos o objetivos.	53
Tabela 3.3: Pontos analisados de acordo com as bases de dados de ventos e as localizações.	64
Tabela 3.4: Metodologia para o cálculo da velocidade média na vertical.	69
Tabela 3.5: Especificações do ondógrafo direcional <i>Waverider</i> . Fonte: DATAWELL BV. <i>Datawell Waverider Reference Manual</i> (2010).	73
Tabela 3.6: Formulações utilizadas no modelo morfodinâmico e o modo de transporte.	81
Tabela 4.1: Valores das variações da linha de costa e o correspondente comportamento.	93
Tabela 4.2: Resultados da análise granulométrica para amostras coletadas na enseada de São Lourenço do Sul (Campanha 8).	97
Tabela 4.3: Resultados da análise granulométrica referente às amostras de sedimentos da barra formada na foz do Arroio Carahá (Campanha 8).	98
Tabela 4.4: Resultados da análise granulométrica referentes às amostras de sedimentos do canal do Arroio Carahá (Campanha 9).	98
Tabela 4.5: Resultados da análise granulométrica para amostras coletadas na enseada de São Lourenço do Sul (Campanha 2).	99
Tabela 4.6: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004.	106
Tabela 4.7: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004.	106
Tabela 4.8: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2005.	108
Tabela 4.9: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2005.	108

Tabela 4.10: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2006.	110
Tabela 4.11: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2006.	110
Tabela 4.12: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2007.	112
Tabela 4.13: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2007.	112
Tabela 4.14: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2008.	114
Tabela 4.15: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2008.	114
Tabela 4.16: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2009.	116
Tabela 4.17: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2009.	116
Tabela 4.18: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2010.	118
Tabela 4.19: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2010.	118
Tabela 4.20: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	120
Tabela 4.21: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	120

Tabela 4.22: Quantidades de ocorrências de ventos na primavera, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	122
Tabela 4.23: Frequências (%) de ocorrências de ventos na primavera, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	122
Tabela 4.24: Quantidades de ocorrências de ventos no verão, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	124
Tabela 4.25: Frequências (%) de ocorrências de ventos no verão, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	124
Tabela 4.26: Quantidades de ocorrências de ventos no outono, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	126
Tabela 4.27: Frequências (%) de ocorrências de ventos no outono, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	126
Tabela 4.28: Quantidades de ocorrências de ventos no inverno, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	128
Tabela 4.29: Frequências (%) de ocorrências de ventos no inverno, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	128
Tabela 4.30: Frequências (%) de ocorrências de direções de ventos atuantes nas estações do ano, conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	130
Tabela 4.31: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2004.	131
Tabela 4.32: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2005.	131
Tabela 4.33: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2006.	131
Tabela 4.34: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2007.	132
Tabela 4.35: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2008.	132
Tabela 4.36: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2009.	132
Tabela 4.37: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2010.	133

Tabela 4.38: Desvio padrão médio anual.	133
Tabela 4.39: Porcentagem de dados de níveis d'água medidos no linígrafo de São Lourenço do Sul, de acordo com o ano e com o horário.	145
Tabela 4.40: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 28/02/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	149
Tabela 4.41: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 28/02/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	149
Tabela 4.42: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/03/2015 a 31/03/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	152
Tabela 4.43: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/03/2015 a 31/03/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	152
Tabela 4.44: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/04/2015 a 30/04/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	155
Tabela 4.45: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/04/2015 a 30/04/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	155
Tabela 4.46: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/05/2015 a 31/05/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	158
Tabela 4.47: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/05/2015 a 31/05/2015 a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	158
Tabela 4.48: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/06/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	161
Tabela 4.49: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/06/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	161
Tabela 4.50: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	164

Tabela 4.51: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.	164
Tabela 4.52: Resultados da análise estatística.	173
Tabela 4.53: Resultados dos fatores de ajuste.	175
Tabela 4.54: Casos de ondas selecionados com correspondentes valores de ventos.	187
Tabela 4.55: Correntes geradas nos perfis PF, PN e PS para cada cenário simulado.	195

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo.	34
Figura 2.1: Localização e mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Fonte: Villwock e Tomazelli (2007).	39
Figura 2.2: Composição sedimentológica do corpo principal da Laguna dos Patos. Fonte: TOLDO (1994) <i>apud</i> CALLIARI et al. (2008).	42
Figura 2.3: Localização das estações de medições de ondas do estudo realizado por Toldo em 1988. Fonte: TOLDO (2006).	45
Figura 3.1: Instalação do sensor GNSS sobre o RN.	49
Figura 3.2: Localização dos pontos de controle.	50
Figura 3.3: Linha auxiliar com perfis perpendiculares à linha de costa (em azul). Linha de costa do ano de 1953 (em vermelho). Linha de costa do ano de 1977 (em verde). Linha de costa do ano de 2010 (em rosa).	51
Figura 3.4: Amostrador de fundo tipo <i>Van Veen</i> .	54
Figura 3.5: Localização dos pontos de coletas de sedimentos.	55
Figura 3.6: Amostras de sedimentos grossos após serem secas na estufa.	56
Figura 3.7: Processo de análise de sedimentos finos.	56
Figura 3.8: Pontos batimétricos da Lagoa dos Patos. Escala em metros. Coordenadas métricas UTM.	57
Figura 3.9: Grade numérica regional construída para a Lagoa dos Patos. Coordenadas métricas UTM.	58
Figura 3.10: Antena do GPS da ecosonda acoplada no barco.	59
Figura 3.11: Tela da ecosonda com as linhas de navegação.	59
Figura 3.12: Localização do linígrafo. Praia das Nereidas, São Lourenço do Sul – RS.	60
Figura 3.13: Linhas navegadas durante o levantamento batimétrico detalhado. Enseada, São Lourenço do Sul – RS. Coordenadas métricas UTM. Escala de cores em metros.	60
Figura 3.14: Grade numérica local construída para São Lourenço do Sul – RS. Coordenadas métricas UTM.	61
Figura 3.15: Estações meteorológicas e pontos das grades de reanálise de dados de ventos.	63
Figura 3.16: Molinete da marca Hidromec.	69

Figura 3.17: Local de medições de vazão do Arroio Carahá, delimitado pelo círculo vermelho.	69
Figura 3.18: Ondógrafo direcional <i>Waverider</i> .	73
Figura 3.19: Antena de recepção do sinal do ondógrafo. FURG Campus São Lourenço do Sul.	75
Figura 3.20: Localização do ondógrafo. Lagoa dos Patos – RS.	75
Figura 3.21: Esquema de transmissão do sinal da ondógrafo para a estação receptora.	76
Figura 3.22: Operação de fundeio do ondógrafo.	76
Figura 3.23: Ondógrafo em operação na Lagoa dos Patos.	76
Figura 3.24: Exemplo ilustrativo do Método das Classes Fixadas. Fonte: Dobrochinski (2009).	88
Figura 3.25: Implementação de molhes perpendiculares à linha de costa no modelo morfológico.	91
Figura 4.1: Variação da linha de costa ao longo do tempo.	94
Figura 4.2: Variação da granulometria e da mediana ao longo dos perfis e ao longo do canal do Arroio Carahá. (a) Perfil A, (b) Perfil B, (c) Perfil C, (d) Perfil D, (e) Canal do Arroio Carahá.	96
Figura 4.3: Mapa batimétrico da Lagoa dos Patos - RS. Coordenadas métricas UTM. Escala de cores em metros.	103
Figura 4.4: Mapa batimétrico da enseada em São Lourenço do Sul – RS. Coordenadas métricas UTM. Escala de cores em metros.	104
Figura 4.5: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2004.	107
Figura 4.6: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004.	107
Figura 4.7: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2005.	109
Figura 4.8: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2005.	109
Figura 4.9: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2006.	111
Figura 4.10: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2006.	111

Figura 4.11: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2007.	113
Figura 4.12: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2007.	113
Figura 4.13: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2008.	115
Figura 4.14: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2008.	115
Figura 4.15: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2009.	117
Figura 4.16: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2009.	117
Figura 4.17: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2010.	119
Figura 4.18: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2010.	119
Figura 4.19: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	121
Figura 4.20: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	121
Figura 4.21: Rosa dos ventos característica da primavera, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	123
Figura 4.22: Histograma de classes de ventos característico da primavera, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, de 2004 a 2010.	123
Figura 4.23: Rosa dos ventos característica do verão, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	125
Figura 4.24: Histograma de classes de ventos característico do verão, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	125
Figura 4.25: Rosa dos ventos característica do outono, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	127
Figura 4.26: Histograma de classes de ventos característico do outono, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	127

Figura 4.27: Rosa dos ventos característica do inverno, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	129
Figura 4.28: Histograma de classes de ventos característico do inverno, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	129
Figura 4.29: Histograma de direções de ventos atuantes nas estações do ano, conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.	130
Figura 4.30: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_1 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.	136
Figura 4.31: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_2 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.	136
Figura 4.32: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_3 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.	136
Figura 4.33: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_4 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.	137
Figura 4.34: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E1 da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	138
Figura 4.35: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₂ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	138
Figura 4.36: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₃ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	138
Figura 4.37: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₄ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	138
Figura 4.38: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₅ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	139
Figura 4.39: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₆ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	139
Figura 4.40: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₇ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	139
Figura 4.41: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₈ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	139

Figura 4.42: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₉ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	140
Figura 4.43: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₁₀ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	140
Figura 4.44: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₁₁ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	140
Figura 4.45: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₁₂ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	140
Figura 4.46: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₁₃ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	141
Figura 4.47: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₁₄ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	141
Figura 4.48: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₁₅ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	141
Figura 4.49: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E ₁₆ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	141
Figura 4.50: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento dos pontos E ₁₀ e E ₇ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	142
Figura 4.51: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento dos pontos E ₁₀ e E ₁₄ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.	143
Figura 4.52: Séries temporais de vazões do Rio Camaquã, Complexo Guaíba e Canal São Gonçalo, durante o ano de 2008.	146
Figura 4.53: Séries temporais, adquiridas através do ondógrafo, de: (a) altura significativa, (b) período de pico e (c) direção de pico das ondas. Período: 27 de janeiro de 2015 a 30 de junho de 2015.	148
Figura 4.54: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.	150
Figura 4.55: Histograma de frequências para altura significativa <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.	150
Figura 4.56: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.	151
Figura 4.57: Histograma de frequências para período de pico <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.	151

Figura 4.58: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.	153
Figura 4.59: Histograma de frequências para altura significativa <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.	153
Figura 4.60: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.	154
Figura 4.61: Histograma de frequências para período de pico <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.	154
Figura 4.62: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.	156
Figura 4.63: Histograma de frequências para altura significativa <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.	156
Figura 4.64: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.	157
Figura 4.65: Histograma de frequências para período de pico <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.	157
Figura 4.66: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.	159
Figura 4.67: Histograma de frequências para altura significativa <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.	159
Figura 4.68: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.	160
Figura 4.69: Histograma de frequências para período de pico <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.	160
Figura 4.70: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.	162
Figura 4.71: Histograma de frequências para altura significativa <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.	162
Figura 4.72: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.	163
Figura 4.73: Histograma de frequências para período de pico <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.	163

Figura 4.74: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.	165
Figura 4.75: Histograma de frequências para altura significativa <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.	165
Figura 4.76: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.	166
Figura 4.77: Histograma de frequências para período de pico <i>versus</i> direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.	166
Figura 4.78: Alturas significativas das ondas <i>versus</i> períodos de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.	167
Figura 4.79: Séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas. Período: março de 2015.	171
Figura 4.80: Resultado do modelo SWAN, referente às 14h55min do dia 28 de março de 2015, para altura significativa e direção de pico (vetores) das ondas na Lagoa dos Patos. Legenda em metros.	172
Figura 4.81: Resultado do modelo SWAN, referente às 14h55min do dia 28 de março de 2015, para período de pico das ondas na Lagoa dos Patos. Legenda em segundos.	172
Figura 4.82: Diagrama de dispersão para altura significativa das ondas. Linha contínua: inclinação quadrática média (SS). Linha Tracejada: traçada a 45° (apenas para referência).	174
Figura 4.83: Diagrama de dispersão para período de pico das ondas. Linha contínua: inclinação quadrática média (SS). Linha Tracejada: traçada a 45° (apenas para referência).	174
Figura 4.84: Diagrama de dispersão para direção de pico das ondas. Linha contínua: inclinação quadrática média (SS). Linha Tracejada: traçada a 45° (apenas para referência).	174
Figura 4.85: Séries temporais de variações do nível d'água no linígrafo de São Lourenço do Sul, durante 2008.	176
Figura 4.86: Resultado do modelo Delft para variação do nível d'água na Lagoa dos Patos. Data: 26 de outubro de 2008. Legenda de cores em metros.	177
Figura 4.87: Resultado gerado pelo SWAN para alturas significativas e vetores de direções de pico das ondas na Lagoa dos Patos. Data: 2 de maio de 2008 (9 horas). Escala de cores em metros.	178
Figura 4.88: Resultado gerado pelo SWAN para períodos de pico das ondas na Lagoa dos Patos. Data: 2 de maio de 2008 (9 horas). Escala de cores em segundos.	179
Figura 4.89: Localização dos pontos onde foram analisados os resultados dos parâmetros de ondas gerados através da modelagem de ondas na grade regional.	180

Figura 4.90: Alturas significativas das ondas <i>versus</i> tempo para os 4 pontos (A, B, C e D) localizados no contorno da grade local. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.	181
Figura 4.91: Períodos de pico das ondas <i>versus</i> tempo para os 4 pontos (A, B, C e D) localizados no contorno da grade local. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.	181
Figura 4.92: Direções de pico das ondas <i>versus</i> tempo para os 4 pontos (A, B, C e D) localizados no contorno da grade local. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.	181
Figura 4.93: Série temporal de alturas significativas das ondas no ponto A, corrigidas com o fator de ajuste $\alpha = 1,14$. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.	182
Figura 4.94: Série temporal de períodos de pico das ondas no ponto A, corrigidos com o fator de ajuste $\alpha = 1,36$. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.	182
Figura 4.95: Série temporal de períodos de pico das ondas no ponto A, corrigidos com o fator de ajuste $\alpha = 1,39$. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.	182
Figura 4.96: Casos de ondas para o verão. Pontos em azul: todos os casos de ondas. Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.	183
Figura 4.97: Casos de ondas para o outono. Pontos em azul: todos os casos de ondas. Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.	183
Figura 4.98: Casos de ondas para o inverno. Pontos em azul: todos os casos de ondas. Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.	184
Figura 4.99: Casos de ondas para a primavera. Pontos em azul: todos os casos de ondas. Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.	184
Figura 4.100: Direção do vento e direção da onda no Ponto A, durante o ano de 2008.	185
Figura 4.101: Intensidade do vento (m/s) e altura significativa da onda (m) no Ponto A, durante o ano de 2008. Dados de altura significativa da onda multiplicados por 10 (para melhor visualização).	185
Figura 4.102: Diagrama de dispersão entre direções de pico das ondas e direções dos ventos, com a correspondente equação e R^2 .	186
Figura 4.103: Diagrama de dispersão entre intensidade das ondas e intensidade dos ventos, com a correspondente equação e R^2 .	186
Figura 4.104: Batimetria inicial. Escala de cores em metros.	188
Figura 4.105: (a) Propagação de onda do caso 2 (verão): $H_s = 0,45$ m, $T_p = 2,87$ s, $Dir = 76,38^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	189

Figura 4.106: (a) Propagação de onda do caso 18 (outono): $H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,4^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	190
Figura 4.107: (a) Propagação de onda do caso 26 (inverno): $H_s = 0,52$ m, $T_p = 3,33$ s, $Dir = 174,3^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	191
Figura 4.108: (a) Propagação de onda do caso 32 (primavera): $H_s = 0,60$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 119,7^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	192
Figura 4.109: Localização dos perfis analisados.	194
Figura 4.110: Transporte médio total ($m^3/ano/m$) através da simulação com D_{50} de 1,16 mm ao longo dos perfis: (a) foz, (b) norte e (c) sul.	197
Figura 4.111: Transporte médio total ($m^3/ano/m$) através da simulação com D_{50} de 0,564 mm ao longo dos perfis: (a) foz, (b) norte e (c) sul.	198
Figura 4.112: Variação do nível de fundo para um ponto situado sobre a região da barra arenosa.	199
Figura 4.113: Morfologia de fundo após as simulações dos casos de: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Escalas de cores em metros.	200
Figura 4.114: (a) Propagação de onda do caso 2 (verão) com obras: $H_s = 0,45$ m, $T_p = 2,87$ s, $Dir = 76,38^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	202
Figura 4.115: (a) Propagação de onda do caso 18 (outono) com obras: $H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,4^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	203
Figura 4.116: (a) Propagação de onda do caso 26 (inverno) com obras: $H_s = 0,52$ m, $T_p = 3,33$ s, $Dir = 174,3^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	204
Figura 4.117: (a) Propagação de onda do caso 32 (primavera) com obras: $H_s = 0,60$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 119,7^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.	205
Figura 4.118: Transporte médio total ($m^3/ano/m$) através da simulação com molhes, utilizando D_{50} de 0,564 mm, ao longo dos perfis: (a) foz, (b) norte e (c) sul.	206
Figura 4.119: (a) Morfologia de fundo inicial. (b) Morfologia de fundo ao final dos 5 anos simulados, com molhes. Escalas de cores em metros.	207

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Ambientes costeiros apresentam grande valor para a população, pois proporcionam o desenvolvimento de atividades recreativas, turísticas, comerciais e industriais, envolvendo investimentos financeiros em construções e em diversos empreendimentos (HOEFEL, 1998).

No Brasil, a zona costeira configura-se como patrimônio nacional, pois se constitui em uma região privilegiada quanto aos recursos naturais, econômicos e humanos. Na região sul do país, o estado do Rio Grande do Sul apresenta 70% de seus municípios com baixas densidades demográficas nas zonas costeiras, inferiores a 50 habitantes/km². No entanto, as densidades demográficas são mais elevadas em alguns municípios do litoral norte gaúcho com funções de centralidade regional (Osório, Capão da Canoa, Tramandaí, Torres), e também nos municípios de Pelotas e Rio Grande, no setor sul do estado, devido às funções polarizadoras com as atividades portuário-industriais e de comércio e serviços (STROHAECKER, 2008).

A preservação de praias e a proteção de propriedades costeiras requer um entendimento dos processos costeiros, os quais são: o movimento das ondas, a geração de correntes litorâneas, o transporte de sedimentos e a resultante variação na morfologia da praia (KOMAR, 1976).

Oceanólogos, engenheiros e geólogos, durante muito tempo têm apresentado grande interesse quanto à realização de estudos detalhados sobre processos costeiros, tais como transporte litorâneo de sedimentos. As tentativas para determinar estas taxas de transporte podem ser feitas através de equações empíricas ou semi-empíricas (conhecendo-se o clima de ondas locais) e através de medições em campo, com auxílio de equipamentos específicos, como por exemplo: armadilhas, traçadores e sensores óticos. A compreensão dos fatores responsáveis pelo transporte sedimentar litorâneo é de extrema importância para pesquisas oceânicas, engenharia costeira e gerenciamento costeiro (FONTOURA, 2004).

Ações antrópicas, sem adequada análise dos processos costeiros existentes em determinada região, podem acarretar em graves problemas ambientais. Conforme Dean e Dalrymple (2002) há inúmeros exemplos de construções de engenharia oceânica que têm interferido nos processos de transporte de sedimentos, causando fortes erosões nas praias,

associadas ao risco do desabamento de estruturas próximas, ou até mesmo, ocasionando um grande acúmulo de sedimentos, tornando algumas instalações desabilitadas para o uso. Uma melhor compreensão dos processos costeiros, incluindo as correntes litorâneas e os resultantes transportes de sedimentos, e a capacidade para transformar esta compreensão em medidas eficazes de engenharia, requerem que haja interesse em conhecer a dinâmica da natureza, assim como em estudar os comportamentos de linhas de costa e em trabalhar com projetos costeiros.

Obras de proteção costeira visam criar uma área protegida contra ondas geradas pelo vento e/ou contra correntes. Estas apresentam a finalidade de proteger o litoral contra a erosão, estabilizar canais de navegação situados em desembocaduras costeiras, além de criar uma bacia portuária com proteção contra a agitação ondulatória (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). A definição do tipo de obra mais adequado, em geral, não é imediata. Entretanto, é preciso conhecer a dinâmica da praia, onde ocorrem fenômenos complexos que movimentam os sedimentos. Para tal, o levantamento de dados consiste em etapa fundamental para o projeto. A caracterização da unidade morfológica da região deve ser feita com base em análises de sedimentos, de regime de ondas, de correntes e da morfologia da linha de costa a partir de levantamentos topográficos, aerofotogramétricos, ou por satélites. A escolha do tipo de obra depende ainda da profundidade no local, da onda de projeto, da condição de fundação (tipo de solo) e da disponibilidade de enrocamento, que engloba o volume disponível, e da distância de transporte (ALFREDINI E ARASAKI, 2014).

Alguns métodos de estabilização de praias e de canais de navegação, muito utilizados são os quebra-mares, os espigões e os guias-correntes. Os quebra-mares apresentam a finalidade de reduzir a quantidade de energia das ondas que atingem à linha de costa e, desta forma, limitar a erosão praial. Dissipam ou refletem a energia das ondas incidentes, alterando a direção destas. Através da difração, ocorre a diminuição da altura de onda, e conseqüentemente a diminuição do transporte sedimentar local (DEAN e DALRYMPLE, 2002).

Os espigões geralmente são construídos perpendicularmente à linha de costa, estendendo-se em direção ao mar. Construídos para prevenir erosão de praias onde há significativo transporte sedimentar longitudinal, devido às correntes de deriva (DEAN e DALRYMPLE, 2002). O espigão bloqueia uma parte do transporte longitudinal de sedimentos e, então, causa uma acumulação destes à barlar da estrutura, reorientando a linha de costa e reduzindo o ângulo entre incidência das ondas e linha de costa. A reorientação da linha de costa reduz a taxa local de transporte sedimentar, produzindo acumulação e/ou redistribuição de areia à barlar do espigão (U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2001).

Na presença de embocaduras marítimas (*inlets*), frequentemente são construídos molhes, os quais são estruturas ligadas diretamente à costa e, geralmente, perpendiculares à linha de praia (ALFREDINI E ARASAKI, 2014). Quando implementados em canais de navegação visam direcionar o escoamento (guias-correntes) prevenindo a intrusão de sedimentos provenientes do transporte longitudinal. Quando localizados em praias, ajudam a estabilizar a linha de costa, mas podem causar erosão à sotamar, em regiões de significativo transporte sedimentar. Além de estabilizarem embocaduras e canais de navegação, quando se estendem ao largo da zona de rebentação, os molhes auxiliam nas manobras dos navios, pois fornecem abrigo contra as ondas de tempestade. (U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2001).

Os *inlets* são ambientes de elevada importância para a natureza e para as pessoas que habitam em regiões próximas a estas feições. O conhecimento dos processos hidrodinâmicos e sedimentológicos nas áreas adjacentes às desembocaduras constitui em uma etapa fundamental para avaliar e propor possíveis obras de engenharia costeira. A geometria de uma desembocadura é dependente do regime de ondas incidentes, das periódicas reversões de fluxos e da sedimentação (GOULART e CALLIARI, 2011).

Conforme Dean e Dalrymple (2002) a hidrodinâmica através de um *inlet* é originada pela diferença do nível d'água entre o oceano e a baía. Quando a amplitude da maré no oceano é maior que na baía, é gerada uma corrente no *inlet*, de maneira a encher a baía, e assim, aumentando a amplitude da maré nesta. Quando a amplitude da maré no oceano começa a decrescer, a amplitude da maré na baía ainda está aumentando (devido à diferença de fase) até que os dois níveis d'água tornem-se iguais. Em seguida, a corrente no *inlet* cessa e se inverte. A mesma defasagem entre os dois níveis d'água ocorre na maré baixa.

Em São Lourenço do Sul acredita-se que a hidrodinâmica entre o canal do Arroio Carahá e a Lagoa dos Patos é controlada pela diferença do nível d'água. Em condições de cheia da lagoa, com o nível d'água alto, observa-se que correntes são geradas desta para o interior do canal. No entanto, quando a lagoa está com o nível d'água baixo, não se observam correntes sendo geradas do canal para a enseada, pois a vazão do arroio é praticamente nula.

Um fator muito importante a ser considerado no estudo de processos costeiros em ambientes com *inlets* é a estabilidade destas feições. Segundo Dean e Dalrymple (2002) um *inlet* encontra-se estável se a área da seção transversal e sua localização não apresentarem significativa variação ao passar dos anos. A estabilidade da seção transversal ocorre quando a perda de sedimentos causada pelo fluxo de maré através do canal é balanceada pelos sedimentos

trazidos para dentro deste. Quando há maré de enchente o fluxo de água gerado carrega sedimentos retirados da zona de surf ou de bancos de areia para dentro do *inlet*. Em canais com molhes, por exemplo, o fluxo de água é direcionado por estas estruturas para as praias adjacentes, levando sedimentos que irão se depositar formando bancos dentro do canal ou a certa distância da desembocadura. No entanto, em maré de enchente, os sedimentos são carregados em direção à costa e, então, depositados.

Na foz do Arroio Carahá (São Lourenço do Sul) observa-se a presença de uma barra arenosa. Esta barra, associada às condições de hidrodinâmica da Lagoa dos Patos, prejudica a comunidade local no que diz respeito às atividades comerciais de pesca, pois o passe através do canal torna-se inacessível.

Diversas comunidades ribeirinhas necessitam de acesso da conexão entre cursos d'água que desembocam na Lagoa dos Patos, tanto para finalidades recreativas como comerciais. Desta forma, a morfodinâmica das embocaduras desempenha um papel fundamental no suprimento dessas atividades.

1.2 Motivação

Existem dezenas de desembocaduras de rios e arroios ligados à Lagoa dos Patos, onde podem ocorrer processos de deposição e retirada de sedimentos, de forma cíclica, de acordo com a predominância de ventos, de ondas e de correntes, fechando e abrindo a conexão. Desta forma, durante os períodos de deposição de sedimentos, comunidades locais ficam sujeitas à impossibilidade de navegação. Em São Lourenço do Sul (RS) observa-se este fenômeno na foz do Arroio Carahá (Figura 1.1), o qual deságua na Lagoa dos Patos. A deposição de sedimentos na sua foz acarreta no fechamento do canal, tornando-o inacessível para a navegação de barcos pesqueiros de pequeno porte. Desta forma, torna-se necessário realizar um estudo detalhado sobre os processos costeiros envolvidos no transporte de sedimentos e no consequente fechamento da foz do Arroio Carahá.

Neste contexto, as análises da morfologia costeira, do regime hidrodinâmico e do transporte sedimentar são extremamente importantes para que haja correta compreensão da

morfodinâmica associada ao canal e às praias adjacentes ao Arroio Carahá. A partir do estudo detalhado destes processos costeiros, torna-se possível avaliar e até mesmo propor obras de engenharia costeira que visam manter aberta a barra do Arroio Carahá e com um calado mínimo para a navegação local durante todo o ano. Os resultados apresentados nesta Tese poderão fornecer subsídios para obras de fixação do referido arroio bem como a outros sistemas de drenagem que desaguam na Lagoa dos Patos.

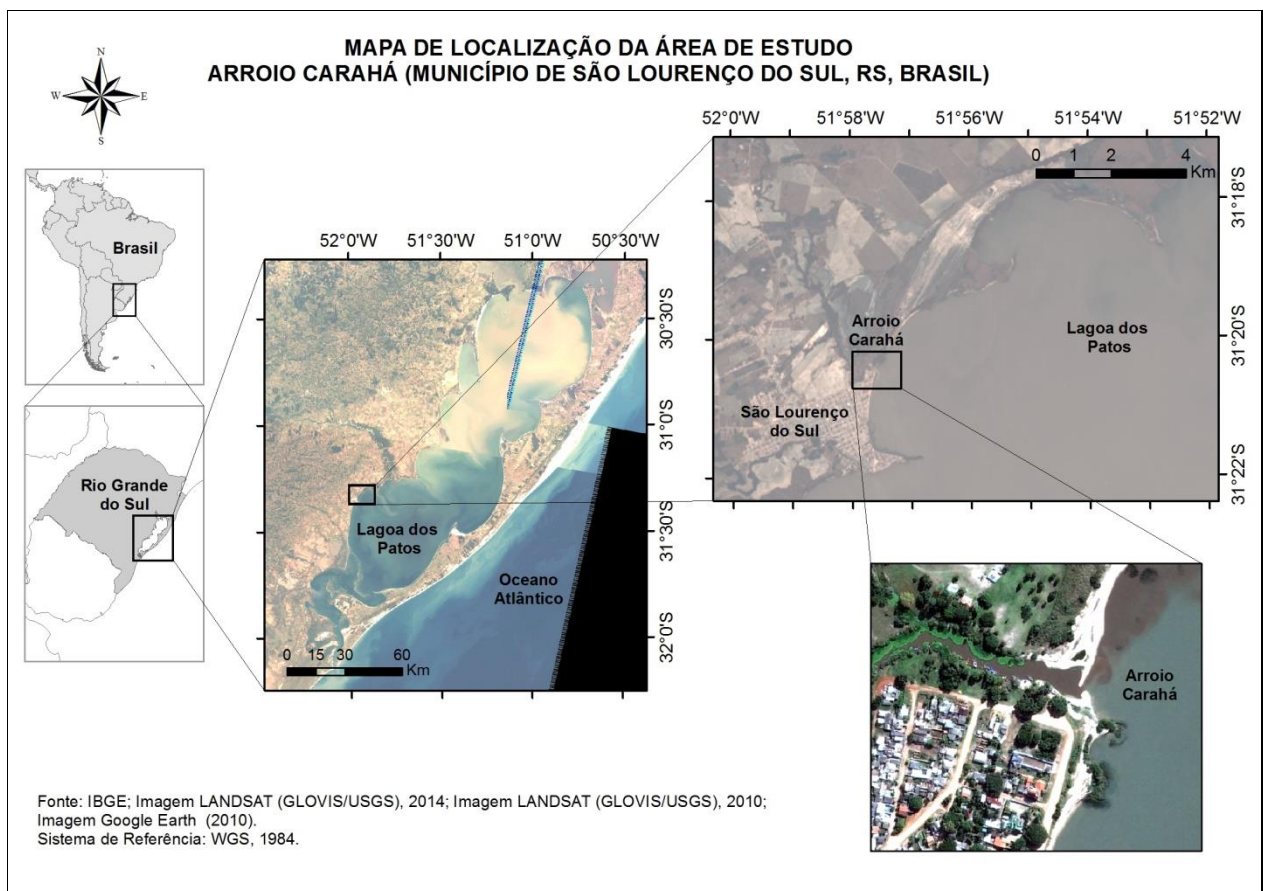


Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo. Foz do Arroio Carahá. São Lourenço do Sul – RS.

1.3 Hipótese

Considerando às características hidráulicas preliminares do Arroio Carahá e da Lagoa dos Patos, sugere-se que o controle da navegação sobre a barra arenosa é exercido pelas variações do nível da lagoa, independentemente das modificações morfológicas associadas à mesma.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Investigar os processos costeiros que envolvem o fechamento da foz do Arroio Carahá. Analisar a possibilidade de a barra do arroio ser fixada através de uma obra de engenharia costeira, que permita a navegabilidade de pequenas embarcações sobre a mesma, bem como avaliar os seus reflexos sobre as praias adjacentes.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudar a evolução morfológica e características sedimentológicas da foz do Arroio Carahá e da linha de costa adjacente;
- Caracterizar o regime eólico e hidrodinâmico (ondas e correntes) atuantes na Lagoa dos Patos;
- Determinar a hidrodinâmica e deriva litorânea sobre a barra do Carahá;
- Propor uma solução para garantir a navegabilidade do canal e avaliar seus reflexos nas praias adjacentes

1.5 Justificativa

A Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul, no intuito de garantir a navegabilidade permanente na foz do Arroio Carahá, pretende executar uma obra de engenharia costeira na desembocadura deste com a Lagoa dos Patos. É provável que o local possua uma significativa dinâmica litorânea depositando sedimentos na foz do arroio, fechando a conexão deste com a lagoa. Adicionalmente, as praias do entorno aparentam estar sujeitas à importante ação erosiva, que tem colocado em risco parte do ambiente de elevada importância ecológica, composto por trechos com ocorrência de figueiras e outras árvores nativas, incluindo também trechos urbanizados próximos à costa.

Para tanto, faz-se necessário um estudo detalhado da hidrodinâmica, morfologia costeira e transporte sedimentar no entorno da desembocadura e, se apropriado, propor estruturas de engenharia costeira visando manter aberta a barra do Carahá e, então, assegurar um calado mínimo para a frota pesqueira local (pescadores artesanais) e embarcações de lazer durante todo ano. Ao mesmo tempo a possível alternativa deverá assegurar a menor intervenção antrópica possível sobre o ambiente em questão.

1.6 Estrutura da Tese

Esta Tese está organizada em seis capítulos. Neste capítulo introdutório é feita uma abordagem sobre a hipótese, os objetivos e a justificativa.

No segundo capítulo são apresentadas as características gerais e oceanográficas da área de estudo, descrevendo a localização e enfatizando estudos já realizados sobre geologia, morfologia, sedimentos, hidrodinâmica e ondas na Lagoa dos Patos.

A metodologia é detalhada no terceiro capítulo, onde são apresentados os procedimentos realizados para análise da evolução das linhas de praias adjacentes ao Arroio Carahá, aquisição e tratamento de dados, assim como para a realização da modelagem computacional através do *software* DELFT3D.

Os resultados são explanados no quarto capítulo.

No Capítulo 5 são apresentadas as discussões em torno dos principais resultados obtidos.

No último capítulo são expostas as conclusões deste estudo, assim como considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS E OCEANOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de interesse específica desta pesquisa situa-se na desembocadura do Arroio Carahá, localizada na enseada de São Lourenço do Sul, na margem oeste da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, conforme Figura 1.1 do Capítulo 1.

São Lourenço do Sul localiza-se entre os paralelos 30° 58' 52'' e 31° 31' 05'' de latitude sul, e entre os meridianos de 51° 44' 47'' e 52° 27' 32'' de longitude oeste. Possui área de 2.036,125 km² e contava com 43.114 habitantes no Censo 2010 (IBGE, 2015).

Os principais rios que formam a rede hidrográfica do município são o Arroio São Lourenço e o Arroio Carahá. Estes canais abrigam vários barcos, onde comunidades pesqueiras exercem suas atividades. A extensão do Arroio Carahá é de 16 quilômetros e, nas proximidades da foz, apresenta largura média de 25 metros e profundidade média de 1,50 metros. Seu canal apresenta trechos retilíneos e trechos meandrantés. O arroio tem suas nascentes na localidade de Boqueirão, zona rural da cidade. A foz do Arroio Carahá consiste em um *inlet* (canal de comunicação) que liga o citado arroio à Lagoa dos Patos.

A Lagoa dos Patos possui orientação geral NE-SW, paralela à linha de costa do Rio Grande do Sul, protegida em sua maior parte das águas do Oceano Atlântico por um sistema de barreiras arenosas que se estende do norte da laguna até o extremo sul, onde há o canal de comunicação com o oceano, através dos molhes em Rio Grande (TOLDO, 1991). É a maior lagoa costeira do mundo, com comprimento de 250 quilômetros e largura média de 40 quilômetros, abrange uma área de aproximadamente 10.360 km². Devido à profundidade média de 5 metros, pode ser classificada como uma lagoa rasa (MÖLLER et al., 1994).

De acordo com Hartmann e Schettini (1996) o Rio Grande do Sul possui duas grandes bacias de drenagem: a Bacia do Uruguai e a Bacia do Sudeste. A Bacia do Uruguai drena suas águas para o estuário do Rio da Prata. Na Bacia do Sudeste ocorre a inserção da Lagoa dos Patos com a Lagoa Mirim, que juntas formam uma área de drenagem de aproximadamente 200.000 km².

Com área aproximada de 62.250 km², a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim se divide em território brasileiro (47%) e em território uruguaio (53%). Possui ligação com a Lagoa dos Patos através do Canal São Gonçalo. Seu espelho d'água possui área aproximada de 3.749 km², comprimento de 185 quilômetros e largura média de 20 quilômetros (GOUVÊA et al., 2010).

A Bacia Atlântica abrange os rios afluentes da Lagoa dos Patos, que se dividem em dois complexos: Patos e Mirim. O Complexo Patos possui área de drenagem de 150.432 km², e é formado pelos rios Jacuí, Taquari, Caí, Sinos, Gravataí, Camaquã, Vacacaí, Guaíba e arroios. A Lagoa Mirim, os rios Jaquarã, Taquari, Cebolati, Piratini, Pelotas e os arroios Sarandi Grande, Santa Vitória, Arroio Grande e o Canal São Gonçalo formam o Complexo Mirim, com área de drenagem de aproximadamente 51.194 km² (VIEIRA, 1988).

2.2 Geologia

Segundo Villwock e Tomazelli (2007) a Planície Costeira do Rio Grande do Sul compreende uma área de aproximadamente 33.000 km², e em sua maior parte predomina um sistema de lagoas costeiras. Localiza-se entre os paralelos de 29° 18' e 33° 48' de latitude sul. A Planície Costeira integra compartimentos geomorfológicos que compreendem a Planície Aluvial Interna, a Barreira das Lombas, o Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, a Barreira Múltipla Complexa e o Sistema Lagunar Patos-Mirim.

A Planície Aluvial Interna apresenta leve inclinação para leste, com depósitos de um sistema de leques aluviais acumulados desde o Terciário e retrabalhados em ambiente marinho e lagunar no Quaternário. A Barreira das Lombas se estende por mais de 250 quilômetros (de Osório a Tapes), e é formada por coxilhas de até mais de 100 metros de altura. O Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí é formado por uma área de terras baixas que evoluiu de uma laguna para pântanos costeiros, parcialmente retrabalhados pela drenagem atual. A Barreira Múltipla Complexa consiste em uma sucessão de terraços aplainados, intercalados com depressões alongadas, com presença de lagoas, lagos e pântanos. O Sistema Lagunar Patos-Mirim evoluiu durante os períodos de avanços e retrocessos do mar. As variações do nível do mar geraram a abertura e o fechamento da região de comunicação com o mar. O retrabalhamento de suas margens deu origem a terraços, pântanos, cristas de praias e a processos de erosão e acresção,

formando falésias e pontais arenosos que ainda são visíveis atualmente (VILLWOCK e TOMAZELLI, 2007).

De acordo com Villwock et al. (1986) a planície costeira adjacente à Lagoa dos Patos é formada por depósitos arenosos interrompidos por pequenos cursos d'água. Durante a ocorrência de quatro eventos transgressivos, desenvolveram-se quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, os quais são: sistemas I, II e III (durante o Pleistoceno) e o sistema IV (durante o Holoceno). A Lagoa dos Patos é quase totalmente confinada dentro destas quatro sequências deposicionais. Ao longo da margem oeste da Lagoa dos Patos é exposto o sistema I, onde se observam pequenos leques aluviais. Já a barreira extensa que separa a Lagoa dos Patos do Oceano Atlântico é formada pelos sistemas III e IV (Figura 2.1).

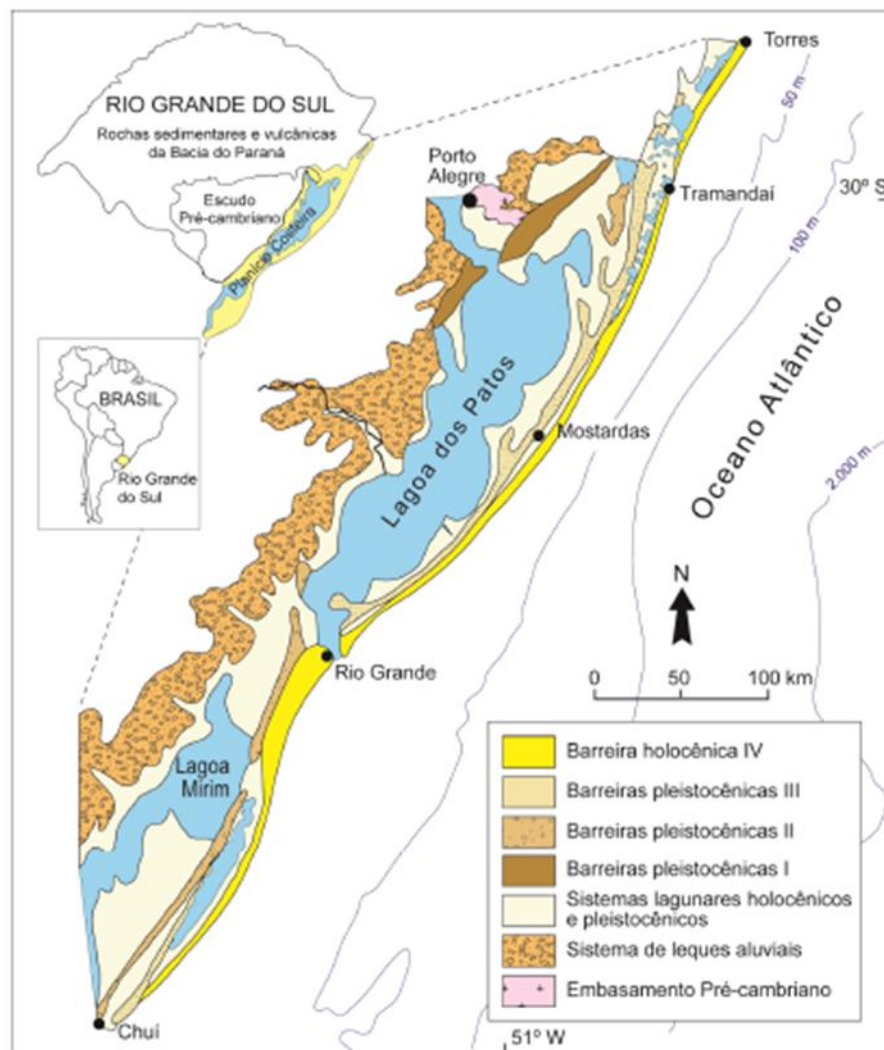


Figura 2.1: Localização e mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. (Villwock e Tomazelli, 1996). Fonte: Stevaux e Dillenbourg (2011).

Os depósitos dos Sistemas I, II e III foram em parte retrabalhados por ondas e correntes dentro da lagoa durante o Holoceno, formando os extensos pontais arenosos, os quais têm altura média de 1 metro acima do nível médio d'água. No lado ocidental, a parte submersa destes corpos arenosos estende-se por aproximadamente 15 quilômetros para o interior da lagoa (TOLDO et al., 2006).

2.3 Morfologia

De acordo com Toldo (1991) o relevo submerso da Lagoa dos Patos divide-se em duas regiões, as quais são: margem interna (flanco lagunar) e soalho lagunar (piso lagunar). A margem interna corresponde à região entre a linha de costa e a isóbata de 5 metros. Já o soalho lagunar consiste na área interna à isóbata de 5 metros.

O gradiente batimétrico da lagoa é muito baixo, em torno de 1 metro a cada 120 quilômetros. A presença de esporões arenosos recurvados (com altura média de 1 metro acima do nível da água, projetando-se para o interior do corpo lagunar) caracteriza um processo de segmentação (ALVAREZ et al., 1981).

Segundo Zenkovitch (1959), a formação dos esporões ocorre devido à atuação predominante de ventos bidirecionais (NE e SW) paralelos ao eixo longitudinal da Lagoa dos Patos, ao regime de micro-maré e ao transporte de sedimentos resultante da incidência oblíqua de ondas por refração.

Devido às suas dimensões e aos processos sedimentares decorrentes no tempo e no espaço, os esporões representam a principal feição morfológica da Laguna dos Patos. Estão em processo de crescimento os seguintes esporões: Pontal Dona Maria, Pontal Dona Helena, Pontal do Vitoriano, Pontal do Quilombo, Pontal de Santo Antônio e Pontal da Feitoria (margem oeste), Pontal das Desertas e Pontal do Abreu (margem norte), Pontal do Anastácio, Pontal São Simão, Pontal Cristóvão Pereira, Pontal Bojuru e Pontal dos Lençóis (margem leste) (TOLDO, 1991).

2.4 Sedimentos

A Bacia de drenagem do Sudeste tem importante contribuição hídrica no controle da mobilidade de sedimentos na Lagoa dos Patos, pois apresenta um fluxo natural a partir do Complexo do Guaíba até a desembocadura no Canal do Rio Grande (TOLDO, 1991).

Ao norte, os tributários que formam o Complexo Guaíba (Jacuí, Taquari, Caí, Sinos e Gravataí) são responsáveis por transportar sedimentos finos à lagoa. A concentração de sedimentos em suspensão é alta na área de influência fluvial ao norte da laguna (cerca de 70 a 30 mg/l). Na região central do corpo lagunar, a concentração de sedimentos em suspensão cai para 15 mg/l, devido ao processo de deposição. Na área estuarina ocorre um aumento de material mais fino, com taxas de 4 mg/l na superfície da água a 32 mg/l na região mais próxima ao fundo. (MARTINS et al., 1989).

De acordo com Hartmann et al. (1986) a quantidade de material em suspensão na Lagoa dos Patos é dependente da salinidade. A diminuição abrupta de material em suspensão ao longo da lagoa é decorrente do aumento da salinidade.

As margens arenosas e o fundo lamoso e plano, separados pelas isóbatas de 5 a 6 metros, são distintas regiões morfológicas e sedimentológicas da Lagoa dos Patos. Os sedimentos ao longo da margem oeste são classificados como pobremente selecionados, com tamanhos entre areia fina e cascalho, enquanto que na margem leste os sedimentos são bem selecionados, com predominância de areia fina. A margem oeste geralmente apresenta inclinações de aproximadamente 1/500, enquanto que na margem leste, os gradientes são mais elevados, em torno de 1/200. Os sedimentos predominantes na metade norte do piso lagunar são silte e silte argiloso, enquanto que, na metade sul são argila siltosa de cor predominantemente verde acinzentada (MARTINS et al., 1989). A lama encontrada no piso lagunar deriva principalmente do Rio Guaíba (TOLDO, 1994, *apud* CALLIARI et al., 2008).

Toldo (1994) analisou a granulometria presente no corpo principal da Lagoa dos Patos e identificou sete classes granulométricas: areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila, conforme apresentado na Figura 2.2. Areias muito grossa, grossa e média são encontradas na parte norte da lagoa, enquanto que areias finas são encontradas nas margens oeste e leste. A maior parte do fundo lagunar é composta por silte, enquanto que a argila é mais restrita ao setor sul. Na zona de transição com o sistema estuarino, ambas as margens do

fundo lagunar são cobertas por largos depósitos de areia fina (TOLDO, 1994 apud CALLIARI et al., 2008).

Segundo Calliari et al. (2008) um grande depósito de areia fina cobre as margens da lagoa e o leito na zona de transição entre a lagoa e os estuário, indicando a provável existência de um antigo delta de maré enchente.

O tipo de fundo da região estuarina é predominantemente arenoso, pois a alta energia da hidrodinâmica impede que sedimentos finos se depositem nesta região. Desta forma, os finos são encontrados em ambientes de baixa energia, como as regiões de maior profundidade e áreas mais abrigadas (CALLIARI e FACHIN, 1993).

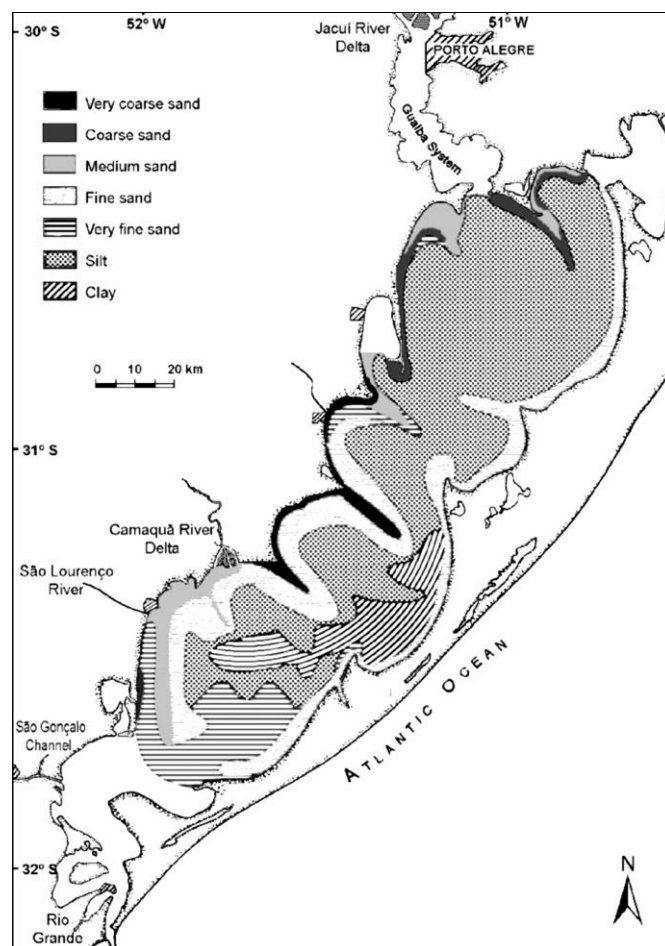


Figura 2.2: Composição sedimentológica do corpo principal da Lagoa dos Patos.

Fonte: TOLDO (1994) apud CALLIARI et al. (2008).

2.5 Hidrodinâmica

A hidrodinâmica da Lagoa dos Patos depende principalmente das relações entre a ação dos ventos e as descargas fluviais. De acordo com Möller et al. (2001) o vento consiste na principal forçante da circulação na lagoa, produzindo dois efeitos, um local e um remoto. O efeito local corresponde à circulação gerada pelo cisalhamento do vento sobre a laguna. Já o efeito remoto (não local) corresponde à elevação ou ao rebaixamento do nível d'água devido ao transporte de Ekman.

As direções predominantes de ventos coincidem com a direção do eixo longitudinal do corpo lagunar (NE-SW). Portanto, ventos de NE resultam em um rebaixamento do nível d'água ao norte da laguna, e em uma elevação do nível d'água ao sul (efeito local). No oceano, como consequência do transporte de Ekman (efeito não local do vento), ocorre o rebaixamento do nível d'água na costa. Estes dois efeitos produzem um gradiente de pressão barotrópico, que força o fluxo da água da lagoa para o oceano através do Canal do Rio Grande. No entanto, quando predominam ventos de SW na região, ocorre uma elevação do nível da água ao norte da laguna, e um rebaixamento do nível da água ao sul (efeito local). No oceano, como efeito não local, a água é acumulada na costa. Durante períodos de fraca ou moderada descarga fluvial, a soma dos dois efeitos (local e não local) gera um gradiente de pressão, com fluxo da água do oceano para dentro da lagoa (MÖLLER et al., 2001). Este mecanismo, que combina efeito local e efeito não local, constitui no principal fator responsável pelas trocas de água entre a laguna e a plataforma continental (FERNANDES et al., 2002).

Conforme Villwock e Tomazelli (2007) o regime de ventos pode causar diferenças no nível d'água da Lagoa dos Patos de até 2 metros entre as extremidades norte e sul, gerando correntes que mantêm em suspensão o material sedimentar fino proveniente de rios. Os ventos dominantes do quadrante NE originam ondas e correntes que formam baías e esporões arenosos nas margens da lagoa.

Segundo Martins et al. (1989) a amplitude da maré astronômica é de 0,45 metros. Durante ocorrências de ventos provenientes do quadrante sul, de marés de sizígia, e com o nível baixo d'água na lagoa, ocorre o fluxo da água do oceano para o interior do corpo lagunar até cerca de 200 quilômetros em direção ao norte.

Embora o vento seja fator decisivo na circulação da Lagoa dos Patos, as descargas fluviais também podem ser muito importantes durante períodos de descargas maiores que 4.000 m³/s. Os rios que desembocam na laguna apresentam o padrão de maiores descargas no final do inverno e início de primavera, seguindo para moderadas a menores descargas no verão e outono. Os principais tributários no norte e no centro da Laguna dos Patos são, respectivamente, o Rio Guaíba (contribuindo em 85% de água doce) e o Rio Camaquã (contribuindo em 15% de água doce) (CALLIARI et al., 2008). A descarga média destes rios é de 2.000 m³/s (MÖLLER et al., 2001). Na região estuarina, a Lagoa dos Patos possui conexão com a Lagoa Mirim, através do canal São Gonçalo, com descarga média de 200 m³/s (VAZ, 2003). No Canal do Rio Grande, acesso com Oceano Atlântico, a descarga média é de 4.800 m³/s (TOLDO et al., 2006).

2.6 Ondas

Pesquisas sobre a caracterização do clima de ondas na Lagoa dos Patos ainda são limitadas. Embora seja o principal corpo d'água da Hidrovia do MERCOSUL, até o presente momento não houve estudo detalhado sobre o regime ondulatório no corpo lagunar através de registros com equipamentos específicos (FONTOURA et al., 2015).

Nicolodi (2007) validou um modelo de geração de ondas para o Lago Guaíba através da correlação entre dados obtidos por meio da instalação de um medidor de ondas e correntes da FSI3D da *Falmouth Scienti*. O equipamento esteve fundeado próximo ao clube Jangadeiros, na zona sul de Porto Alegre, entre os dias 16 de junho até 02 de agosto de 2005, em uma profundidade aproximada de 3 metros.

Fischer (2005) realizou medições de alturas de ondas utilizando uma régua graduada, a uma profundidade de 0,50 metros, na costa noroeste do estuário da Lagoa dos Patos, nas praias do “Saco do Laranjal”, com a finalidade de validar um modelo de geração de ondas, através do programa SMB89. As medições foram realizadas em março de 2004, registrando altura significativa de ondas entre 0,10 e 0,35 metros, e período significativo entre 1,2 e 2,9 segundos.

Toldo et al. (2006) realizaram as primeiras medições de ventos e predições de ondas ao longo do litoral da Lagoa dos Patos com base em dados de intensidades e direções de ventos

registrados a cada hora durante todo ano de 1988. Concluíram que no lado oeste da laguna, onde prevalecem ventos de nordeste durante primavera e verão, a direção de ondas dominantes é NE e ENE, com médias das alturas significativas entre 0,5 e 0,7 metros, e períodos entre 2,7 e 3,3 segundos. Já na margem leste da lagoa, onde prevalecem ventos de WNW e WSW, durante inverno e outono, as médias das alturas significativas de ondas apresentam valores entre 0,4 e 0,8 metros, com períodos entre 2,4 e 3,4 segundos. No referido estudo, existiam duas estações de predição de ondas próximas de São Lourenço do Sul (Estações 11 e 13, Figura 2.3) apresentando valores médios de alturas significativas entre 0,5 e 0,6 metros, durante primavera e verão, com períodos entre 2,7 e 3,1 segundos. Durante inverno e outono, valores médios de alturas significativas das ondas ficaram entre 0,3 e 0,5 metros, e períodos entre 1,9 e 2,8 segundos.

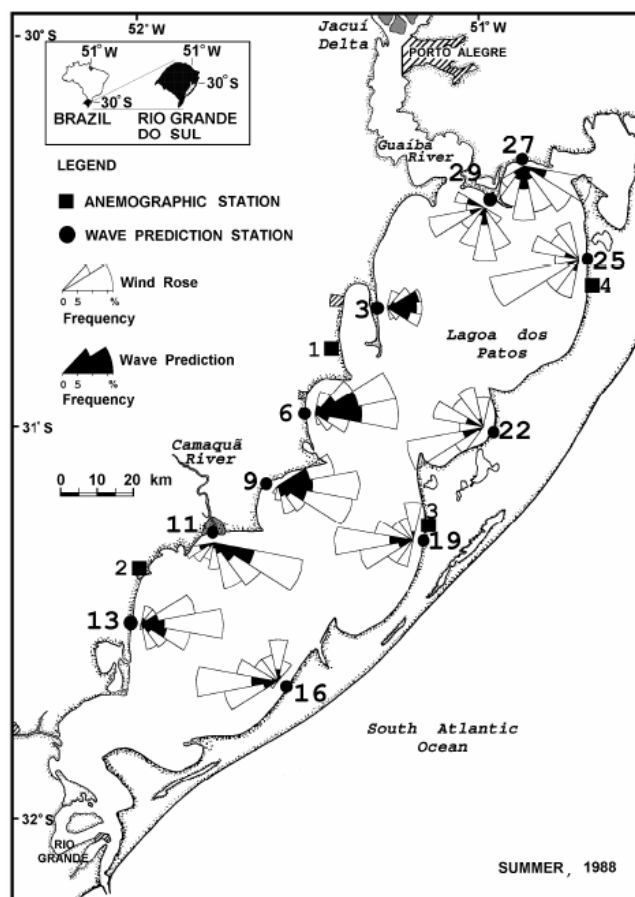


Figura 2.3: Localizações das estações de predições de ondas do estudo realizado por Toldo em 1988.

Fonte: TOLDO (2006).

Atualmente, com a Rede Ondas, tornou-se possível adquirir séries temporais de parâmetros de ondas medidos na Lagoa dos Patos através do fundeio do primeiro ondógrafo no seu corpo lagunar. A Rede Ondas é integrante do Programa de Observação Global dos Oceanos

(GOOS), e é coordenada pela FURG. O Programa GOOS/Brasil é o componente brasileiro da Aliança Regional para a Oceanografia no Atlântico Sudoeste Superior e Tropical - OCEATLAN, e é coordenado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM, cuja supervisão está a cargo da Marinha do Brasil.

O ondógrafo direcional *waverider* esteve em operação na Lagoa dos Patos durante o período de 22/01/2015 a 01/07/2015 a aproximadamente 14 km da costa de São Lourenço do Sul, em uma profundidade média de 7 metros (Figura 3.20, conforme detalhado no Capítulo 3, Seção 3.3.7). O instrumento realiza medições de altura de onda, direção de onda, temperatura e posição geográfica. As aquisições dos dados de ondas são realizadas em tempo contínuo e, após o processamento, os dados permanecem disponíveis no *site* da Rede Ondas: <http://redeondas.herokuapp.com>.

Através dos parâmetros de ondas medidos na Lagoa dos Patos, por meio do ondógrafo direcional, tornou-se possível publicar dois trabalhos científicos que foram enviados para o XI SIMPÓSIO SOBRE ONDAS, MARÉS, ENGENHARIA OCEÂNICA E OCEANOGRAFIA POR SATÉLITE (XI OMARSAT). Os seguintes trabalhos foram apresentados no Simpósio:

- ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MODELAGEM E MEDIÇÕES DE ONDAS NA LAGOA DOS PATOS – RS, BRASIL (LEMKE et al., 2015):

Neste trabalho foi realizada uma comparação estatística entre dados de ondas medidos na Lagoa dos Patos, através do ondógrafo, e dados de ondas modelados através do SWAN. A partir de dados batimétricos da lagoa e com dados de ventos coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande simulou-se a geração de ondas com o modelo SWAN. Através da análise estatística dos parâmetros de ondas verificou-se que o modelo apresenta boa correlação com as medições de ondas realizadas *in situ*.

- ANÁLISE DE ONDAS NA LAGOA DOS PATOS (AGUIAR et al., 2015):

Este estudo apresentou uma análise da relação entre dados de ventos do modelo global GFS (Global Forecast System), adquiridos no *site* da NOAA (www.ncdc.noaa.gov), referentes ao ponto de grade mais próximo do local de fundeio da boia, e dados de ondas registrados pelo ondógrafo. Constatou-se que os maiores registros de ondas estão relacionados com a ação de ventos dos quadrantes leste à sul, provavelmente devido ao tamanho da pista gerada pelos mesmos, levando em consideração o local de fundeio do ondógrafo.

O estudo detalhado dos parâmetros de ondas adquiridos através do ondógrafo direcional *waverider* é apresentado no Capítulo 3, Seção 3.3.7 e Seção 3.4.2. Os resultados obtidos estão disponíveis no Capítulo 4, Seção 4.3.7 e Seção 4.4.1.

3. METODOLOGIA

3.1 Introdução

A metodologia desenvolvida nesta Tese compreende três etapas. A primeira delas é destinada ao estudo da evolução da linha de costa em São Lourenço do Sul, através das análises de aerofotos e imagem de satélite. A segunda etapa envolve o levantamento e o tratamento de dados oceanográficos, climatológicos e de localização, os quais são fundamentais para a realização da modelagem de processos costeiros. Por fim, a terceira etapa consiste na modelagem computacional, à qual foi realizada através do *software* DELFT3D. Os modelos hidrodinâmico e de ondas foram aplicados à toda área da Lagoa dos Patos. Já na região local (enseada de São Lourenço do Sul) foram aplicados os modelos hidrodinâmico, morfológico e de ondas. Estas etapas são respectivamente detalhadas nas Seções 3.2, 3.3 e 3.4, descritas neste capítulo.

3.2 Estudo da Evolução da Linha de Praia

3.2.1 Introdução

De acordo com Gorman et al. (1998) existem diferentes técnicas e métodos para analisar alterações de linhas de costa ao longo do tempo, os quais são frequentemente utilizados com intuito de avaliar os efeitos de estruturas costeiras em praias adjacentes ou de descrever a morfologia histórica de uma região costeira. Dentre estas técnicas, destacam-se: levantamentos de perfis topográficos e batimétricos, análises de fotografias aéreas e de imagens de satélite. Os tipos de análises e de interpretações de fotografias aéreas dependem da escala e resolução das fotografias e da porcentagem de cobertura de nuvens.

Para que fotografias aéreas e imagens de satélite possam ser comparadas, Lélis (2003) sugere que seja realizada uma padronização, convertendo todas as imagens adquiridas para o

mesmo formato digital. Desta forma, o tratamento das imagens pode ser realizado sem que ocorram perdas nas suas características originais.

Segundo Crowell et al. (1993), variações de curto período em feições praias podem interferir nas variações de longo período. Para dinâmica de curto período, devem ser utilizados métodos diretos, os quais são realizados em campo.

3.2.2 Aquisição de imagens

Neste estudo foram adquiridas fotografias aéreas e imagens de satélite de diferentes datas e escalas. A Agência da Lagoa Mirim (ALM), situada no município de Pelotas-RS, possui fotografias aéreas de diferentes datas de várias regiões do Rio Grande do Sul. As cópias digitalizadas das fotografias aéreas da região de São Lourenço do Sul, dos anos de 1953, 1964 e 1977, foram gentilmente cedidas pela ALM. A digitalização das imagens foi feita através de um *scanner* de mesa do modelo *GENIUS Color Page Vivid III*, com resolução ótica de 600x1200 d.p.i (pontos por polegada). As imagens foram digitalizadas na resolução de 300 d.p.i.; após foram convertidas para o formato TIF. As fotografias dos anos de 1953, 1964 e 1977 estão representadas nas escala 1:40.000, 1:60.000 e 1:8.000, respectivamente.

Uma imagem de satélite mais atual, do ano de 2010, foi adquirida através do *software Google Earth Pro*. Esta imagem foi capturada em duas cenas.

As fotografias do ano de 1964 são de baixa resolução e pequena escala, tornando muito difícil a delimitação da linha de costa, portanto não foram utilizadas neste estudo. Tanto a imagem de satélite de 2010, quanto a imagem aérea de 1977, são compostas de duas cenas, o que torna necessário a confecção de mosaicos para unir duas cenas em uma única imagem. Apenas a imagem de 1953 é formada por uma única cena.

As aerofotos de 1953, 1964 e 1977, assim como a imagem de satélite de 2010, encontram-se disponíveis no Anexo A.

3.2.3 Confecção dos mosaicos

A confecção dos mosaicos foi realizada a partir do georreferenciamento das imagens adquiridas. Para tal, realizou-se uma saída de campo no dia 25 de setembro de 2013 com intuito de coletar coordenadas geográficas de diversos locais pré-selecionados no município de São Lourenço do Sul. Utilizou-se um sensor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) da marca Leica, modelo GS15, que operou no modo “stop and go” com correções cinemáticas em tempo real (RTK). Este equipamento foi configurado para gravar somente dados de pontos em que o erro máximo em três dimensões (3DCQ) fosse menor que 2 centímetros. O datum de referência foi o Córrego Alegre. A base do GNSS foi instalada na referência de nível (RN) da cidade, e com a parte móvel do equipamento foram coletadas coordenadas geográficas de cerca de 50 pontos de controle pré-selecionados. A Figura 3.1 mostra a instalação do sensor GNSS sobre a RN da cidade.



Figura 3.1: Instalação do sensor GNSS sobre o RN.

Segundo Gorman et al. (1998) deve-se selecionar pontos de controle onde existem construções civis em todas as imagens selecionadas; evita-se utilizar feições naturais, pois estas são passíveis à dinâmica natural. Desta forma, foram selecionados locais com construções civis desde o ano de 1953, pois estes locais estão presentes em todas as imagens, evitando-se erros ao registrar as coordenadas geográficas nas imagens de datas posteriores. As coordenadas geográficas dos pontos de controle adotados estão apresentadas no Anexo B. Na Figura 3.2 são ilustrados os pontos de controle utilizados.

Com o conhecimento das coordenadas geográficas destes pontos, as duas cenas de 2010 foram georreferenciadas através do *software* ArcGis 2010 e, assim, serviram de base para realizar os registros de todas as outras imagens através do *software* ENVI 5. Por fim, foram confeccionados os mosaicos, unindo as duas cenas de cada data, através do *software* ENVI 5.



Figura 3.2: Localização dos pontos de controle.

3.2.4 Delimitação da linha de costa

Conforme Dolan et al. (1980), a linha de costa é definida como a interface entre areia e água. Para Boak e Turner (2005), a posição da linha da água varia continuamente ao longo do tempo devido ao transporte de sedimentos nos sentidos transversal e longitudinal, assim como à dinâmica natural do nível da água na zona costeira (ondas, marés, tempestades, *runup*, etc.). Portanto, a linha de costa deverá ser considerada de acordo com a escala temporal adotada. A linha de costa instantânea é definida como a posição da interface entre água e areia em um determinado instante de tempo.

Conforme conceitos de diversos autores, citados nos estudos de Boak e Turner (2005), são descritas técnicas manuais para a delimitação da linha de costa através de fotografias aéreas, como por exemplo: Douglas, Sanchez e Jenkins (1999) ressaltam que a delimitação pode ser feita através do traçado da marca da areia úmida; Stafford e Langfelder (1971) citam que a marcação pode ser feita através da linha da água; Overton et al. (1999) utilizam a linha entre areia seca e areia úmida; Dolan, et al. (1978), Dolan et al. (1979), Hayden et al. (1979), Fenster e Dolan (1999) fazem a demarcação da linha de maior elevação da água.

Neste estudo o traçado da linha de costa foi feito com base na marca da linha da água através do *software* AutoCad 2014. Para analisar a variação temporal da linha de costa, traçou-se uma linha auxiliar, paralela à costa. Nesta linha auxiliar foram traçados perfis perpendiculares em intervalos de 50 metros (Figura 3.3). Estes perfis perpendiculares à linha auxiliar serviram de base para medir as distâncias entre as posições de linhas de costa das diferentes datas.



Figura 3.3: Linha auxiliar com perfis perpendiculares à linha de costa (em azul). Linha de costa do ano de 1953 (em vermelho). Linha de costa do ano de 1977 (em verde). Linha de costa do ano de 2010 (em rosa).

3.2.5 Determinação do erro de amostragem

De acordo com Fischer (2005) existem dois tipos de erros neste tipo de estudo, os quais podem ter origem metodológica ou da dinâmica natural das feições. O erro metodológico pode ser causado devido à baixa qualidade das aerofotografias, a problemas durante a confecção dos mosaicos e nas correções das escalas, ao processo de georreferenciamento, à digitalização ou aos cálculos realizados. Já o erro devido à dinâmica natural das feições pode ocorrer em interpretações de variações de curto período.

Para determinar o erro de amostragem neste estudo, seguiu-se a metodologia proposta por Fischer e Calliari (2011) e Lélis e Calliari (2006), onde são feitas medições em campo de uma distância entre dois pontos conhecidos e que aparecem nos aerolevantamentos adquiridos. A mesma distância é aferida nas fotografias já processadas. A diferença entre as medidas em campo e nas fotografias determina o erro de posicionamento.

A Tabela 3.1 mostra os valores medidos em campo (São Lourenço do Sul), os valores medidos nas imagens aéreas e os respectivos erros.

Tabela 3.1: Erros de amostragem nos mosaicos.

	Ano 1953	Ano 1977	Ano 2010	Em campo
L (m)	111,35	111,24	110,60	110,41
Erro (m)	0,94	0,83	0,19	-

Os resultados obtidos estão apresentados no Capítulo 4 (Seção 4.3).

3.3 Aquisição e Tratamento de Dados

Para o desenvolvimento desta Tese, foi necessário realizar levantamentos e análises de vários dados da região, como por exemplo, coleta de sedimentos subaquosos, levantamento batimétrico, aquisição de dados de ventos, de ondas, de níveis d'água e de vazões de rios.

Séries temporais de ventos, de nível d'água na Lagoa dos Patos e de vazões dos principais afluentes da referida lagoa foram adquiridas através de *sites* específicos descritos no decorrer desta seção.

Procedimentos referentes às coletas de sedimentos subaquosos e ao levantamento batimétrico na enseada de São Lourenço do Sul, à aquisição de parâmetros de ondas na Lagoa dos Patos e à medição de vazão do Arroio Carahá foram realizados em campo, durante as seguintes campanhas, com os respectivos períodos e objetivos identificados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Campanhas realizadas com seus correspondentes períodos o objetivos.

Campanha	Data/Período	Objetivos
1	19/09/2013	- registrar coordenadas geográficas de 50 locais na cidade de São Lourenço do Sul.
2	16/10/2013 a 19/10/2013	- coletar amostras de sedimentos subaquosos na enseada de São Lourenço do Sul; - realizar o levantamento batimétrico na enseada de São Lourenço do Sul; - medir a vazão do Arroio Carahá.
3	17/11/2013	- medir a vazão do Arroio Carahá.
4	12/07/2014	- medir a vazão do Arroio Carahá.
5	15/09/ 2014	- medir a vazão do Arroio Carahá.
6	19/01/2015 a 22/01/2015	- realizar o fundeio de um ondógrafo da Rede Ondas na Lagoa dos Patos.
7	01/07/2015	- retirar o ondógrafo da Lagoa dos Patos.
8	28/09/2015	- coletar amostras de sedimentos subaquosos na enseada de São Lourenço do Sul.
9	19/10/2015	- coletar amostras de sedimentos subaquosos no canal do Arroio Carahá.

3.3.1 Coletas de Sedimentos para Análise Granulométrica

Para determinar a composição sedimentológica da porção subaquosa e o tamanho médio do grão (D_{50}) na região da enseada de São Lourenço do Sul foram realizadas duas campanhas (Campanhas 2 e 8). Na primeira delas (16 a 19 de outubro de 2013) foram coletadas 12 amostras de sedimentos através de um amostrador tipo *Van Veen* (Figura 3.4), no entanto as coordenadas geográficas dos pontos amostrados foram extraviadas.

Desta forma, realizou-se ainda a Campanha 8 (28 de setembro de 2015), na qual foram coletadas 24 amostras de sedimentos na enseada de São Lourenço do Sul, e a Campanha 9 (19 de outubro de 2015), onde foram coletadas 4 amostras de sedimentos no canal do Arroio Carahá. Durante a Campanha 8 procurou-se coletar amostras em 4 perfis (A, B, C e D) e também na barra formada na foz do Arroio Carahá. Das 24 amostras coletadas na enseada, 3 foram retiradas da barra, na foz do Arroio Carahá, portanto são representadas pelo mesmo ponto. Ambas as campanhas foram realizadas através de um barco de pesca da comunidade local, utilizando-se um amostrador do tipo *Van Veen*. A Figura 3.5 apresenta a localização das amostras coletadas durante as Campanhas 8 e 9. As coordenadas geográficas dos locais de coleta estão apresentadas no Anexo B.



Figura 3.4: Amostrador de fundo tipo *Van Veen*.

As amostras coletadas foram embaladas em sacos plásticos com identificação, para após serem processadas no Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da FURG. Inicialmente, impurezas das amostras foram removidas através de processos de lavagens. Após, as amostras foram secas em estufas com temperaturas entre 80°C e 100°C.

A análise granulométrica de sedimentos grossos (Figura 3.6), os quais são constituídos por partículas maiores que 0,062 mm, foi realizada através do peneiramento mecânico, em intervalos de $1/4 \phi$, conforme a escala de Wentworth (1922) (SUGUIO, 1973). O tempo do peneiramento foi de 10 minutos para cada amostra.



Figura 3.5: Localização dos pontos de coletas de sedimentos.

A análise de sedimentos finos (Figura 3.7), caracterizados por partículas menores que 0,062 mm, foi feita através do método da pipetagem, de acordo com a Lei de Stokes. O tamanho do grão foi identificado com intervalos correspondentes à escala de Wentworth (1922) (SUGUIO, 1973).

Utilizou-se uma balança analítica para determinar o peso do material retido em cada fração granulométrica para, então, calcular as porcentagens simples e acumulada em cada classe granulométrica.

Através do *software* de análise estatística textural *SysGran 3*, foram processados os dados de porcentagens simples de cada classe granulométrica. Construíram-se histogramas para a verificação da classe modal de cada amostra.

Após, foram feitos diagramas circulares apresentando a porcentagem de cada classe granulométrica determinada em cada amostra.

Os resultados obtidos estão apresentados no Capítulo 4, Seção 4.3.1.



Figura 3.6: Amostras de sedimentos grossos após serem secas na estufa.



Figura 3.7: Processo de análise de sedimentos finos.

3.3.2 Batimetria

Cartas náuticas da Lagoa dos Patos, disponíveis no *site* Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), foram digitalizadas (Figura 3.8). Após, construiu-se uma grade numérica retangular, através do *software* DELFT3D, para realizar a interpolação dos dados batimétricos. Esta grade, chamada de grade regional (Figura 3.9), está rotacionada a 30° no sentido horário a partir do eixo norte, possui 108.741 nós espaçados à cada 500 metros. A interpolação das amostras de profundidades também foi feita através do *software* DELFT3D.

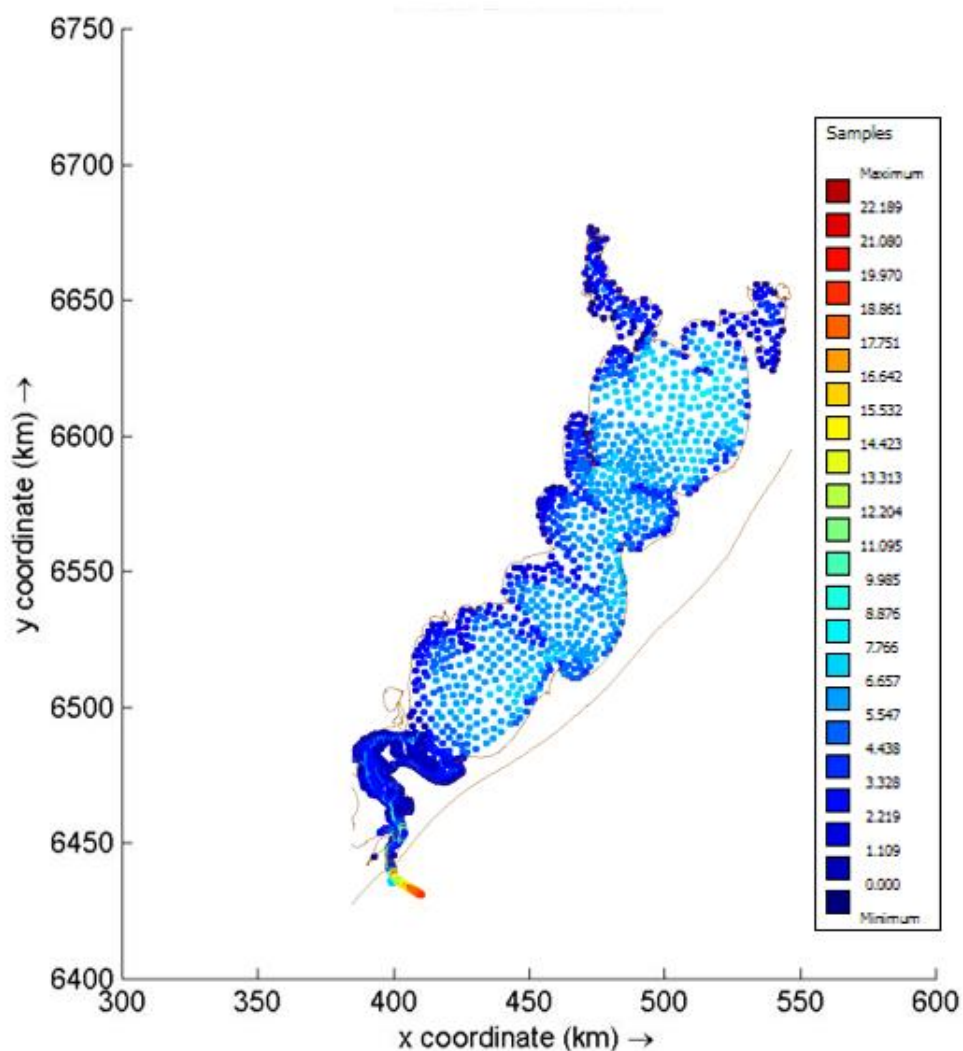


Figura 3.8: Pontos batimétricos da Lagoa dos Patos. Escala em metros. Coordenadas métricas UTM.

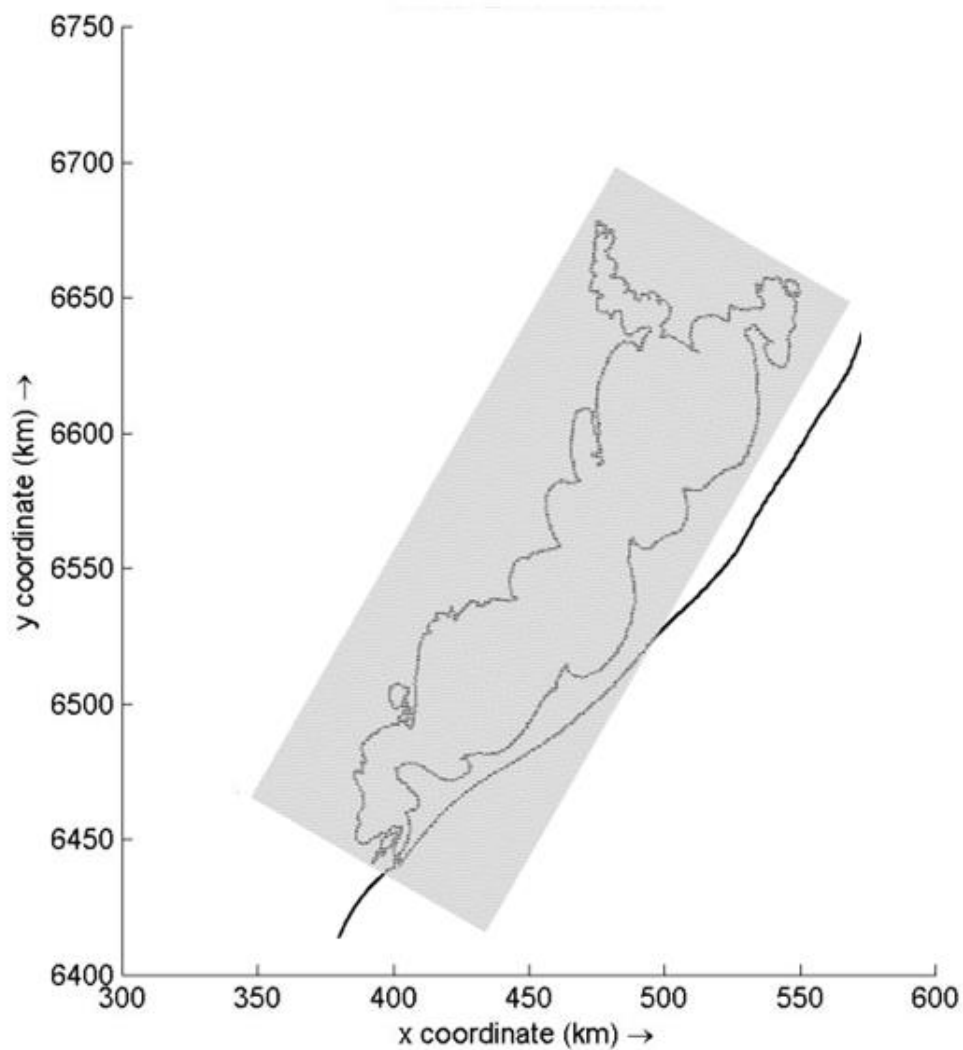


Figura 3.9: Grade numérica regional construída para a Lagoa dos Patos. Coordenadas métricas UTM.

Para a região de estudo mais específica, na enseada de São Lourenço do Sul, onde desemboca o Arroio Carahá, realizou-se o levantamento batimétrico através de uma ecossonda da marca *Lowrance*® (modelo LCX-19C), de dupla frequência 200/50 kHz, com precisão vertical da ordem de centímetros (Figuras 3.10 e 3.11). A coleta de dados de profundidades ocorreu durante a Campanha 2 (16 a 19 de outubro de 2013).

Para realizar esta operação, utilizou-se um barco pesqueiro de um morador local, em um dia com condições meteorológicas e oceanográficas adequadas para esta sondagem, ou seja, com ventos fracos e ondas de baixa energia, evitando assim ruídos nos dados.



Figura 3.10: Antena do GPS da ecossonda acoplada no barco.



Figura 3.11: Tela da ecossonda da ecossonda com as linhas de navegação.

Realizaram-se duas leituras no linígrafo existente na Praia das Nereidas, em São Lourenço do Sul (Figura 3.12), a primeira antes de iniciar o levantamento batimétrico da região, e a segunda após o término do procedimento. A diferença entre as duas leituras foi de aproximadamente 2 centímetros, valor praticamente insignificante, visto que a precisão do equipamento é da ordem de centímetros.

A Figura 3.13 mostra as linhas de navegação com os perfis batimétricos obtidos no dia 18 de outubro de 2013.



Figura 3.12: Localização do linígrafo. Praia das Nereidas, São Lourenço do Sul – RS.

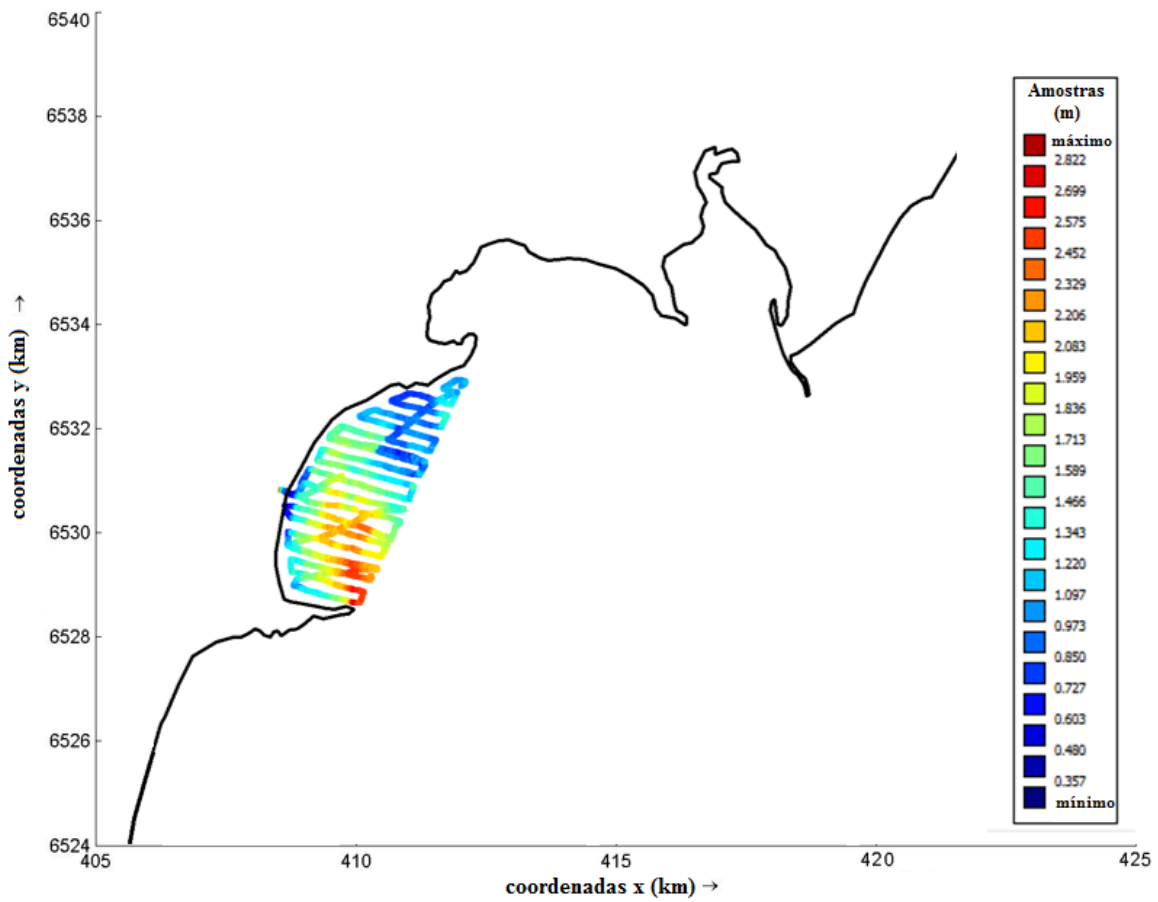


Figura 3.13: Linhas navegadas durante o levantamento batimétrico detalhado. Enseada, São Lourenço do Sul - RS
Coordenadas métricas UTM. Escala de cores em metros.

Construiu-se uma grade numérica retangular, chamada de grade local (Figura 3.14) com refinamento na região mais próxima ao Arroio Carahá, composta por 58.056 nós. Os maiores espaçamentos entre os nós são de 50 metros, e aparecem nos contornos da grade. Quanto mais próximo do Arroio Carahá, os espaçamentos entre os nós tornam-se menores, chegando a 16 metros na região de maior refinamento. Do mesmo modo que a grade regional, a grade local também está rotacionada a 30° no sentido horário, a partir do eixo norte.

Após o tratamento dos dados batimétricos adquiridos na enseada de São Lourenço do Sul e juntamente com dados batimétricos da Lagoa dos Patos existentes nas proximidades do município, aplicou-se a interpolação triangular através do *software* DELFT-3D. O método da triangulação é mais adequado para conjuntos de dados que possuem resolução aproximadamente igual ou menor que a resolução da grade.

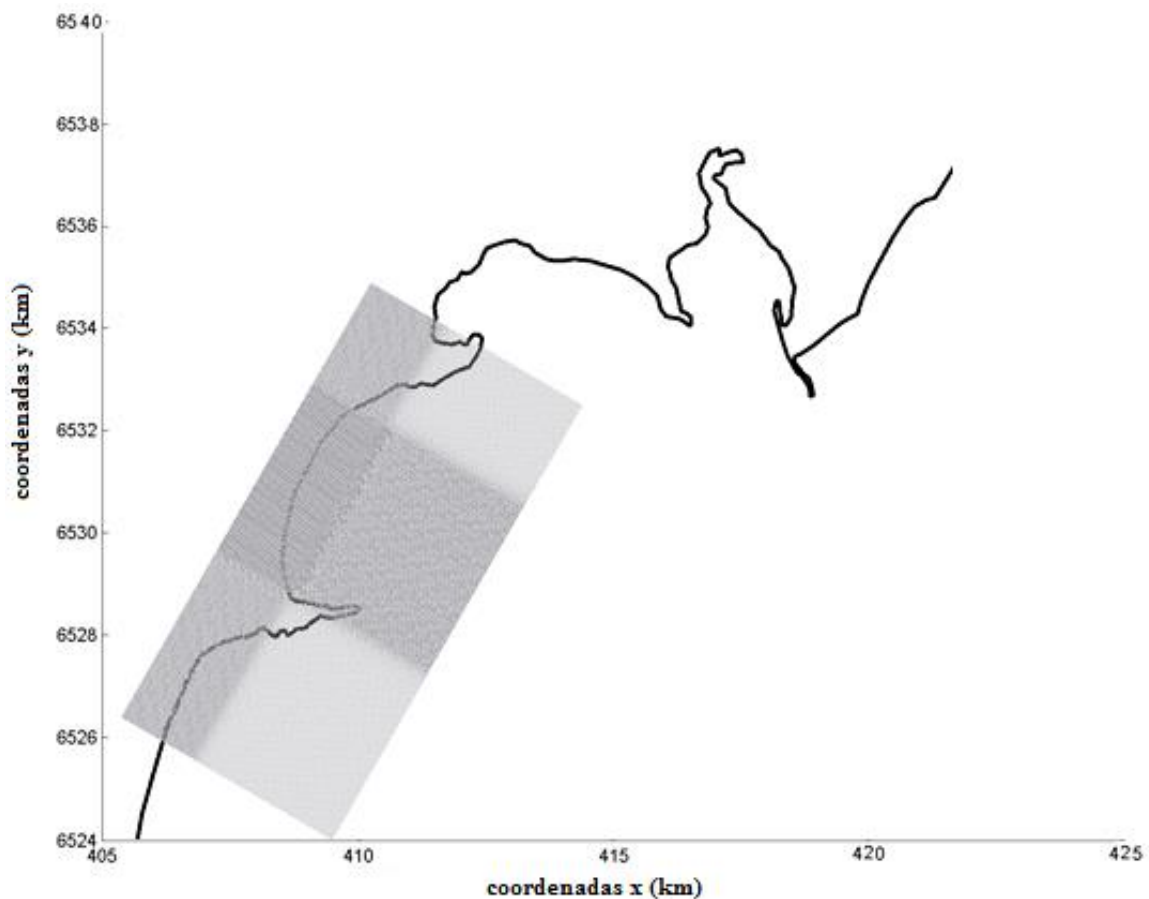


Figura 3.14: Grade numérica local construída para São Lourenço do Sul – RS.

Coordenadas métricas UTM.

Os mapas batimétricos obtidos para a Lagoa dos Patos e para a enseada de São Lourenço do Sul, através da interpolação de dados de profundidade, estão expostos no Capítulo 4, Seção 4.3.2.

3.3.3 Análise de Dados de Ventos

Para simular a geração de ondas na Lagoa dos Patos é fundamental o conhecimento do regime de ventos atuantes na região. Devido à extensa área que a Lagoa dos Patos abrange, com mais de 240 km de comprimento e largura média de 40 km, tornou-se necessário avaliar se há significativa variação de intensidade e direção do vento no espaço. Inicialmente, procurou-se reduzir a quantidade de dados de ventos a serem analisados, determinando um ano representativo de uma série temporal maior para, após, realizar a análise da variação espacial do vento.

Desta forma, neste estudo analisaram-se séries históricas de dados de ventos (intensidades e direções) das estações automáticas da Praticagem da Barra do Rio Grande e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), assim como séries históricas de Reanálise I do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction* e *National Center for Atmospheric Research*) disponíveis no site da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e de Reanálise do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*).

Na estação meteorológica da Praticagem da Barra do Rio Grande, dados de ventos horários são coletados a 25 metros de altura, em uma torre localizada a 32° 08' de latitude S e a 52° 06' de longitude W, conforme se observa o ponto P na Figura 3.12. À cada intervalo de uma hora são registradas as intensidades mínima e máxima (rajada), com as correspondentes direções. Nesta Tese foram utilizados os dados referentes às intensidades mínimas de cada intervalo de uma hora. A série histórica adquirida compreende dados coletados desde o ano de 2004 a 2012, no entanto, os dados de 2011 e 2012 não foram utilizados devido ao fato de apresentarem muitas falhas. No período de 2004 a 2010, a quantidade anual de dados disponíveis é maior que 99%, portanto, estes dados foram utilizados para as análises.

As estações meteorológicas do INMET, analisadas neste estudo, localizam-se nos municípios de Pelotas, Rio Grande, Porto Alegre e Torres, representadas na Figura 3.12 pelos pontos I₁, I₂, I₃ e I₄, respectivamente. As coletas de dados de ventos são feitas a 10 metros de altura, e ocorrem três vezes ao dia (0 hora, 12 horas e 18 horas). Os dados são coletados desde o ano de 1961, no entanto, em alguns locais e em determinados períodos, a quantidade de dados obtidos não é representativa para esta análise. Durante o período consecutivo de 2004 a 2013, as estações de Rio Grande, Porto Alegre e Torres apresentam 100% dos dados anuais, no entanto, a

estação de Pelotas possui entre 91% e 94% dos dados para os anos de 2005, 2008 e 2012, e 100% dos dados para os demais anos do período considerado.

Os dados de ventos de Reanálise I do NCEP/NCAR são modelados para uma altura de 10 metros, com resolução temporal de 6 horas (0 hora, 6 horas, 12 horas e 18 horas), e resolução espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. Desta forma, selecionaram-se quatro pontos (N_1 , N_2 , N_3 e N_4) desta grade espacial no entorno na Lagoa dos Patos, os quais são ilustrados na Figura 3.15. O ponto mais próximo à estação meteorológica da Praticagem da Barra do Rio Grande é o N_4 , o qual se encontra na latitude de $32^\circ 30' S$ e na longitude de $52^\circ 30' W$.

O modelo europeu ECMWF possui resolução espacial de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$, e resolução temporal de 6 horas (0 hora, 6 horas, 12 horas e 18 horas). Desta maneira, há 16 pontos sobre a região da Lagoa dos Patos, os quais são representados na Figura 3.15 como E_1 , E_2 , E_3 , E_4 , E_5 , E_6 , E_7 , E_8 , E_9 , E_{10} , E_{11} , E_{12} , E_{13} , E_{14} , E_{15} e E_{16} . O ponto mais próximo à estação meteorológica da Praticagem da Barra do Rio Grande é o ponto E_{14} , que se localiza na latitude $32^\circ 15' S$ e na longitude $51^\circ 45' W$.

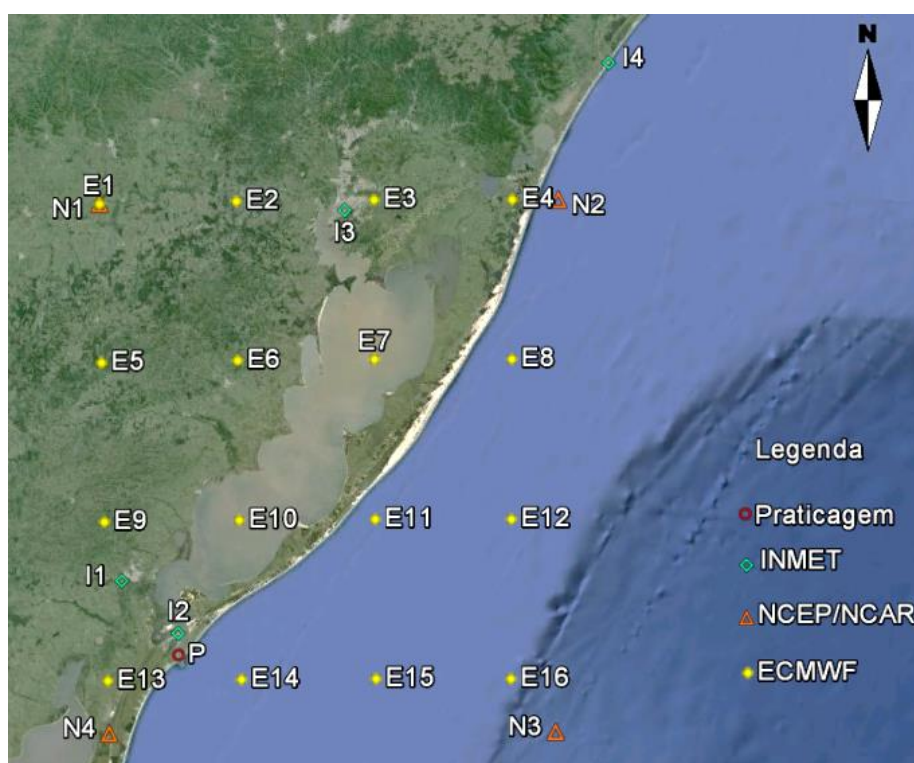


Figura 3.15: Estações meteorológicas e pontos das grades de reanálise de dados de ventos.

Na Tabela 3.3 são apresentados todos os pontos ilustrados na Figura 3.15 com as correspondentes bases de dados e localizações.

Tabela 3.3: Pontos analisados de acordo com as bases de dados de ventos e as localizações.

Ponto	Base de dados	Longitude (graus)	Latitude (graus)
P	Praticagem	52° 06' 00''	32° 08' 00''
I₁	INMET	52° 24' 36''	31° 46' 48''
I₂	INMET	52° 06' 00''	32° 01' 48''
I₃	INMET	51° 09' 36''	30° 03' 00''
I₄	INMET	49° 43' 48''	29° 21' 00''
N₁	NCEP/NCAR	52° 30' 00''	30° 00' 00''
N₂	NCEP/NCAR	50° 00' 00''	30° 00' 00''
N₃	NCEP/NCAR	50° 00' 00''	32° 30' 00''
N₄	NCEP/NCAR	52° 30' 00''	32° 30' 00''
E₁	ECMWF	52° 30' 00''	30° 00' 00''
E₂	ECMWF	51° 45' 00''	30° 00' 00''
E₃	ECMWF	51° 00' 00''	30° 00' 00''
E₄	ECMWF	50° 15' 00''	30° 00' 00''
E₅	ECMWF	52° 30' 00''	30° 45' 00''
E₆	ECMWF	51° 45' 00''	30° 45' 00''
E₇	ECMWF	51° 00' 00''	30° 45' 00''
E₈	ECMWF	50° 15' 00''	30° 45' 00''
E₉	ECMWF	52° 30' 00''	31° 30' 00''
E₁₀	ECMWF	51° 45' 00''	31° 30' 00''
E₁₁	ECMWF	51° 00' 00''	31° 30' 00''
E₁₂	ECMWF	50° 15' 00''	31° 30' 00''
E₁₃	ECMWF	52° 30' 00''	32° 15' 00''
E₁₄	ECMWF	51° 45' 00''	32° 15' 00''
E₁₅	ECMWF	51° 00' 00''	32° 15' 00''
E₁₆	ECMWF	50° 15' 00''	32° 15' 00''

Tanto na estação meteorológica da Praticagem, quanto nos modelos NCEP/NCAR e ECMWF, as direções de ventos são obtidas em 16 quadrantes (pontos cardeais, colaterais e sub-colaterais). Já nas estações meteorológicas do INMET, as direções de ventos são registradas em apenas 8 quadrantes (pontos cardeais e colaterais).

Em relação aos dados de ventos coletados através das estações meteorológicas do INMET e da Praticagem da Barra do Rio Grande, constata-se que a série histórica da Praticagem possui maior precisão, pois contém 16 quadrantes para as direções de ventos (pontos cardeais, colaterais e sub-colaterais) e a leitura de dados é realizada a cada hora, enquanto que o banco de dados do INMET contém apenas 8 quadrantes para as direções de ventos (pontos cardeais e colaterais), as medições são realizadas três vezes ao dia. Portanto, o acervo de dados de ventos da Praticagem foi utilizado para comparar com os dados dos modelos de Reanálise I do NCEP/NCAR e de Reanálise do ECMWF.

Para efetuar esta comparação entre os dados, tornou-se necessário reduzir as velocidades de ventos coletadas na Praticagem a 25 metros de altura para 10 metros de altura, que é a mesma altura adotada pelos modelos de reanálises analisados. Portanto, utilizou-se a Equação 3.1 (Shore Protection Manual, 1984):

$$u_z = u_{z_{obs}} \left(\frac{z}{z_{obs}} \right)^{1/7} \quad (3.1)$$

Onde:

u_z : velocidade do vento em nova altura Z ;

$u_{z_{obs}}$: velocidade vento registrada na altura observada.

Com intuito de reduzir a quantidade de dados comparados, aplicou-se a metodologia apresentada por Romeu et al. (2010), onde 30 anos de dados de agitação marítima da região oceânica sul brasileira foram reconstruídos, através do modelo de geração WW3, e histogramas de altura e período de ondas por direção de incidência destes 30 anos foram comparados com histogramas anuais, com a finalidade de identificar o ano que melhor representava a totalidade de dados. Desta forma, os valores de velocidades de ventos coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande foram divididos em classes (intervalos de 3 m/s), com intuito de determinar a distribuição de frequências (%) de acordo com as direções predominantes, e construir as rosas dos ventos para todo período analisado (2004 a 2010), assim como para cada ano separadamente. Os resultados estão apresentados no Capítulo 4, Seção 4.3.3.

Com a finalidade de caracterizar o regime de ventos para toda série temporal (2004 a 2010), para cada ano separadamente, e para cada estação do ano, construíram-se histogramas de frequências (%) e rosas dos ventos. Os resultados estão expostos no Capítulo 4, Seção 4.3.3.

Para obter resultados precisos na comparação entre as rosas dos ventos, construíram-se matrizes com os valores de desvio padrão das frequências relativas de velocidades de ventos, conforme direções atuantes, tendo como valores médios as frequências para todo período analisado (2004 a 2010). Após obter os valores de desvio padrão das frequências relativas de cada ano, calculou-se o desvio padrão médio anual. O ano que apresentou o menor desvio padrão anual foi selecionado como ano representativo de toda série temporal (2004 a 2010). No Capítulo 4, Seção 4.3.3, são apresentados os resultados obtidos.

Após a identificação do ano representativo de toda série temporal de ventos (2004 a 2010), o qual foi o ano de 2008, conforme Capítulo 4, Seção 4.3.3, aplicou-se a correlação linear entre dados medidos na Praticagem e dados de reanálise, com intuito de determinar qual dos modelos (NCEP/NCAR ou ECMWF) aproxima-se mais da realidade na região de estudo. Após, analisou-se a variação espacial do vento sobre a extensa área da Lagoa dos Patos. Os resultados estão apresentados no Capítulo 4, Seção 4.3.3.

3.3.4 Análise de Dados de Níveis d'água na Lagoa dos Patos

Em São Lourenço do Sul há um linígrafo na praia das Nereidas (Figura 3.12), onde são feitas duas leituras diárias (às 7h e às 17h) por um morador da cidade. Os registros são enviados para a Agência Nacional de Águas (ANA), processados e então divulgados no *site* <http://hidroweb.ana.gov.br>.

Segundo Von-Ahn (2015) o valor do nível de referência (RN) da estação de São Lourenço do Sul (1363 mm) fornecido pela ANA apresenta coerência em relação ao nível do mar. Entre as estações hidrométricas estudadas pela referida autora (Ipanema, Arambaré, São Lourenço do Sul e Laranjal) a única que apresenta seu RN amarrado ao nível do mar é a estação de Ipanema (3110 mm). Desta forma, ao assumir que o nível do mar em Rio Grande é zero, e ao considerar a distância entre as estações de São Lourenço do Sul e Ipanema, os valores não divergem muito. Portanto, a estação hidrométrica de São Lourenço do Sul encontra-se a 1,4 metros acima do nível do Oceano Atlântico.

Através do *site* da ANA adquiriu-se uma série temporal de medições de níveis desde o ano de 1985 até 2013, no entanto, observa-se a ausência de muitos dados no decorrer de vários anos. No Anexo C são apresentados os gráficos das séries temporais de medições de níveis d'água, na estação de São Lourenço do Sul, durante o período de 1985 até 2013.

Para realizar a calibração do modelo hidrodinâmico da Lagoa dos Patos (Seção 3.4.3), foi necessário determinar o nível médio d'água na Lagoa dos Patos, na estação de São Lourenço do Sul. Para tal, utilizaram-se apenas as séries temporais de medições de níveis d'água de anos com no mínimo 95% dos dados. O resultado está apresentado no Capítulo 4, Seção 4.4.2.

3.3.5 Vazões dos Principais Afluentes da Lagoa dos Patos

Conforme já descrito no Capítulo 2 (Seção 2.5) os principais tributários que contribuem com a hidrodinâmica da Lagoa dos Patos são Rio Guaíba, Rio Camaquã e Canal São Gonçalo.

Com a finalidade de calibrar o modelo hidrodinâmico da Lagoa dos Patos, foi necessário trabalhar com séries temporais de vazões destes rios, juntamente com séries temporais de dados de ventos (intensidades e direções). Visto que o ano de 2008 foi selecionado como ano representativo da série temporal de ventos (2004 a 2010), conforme Capítulo 4, Seção 4.3.3, foram obtidas as séries temporais de vazões do ano de 2008. Portanto, dados diários de vazões do Rio Camaquã e dos rios que formam o Complexo Guaíba (Taquari, Caí, Jacuí) referentes ao ano de 2008, foram extraídas através do *site* <http://hidroweb.ana.gov.br> da Agência Nacional de Águas (ANA). Não foram encontrados dados de vazões dos rios Gravataí e Sinos, que também fazem parte do Complexo Guaíba, e dados de vazões do Canal São Gonçalo. Desta forma, para o Complexo Guaíba foram adotados apenas os dados diários de vazões dos rios Taquari, Caí e Jacuí. E para o Canal São Gonçalo, adotou-se a vazão média de 200 m³/s, parametrizada por Vaz (2003, apud Vinzon et al., 2009).

As séries temporais de vazões adquiridas estão apresentadas no Capítulo 4, Seção 4.3.5.

3.3.6 Vazão do Arroio Carahá

Para a determinação da vazão média do Arroio Carahá adotou-se o método convencional proposto por Santos et al. (2001), que utiliza a medição e a integração da distribuição de velocidades na seção transversal do rio. O método convencional é bastante utilizado na hidrometria de rios naturais. Para mensurar a vazão de um rio é necessário o conhecimento de grandezas características do escoamento na seção, as quais são classificadas em duas categorias: grandezas geométricas da seção (área, perímetro molhado, raio hidráulico, profundidade, etc.), e grandezas referentes ao escoamento (velocidades e vazões parciais).

O instrumento utilizado para as medições foi um molinete hidrométrico da marca Hidromec (Figura 3.16). O molinete possui uma hélice que executa determinado número de rotações por segundo em função do escoamento do rio. A velocidade do escoamento é adquirida em metros por segundo (m/s) a partir de uma equação de calibração linear do tipo:

$$V = n \cdot a + b \quad (3.2)$$

Onde:

- n é o número de rotações por segundo;
- a é uma constante (passo da hélice);
- b é uma constante (velocidade de atrito).

O local escolhido para realizar as medições foi a seção transversal delimitada por uma ponte (Figura 3.17) facilitando assim a operação. Neste local, a largura do arroio é de 25 metros e a profundidade média é de 3 metros.

De acordo com DNAEE (1967, apud Santos et al., 2001) para rios com largura entre 15 e 30 metros adotam-se perfis verticais de 2 em 2 metros para as medições. E de acordo com a profundidade de cada perfil realizam-se medições das velocidades conforme a Tabela 3.4. A posição na vertical apresentada na Tabela 3.4 é dada em função da profundidade p , à qual é definida como a distância vertical entre a superfície livre S e o fundo F .



Figura 3.16: Molinete da marca Hidromec.



Figura 3.17: Local de medições de vazão do Arroio Carahá, delimitado pelo círculo vermelho.

Tabela 3.4: Metodologia para o cálculo da velocidade média na vertical.

Profundidade (m)	Posição na vertical	Velocidade média na vertical
0,15 – 0,60	0,6p	$\bar{v} = v_{0,6}$
0,60 – 1,20	0,2p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + v_{0,8})/2$
1,20 – 2,0	0,2p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})/4$
2,0 – 4,0	0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + v_{0,8})/6$
> 4,0	S; 0,2p; 0,4p; 0,6p; 0,8p e F	$\bar{v} = [v_S + 2(v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,6} + v_{0,8}) + v_F]/10$

Santos et al. (2001) apresentam dois métodos de cálculo da vazão para o processo numérico da medição convencional, os quais são: método da seção média (SM) e método da meia seção (MS).

No método da seção média as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais, a partir da largura, da média das profundidades e da média das velocidades.

As velocidades médias para cada perfil são calculadas a partir da Equação 3.3:

$$\bar{v}_{an} = \frac{\bar{v}_n + \bar{v}_{(n+1)}}{2} \quad (3.3)$$

A área de cada segmento é obtida através da Equação 3.4:

$$a_n = (d_{(n+1)} - d_n) \left(\frac{p_{(n+1)} + p_n}{2} \right) \quad (3.4)$$

No método da meia seção as vazões parciais são calculadas através da multiplicação entre a velocidade média na vertical e a área do segmento, onde a área é obtida pelo produto entre a profundidade média na vertical e a soma das semi-distâncias às verticais adjacentes.

A largura de cada segmento é calculada a partir da Equação 3.5:

$$l_{(n+1)} = \frac{d_{(n+2)} - d_n}{2} \quad (3.5)$$

A área de cada segmento é obtida através da Equação 3.6:

$$a_{(n+1)} = l_{(n+1)} p_{(n+1)} \quad (3.6)$$

Em ambos os métodos apresentados, a vazão para cada segmento é adquirida através da seguinte Equação 3.7:

$$q_{an} = \bar{v}_{an} a_n \quad (3.7)$$

E a vazão total é obtida por:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (3.8)$$

Ao total, foram realizadas quatro saídas de campo (17 de outubro de 2013, 17 de novembro de 2013, 12 de julho de 2014 e 15 de setembro de 2014) com a finalidade de obter medições de vazão do Arroio Carahá. No entanto, em nenhuma das tentativas foi possível obter medições de vazão do arroio devido ao escoamento ser insuficiente para girar as hélices do molinete. Até mesmo na quarta saída de campo, após 4 dias de precipitação, com um total de 59,7 milímetros, não se conseguiu obter resultado para as medições.

3.3.7 Medição de Ondas na Lagoa dos Patos

O conhecimento do clima de ondas da região de estudo consiste em uma das etapas fundamentais desta Tese, pois as ondas são as principais responsáveis pelo transporte de sedimentos dentro da zona de arrebentação. Após o processo de quebra da onda, os fluxos de sedimentos são regidos pelas quantidades de movimento introduzidas dentro da zona de surfe (FONTOURA, 2004).

De acordo com Fontoura et al. (2015), a Lagoa dos Patos consiste no principal corpo d'água da Hidrovia do Mercosul, e até o presente momento não houve notícia de um estudo detalhado do seu regime ondulatório. Pesquisas sobre a caracterização do clima de ondas no corpo lagunar ainda são limitadas. Conforme já descrito no Capítulo 2 (Seção 2.6), Fischer e Calliari (2011) realizaram medições de alturas de ondas utilizando uma régua graduada, a uma profundidade de 0,50 metros, na costa noroeste do estuário da Lagoa dos Patos, nas praias do “Saco do Laranjal”, com a finalidade de validar um modelo de geração de ondas, através do programa SMB89. Nicolodi (2007) validou um modelo de geração de ondas para o Lago Guaíba através da correlação com dados obtidos por meio da instalação de um medidor de ondas e correntes da FSI3D da Falmouth Scienti, que esteve fundeado no Lago Guaíba entre os dias 16 de junho até 02 de agosto de 2005, em uma profundidade aproximada de 3 metros. Toldo et al. (2006) realizaram as primeiras medições de ventos e predições de ondas ao longo das margens da Lagoa dos Patos de acordo com dados horários de intensidade e direção de vento durante o ano de 1988.

Medições de parâmetros de ondas na Lagoa dos Patos, como altura significativa (H_s), período de pico (T_p) e direção de pico (Dir), são de extrema relevância para o estudo desta Tese, assim como para muitos outros estudos oceanográficos e de engenharia costeira. Diversas obras de proteção costeira são projetadas de acordo com os parâmetros de ondas, tais como quebra-mares, espigões e molhes. Portanto, para a determinação do regime de ondas na região de estudo, realizou-se o fundeio do primeiro ondógrafo direcional no corpo da Lagoa dos Patos.

O ondógrafo utilizado nesta pesquisa pertence à FURG, via Rede Ondas. Durante o período de 22 de janeiro de 2015 a 01 de julho de 2015, esteve fundeado na Lagoa dos Patos o primeiro ondógrafo direcional. Desta forma, foram adquiridos registros inéditos de parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir). Posteriormente, o equipamento foi removido para ser fundeado em águas rasas ao largo do Rio Grande.

O ondógrafo utilizado registra altura de onda, período, direção, temperatura e a posição geográfica. As medições de alturas e direções das ondas ocorrem através de acelerômetros, os quais medem as séries temporais da sua movimentação espacial (deslocamentos horizontais e verticais). A boia direcional *Waverider*, tipo MkIII (Figura 3.18) é fabricada pela empresa holandesa *Datawell*. O equipamento possui um casco esférico de 0,9 metros de diâmetro, o qual abriga diversos sensores. Possui aproximadamente 300 kg, e quando está em equilíbrio, o nível da água cobre sua metade inferior. A boia possui em sua parte exterior um cordão de borracha para proteção e um triângulo de aço inoxidável para evitar as rotações do equipamento.

O espectro em frequência é calculado a cada 30 minutos por um microprocessador interno utilizando a totalidade dos dados brutos obtidos no intervalo e imediatamente transmitidos para a base em terra. A transmissão dos dados brutos e espectrais é realizada a cada hora através de uma antena de rádio posicionada no topo da boia ou via satélite utilizando o sistema Iridium (Figura 3.18). A frequência de operação do rádio é entre 25,5 MHz a 35,5 MHz. O ondógrafo mede as ondas com períodos variando entre 1,6 a 30 segundos e possui frequência de amostragem de 3,84 Hz. A resolução das medições obtidas é de cerca de 1 centímetro para altura das ondas, 1,5° para direção e 0,05°C para temperatura da água. A Tabela 3.5 apresenta algumas especificações do equipamento. A boia possui um GPS que transmite sua posição geográfica (precisão de até 10 metros), sua antena possui iluminação de LED amarela, a cada 20 segundos ocorrem 5 *flashes*.

O equipamento registra um deslocamento vertical (elevação) e dois deslocamentos horizontais (norte e oeste). Deste modo, a variância, curtose e assimetria são computados. A antena acoplada na boia transmite os registros para a antena instalada na FURG Campus São Lourenço do Sul, que por sua vez, faz a conexão com o *datalogger* (512 Mb).

A visualização dos dados coletados pode ser feita em tempo real, nas formas 2D e 3D, através do software *W@ves 21* (W21), desenvolvido pela *Datawell*. Este *software* analisa, processa e apresenta os dados registrados pela boia. Para a exibição dos dados em tempo real, o programa *W@ves 21* precisa estar conectado com o receptor *rfBouy*. Desta forma, a boia pode ser monitorada de qualquer computador. O programa utiliza dois métodos para análises de ondas, os quais são: análise espectral e análise estatística. A altura significativa das ondas é calculada através da média de 1/3 das maiores alturas de ondas, pelo método do zero-ascendente. A análise espectral é feita através do método de *Fourier* (*DATAWELL BV. Operating Manual W@ves21 Software for Datawell Waverider Buoys, 2006*).

Tabela 3.5: Especificações do ondógrafo direcional *Waverider*.

Fonte: DATAWELL BV. *Datawell Waverider Reference Manual* (2010).

Elevação da onda	
Amplitude	-20 a +20 metros (resolução: 1 centímetro)
Precisão	< 0.5% do valor medido após a calibração
	< 1.0% do valor medido após 3 anos
Período	1,6 a 30 segundos
Direção da onda	
Amplitude	0° a 360° (Resolução: 1.4°)
Precisão	0.4° a 2° (depende da latitude)
Período	1,6 a 30 segundos



Figura 3.18: Ondógrafo direcional *Waverider*.

A operação do fundeio do ondógrafo foi realizado durante a Campanha 6 (19 a 22 de janeiro de 2015), através da Lancha Larus da FURG. No primeiro dia, 19 de janeiro, realizou-se o transporte do ondógrafo de Rio Grande (FURG Campus Carreiros) até o píer de São Lourenço do Sul, onde a lancha ficou atracada durante toda noite. Este transporte durou cerca de 7 horas. No segundo dia, 20 de janeiro, o ondógrafo foi transportado até o local pré-selecionado, próximo

ao naufrágio do Saturno, no entanto não havia recepção do sinal na antena instalada na FURG Campus São Lourenço do Sul. Optou-se por trocar o local e realizar o fundeio próximo ao Pontal do Quilombo, porém também não havia recepção do sinal na antena em São Lourenço do Sul. Devido à grande dificuldade em conseguir sinal de recepção do ondógrafo na FURG Campus São Lourenço do Sul, decidiu-se aumentar a altura da antena neste local.

A antena de recepção foi fixada na parede do segundo piso do prédio do Campus São Lourenço do Sul, através de um tubo de aço galvanizado com diâmetro de uma polegada e comprimento de 6 metros, dos quais 2 metros ficaram para baixo do nível da laje e 4 metros ficaram para cima, onde foi instalada a base da antena. Desta maneira, inicialmente a base da antena encontrava-se a aproximadamente 10 metros de altura a partir do solo. No dia 21 de janeiro, executaram-se os procedimentos para aumentar a altura desta antena através de mais um tubo de aço galvanizado com 4 metros de comprimento, dos quais 2 metros foram encaixados dentro do outro tubo já existente. Desta forma, a base da antena ficou a aproximadamente 12 metros acima do solo (Figura 3.19). No mesmo dia, tentou-se realizar o fundeio do ondógrafo, no entanto, devido ao estado de agitação da Lagoa dos Patos, não foi possível.

No dia 22 de janeiro, com ondas de menores alturas, conseguiu-se realizar o fundeio do ondógrafo direcional na Lagoa dos Patos no ponto de coordenadas $31^{\circ} 29,086'$ de latitude sul e $51^{\circ} 55,114'$ de longitude oeste (Figura 3.20), próximo ao naufrágio do Cisne, em uma profundidade aproximada de 6 metros. Este local fica a uma distância de aproximadamente 14,4 quilômetros do píer onde estava atracada a lancha Larus, em São Lourenço do Sul. Após a embarcação chegar no local, a operação de fundeio do ondógrafo durou cerca de 2 horas.

A Figura 3.21 ilustra o esquema de transmissão dos dados registrados pelo ondógrafo para a estação receptora na FURG Campus São Lourenço do Sul. Nas Figuras 3.22 e 3.23 são mostrados, respectivamente, o processo de operação de fundeio do ondógrafo e este já em operação na Lagoa dos Patos.

Durante os primeiros dias com o equipamento em operação, ocorreram algumas dificuldades em relação à recepção do sinal, ocasionando a perda de dados. Portanto, pode-se dizer que o registro de dados de ondas iniciou efetivamente no dia 27 de janeiro de 2015. Salienta-se que a partir desta data a recepção dos dados de ondas tornou-se mais eficaz, no entanto ainda foram perdidos alguns registros devido a problemas que ocorreram no computador utilizado.



Figura 3.19: Antena de recepção do sinal do ondógrafo. FURG Campus São Lourenço do Sul.

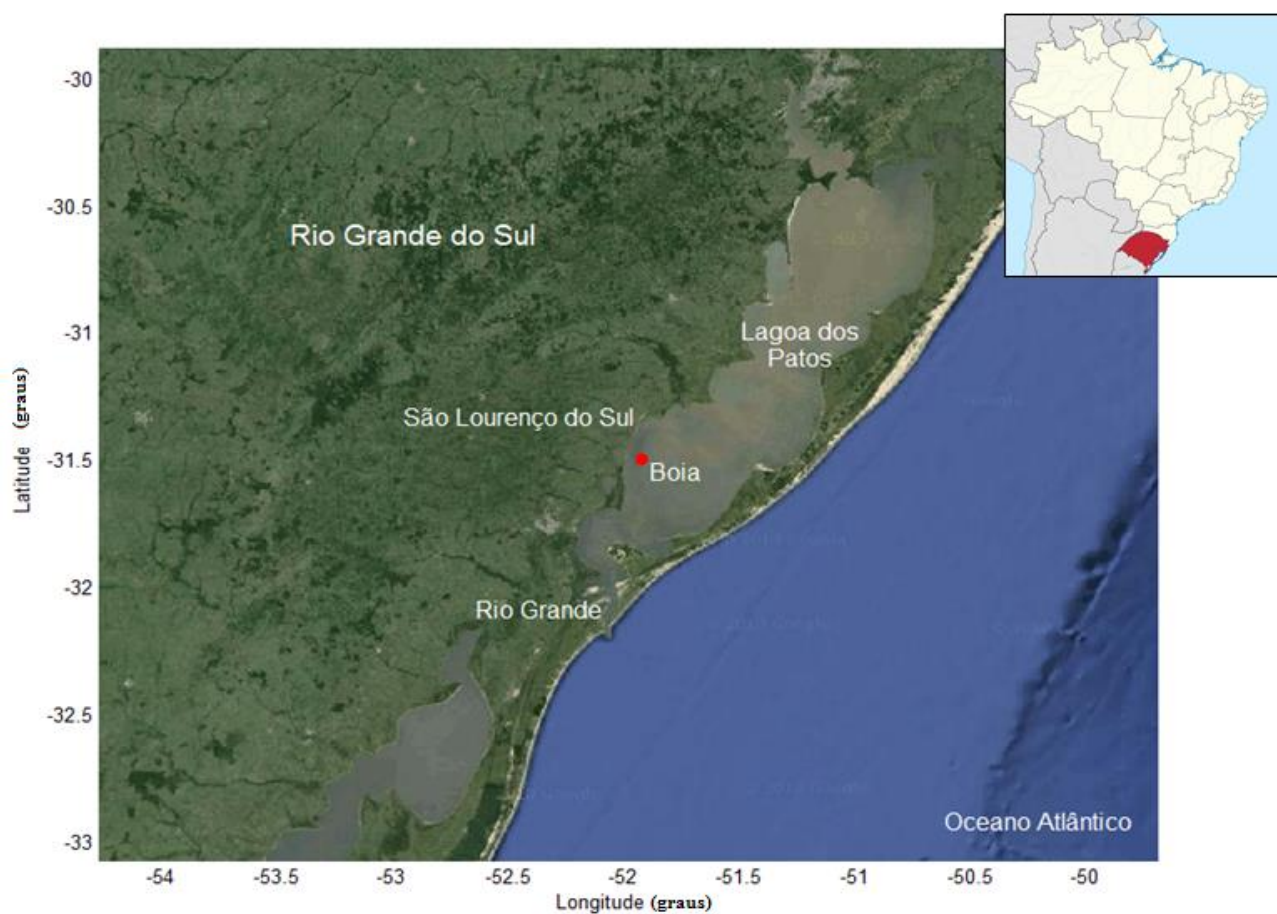


Figura 3.20: Localização do ondógrafo. Lagoa dos Patos – RS.

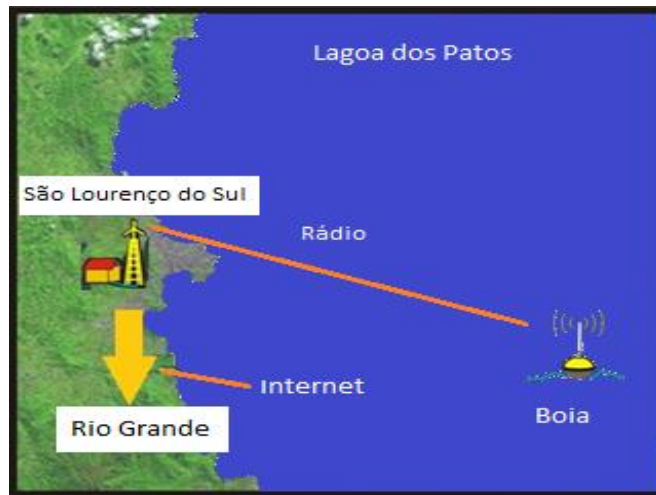


Figura 3.21: Esquema de transmissão do sinal da ondógrafo para a estação receptora.



Figura 3.22: Operação de fundeio do ondógrafo.



Figura 3.23: Ondógrafo em operação na Lagoa dos Patos.

3.4 Modelagem Computacional através do *software* DELFT-3D

3.4.1 Introdução

Neste estudo utilizou-se o modelo numérico Delft3D, o qual foi desenvolvido em Delft, na Holanda, pela empresa Deltares em cooperação com *Delft University of Technology* (TU Delft).

O *software* Delft3D é constituído por um sistema de modelos numéricos em duas e em três dimensões (2D e 3D) com vários módulos que visam a simulação de processos costeiros, tais como geração e propagação de ondas, hidrodinâmica, transporte de sedimentos e mudanças morfológicas (erosão, deposição e variação da linha de costa), processos ecológicos e de qualidade da água. É aplicado a regiões costeiras que podem incluir estuários, praias, bancos arenosos, canais, desembocaduras e deltas de rios influenciados por correntes de maré, descargas fluviais e correntes de densidade originadas por sedimentos (não coesivos ou coesivos). Permite a inclusão de instalações *offshore* e *onshore*, como por exemplo, obras de proteção costeira e outras estruturas hidráulicas.

O sistema de modelagem Delft3D é composto por diversos módulos, os quais são: hidrodinâmico (FLOW), ondas (WAVE), transporte de sedimentos (SED), morfologia (MOR), qualidade da água (WAQ), traçadores (PART), química (CHEM) e ecologia (ECO). Possui ferramentas de pré-processamento, processamento e pós-processamento, que auxiliam na implementação do modelo para determinada região, e permitem a visualização dos parâmetros de entrada e dos resultados, com animação.

O modelo numérico é baseado em diferenças finitas, e utiliza sistema de grade numérica. Diversos fenômenos podem ser simulados, como por exemplo: geração e propagação de ondas, inundação em planícies de maré, turbulência com detalhamento na coluna d'água, gradientes de densidade causados por distribuições não uniformes de temperatura e salinidade, transporte de material dissolvido e poluentes, transporte de sedimentos com erosão e deposição.

O módulo de ondas pode, ainda, ser acoplado com outros módulos, como por exemplo, com o módulo hidrodinâmico (gerando correntes induzidas por ondas) e com o módulo morfodinâmico (incluindo transporte de sedimentos provocado pelas ondas).

Para o desenvolvimento desta Tese, foram utilizados os seguintes módulos: de ondas, hidrodinâmico, e morfodinâmico, os quais são descritos a seguir.

Modelo Numérico de Ondas - Delft3D Wave (SWAN)

Este modelo simula a geração e a propagação de ondas curtas geradas pelo vento em águas costeiras, e pode ser utilizado para gerenciamento e desenvolvimento costeiro e para projetos de engenharia costeira e oceânica, como construções de portos e instalações *offshore*. É aplicado a regiões que podem incluir estuários, *inlets*, lagos e canais. O Delft3D-Wave é a terceira geração do modelo de ondas SWAN (*Simulating Waves Nearshore*). Considera a refração devido à variação espacial de correntes e às variações da batimetria, reproduz os processos de difração, empolamento, crescimento da onda por ação do vento, dissipação de energia devido à fricção com o fundo, quebra induzida pela profundidade, quebra induzida pelo excesso de declividade (*whitcapping*) (Manual Delft3D-WAVE, 2011).

No SWAN, o espectro da onda pode variar no tempo e no espaço; e a evolução do espectro da onda é descrita pela equação do balanço da ação da onda (Equação 3.9) (Hasselmann et al. 1973, apud Manual Delft3D-WAVE, 2011).

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N = \frac{S(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (3.9)$$

Onde:

t: tempo;

x e y: direções de propagação da onda no espaço geográfico;

θ : direção da propagação da onda;

σ : frequência relativa;

$N(\sigma, \theta)$: espectro de densidade da ação da onda;

C_x e C_y : velocidades de propagação da onda nas direções x e y, respectivamente;

C_θ : velocidade de propagação no espaço θ ;

C_σ : velocidade de propagação no espaço σ ;

$S(\sigma, \theta)$: densidade de energia.

O lado esquerdo da Equação (3.9) refere-se à parte cinemática, composta por 5 termos. O primeiro termo indica a taxa de variação local da densidade de ação da onda no tempo. O

segundo e o terceiro termo representam a propagação da ação no espaço geográfico (com velocidades de propagação nas direções x e y , respectivamente). O quarto termo representa a refração induzida pelas correntes e pela variação da profundidade (com velocidade de propagação no espaço θ). E o quinto termo representa a troca da frequência relativa causada pelas variações nas correntes e na profundidade. Já o termo do lado direito da Equação (3.10) refere-se aos efeitos da geração e dissipação ou redistribuição de energia. As expressões para estas velocidades de propagação são obtidas através da teoria linear da onda (Whitham, 1974; Mei, 1983; Dingemans, 1997, apud Manual Delft3D-WAVE, 2011).

Os parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir) resultantes do módulo Delft3D-WAVE podem ser utilizados como dados de entradas no modelo hidrodinâmico. Ao integrar os modelos (onda e hidrodinâmico), ocorre a geração de um arquivo que contém resultados das simulações de ondas na mesma grade computacional do módulo FLOW. Os resultados de ondas (H_s , T_p e Dir) são lidos pelo módulo FLOW, e então, incluídos nos cálculos deste modelo. Em situações em que ocorrem significativas variações no nível da água, na batimetria, e nos campos de velocidades durante a simulação no modelo FLOW, torna-se necessária a conexão com o módulo WAVE várias vezes. Neste caso, a interface *Online Wave* pode ser utilizada. Desta forma, cada vez que o módulo WAVE é acionado durante a simulação, os últimos resultados de batimetria, nível d'água e velocidades de corrente são transferidos do FLOW para o WAVE (Lesser, 2009).

A ferramenta *Online Wave* é muito importante para simulações morfológicas, já que o modelo morfodinâmico é executado dentro do modelo hidrodinâmico. Durante o processo de simulação simultânea (*online*) de transporte de sedimentos e variações morfológicas, à cada passo de tempo são consideradas as mudanças na batimetria. Em regiões onde ocorrem os processos de erosão e/ou acresção é possível simular a hidrodinâmica e as variações de morfologia (Lesser et al, 2004).

Modelo Numérico Hidrodinâmico – Delft3D Flow

O modelo numérico Delft3D-FLOW é um simulador hidrodinâmico utilizado para resolver fenômenos não-estacionários do escoamento e transporte resultante de forçantes meteorológicas, de maré e de descarga da água. É aplicado para águas rasas, e opera em duas ou em três dimensões.

Inclui formulações matemáticas que seguem os seguintes fenômenos físicos: gradientes de superfície livre (efeitos barotrópicos), efeitos da rotação da Terra (Coriolis), gradientes de

densidade horizontal da pressão (efeitos baroclínicos), fluxos turbulentos de massa e momento (modelos de fechamento turbulento), transporte de sal, calor e outras propriedades conservativas, efeitos de marés nas fronteiras abertas, tensões de cisalhamento devido ao vento na superfície da água, dissipação da energia devido ao atrito com o fundo, variação espacial e temporal da pressão atmosférica na superfície da água, variação temporal de fontes e sumidouros, fluxo de calor através da superfície livre, forças geradoras pela maré, tensões de cisalhamentos nos contornos laterais, influência de ondas nas tensões de cisalhamento de fundo (2D e 3D), fluxo através de estruturas hidráulicas (Manual Delft3D-FLOW, 2011).

O modelo utiliza a equação da continuidade (Eq. 3.10) e as equações da conservação da quantidade de movimento Eq. (3.11) e Eq. (3.12). As equações diferenciais parciais em combinação com apropriadas condições iniciais e condições de contorno são resolvidas em uma grade de diferenças finitas.

A equação da continuidade promediada na vertical é obtida através da integração da equação da continuidade para fluidos incompressíveis, e é dada por:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (d + \eta)u}{\partial x} + \frac{\partial (d + \eta)v}{\partial y} = S \quad (3.10)$$

O termo S representa contribuições, por unidade de área, devido à descarga ou perda de água, precipitação e evaporação.

As equações da conservação da quantidade de movimento promediadas na vertical, para as direções x e y , respectivamente, são:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - fv + \frac{gu|U|}{C^2(d + \eta)} - \frac{F_x}{\rho_w(d + \eta)} - v_w \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + fu + \frac{gv|U|}{C^2(d + \eta)} - \frac{F_y}{\rho_w(d + \eta)} - v_w \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3.12)$$

Onde:

t : tempo;

u e v : componentes da velocidade promediadas na vertical (m/s);

U : intensidade da velocidade resultante ($U = \sqrt{u^2 + v^2}$);

F_x e F_y : componentes das forçantes externas em relação a ventos e a ondas (N/m^2);

C : coeficiente de Chézy ($m^{0,5}/s$);
 g : aceleração da gravidade (m/s^2);
 f : parâmetro de Coriolis;
 d : profundidade em relação ao nível médio do mar (m);
 η : nível d'água (m);
 ρ_w : densidade da água (kg/m^3);
 ν_w : coeficiente de difusão (m^2/s).

Modelo Numérico Morfológico Delft3D-MOR

Este módulo processa cálculos de transportes de sedimentos em suspensão e de fundo, além de computar as variações morfológicas para frações coesivas e não-coesivas. Foi desenvolvido para simular o comportamento morfodinâmico de rios, estuários e zonas costeiras em escalas de tempo de dias a anos. Os problemas típicos a serem simulados com o módulo morfológico envolvem interações complexas entre as ondas, correntes, transporte de sedimentos e batimetria.

O módulo morfodinâmico, integrado ao módulo hidrodinâmico, realiza alterações na batimetria a cada passo de tempo, e quando acoplado com o modelo SWAN, calcula os processos de interação onda-corrente. Integra os efeitos de ondas, de correntes, e do transporte de sedimentos no desenvolvimento morfológico.

O transporte de sedimentos pode ser calculado através de várias equações, algumas separam o transporte de fundo do transporte em suspensão, outras englobam o transporte total.

A Tabela 3.6 apresenta algumas das formulações que o modelo utiliza e a forma de transporte de sedimentos (fundo, suspensão e total).

Tabela 3.6: Formulações utilizadas no modelo morfodinâmico e o modo de transporte.

Formulação	Transporte
Van Rijn (1993)	Fundo e suspensão
Engelund-Hansen (1967)	Total
Meyer-Peter-Muller (1948)	Total
Bijker (1971)	Fundo e suspensão
Van Rijn (1984)	Fundo e suspensão
Wilcock-Crowe (2003)	Fundo

De acordo com BALTAZAR (2013), a formulação de VAN RIJN (1993), à qual distingue o modo de transporte do sedimento (suspensão ou fundo), é uma das formulações mais utilizadas, e opera com a seguinte equação advectiva-difusiva:

$$\frac{\partial hc_s}{\partial t} + \alpha_u \left(u \frac{\partial hc_s}{\partial x} + v \frac{\partial hc_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x h \frac{\partial c_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y h \frac{\partial c_s}{\partial y} \right) = \gamma w_s (c_{se} - c_s) \quad (3.13)$$

As variações da batimetria são resolvidas através da equação da conservação da massa do sedimento:

$$\frac{\partial hc}{\partial t} + (1 - \varepsilon_{por}) \frac{\partial z_a}{\partial t} + \left(\frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} \right) = 0 \quad (3.14)$$

Onde:

t : tempo;

c_s : concentração de sedimentos em suspensão (m^3/m^3);

c_{se} : concentração de equilíbrio de sedimentos em suspensão (m^3/m^3);

w_s : velocidade de queda do sedimento em suspensão (m/s);

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$: coeficientes de dispersão (m^2/s);

α_u e γ : coeficientes adimensionais.

z_a : nível do leito (m);

S_x : transporte na direção x ($m^3/m/s$);

S_y : transporte na direção y ($m^3/m/s$);

ε_{por} : porosidade do material do fundo.

3.4.2 Calibração do Modelo de Ondas para a Lagoa dos Patos

A partir de dados horários de ventos (intensidade e direção) referentes ao mês de março de 2015, medidos a 25 metros de altura na estação da Praticagem da Barra do Rio Grande, e então convertidos para 10 metros de altura com a Equação 3.1, simulou-se a geração de ondas através do modelo SWAN. Utilizou-se uma grade retangular composta por 108.741 nós espaçados a cada 500 m (Figura 3.9), com a batimetria interpolada da Lagoa dos Patos (Figura 4.3). A simulação de ondas na lagoa foi executada com todos os contornos fechados.

O coeficiente de cisalhamento do vento (C_D) sobre a superfície d'água foi determinado através da parametrização de Wu (1982):

$$C_D = (0,80 + 0,065 W_{10}) \times 10^{-3} \quad (3.15)$$

Onde W_{10} é a intensidade da velocidade do vento à 10 metros de altura.

O programa DELFT3D permite que sejam inseridos três valores de coeficientes de cisalhamento do vento, de acordo com a intensidade do vento. Desta forma, o próprio programa interpola os valores dos coeficientes de cisalhamento intermediários.

Os processos físicos de quebra da onda induzida pela profundidade, fricção com o fundo, refração e *whitecapping* foram acionados para realizar a calibração da modelagem de ondas. Como as ondas na Lagoa dos Patos apresentam pequenos valores de comprimento de onda, devido ao curto período destas, o processo de difração não foi ativado na modelagem.

Na grade numérica regional (Lagoa dos Patos) selecionou-se o ponto de mesmas coordenadas geográficas do local de fundeio do ondógrafo *Waverider Datawell Mark III* (31° 29' S e 51° 55' W) para registrar os parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir) gerados através da modelagem computacional. Desta forma, foi possível realizar a análise estatística entre parâmetros de ondas registrados pelo ondógrafo e parâmetros de ondas gerados pela modelagem computacional.

As séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico, tanto medidas quanto modeladas, durante o mês de março de 2015, foram analisadas com base nos cálculos estatísticos disponíveis na literatura (Melo et al., 2008, Lalbeharry, 2001, Aguiar, 2014), avaliando-se os parâmetros descritos nas equações (3.16) a (3.22).

Onde:

- m indica os resultados do modelo;
- o indica os resultados das medições (observações);
- N indica o número de dados medidos ou modelados.

Valor médio das observações (\bar{o}):

$$\bar{o} = \frac{\sum_{i=1}^N o_i}{N} \quad (3.16)$$

Valor médio do modelo (\bar{m}):

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{N} \quad (3.17)$$

Viés (V) – valor médio da diferença entre resultados do modelo e medições:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i - o_i)}{N} = \bar{m} - \bar{o} \quad (3.18)$$

O viés determina o desvio médio entre os resultados do modelo e as medições. Se positivo, o modelo tende a superavaliar medições, se negativo, o modelo tende a subavaliar as medições.

Viés relativo (Vr) – apresenta o viés como uma fração do valor médio observado:

$$Vr = \frac{V}{\bar{o}} = \frac{\bar{m} - \bar{o}}{\bar{o}} = \frac{\bar{m}}{\bar{o}} - 1 \quad (3.19)$$

Erro médio quadrático ($RMSE$) – raiz quadrada do valor médio do quadrado da diferença entre modelo e medições:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (m_i - o_i)^2}{N}} \quad (3.20)$$

Índice de espalhamento (SI) (*Scatter Index*) – razão entre o erro médio quadrático ($RMSE$) e o valor médio das medições (\bar{o}):

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{o}} \quad (3.21)$$

Inclinação quadrática média (SS) (*Symmetric Slope*) – raiz quadrada da razão entre a variância do modelo e a variância das medições:

$$SS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i^2}{\sum_{i=1}^N o_i^2}} \quad (3.22)$$

O parâmetro SS , também conhecido como declividade de regressão não tendenciosa, é o resultado de uma análise de regressão, onde se considera que nenhum dos dois conjuntos de dados (modelados e observados) é “perfeito”, mas contribuem igualmente para o erro. A situação

ideal ocorre quando $SS = 1$. Caso contrário, o modelo estará subestimando ou superestimando valores observados (Melo et al., 2008).

Os resultados da análise estatística, entre os dados de ondas modelados pelo SWAN e dados de ondas medidos pelo ondógrafo, estão expostos no Capítulo 4 (Seção 4.4.1).

Após a comparação estatística, determinou-se o fator de ajuste (α) que elimina a tendenciosidade do modelo na previsão dos parâmetros (Hs, Tp e Dir). Assim, o modelo reproduz, em média, as medições. De acordo com a metodologia utilizada por Melo et al. (2010), na qual considera-se que o viés relativo com parâmetro de onda já ajustado deve ser igual a zero para eliminar a tendenciosidade do modelo, obtém-se a seguinte equação:

$$\frac{\bar{m} - \bar{o}}{\bar{o}} = Vr \quad (3.23)$$

Considerando que m_c é o resultado do modelo ajustado e que $m_c = \alpha m$, encontram-se as seguintes relações:

$$\frac{\bar{m}_c - \bar{o}}{\bar{o}} = 0 \quad (3.24)$$

$$\alpha \frac{\bar{m}}{\bar{o}} - 1 = 0 \quad (3.25)$$

$$\alpha = \frac{1}{\frac{\bar{m}}{\bar{o}}} \quad (3.26)$$

Substituindo a Equação (3.23) na Equação (3.26), determina-se o fator de ajuste α :

$$\alpha = \frac{1}{1 + Vr} \quad (3.27)$$

Portanto, visando eliminar a tendenciosidade dos resultados de ondas gerados pelo modelo SWAN, multiplicou-se cada parâmetro de onda (Hs, Tp e Dir) pelo respectivo fator de ajuste α .

Os resultados estão apresentados no Capítulo 4 (Seção 4.4.1).

3.4.3 Calibração do Modelo Hidrodinâmico para a Lagoa dos Patos

O modelo hidrodinâmico da Lagoa dos Patos foi calibrado com a mesma grade numérica da modelagem de ondas (Figura 3.9) e com a batimetria interpolada da região (Figura 4.3). Utilizou-se a série temporal de ventos (intensidades e direções) da estação da Praticagem (valores já convertidos de 25 para 10 metros de altura, de acordo com a Equação 3.1) do ano de 2008, visto que este é o ano representativo da série de 2004 a 2010, conforme Capítulo 4, Seção 4.4.3.

As vazões dos principais tributários da Lagoa dos Patos foram inseridas como parâmetros de entrada do modelo. Os dados diários de vazões, referentes ao ano de 2008, do Rio Camaquã e Complexo Guaíba foram extraídos através do *site* da Agência Nacional de Águas, conforme detalhado na Seção 3.2.5. E para a vazão do Canal São Gonçalo adotou-se o valor médio de 200 m³/s, conforme parametrizado por Vaz (2003, apud Vinzon et al., 2009).

No Canal do Rio Grande, não foram inseridos dados de vazão, mas deixou-se este contorno livre.

Selecionou-se o ponto da grade regional mais próximo do linígrafo de São Lourenço do Sul, para registrar os dados de variação de nível d'água. Portanto, a aferição do modelo hidrodinâmico ocorreu por meio da comparação estatística entre dados de variação de nível gerados pelo modelo hidrodinâmico e dados de variação de nível calculados a partir de medições *in situ*.

O coeficiente de cisalhamento do vento sobre a superfície d'água foi obtido conforme a parametrização de Wu (1982) (Equação 3.15), apresentada na Seção 3.4.2.

3.4.4 Geração de Ondas na Lagoa dos Patos

A fim de selecionar casos de ondas representativos para atuarem como forçantes do modelo morfológico, na fronteira da grade numérica de São Lourenço do Sul, simulou-se a geração de ondas na Lagoa dos Patos durante um ano inteiro, caracterizando todas as estações do

ano. Para tal, utilizou-se a série temporal de ventos (intensidades e direções) da estação da Praticagem da Barra do Rio Grande (valores já convertidos de 25 para 10 metros de altura, de acordo com a Equação 3.2) do ano de 2008, visto que este é o ano representativo da série de 2004 a 2010 (conforme Capítulo 4, Seção 4.3.3). Com o modelo de ondas da Lagoa dos Patos (grade numérica regional) devidamente calibrado, os dados de ventos do ano de 2008 foram fornecidos ao modelo SWAN com intervalos de 3 em 3 horas e, desta forma, os resultados dos parâmetros de ondas (Hs, Tp e Dir) nas fronteiras da grade numérica local de São Lourenço do Sul, foram extraídos também em intervalos de 3 horas.

Ao total, obteve-se uma série temporal com 2928 casos de ondas (Hs, Tp e Dir), durante todo ano de 2008, atuantes nos contornos da grade local (São Lourenço do Sul). Com intuito de reduzir o esforço computacional ao executar o modelo morfológico, aplicou-se a metodologia desenvolvida por Dobrochinski (2009), à qual consiste na redução do clima de ondas. A metodologia denomina-se Método das Classes Fixadas, onde os casos de ondas da série temporal são divididos em classes de direção e de altura significativa. As classes de direção têm o mesmo tamanho. Cada classe de direção é dividida em classes de altura significativa, de acordo com a altura significativa máxima encontrada dentro da classe direcional. O tamanho das classes de altura significativa é o mesmo dentro de cada classe de direção, mas pode variar nas outras classes direcionais. O número total de casos de ondas é adquirido através multiplicação do número de classes de direção pelo número de classes de altura significativa de onda. A Figura 3.24 ilustra um exemplo desta metodologia, onde os pontos em azul representam os casos de onda da série temporal, e os pontos em vermelho representam os casos de ondas representativos de cada classe, os quais são determinados através do valor médio da classe. O valor do período de pico de cada classe é determinado através da média aritmética dentro da referida classe.

Desta forma, inicialmente dividiu-se a série temporal dos casos de ondas referentes ao ano de 2008 em 4 intervalos, um para cada estação do ano. Após, aplicou-se o Método das Classes Fixadas para cada estação do ano. Devido às feições morfológicas da região no entorno da grade local (conforme observa-se na Figura 3.11), constata-se que as maiores pistas de vento ocorrem entre 30° e 210° (pois a grade está rotacionada a 30° no sentido horário, a partir do eixo norte). Desta forma, analisaram-se resultados dos parâmetros de ondas gerados pelo SWAN para todo ano de 2008, com direções de pico entre 30° e 210° . Os demais casos de ondas não foram utilizados, visto que não haveria pista de vento suficiente para gerar ondas.

As classes de direção de pico das ondas foram divididas em 3 partes iguais, com 60° em cada classe. Dentro de cada classe direcional, fez-se a divisão de altura significativa em 3 partes

também. Assim, foram selecionados 9 casos de ondas representativos para cada estação do ano. Ao total, foram selecionados 36 casos representativos de ondas para atuarem como forçantes na simulação morfológica, reduzindo assim o tempo computacional.

Os resultados desta seção estão apresentados no Capítulo 4, Seção 4.4.3.

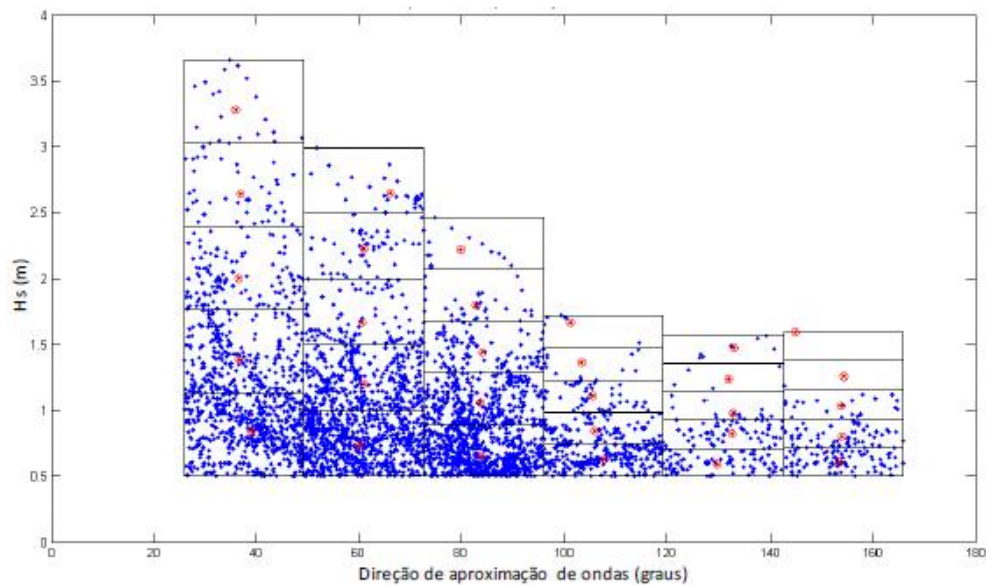


Figura 3.24: Exemplo ilustrativo do Método das Classes Fixadas.

Fonte: Dobrochinski (2009).

3.4.5 Modelagem da Evolução Morfológica

Para realizar a simulação da evolução morfológica de uma região, séries temporais das condições forçantes devem ser especificadas. Nesta Tese, as forçantes adotadas na modelagem foram ondas e ventos. Não foram inseridos valores de vazões do Arroio Carahá, visto que este praticamente não apresenta fluxo, conforme descrito na Seção 4.3.6 do Capítulo 4.

Para cada caso de onda selecionado, determinou-se a intensidade e direção de vento correspondentes. Para tal, inicialmente realizou-se a correlação linear entre os dados de entrada (ventos) e resultados (ondas) referentes à simulação de ondas do ano de 2008. A correlação linear foi aplicada entre intensidade do vento e altura significativa da onda, e entre direção do vento e direção de pico da onda. Extraíram-se as equações lineares para as respectivas

correlações. Após, estas equações foram utilizadas para determinar intensidade e direção de vento, para cada caso de onda, de acordo com altura significativa e direção de pico das ondas, respectivamente. Desta forma, para os 36 casos de ondas selecionados, há 36 valores de ventos (intensidades e direções) correspondentes. Os resultados estão apresentados no Capítulo 4, Seção 4.4.4.

A utilização de modelos morfológicos requer grande esforço computacional. Visando reduzir o tempo de processamento, aplicou-se a técnica de aceleração morfológica (*morfac* – *morphological acceleration factor*). Segundo Lesser (2009) esta técnica consiste na multiplicação do fluxo de erosão/sedimentação dos sedimentos em suspensão e dos gradientes das componentes vetoriais de transporte de fundo por um fator constante (*morfac*). Neste procedimento, todas as mudanças batimétricas que ocorrem durante um passo de tempo do modelo são multiplicadas pelo fator *morfac*.

O modelo morfológico utiliza sequencialmente os resultados do modelo hidrodinâmico e os resultados de alterações de fundo batimétrico, de forma a incluir na próxima iteração. No entanto, como as escalas temporais de mudanças morfológicas são muito maiores que as escalas temporais de variações hidrodinâmicas, o módulo morfológico somente é atualizado após certo tempo de processamento (*time stpes*) do módulo hidrodinâmico, evitando cálculos desnecessários e aprimorando o modelo. A técnica de aceleração morfológica apresenta o mesmo princípio, onde as alterações de fundo são multiplicadas por um fator *Morfac*, permitindo que simulações de longos períodos sejam efetuadas em menos tempo (RANASINGHE, 2011, apud SANTOS, 2013).

Desta forma, verificou-se a frequência de ocorrência para cada caso de onda selecionado neste estudo, e assim, determinou-se o correspondente valor do fator *morfac*. Os resultados estão no Capítulo 4, Seção 4.4.4.

Existe ainda um aspecto muito importante que deve ser considerado na modelagem morfológica, o qual é o tempo de aquecimento do modelo. Este tempo é necessário para o modelo se estabilizar, e durante este período, não são realizadas alterações no fundo batimétrico. Neste estudo, o tempo de simulação adotado para cada caso de onda foi de ½ dia (720 minutos), entretanto cada caso de onda com seu respectivo fator *morfac*. Portanto, adotou-se um tempo de aquecimento inicial de 4 dias (5760 minutos), evitando assim mudanças morfológicas durante este período. E entre os casos de ondas também adotou-se um tempo de aquecimento, porém bem menor que 4 dias, visto que o modelo já está aquecido e apenas está alternando de um caso

para outro. Deste modo, utilizou-se o período de 120 minutos como tempo de aquecimento entre os casos de ondas.

Com os modelos de ondas e hidrodinâmico devidamente calibrados, e com as forçantes especificadas (ondas e ventos), realizou-se a simulação da evolução morfológica em 3D através da grade numérica local (São Lourenço do Sul). Foram adotadas 6 camadas verticais no modelo.

Inicialmente, adotou-se o valor de D_{50} igual a 1,16 mm, correspondente à média dos valores de D_{50} das amostras de sedimentos coletadas na barra formada na foz do Arroio Carahá; após, utilizou-se D_{50} de 0,564 mm, que representa a média dos valores de D_{50} das amostras sedimentares coletadas na enseada de São Lourenço do Sul durante a Campanha 8, conforme descrito no Capítulo 4, Seção 4.3.1. A profundidade de fechamento foi determinada com base nos resultados de transporte sedimentar ao longo de perfis transversais à linha de costa, os quais foram obtidos através da modelagem morfológica utilizando D_{50} de 0,564 mm.

Após analisar os processos costeiros atuantes na região de estudo, realizou-se a simulação morfológica com a implementação de dois molhes perpendiculares à linha de costa, conforme apresentado na Figura 3.25. O valor do aprofundamento do canal foi adotado com base no calado máximo das embarcações locais (1 metro) e na folga no pé do piloto (0,6 metros, conforme é usual nestes casos), totalizando 1,6 metros. Desta maneira, os molhes prolongam-se em direção à Lagoa dos Patos até a profundidade de 1,6 metros, com cerca de 400 metros de comprimento. O período representado nesta simulação foi de 5 anos.

Todos os resultados obtidos a partir da metodologia exposta nesta seção estão apresentados no Capítulo 4, Seção 4.4.4.

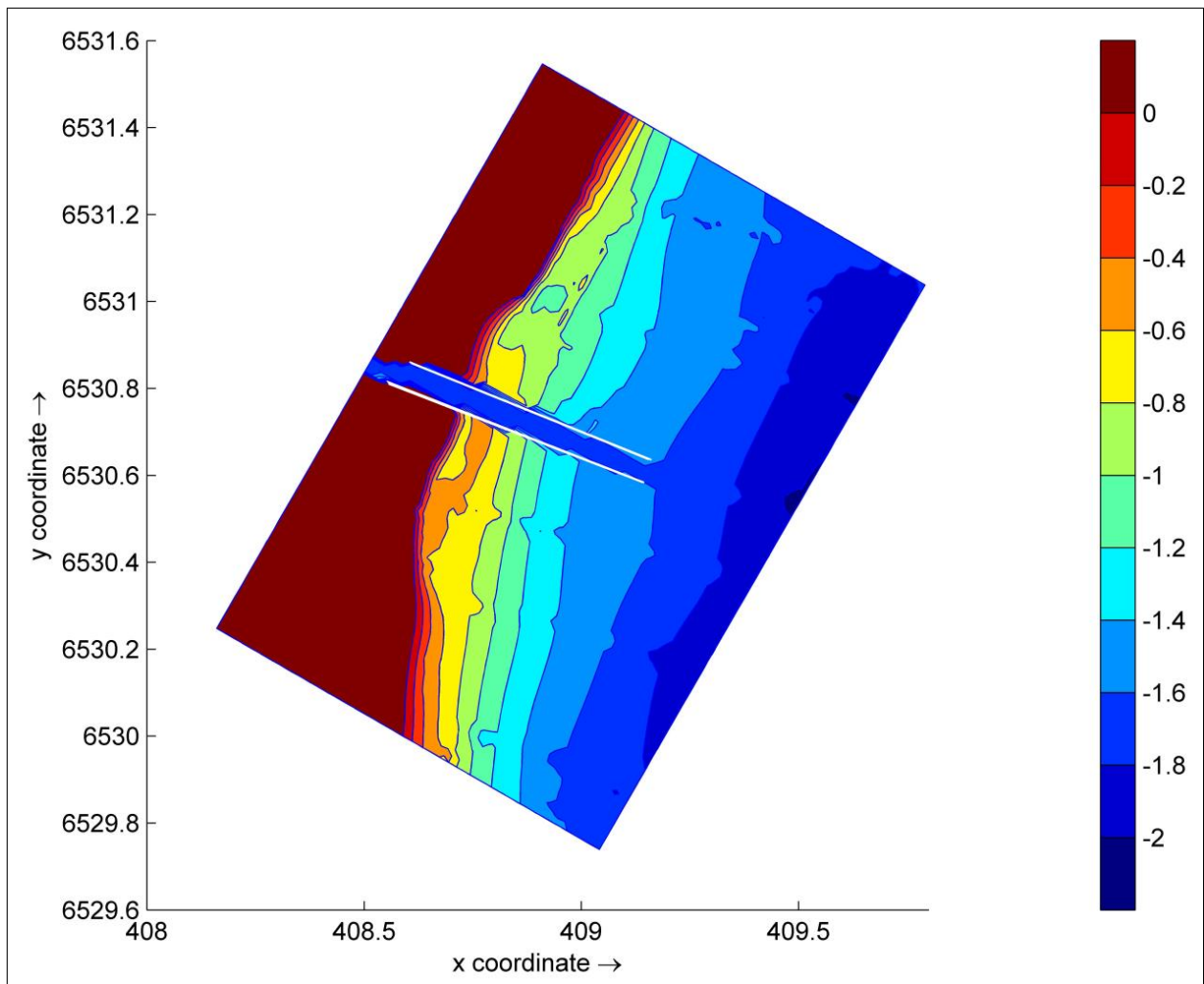


Figura 3.25: Implementação de molhes perpendiculares à linha de costa no modelo morfológico.

4. RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados adquiridos nas três etapas desenvolvidas no Capítulo 3, às quais são: análise da evolução da linha de praia de São Lourenço do Sul, aquisição e tratamento de dados e modelagem computacional através do software DELFT3D.

Muitos resultados parciais foram necessários para a realização de etapas posteriores. Desta forma, os resultados são expostos de acordo com cada seção apresentada no Capítulo 3.

4.2 Estudo da Evolução da Linha de Praia

Através da metodologia apresentada no Capítulo 3, Seção 3.2, obtiveram-se os resultados relacionados às medições das variações dos perfis perpendiculares à linha de costa. Na Tabela 4.1 são apresentados os valores medidos das variações da linha de costa para cada perfil, assim como o comportamento característico em cada período analisado.

De acordo com a Tabela 4.1, verifica-se que os únicos perfis que apresentaram o mesmo comportamento durante os dois períodos analisados (1953 a 1977 e 1977 a 2010) foram: P12, P13 e P31 (erosão) e P26, P27, P28, P29, P33 e P34 (deposição), conforme se observa na Figura 4.1. Os demais perfis apresentam comportamento inconclusivo (ora erosão, ora deposição) ou ainda com variações de linha de costa menores que 0,94 metros, o qual foi o valor do erro de amostragem determinado no Capítulo 3, Seção 3.2.

Tabela 4.1: Valores das variações da linha de costa e o correspondente comportamento.

Perfil	1953 -1977		1977 - 2010		Comportamento
	Erosão (m)	Deposição (m)	Erosão (m)	Deposição (m)	
P1	19,90				Erosão
P2	12,24				Erosão
P3	16,88				Erosão
P4		6,14			Deposição
P5	3,64				Erosão
P6		0,97			-
P7	12,02		-	-	-
P8	13,81		-	-	-
P9	20,45		-	-	-
P10	23,30		-	-	-
P11	67,72		-	-	-
P12	53,83		25,29		Erosão - Erosão
P13	28,46		13,00		Erosão - Erosão
P14	26,99			0,43	Erosão
P15	20,61			35,89	Erosão - Deposição
P16	15,01		-	-	-
P17		8,50	-	-	-
P18		9,79	16,05		Deposição - Erosão
P19		13,07	30,06		Deposição - Erosão
P20		10,74	-	-	-
P21		27,43	20,12		Deposição - Erosão
P22		29,42	-	-	-
P23		22,18	-	-	-
P24		40,06	-	-	-
P25		28,88	17,09		Deposição - Erosão
P26		2,93		4,99	Deposição - Deposição
P27		2,08		6,30	Deposição - Deposição
P28		11,80		2,16	Deposição - Deposição
P29		2,25		5,03	Deposição - Deposição
P30	4,67			0,05	Deposição
P31	10,91		1,03		Erosão - Erosão
P32	0,90			0,70	-
P33		9,44		1,81	Deposição - Deposição
P34		9,75		1,84	Deposição - Deposição
P35		10,17	0,90		Deposição
P36		10,19	2,50		Deposição - Erosão
P37		8,24	3,15		Deposição - Erosão
P38		6,90	3,36		Deposição - Erosão
P39		10,43	7,69		Deposição - Erosão

As taxas de erosão determinadas nos perfis P12, P13 e P31 são de aproximadamente 1,39 m/ano, 0,73 m/ano, 0,21 m/ano, respectivamente. Já as taxas de acresção dos perfis P26, P27, P28, P29, P33 e P34 são 0,14 m/ano, 0,15 m/ano, 0,25 m/ano, 0,13 m/ano, 0,20 m/ano e 0,21 m/ano, concomitantemente.

Constata-se que as taxas de deposição apresentam pequenos valores (menores que 0,25 m/ano). No entanto, as taxas de erosão apresentam-se maiores, atingindo 1,39 m/ano no perfil P12, localizado ao norte da foz do Arroio Carahá.



Figura 4.1: Variação da linha de costa ao longo do tempo.

4.3 Aquisição e Tratamento de Dados

4.3.1 Coletas de Sedimentos para Análise Granulométrica

Através das análises granulométricas realizadas para as amostras de sedimentos coletadas na enseada de São Lourenço do Sul, no canal do Arroio Carahá e na barra formada na sua foz, conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.2.1, foram determinadas as porcentagens de cada classe granulométrica, as frequências acumuladas e construídos os histogramas de frequências.

Os histogramas de frequências foram confeccionados para todas as amostras de sedimentos e estão disponíveis no Anexo D. Os diagramas de frequências acumuladas encontram-se disponíveis no Anexo E.

Nas Tabelas 4.2 a 4.4 são apresentados os valores do diâmetro médio do grão e da mediana, assim como as porcentagens de cada classe granulométrica, conforme a escala de Wentworth (1922) (SUGUIO, 1973), referentes às amostras adquiridas nas Campanhas 8 e 9 na enseada de São Lourenço do Sul, na barra formada na foz do Arroio Carahá e no seu canal de navegação, respectivamente. Já na Tabela 4.5 são apresentados os valores do diâmetro médio do grão e da mediana e as porcentagens de cada classe granulométrica referentes às amostras coletadas durante a Campanha 2.

Na Figura 4.2 são apresentadas as variações da granulometria e do D_{50} das amostras de sedimentos ao longo dos perfis A, B, C, D e ao longo do canal do Arroio Carahá.

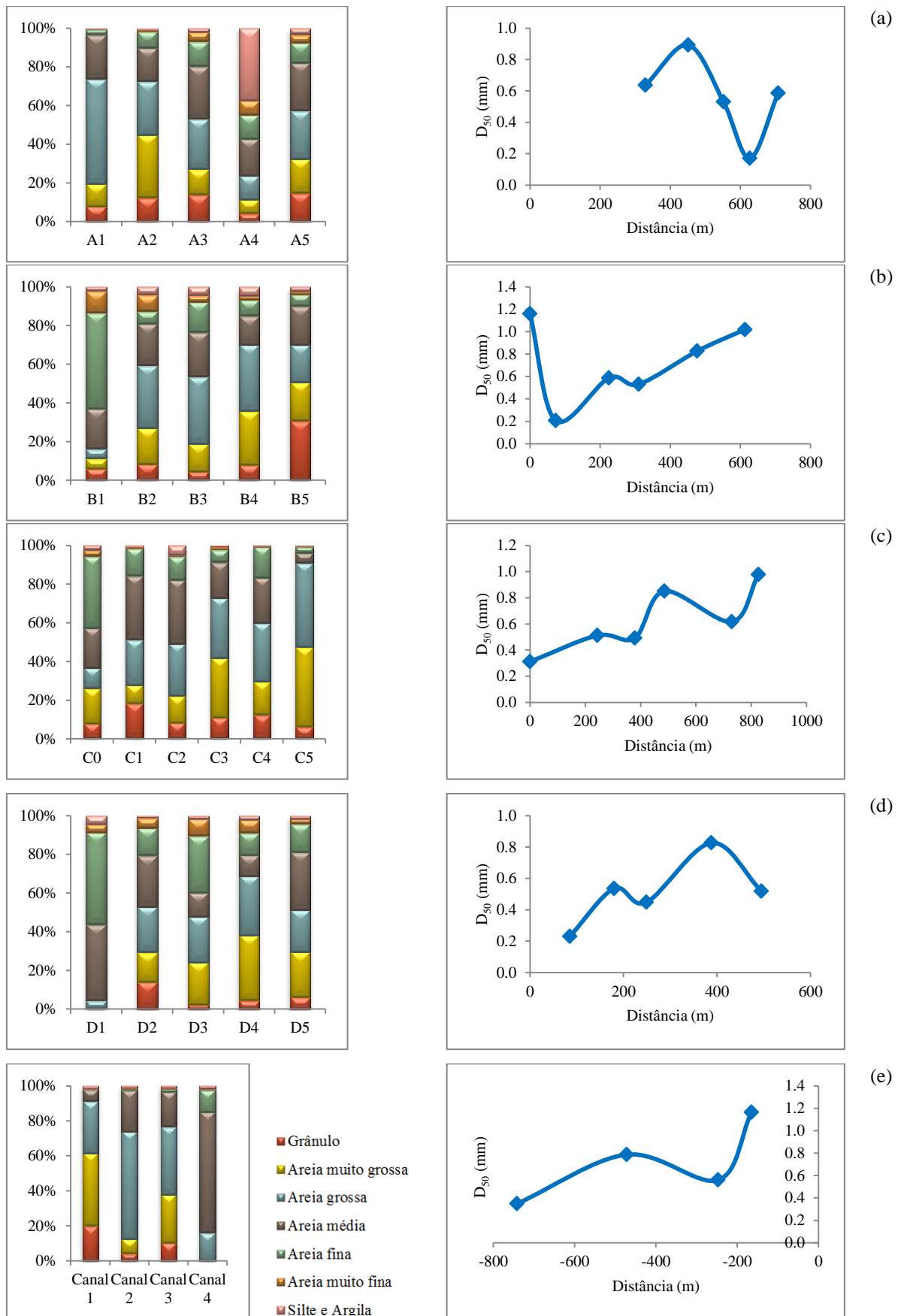


Figura 4.2: Variação da granulometria e da mediana ao longo dos perfis e ao longo do canal do Arroio Carahá. (a) Perfil A, (b) Perfil B, (c) Perfil C, (d) Perfil D, (e) Canal do Arroio Carahá.

Tabela 4.2: Resultados da análise granulométrica para amostras coletadas na enseada de São Lourenço do Sul (Campanha 8).

Amostra	Média (ϕ)	Média (mm)	Mediana (ϕ)	Mediana (mm)	Grânulo (%)	Areia muito grossa (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Areia muito fina (%)	Finos (%)
A1	0,5749	0,6713	0,6528	0,6360	7,9	11,6	54,2	22,9	2,6	0,3	0,3
A2	0,3070	0,8083	0,1631	0,8931	12,3	32,4	27,8	17,2	8,5	0,9	0,7
A3	0,7767	0,5837	0,9153	0,5302	13,8	13,2	26,0	27,1	12,8	4,9	2,0
A4	2,5450	0,1713	2,5500	0,1708	4,2	7,1	12,3	19,2	12,5	7,3	37,2
A5	0,6603	0,6327	0,7698	0,5865	14,7	17,6	25,0	24,7	10,3	4,2	3,2
B1	2,0510	0,2413	2,2750	0,2066	6,0	5,3	5,0	20,7	49,2	11,3	2,1
B2	0,8897	0,5397	0,7686	0,5870	8,4	18,4	32,4	21,5	6,4	8,5	4,1
B3	1,0760	0,4743	0,9118	0,5315	4,5	14,2	34,8	22,9	15,6	3,4	4,4
B4	0,4889	0,7126	0,2743	0,8269	7,4	26,1	32,1	14,2	7,9	1,7	4,3
B5	0,0225	0,9845	-0,0275	1,0192	30,7	19,8	19,6	19,9	6,2	1,3	2,4
C0	1,2440	0,4222	1,6830	0,3114	7,8	18,0	10,6	20,4	36,8	3,2	2,4
C1	0,6063	0,6569	0,9667	0,5117	17,7	9,2	22,8	32,0	13,8	0,6	0,8
C2	0,9545	0,5160	1,0230	0,4921	8,2	14,0	26,7	33,2	12,1	0,6	4,9
C3	0,3291	0,7960	0,2333	0,8507	11,1	30,6	31,2	18,4	6,5	1,2	0,9
C4	0,6746	0,6265	0,6970	0,6169	12,5	17,0	30,2	23,6	15,7	0,4	0,4
C5	0,0526	0,9642	0,0318	0,9782	6,3	40,8	43,3	5,0	3,2	0,3	0,4
D1	2,0710	0,2380	2,1200	0,2300	0,0	0,2	4,2	39,4	47,6	4,1	4,4
D2	0,7544	0,5928	0,8994	0,5361	14,0	15,3	23,6	26,3	14,3	5,1	1,1
D3	1,2770	0,4127	1,1600	0,4475	2,3	21,9	23,5	12,4	29,2	8,6	1,7
D4	0,7617	0,5898	0,2751	0,8264	4,4	33,4	30,4	10,7	11,5	6,6	2,2
D5	0,8857	0,5412	0,9458	0,5191	6,1	23,3	21,8	29,8	14,6	2,3	1,7

Tabela 4.3: Resultados da análise granulométrica referente às amostras de sedimentos da barra formada na foz do Arroio Carahá (Campanha 8).

Amostra	Média (ϕ)	Média (mm)	Mediana (ϕ)	Mediana (mm)	Grânulo (%)	Areia muito grossa (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Areia muito fina (%)	Finos (%)
Barra 1	0,1186	0,9211	0,1157	0,9229	6,5	38,5	43,3	10,8	0,4	0,0	0,3
Barra 2	-0,3466	1,2716	-0,4471	1,3633	27,8	38,9	26,8	5,7	0,2	0,1	0,6
Barra 3	-0,2488	1,1882	-0,2607	1,1981	19,9	44,5	31,1	3,9	0,1	0,1	0,1

Tabela 4.4: Resultados da análise granulométrica referentes às amostras de sedimentos do canal do Arroio Carahá (Campanha 9).

Amostra	Média (ϕ)	Média (mm)	Mediana (ϕ)	Mediana (mm)	Grânulo (%)	Areia muito grossa (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Areia muito fina (%)	Finos (%)
Canal 1	-0,1927	1,1429	-0,2187	1,1637	19,9	41,5	29,8	6,8	0,3	0,1	1,5
Canal 2	0,7944	0,5766	0,8366	0,5600	3,6	22,3	51,9	20,1	0,8	0,1	1,2
Canal 3	0,3032	0,8105	0,3467	0,7864	10,2	27,6	39,3	19,9	1,9	0,1	1,2
Canal 4	1,5650	0,3380	1,5220	0,3482	0,0	0,0	15,9	68,6	12,6	0,5	1,8

Tabela 4.5: Resultados da análise granulométrica para amostras coletadas na enseada de São Lourenço do Sul (Campanha 2).

Amostra	Média (ϕ)	Média (mm)	Mediana (ϕ)	Mediana (mm)	Grânulo (%)	Areia muito grossa (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Areia muito fina (%)	Finos (%)
P1	0,8444	0,8650	0,8650	0,5490	1,4	8,3	50,6	34,1	1,1	0,2	1,9
P2	-0,4736	-0,7170	-0,7170	1,6438	43,4	23,8	16,8	5,2	4,6	1,9	4,3
P3	-0,6133	-0,7248	-0,7248	1,6527	43,8	23,7	20,7	9,1	1,4	0,9	0,4
P5 43	0,1195	0,1790	0,1790	0,8833	36,5	11,9	14,2	21,8	9,4	2,6	3,6
P9 49	1,6810	2,0710	2,0710	0,2380	18,4	4,0	7,9	18,6	12,2	8,3	30,6
P6 46	0,7768	0,8310	0,8310	0,5621	10,0	17,0	27,8	30,1	11,6	1,0	2,5
42 P4	0,5951	0,8460	0,8460	0,5563	14,2	11,9	30,7	31,6	9,6	0,8	1,2
P6 44	1,0120	1,2580	1,2580	0,4181	5,4	9,9	31,5	37,6	9,9	0,3	0,6
P8 48	-0,1455	-0,3409	-0,3409	1,2665	41,8	16,8	11,1	16,9	4,8	1,3	7,4
P50 50	0,8629	1,4800	1,4800	0,3585	17,7	5,2	7,7	37,7	26,5	0,9	0,7
P7 47	0,2211	0,2346	0,2346	0,8499	8,4	26,8	50,8	6,1	4,3	0,5	3,1
PB 45	0,2916	0,2107	0,2107	0,8641	15,2	28,8	30,7	15,7	6,4	0,6	2,6

A partir da análise da Tabela 4.2 verifica-se predominância de areia grossa e areia média nas amostras A1, A3 e A5. Respectivamente, as referidas amostras contêm 54,2%, 26% e 25% de areia grossa e 22,9%, 27,1% e 24,7% de areia média. A amostra A2 já apresenta maiores quantidades de areia muito grossa (32,4%) e areia grossa (27,8%). A amostra A4 destaca-se das demais por conter grande quantidade de finos, atingindo 37,2%. Constata-se também que as amostras A1, A2, A3 e A5 apresentam D_{50} de 0,6360 mm, 0,8931 mm, 0,5302 mm, 0,5865 mm, concomitantemente, os quais são valores característicos de areia grossa, segundo a escala de Wentworth (1922) (SUGUIO, 1973). Apenas a amostra A4 está na faixa granulométrica de areia fina, com D_{50} igual a 0,1707 mm.

Em relação às amostras de sedimentos coletadas no perfil B (Tabela 4.2), observa-se que B2 e B3 apresentam predominância de areia grossa (32,4% e 34,8%, respectivamente) e areia média (21,5% e 22,9%, concomitantemente). A amostra B4 contém grandes quantidades de areia grossa (32,1%) e de areia muito grossa (26,1%). A amostra B5 é composta, em sua maior parte, por grânulos (30,7%). Salienta-se que a amostra B1 apresenta 49,2% de areia fina, diferenciando-se das demais amostras do perfil B. Verifica-se ainda que as amostras A2, A3 e A4 apresentam valores de D_{50} iguais a 0,5870 mm, 0,5315 mm e 0,8269 mm, respectivamente, os quais são característicos de areia grossa. A amostra A5 apresenta D_{50} igual a 1,0192 mm, valor que está na faixa de areia muito grossa. Finalmente, a amostra A1 tem o valor de D_{50} equivalente a 0,2066 mm, caracterizando a classe granulométrica de areia fina.

Conforme a Tabela 4.2 constata-se que C0 contém 36,8% de areia fina, com D_{50} igual a 0,3114 mm, valor característico de areia média. A amostra C1 apresenta predominância de areia média (32%) e areia grossa (22,8%), com D_{50} equivalente a 0,5117 mm, valor característico de areia grossa. A amostra C2 é composta, em sua maior parte, por areia média (33,2%) e areia grossa (26,7%), com D_{50} de 0,4921 mm, correspondendo à classe granulométrica de areia média. Nas amostras C3 e C5 observam-se maiores quantidades de areia grossa (31,2% e 43,3%, respectivamente) e areia muito grossa (30,6% e 40,8%, concomitantemente). Os correspondentes valores de D_{50} para as amostras C3 e C5 são 0,8507 mm e 0,9782 mm. Na amostra C4 constata-se que há predominância de areia grossa (30,2%) e areia média (23,2%), e o valor de D_{50} é 0,6169 mm, caracterizando areia grossa.

Em relação às amostras de sedimentos coletadas no perfil D (Tabela 4.2), verifica-se que a amostra D1 contém grandes quantidades de areia média (39,4%) e areia fina (47,6%), com D_{50} equivalente a 0,23 mm, caracterizando a classe granulométrica de areia fina. A amostra D2 apresenta as maiores frações de areia média (26,3%) e areia grossa (23,6%), com D_{50} igual a

0,5361mm, caracterizando a classe de areia grossa. Já a amostra D3 contém maiores quantidades de areia fina (29,2%), areia grossa (23,5%) e areia muito grossa (21,9%), com D_{50} equivalente a 0,4475 mm, correspondendo à classe granulométrica de areia média. A amostra D4 contém grandes quantidades de areia muito grossa (33,4%) e areia grossa (30,4%), com D_{50} igual a 0,8264 mm, caracterizando areia grossa. Por fim, a amostra D5 apresenta predominância de areia média (29,8%), areia muito grossa (23,3%) e areia grossa (21,8%), com D_{50} de 0,5191 mm, correspondente à classe de areia grossa.

Em relação aos pontos de coleta de sedimentos na barra do Arroio Carahá, constata-se que há predominância de areia muito grossa e areia grossa, conforme se observa na Tabela 4.3. Na composição da amostra Barra 1, constata-se que há 43,3% de areia grossa e 38,5% de areia muito grossa. E as amostras Barra 2 e Barra 3 apresentam valores de 38,9% e 44,5%, respectivamente, para areia muito grossa; e valores de 26,8% e 31,1% para areia grossa. Nota-se que as amostras Barra 1, Barra 2 e Barra 3 apresentam, concomitantemente, 0,9229 mm, 1,3633 mm e 1,1981 mm para o D_{50} . Portanto, as amostras Barra 2 e Barra 3 são características de areia muito grossa; e a amostra Barra 1 representa a classe granulométrica de areia grossa.

Através da Tabela 4.4, observa-se que as amostras Canal 1 e Canal 3 apresentam predominância de areia grossa (29,8% e 39,3%, respectivamente) e areia muito grossa (41,5% e 27,6%, concomitantemente). A amostra Canal 2 possui predominância de areia grossa (51,9%). A amostra Canal 4 é composta, em sua maior parte, por areia média (68,6%). Verifica-se que a amostra Canal 1 apresenta valor de D_{50} iguais a 1,1637 mm, o qual é característico de areia muito grossa. As amostras Canal 2 e Canal 3 apresentam D_{50} de 0,5600 mm e 0,7864 mm, respectivamente, valores que estão na faixa de areia grossa. Finalmente, a amostra Canal 4 possui D_{50} de 0,3482 mm, caracterizando a classe granulométrica de areia média.

De acordo com a Tabela 4.5, referente às coletas de sedimentos realizadas durante a Campanha 2, observa-se que a maioria das amostras contém grandes frações de areia média, areia grossa, areia muito grossa e grânulos, com exceção da amostra P9 49, à qual apresenta 30,6% de material fino. As amostras que contém maiores quantidades de areia grossa são P1, P7 47 e PB 45, com respectivamente, 50,6%, 50,8% e 30,7%. Nas amostras P2, P3, P5 43 e P8 48 são encontradas as maiores quantidades de grânulo, com os respectivos valores de 43,4%, 43,8%, 36,5% e 41,8%. Finalmente, as amostras P50 50, P6 46, 42 P4 e P6 44 contém em sua maior parte presença de areia média, com 37,7%, 30,1%, 31,6% e 37,6%, concomitantemente. Verifica-se também que as amostras P1, P5 43, P6 46, 42 P4, P7 47 e PB 45 correspondem à classe granulométrica de areia grossa, pois apresentam valores de D_{50} equivalentes a 0,5490 mm,

0,8833 mm, 0,5621 mm, 0,5563 mm, 0,8499 mm, 0,8641 mm, respectivamente. Já as amostras P2, P3 e P8 48 têm D_{50} iguais a 1,6438 mm, 1,6527 mm, 1,2665 mm, concomitantemente, representando a classe de areia muito grossa. A classe granulométrica de areia média é observada nas amostras P9 49, P6 44 e P50 50, pois contêm D_{50} de 0,2380 mm, 0,4181 mm e 0,3585 mm, respectivamente.

Conforme a Figura 4.2 verifica-se que os valores de D_{50} ao longo de cada perfil (A, B, C e D) apresentam muitas variações. Não se constatou uma tendência geral na diminuição do valor de D_{50} ao longo destes perfis. Já os valores de D_{50} das amostras coletadas dentro do canal do Arroio Carahá apresentam a tendência geral de diminuir conforme se distanciam da foz.

O principal objetivo desta Seção era determinar o valor de D_{50} característico para a enseada de São Lourenço do Sul para, então, simular o modelo morfológico. Desta forma, inicialmente calculou-se o valor médio do D_{50} para as amostras coletadas na Barra (Barra 1, Barra 2 e Barra 3), e obteve-se como resultado o valor de 1,16 mm, caracterizando areia muito grossa. Os sedimentos mais grossos podem estar presentes nesta região devido à influência de área fonte associada a formações geológicas mais antigas ocorrentes na margem oeste da Lagoa dos Patos. Conforme descrito na Seção 4.4.4, os resultados da simulação morfológica dos 36 cenários (ondas e ventos), realizada com D_{50} de 1,16 mm, não apresentaram significativos valores de taxas de transporte de sedimentos, indicando que, especificamente para estes casos, não há energia suficiente para transportar grãos da classe de areia muito grossa. Portanto, calculou-se o valor médio do D_{50} para as amostras indicadas na Tabela 4.2, com exceção da amostra B5 que é característica de areia muito grossa. Assim, o valor médio de D_{50} adquirido foi de 0,564 mm, o qual foi utilizado para simular o modelo morfológico.

Determinou-se também o valor médio do D_{50} para as amostras indicadas na Tabela 4.5 (com exceção das amostras de areia muito grossa) e obteve-se como resultado 0,587 mm. Embora não se conheçam os locais exatos das amostras de sedimentos coletadas durante a Campanha 2, pois os registros foram extraviados, conforme informado no Capítulo 3 (Seção 3.3.1), verifica-se que o valor médio de D_{50} é aproximadamente igual ao valor médio de D_{50} calculado para as amostras da Tabela 4.2.

4.3.2 Levantamento Batimétrico

O mapa batimétrico da Lagoa dos Patos, obtido através da digitalização de cartas náuticas e da interpolação de dados de profundidade, conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.3.2, está apresentado na Figura 4.3.

O mapa batimétrico construído a partir da interpolação de dados de profundidades adquiridos através da ecossonda conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.3.2, pode ser visualizado na Figura 4.4.

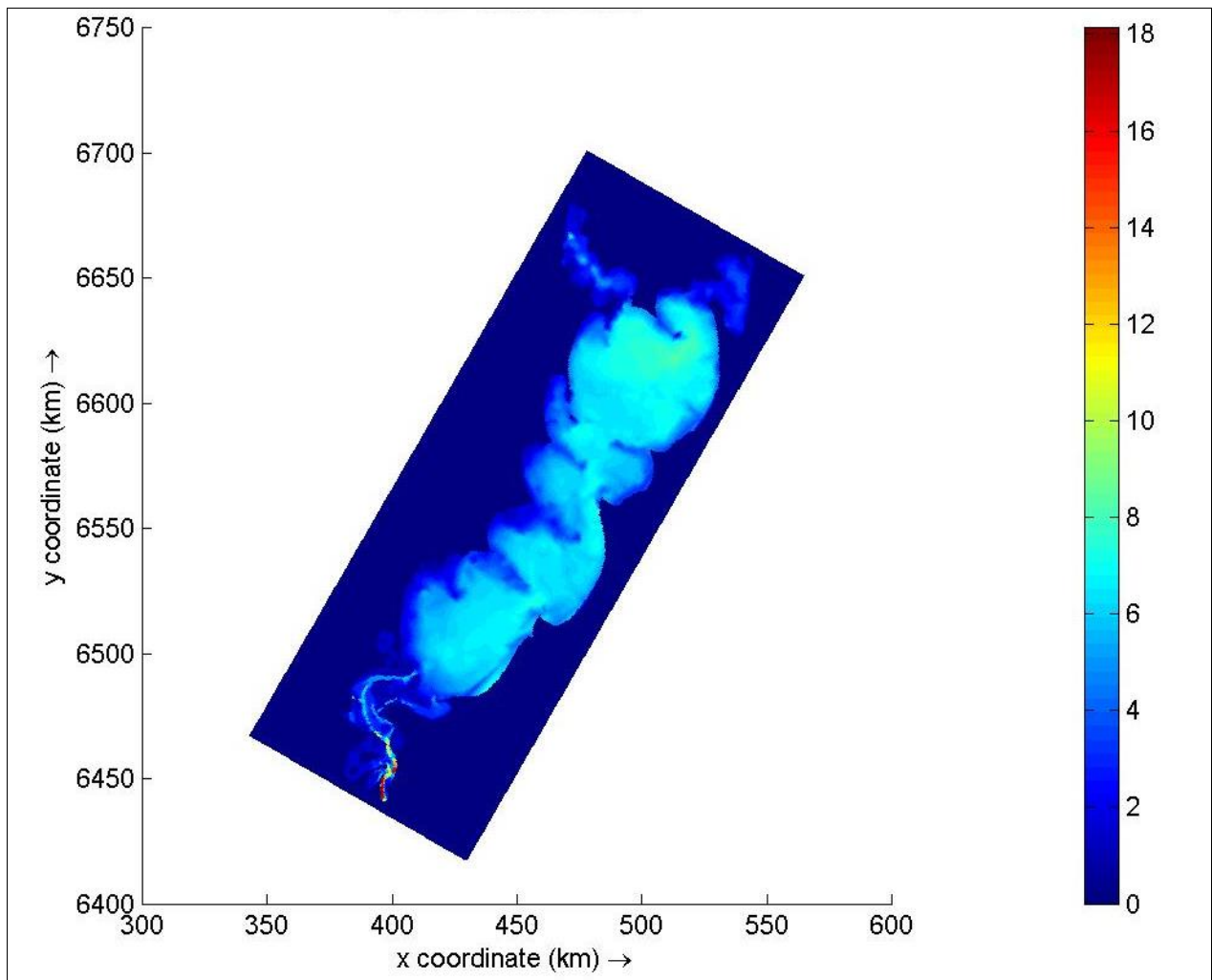


Figura 4.3: Mapa batimétrico da Lagoa dos Patos - RS.
Coordenadas métricas UTM. Escala de cores em metros.

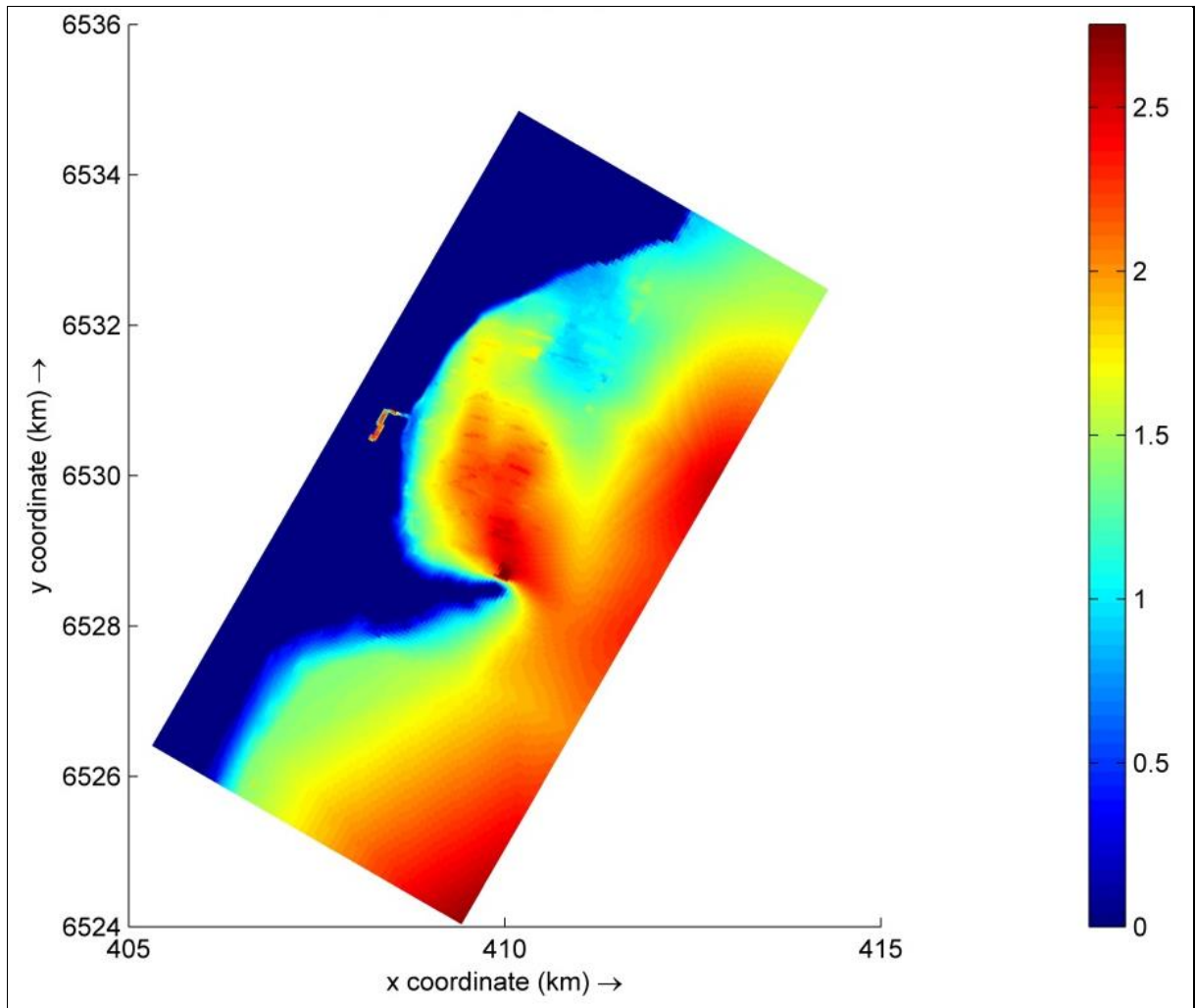


Figura 4.4: Mapa batimétrico da enseada em São Lourenço do Sul – RS.
Coordenadas métricas UTM. Escala de cores em metro.

4.3.3 Resultados das Análises de Dados de Ventos

A partir das análises das quantidades de ocorrências de ventos medidos na Praticagem da Barra do Rio Grande, de acordo com as direções e com a classe de intensidade (em intervalos de 3 m/s), conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.3.3, obtiveram-se como resultados as frequências de ocorrência, as rosas de ventos e os histogramas.

As Tabelas 4.6 a 4.19 apresentam, respectivamente, as quantidades e frequências de ocorrências de ventos atuantes em cada classe conforme as direções e intensidades para cada ano analisado (2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010), segundo registros efetuados na Praticagem. Já as Tabelas 4.20 e 4.21 apresentam as correspondentes quantidades e frequências de ocorrências de ventos para todo período estudado (2004 a 2010).

Concomitantemente, nas Tabelas 4.22 a 4.29 são apresentadas quantidades e frequências de ocorrências de ventos para cada estação (primavera, verão, outono e inverno) referentes à série temporal de 2004 a 2010. E na Tabela 4.30 são mostradas as frequências de ocorrências de direções de ventos atuantes nas estações do ano, conforme dados coletados na Praticagem, durante o período de 2004 a 2010.

As Figuras 4.5 a 4.18 ilustram, respectivamente, as rosas de ventos e os histogramas das classes de ventos para cada ano (2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010), conforme medições na Praticagem. Já as Figuras 4.19 e 4.20 mostram as rosas de ventos e os histogramas de classes de ventos para todo período analisado (2004 a 2010).

As rosas de ventos e os histogramas referentes a cada estação do ano são ilustrados nas Figuras 4.21 a 4.28, respectivamente. Já os histogramas de direções de ventos atuantes nas estações do ano, conforme dados coletados na Praticagem durante o período de 2004 a 2010, são mostrados na Figura 4.29.

Os resultados referentes aos cálculos de desvio padrão, conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.3.3, estão expostos nas Tabelas 4.31 a 4.37, correspondentes aos anos de 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010. A Tabela 4.38 mostra os resultados de desvio padrão médio anual.

Tabela 4.6: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	108	116	114	51	54	61	55	54	69	73	65	104	158	81	70	69	1302
3,1 - 6,0	129	340	417	264	258	252	204	210	278	247	131	326	283	129	56	43	3567
6,1 - 9,0	25	341	383	454	287	178	92	72	123	184	88	131	81	26	6	2	2473
9,1 - 12,0	0	180	222	373	132	72	25	29	33	24	4	39	15	11	1	0	1160
> 12,0	0	53	51	114	1	6	7	3	11	1	0	6	1	1	0	0	255
Total	262	1030	1187	1256	732	569	383	368	514	529	288	606	538	248	133	114	8757

Tabela 4.7: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,233	1,325	1,302	0,582	0,617	0,697	0,628	0,617	0,788	0,834	0,742	1,188	1,804	0,925	0,799	0,788	14,868
3,1 - 6,0	1,473	3,883	4,762	3,015	2,946	2,878	2,330	2,398	3,175	2,821	1,496	3,723	3,232	1,473	0,639	0,491	40,733
6,1 - 9,0	0,285	3,894	4,374	5,184	3,277	2,033	1,051	0,822	1,405	2,101	1,005	1,496	0,925	0,297	0,069	0,023	28,240
9,1 - 12,0	0,000	2,055	2,535	4,259	1,507	0,822	0,285	0,331	0,377	0,274	0,046	0,445	0,171	0,126	0,011	0,000	13,247
> 12,0	0,000	0,605	0,582	1,302	0,011	0,069	0,080	0,034	0,126	0,011	0,000	0,069	0,011	0,011	0,000	0,000	2,912
Total	2,992	11,762	13,555	14,343	8,359	6,498	4,374	4,202	5,870	6,041	3,289	6,920	6,144	2,832	1,519	1,302	100,000

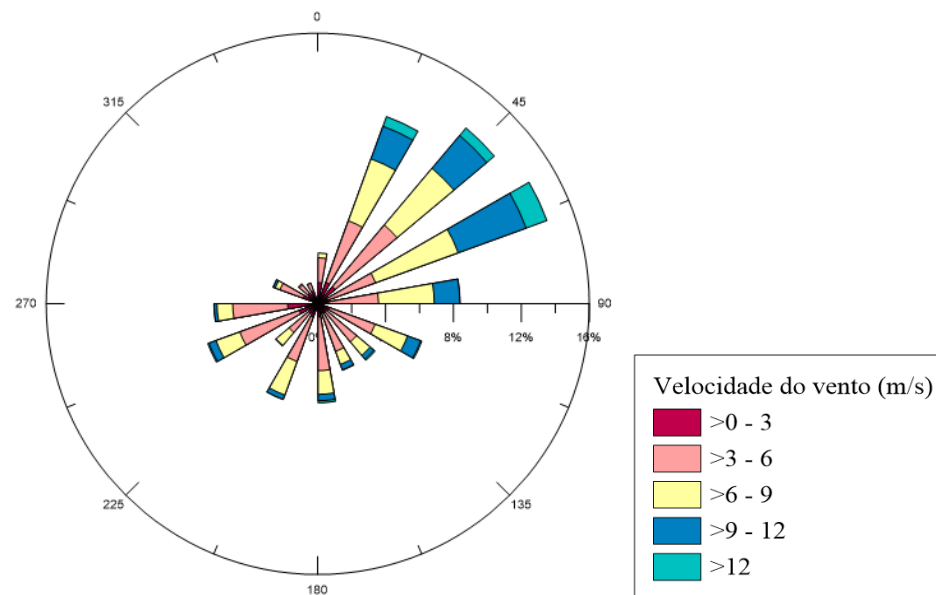


Figura 4.5: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2004.

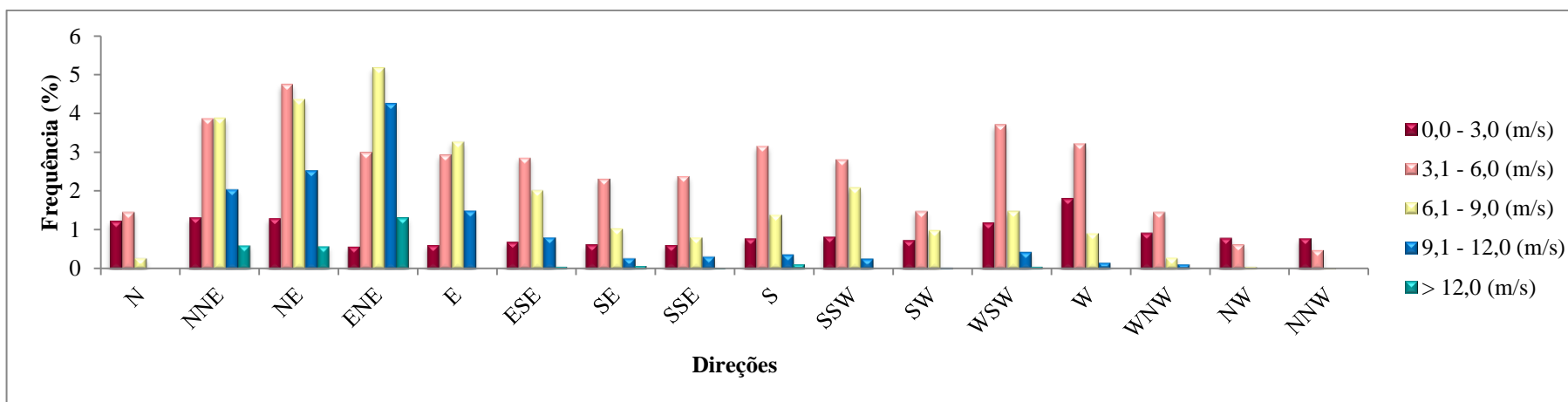


Figura 4.6: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004.

Tabela 4.8: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2005.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	128	76	103	53	67	73	61	64	66	74	50	74	164	104	75	94	1326
3,1 - 6,0	249	490	417	267	249	267	226	244	282	260	106	277	233	120	46	43	3776
6,1 - 9,0	42	334	309	382	250	124	91	79	206	271	89	132	39	14	10	7	2379
9,1 - 12,0	3	139	201	303	111	36	22	35	46	49	36	20	25	13	0	0	1039
> 12,0	0	46	43	72	11	2	4	6	4	2	9	3	7	0	0	0	209
Total	422	1085	1073	1077	688	502	404	428	604	656	290	506	468	251	131	144	8729

Tabela 4.9: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2005.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,466	0,871	1,180	0,607	0,768	0,836	0,699	0,733	0,756	0,848	0,573	0,848	1,879	1,191	0,859	1,077	15,191
3,1 - 6,0	2,853	5,613	4,777	3,059	2,853	3,059	2,589	2,795	3,231	2,979	1,214	3,173	2,669	1,375	0,527	0,493	43,258
6,1 - 9,0	0,481	3,826	3,540	4,376	2,864	1,421	1,043	0,905	2,360	3,105	1,020	1,512	0,447	0,160	0,115	0,080	27,254
9,1 - 12,0	0,034	1,592	2,303	3,471	1,272	0,412	0,252	0,401	0,527	0,561	0,412	0,229	0,286	0,149	0,000	0,000	11,903
> 12,0	0,000	0,527	0,493	0,825	0,126	0,023	0,046	0,069	0,046	0,023	0,103	0,034	0,080	0,000	0,000	0,000	2,394
Total	4,834	12,430	12,292	12,338	7,882	5,751	4,628	4,903	6,919	7,515	3,322	5,797	5,361	2,875	1,501	1,650	100,000

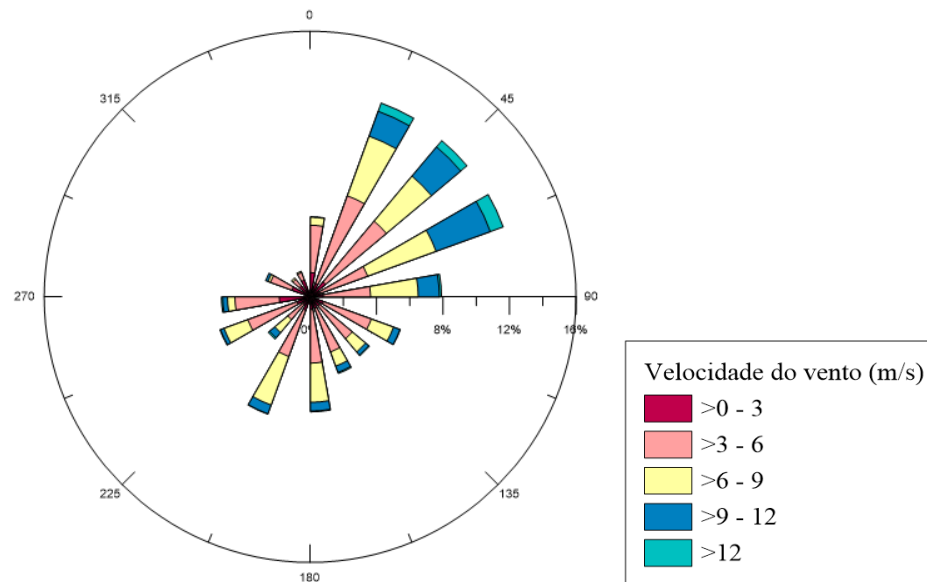


Figura 4.7: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2005.

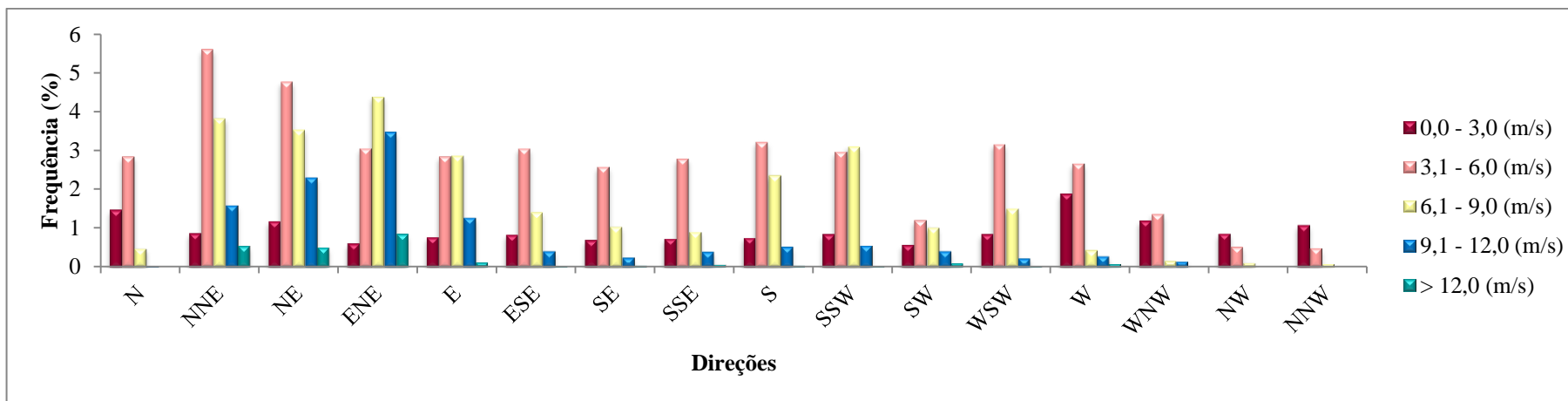


Figura 4.8: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2005.

Tabela 4.10: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2006.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	103	100	100	61	59	78	79	90	54	77	69	109	174	103	50	72	1378
3,1 - 6,0	175	357	424	323	302	326	246	279	257	311	164	311	246	109	43	28	3901
6,1 - 9,0	36	278	405	374	232	152	113	101	155	153	89	144	79	19	7	0	2337
9,1 - 12,0	5	168	208	216	63	19	28	33	20	10	29	78	31	6	1	0	915
> 12,0	0	35	73	24	0	0	9	4	2	2	3	4	3	1	0	0	160
Total	319	938	1210	998	656	575	475	507	488	553	354	646	533	238	101	100	8691

Tabela 4.11: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2006.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,185	1,151	1,151	0,702	0,679	0,897	0,909	1,036	0,621	0,886	0,794	1,254	2,002	1,185	0,575	0,828	15,855
3,1 - 6,0	2,014	4,108	4,879	3,716	3,475	3,751	2,831	3,210	2,957	3,578	1,887	3,578	2,831	1,254	0,495	0,322	44,886
6,1 - 9,0	0,414	3,199	4,660	4,303	2,669	1,749	1,300	1,162	1,783	1,760	1,024	1,657	0,909	0,219	0,081	0,000	26,890
9,1 - 12,0	0,058	1,933	2,393	2,485	0,725	0,219	0,322	0,380	0,230	0,115	0,334	0,897	0,357	0,069	0,012	0,000	10,528
> 12,0	0,000	0,403	0,840	0,276	0,000	0,000	0,104	0,046	0,023	0,023	0,035	0,046	0,035	0,012	0,000	0,000	1,841
Total	3,670	10,793	13,922	11,483	7,548	6,616	5,465	5,834	5,615	6,363	4,073	7,433	6,133	2,738	1,162	1,151	100,000

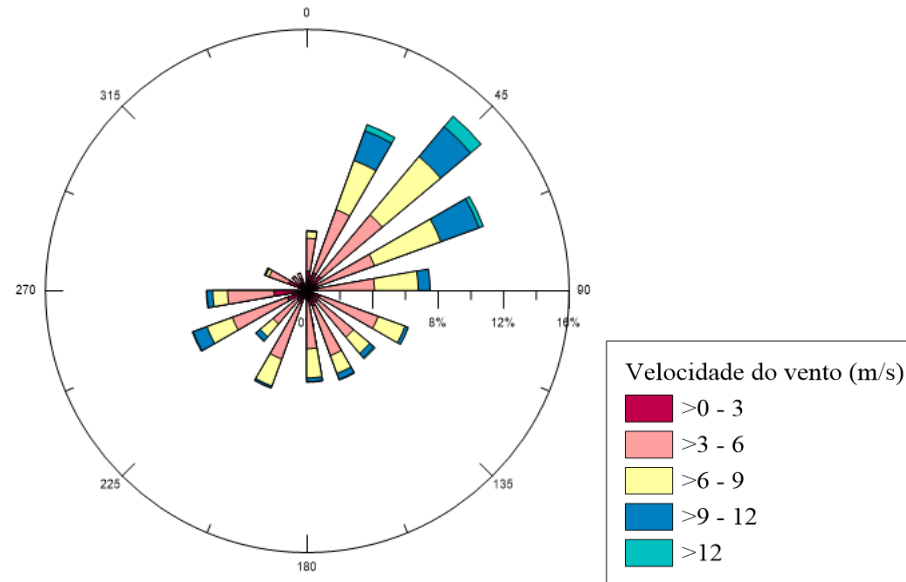


Figura 4.9: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2006.

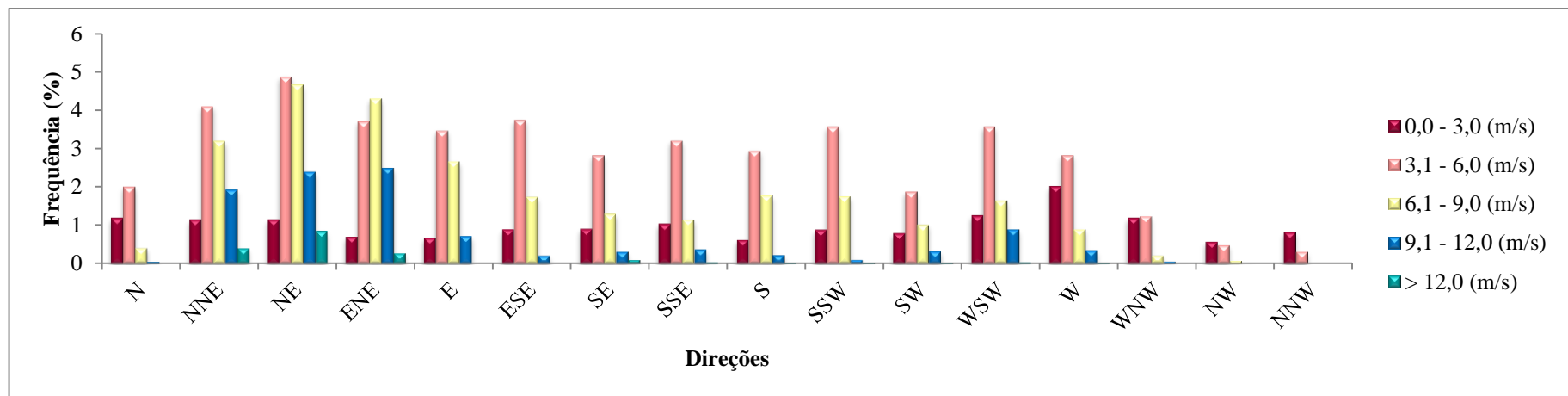


Figura 4.10: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2006.

Tabela 4.12: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2007.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	179	118	122	89	77	91	78	59	76	110	80	129	298	237	189	85	2017
3,1 - 6,0	195	306	434	308	258	197	192	186	215	194	141	224	246	115	38	17	3266
6,1 - 9,0	80	292	406	330	156	119	146	126	139	133	68	149	116	10	0	0	2270
9,1 - 12,0	13	135	230	231	47	36	24	26	18	22	17	46	22	1	0	0	868
> 12,0	3	39	47	38	6	0	1	0	3	0	3	5	8	0	0	0	153
Total	470	890	1239	996	544	443	441	397	451	459	309	553	690	363	227	102	8574

Tabela 4.13: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2007.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	2,088	1,376	1,423	1,038	0,898	1,061	0,910	0,688	0,886	1,283	0,933	1,505	3,476	2,764	2,204	0,991	23,525
3,1 - 6,0	2,274	3,569	5,062	3,592	3,009	2,298	2,239	2,169	2,508	2,263	1,645	2,613	2,869	1,341	0,443	0,198	38,092
6,1 - 9,0	0,933	3,406	4,735	3,849	1,819	1,388	1,703	1,470	1,621	1,551	0,793	1,738	1,353	0,117	0,000	0,000	26,475
9,1 - 12,0	0,152	1,575	2,683	2,694	0,548	0,420	0,280	0,303	0,210	0,257	0,198	0,537	0,257	0,012	0,000	0,000	10,124
> 12,0	0,035	0,455	0,548	0,443	0,070	0,000	0,012	0,000	0,035	0,000	0,035	0,058	0,093	0,000	0,000	0,000	1,784
Total	5,482	10,380	14,451	11,617	6,345	5,167	5,143	4,630	5,260	5,353	3,604	6,450	8,048	4,234	2,648	1,190	100,000

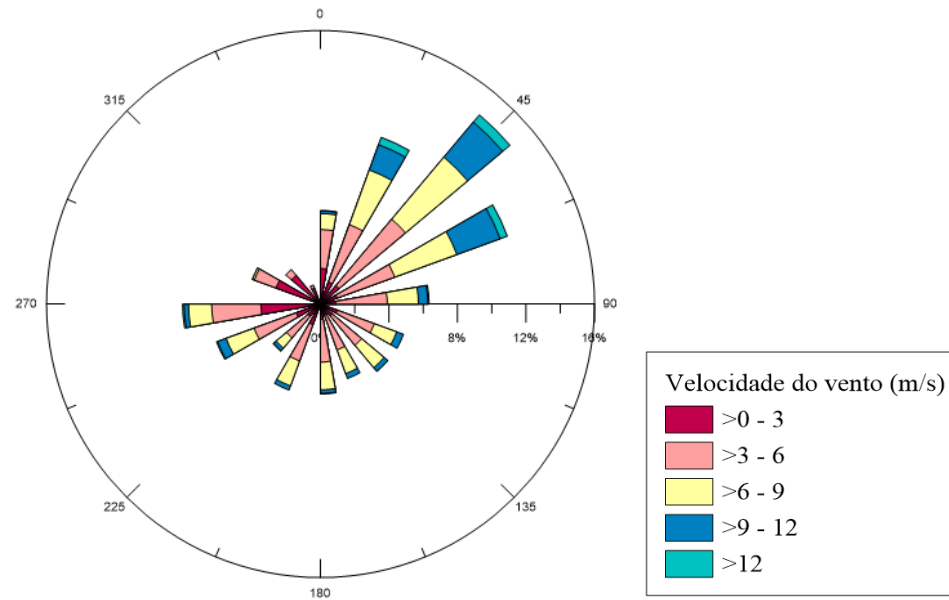


Figura 4.11: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2007.

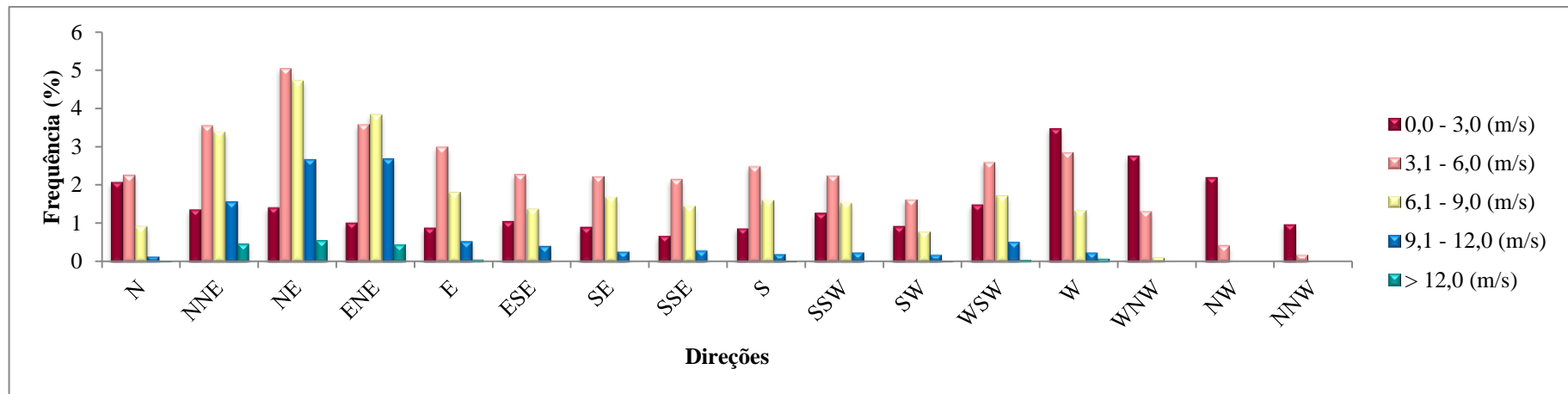


Figura 4.12: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2007.

Tabela 4.14: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2008.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	109	75	135	57	55	82	91	71	52	65	55	102	176	109	112	67	1413
3,1 - 6,0	207	306	421	356	338	323	259	182	175	200	99	217	300	155	115	60	3713
6,1 - 9,0	105	153	354	491	284	153	108	99	121	131	75	77	83	21	4	1	2260
9,1 - 12,0	11	104	218	405	71	33	42	15	34	24	8	19	53	15	1	0	1053
> 12,0	2	18	108	62	2	5	8	3	4	5	3	1	20	8	0	1	250
Total	434	656	1236	1371	750	596	508	370	386	425	240	416	632	308	232	129	8689

Tabela 4.15: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2008.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,254	0,863	1,554	0,656	0,633	0,944	1,047	0,817	0,598	0,748	0,633	1,174	2,026	1,254	1,289	0,771	16,262
3,1 - 6,0	2,382	3,522	4,845	4,097	3,890	3,717	2,981	2,095	2,014	2,302	1,139	2,497	3,453	1,784	1,324	0,691	42,732
6,1 - 9,0	1,208	1,761	4,074	5,651	3,269	1,761	1,243	1,139	1,393	1,508	0,863	0,886	0,955	0,242	0,046	0,012	26,010
9,1 - 12,0	0,127	1,197	2,509	4,661	0,817	0,380	0,483	0,173	0,391	0,276	0,092	0,219	0,610	0,173	0,012	0,000	12,119
> 12,0	0,023	0,207	1,243	0,714	0,023	0,058	0,092	0,035	0,046	0,058	0,035	0,012	0,230	0,092	0,000	0,012	2,877
Total	4,995	7,550	14,225	15,779	8,632	6,859	5,846	4,258	4,442	4,891	2,762	4,788	7,274	3,545	2,670	1,485	100,000

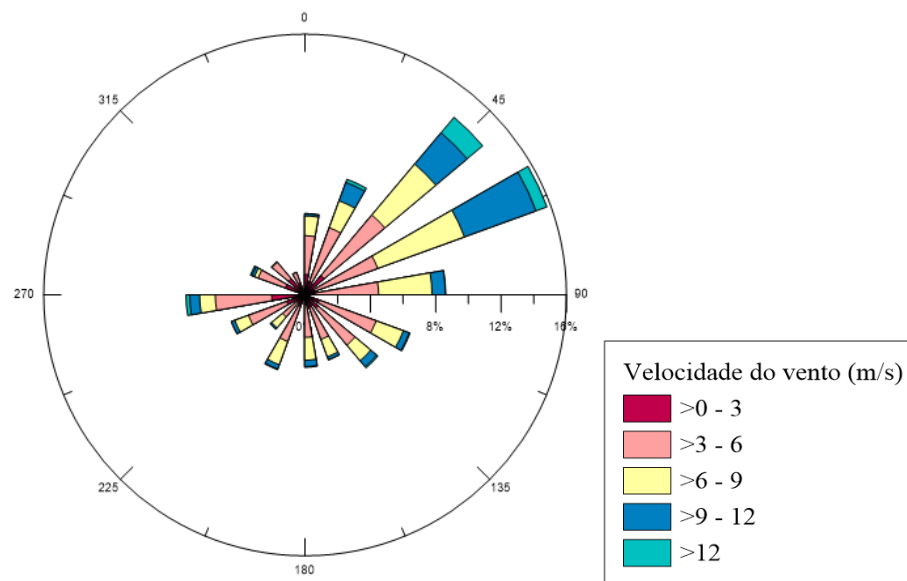


Figura 4.13: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2008.

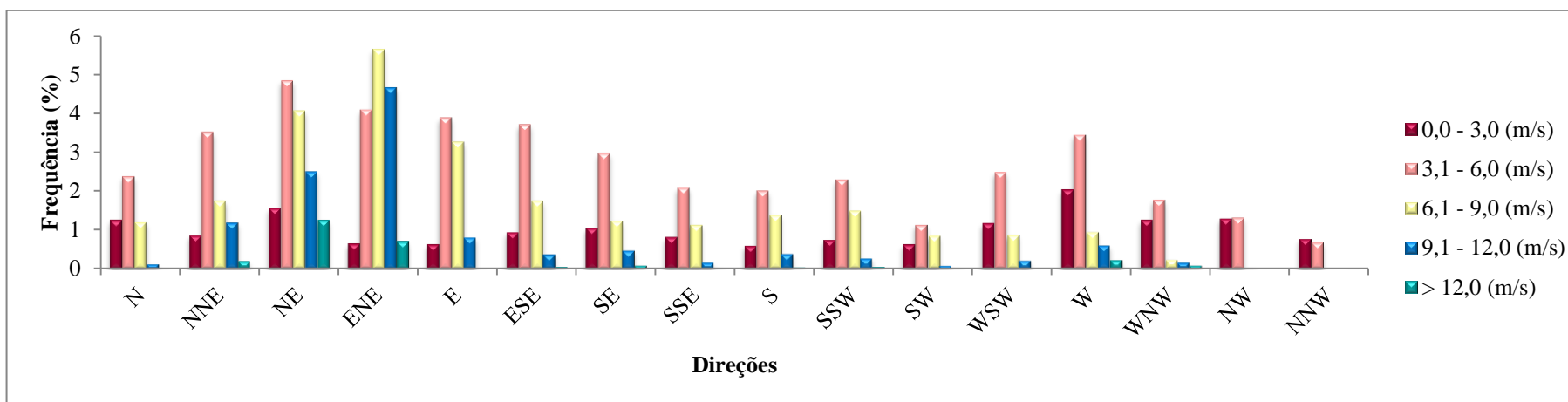


Figura 4.14: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2008.

Tabela 4.16: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2009.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	129	89	193	76	59	63	59	41	36	56	46	89	165	69	52	69	1291
3,1 - 6,0	233	341	504	282	294	247	218	242	226	167	103	272	310	198	127	54	3818
6,1 - 9,0	158	148	324	390	238	180	133	189	190	98	42	72	120	43	14	1	2340
9,1 - 12,0	56	76	171	280	106	70	33	50	89	26	2	11	48	21	4	0	1043
> 12,0	6	31	44	42	34	8	20	19	2	0	0	1	4	9	2	0	222
Total	582	685	1236	1070	731	568	463	541	543	347	193	445	647	340	199	124	8714

Tabela 4.17: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2009.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,480	1,021	2,215	0,872	0,677	0,723	0,677	0,471	0,413	0,643	0,528	1,021	1,894	0,792	0,597	0,792	14,815
3,1 - 6,0	2,674	3,913	5,784	3,236	3,374	2,835	2,502	2,777	2,594	1,916	1,182	3,121	3,557	2,272	1,457	0,620	43,815
6,1 - 9,0	1,813	1,698	3,718	4,476	2,731	2,066	1,526	2,169	2,180	1,125	0,482	0,826	1,377	0,493	0,161	0,011	26,853
9,1 - 12,0	0,643	0,872	1,962	3,213	1,216	0,803	0,379	0,574	1,021	0,298	0,023	0,126	0,551	0,241	0,046	0,000	11,969
> 12,0	0,069	0,356	0,505	0,482	0,390	0,092	0,230	0,218	0,023	0,000	0,000	0,011	0,046	0,103	0,023	0,000	2,548
Total	6,679	7,861	14,184	12,279	8,389	6,518	5,313	6,208	6,231	3,982	2,215	5,107	7,425	3,902	2,284	1,423	100,000

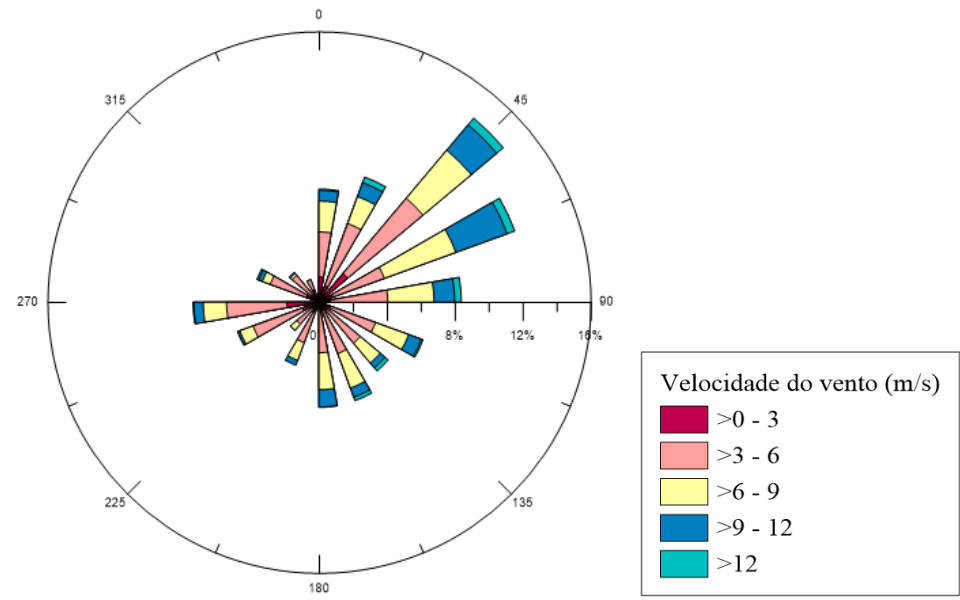


Figura 4.15: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2009.

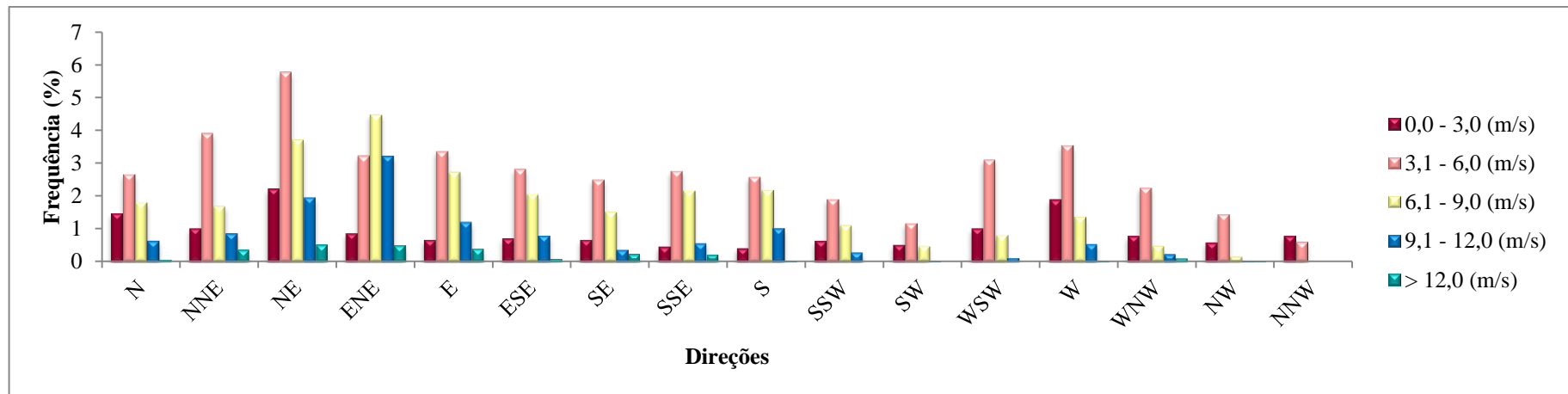


Figura 4.16: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2009.

Tabela 4.18: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	126	115	92	44	58	86	53	40	47	43	35	112	142	89	77	77	1236
3,1 - 6,0	363	355	375	261	315	316	354	264	234	122	86	309	277	171	73	51	3926
6,1 - 9,0	249	183	262	319	250	225	141	132	165	71	54	94	121	44	23	3	2336
9,1 - 12,0	96	111	250	208	86	53	12	34	29	8	14	12	29	13	4	1	960
> 12,0	11	24	74	42	4	19	6	3	5	2	3	2	12	5	1	0	213
Total	845	788	1053	874	713	699	566	473	480	246	192	529	581	322	178	132	8671

Tabela 4.19: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,453	1,326	1,061	0,507	0,669	0,992	0,611	0,461	0,542	0,496	0,404	1,292	1,638	1,026	0,888	0,888	14,254
3,1 - 6,0	4,186	4,094	4,325	3,010	3,633	3,644	4,083	3,045	2,699	1,407	0,992	3,564	3,195	1,972	0,842	0,588	45,277
6,1 - 9,0	2,872	2,110	3,022	3,679	2,883	2,595	1,626	1,522	1,903	0,819	0,623	1,084	1,395	0,507	0,265	0,035	26,940
9,1 - 12,0	1,107	1,280	2,883	2,399	0,992	0,611	0,138	0,392	0,334	0,092	0,161	0,138	0,334	0,150	0,046	0,012	11,071
> 12,0	0,127	0,277	0,853	0,484	0,046	0,219	0,069	0,035	0,058	0,023	0,035	0,023	0,138	0,058	0,012	0,000	2,456
Total	9,745	9,088	12,144	10,080	8,223	8,061	6,528	5,455	5,536	2,837	2,214	6,101	6,700	3,714	2,053	1,522	100,000

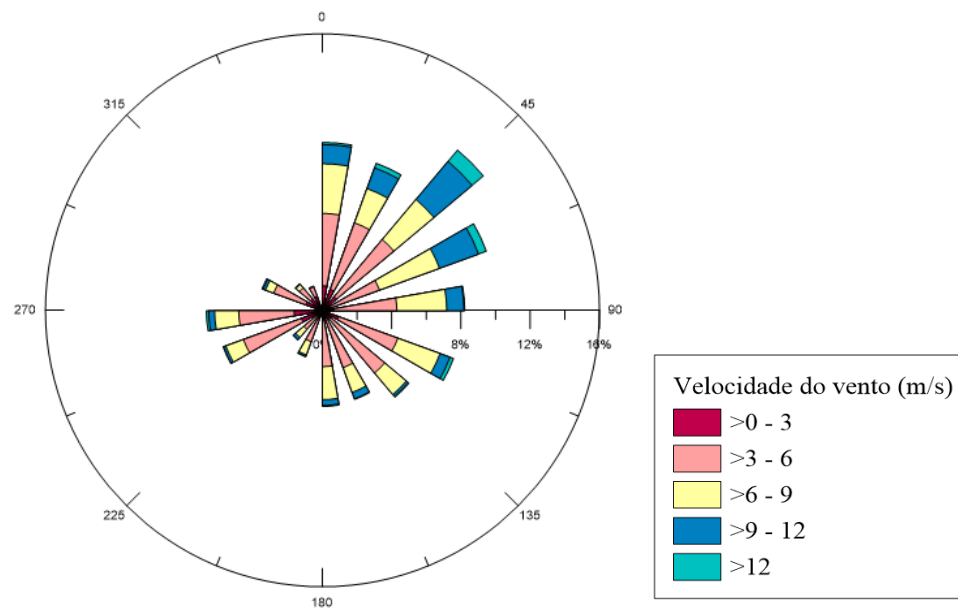


Figura 4.17: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o ano de 2010.

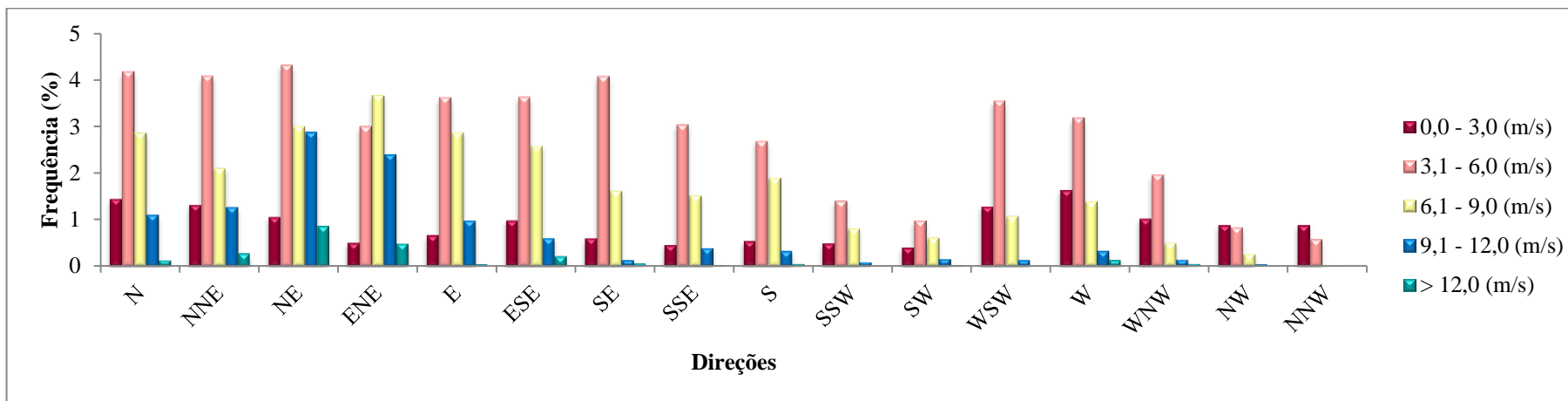


Figura 4.18: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2010.

Tabela 4.20: Quantidades de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	881	689	859	431	429	534	476	419	400	498	400	719	1277	792	625	534	9963
3,1 - 6,0	1551	2495	2992	2060	2014	1928	1699	1607	1667	1501	830	1936	1895	997	498	296	25966
6,1 - 9,0	695	1728	2442	2740	1696	1131	825	797	1099	1041	505	799	639	177	64	14	16392
9,1 - 12,0	184	913	1500	2016	616	319	186	222	269	163	110	225	223	80	11	1	7038
> 12,0	22	246	440	394	58	40	55	38	31	12	21	22	55	24	3	1	1462
Total	3333	6071	8233	7641	4813	3952	3241	3083	3466	3215	1866	3701	4089	2070	1201	846	60821

Tabela 4.21: Frequências (%) de ocorrências de ventos de acordo com as direções e com a classe de intensidade (intervalos de 3 m/s), conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,449	1,133	1,412	0,709	0,705	0,878	0,783	0,689	0,658	0,819	0,658	1,182	2,100	1,302	1,028	0,878	16,381
3,1 - 6,0	2,550	4,102	4,919	3,387	3,311	3,170	2,793	2,642	2,741	2,468	1,365	3,183	3,116	1,639	0,819	0,487	42,692
6,1 - 9,0	1,143	2,841	4,015	4,505	2,789	1,860	1,356	1,310	1,807	1,712	0,830	1,314	1,051	0,291	0,105	0,023	26,951
9,1 - 12,0	0,303	1,501	2,466	3,315	1,013	0,524	0,306	0,365	0,442	0,268	0,181	0,370	0,367	0,132	0,018	0,002	11,572
> 12,0	0,036	0,404	0,723	0,648	0,095	0,066	0,090	0,062	0,051	0,020	0,035	0,036	0,090	0,039	0,005	0,002	2,404
Total	5,480	9,982	13,536	12,563	7,913	6,498	5,329	5,069	5,699	5,286	3,068	6,085	6,723	3,403	1,975	1,391	100,000

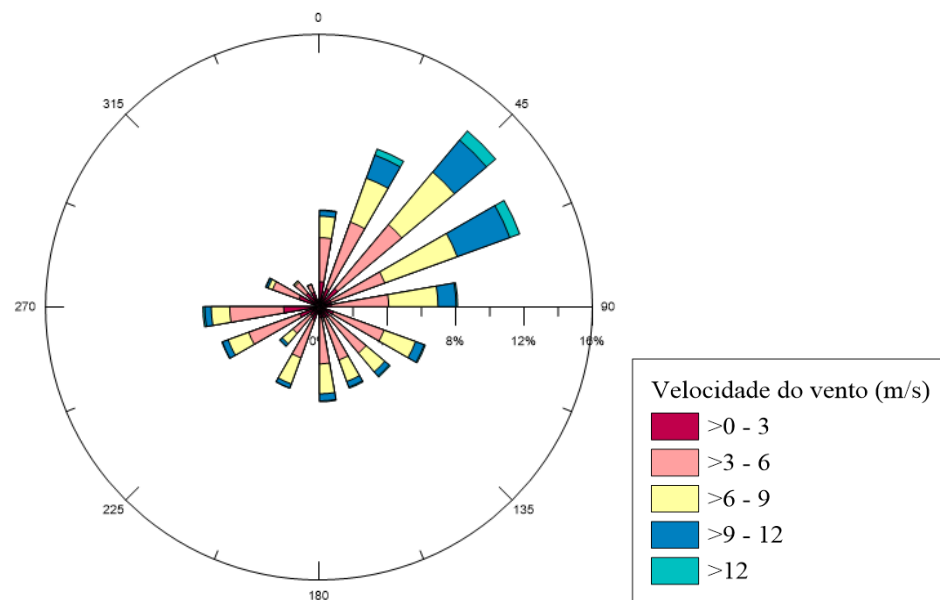


Figura 4.19: Rosa dos ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

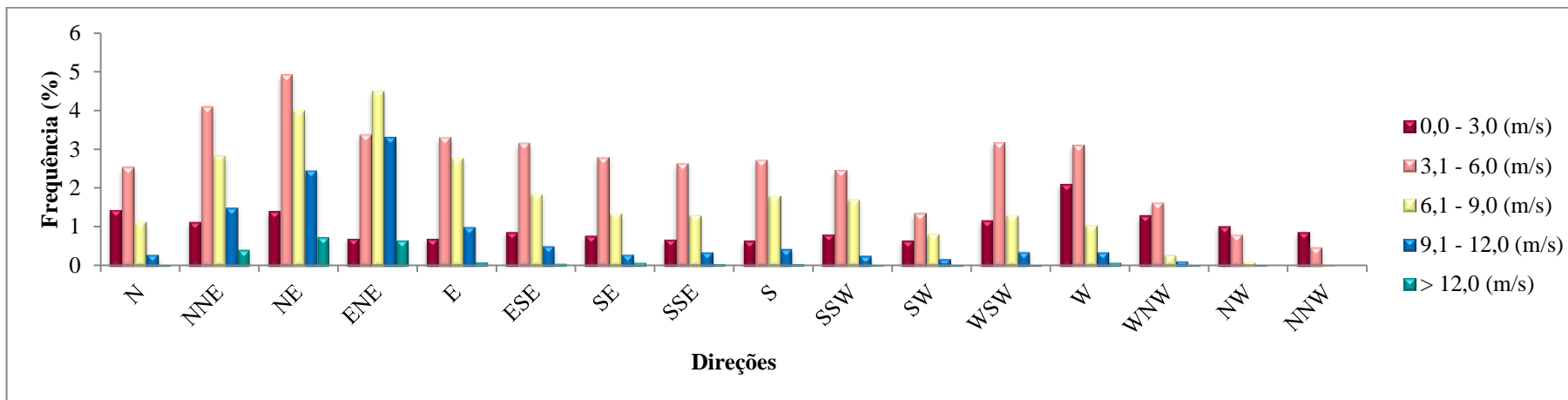


Figura 4.20: Histograma de classes de ventos, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Tabela 4.22: Quantidades de ocorrências de ventos na primavera, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	112	98	168	86	121	132	106	74	73	99	60	116	171	83	84	65	1648
3,1 - 6,0	230	407	739	590	638	605	464	404	441	364	169	288	200	83	40	48	5710
6,1 - 9,0	122	351	805	969	576	347	199	262	415	379	158	141	82	10	1	2	4819
9,1 - 12,0	50	319	616	704	218	87	40	52	125	68	41	49	16	5	0	0	2390
> 12,0	6	117	261	168	8	1	6	20	14	6	5	3	12	1	0	0	628
Total	520	1292	2589	2517	1561	1172	815	812	1068	916	433	597	481	182	125	115	15195

Tabela 4.23: Frequências (%) de ocorrências de ventos na primavera, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	0,737	0,645	1,106	0,566	0,796	0,869	0,698	0,487	0,480	0,652	0,395	0,763	1,125	0,546	0,553	0,428	10,846
3,1 - 6,0	1,514	2,679	4,863	3,883	4,199	3,982	3,054	2,659	2,902	2,396	1,112	1,895	1,316	0,546	0,263	0,316	37,578
6,1 - 9,0	0,803	2,310	5,298	6,377	3,791	2,284	1,310	1,724	2,731	2,494	1,040	0,928	0,540	0,066	0,007	0,013	31,714
9,1 - 12,0	0,329	2,099	4,054	4,633	1,435	0,573	0,263	0,342	0,823	0,448	0,270	0,322	0,105	0,033	0,000	0,000	15,729
> 12,0	0,039	0,770	1,718	1,106	0,053	0,007	0,039	0,132	0,092	0,039	0,033	0,020	0,079	0,007	0,000	0,000	4,133
Total	3,422	8,503	17,038	16,565	10,273	7,713	5,364	5,344	7,029	6,028	2,850	3,929	3,166	1,198	0,823	0,757	100,000

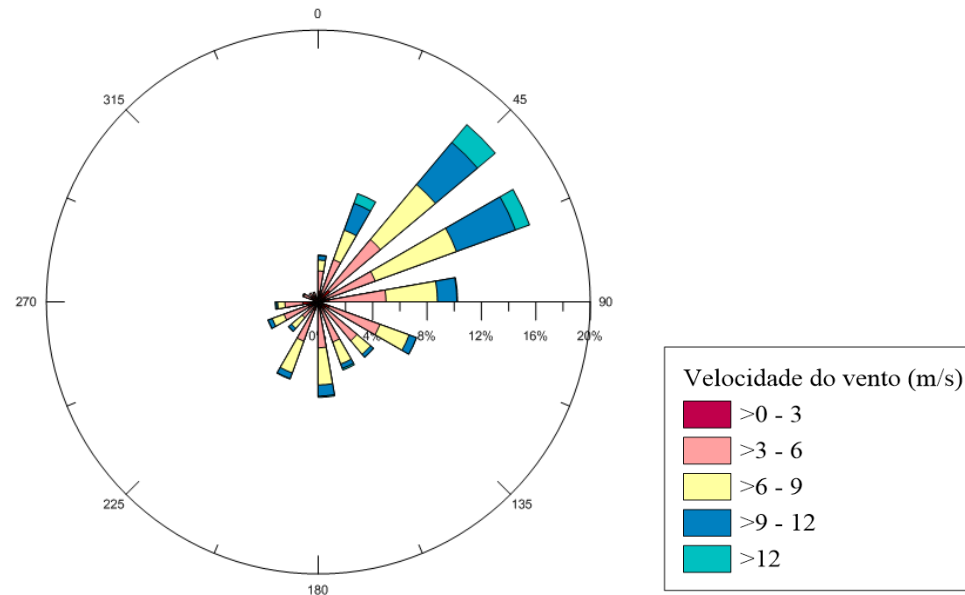


Figura 4.21: Rosa dos ventos característica da primavera, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

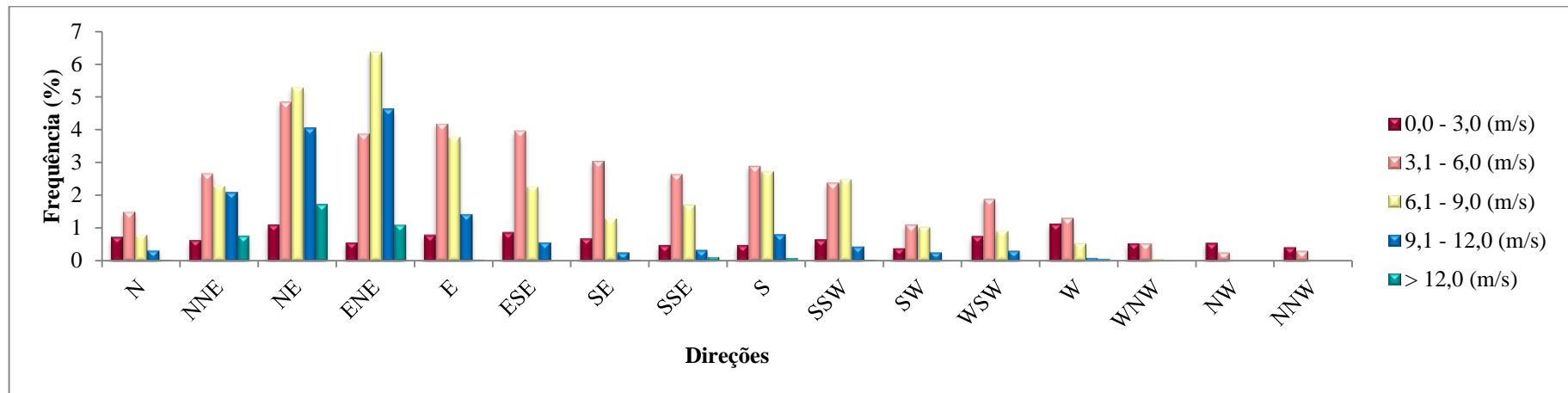


Figura 4.22: Histograma de classes de ventos característico da primavera, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, de 2004 a 2010.

Tabela 4.24: Quantidades de ocorrências de ventos no verão, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	157	106	192	100	79	116	113	79	50	81	54	128	240	150	141	104	1890
3,1 - 6,0	231	454	866	566	673	672	616	520	378	317	82	234	252	118	82	65	6126
6,1 - 9,0	80	332	923	922	680	388	270	208	247	221	72	83	74	29	11	1	4541
9,1 - 12,0	24	174	473	879	225	104	49	69	67	47	3	11	6	9	1	0	2141
> 12,0	1	28	78	176	38	20	14	12	8	4	0	0	2	0	0	0	381
Total	493	1094	2532	2643	1695	1300	1062	888	750	670	211	456	574	306	235	170	15079

Tabela 4.25: Frequências (%) de ocorrências de ventos no verão, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,041	0,703	1,273	0,663	0,524	0,769	0,749	0,524	0,332	0,537	0,358	0,849	1,592	0,995	0,935	0,690	12,534
3,1 - 6,0	1,532	3,011	5,743	3,754	4,463	4,457	4,085	3,449	2,507	2,102	0,544	1,552	1,671	0,783	0,544	0,431	40,626
6,1 - 9,0	0,531	2,202	6,121	6,114	4,510	2,573	1,791	1,379	1,638	1,466	0,477	0,550	0,491	0,192	0,073	0,007	30,115
9,1 - 12,0	0,159	1,154	3,137	5,829	1,492	0,690	0,325	0,458	0,444	0,312	0,020	0,073	0,040	0,060	0,007	0,000	14,199
> 12,0	0,007	0,186	0,517	1,167	0,252	0,133	0,093	0,080	0,053	0,027	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	2,527
Total	3,269	7,255	16,792	17,528	11,241	8,621	7,043	5,889	4,974	4,443	1,399	3,024	3,807	2,029	1,558	1,127	100,000

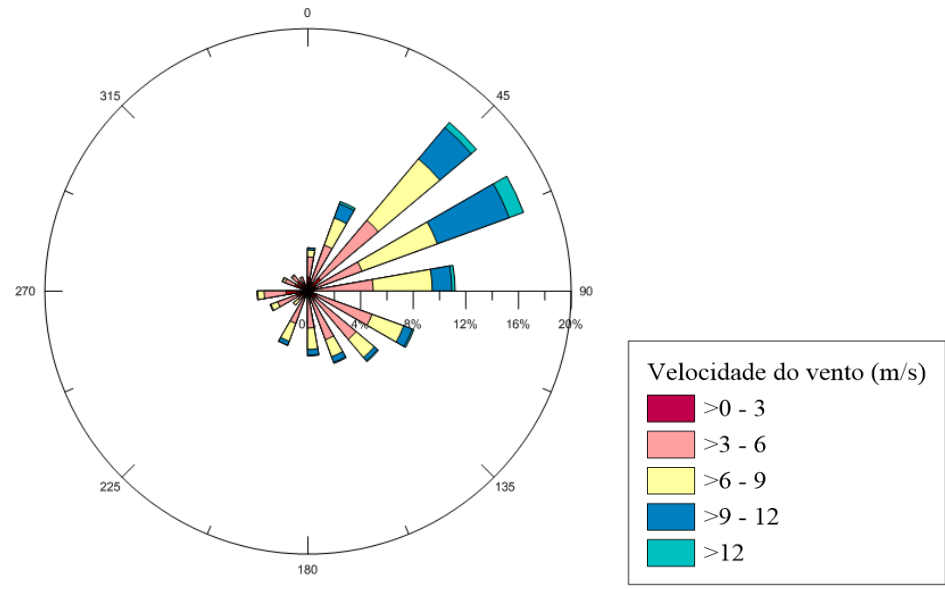


Figura 4.23: Rosa dos ventos característica do verão, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

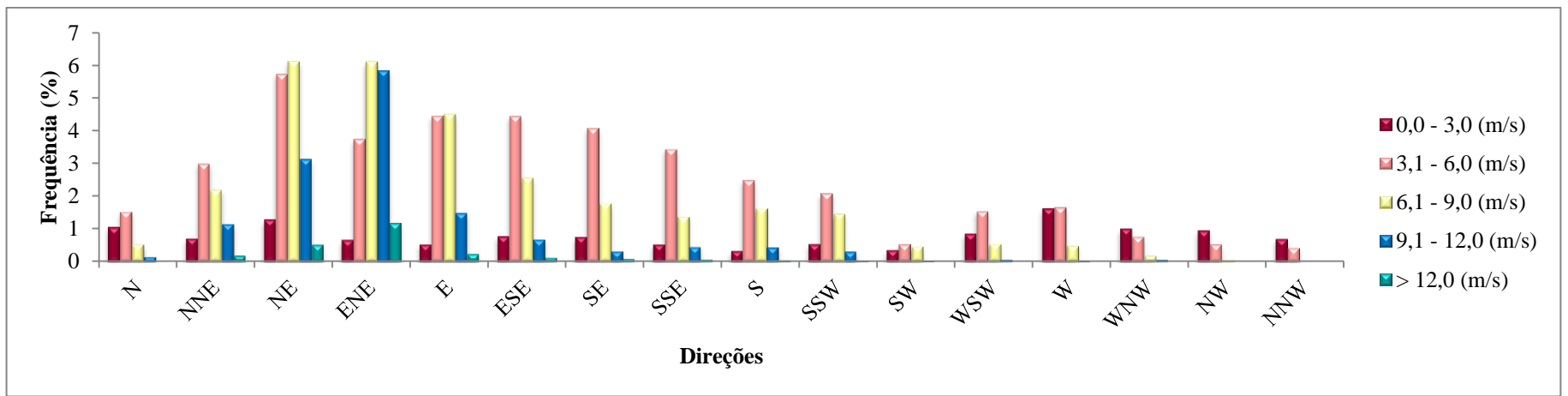


Figura 4.24: Histograma de classes de ventos característico do verão, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Tabela 4.26: Quantidades de ocorrências de ventos no outono, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	325	278	284	129	115	147	120	112	118	119	112	255	498	298	192	163	3265
3,1 - 6,0	485	805	743	468	418	356	310	375	430	352	221	751	770	429	168	80	7161
6,1 - 9,0	185	451	376	502	276	220	175	170	227	142	108	310	223	55	17	5	3442
9,1 - 12,0	28	162	182	283	114	88	52	48	37	34	23	70	67	28	4	1	1221
> 12,0	2	21	37	34	7	14	16	2	8	0	5	9	18	7	0	1	181
Total	1025	1717	1622	1416	930	825	673	707	820	647	469	1395	1576	817	381	250	15270

Tabela 4.27: Frequências (%) de ocorrências de ventos no outono, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Dir. Vel. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	2,128	1,821	1,860	0,845	0,753	0,963	0,786	0,733	0,773	0,779	0,733	1,670	3,261	1,952	1,257	1,067	21,382
3,1 - 6,0	3,176	5,272	4,866	3,065	2,737	2,331	2,030	2,456	2,816	2,305	1,447	4,918	5,043	2,809	1,100	0,524	46,896
6,1 - 9,0	1,212	2,954	2,462	3,287	1,807	1,441	1,146	1,113	1,487	0,930	0,707	2,030	1,460	0,360	0,111	0,033	22,541
9,1 - 12,0	0,183	1,061	1,192	1,853	0,747	0,576	0,341	0,314	0,242	0,223	0,151	0,458	0,439	0,183	0,026	0,007	7,996
> 12,0	0,013	0,138	0,242	0,223	0,046	0,092	0,105	0,013	0,052	0,000	0,033	0,059	0,118	0,046	0,000	0,007	1,185
Total	6,713	11,244	10,622	9,273	6,090	5,403	4,407	4,630	5,370	4,237	3,071	9,136	10,321	5,350	2,495	1,637	100,000

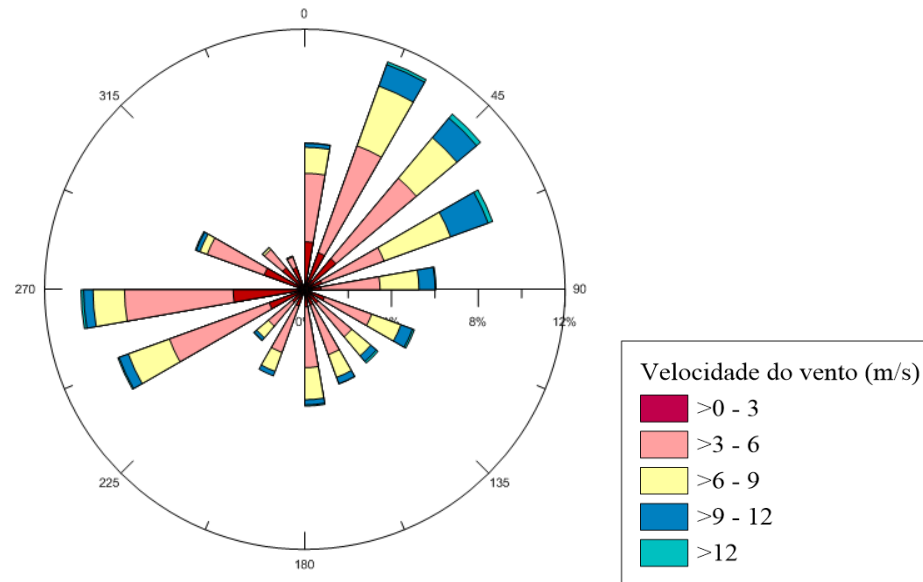


Figura 4.25: Rosa dos ventos característica do outono, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

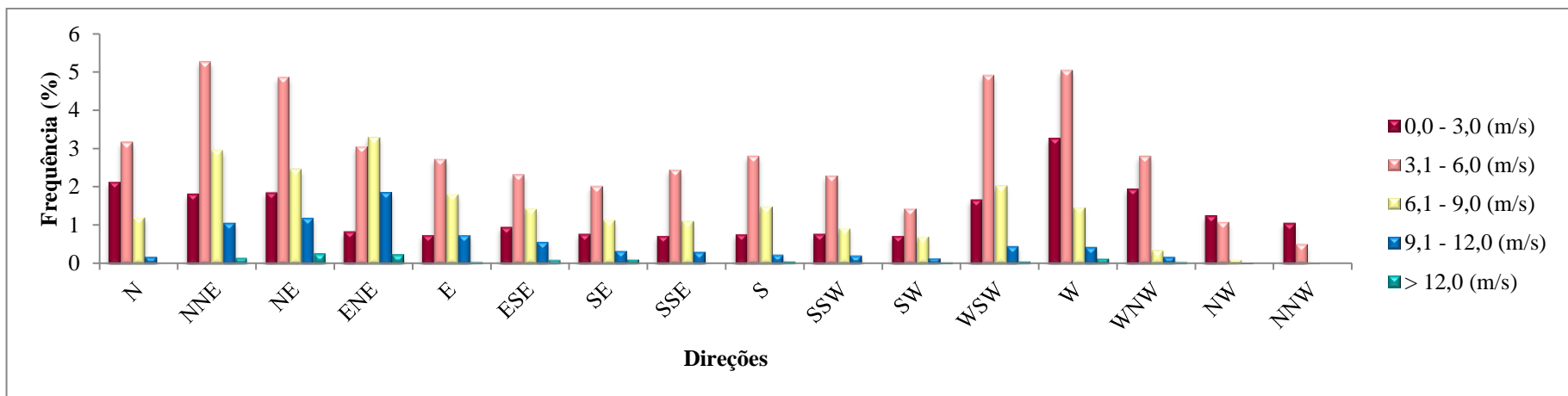


Figura 4.26: Histograma de classes de ventos característico do outono, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Tabela 4.28: Quantidades de ocorrências de ventos no inverno, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Vel. (m/s) \ Dir.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	288	207	215	116	114	139	137	154	159	200	174	220	370	261	208	201	3163
3,1 - 6,0	605	829	644	437	285	295	309	308	421	470	361	668	676	367	208	103	6986
6,1 - 9,0	308	595	338	347	166	176	181	158	211	299	169	267	260	83	35	6	3599
9,1 - 12,0	82	258	229	150	59	40	45	53	40	14	43	95	134	38	6	0	1286
> 12,0	13	81	64	16	5	5	19	4	1	2	11	10	23	16	3	0	273
Total	1296	1970	1490	1066	629	655	691	677	832	985	758	1260	1463	765	460	310	15307

Tabela 4.29: Frequências (%) de ocorrências de ventos no inverno, de acordo com as direções e com as classes de intensidades (em intervalos de 3 m/s), a partir de dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Vel. (m/s) \ Dir.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0,0 - 3,0	1,881	1,352	1,405	0,758	0,745	0,908	0,895	1,006	1,039	1,307	1,137	1,437	2,417	1,705	1,359	1,313	20,664
3,1 - 6,0	3,952	5,416	4,207	2,855	1,862	1,927	2,019	2,012	2,750	3,070	2,358	4,364	4,416	2,398	1,359	0,673	45,639
6,1 - 9,0	2,012	3,887	2,208	2,267	1,084	1,150	1,182	1,032	1,378	1,953	1,104	1,744	1,699	0,542	0,229	0,039	23,512
9,1 - 12,0	0,536	1,686	1,496	0,980	0,385	0,261	0,294	0,346	0,261	0,091	0,281	0,621	0,875	0,248	0,039	0,000	8,401
> 12,0	0,085	0,529	0,418	0,105	0,033	0,033	0,124	0,026	0,007	0,013	0,072	0,065	0,150	0,105	0,020	0,000	1,783
Total	8,467	12,870	9,734	6,964	4,109	4,279	4,514	4,423	5,435	6,435	4,952	8,232	9,558	4,998	3,005	2,025	100,000

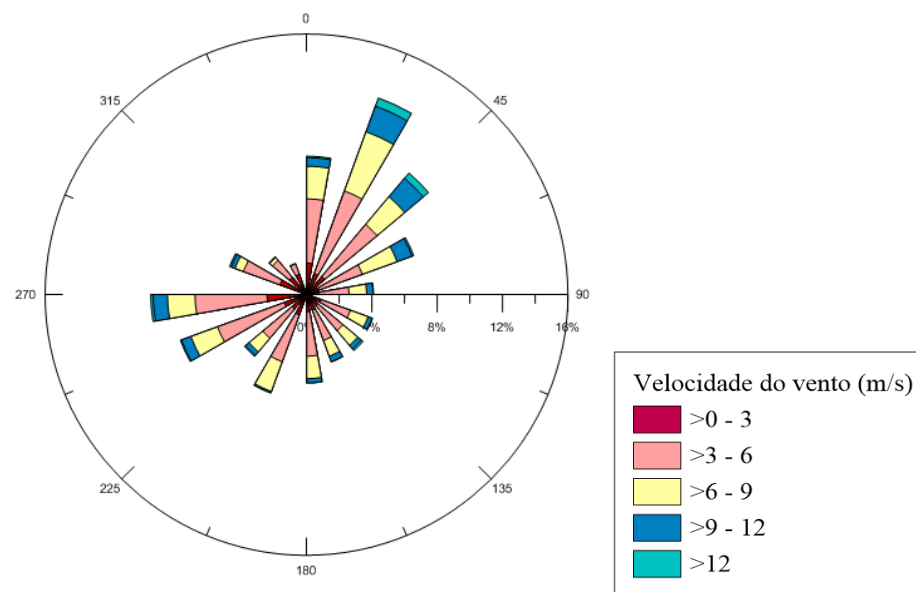


Figura 4.27: Rosa dos ventos característica do inverno, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

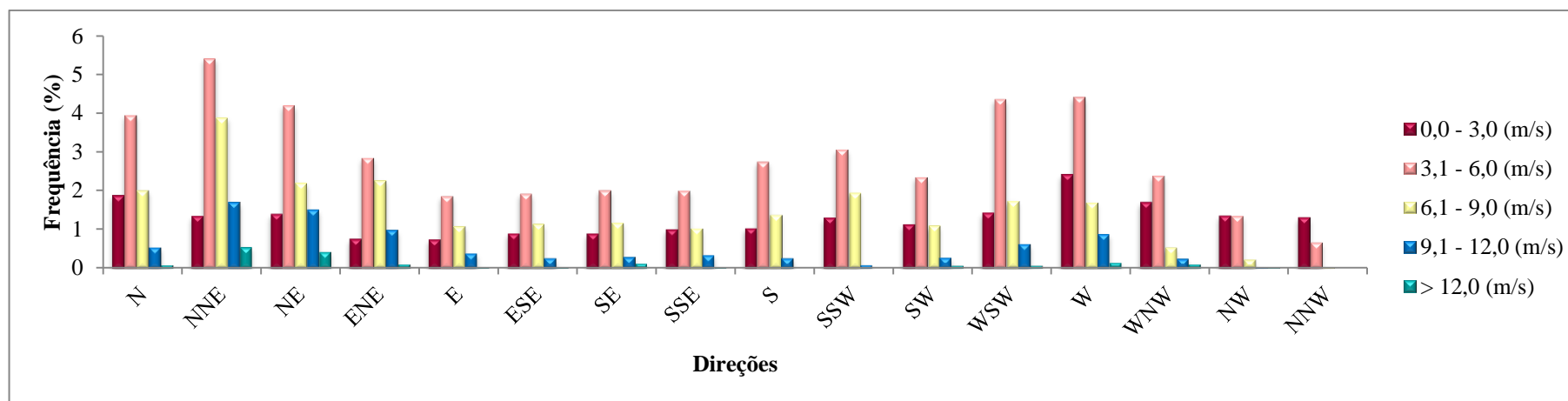


Figura 4.28: Histograma de classes de ventos característico do inverno, de acordo com dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Tabela 4.30: Frequências (%) de ocorrências de direções de ventos atuantes nas estações do ano, conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESSE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Verão	3,27	7,26	16,79	17,53	11,24	8,62	7,04	5,89	4,97	4,44	1,40	3,02	3,81	2,03	1,56	1,13
Outono	6,71	11,24	10,62	9,27	6,09	5,40	4,41	4,63	5,37	4,24	3,07	9,14	10,32	5,35	2,50	1,64
Inverno	8,47	12,87	9,73	6,96	4,11	4,28	4,51	4,42	5,44	6,43	4,95	8,23	9,56	5,00	3,01	2,03
Primavera	3,42	8,50	17,04	16,56	10,27	7,71	5,36	5,34	7,03	6,03	2,85	3,93	3,17	1,20	0,82	0,76

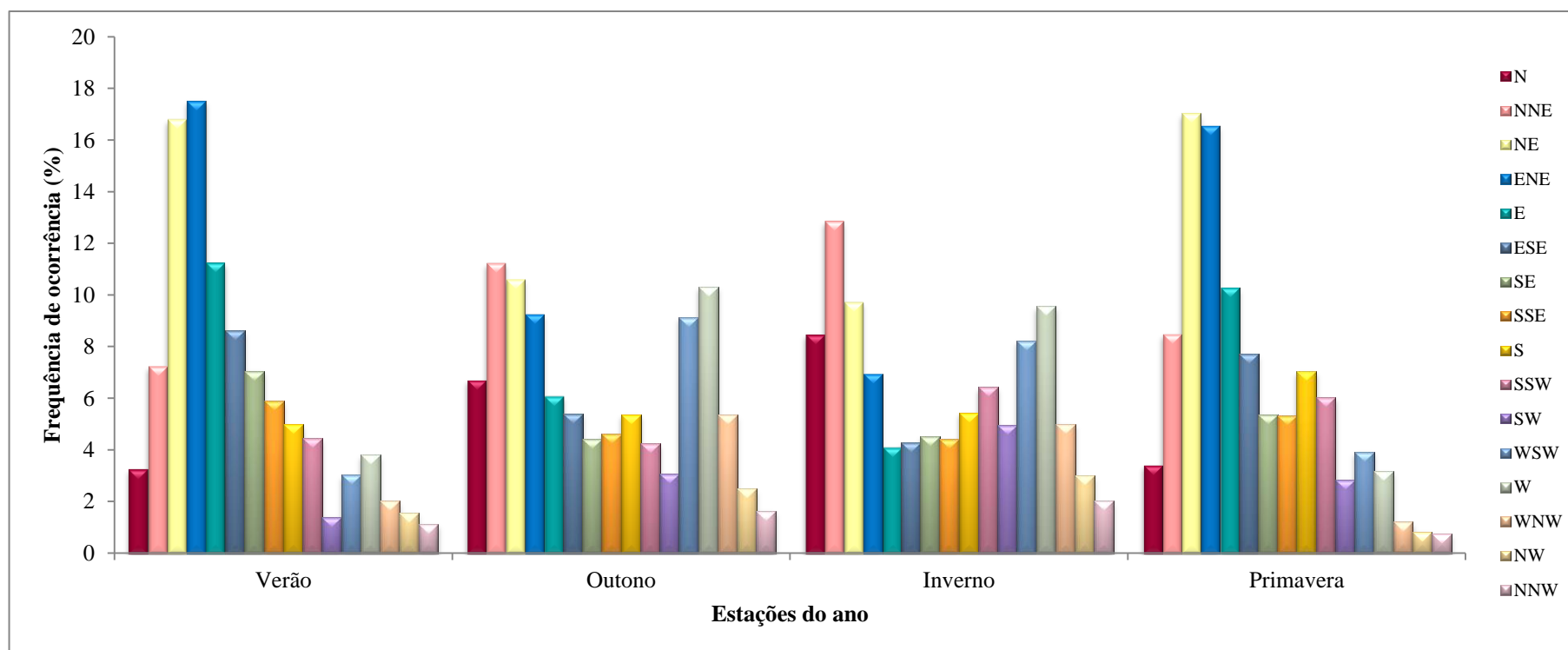


Figura 4.29: Histograma de direções de ventos atuantes nas estações do ano, conforme dados coletados na Praticagem da Barra do Rio Grande, durante o período de 2004 a 2010.

Tabela 4.31: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2004.

Vel. (m/s) \ Dir.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,0 - 3,0	0,060	0,000	0,003	0,006	0,006	0,011	0,001	0,004	0,008	0,007	0,005	0,009	0,008	0,023	0,002	0,011
3,1 - 6,0	0,011	0,033	0,005	0,024	0,027	0,018	0,003	0,020	0,024	0,000	0,004	0,006	0,025	0,016	0,003	0,011
6,1 - 9,0	0,046	0,019	0,011	0,001	0,016	0,011	0,006	0,025	0,032	0,010	0,014	0,000	0,002	0,008	0,003	0,000
9,1 - 12,0	0,022	0,010	0,002	0,013	0,021	0,019	0,003	0,003	0,005	0,002	0,018	0,001	0,011	0,002	0,001	0,000
> 12,0	0,003	0,004	0,004	0,016	0,004	0,000	0,001	0,002	0,005	0,001	0,005	0,002	0,005	0,003	0,001	0,000

Tabela 4.32: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2005.

Vel. (m/s) \ Dir.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,0 - 3,0	0,016	0,018	0,003	0,003	0,003	0,004	0,002	0,006	0,002	0,017	0,017	0,019	0,015	0,013	0,021	0,009
3,1 - 6,0	0,051	0,016	0,010	0,009	0,023	0,018	0,014	0,020	0,006	0,029	0,032	0,010	0,014	0,001	0,026	0,021
6,1 - 9,0	0,044	0,009	0,004	0,002	0,004	0,016	0,012	0,030	0,010	0,036	0,015	0,018	0,030	0,012	0,009	0,013
9,1 - 12,0	0,020	0,009	0,002	0,007	0,014	0,004	0,001	0,004	0,001	0,010	0,026	0,009	0,000	0,005	0,004	0,000
> 12,0	0,003	0,001	0,005	0,006	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,000	0,008	0,000	0,001	0,005	0,001	0,000

Tabela 4.33: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2006.

Vel. (m/s) \ Dir.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,0 - 3,0	0,024	0,003	0,009	0,002	0,000	0,000	0,008	0,017	0,002	0,006	0,008	0,010	0,006	0,020	0,010	0,036
3,1 - 6,0	0,034	0,012	0,005	0,022	0,017	0,032	0,003	0,012	0,019	0,039	0,007	0,017	0,001	0,010	0,004	0,028
6,1 - 9,0	0,039	0,005	0,015	0,007	0,001	0,009	0,007	0,024	0,000	0,019	0,008	0,003	0,003	0,002	0,006	0,007
9,1 - 12,0	0,016	0,012	0,004	0,019	0,013	0,019	0,001	0,003	0,015	0,013	0,009	0,024	0,001	0,005	0,000	0,000
> 12,0	0,003	0,001	0,003	0,011	0,005	0,004	0,001	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,003	0,003	0,001	0,000

Tabela 4.34: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2007.

Vel. (m/s) \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,0 - 3,0	0,047	0,008	0,002	0,013	0,021	0,029	0,012	0,005	0,022	0,034	0,018	0,016	0,048	0,110	0,127	0,082
3,1 - 6,0	0,020	0,027	0,005	0,016	0,023	0,018	0,036	0,021	0,002	0,018	0,005	0,048	0,043	0,067	0,100	0,074
6,1 - 9,0	0,016	0,018	0,013	0,011	0,027	0,007	0,031	0,024	0,004	0,014	0,021	0,022	0,005	0,024	0,022	0,007
9,1 - 12,0	0,011	0,001	0,001	0,013	0,017	0,000	0,001	0,003	0,015	0,001	0,002	0,009	0,009	0,015	0,004	0,000
> 12,0	0,000	0,001	0,006	0,005	0,000	0,004	0,006	0,005	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,000

Tabela 4.35: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2008.

Vel. (m/s) \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,0 - 3,0	0,005	0,000	0,002	0,006	0,006	0,001	0,013	0,023	0,008	0,001	0,006	0,021	0,014	0,012	0,015	0,045
3,1 - 6,0	0,005	0,023	0,009	0,004	0,013	0,022	0,006	0,012	0,011	0,002	0,013	0,001	0,005	0,009	0,033	0,047
6,1 - 9,0	0,014	0,021	0,004	0,000	0,011	0,012	0,017	0,004	0,001	0,006	0,017	0,012	0,010	0,007	0,015	0,004
9,1 - 12,0	0,012	0,003	0,002	0,013	0,014	0,010	0,010	0,013	0,004	0,002	0,010	0,006	0,012	0,004	0,002	0,000
> 12,0	0,001	0,005	0,014	0,003	0,004	0,001	0,000	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,007	0,006	0,001	0,003

Tabela 4.36: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2009.

Vel. (m/s) \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,0 - 3,0	0,017	0,007	0,021	0,006	0,003	0,010	0,008	0,024	0,020	0,003	0,010	0,002	0,023	0,073	0,105	0,030
3,1 - 6,0	0,026	0,035	0,018	0,002	0,007	0,021	0,022	0,030	0,026	0,006	0,036	0,036	0,006	0,041	0,091	0,035
6,1 - 9,0	0,026	0,028	0,014	0,002	0,011	0,012	0,013	0,037	0,013	0,017	0,021	0,022	0,012	0,017	0,007	0,003
9,1 - 12,0	0,017	0,016	0,018	0,001	0,007	0,017	0,006	0,008	0,035	0,010	0,020	0,015	0,008	0,009	0,004	0,000
> 12,0	0,002	0,002	0,007	0,005	0,014	0,002	0,011	0,009	0,002	0,002	0,005	0,001	0,003	0,006	0,003	0,000

Tabela 4.37: Desvio padrão das frequências relativas para velocidades de ventos do ano de 2010.

Vel. (m/s) \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0,0 - 3,0	0,047	0,013	0,007	0,002	0,003	0,005	0,022	0,021	0,007	0,008	0,013	0,007	0,028	0,043	0,036	0,019
3,1 - 6,0	0,015	0,016	0,003	0,012	0,009	0,015	0,041	0,015	0,003	0,012	0,001	0,025	0,005	0,020	0,002	0,015
6,1 - 9,0	0,035	0,021	0,019	0,003	0,001	0,014	0,002	0,008	0,011	0,014	0,004	0,015	0,021	0,021	0,031	0,003
9,1 - 12,0	0,024	0,004	0,022	0,010	0,003	0,002	0,015	0,000	0,007	0,007	0,006	0,015	0,002	0,001	0,005	0,003
> 12,0	0,003	0,004	0,007	0,001	0,003	0,007	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,000

Tabela 4.38: Desvio padrão médio anual.

Ano	Desvio padrão médio
2004	0,0099
2005	0,0111
2006	0,0097
2007	0,0190
2008	0,0089
2009	0,0165
2010	0,0110

Conforme valores apresentados na Tabela 4.38, verifica-se que o menor desvio padrão refere-se ao ano de 2008. Portanto, conclui-se que os dados de velocidades e direções de ventos que melhor representam todo período estudado (2004 a 2010) são aqueles referentes ao ano de 2008. Conforme explicado no Capítulo 3, Seção 3.3.3, estes dados de ventos de 2008, registrados na Praticagem, foram utilizados para realizar a regressão linear com dados dos modelos de reanálises do mesmo ano, com intuito de verificar a correlação de dados de ventos modelados e dados de ventos medidos.

De acordo com as Figuras 4.13 e 4.14 e com a Tabela 4.15, constata-se que, durante o ano representativo de 2008, as maiores frequências de ventos são provenientes das direções ENE (15,78%), NE (14,22%), E (8,63%) e NNE (7,55%). As frequências de ocorrências das intensidades de ventos são: entre 3,1 e 6 m/s (42,73%), entre 6,1 e 9 m/s (26,01%), entre 0 e 3 m/s (16,26%), entre 9,1 e 12 m/s (12,12%), maiores que 12 m/s (2,88%). As maiores ocorrências de ventos são da direção ENE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s (5,65%). A segunda maior frequência de ventos ocorreu da direção NE, com intensidades menores, entre 3,1 a 6 m/s (4,85%). Observa-se também, muita ocorrência de ventos com intensidades entre 9,1 e 12 m/s vindos da direção ENE (4,66%). Durante toda série temporal (2004 a 2010), constatou-se que as maiores ocorrências foram de ventos NE, com intensidades entre 3,1 a 6 m/s (4,92%), seguidos de ventos ENE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s (4,50%). Observa-se ainda, bastante ocorrência de ventos de NNE, com intensidades entre 3,1 a 6 m/s (4,10%).

Já para toda série temporal de ventos analisada (2004 a 2010) (Figuras 4.19 e 4.20 e Tabela 4.21), as maiores frequências de ventos mostram comportamento similar ao ano de 2008, com direções de NE (13,54%), ENE (12,56%), NNE (9,98%) e E (7,91%). As frequências de ocorrências das intensidades de ventos para toda série temporal (2004 a 2010) aparentam ser muito semelhantes às frequências do ano de 2008, com os seguintes valores: entre 3,1 e 6 m/s (42,69%), entre 6,1 e 9 m/s (26,95%), entre 0 e 3 m/s (16,38%), entre 9,1 e 12 m/s (11,57%), maiores que 12 m/s (2,40%).

As análises realizadas para as estações do ano, durante o período de 2004 a 2010 (Tabela 4.23 e Figuras 4.21 e 4.22) demonstram, de maneira geral, que na primavera as direções de ventos predominantes são de NE (17,04%), ENE (16,56%), E (10,27%), NNE (8,50%) e ESE (7,71%). Os valores de frequências de intensidades de ventos são de: 37,58% para velocidades entre 3,1 e 6 m/s, 31,71% para velocidades entre 6,1 e 9 m/s, 15,73% para velocidades entre 9,1 e 12 m/s, 10,85% para velocidades entre 0 e 3 m/s, e 4,13% para velocidades maiores que 12 m/s. Constata-se que a maioria dos dados de ventos (6,38%) são de ENE, com intensidades entre

6,1 e 9 m/s, seguidos de ventos de NE (5,30%), também com intensidades entre 6,1 e 9 m/s. Verifica-se também que há bastante ocorrência de ventos provenientes de NE, mas com intensidades entre 3,1 e 6 m/s (4,86%).

Durante o período de 2004 a 2010 (Tabela 4.25 e Figuras 4.23 e 4.24) verifica-se que as direções predominantes de ventos no verão são as mesmas ocorridas durante a primavera, mas com frequências um pouco diferentes: ENE (17,53%), NE (16,79%), E (11,24%), ESE(8,62%), e NNE (7,26%). As maiores frequências de intensidades foram, respectivamente: 40,63% para velocidades entre 3,1 e 6 m/s, 30,11% para velocidades entre 6,1 e 9 m/s, 14,20% para velocidades entre 9,1 e 12 m/s, 12,53% para velocidades entre 0 e 3 m/s, 2,53% para velocidades maiores que 12 m/s. A maior incidência de ventos é de NE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s, representando 6,12% dos casos. Com 6,11% de ocorrência, a segunda maior frequência de é oriunda de ENE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s. E com 5,74% de ocorrência, a terceira maior frequência é proveniente de NE, com intensidades entre 3,1 e 6 m/s.

Durante outono e inverno, para o mesmo período analisado (2004 a 2010) (Tabelas 4.27 e 4.29 e Figuras 4.25 a 4.28), constata-se que as maiores frequências de ventos ainda são de NNE e NE, mas com significativo aumento de ventos de W e WSW. No outono, as direções de ventos predominantes foram: NNE (11,24%), NE (10,62%), W (10,32%), ENE (9,27%) e WSW (9,14%). De maneira muito semelhante, no inverno as direções predominantes de ventos foram: NNE (12,87%), NE (9,73%), W (9,56%), N (8,47%) e WSW (8,23%). Em relação às intensidades de ventos, no outono ocorreram as frequências: 46,90% (entre 3,1 e 6 m/s), 22,54% (entre 6,1 e 9 m/s), 21,38% (entre 0 e 3 m/s), 8,00% (entre 9,1 e 12 m/s) e 1,19% (maiores que 12 m/s). No inverno, observou-se um comportamento bastante similar, com: 45,64% (entre 3,1 e 6 m/s), 23,51% (entre 6,1 e 9 m/s), 20,66% (entre 0 e 3 m/s), 8,40% (entre 9,1 e 12 m/s) e 1,78% (maiores que 12 m/s). Tanto no outono, quanto no inverno, as maiores frequências ocorreram com intensidades de ventos entre 3,1 e 6 m/s, nas direções NNE (5,25% no outono e 5,42% no inverno), W (5,04% no outono e 4,42% no inverno), WSW (4,92% no outono e 4,36% no inverno).

Conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.3.3, após a identificação do ano representativo (2008) de toda série temporal de ventos analisada (2004 a 2010), realizou-se o teste de correlação linear entre dados medidos na Praticagem e dados de reanálise, com intuito de determinar qual dos modelos analisados (NCEP/NCAR ou ECMWF) aproxima-se mais da realidade na região de estudo e, então, verificar se há significativa variação espacial do vento sobre a extensa área da Lagoa dos Patos.

As Figuras 4.30 a 4.33 apresentam os diagramas de dispersão entre dados de ventos medidos na Praticagem (eixo vertical) e dados modelados da Reanálise I do NCEP/NCAR (eixo horizontal), para o ano de 2008. São apresentados os coeficientes de determinação (R^2) para componentes U (direção x) e componentes V (direção y) da velocidade dos ventos, para os quatro pontos do modelo, N_1 , N_2 , N_3 e N_4 , respectivamente.

Os valores de R^2 apresentados nas Figuras 4.30 a 4.33 podem variar de 0 a 1, e indicam o quanto a variação total de y pode ser explicada pela reta de regressão.

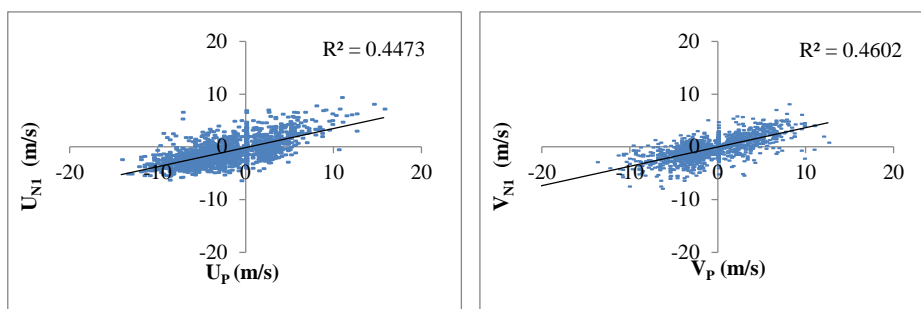


Figura 4.30: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_1 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.

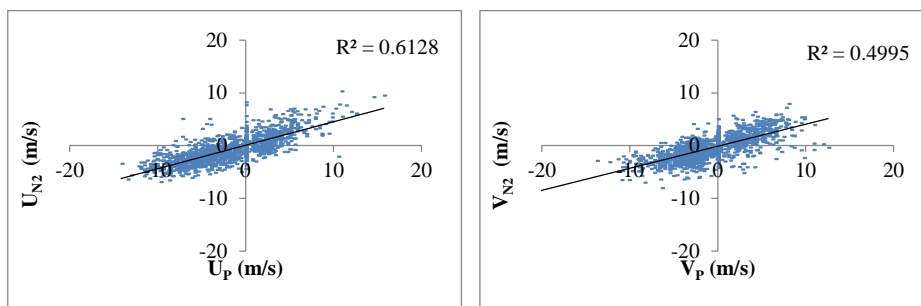


Figura 4.31: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_2 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.

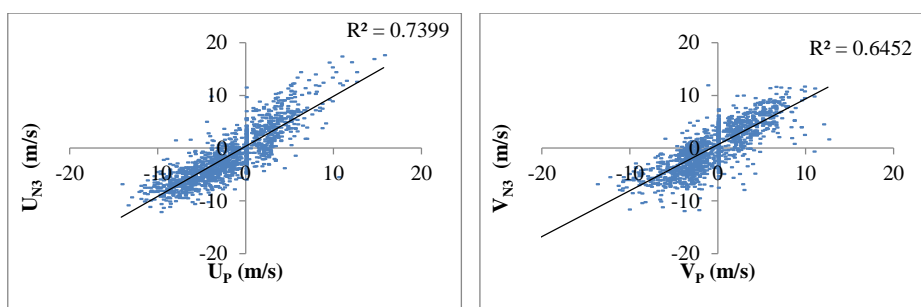


Figura 4.32: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_3 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.

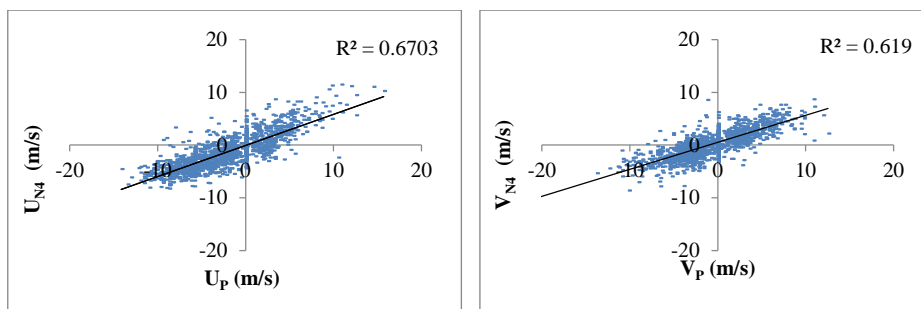


Figura 4.33: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto N_4 da Reanálise I do NCEP/NCAR, para o ano de 2008.

De acordo com as Figuras 4.30 a 4.33, verifica-se que as melhores correlações ocorrem entre N_3 e P e entre N_4 e P, o que já era esperado, devido à proximidade que estes pontos têm com a estação da Praticagem. Os valores de R^2 entre N_3 e P são 0,7399 e 0,6452, respectivamente para as componentes U e V da velocidade de vento. E os valores de R^2 entre N_4 e P são 0,6703 e 0,619, respectivamente para as componentes U e V da velocidade de vento. Considerando que há uma diferença de $22'$ S e $2^{\circ}06'$ W entre os pontos N_3 e P, e uma diferença de $22'$ S e $24'$ W entre os pontos N_4 e P, conforme ilustrado na Figura 3.15 (Capítulo 3, Seção 3.3.3), conclui-se que os valores apresentados de R^2 são aceitáveis, visto que os pontos do modelo de Reanálise I não coincidem exatamente com o local de medições de ventos da Praticagem. A correlação entre os pontos N_3 e P apresentou melhores resultados que a correlação entre os pontos N_4 e P, embora a distância N_3 -P seja maior que a distância N_4 -P. A estação da Praticagem encontra-se na desembocadura da Lagoa dos Patos, muito próxima ao Oceano Atlântico. Portanto, a correlação entre os pontos N_3 e P pode ter sido melhor que a correlação entre os pontos N_4 e P devido ao ponto N_3 estar sobre o Oceano Atlântico, e o ponto N_4 estar sobre o continente, pois as rugosidades superficiais são muito diferentes nos dois casos, alterando o comportamento das camadas limites.

A comparação estatística também foi aplicada aos dados de Reanálise do modelo ECMWF com os dados de ventos medidos na Praticagem. As Figuras 4.34 a 4.49 apresentam a correlação entre dados de ventos medidos na Praticagem e dados modelados de Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008. São apresentados os coeficientes de determinação (R^2) para componentes U (direção x) e componentes V (direção y) da velocidade dos ventos, para os pontos E_1 a E_{14} , respectivamente.

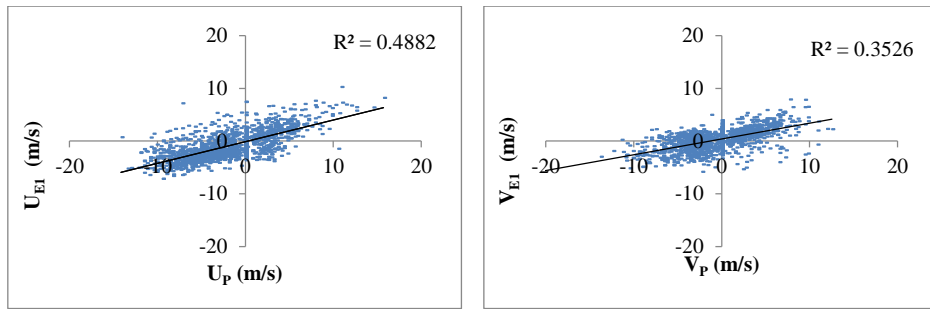


Figura 4.34: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E1 da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

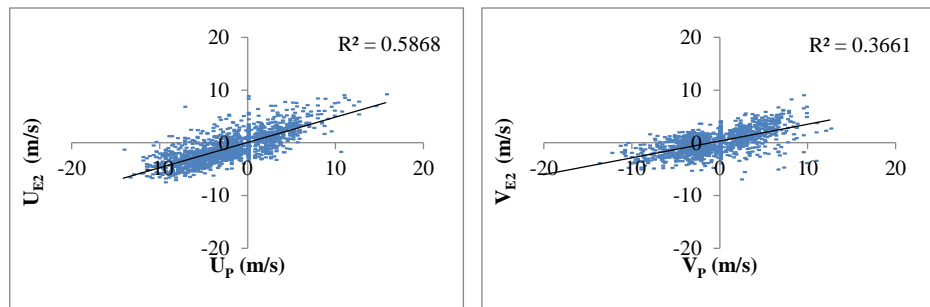


Figura 4.35: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₂ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

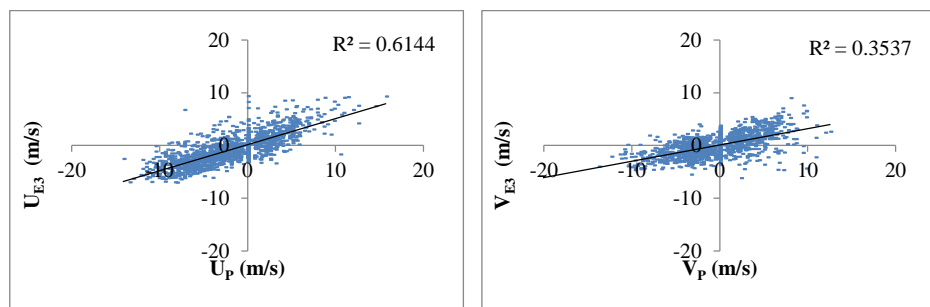


Figura 4.36: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₃ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

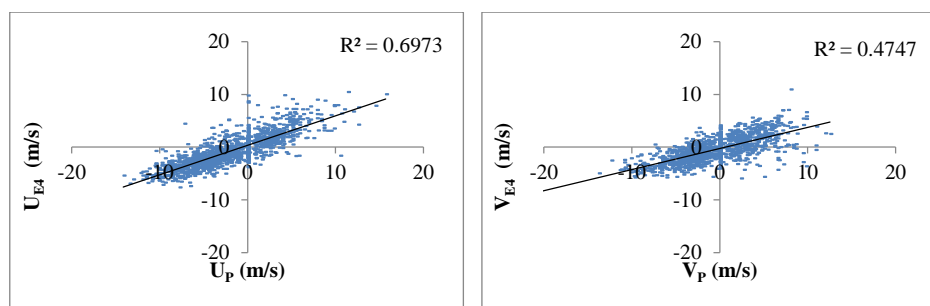


Figura 4.37: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₄ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

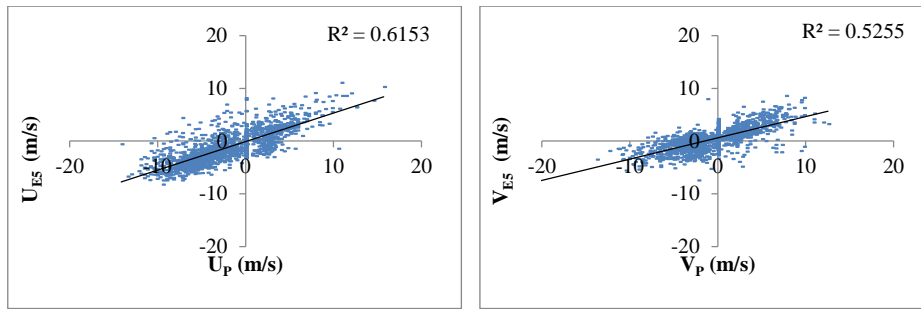


Figura 4.38: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₅ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

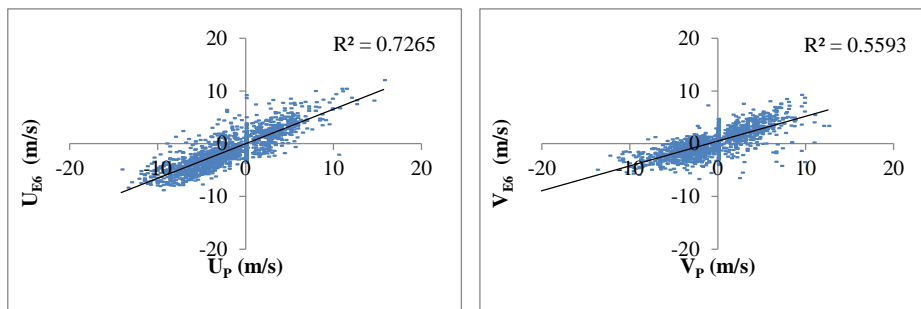


Figura 4.39: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₆ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

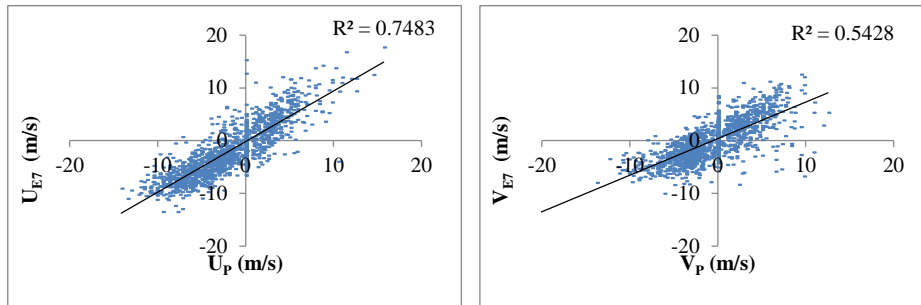


Figura 4.40: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₇ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

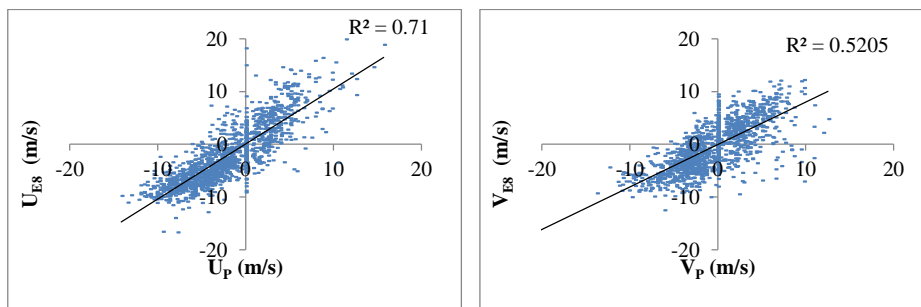


Figura 4.41: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₈ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

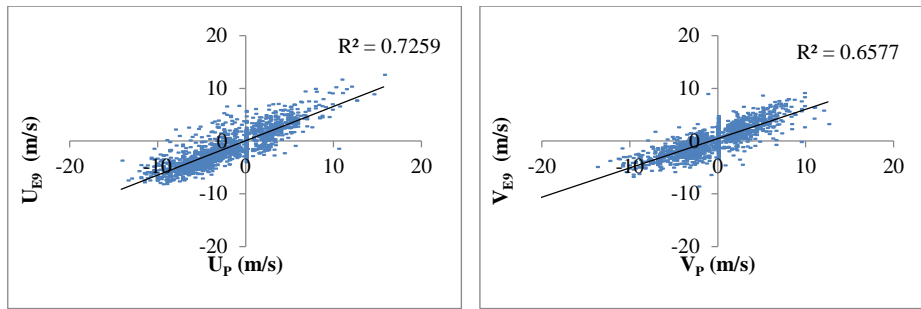


Figura 4.42: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₉ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

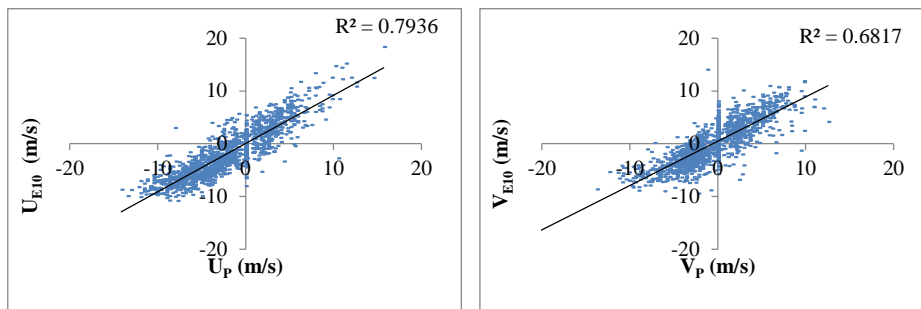


Figura 4.43: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₁₀ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

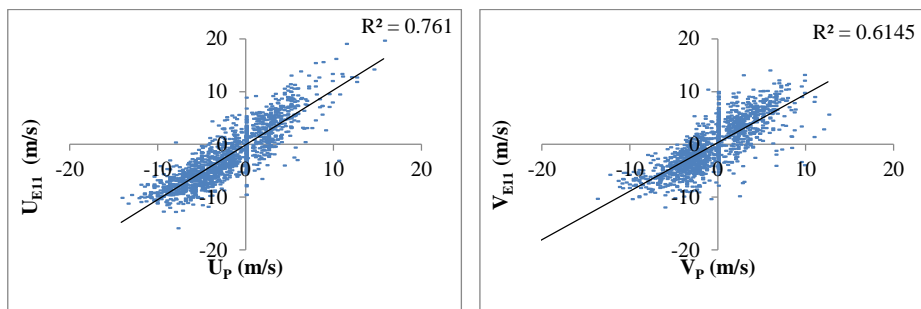


Figura 4.44: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₁₁ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

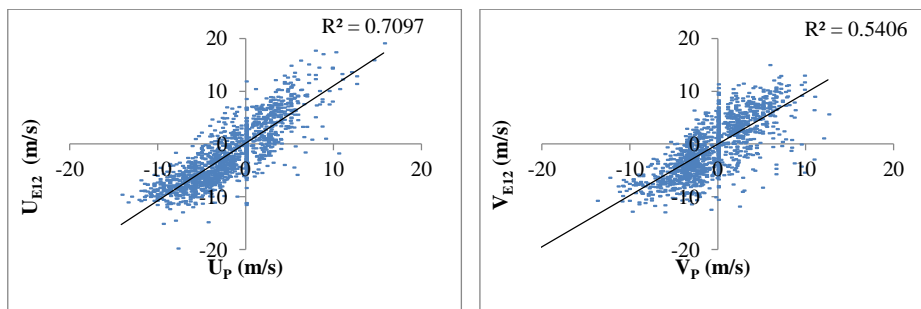


Figura 4.45: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₁₂ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

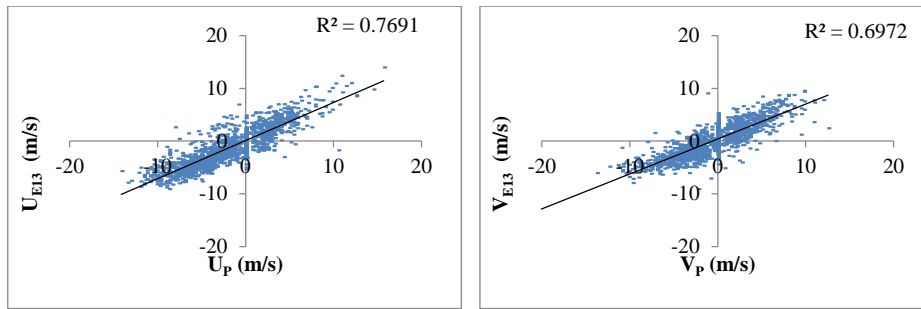


Figura 4.46: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₁₃ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

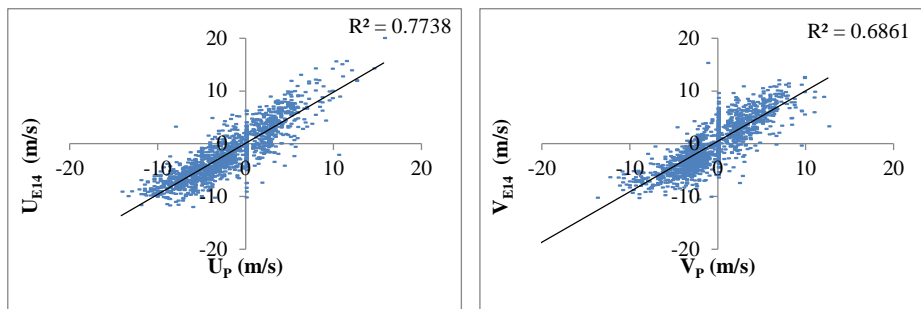


Figura 4.47: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₁₄ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

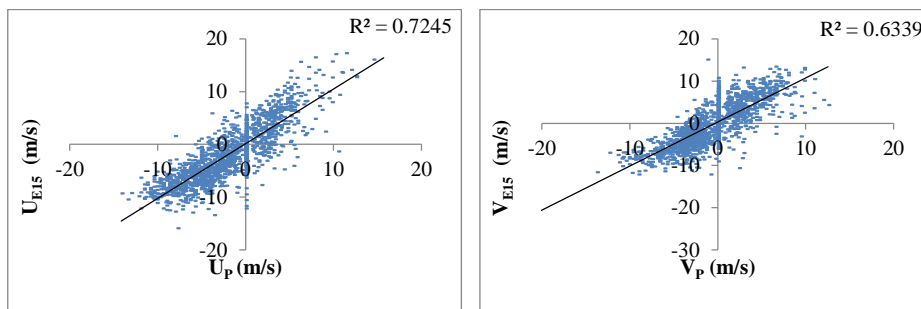


Figura 4.48: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₁₅ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

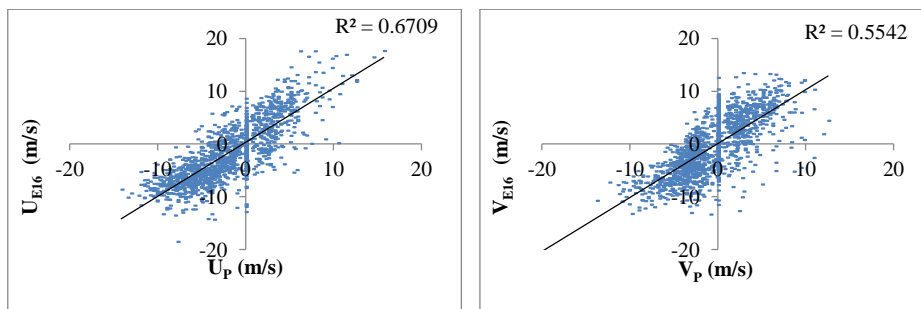


Figura 4.49: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento da Praticagem da Barra do Rio Grande e os dados de velocidade do vento do ponto E₁₆ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

Através das Figuras 4.33 a 4.49 observa-se que os valores de correlação entre dados de ventos da Praticagem e os pontos E₁, E₂, E₃ e E₄ são menores que os valores de correlação entre dados de Praticagem e os demais pontos de reanálise do modelo ECMWF, o que já era esperado, pois os referidos pontos encontram-se mais distantes da Praticagem.

Nos pontos que se encontram sobre a área da Lagoa dos Patos (E₇ e E₁₀) os valores de R² são 0,7483 e 0,5428, respectivamente, para as componentes U e V da velocidade do vento entre os pontos E₇ e P, e 0,7936 e 0,8617, respectivamente, para as componentes U e V da velocidade do vento entre os pontos E₁₀ e P. Estes resultados indicam que os dados de ventos modelados nestes pontos apresentam boa correlação com os dados medidos na Praticagem, embora haja significativa distância entre estes pontos e a estação da Praticagem. Bons resultados de correlação também são observados nos pontos mais próximos da Praticagem, os quais são E₁₃, que está sobre o continente, e E₁₄, que está sobre o Oceano Atlântico. Os valores de R² são 0,7691 e 0,6972, concomitantemente, para as componentes U e V da velocidade do vento entre os pontos E₁₃ e P, e 0,7738 e 0,6881, respectivamente, para as componentes U e V da velocidade do vento entre os pontos E₁₄ e P.

Em relação aos dois modelos de dados de ventos (NCEP/NCAR e ECMWF) constata-se que ambos apresentaram bons resultados de correlação entre os pontos mais próximos da Praticagem e esta, indicando que são válidos para estudos nesta região.

O principal objetivo desta seção era a verificação da variabilidade espacial dos ventos na área abrangida sobre a Lagoa dos Patos. Visto que o modelo ECMWF possui melhor resolução espacial, com dois pontos sobre a Lagoa dos Patos (E₇ e E₁₀), selecionou-se este modelo para realizar a análise da variação espacial do vento.

Analisou-se a correlação linear entre E₇ e E₁₀ e entre E₁₀ e E₁₄. As Figuras 4.50 e 4.51 ilustram os resultados obtidos.

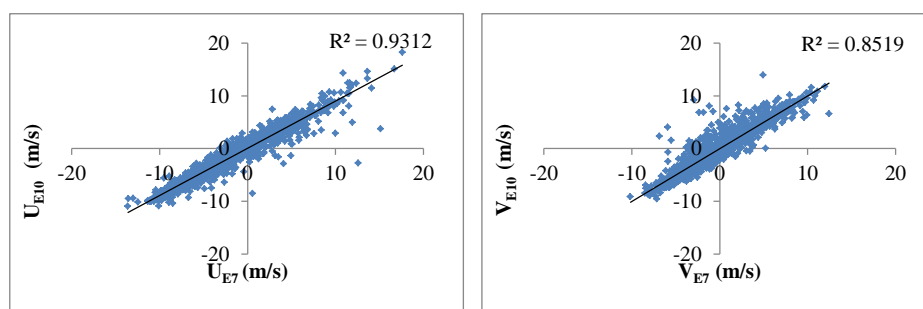


Figura 4.50: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento dos pontos E₁₀ e E₇ da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

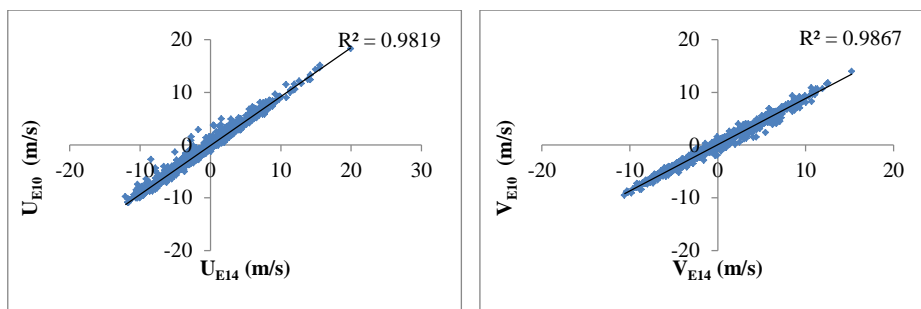


Figura 4.51: Diagramas de dispersão entre os dados de velocidade do vento dos pontos E_{10} e E_{14} da Reanálise do ECMWF, para o ano de 2008.

Conforme resultados de R^2 apresentados nas Figuras 4.50 e 4.51, constata-se que os dados de ventos modelados nestes pontos (E_7 , E_{10} e E_{14}) apresentam excelente correlação. Os valores de R^2 são 0,9312 e 0,8519, respectivamente, para as componentes U e V da velocidade do vento entre os pontos E_7 e E_{10} , e 0,9819 e 0,9867, respectivamente, para as componentes U e V da velocidade do vento entre os pontos E_{10} e E_{14} . Estes resultados são muito próximos de 1, e assim, representam excelente correlação entre os dados de ventos nestes pontos. Portanto, conclui-se que não há significativa variação espacial do vento na região sobre a Lagoa dos Patos, e desta forma, dados de ventos de apenas um ponto podem ser utilizados para a modelagem de ondas neste corpo lagunar.

Devido à existência de dados de ventos medidos na região, adotou-se a série temporal de dados de ventos medidos na estação da Praticagem para realizar a modelagem de ondas na Lagoa dos Patos. Foram utilizados dados de ventos (intensidades e direções) das séries temporais dos anos de 2015 e de 2008.

Conforme explicado no Capítulo 6, Seção 3.4.1, para calibrar o modelo de ondas da Lagoa dos Patos utilizou-se a série temporal de dados de ventos referentes ao ano de 2015, visto que neste ano foram adquiridos parâmetros de ondas na lagoa através do ondógrafo.

Após realizar a calibração do modelo de ondas da Lagoa dos Patos, utilizaram-se dados de ventos referentes ao ano de 2008 (ano representativo) para a geração de ondas em todo corpo lagunar, de acordo com o exposto no Capítulo 3, Seção 3.4.4. Desta forma, tornou-se possível registrar os parâmetros de ondas modelados nas proximidades de São Lourenço do Sul, os quais são parâmetros de entrada para o modelo morfológico.

4.3.4 Resultados das análises de níveis d'água no linígrafo em São Lourenço do Sul

A partir da análise de dados de níveis d'água medidos no linígrafo localizado em São Lourenço do Sul, conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.3.4, obtiveram-se as porcentagens de dados existentes em cada ano.

Na Tabela 4.39 são apresentados os resultados, na qual se verifica que somente durante os anos de 1985 a 1990, de 1992 a 1994, de 1996 a 1999, de 2001 a 2002, de 2012 a 2013 há mais de 95% de dados de níveis medidos, independente do horário de medição. Também contêm mais de 95% dos dados, as séries temporais de 1991 (7h) e 1995 (7h). As demais séries temporais contêm menos de 95% de dados de níveis.

Portanto, o nível médio d'água na estação de São Lourenço do Sul, calculado com base nas séries temporais com mais de 95% de dados, é de 61,37 cm.

Tabela 4.39: Porcentagem de dados de níveis d'água medidos no linígrafo de São Lourenço do Sul, de acordo com o ano e com o horário.

Ano	Horário	Porcentagem de dados (%)	Ano	Horário	Porcentagem de dados (%)
1985	7h	99,73	2000	7h	83,33
	17h	100,00		17h	83,06
1986		99,45	2001	7h	100,00
				17h	100,00
1987		98,90	2002	7h	100,00
				17h	100,00
1988	7h	100,00	2003	7h	91,78
	17h	100,00		17h	74,79
1989	7h	98,63	2004	7h	92,90
	17h	98,63		17h	72,68
1990	7h	96,71	2005	7h	91,51
	17h	95,34		17h	83,29
1991	7h	96,71	2006	7h	74,52
	17h	8,22		17h	73,70
1992		98,91	2007	7h	73,15
				17h	72,88
1993		99,45	2008	7h	92,08
				17h	92,08
1994	7h	100,00	2009	7h	83,29
	17h	100,00		17h	83,56
1995	7h	100,00	2010	7h	91,51
	17h	8,49		17h	91,51
1996	7h	99,45	2011	7h	73,15
	17h	98,91		17h	72,88
1997	7h	100,00	2012	7h	100,00
	17h	100,00		17h	99,45
1998	7h	100,00	2013	7h	99,73
	17h	100,00		17h	99,45
1999	7h	100,00			
	17h	99,45			

4.3.5 Vazões dos principais afluentes da Lagoa dos Patos

A Figura 4.52 ilustra as séries temporais de vazões diárias adquiridas do Rio Camaquã, do Complexo Guaíba (Taquari, Caí e Jacuí) e do Canal São Gonçalo, referentes ao ano de 2008, de acordo com o exposto no Capítulo 3, Seção 3.3.5. As correspondentes séries temporais foram utilizadas para a calibração do modelo hidrodinâmico da Lagoa dos Patos, conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.4.3.

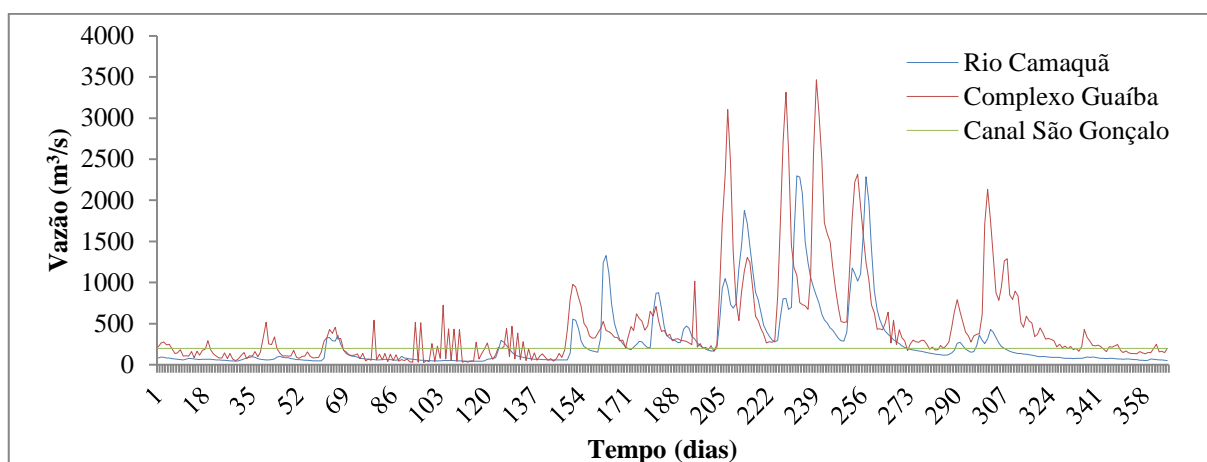


Figura 4.52: Séries temporais de vazões do Rio Camaquã, Complexo Guaíba e Canal São Gonçalo, durante o ano de 2008.

4.3.6 Vazão do Arroio Carahá

O conhecimento do regime de vazões do Arroio Carahá ou até mesmo de um valor médio de vazão deste é necessário para a compreensão dos processos que envolvem o fechamento da barra arenosa na sua foz.

Embora tenham sido realizadas várias tentativas de medições de vazões do Arroio Carahá através do registro de velocidades com o molinete e com a determinação da área da seção transversal do canal, conforme explanado no Capítulo 3, Seção 3.3.6, o equipamento utilizado não registrou nenhum valor de velocidade. Desta forma, pode-se concluir que, durante o período de estudo, a vazão média do arroio apresentou-se praticamente nula e, assim, sem fluxo suficiente para abrir ou para manter a foz aberta.

4.3.7 Resultados dos Parâmetros de Ondas

A partir de dados de ondas registrados pelo ondógrafo durante o período de fundeio na Lagoa dos Patos (22/01/2015 a 01/07/2015), conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.3.7, analisaram-se as variáveis: altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas.

A Figura 4.53 mostra os gráficos para altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas em função do tempo (número de registros) construídos a partir de dados adquiridos através do ondógrafo em operação na Lagoa dos Patos, durante o período de 27 de janeiro de 2015 a 30 de junho de 2015. Os registros foram obtidos em intervalos de tempo de meia hora.

De acordo com a Figura 4.53, constata-se que os maiores valores de altura significativa das ondas encontrados nesta série temporal estão na faixa de 1,4 metros, e foram observados nos dias 29/01/2015 e 28/05/2015. No dia 29/01/2015 o valor de H_s obtido foi de 1,41 metros, às 10h25min. Este registro de H_s acompanha o máximo período de pico obtido nesta série temporal, o qual foi de 5,23 segundos, e direção de pico de 180° . Conforme os dados de ventos da Estação da Praticagem constata-se que as maiores intensidades de ventos (entre 10,20 m/s e 10,97 m/s) foram registradas entre 7h e 10h deste dia, provenientes da direção SSE ($157,5^\circ$). Observa-se ainda na Figura 4.53 que os menores períodos de pico registrados pelo ondógrafo foram de 1,72 segundos, e ocorreram para valores de H_s menores que 0,10 metros, em condições de calmaria.

Os valores médios de H_s , T_p e Dir para as séries temporais apresentadas nas Figuras 7.56 são, respectivamente, 2,78 segundos, 0,35 metros e $102,7^\circ$.

Uma análise mais detalhada dos registros adquiridos pelo ondógrafo é apresentada nas Tabelas 4.40 a 4.51, e Figuras 4.54 a 4.77. Nestas tabelas são mostradas as frequências de ocorrências das ondas, de acordo com H_s , T_p e Dir . As figuras ilustram as rosas de ondas e os histogramas de frequências para altura significativa e período de pico de acordo com a direção de pico das ondas, para cada período analisado.

Na Figura 4.78 são apresentados os valores das alturas significativas *versus* períodos de pico das ondas, onde se constata a tendência no aumento dos valores de T_p de acordo com o acréscimo dos valores de H_s .

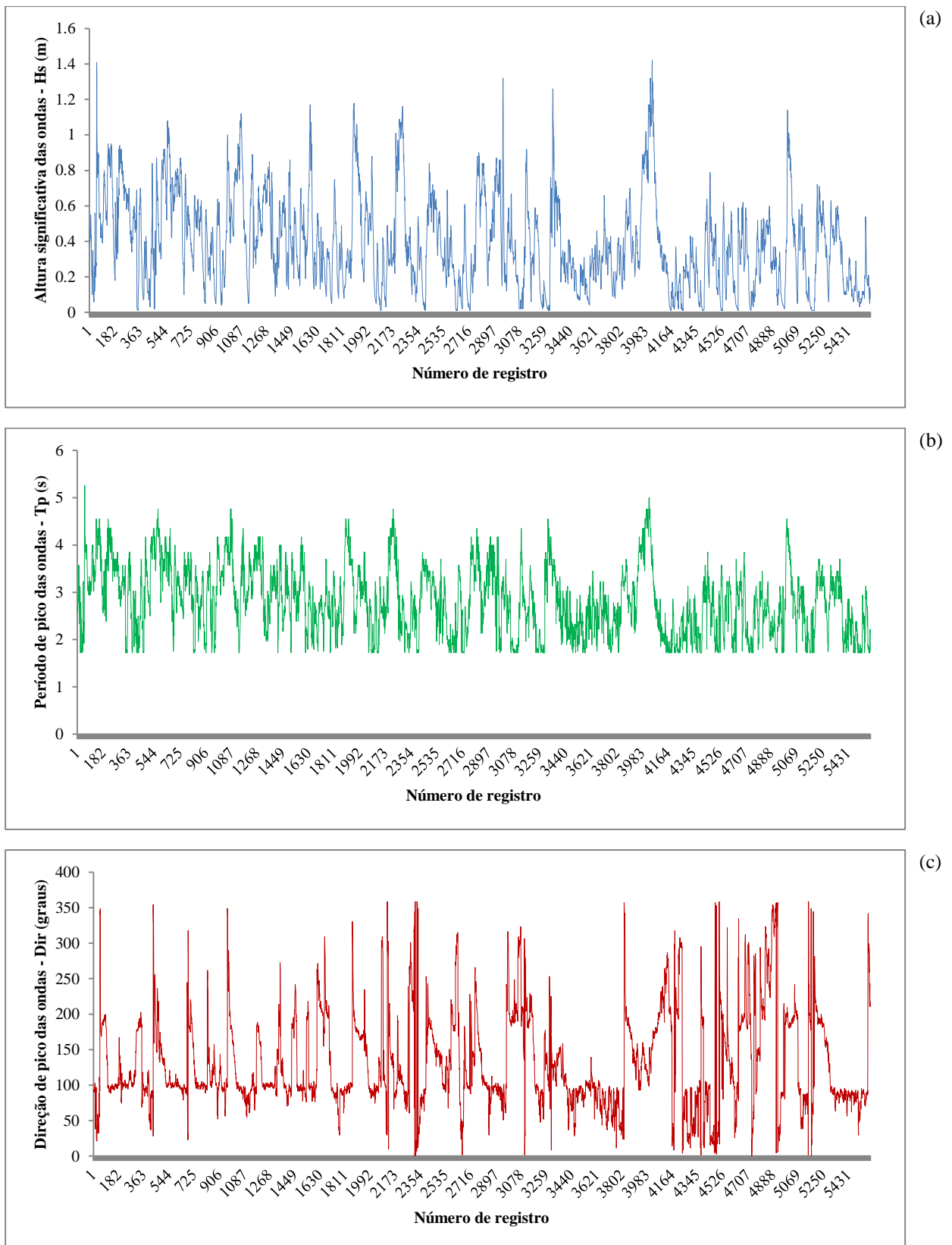


Figura 4.53: Séries temporais, adquiridas através do ondógrafo, de: (a) altura significativa, (b) período de pico e (c) direção de pico das ondas. Período: 27 de janeiro de 2015 a 30 de junho de 2015.

Tabela 4.40: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 28/02/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0 - 0,3 (m)	0,36	0,73	1,36	1,18	9,26	3,27	1,09	0,36	0,73	0,82	0,45	0,82	0,45	0,27	4,54	0,36	26,1
0,3 - 0,6 (m)	0	0,27	0,64	0,45	10,8	8,72	5,45	3,54	4,54	2,63	0,64	0,64	0,09	0	1,27	0	39,7
0,6 - 0,9 (m)	0	0	0	0	15,6	8,17	0,73	0,82	3,72	0,45	0,09	0	0	0	0	0	29,6
0,9 - 1,2 (m)	0	0	0	0	2,36	1,54	0	0	0,45	0	0	0	0	0	0	0	4,36
1,2 - 1,5 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0,27
Total	0,36	1	2	1,63	38,1	21,7	7,27	4,72	9,72	3,91	1,18	1,45	0,54	0,27	5,81	0,36	100

Tabela 4.41: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 28/02/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1,5 - 2 (s)	0,27	0,36	0,82	0,73	2	0,64	0,54	0,09	0,64	0,73	0,36	0,64	0,27	0,27	3,18	0,27	11,8
2 - 2,5 (s)	0,09	0,36	0,82	0,45	2,54	1,18	0,18	0,09	0,09	0,27	0,27	0,64	0,27	0	2,18	0,09	9,54
2,5 - 3 (s)	0	0,27	0,27	0,27	5,45	4	3,09	1,27	0,54	0,54	0,45	0,18	0	0	0,45	0	16,8
3 - 3,5 (s)	0	0	0,09	0,18	10,7	6,81	3,27	2,27	4,09	2,09	0,09	0	0	0	0	0	29,6
3,5 - 4 (s)	0	0	0	0	10,1	5,09	0,18	0,82	2,63	0,27	0	0	0	0	0	0	19,1
4 - 4,5 (s)	0	0	0	0	6,9	3,36	0	0,18	1,45	0	0	0	0	0	0	0	11,9
> 4,5 (s)	0	0	0	0	0,36	0,64	0	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	1,27
Total	0,36	1	2	1,63	38,1	21,7	7,27	4,72	9,72	3,91	1,18	1,45	0,54	0,27	5,81	0,36	100

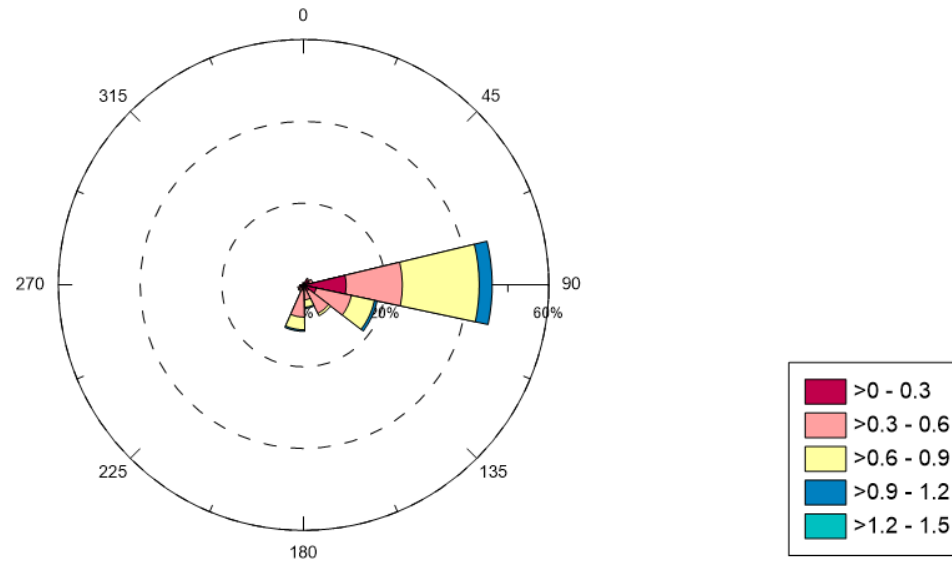


Figura 4.54: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.

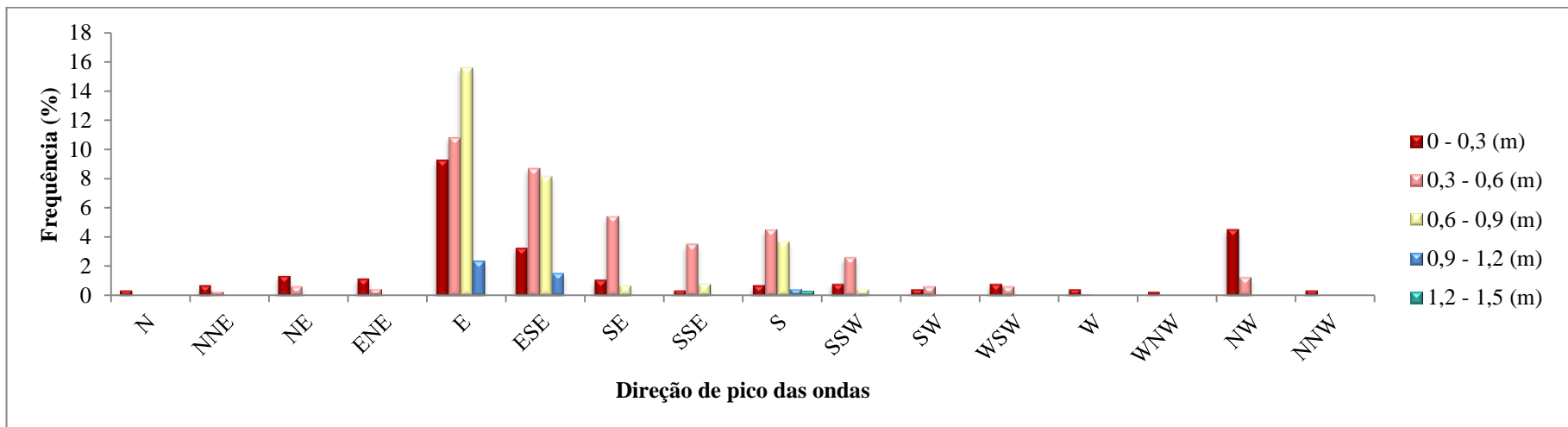


Figura 4.55: Histograma de frequências para altura significativa *versus* direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.

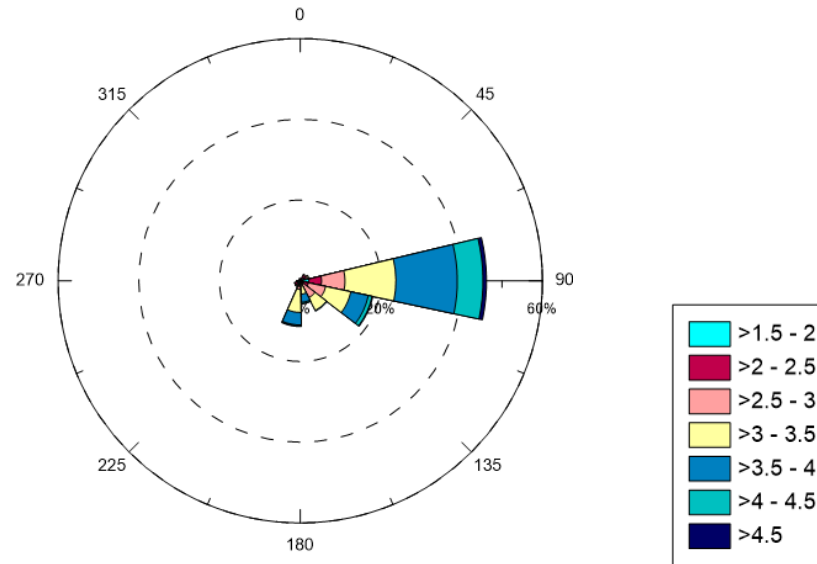


Figura 4.56: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.

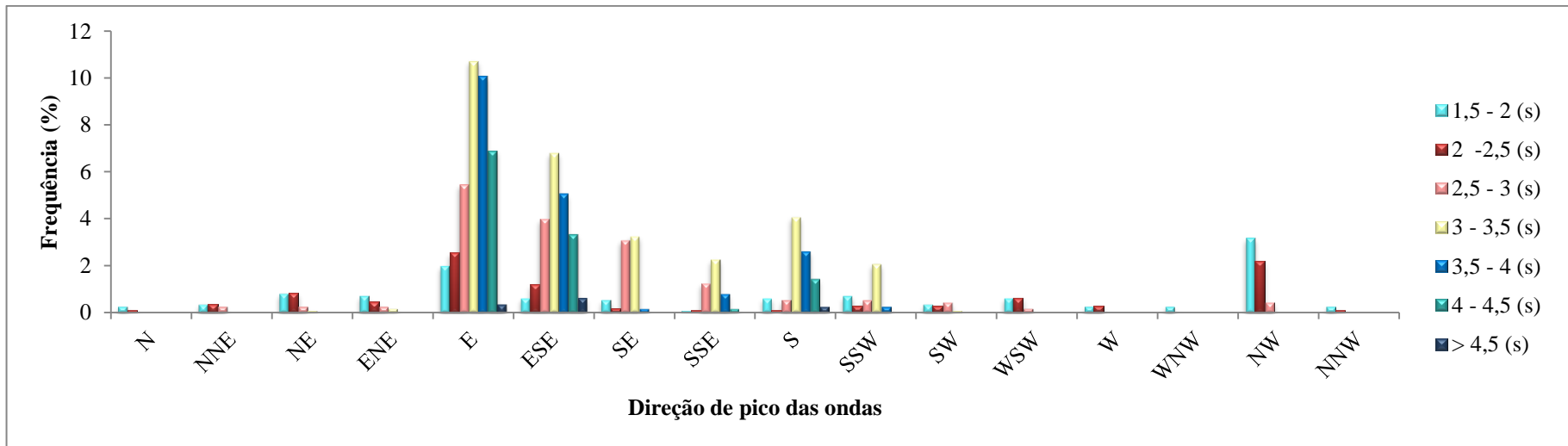


Figura 4.57: Histograma de frequências para período de pico *versus* direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 28/02/2015.

Tabela 4.42: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/03/2015 a 31/03/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0 - 0,3 (m)	0	0	0	0,65	9,55	1,94	1,29	1,46	1,29	2,43	1,29	1,46	0,81	0	0	0	22,2
0,3 - 0,6 (m)	0	0	0,16	3,07	19,9	5,18	2,1	2,43	3,56	5,66	1,29	0,81	0,16	0	0	0	44,3
0,6 - 0,9 (m)	0	0	0	2,1	17	5,99	0,65	0	1,94	0,32	0	0	0	0	0	0	28
0,9 - 1,2 (m)	0	0	0	0,16	5,18	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,5
1,2 - 1,5 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0,16	5,99	51,6	13,3	4,05	3,88	6,8	8,41	2,59	2,27	0,97	0	0	0	100

Tabela 4.43: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/03/2015 a 31/03/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1,5 - 2 (s)	0	0	0	0	0,97	0,65	0,16	0,32	0,16	0,16	0,32	0,65	0,32	0	0	0	3,72
2 - 2,5 (s)	0	0	0	0,81	2,91	0,65	0,49	0,49	0,32	2,27	1,62	1,62	0,65	0	0	0	11,8
2,5 - 3 (s)	0	0	0	2,43	9,87	2,27	1,62	2,75	3,24	3,4	0,65	0	0	0	0	0	26,2
3 - 3,5 (s)	0	0	0,16	2,59	16,3	3,24	1,46	0,32	1,13	2,59	0	0	0	0	0	0	27,8
3,5 - 4 (s)	0	0	0	0,16	13,1	4,21	0,32	0	0,97	0	0	0	0	0	0	0	18,8
4 - 4,5 (s)	0	0	0	0	7,28	2,27	0	0	0,97	0	0	0	0	0	0	0	10,5
> 4,5 (s)	0	0	0	0	1,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,13
Total	0	0	0,16	5,99	51,6	13,3	4,05	3,88	6,8	8,41	2,59	2,27	0,97	0	0	0	100

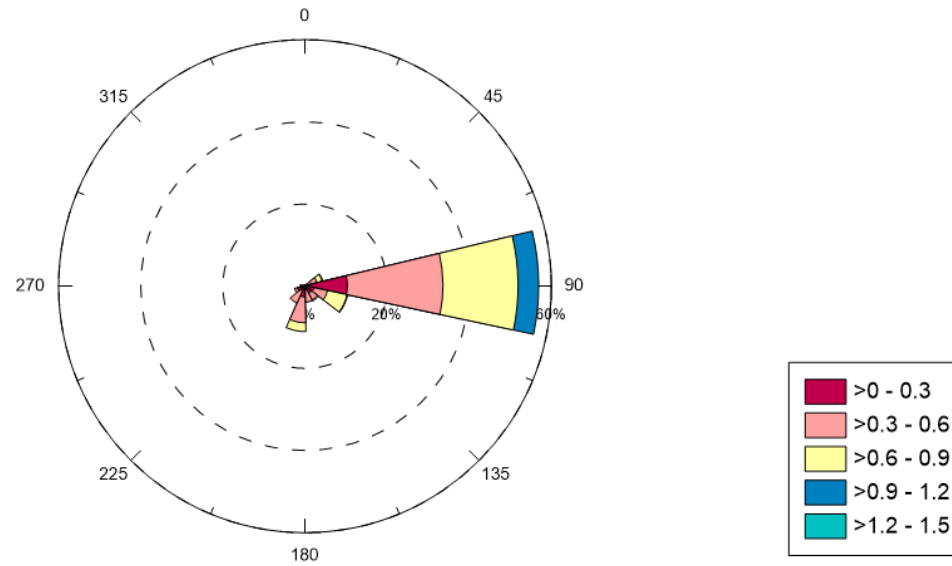


Figura 4.58: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.

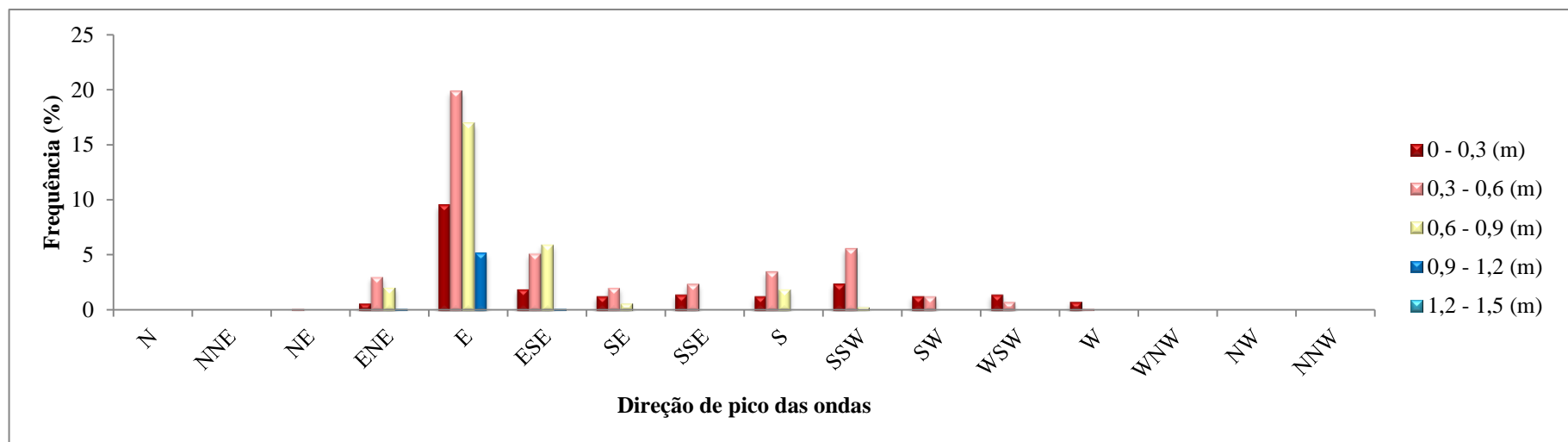


Figura 4.59: Histograma de frequências para altura significativa versus direção de pico das ondas. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.

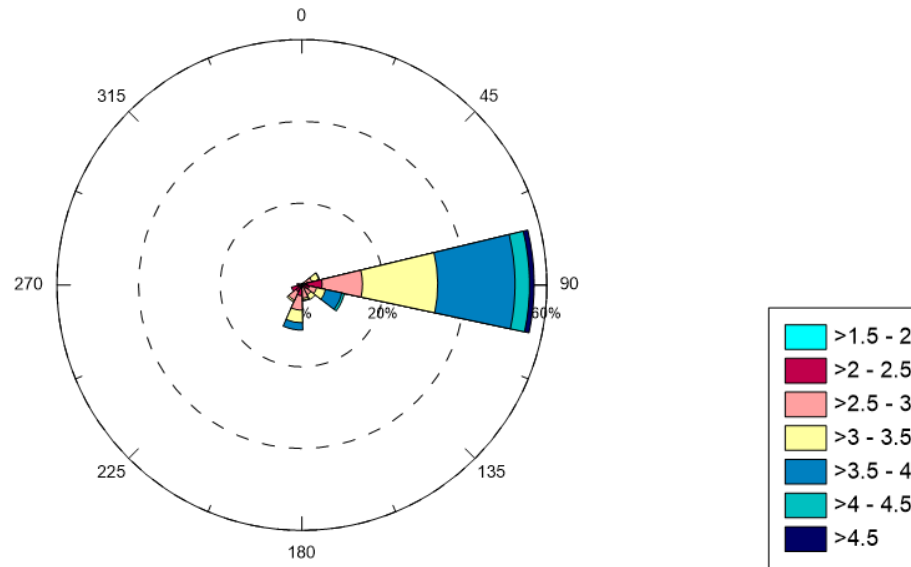


Figura 4.60: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.

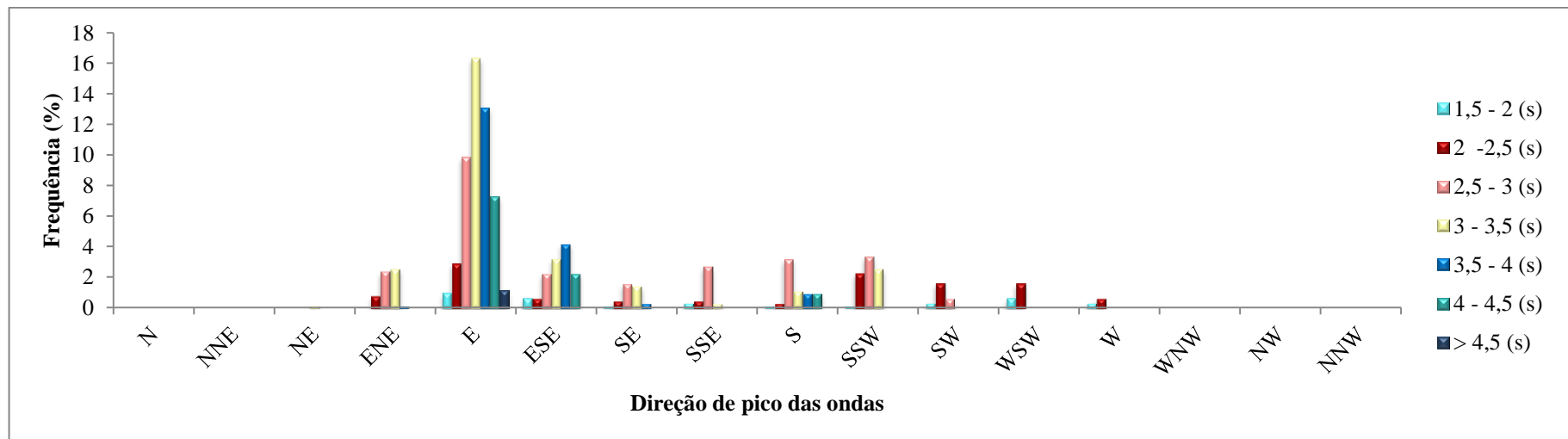


Figura 4.61: Histograma de frequências para período de pico *versus* direção de pico das ondas. Período: 01/03/2015 a 31/03/2015.

Tabela 4.44: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/04/2015 a 30/04/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0 - 0,3 (m)	1,657	1,077	2,651	1,823	14	3,314	4,805	2,071	2,32	3,231	1,326	0,911	0,58	1,988	1,491	0,166	43,41
0,3 - 0,6 (m)	0	0,497	0,829	1,657	12,26	2,568	5,551	1,574	3,728	2,651	1,74	0,58	0,746	0,249	0,083	0	34,71
0,6 - 0,9 (m)	0	0	0	0,829	3,314	3,811	1,408	4,225	2,486	0	0	0	0	0	0	0	16,07
0,9 - 1,2 (m)	0	0	0	0,331	1,243	1,491	0,083	0,746	1,906	0	0	0	0	0	0	0	5,8
1,2 - 1,5 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1,657	1,574	3,48	4,64	30,82	11,18	11,85	8,616	10,44	5,882	3,065	1,491	1,326	2,237	1,574	0,166	100

Tabela 4.45: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/04/2015 a 30/04/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1,5 - 2 (s)	0,414	0,497	1,326	0,58	1,077	1,243	1,243	0,829	0,911	1,077	0,497	0,58	0,249	1,74	1,243	0,166	13,67
2 - 2,5 (s)	1,243	0,746	1,574	1,574	4,722	1,077	2,32	0,911	0,663	1,657	1,16	0,663	0,994	0,497	0,331	0	20,13
2,5 - 3 (s)	0	0,331	0,58	1,408	12,59	1,823	4,308	0,746	2,403	2,983	1,408	0,249	0,083	0	0	0	28,91
3 - 3,5 (s)	0	0	0	0,746	8,285	2,651	3,148	2,071	2,568	0,166	0	0	0	0	0	0	19,64
3,5 - 4 (s)	0	0	0	0,331	2,817	1,491	0,663	2,651	1,823	0	0	0	0	0	0	0	9,776
4 - 4,5 (s)	0	0	0	0	1,077	2,237	0,166	1,326	1,74	0	0	0	0	0	0	0	6,545
> 4,5 (s)	0	0	0	0	0,249	0,663	0	0,083	0,331	0	0	0	0	0	0	0	1,326
Total	1,657	1,574	3,48	4,64	30,82	11,18	11,85	8,616	10,44	5,882	3,065	1,491	1,326	2,237	1,574	0,166	100

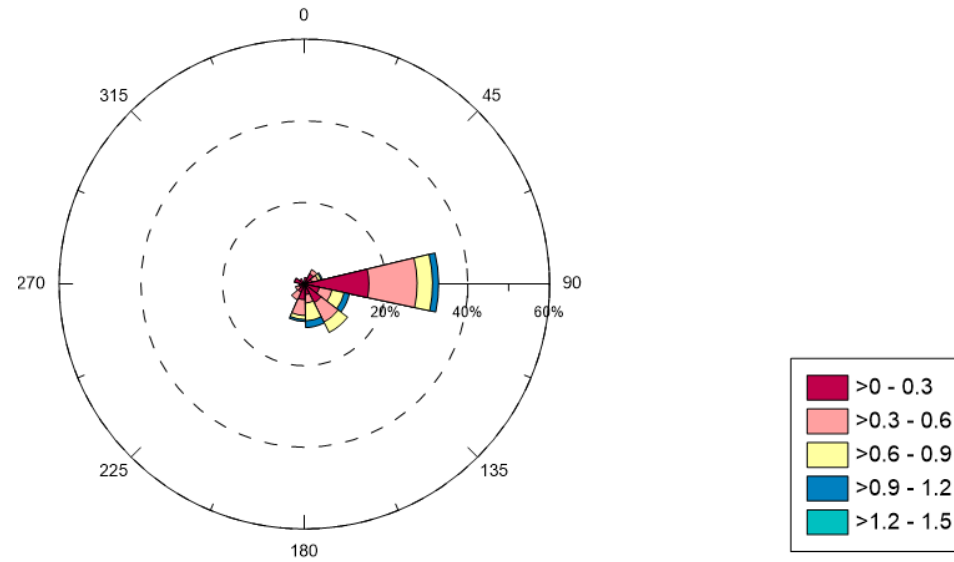


Figura 4.62: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.

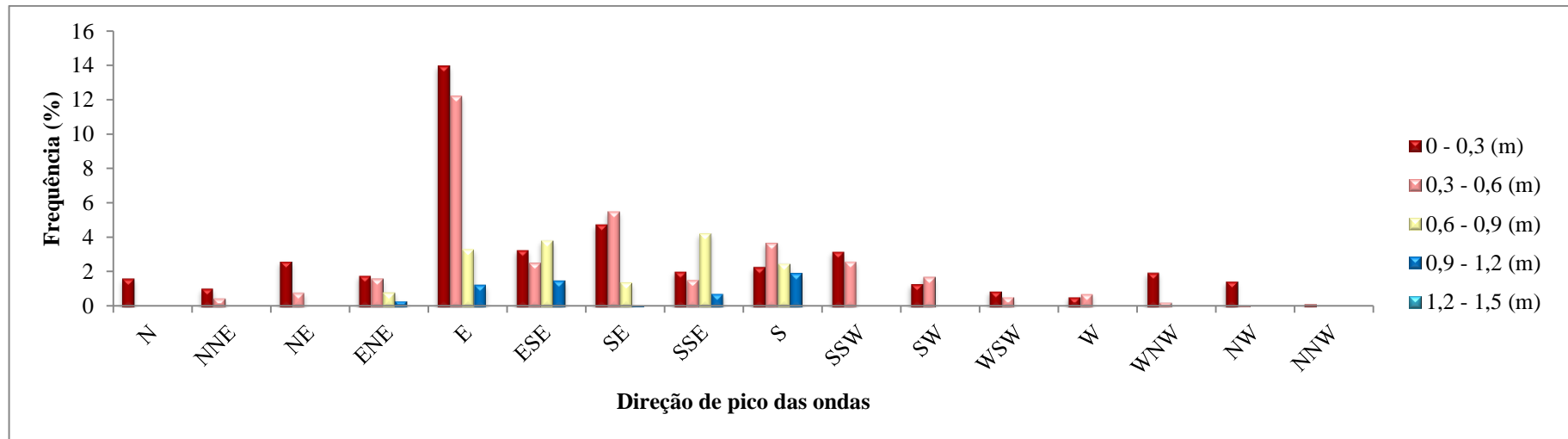


Figura 4.63: Histograma de frequências para altura significativa *versus* direção de pico das ondas. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.

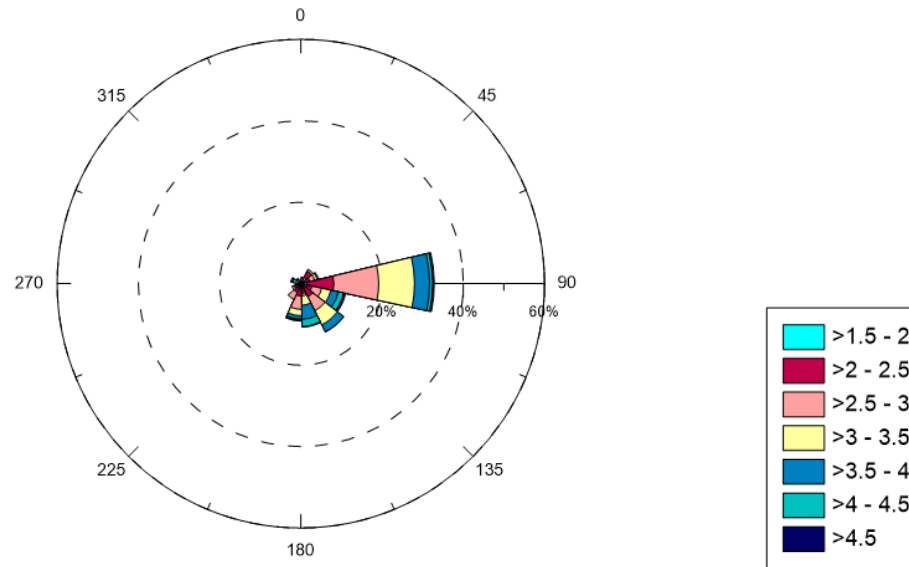


Figura 4.64: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.

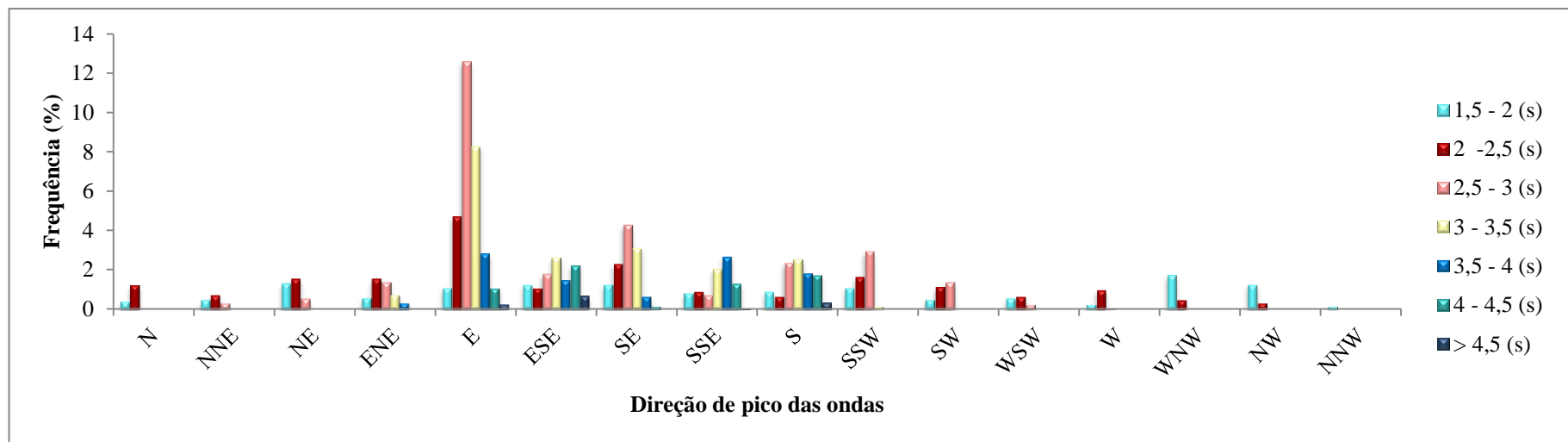


Figura 4.65: Histograma de frequências para período de pico *versus* direção de pico das ondas. Período: 01/04/2015 a 30/04/2015.

Tabela 4.46: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/05/2015 a 31/05/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0 - 0,3 (m)	0,299	1,272	3,665	4,263	15,33	5,011	2,393	1,346	1,645	3,74	1,945	1,047	1,197	1,645	1,272	0,15	46,22
0,3 - 0,6 (m)	0	0,15	2,319	3,441	8,975	3,141	3,141	1,571	3,366	5,984	2,244	0,748	0,449	0	0	0,224	35,75
0,6 - 0,9 (m)	0	0	0	0,449	3,216	1,496	2,992	1,496	2,468	0,449	0	0	0	0	0	0	12,57
0,9 - 1,2 (m)	0	0	0	0,299	0,075	0,972	1,122	0,748	0,823	0	0	0	0	0	0	0	4,039
1,2 - 1,5 (m)	0	0	0	0,15	0	0	0,224	0,449	0,598	0	0	0	0	0	0	0	1,421
Total	0,299	1,421	5,984	8,601	27,6	10,62	9,873	5,61	8,901	10,17	4,188	1,795	1,645	1,645	1,272	0,374	100

Tabela 4.47: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/05/2015 a 31/05/2015 a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1,5 - 2 (s)	0,299	0,972	1,496	1,945	2,992	1,122	1,047	0,449	1,197	1,645	0,823	0,748	0,598	1,346	1,197	0	17,88
2 - 2,5 (s)	0	0,449	2,618	2,992	6,657	1,496	0,898	0,598	0,15	1,346	1,496	1,047	1,047	0,299	0,075	0,224	21,39
2,5 - 3 (s)	0	0	1,87	2,543	9,349	3,515	2,169	0,898	0,898	4,787	1,87	0	0	0	0	0,15	28,05
3 - 3,5 (s)	0	0	0	0,748	5,535	1,795	1,645	1,122	3,291	2,169	0	0	0	0	0	0	16,31
3,5 - 4 (s)	0	0	0	0,224	2,169	0,598	2,019	1,346	1,645	0,224	0	0	0	0	0	0	8,227
4 - 4,5 (s)	0	0	0	0,15	0,898	2,019	1,197	0,374	1,047	0	0	0	0	0	0	0	5,684
> 4,5 (s)	0	0	0	0	0	0,075	0,898	0,823	0,673	0	0	0	0	0	0	0	2,468
Total	0,299	1,421	5,984	8,601	27,6	10,62	9,873	5,61	8,901	10,17	4,188	1,795	1,645	1,645	1,272	0,374	100

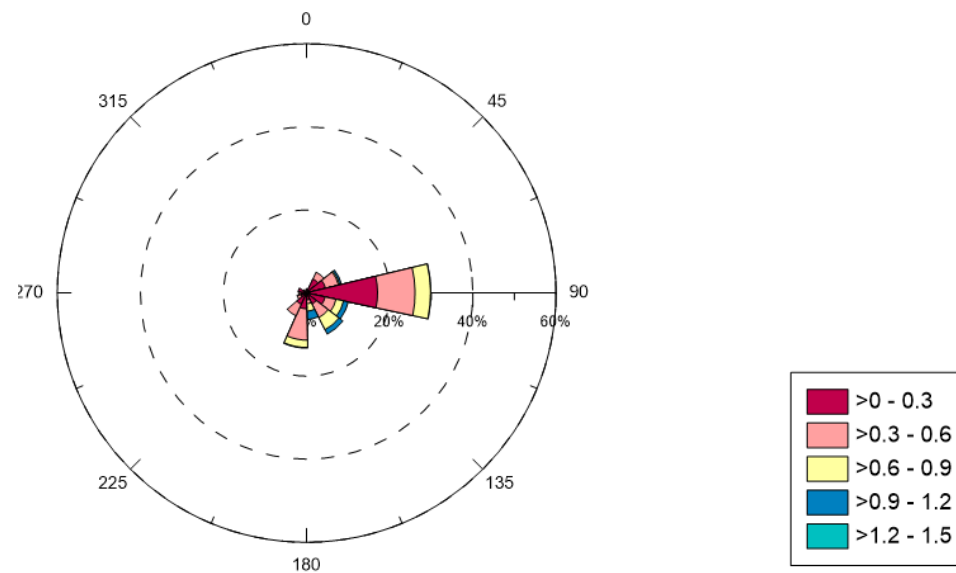


Figura 4.66: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.

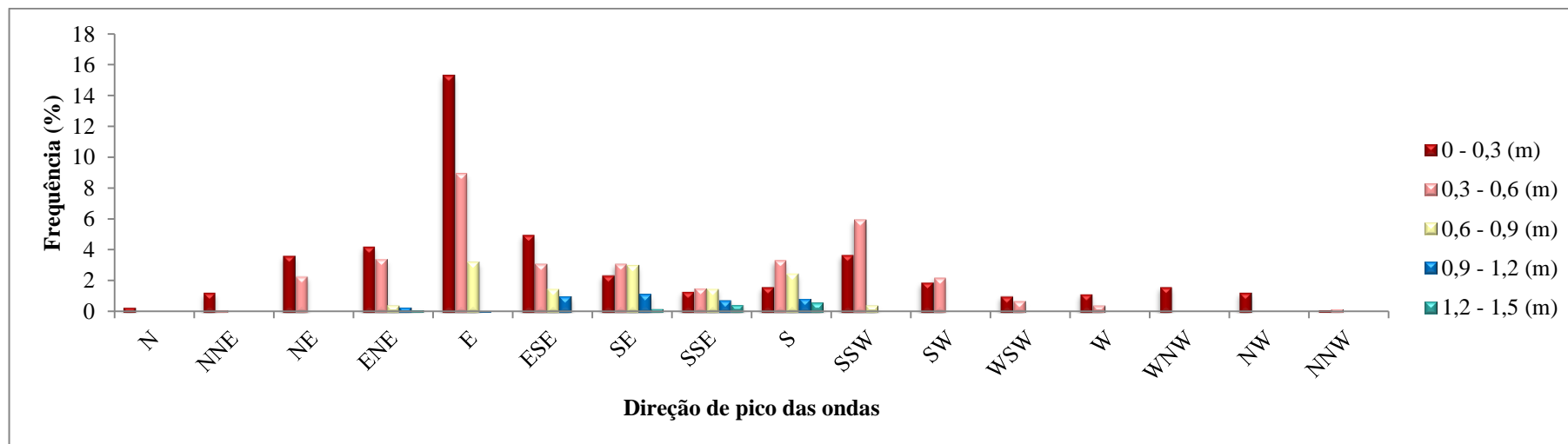


Figura 4.67: Histograma de frequências para altura significativa *versus* direção de pico das ondas. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.

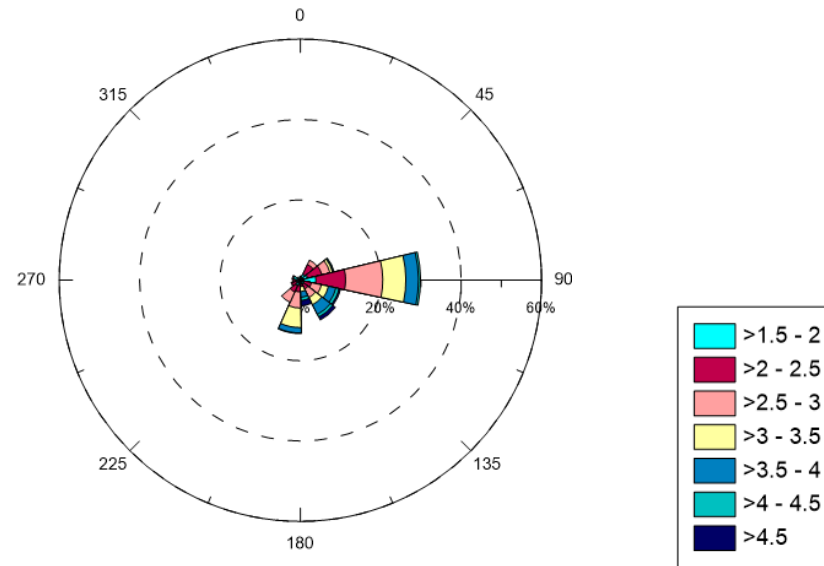


Figura 4.68: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.

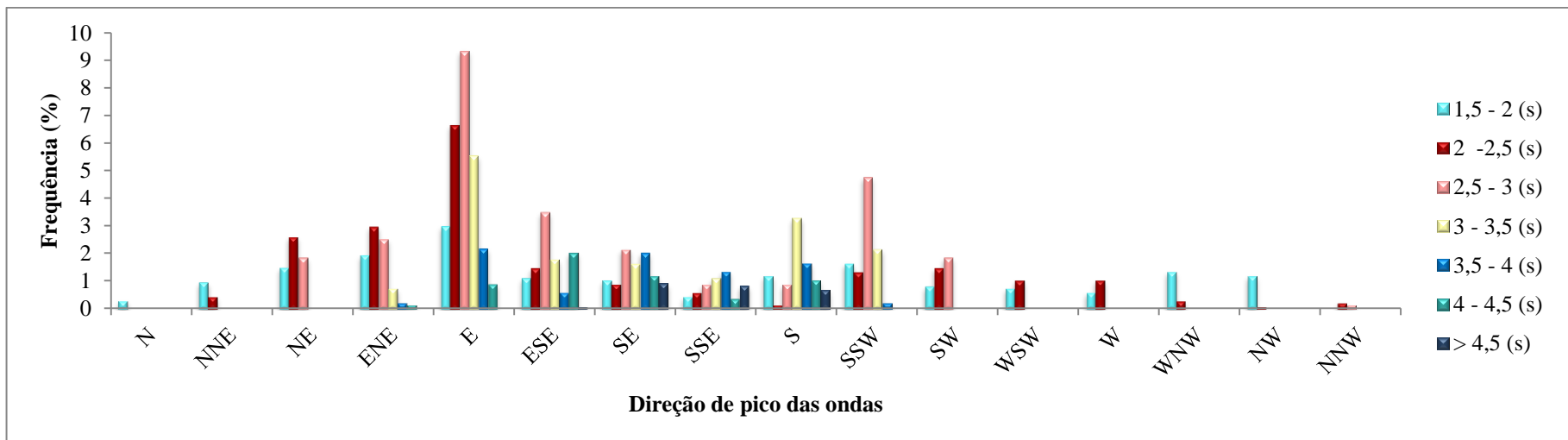


Figura 4.69: Histograma de frequências para período de pico versus direção de pico das ondas. Período: 01/05/2015 a 31/05/2015.

Tabela 4.48: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/06/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0 - 0,3 (m)	1,658	5,191	4,47	5,119	18,39	1,658	1,658	1,442	2,451	4,326	2,307	1,226	1,081	2,74	1,009	1,73	56,45
0,3 - 0,6 (m)	1,081	2,379	2,163	1,875	8,796	1,37	1,802	2,74	4,614	6,633	1,009	0,577	1,298	0,937	0,937	0,072	38,28
0,6 - 0,9 (m)	0	0,505	0,072	0,072	0,433	0	0	0	1,658	1,298	0,072	0	0	0	0	0	4,11
0,9 - 1,2 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	1,009	0,144	0	0	0	0	0	0	1,154
1,2 - 1,5 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2,74	8,075	6,705	7,066	27,61	3,028	3,461	4,182	9,733	12,4	3,389	1,802	2,379	3,677	1,947	1,802	100

Tabela 4.49: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 01/06/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1,5 - 2 (s)	0,793	3,172	2,956	3,533	3,389	0,36	0,721	0,216	1,154	1,514	1,37	1,009	0,865	2,451	0,288	0,649	24,44
2 - 2,5 (s)	1,154	2,451	1,37	1,514	7,57	0,721	0,865	0,649	1,009	2,379	1,009	0,36	0,433	0,721	1,298	1,154	24,66
2,5 - 3 (s)	0,793	0,865	2,163	1,802	8,652	0,937	1,081	2,235	1,226	3,677	0,505	0,433	1,081	0,505	0,36	0	26,32
3 - 3,5 (s)	0	1,442	0,216	0,216	7,642	1,009	0,793	1,009	3,461	3,893	0,505	0	0	0	0	0	20,19
3,5 - 4 (s)	0	0,144	0	0	0,36	0	0	0,072	1,37	0,793	0	0	0	0	0	0	2,74
4 - 4,5 (s)	0	0	0	0	0	0	0	0	1,442	0,144	0	0	0	0	0	0	1,586
> 4,5 (s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,072	0	0	0	0	0	0	0	0,072
Total	2,74	8,075	6,705	7,066	27,61	3,028	3,461	4,182	9,733	12,4	3,389	1,802	2,379	3,677	1,947	1,802	100

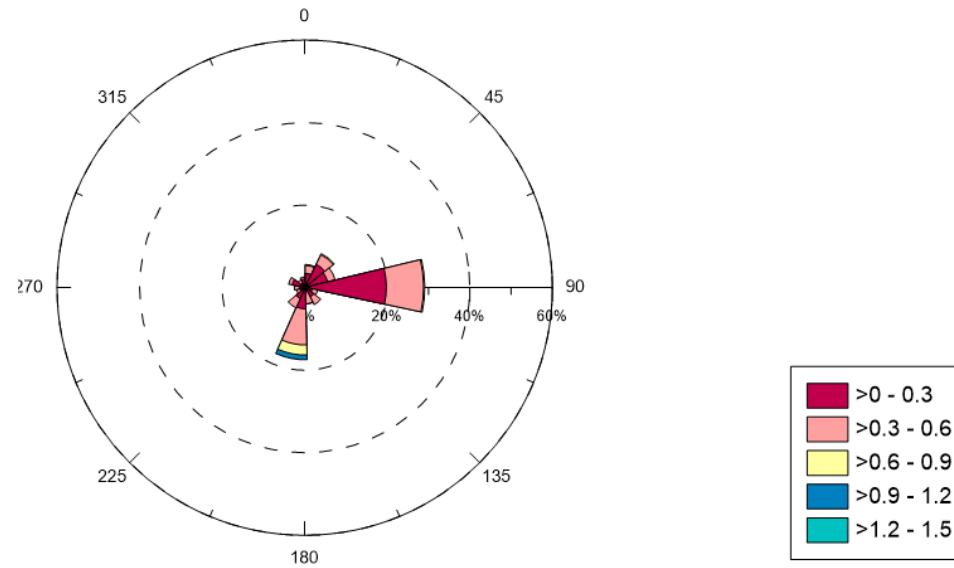


Figura 4.70: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.

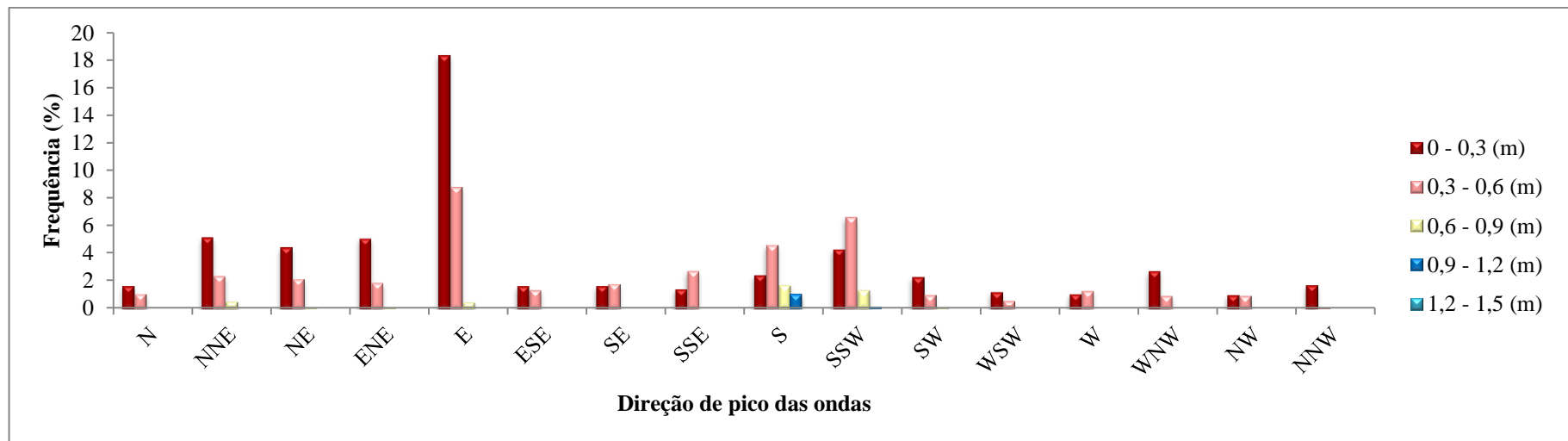


Figura 4.71: Histograma de frequências para altura significativa versus direção de pico das ondas. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.

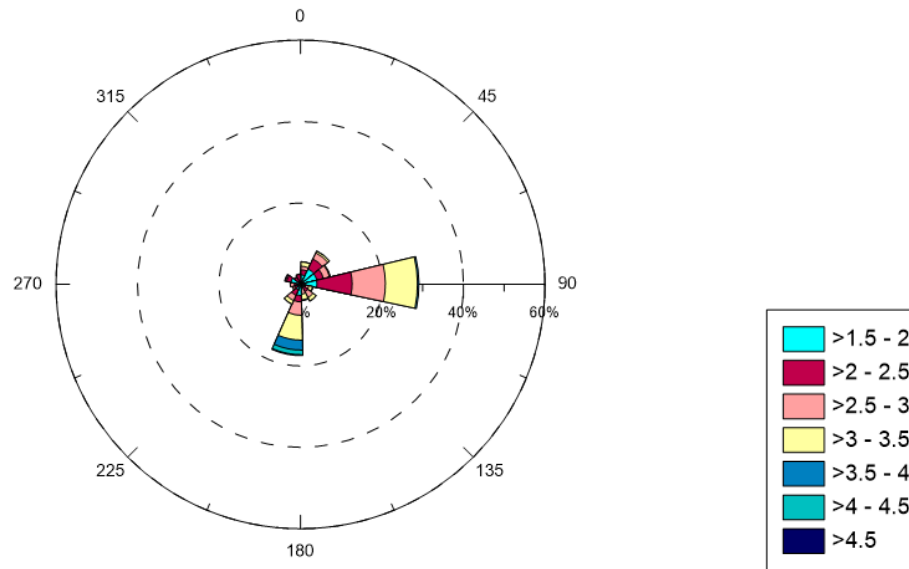


Figura 4.72: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.

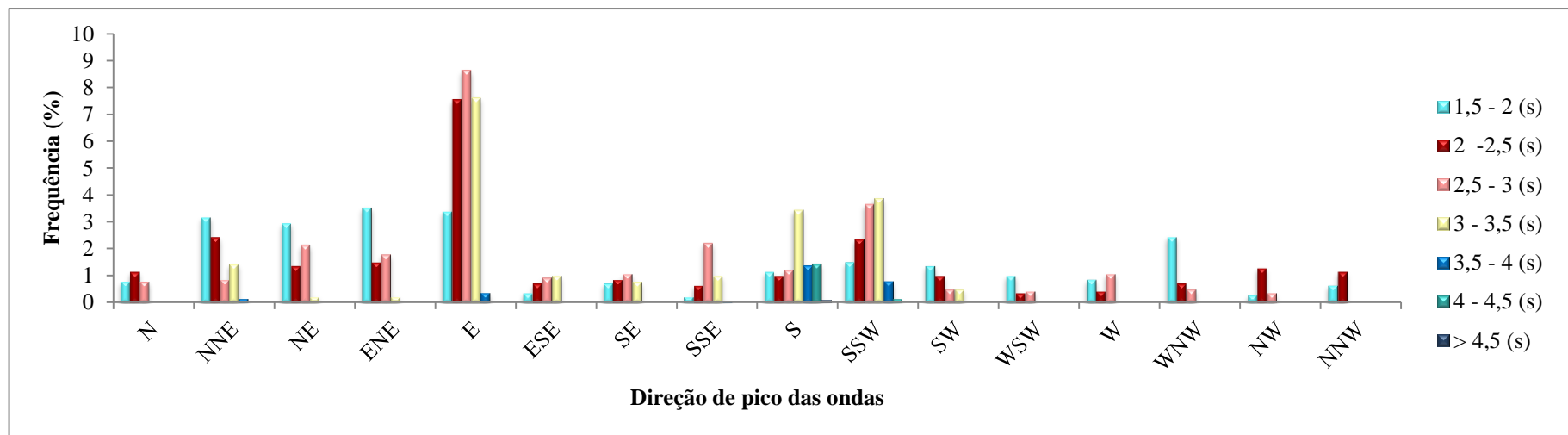


Figura 4.73: Histograma de frequências para período de pico *versus* direção de pico das ondas. Período: 01/06/2015 a 30/06/2015.

Tabela 4.50: Frequências de ocorrência (%) de ondas com altura significativa de cada classe (intervalos de 0,3 m) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0 - 0,3 (m)	0,91	1,99	2,83	2,99	14,1	3,19	2,38	1,36	1,79	3,1	1,56	1,07	0,86	1,56	0,89	0,57	41,2
0,3 - 0,6 (m)	0,27	0,79	1,41	2,08	11,3	3,94	3,7	2,36	4,04	4,8	1,43	0,66	0,63	0,29	0,25	0,07	38
0,6 - 0,9 (m)	0	0,13	0,02	0,54	6,55	3,45	1,23	1,43	2,49	0,55	0,04	0	0	0	0	0	16,4
0,9 - 1,2 (m)	0	0	0	0,16	1,32	0,88	0,29	0,34	0,95	0,04	0	0	0	0	0	0	3,97
1,2 - 1,5 (m)	0	0	0	0,04	0	0	0,05	0,11	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0,39
Total	1,18	2,9	4,26	5,8	33,3	11,5	7,66	5,6	9,47	8,48	3,02	1,74	1,49	1,84	1,15	0,64	100

Tabela 4.51: Frequências de ocorrência (%) de ondas com período de pico de cada classe (intervalos de 0,5 s) de acordo com a direção de pico, durante o período de 27/01/2015 a 30/06/2015, a partir de registros obtidos pelo ondógrafo.

Classes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1,5 - 2 (s)	0,41	1,22	1,54	1,61	2,29	0,82	0,82	0,39	0,91	1,16	0,75	0,75	0,5	1,36	0,63	0,25	15,4
2 - 2,5 (s)	0,57	0,95	1,47	1,61	5,31	1,07	1,02	0,57	0,48	1,57	1,09	0,79	0,7	0,36	0,43	0,36	18,4
2,5 - 3 (s)	0,2	0,34	1,16	1,68	9,27	2,51	2,51	1,49	1,5	3,19	1,04	0,2	0,29	0,13	0,09	0,04	25,6
3 - 3,5 (s)	0	0,36	0,09	0,72	8,93	2,95	2,08	1,45	3,13	2,22	0,14	0	0	0	0	0	22,1
3,5 - 4 (s)	0	0,04	0	0,14	4,65	1,93	0,7	1,07	1,75	0,3	0	0	0	0	0	0	10,6
4 - 4,5 (s)	0	0	0	0,04	2,61	1,88	0,32	0,41	1,38	0,04	0	0	0	0	0	0	6,68
> 4,5 (s)	0	0	0	0	0,25	0,29	0,21	0,21	0,3	0	0	0	0	0	0	0	1,27
1,5 - 2 (s)	1,18	2,9	4,26	5,8	33,3	11,5	7,66	5,6	9,47	8,48	3,02	1,74	1,49	1,84	1,15	0,64	100

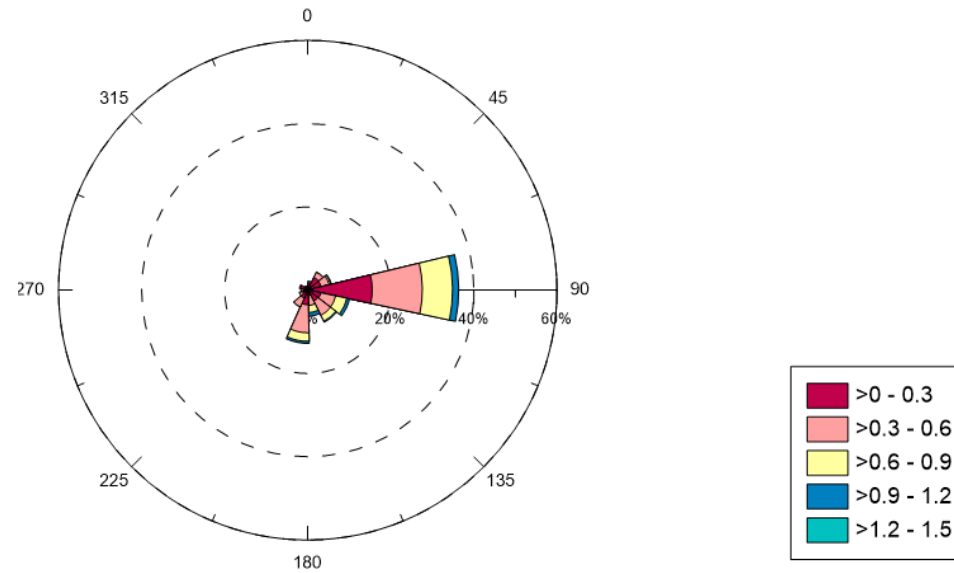


Figura 4.74: Rosa de onda para altura significativa, com legenda em metros. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.

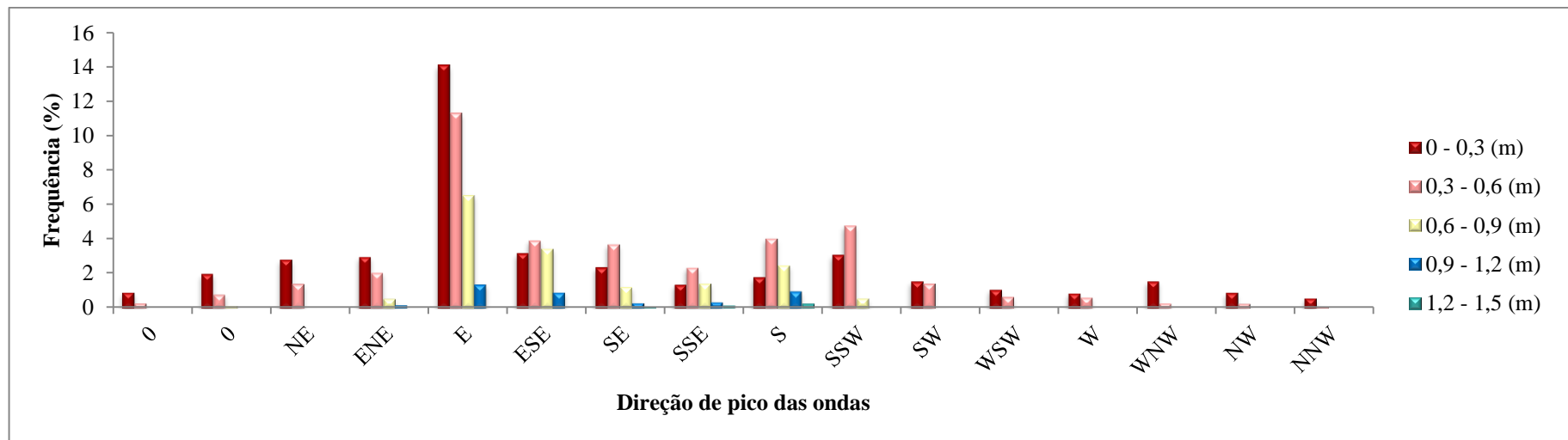


Figura 4.75: Histograma de frequências para altura significativa *versus* direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.

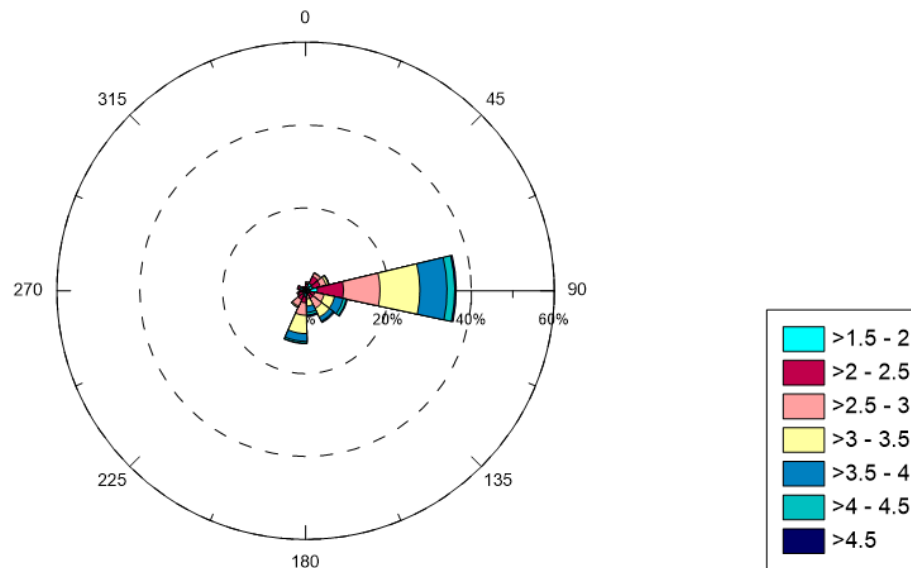


Figura 4.76: Rosa de onda para período de pico, com legenda em segundos. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.

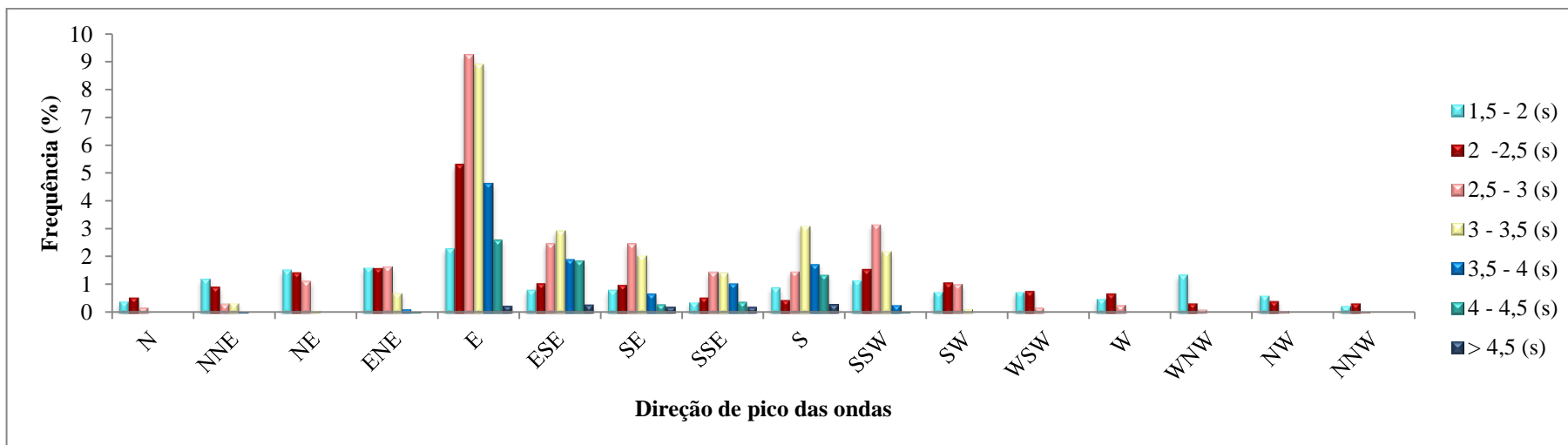


Figura 4.77: Histograma de frequências para período de pico *versus* direção de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.

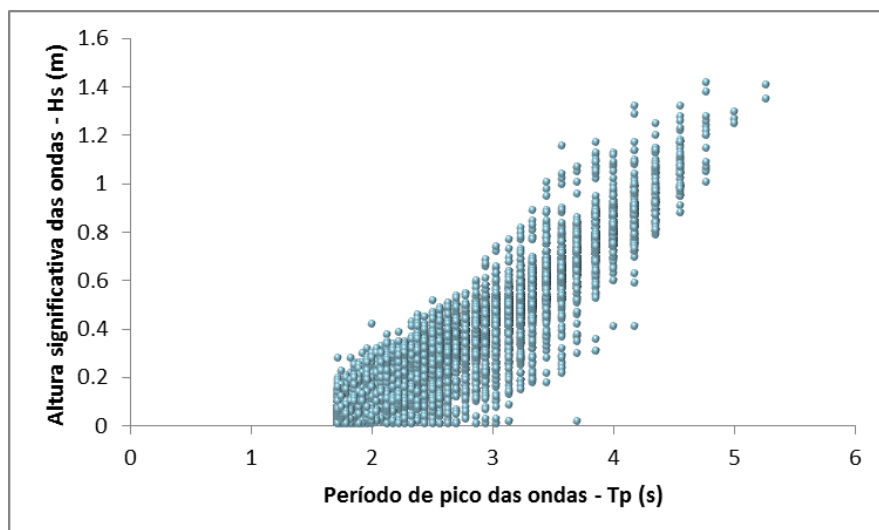


Figura 4.78: Alturas significativas das ondas *versus* períodos de pico das ondas. Período: 27/01/2015 a 30/06/2015.

Através da Tabela 4.40 e das Figuras 4.54 e 4.55 observa-se que, durante o período de 27 de janeiro a 28 de fevereiro de 2015, ondas com alturas significativas entre 0,3 e 0,6 metros (39,7%), entre 0,6 e 0,9 metros (29,6%) e entre 0 e 0,3 metros (26,1%); e com direção de pico de E (38,1%) e de ESE (21,7%) ocorreram com maiores frequências no local de fundeio do ondógrafo. Ondas com direção de pico de E apresentaram frequências de 15,6%, 10,8% e 9,26%, respectivamente, para intervalos de alturas significativas entre 0,6 e 0,9 metros, entre 0,3 e 0,6 metros e entre 0 e 0,3 metros. Ondas com direções de pico de ESE ocorreram com frequências de 8,72% e 8,17% para os intervalos de alturas significativas entre 0,3 e 0,6 metros e entre 0,6 e 0,9 metros, concomitantemente.

De acordo com a Tabela 4.41 e com as Figuras 4.56 e 4.57 verifica-se que, durante o período de 27 de janeiro a 28 de fevereiro de 2015, ondas com períodos de pico entre 3 e 3,5 segundos (29,6%) e entre 2,5 e 3 segundos (16,8%) ocorreram com bastante frequência. Ondas com direção de pico de E e com período de pico entre 3 e 3,5 segundos (10,7%), 3,5 e 4 segundos (10,1%), 4 e 4,5 segundos (6,9%) e entre 2,5 e 3 segundos (5,45%) foram registradas pelo ondógrafo com maiores frequências. Observaram-se, também, muita incidência de ondas com períodos de pico de ESE com períodos de pico entre 3 e 3,5 segundos (6,81%), 3,5 e 4 segundos (5,09%), 2,5 e 3 segundos (4%) e entre 4 e 4,5 segundos (3,36%).

A partir das Figuras 4.58 e 4.59 e da Tabela 4.42 verifica-se que ondas com direções de pico de E totalizaram 51,6% dos registros feitos pelo ondógrafo em março de 2015. Em relação à altura significativa das ondas, as maiores frequências ocorreram nos intervalos de 0,3 a 0,6 metros (44,3%), de 0,6 a 0,9 metros (28%) e de 0 a 0,3 metros (22,2%). Especificamente, ondas

com alturas significativas entre 0,3 e 0,6 metros e direções de pico de E ocorreram com maiores frequências, totalizando 19,9% dos casos. Observa-se ainda, bastante ocorrência de ondas com alturas significativas entre 0,6 e 0,9 metros (17 %) e entre 0 e 0,3 metros (9,55%) também com direção de pico de E.

Conforme as Figuras 4.60 e 4.61 e com a Tabela 4.43 constata-se que ondas com períodos de pico entre 2,5 e 3 segundos e entre 3 e 3,5 segundos ocorreram em, respectivamente, 26,2% e 27,8% dos registros efetuados pelo ondógrafo em março de 2015. Ondas com períodos de pico entre 3 e 3,5 segundos e direções de pico de E incidiram com maiores frequências (16,3%). Nota-se também, bastante ocorrência de ondas com períodos de pico entre 3,5 e 4 segundos (13,1%), entre 2,5 e 3 segundos (9,87%) e entre 4 e 4,5 segundos (7,28%), ambas com direções de pico de E.

De acordo com a Tabela 4.44 e com as Figuras 4.62 e 4.63 observa-se que, durante abril de 2015, o ondógrafo adquiriu registros com maiores porcentagens de direções de pico de E, totalizando 30,82%. Percebe-se ainda que 43,41% dos registros consistiram em ondas com alturas significativas entre 0 e 0,3 metros e 34,71% dos casos, entre 0,3 e 0,6 metros. Especificamente, ondas com direções de pico de E e com alturas significativas entre 0 e 0,3 metros ocorreram em 14% dos casos, e com alturas significativas entre 0,3 e 0,6 metros em 12,26%.

Ondas com períodos de pico entre 2,5 e 3 segundos, 3 e 3,5 segundos e entre 2 e 2,5 segundos ocorreram em, respectivamente, 28,91%, 19,64% e 20,13% das medições realizadas pelo ondógrafo, durante abril de 2015, conforme constata-se na Tabela 4.45 e nas Figuras 4.64 e 4.65. Períodos de pico de maiores frequências ocorreram com direções de pico de E, sendo que 12,59% corresponderam ao intervalo entre 2,5 e 3 segundos, 8,29% entre 3 e 3,5 segundos e 4,72% entre 2 e 2,5 segundos.

Durante maio de 2015, as maiores frequências registradas pelo ondógrafo consistiram em direções de pico de E (27,6%) e de SSW (10,17%). Em relação à altura significativa, ondas com intervalos entre 0 e 0,3 metros (46,22%) e entre 0,3 e 0,6 metros (35,75%) incidiram com muita frequência. Especificamente, ondas com direções de pico de E e alturas significativas entre 0 e 0,3 metros e entre 0,3 e 0,6 metros ocorreram em 15,33% e 8,98% dos casos, respectivamente. Salienta-se que 5,98% dos registros corresponderam a ondas com alturas significativas entre 0,3 e 0,6 metros e com direções de pico de SSW. Estes resultados são apresentados na Tabela 4.46 e nas Figuras 4.66 e 4.67.

Ondas com períodos de pico entre 2,5 e 3 segundos e entre 2 e 2,5 segundos ocorreram em 28,05% e 21,39% dos casos em maio de 2015, conforme constata-se na Tabela 4.47 e nas Figuras 4.68 e 4.69. Ondas com períodos de pico entre 2,5 e 3 segundos, entre 2 e 2,5 segundos e entre 3 e 3,5 segundos incidiram com direções de pico de E, representando 9,35%, 6,66% e 5,54% dos casos. Observa-se ainda que 4,79% dos casos de ondas corresponderam ao intervalo de 2,5 a 3 segundos com direções de pico de SSW.

Em junho de 2015, ondas com direções de pico de E e SSW corresponderam às maiores frequências do período, totalizando 27,61% e 12,4%, concomitantemente. Em relação à altura significativa, a maioria dos casos equivalem aos intervalos entre 0 e 0,3 metros (56,45%) e entre 0,3 e 0,6 metros (38,28%). Ondas com direções de pico de E e alturas significativas entre 0 e 0,3 metros e entre 0,3 e 0,4 metros ocorreram em, respectivamente, 18,39% e 8,80% dos registros obtidos pelo ondógrafo. Estes valores são apresentados na Tabela 4.48 e nas Figuras 4.70 e 4.71.

Ondas com períodos de pico entre 1,5 e 2 segundos, 2 e 2,5 segundos, 2,5 e 3 segundos e entre 3 e 3,5 segundos incidiram com muita frequência, correspondendo a 24,44%, 24,66%, 26,32% e 20,15% dos registros adquiridos em junho de 2015, conforme observa-se na Tabela 4.49 e nas Figuras 4.72 e 4.73. Especificamente, ondas com direções de pico de E e períodos de pico entre 2 e 2,5 segundos, 2,5 e 3 segundos e entre 3 e 3,5 segundos ocorreram com 7,57%, 8,65% e 7,64% de frequência, concomitantemente. E ondas com direções de pico de SSW ocorreram com 2,38%, 3,68% e 3,89% de frequência para os períodos de pico entre 2 e 2,5 segundos, entre 2,5 e 3 segundos e entre 3 e 3,5 segundos, respectivamente.

Através da Tabela 4.50 e das Figuras 4.74 e 4.75 constata-se que durante todo período de operação do ondógrafo (27 de janeiro a 30 de junho de 2015), as maiores ocorrências de ondas corresponderam às direções de pico de E (33,3%), ESE (11,5%), S (9,47%), SSW (8,48%), SE (7,66%), ENE (5,8%), SSE (5,6%) e NE (4,26%). Em relação à altura significativa, percebe-se que ondas de 0 a 0,3 metros (41,2%), 0,3 a 0,6 metros (38%) e 0,6 a 0,9 metros (16,4%) incidiram com muita frequência. Ondas com alturas significativas entre 0,9 e 1,2 metros ocorreram apenas em 3,97% dos casos. E ondas com alturas significativas entre 1,2 e 1,5 metros incidiram somente em 0,39% dos registros efetuados pelo ondógrafo.

A partir da Tabela 4.51 e das Figuras 4.76 e 4.77 verifica-se que ondas com períodos de pico entre 2,5 e 3 segundos (25,6%), 3 e 3,5 segundos (22,1%) e entre 2 e 2,5 segundos (18,4%) ocorreram com maiores frequências no local de fundeio do ondógrafo durante todo período de operação (27 de janeiro a 30 de junho de 2015). Ondas com períodos de pico entre 1,5 e 2

segundos (15,4%), 3,5 a 4 segundos (10,6%), 4 e 4,5 segundos (6,68%) ocorrem menos. Salienta-se que ondas com períodos de pico maiores que 4,5 segundos ocorreram em apenas 1,27% de todos os casos.

De maneira geral constata-se que, durante 27 de janeiro a 30 de junho de 2015, as maiores frequências de ondas registradas pelo ondógrafo corresponderam a curtos períodos (entre 2 e 3,5 segundos) e a pequenos valores de alturas significativas (entre 0 e 0,6 metros).

4.4 Resultados da Modelagem Computacional

4.4.1 Calibração do Modelo de Ondas para a Lagoa dos Patos

De acordo com a metodologia apresentada no Capítulo 3, Seção 3.4.2, na qual foi realizada a calibração do modelo de ondas na Lagoa dos Patos através do SWAN, com base nos parâmetros de ondas medidos pelo ondógrafo, obtiveram-se as séries temporais ilustradas na Figura 4.79, e os resultados da análise estatística apresentados na Tabela 4.52.

Como exemplos dos resultados adquiridos, as Figuras 4.80 e 4.81 apresentam os resultados de alturas significativas com direções de pico e de períodos de pico, respectivamente, obtidos através do *software* DELFT3D, referentes às 14h55min do dia 28 de março de 2015. Nesta data e hora, o ondógrafo registrou valores de 0,55 metros, 3,13 segundos e 196,9°, simultaneamente, para altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas. Para o mesmo horário, o modelo SWAN forneceu valores de 0,42 metros, 2,23 segundos e 192,35° para os correspondentes parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir), no ponto de localização do ondógrafo.

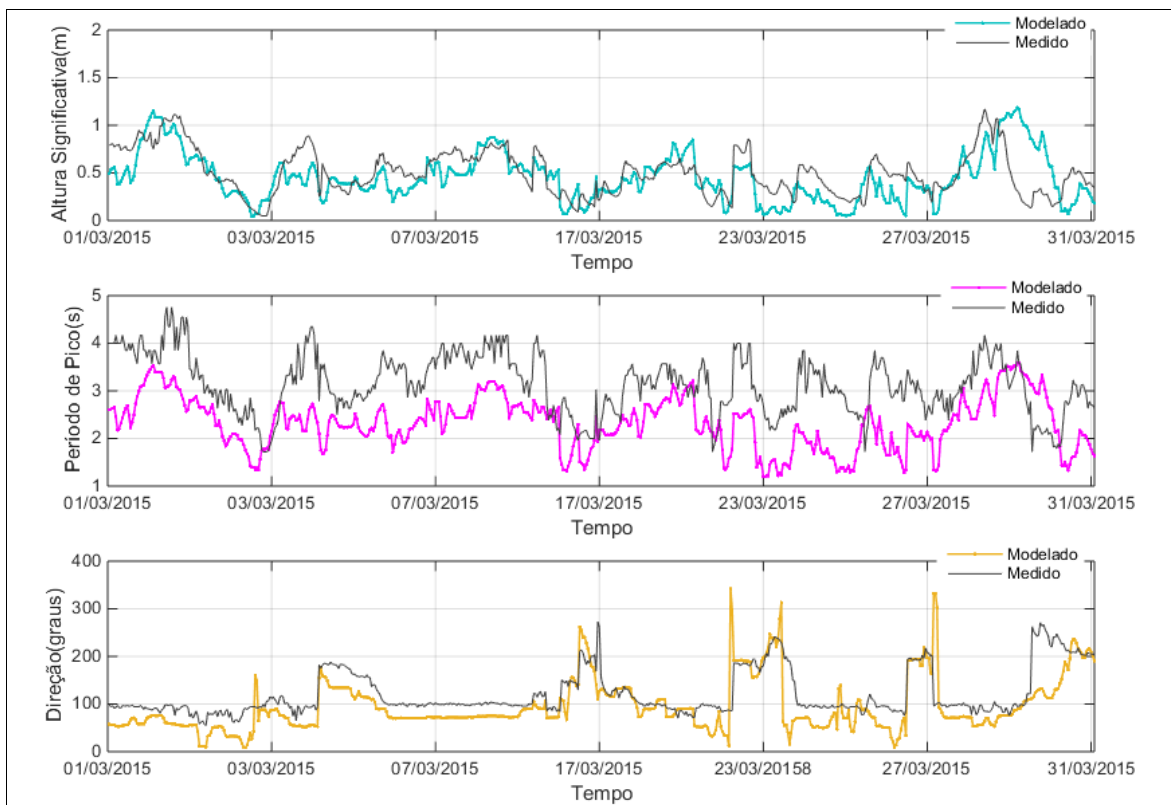


Figura 4.79: Séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas.

Período: março de 2015.

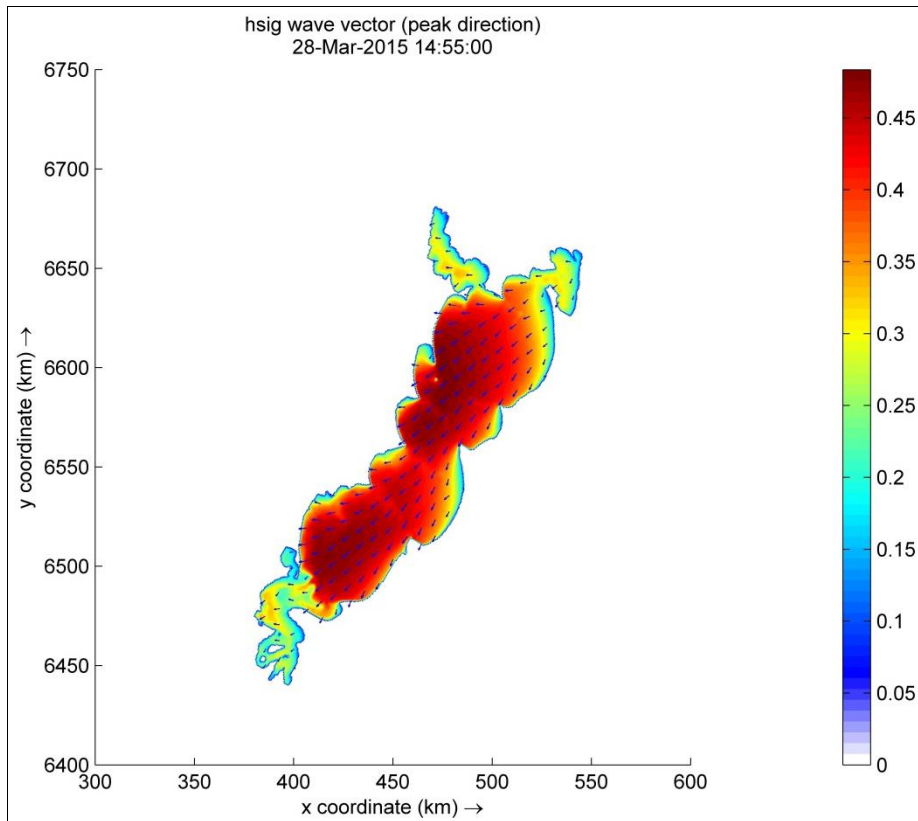


Figura 4.80: Resultado do modelo SWAN, referente às 14h55min do dia 28 de março de 2015, para altura significativa e direção de pico (vetores) das ondas na Lagoa dos Patos. Legenda em metros.

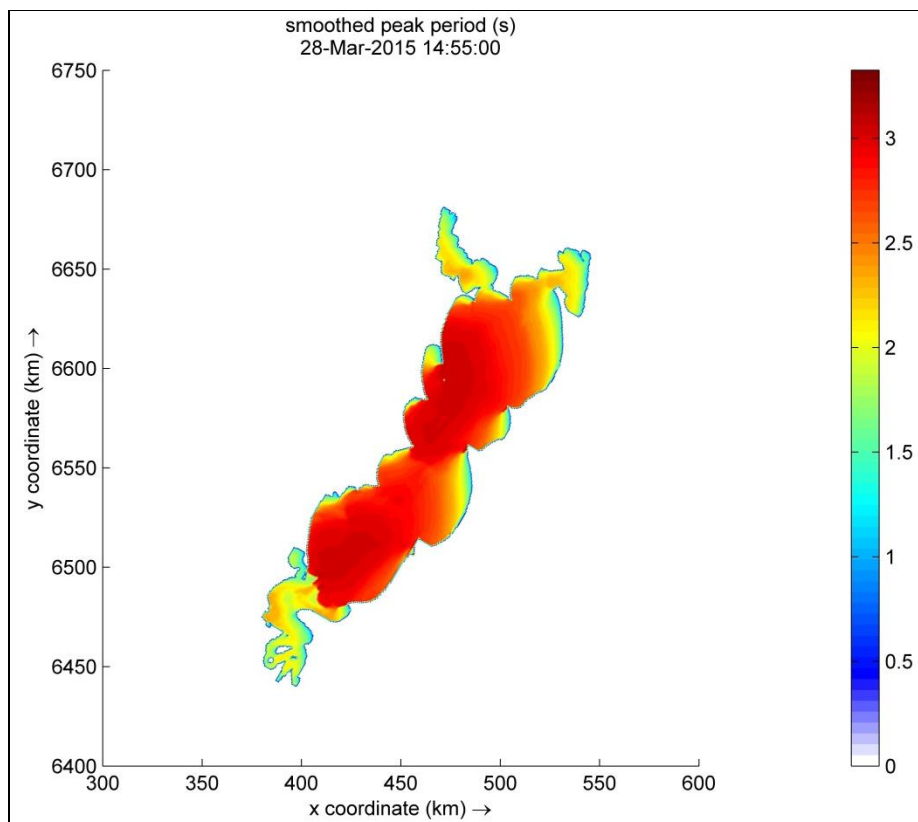


Figura 4.81: Resultado do modelo SWAN, referente às 14h55min do dia 28 de março de 2015, para período de pico das ondas na Lagoa dos Patos. Legenda em segundos.

Tabela 4.52: Resultados da análise estatística

Parâmetro	\bar{o}	\bar{m}	V	RMSE	SI	SS
Altura significativa	0,57m	0,50 m	- 0,07m	0,18 m	0,31	0,89
Período de pico	3,33 s	2,45 s	- 0,79 s	1,01 s	0,30	0,78
Direção de pico	105,75°	75,83°	-21,46°	36,79°	0,34	0,83

De acordo com os resultados expostos na Tabela 4.52, observa-se que os valores médios de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas, adquiridos através do ondógrafo, durante março de 2015, são 0,57 metros, 3,33 segundos e 105,75°, respectivamente. E os correspondentes valores médios obtidos através do SWAN são 0,50 metros, 2,45 segundos e 75,83°, simultaneamente.

De maneira geral, constata-se que o modelo SWAN apresentou um desempenho satisfatório para os três parâmetros de ondas analisados (altura significativa, período de pico e direção de pico), pois os resultados obtidos para o índice de espalhamento (*SI*) estão na faixa dos 30%, e os resultados adquiridos para a inclinação quadrática média (*SS*) apresentam-se próximos de 1, indicando a confiabilidade do modelo e um bom ajuste. Os valores de índice de espalhamento (*SI*) adquiridos são 0,31, 0,30 e 0,34, e os valores obtidos para inclinação quadrática média (*SS*) são 0,89, 0,78 e 0,83, concomitantemente, para altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas.

Salienta-se que os valores negativos encontrados para o viés (*V*) e os valores obtidos para a inclinação média quadrática (*SS*), os quais são menores que 1, indicam a tendência do modelo SWAN em subestimar os valores medidos pelo ondógrafo, tanto para altura significativa, quanto para período de pico e direção de pico das ondas. Esta tendência apresentada pelo modelo pode ser atribuída aos valores de ventos adotados como forçantes, os quais correspondem às menores intensidades obtidas à cada intervalo de uma hora, conforme explicado no Capítulo 3, Seção 3.3.3. Ainda, de acordo com a Tabela 4.52, observa-se que os valores do erro médio quadrático (*RMSE*) são de 0,18 metros para altura significativa, 1,01 segundos para período de pico e 36,79° para direção de pico das ondas.

As Figuras 4.82 a 4.84 mostram, respectivamente, os diagramas de dispersão obtidos para altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas, onde a reta contínua representa a inclinação quadrática média (*SS*), enquanto que a reta tracejada, construída a 45°, serve apenas como referência.

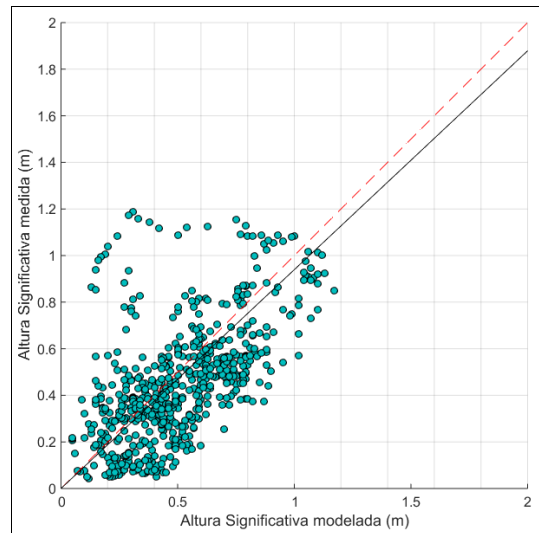


Figura 4.82: Diagrama de dispersão para altura significativa das ondas. Linha contínua: inclinação quadrática média (SS). Linha Tracejada: traçada a 45° (apenas para referência).

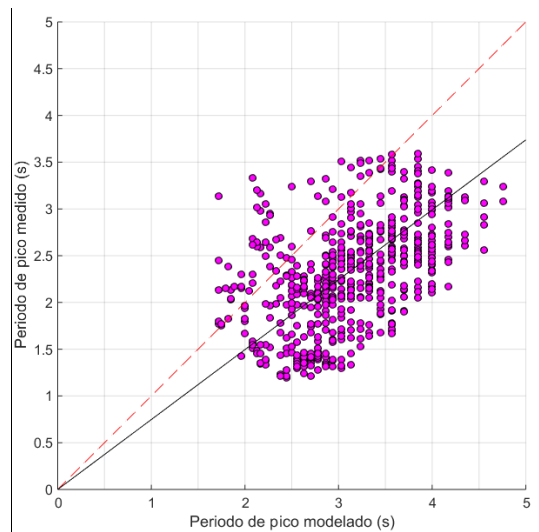


Figura 4.83: Diagrama de dispersão para período de pico das ondas. Linha contínua: inclinação quadrática média (SS). Linha Tracejada: traçada a 45° (apenas para referência).

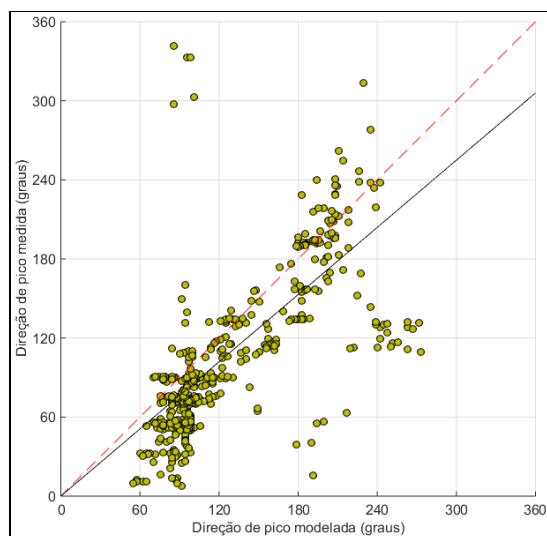


Figura 4.84: Diagrama de dispersão para direção de pico das ondas. Linha contínua: inclinação quadrática média (SS). Linha Tracejada: traçada a 45° (apenas para referência).

Com intuito de eliminar o viés ou a tendenciosidade do modelo na previsão dos parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir), foram determinados os fatores de ajuste para cada variável, conforme a metodologia desenvolvida por Melo et al. (2010), descrita no Capítulo 3, Seção 3.4.2. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.53, onde se verifica que os fatores de ajuste (α) calculados são: 1,14 para altura significativa, 1,36 para período de pico e 1,39 para direção de pico das ondas. Desta forma, ao se multiplicar os resultados de cada parâmetro de onda gerados pelo SWAN pelos respectivos fatores de ajuste encontrados, os valores de inclinação quadrática média (SS) igualam-se a 1, indicando que, em média, o modelo reproduz as medições realizadas pelo ondógrafo.

Tabela 4.53: Resultados dos fatores de ajuste

Parâmetro	Fator de ajuste (α)
Altura significativa	1,14
Período de pico	1,36
Direção de pico	1,39

A análise comparativa entre os valores obtidos pelo modelo e dados medidos pelo ondógrafo mostrou, de maneira geral, um bom desempenho do modelo SWAN. Salienta-se que o modelo apresenta tendência em subestimar as medições, tanto para altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas, mas esta tendenciosidade é eliminada ao se multiplicar os resultados do modelo pelos respectivos fatores de ajuste. Portanto, conclui-se que o modelo SWAN pode ser aplicado à Lagoa dos Patos, com resultados confiáveis.

4.4.2 Calibração do Modelo Hidrodinâmico para a Lagoa dos Patos

Através da calibração realizada para o modelo hidrodinâmico da Lagoa dos patos, conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.4.3, obtiveram-se, como resultados, variações do nível da água na lagoa durante todo ano de 2008 (ano representativo de ventos).

A Figura 4.85 apresenta as séries temporais de 2008 referentes às variações do nível d'água na Lagoa dos Patos, no ponto de localização do linígrafo em São Lourenço do Sul, adquiridas através de medições *in situ* e da modelagem numérica.

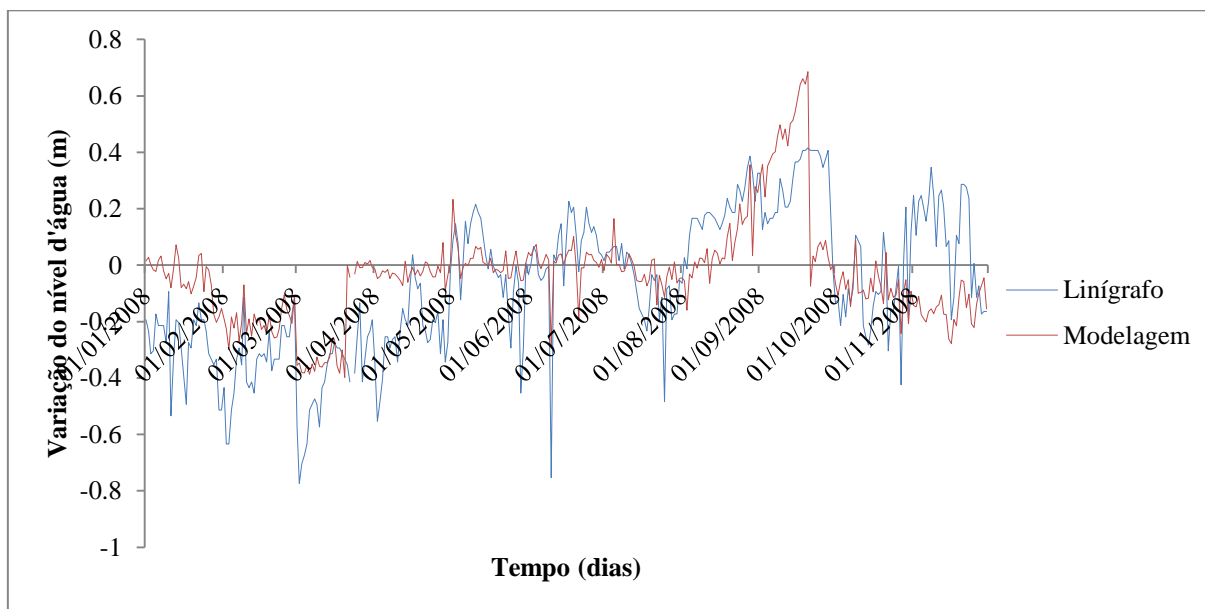


Figura 4.85: Séries temporais de variações do nível d'água no linígrafo de São Lourenço do Sul, durante 2008.

Através da análise estatística realizada entre os resultados de níveis modelados pelo DELFT3D e dados de níveis medidos no linígrafo em São Lourenço do Sul, obteve-se o valor da inclinação quadrática média (SS), equivalente a 0,68. Como este valor é menor que 1, significa que o modelo tende a subestimar as medições *in situ*.

Embora tenham sido utilizadas apenas as vazões dos principais afluentes da Lagoa dos Patos e dados de ventos para a calibração do modelo hidrodinâmico, o resultado de SS indica um bom desempenho do modelo.

Um melhor resultado poderia ter sido obtido se a grade numérica construída fosse ampliada, abrangendo parte da região costeira do Rio Grande do Sul e, assim, inserindo dados de variações de maré, conforme a metodologia aplicada por Vinzon et al. (2009). No entanto, como o valor de SS apresentou-se aceitável, e com base no tempo necessário para dedicar-se à metodologia apresentada pela referida autora, não foi possível aplicá-la nesta Tese, visto que as variações de maré são mais significativas no estuário da Lagoa dos Patos.

A Figura 4.86 ilustra um dos resultados de variações de níveis d'água na Lagoa dos Patos, obtido através do DELFT3D, referente ao dia 26 de outubro de 2008. Com ventos atuantes de 6,3 m/s provenientes de ENE observa-se o efeito do empilhamento da água no sul da Lagoa dos Patos.

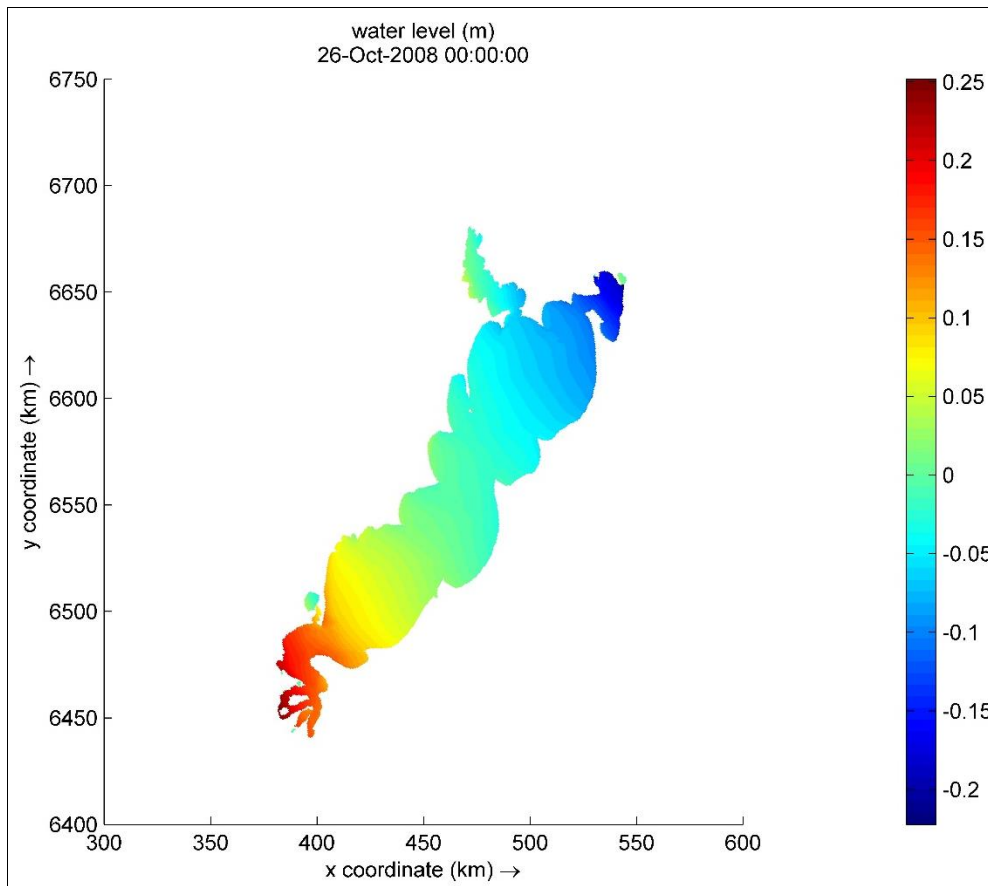


Figura 4.86: Resultado do modelo Delft para variação do nível d'água na Lagoa dos Patos.

Data: 26 de outubro de 2008. Legenda de cores em metros.

4.4.3 Geração de Ondas na Lagoa dos Patos

Conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.4.4, a seleção de casos representativos de ondas para a grade local (São Lourenço do Sul) foi realizada a partir da modelagem de ondas na Lagoa dos Patos (grade regional) durante todo ano de 2008 (ano representativo).

Como exemplo, a Figura 4.87 mostra o resultado da simulação com o SWAN referente às alturas significativas com vetores de direções de pico correspondentes às 9 horas do dia 2 de maio de 2008, data em que foram observados os maiores valores de H_s registrados no contorno da grade local (São Lourenço do Sul). Os respectivos resultados de períodos de pico das ondas são ilustrados na Figura 4.88. Nesta ocasião, os valores de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas, obtidos no contorno da grade local (São Lourenço do Sul), foram de 1,02 metros, 3,45 segundos e 129° . Ressalta-se que, após a geração de ondas através do SWAN, todos os resultados foram corrigidos com os fatores de ajuste, visando eliminar a tendenciosidade do modelo em subestimar valores medidos.

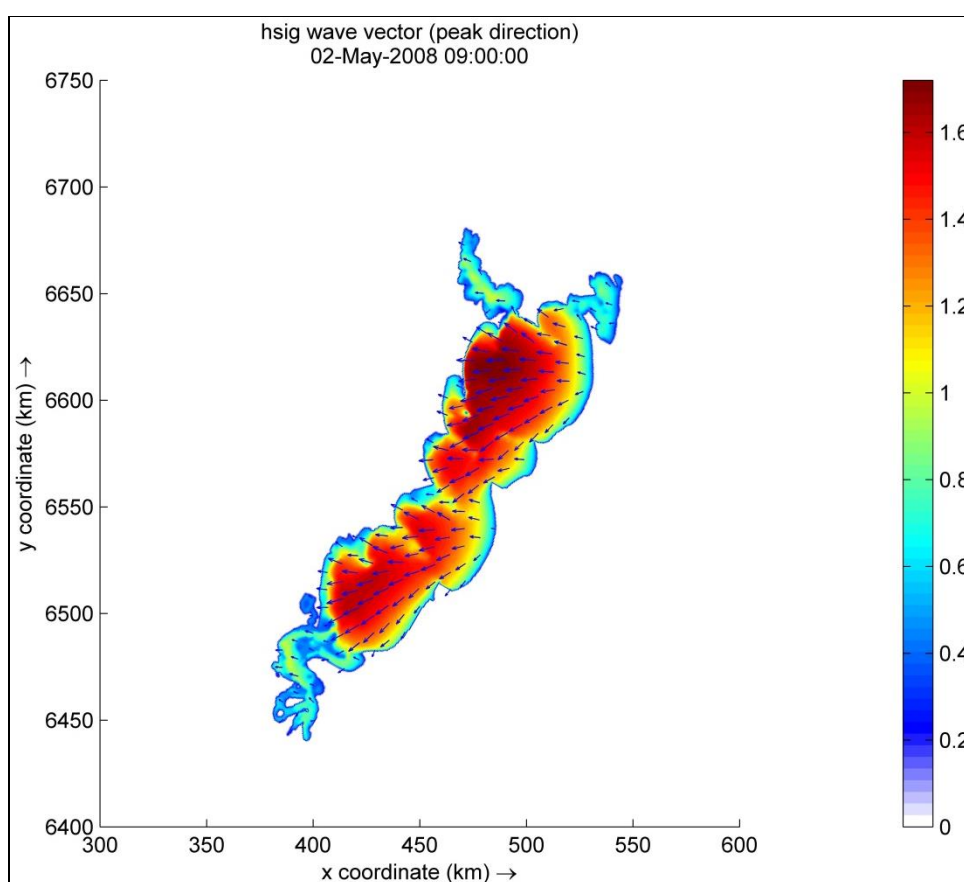


Figura 4.87: Resultado gerado pelo SWAN para alturas significativas e vetores de direções de pico das ondas na Lagoa dos Patos. Data: 2 de maio de 2008 (9 horas). Escala de cores em metros.

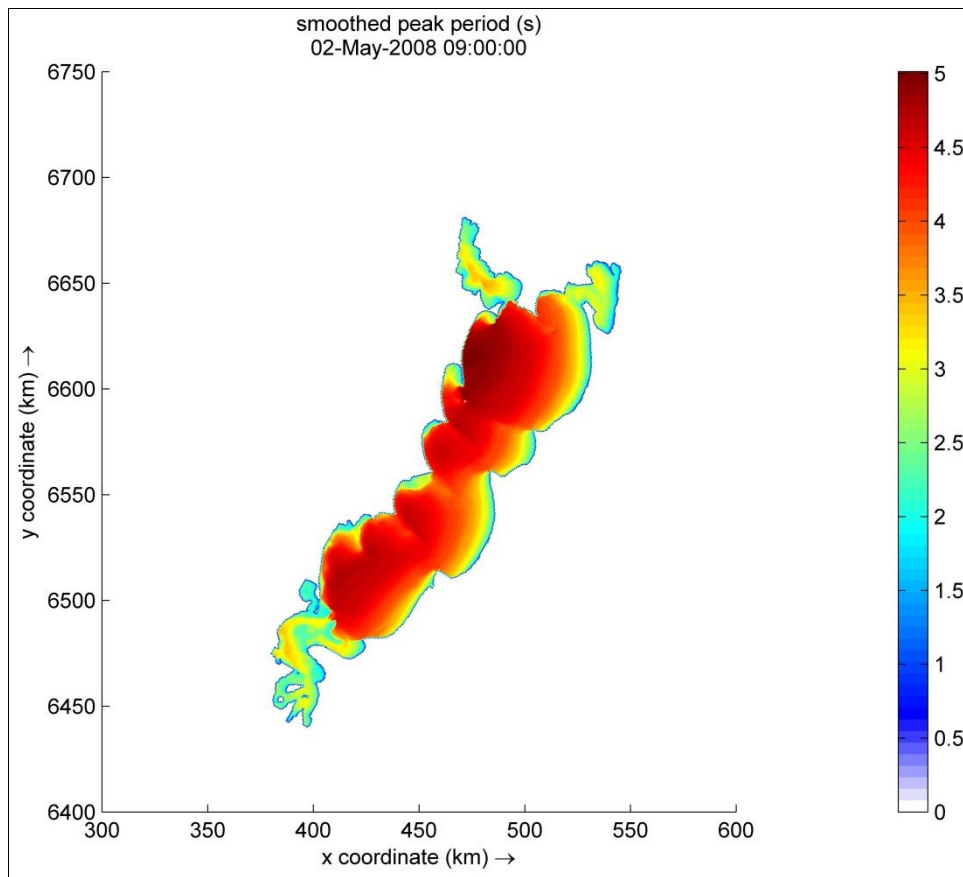


Figura 4.88: Resultado gerado pelo SWAN para períodos de pico das ondas na Lagoa dos Patos.
Data: 2 de maio de 2008 (9 horas). Escala de cores em segundos.

A partir da geração e propagação de ondas na Lagoa dos Patos (grade regional), registraram-se os parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir) em pontos localizados no contorno da grade local (São Lourenço do Sul). Desta forma, analisaram-se as séries temporais de 2008 correspondentes aos parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir) registrados em 4 pontos (A, B, C e D) localizados sobre o contorno da grade local, conforme a Figura 4.89. Os referidos pontos situam-se em diferentes profundidades, portanto, apresentam diferentes valores para as variáveis analisadas.

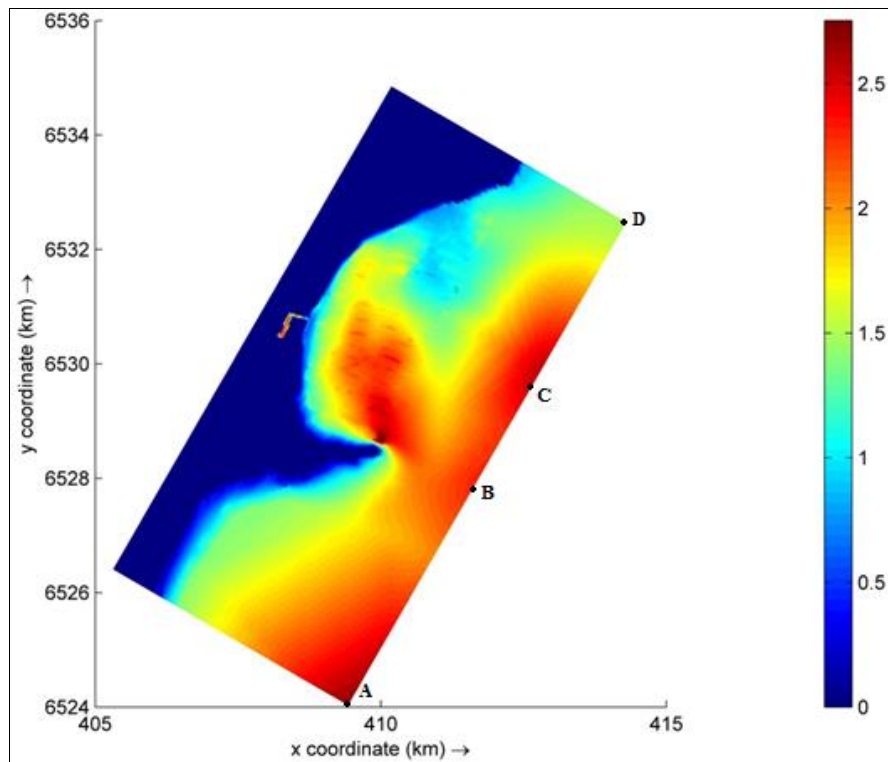


Figura 4.89: Localização dos pontos onde foram analisados os resultados dos parâmetros de ondas gerados através da modelagem de ondas na grade regional.

Os resultados dos parâmetros de ondas obtidos nos 4 pontos (A, B, C e D) da grade local, durante o ano de 2008, são apresentados nas Figuras 4.90 a 4.92.

Com a finalidade de reduzir o esforço computacional na modelagem morfológica, foram adotadas as séries temporais dos resultados dos parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir) referentes ao ponto A, onde a profundidade é maior e, conseqüentemente, os valores de alturas significativas são maiores. Desta forma, foram selecionados os resultados que correspondem às situações de maiores energias de ondas, às quais geram, simultaneamente, os maiores valores de correntes e de transportes de sedimentos.

Os parâmetros de ondas obtidos no ponto A foram corrigidos com os respectivos fatores de ajuste determinados na Seção 4.4.2, os quais são 1,14 para altura significativa, 1,36 para período de pico e 1,39 para direção de pico. Os resultados são apresentados nas Figuras 4.93 a 4.95, respectivamente.

Após a correção dos parâmetros de ondas (H_s , T_p e Dir) através dos correspondentes fatores de ajuste, aplicou-se a metodologia desenvolvida por Dobrochinski (2009), com intuito de reduzir os casos de ondas para a simulação morfológica, conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.4.4.

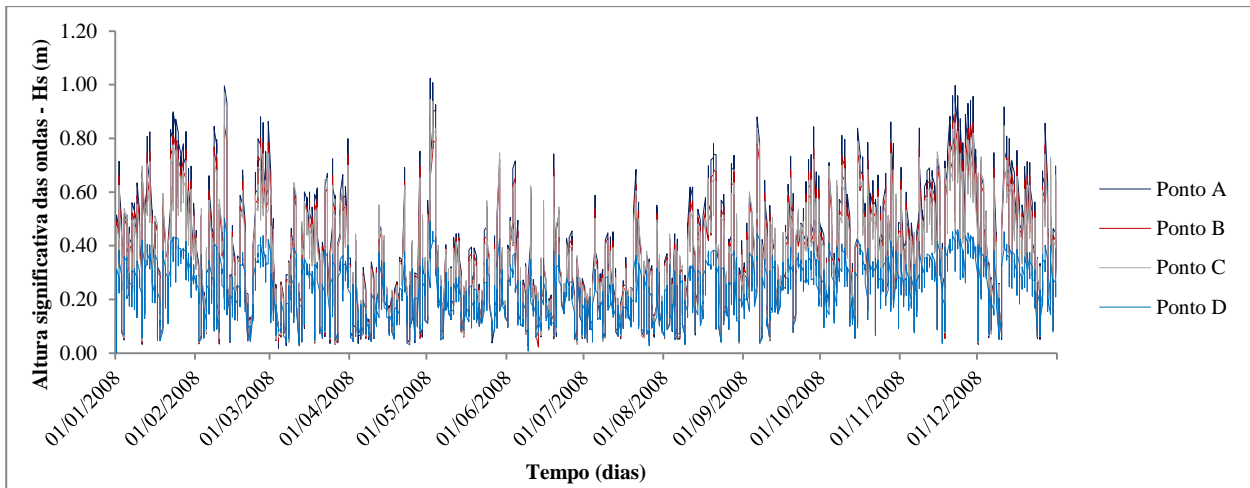


Figura 4.90: Alturas significativas das ondas *versus* tempo para os 4 pontos (A, B, C e D) localizados no contorno da grade local. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.

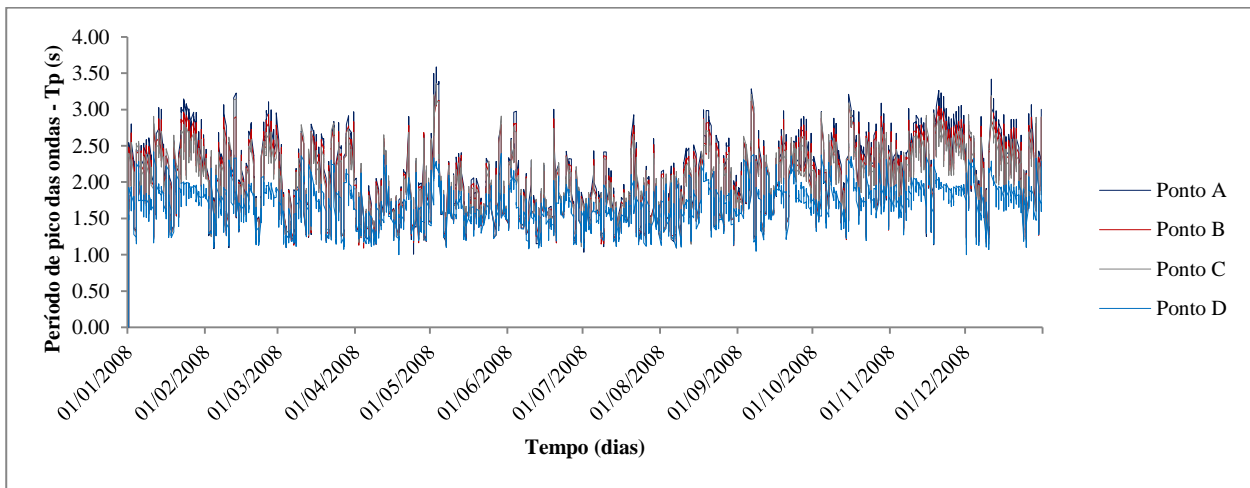


Figura 4.91: Períodos de pico das ondas *versus* tempo para os 4 pontos (A, B, C e D) localizados no contorno da grade local. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.

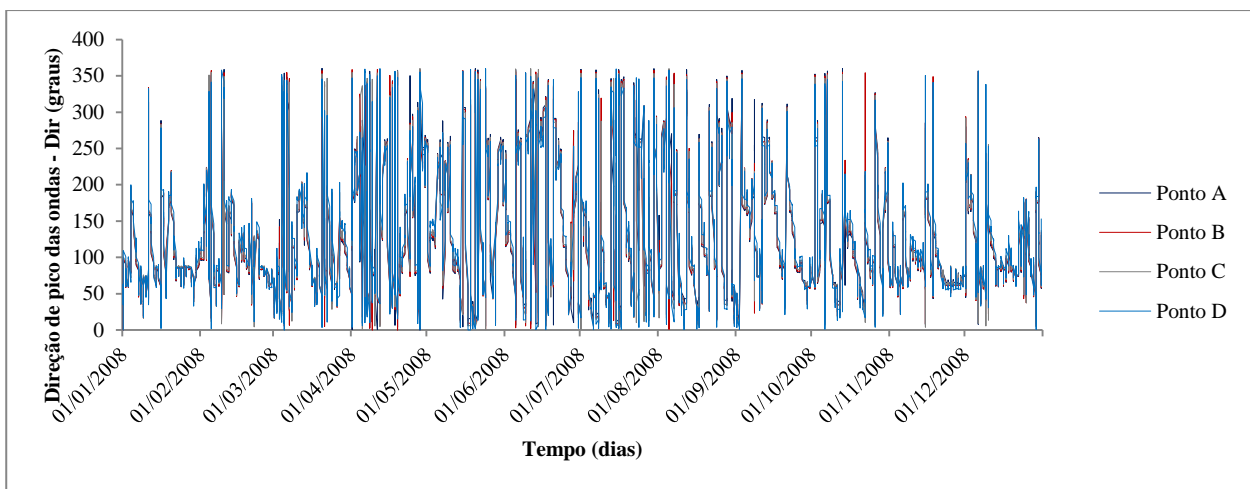


Figura 4.92: Direções de pico das ondas *versus* tempo para os 4 pontos (A, B, C e D) localizados no contorno da grade local. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.

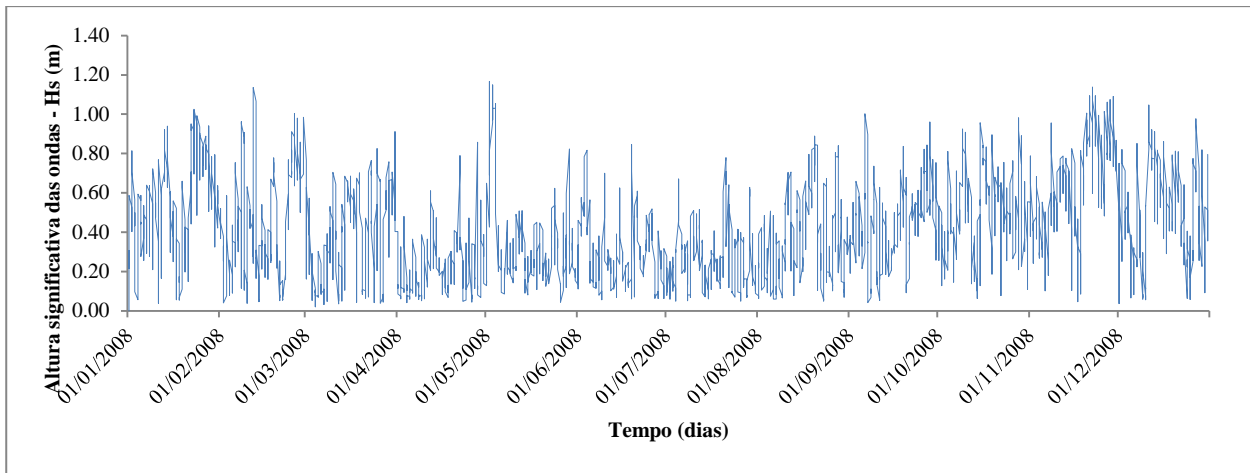


Figura 4.93: Série temporal de alturas significativas das ondas no ponto A, corrigidas com o fator de ajuste $\alpha = 1,14$. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.

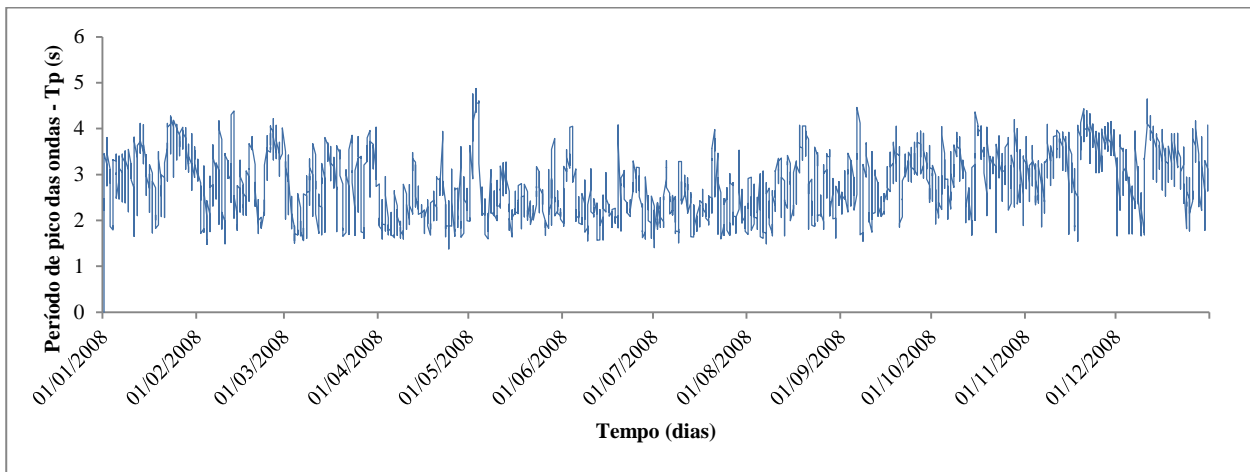


Figura 4.94: Série temporal de períodos de pico das ondas no ponto A, corrigidos com o fator de ajuste $\alpha = 1,36$. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.

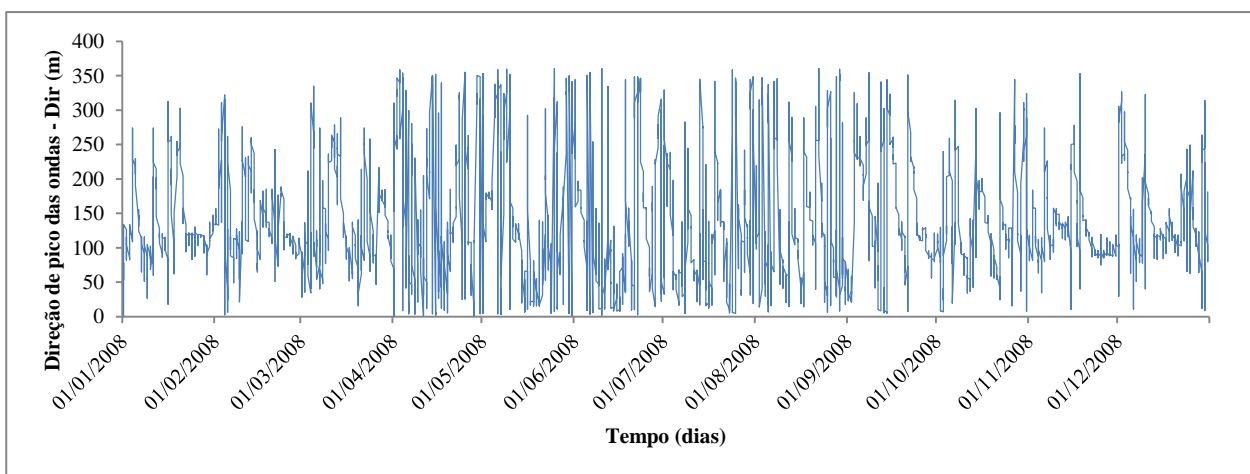


Figura 4.95: Série temporal de períodos de pico das ondas no ponto A, corrigidos com o fator de ajuste $\alpha = 1,39$. Período: 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008.

Nas Figuras 4.96 a 4.99 são apresentados todos os casos de ondas registrados no ponto A durante o ano de 2008, já corrigidos com o fator de ajuste $\alpha = 1,14$, com os correspondentes casos representativos de cada classe. Os pontos em azul equivalem a todos os casos de ondas, já os pontos em vermelho indicam os casos de ondas representativos de cada classe.

Na Tabela 4.54 são apresentados os casos de ondas representativos de cada classe, com os valores de altura significativa, período de pico e direção de pico, de acordo com o número de ocorrência durante o ano (representado em dias).

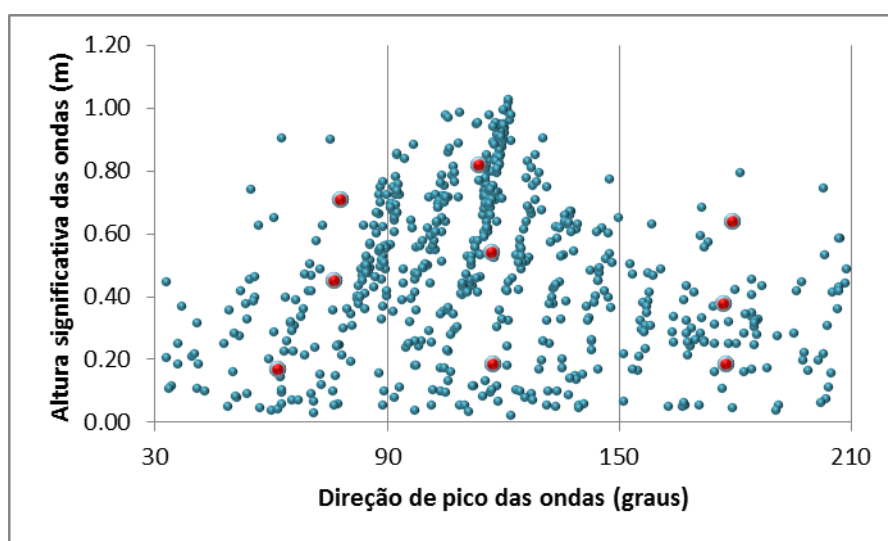


Figura 4.96: Casos de ondas para o verão. Pontos em azul: todos os casos de ondas. Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.

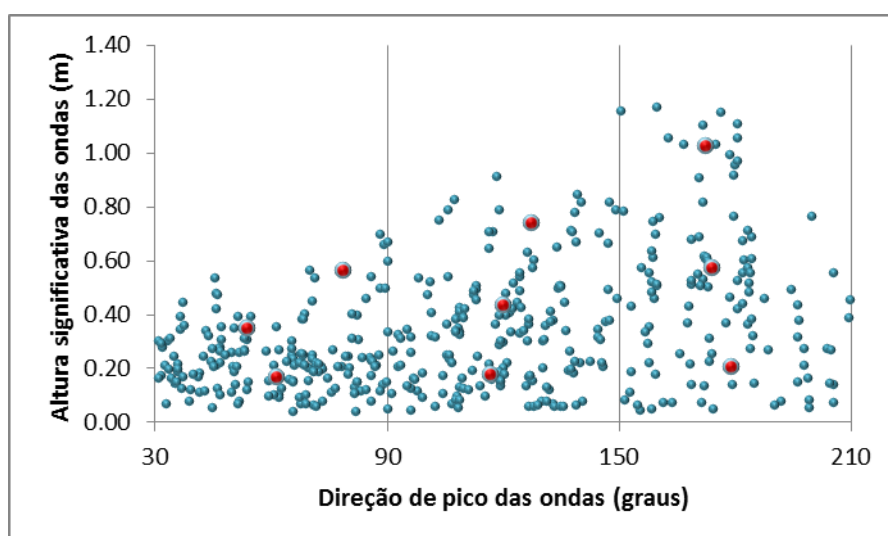


Figura 4.97: Casos de ondas para o outono. Pontos em azul: todos os casos de ondas. Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.

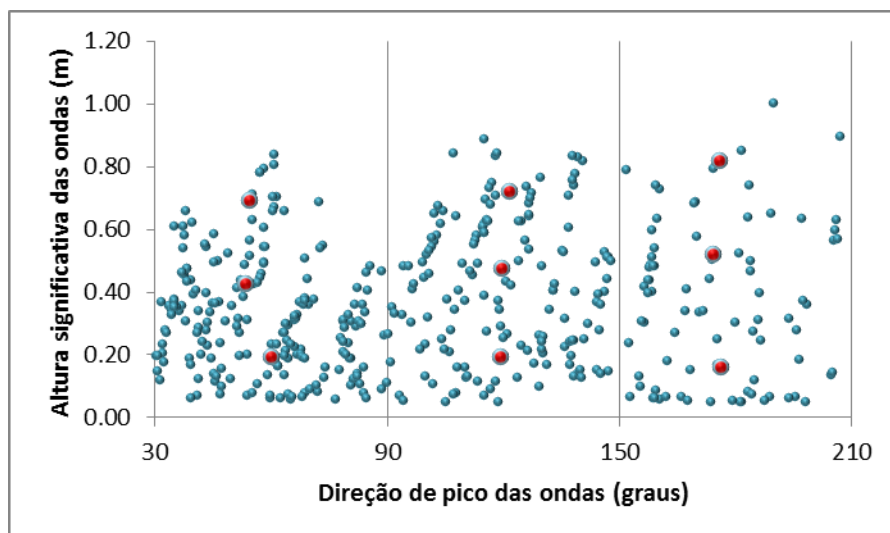


Figura 4.98: Casos de ondas para o inverno. Pontos em azul: todos os casos de ondas.
Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.

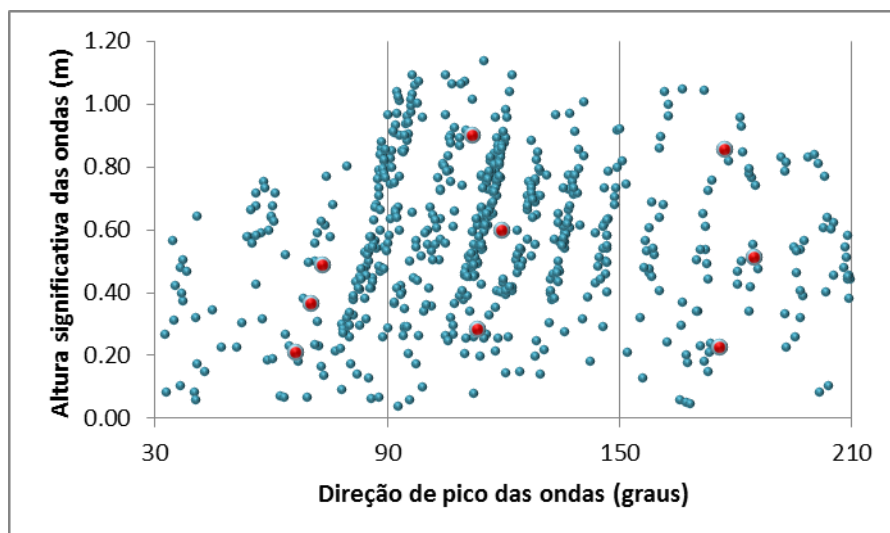


Figura 4.99: Casos de ondas para a primavera. Pontos em azul: todos os casos de ondas.
Pontos em vermelho: casos de ondas representativos de cada classe.

Conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.4.4, os valores de intensidades e direções de ventos correspondentes a cada caso representativo de onda foram determinados através da correlação linear entre altura significativa e período de pico das ondas, respectivamente. Desta maneira, as Figuras 4.100 e 4.101 ilustram as comparações entre direção do vento e direção da onda, e entre intensidade do vento (m/s) e altura significativa da onda (m) no Ponto A, durante o ano de 2008. Para uma melhor visualização da comparação entre intensidade do vento e altura significativa das ondas, a Figura 4.101 mostra os valores de altura significativa das ondas multiplicados por 10.

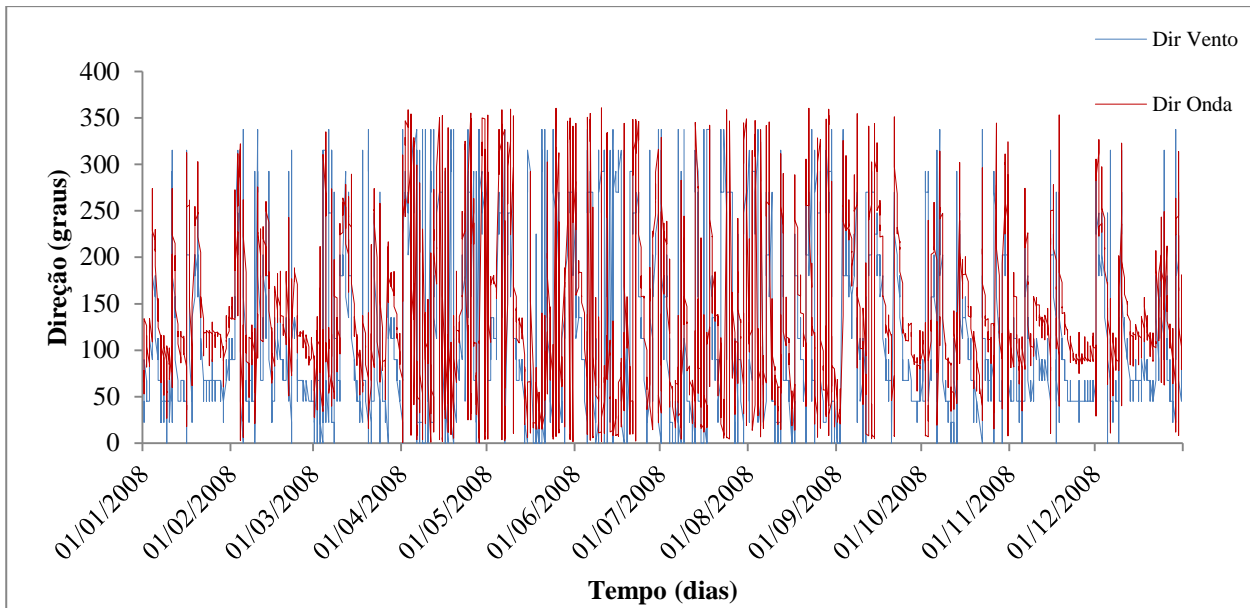


Figura 4.100: Direção do vento e direção da onda no Ponto A, durante o ano de 2008.

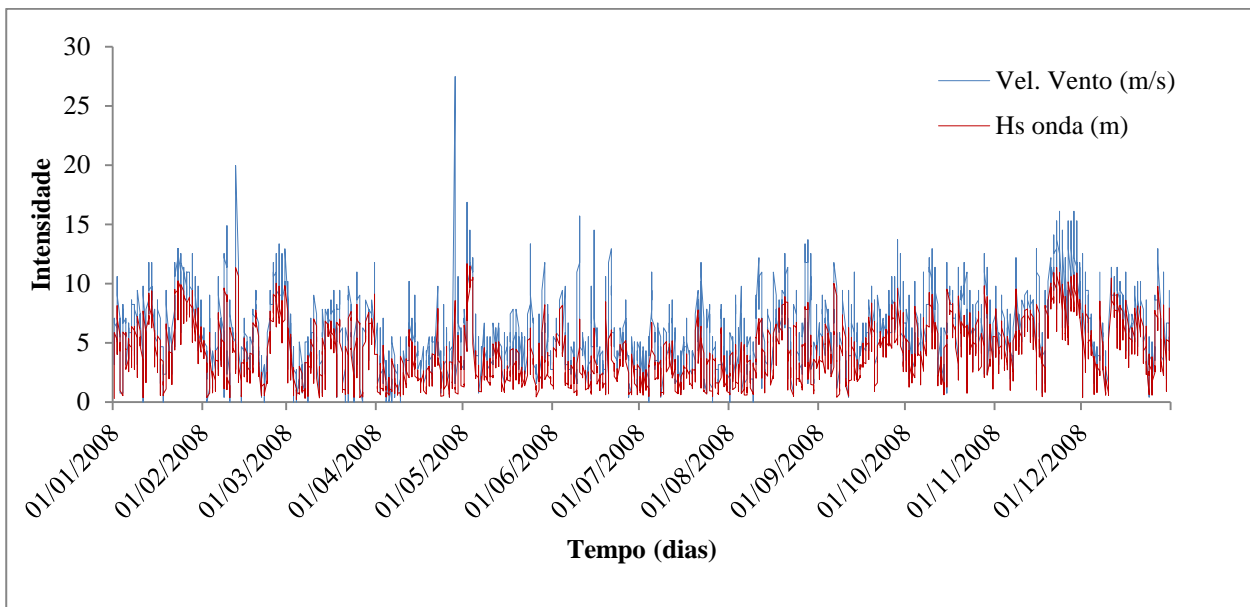


Figura 4.101: Intensidade do vento (m/s) e altura significativa da onda (m) no Ponto A, durante o ano de 2008.

Dados de altura significativa da onda multiplicados por 10 (para melhor visualização).

A Figura 4.102 apresenta o diagrama de dispersão entre direções de pico das ondas e direções dos ventos, com a correspondente equação e valor R^2 . As direções variam de 0° a 360° . No entanto, quando a diferença entre direção de pico das ondas e direção de vento era maior que 180° (sentido horário) procurou-se adotar o complemento do ângulo, que é menor que 180° (sentido anti-horário), de forma a evitar erros no cálculo do coeficiente de determinação (R^2). Desta forma, para estas situações específicas adotou-se um eixo positivo (de 0° a 180° no

sentido horário, a partir do norte) e um eixo negativo (de 0° a -180° no sentido anti-horário, a partir do norte).

A Figura 4.103 ilustra o diagrama de dispersão entre alturas significativas das ondas e intensidades dos ventos, com a correspondente equação e o valor de R^2 .

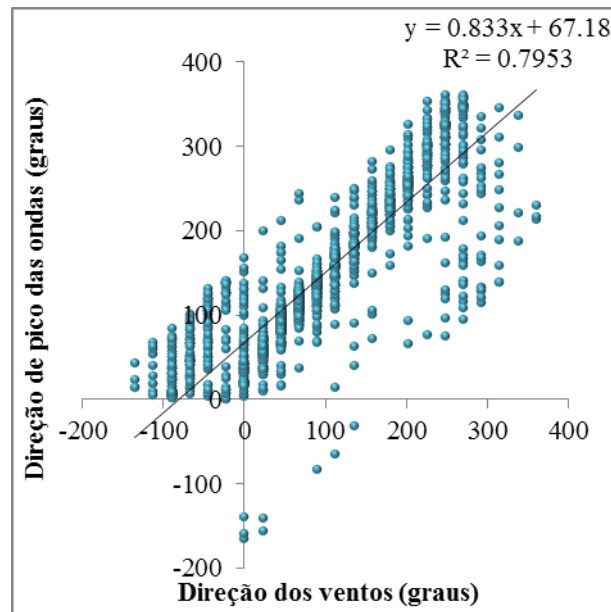


Figura 4.102: Diagrama de dispersão entre direções de pico das ondas e direções dos ventos, com a correspondente equação e R^2 .

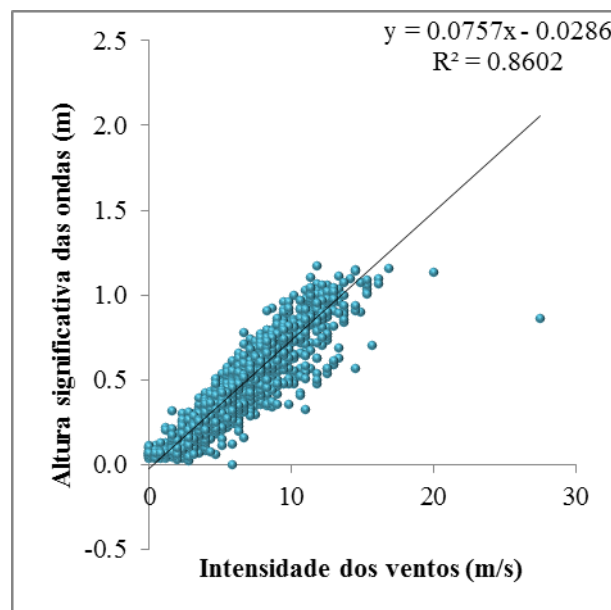


Figura 4.103: Diagrama de dispersão entre intensidade das ondas e intensidade dos ventos, com a correspondente equação e R^2 .

Tabela 4.54: Casos de ondas selecionados com correspondentes valores de ventos.

Caso	Estação do ano	Intervalo de direção da onda (graus)	Intervalo de Hs (m)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (graus)	Dias	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento (graus)
1	VERÃO	30 - 90	0,03 - 0,32	0,17	2,04	61,66	7,25	2,6	8,8
2			0,32 - 0,61	0,45	2,87	76,38	7,50	6,4	24,1
3			0,61 - 0,91	0,71	3,36	78,01	1,88	9,7	25,8
4		90 - 150	0,02 - 0,36	0,18	2,16	117,5	10,13	2,8	66,6
5			0,36 - 0,69	0,54	3,24	116,8	19,13	7,5	65,9
6			0,69 - 1,03	0,82	3,80	113,7	15,26	11,2	62,6
7		150 - 210	0,04 - 0,29	0,18	2,21	177,6	6,00	2,8	128,8
8			0,29 - 0,54	0,38	2,89	177,0	6,25	5,4	128,2
9			0,54 - 0,80	0,64	3,65	179,4	1,25	8,8	130,6
10	OUTONO	30 - 90	0,04 - 0,26	0,17	2,05	61,2	14,00	2,6	8,3
11			0,26 - 0,48	0,35	2,54	53,8	5,00	5,0	0,7
12			0,48 - 0,70	0,57	3,13	78,4	1,00	7,9	26,2
13		90 - 150	0,04 - 0,33	0,18	2,12	116,7	11,13	2,8	65,7
14			0,33 - 0,62	0,43	2,99	119,9	7,25	6,1	69,1
15			0,62 - 0,91	0,74	3,75	127,4	2,63	10,2	76,8
16		150 - 210	0,04 - 0,42	0,21	2,27	179,0	6,00	3,1	130,2
17			0,42 - 0,79	0,57	3,46	174,0	5,88	8,0	125,0
18			0,79 - 1,17	1,03	4,54	172,4	1,88	14,0	123,3
19	INVERNO	30 - 90	0,06 - 0,32	0,19	2,13	60,10	13,50	2,9	7,2
20			0,32 - 0,58	0,43	2,76	53,42	8,63	6,0	0,3
21			0,58 - 0,84	0,69	3,27	54,38	2,38	9,5	1,3
22		90 - 150	0,05 - 0,33	0,19	2,16	119,3	7,88	2,9	68,5
23			0,33 - 0,61	0,48	3,08	119,5	7,00	6,7	68,7
24			0,61 - 0,89	0,72	3,68	121,6	4,13	9,9	70,9
25		150 - 210	0,05 - 0,37	0,16	2,13	176,2	5,38	2,5	127,3
26			0,37 - 0,69	0,52	3,33	174,3	3,88	7,3	125,4
27			0,69 - 1,00	0,82	4,07	175,9	1,00	11,2	127,0
28	PRIMAVERA	30 - 90	0,06 - 0,33	0,21	2,18	66,2	5,75	3,1	13,6
29			0,33 - 0,61	0,49	2,94	73,1	7,38	6,8	20,7
30			0,61 - 0,88	0,73	3,42	76,9	4,50	10,1	24,6
31		90 - 150	0,04 - 0,40	0,28	2,48	113,2	7,50	4,1	62,1
32			0,40 - 0,77	0,60	3,39	119,7	26,76	8,3	68,9
33			0,77 - 1,14	0,90	3,93	111,8	12,13	12,3	60,7
34		150 - 210	0,05 - 0,38	0,22	2,35	175,9	3,25	3,3	127,0
35			0,38 - 0,71	0,51	3,28	184,7	6,13	7,2	136,1
36			0,71 - 1,05	0,86	4,14	177,3	3,38	11,7	128,4

4.4.4 Resultados da Modelagem Morfológica

Nesta seção são apresentados os resultados gerados pelo modelo morfológico aplicado à grade numérica local (São Lourenço do Sul). Conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.4.5, 36 casos de ondas foram propagados a partir do contorno SE da grade local.

A Figura 4.104 mostra a batimetria inicial (antes de realizar as simulações) nas proximidades da foz do Arroio Carahá.

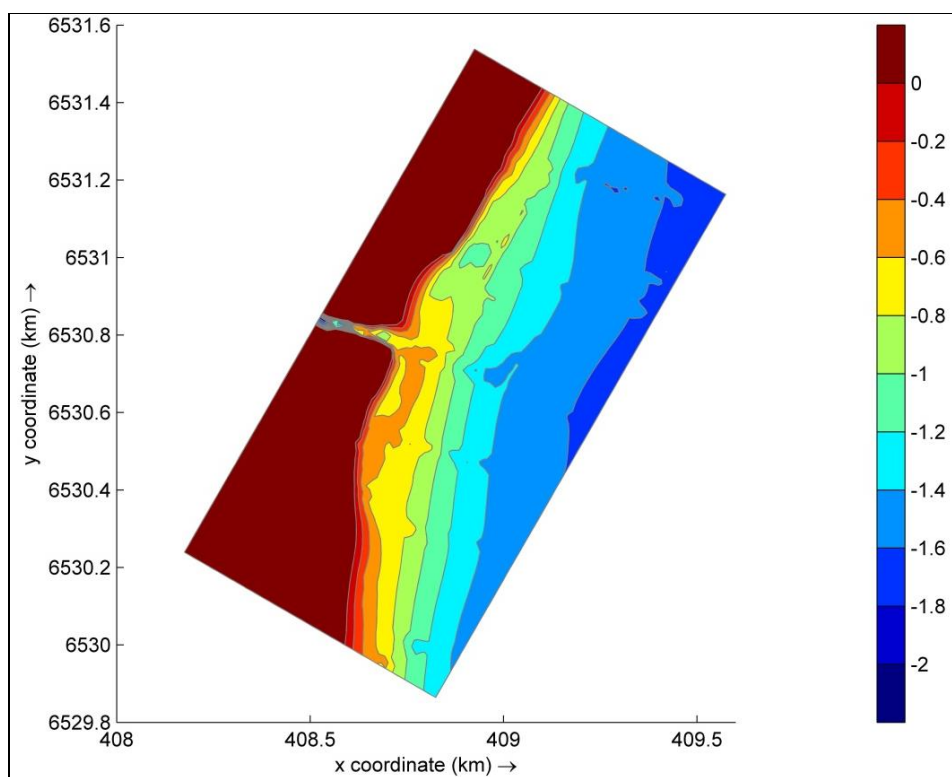


Figura 4.104: Batimetria inicial. Escala de cores em metros.

Nas Figuras 4.105 a 4.108 são apresentados quatro exemplos de casos de ondas propagadas, com suas correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. São ilustrados, respectivamente, exemplos dos seguintes casos de ondas: caso 2 (verão), caso 18 (outono), caso 26 (inverno) e caso 32 (primavera). Em ambos os exemplos apresentados, nota-se a refração das ondas ao aproximarem-se de águas rasas. Todos os casos de ondas propagadas e as correspondentes correntes geradas encontram-se no Anexo F.

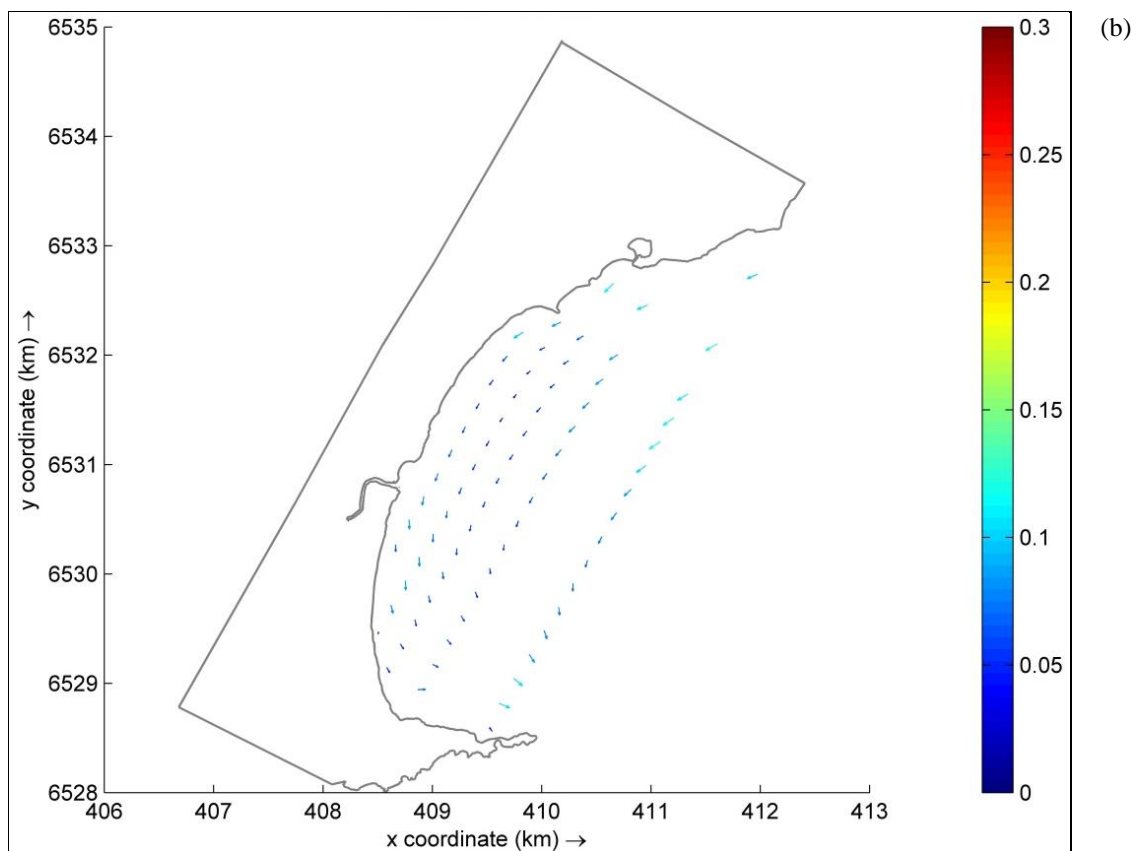
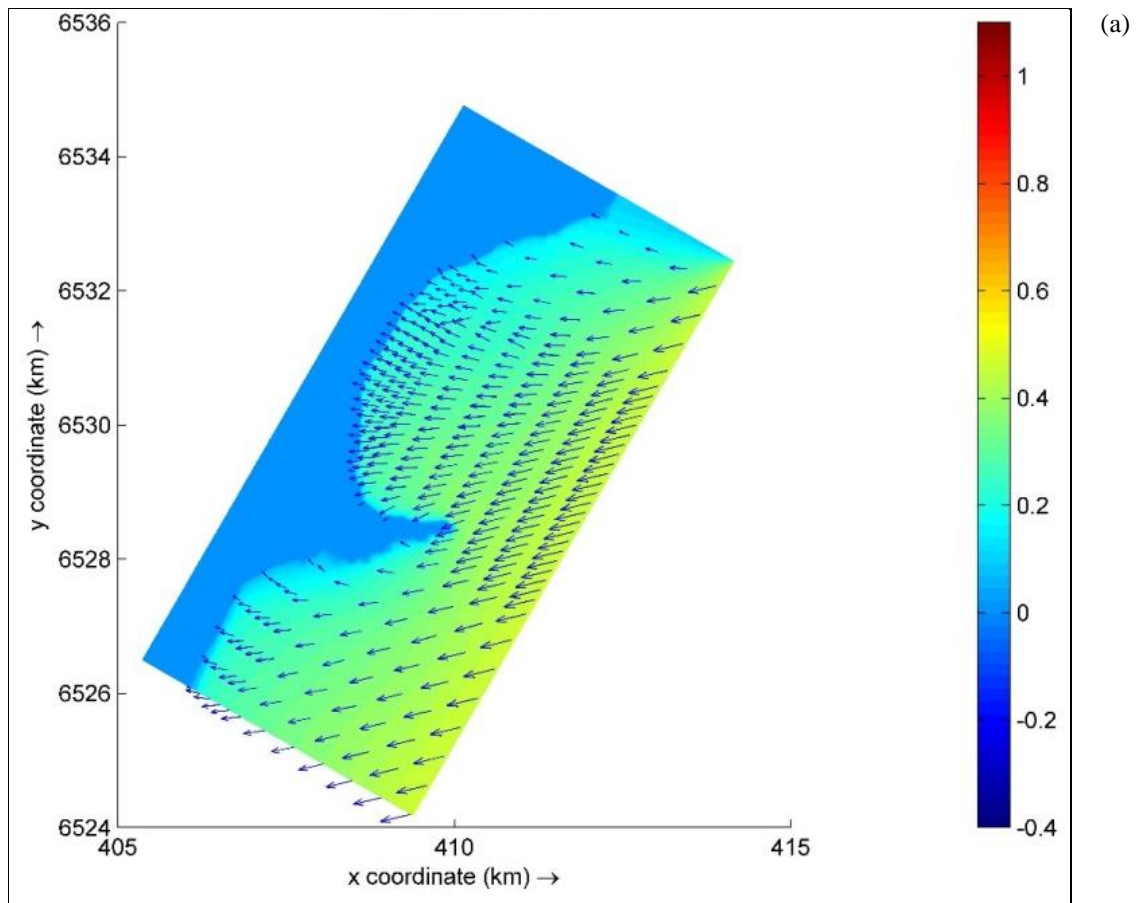


Figura 4.105: (a) Propagação de onda do caso 2 (verão): $H_s = 0,45$ m, $T_p = 2,87$ s, $Dir = 76,38^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

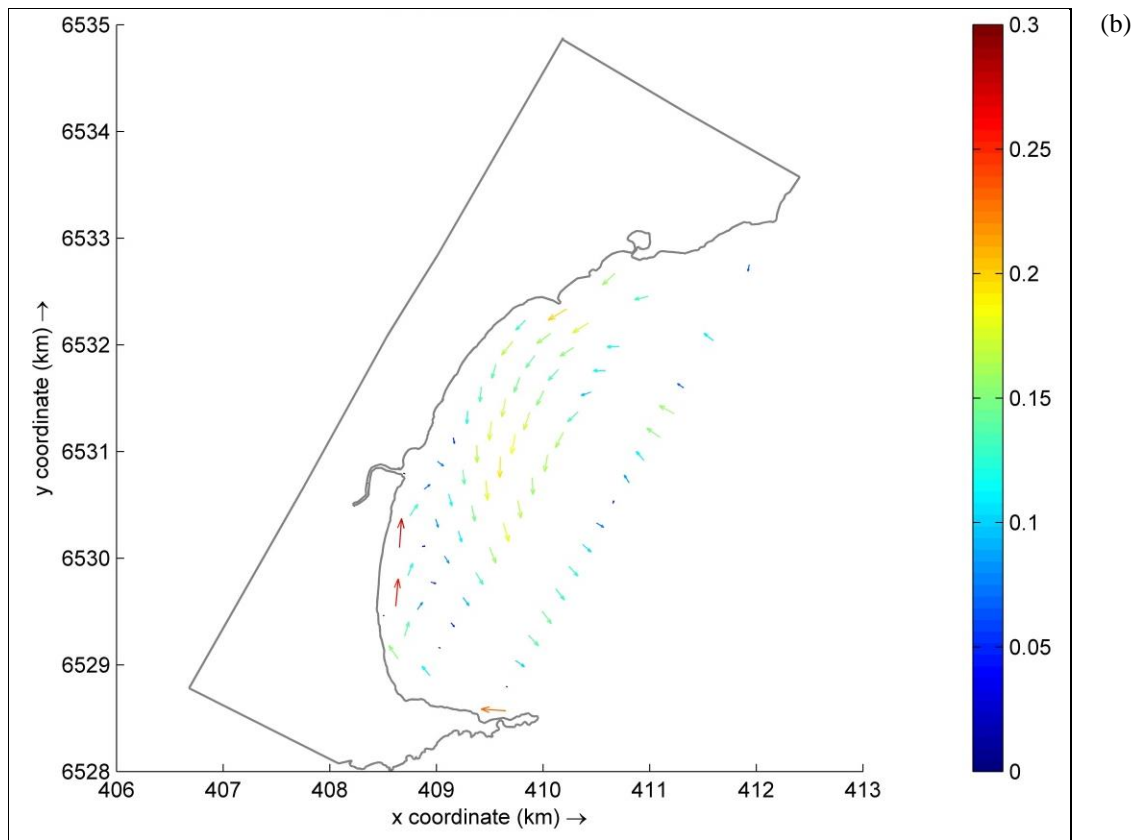
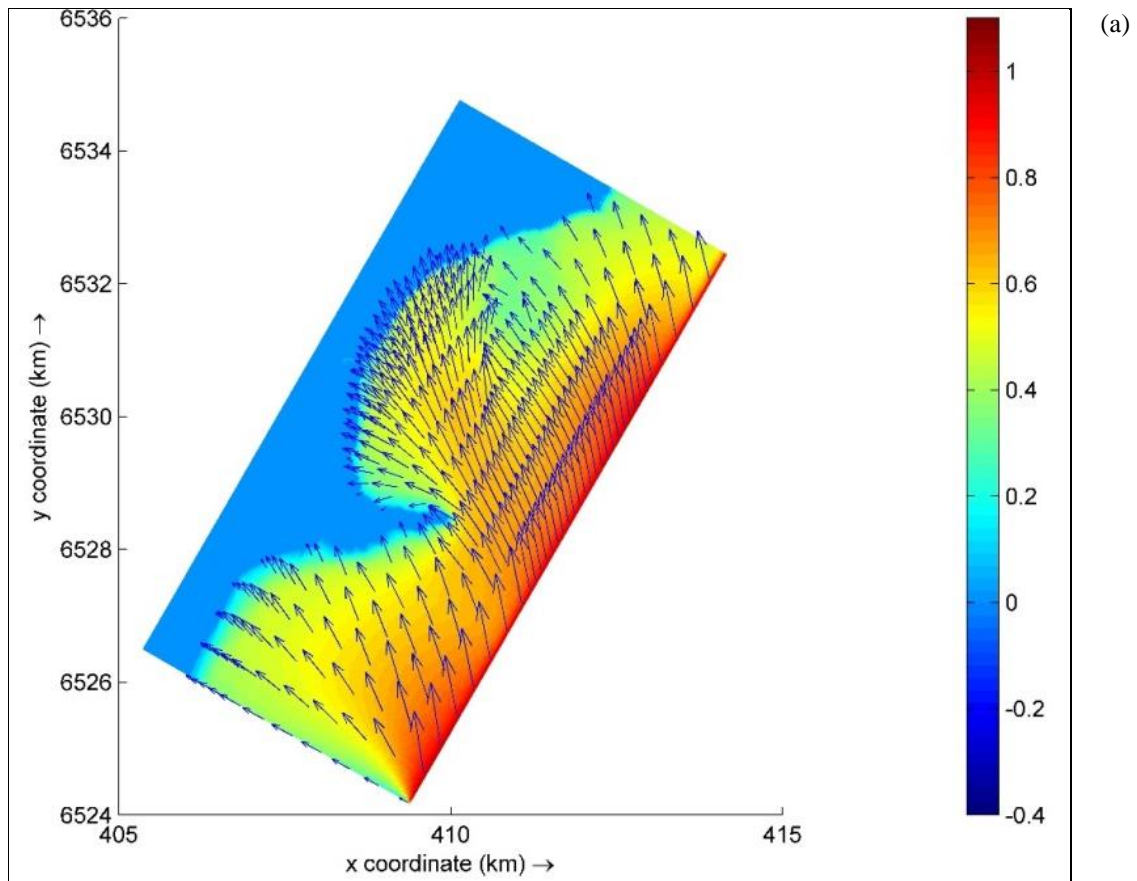


Figura 4.106: (a) Propagação de onda do caso 18 (outono): $H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,4^\circ$. Escala de cores em metros.

(b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

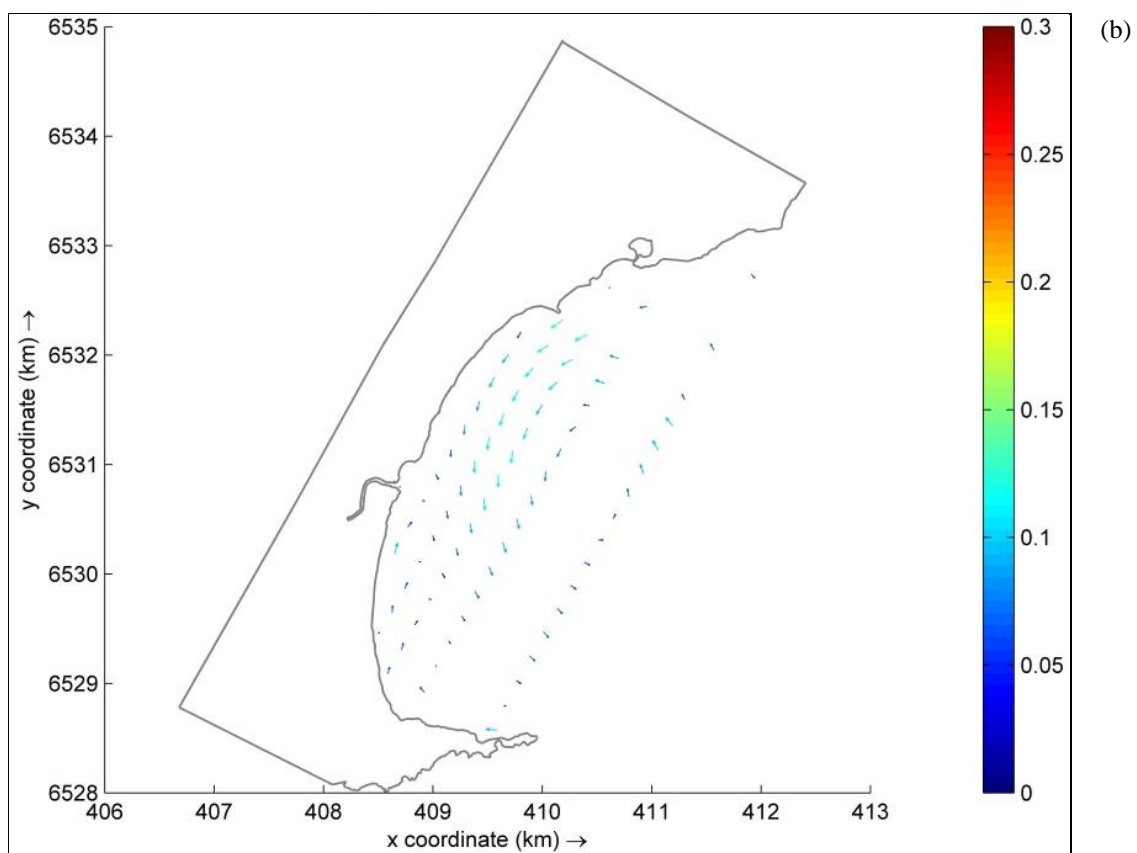
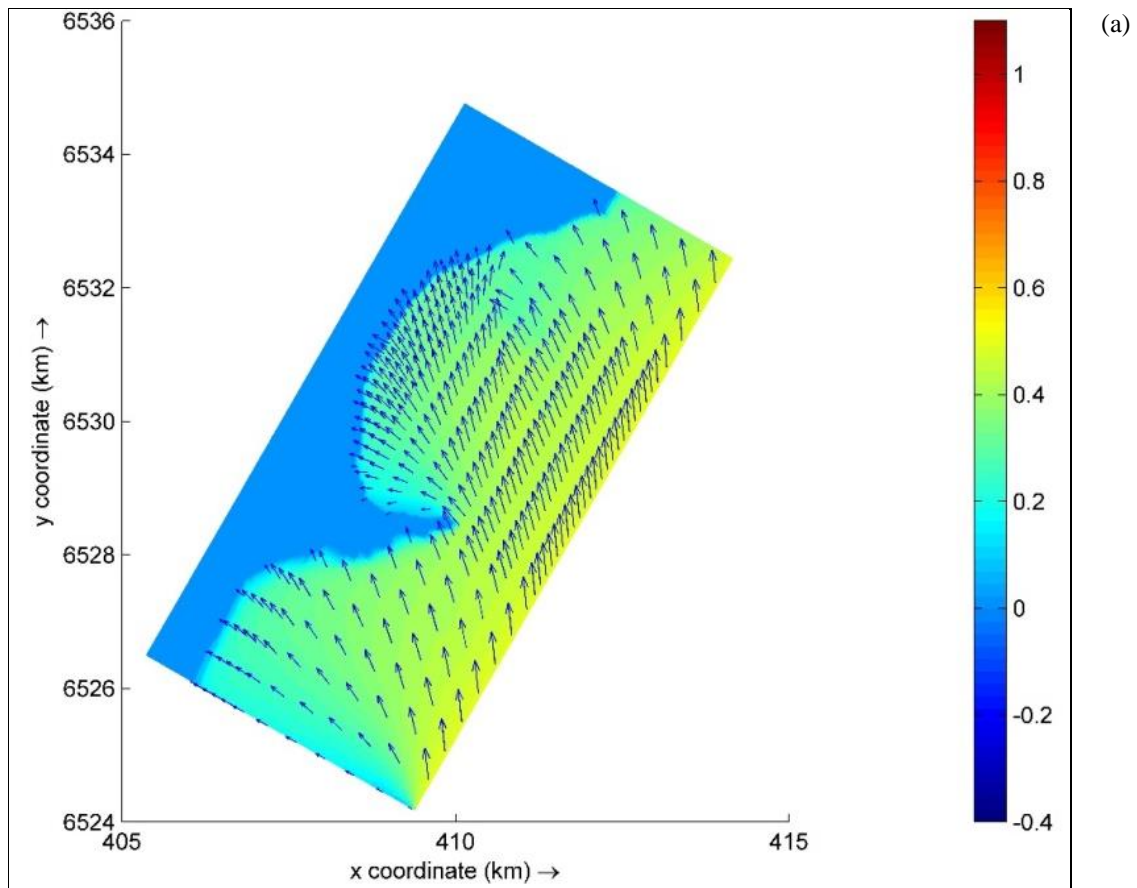


Figura 4.107: (a) Propagação de onda do caso 26 (inverno): $H_s = 0,52$ m, $T_p = 3,33$ s, $Dir = 174,3^\circ$. Escala de cores em metros.

(b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

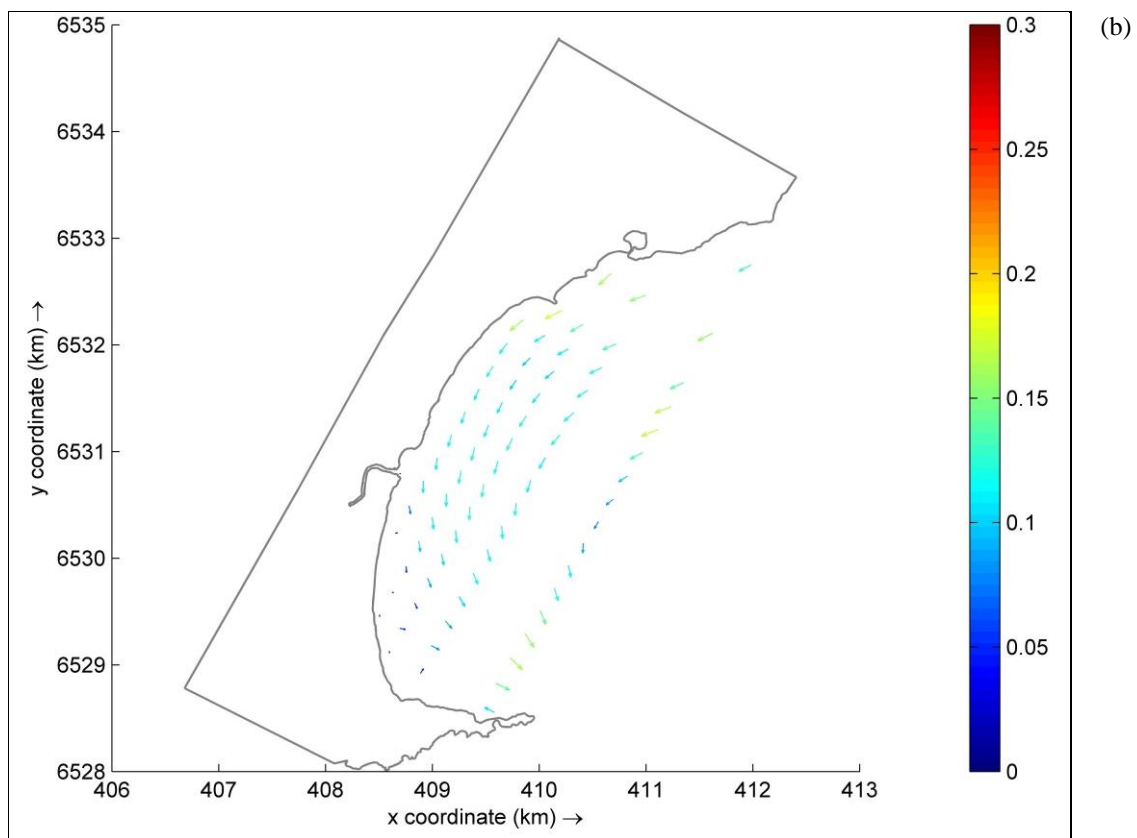
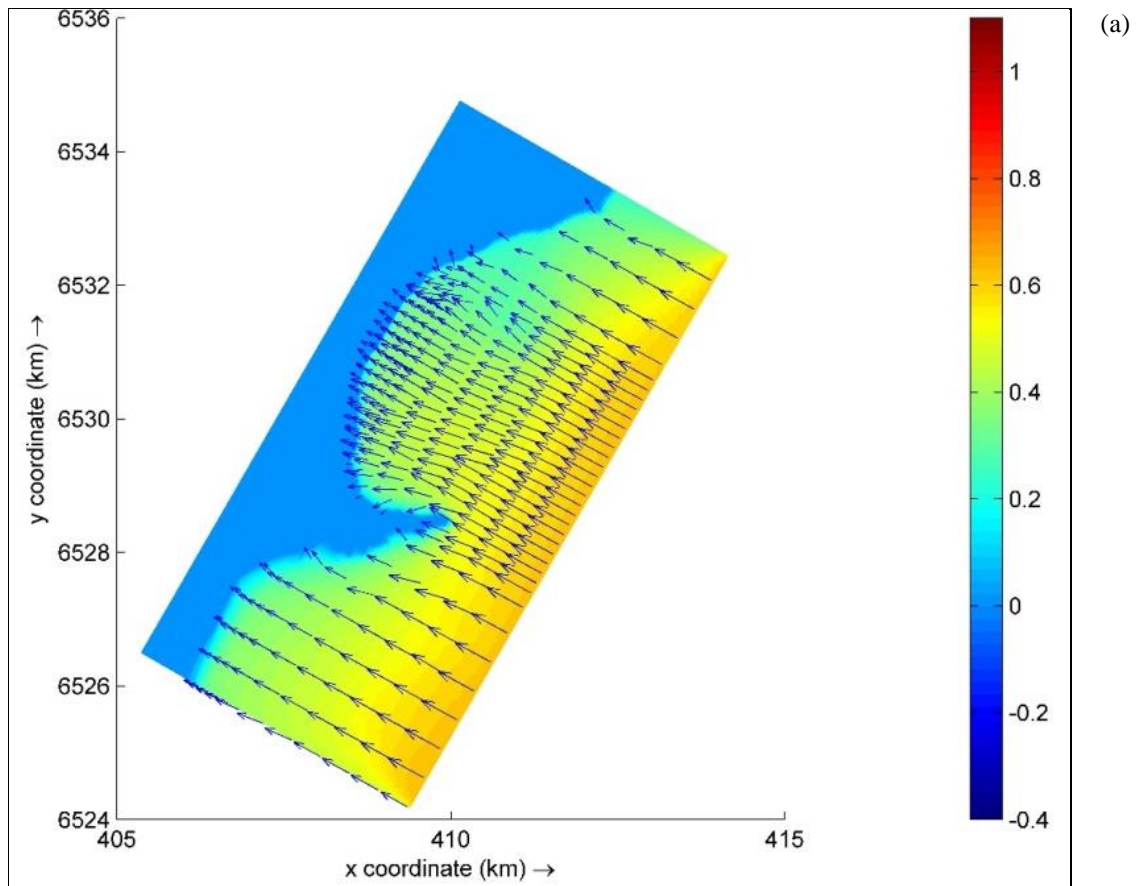


Figura 4.108: (a) Propagação de onda do caso 32 (primavera): $H_s = 0,60$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 119,7^\circ$. Escala de cores em metros.
 (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

A Figura 4.105 ilustra o caso de onda 2 ($H_s = 0,45$ m, $T_p = 2,87$ s, $Dir = 76,38^\circ$), o qual ocorreu durante 7,5 dias no verão. Com ângulo de incidência das ondas do quadrante NE, as correntes geradas vão para SW, contornando a linha de praia. Constatou-se que as correntes para SW (contornando a linha de costa) são originadas em todos os casos de ondas que foram propagadas com ângulo de incidência do quadrante NE (casos 1, 2, 3, 10, 11, 12, 19, 20, 21, 28, 29 e 30), conforme apresentado no Anexo F.

Na Figura 4.106 é apresentado o cenário com os maiores valores de altura significativa e de período de pico dos 36 cenários, o qual corresponde ao caso 18 ($H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,4^\circ$). Verifica-se que as correntes geradas são bidirecionais. Ao norte da desembocadura do Arroio Carahá as correntes vão para SW, e ao sul as correntes vão para NE. Em ambas as situações as correntes seguem a linha de costa, formando uma zona de convergência na foz do arroio. Embora a incidência de ondas seja do quadrante SE, as correntes geradas na margem ao norte da foz possuem orientação para SW. Este fenômeno está relacionado à refração das ondas ao atingirem uma região mais rasa ao norte da enseada e, também, à variação da altura significativa das ondas na zona de arrebentação.

Na simulação do caso 26 ($H_s = 0,52$ m, $T_p = 3,33$ s, $Dir = 174,3^\circ$) também se constata este fenômeno. As correntes são bidirecionais e convergem na foz do Arroio Carahá (Figura 4.107). A formação de correntes bidirecionais, com conseqüente convergência destas na foz do Arroio Carahá é observada em todos os casos de ondas propagadas com ângulo de incidência entre 150° e 210° , os quais são: 7, 8, 9, 16, 17, 18, 25, 26, 27, 34, 35, 36 (Anexo F).

O caso de onda que ocorreu com maior frequência foi o caso 32 ($H_s = 0,60$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 119,7^\circ$) totalizando 26,76 dias durante a primavera (Figura 4.108). Embora a incidência de ondas seja praticamente perpendicular à linha de costa, ainda observa-se a refração das ondas ao se aproximarem da praia. As correntes geradas vão para SW, contornando a linha de costa.

Na Tabela 4.54 são apresentados os valores de correntes geradas para cada cenário simulado em três perfis analisados, os quais são: perfil da foz (PF), perfil norte (PN) e perfil sul (PS), conforme se observa na Figura 4.109.

Os perfis norte e sul foram selecionados visto que coincidem com as regiões onde se constataram processos de erosão e de sedimentação, respectivamente, conforme descrito na Seção 4.2 deste capítulo, através das análises de aerofotografias e de imagens de satélite. Desta forma, os resultados da modelo morfológico podem ser comparados com os resultados expostos na Seção 4.2.

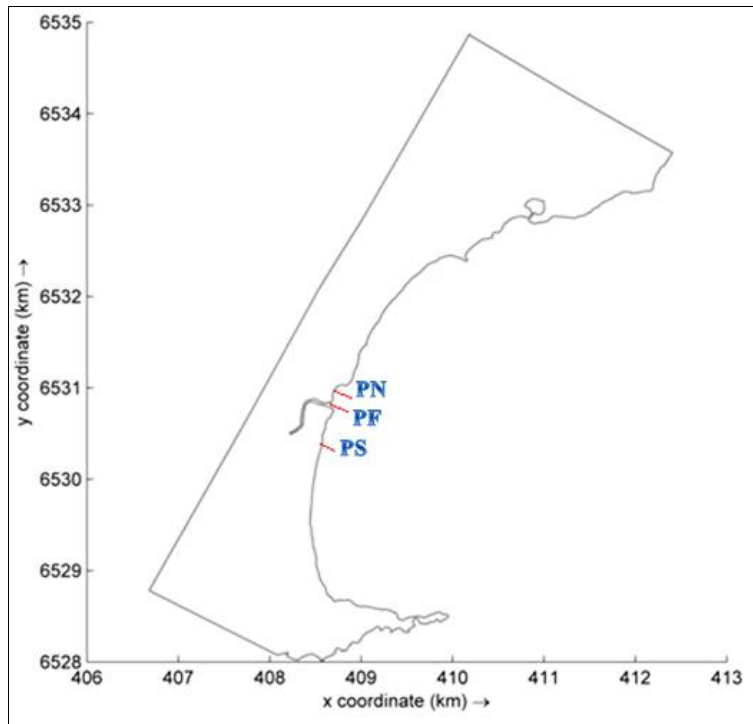


Figura 4.109: Localização dos perfis analisados.

De acordo com a Tabela 4.54 verifica-se que as menores intensidades de correntes são equivalentes a 0,011 m/s (SE) no perfil da foz, 0,022 m/s (SW) no perfil norte e 0,020 m/s (NE) no perfil sul. Estas correntes são resultantes do cenário simulado com menor valor de altura significativa, o qual é o caso 25 ($H_s = 0,16$ m, $T_p = 2,13$ s, $Dir = 176,2^\circ$). O sentido da corrente no perfil da foz (SE) é proveniente da convergência das correntes do perfil norte (SW) e do perfil sul (NE).

No entanto, as maiores intensidades de correntes são características do cenário 33 para os perfis da foz e do norte, assim como do cenário 18 para o perfil sul. Durante 12,13 dias da primavera, o cenário 33 ($H_s = 0,90$ m, $T_p = 3,93$ s, $Dir = 111,8^\circ$) originou correntes iguais a 0,168 m/s (SW) no perfil da foz e 0,184 m/s (SW) no perfil norte. No outono, durante apenas 1,88 dias, o cenário 18 gerou correntes de 0,182 m/s para NE.

Salienta-se que os cenários 3, 6, 21, 30 e 36 também geraram maiores intensidades de correntes para a região de estudo, conforme se observa na Tabela 4.54.

Tabela 4.55: Correntes geradas nos perfis PF, PN e PS para cada cenário simulado.

Caso	Ondas			Dias	Ventos		Correntes (perfil da foz - PF)		Correntes (perfil norte - PN)		Correntes (perfil sul - PS)	
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (graus)		Intensidade (m/s)	Direção (graus)	Intensidade (m/s)	Direção	Intensidade (m/s)	Direção	Intensidade (m/s)	Direção
1	0,17	2,04	61,66	7,25	2,6	8,8	0,029	SW	0,027	SW	0,027	SW
2	0,45	2,87	76,38	7,50	6,4	24,1	0,097	SW	0,089	SW	0,085	SW
3	0,71	3,36	78,01	1,88	9,7	25,8	0,167	SW	0,144	SW	0,156	SW
4	0,18	2,16	117,5	10,13	2,8	66,6	0,036	SW	0,037	SW	0,020	SW
5	0,54	3,24	116,8	19,13	7,5	65,9	0,076	SW	0,102	SW	0,053	NE
6	0,82	3,80	113,7	15,26	11,2	62,6	0,137	SE	0,158	SW	0,081	SW
7	0,18	2,21	177,6	6,00	2,8	128,8	0,035	SE	0,041	SW	0,032	NE
8	0,38	2,89	177,0	6,25	5,4	128,2	0,048	SE	0,033	SW	0,068	NE
9	0,64	3,65	179,4	1,25	8,8	130,6	0,105	SE	0,064	SW	0,143	NE
10	0,17	2,05	61,2	14,00	2,6	8,3	0,033	SW	0,028	SW	0,034	SW
11	0,35	2,54	53,8	5,00	5,0	0,7	0,061	SW	0,058	SW	0,066	SW
12	0,57	3,13	78,4	1,00	7,9	26,2	0,119	SW	0,113	SW	0,110	SW
13	0,18	2,12	116,7	11,13	2,8	65,7	0,032	SW	0,036	SW	0,021	SW
14	0,43	2,99	119,9	7,25	6,1	69,1	0,054	SW	0,077	SW	0,036	NE
15	0,74	3,75	127,4	2,63	10,2	76,8	0,085	SW	0,127	SW	0,040	NE
16	0,21	2,27	179,0	6,00	3,1	130,2	0,020	SE	0,022	SW	0,029	NE
17	0,57	3,46	174,0	5,88	8,0	125,0	0,075	SE	0,044	SW	0,105	NE
18	1,03	4,54	172,4	1,88	14,0	123,3	0,121	SE	0,079	SW	0,182	NE
19	0,19	2,13	60,10	13,50	2,9	7,2	0,040	SW	0,033	SW	0,039	SW
20	0,43	2,76	53,42	8,63	6,0	0,3	0,076	SW	0,070	SW	0,082	SW
21	0,69	3,27	54,38	2,38	9,5	1,3	0,137	SW	0,121	SW	0,167	SW
22	0,19	2,16	119,3	7,88	2,9	68,5	0,038	SW	0,041	SW	0,031	SW
23	0,48	3,08	119,5	7,00	6,7	68,7	0,062	SW	0,086	SW	0,040	NE
24	0,72	3,68	121,6	4,13	9,9	70,9	0,099	SW	0,135	SW	0,053	NE
25	0,16	2,13	176,2	5,38	2,5	127,3	0,011	SE	0,022	SW	0,020	NE
26	0,52	3,33	174,3	3,88	7,3	125,4	0,060	SE	0,041	SW	0,089	NE
27	0,82	4,07	175,9	1,00	11,2	127,0	0,121	SE	0,078	SW	0,154	NE
28	0,21	2,18	66,2	5,75	3,1	13,6	0,041	SW	0,036	SW	0,039	SW
29	0,49	2,94	73,1	7,38	6,8	20,7	0,097	SW	0,090	SW	0,089	SW
30	0,73	3,42	76,9	4,50	10,1	24,6	0,163	SW	0,145	SW	0,151	SW
31	0,28	2,48	113,2	7,50	4,1	62,1	0,050	SW	0,054	SW	0,021	SW
32	0,60	3,39	119,7	26,76	8,3	68,9	0,086	SW	0,115	SW	0,037	NE
33	0,90	3,93	111,8	12,13	12,3	60,7	0,168	SW	0,184	SW	0,088	SW
34	0,22	2,35	175,9	3,25	3,3	127,0	0,023	SE	0,026	SW	0,021	NE
35	0,51	3,28	184,7	6,13	7,2	136,1	0,085	SE	0,052	SW	0,098	NE
36	0,86	4,14	177,3	3,38	11,7	128,4	0,131	SE	0,083	SW	0,154	NE

A partir da simulação realizada com D_{50} de 1,16 mm (valor médio encontrado para as amostras da barra arenosa) dos 36 cenários constata-se que o transporte médio total de sedimentos é da ordem de 10^{-4} m³/ano/m, ao longo de cada perfil analisado, conforme ilustrado na Figura 4.110. Portanto, conclui-se que para todos os casos de ondas propagadas não há energia suficiente para mobilizar os sedimentos com D_{50} de 1,16 mm (classe granulométrica de areia muito grossa). As taxas de transporte obtidas são praticamente nulas e, assim, não há alteração da morfologia de fundo da região.

Entretanto, através da simulação da propagação dos 36 casos de ondas utilizando D_{50} de 0,564 mm (valor médio adquirido para as amostras de sedimentos da enseada), as taxas de transportes de sedimentos ao longo dos três perfis aumentam consideravelmente. As taxas de transporte médio total de sedimentos atingem valores de 7,3 m³/ano/m, 9 m³/ano/m e 6,7 m³/ano/m, respectivamente, nos perfis da foz, norte e sul, conforme observa-se na Figura 4.111. A direção do transporte médio ao longo dos três perfis é de NE para SW. Esta taxa média de transporte total é estimada com base em todos os cenários simulados.

Ainda de acordo com a Figura 4.111 constata-se que os sedimentos são mobilizados até aproximadamente 250 metros de distância ao longo dos perfis, a partir da linha de costa. A cerca de 250 metros da linha de costa, as profundidades são de 1,08 metros nos perfis da foz e norte e de 1,02 metros no perfil sul. Desta forma, pode-se concluir que as profundidades de fechamento situam-se nos referidos valores para estes perfis.

Especificamente para um ponto da grade numérica localizado sobre a região da formação da barra arenosa analisou-se a variação do nível de fundo. O resultado está ilustrado na Figura 4.112 onde se verifica constante processo de sedimentação durante a propagação dos 36 casos de ondas, exceto no período inicial de aquecimento do modelo morfológico. No final da simulação, após atingir cerca de 65 cm de elevação, a tendência observada é de estabilização.

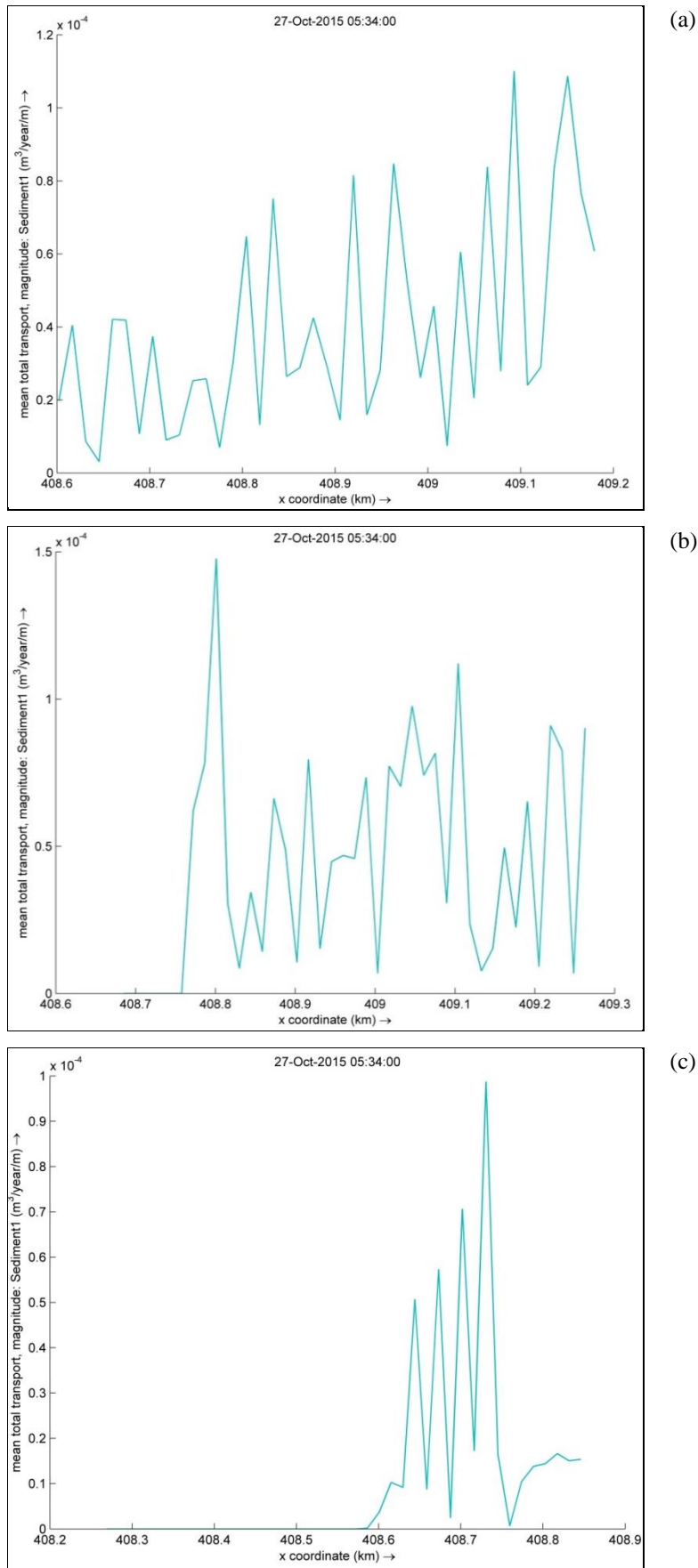


Figura 4.110: Transporte médio total ($\text{m}^3/\text{ano}/\text{m}$) através da simulação com D_{50} de 1,16 mm ao longo dos perfis: (a) foz, (b) norte e (c) sul.

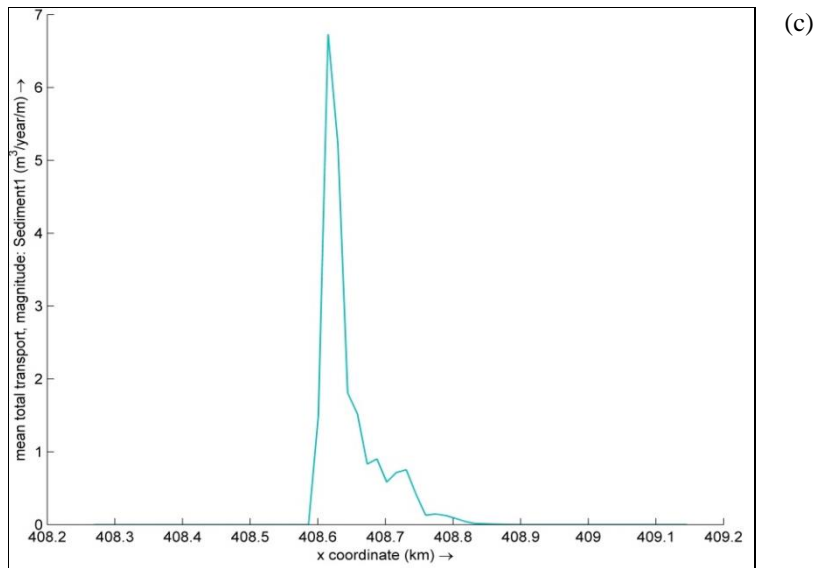
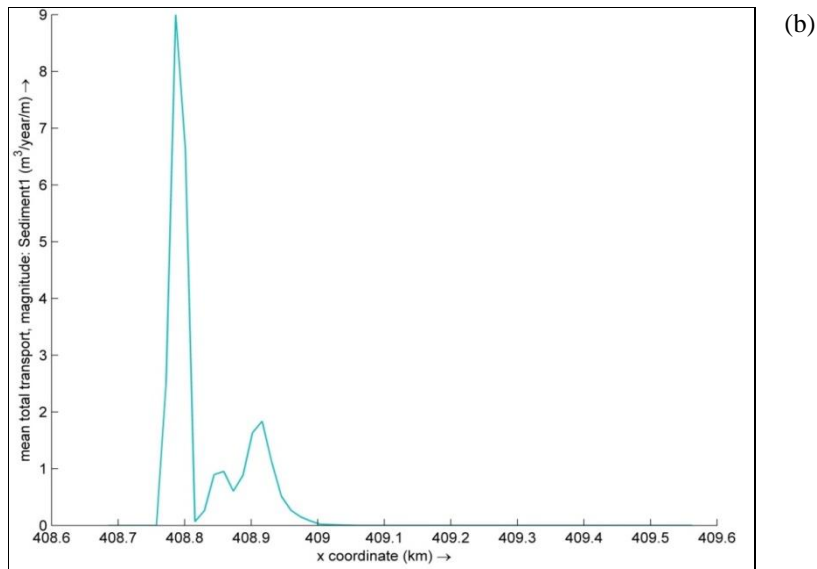
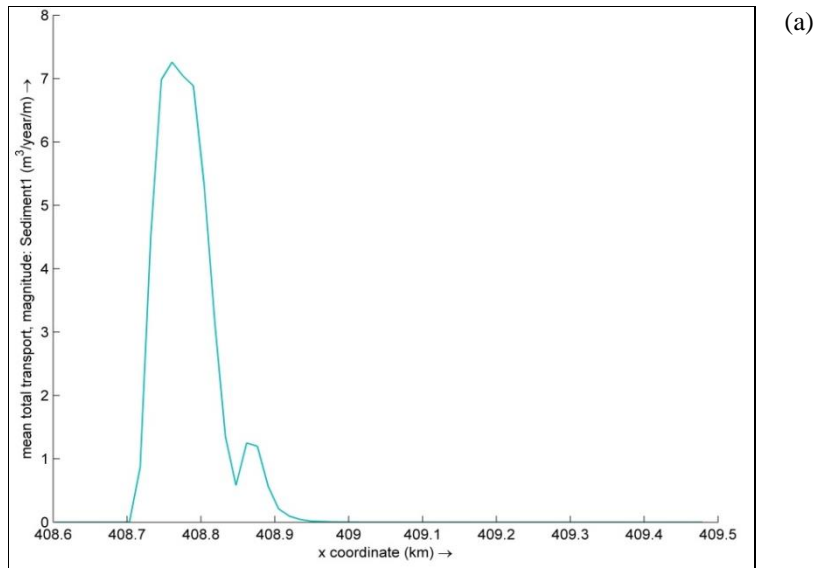


Figura 4.111: Transporte médio total ($\text{m}^3/\text{ano}/\text{m}$) através da simulação com D_{50} de 0,564 mm ao longo dos perfis: foz, (b) norte e (c) sul.

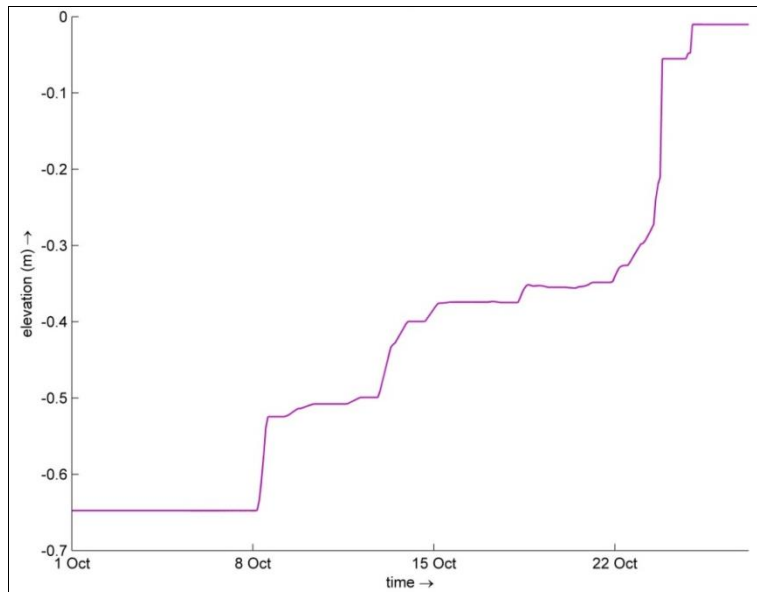


Figura 4.112: Variação do nível de fundo para um ponto situado sobre a região da barra arenosa.

Na morfologia de fundo inicial (Figura 4.104) a foz do Arroio Carahá encontra-se aberta. Na Figura 4.113 são apresentadas as morfologias de fundo resultantes ao final de cada estação do ano. Verifica-se que no final de verão a barra arenosa já está formada na foz do arroio, de modo a deixar o canal de navegação fechado, e assim permanece até o final de todo processo de simulação. Verifica-se, também, que na margem ao sul da foz há um processo de sedimentação. Na margem ao norte da desembocadura, observam-se específicas regiões em processo erosivo (em azul).

Considerando que as correntes geradas na enseada são bidirecionais, mas com predominância de correntes para SW (contornando a linha de costa), e que o transporte médio total ao longo dos três perfis também ocorre para SW, pode-se inferir que sedimentos erodidos da margem norte estão sendo depositados na foz do arroio e também na margem sul. Embora também ocorram correntes para NE, mas com menor frequência, não há energia suficiente para remobilizar os sedimentos depositados na foz do Arroio Carahá.

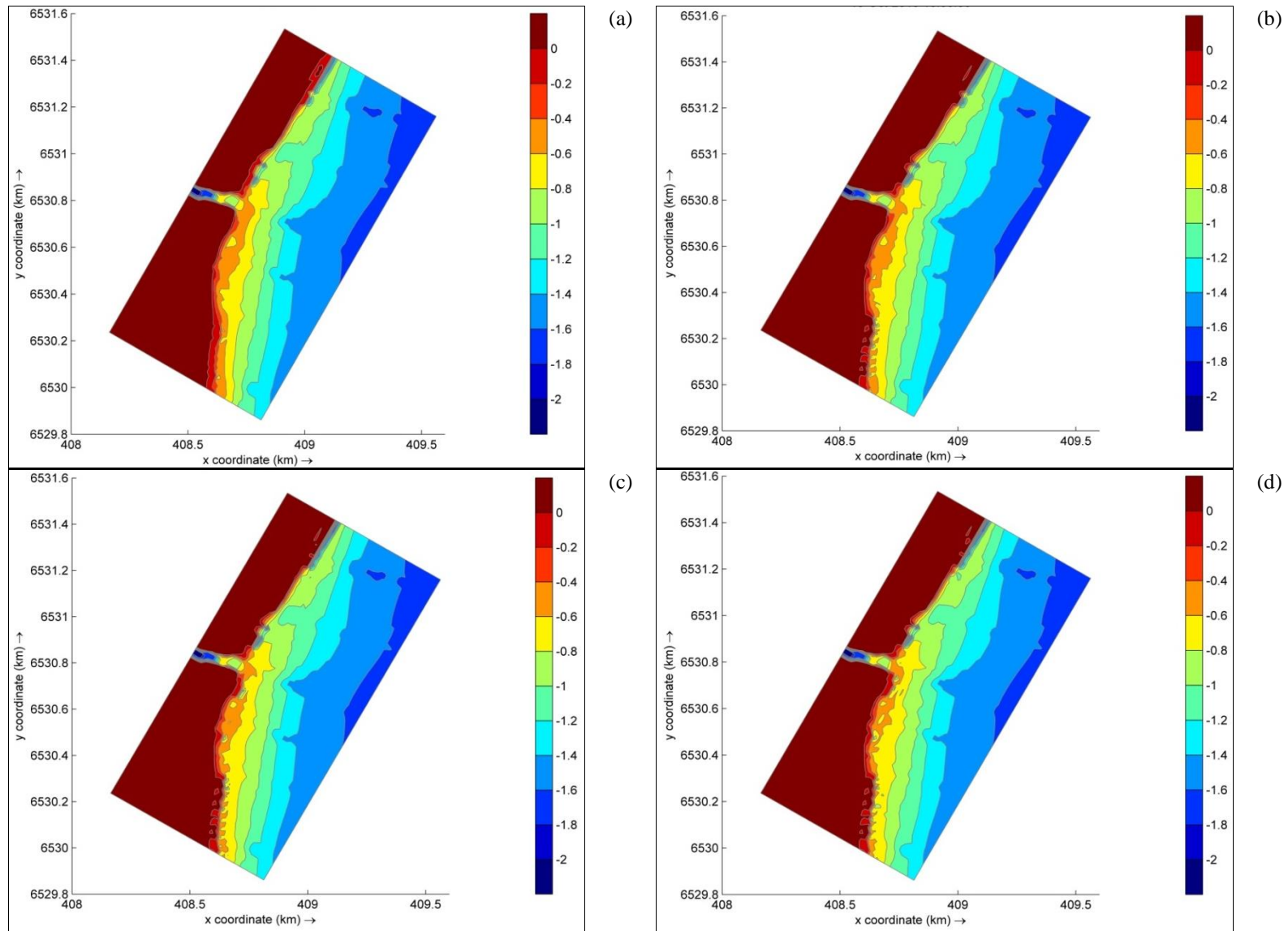


Figura 4.113: Morfologia de fundo após as simulações dos casos de: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Escalas de cores em metros.

Conforme descrito no Capítulo 3, Seção 3.4.5, realizou-se também a simulação dos 36 cenários durante 5 anos com a implementação de dois molhes, perpendiculares à linha de costa, na foz do Arroio Carahá. Durante toda simulação, o valor do D_{50} utilizado foi de 0,564 mm.

Nas Figuras 4.114 a 4.117 são mostrados os cenários 2, 18, 26 e 32, correspondentes às estações: verão, outono, inverno e primavera. São os mesmos casos de ondas que foram apresentados anteriormente (propagação das ondas sem obras), mas agora com a influência dos molhes. Todos os casos de ondas propagadas e as correspondentes correntes geradas para esta situação (com os molhes) encontram-se no Anexo G. De maneira geral, observa-se uma área de baixa energia das ondas na região de sombra destas, à sotamar das estruturas. Em ambos os cenários, verifica-se que as correntes bloqueadas pelas estruturas são forçadas a redirecionarem em torno destas.

Com a implementação dos molhes, fica evidente a redução no transporte de sedimentos ao longo dos três perfis, conforme Figura 4.118. Como já esperado, no perfil da foz do arroio o transporte médio é praticamente nulo, pois se encontra protegido no interior das estruturas. No perfil norte, a taxa média de transporte é de cerca de $0,45 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$. Já no perfil sul, a taxa de transporte atinge valores de aproximadamente $1,4 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$. A redução da taxa de transporte médio total é de aproximadamente 8,55 e $5,3 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ para os perfis norte e sul, simultaneamente.

Na Figura 4.119 são apresentadas as morfologias de fundo inicial e final (após os 5 anos simulados) com a implementação dos molhes. De maneira geral observam-se processos de deposição de sedimentos em ambas as margens (norte e sul) da desembocadura. Nas adjacências das estruturas a deposição sedimentar é mais acentuada. Verifica-se ainda que na porção mais distante ao sul da obra, a deposição de sedimentos ao longo dos 5 anos ocorre de forma a tornar o perfil mais íngreme. Na porção mais distal ao norte da estrutura observa-se que, embora a linha de costa tenha crescido, aparece uma região com aprofundamento da batimetria, deixando o perfil mais íngreme também.

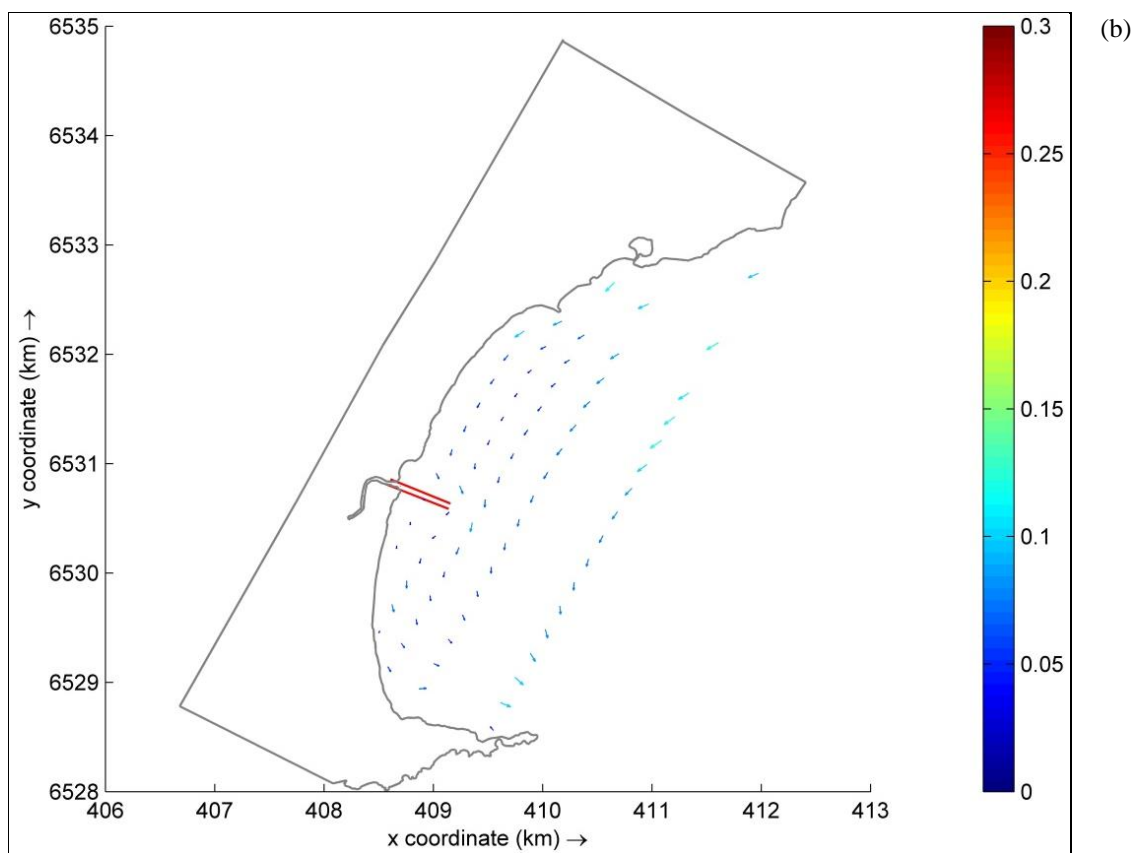
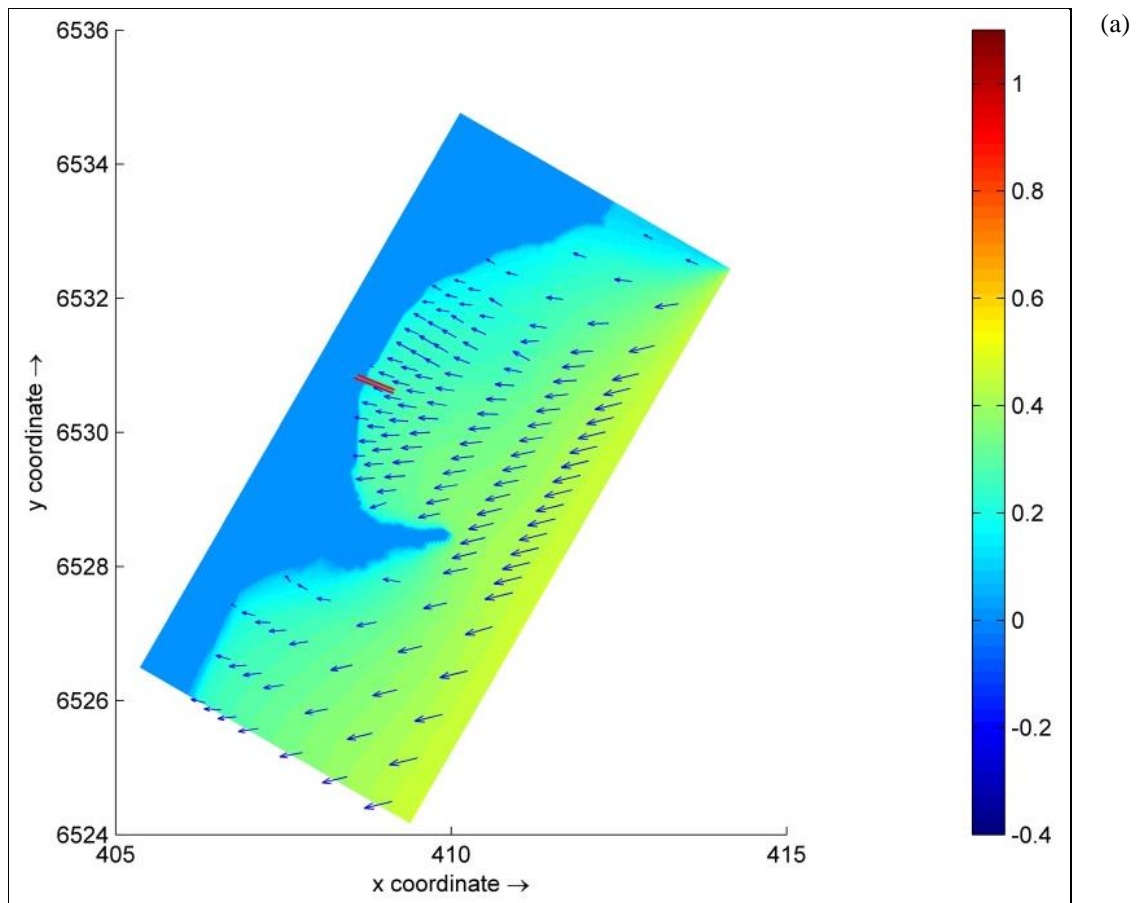


Figura 4.114: (a) Propagação de onda do caso 2 (verão) com obras: $H_s = 0,45$ m, $T_p = 2,87$ s, $Dir = 76,38^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

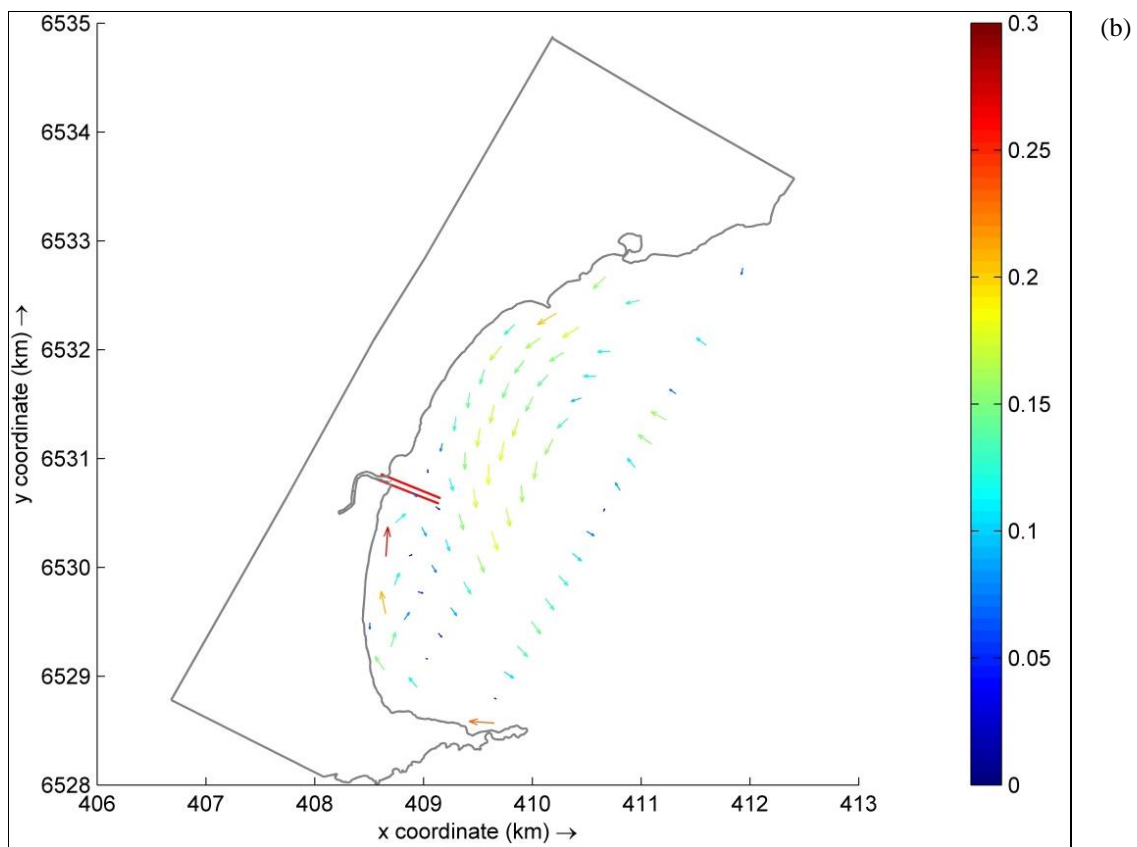
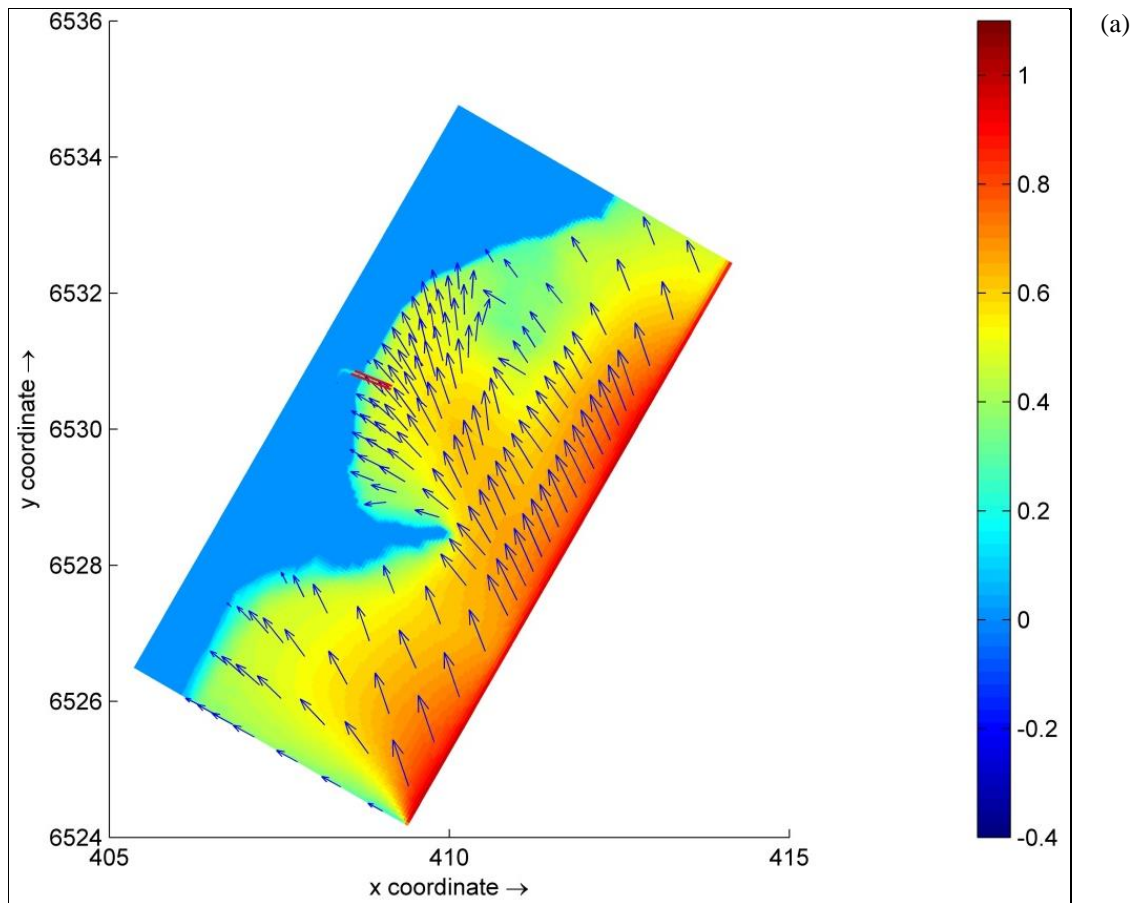


Figura 4.115: (a) Propagação de onda do caso 18 (outono) com obras: $H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,4^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

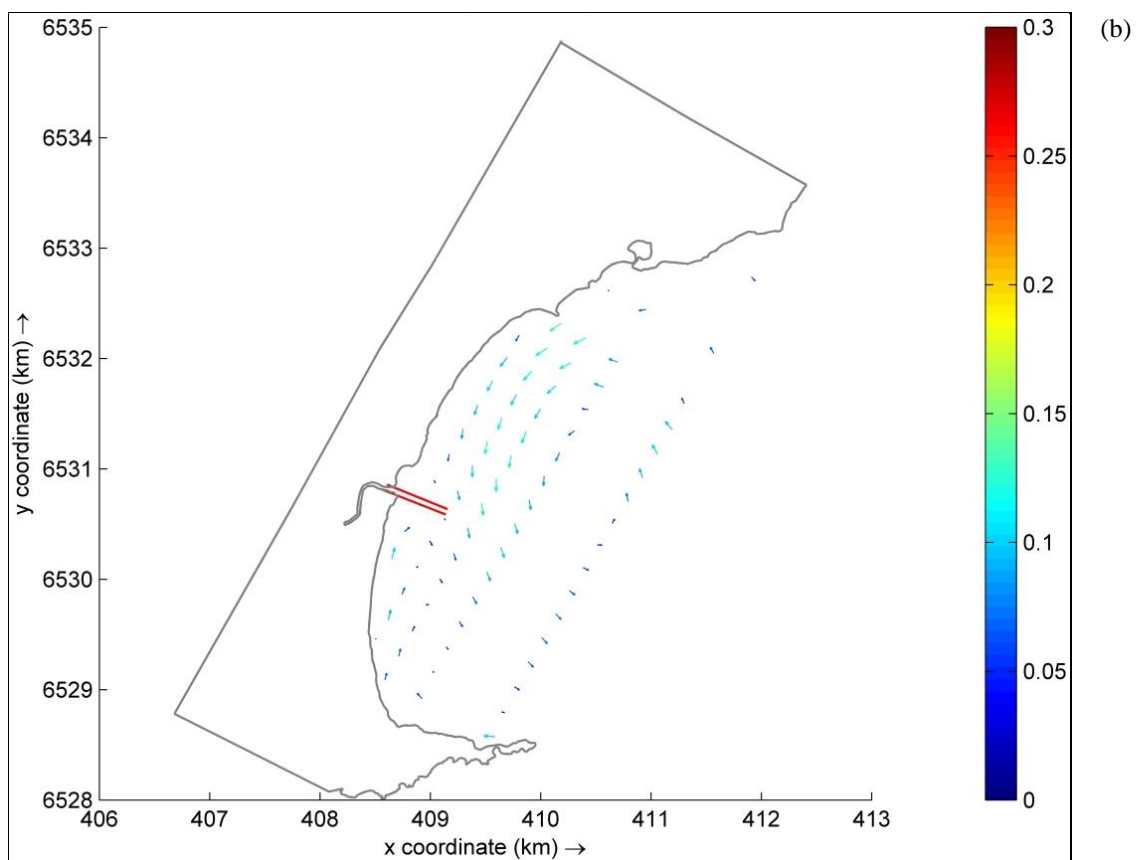
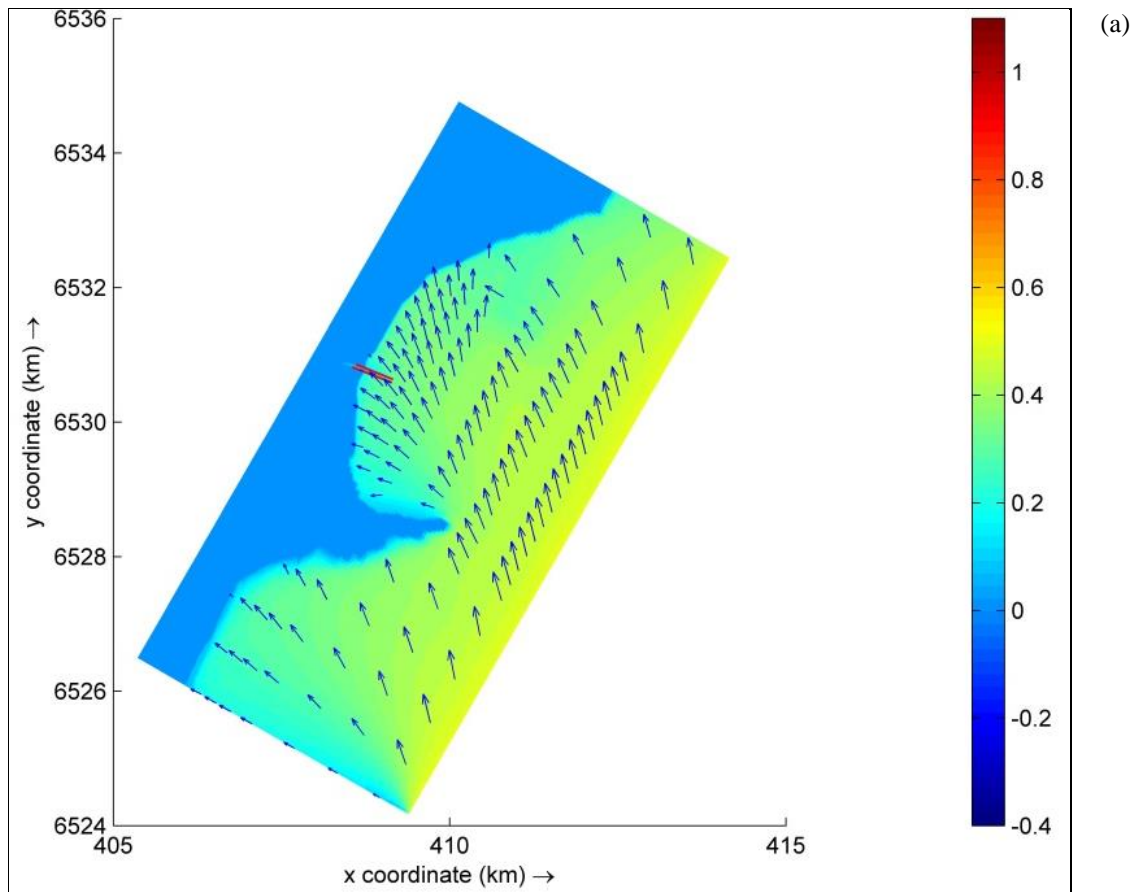


Figura 4.116: (a) Propagação de onda do caso 26 (inverno) com obras: $H_s = 0,52$ m, $T_p = 3,33$ s, $Dir = 174,3^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

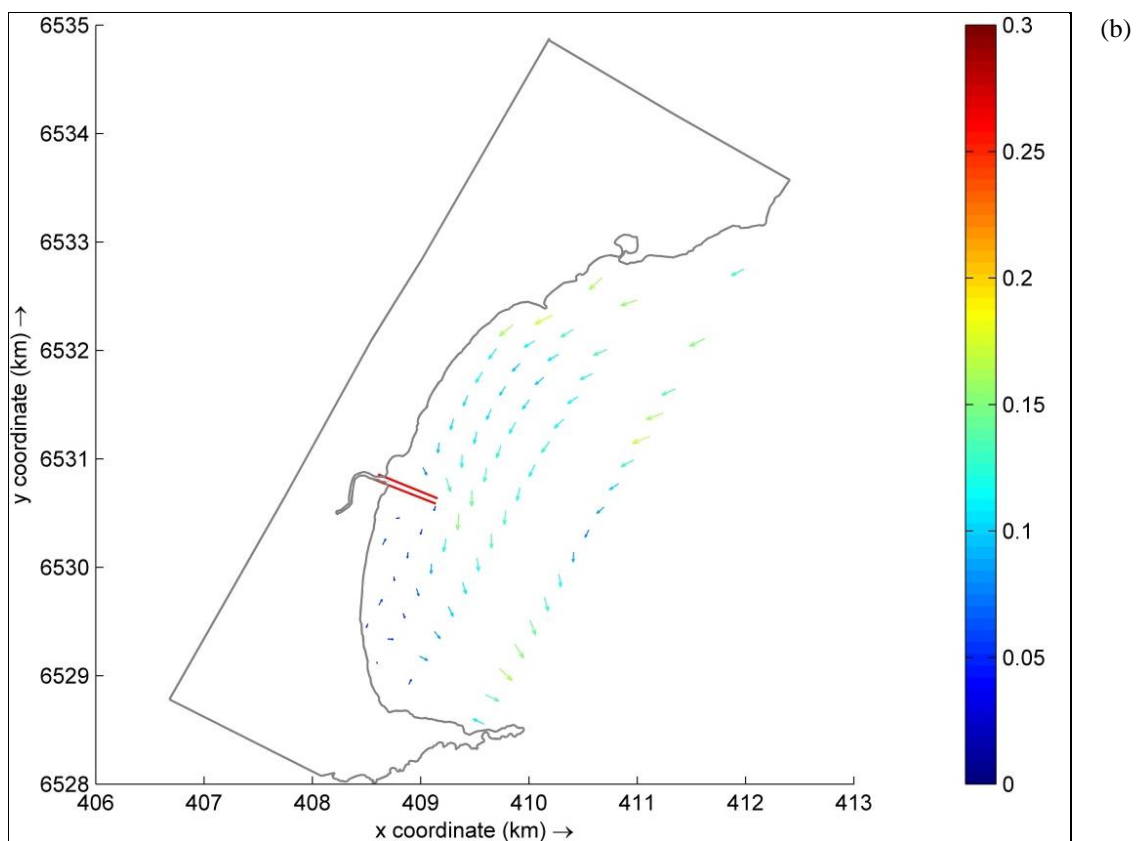
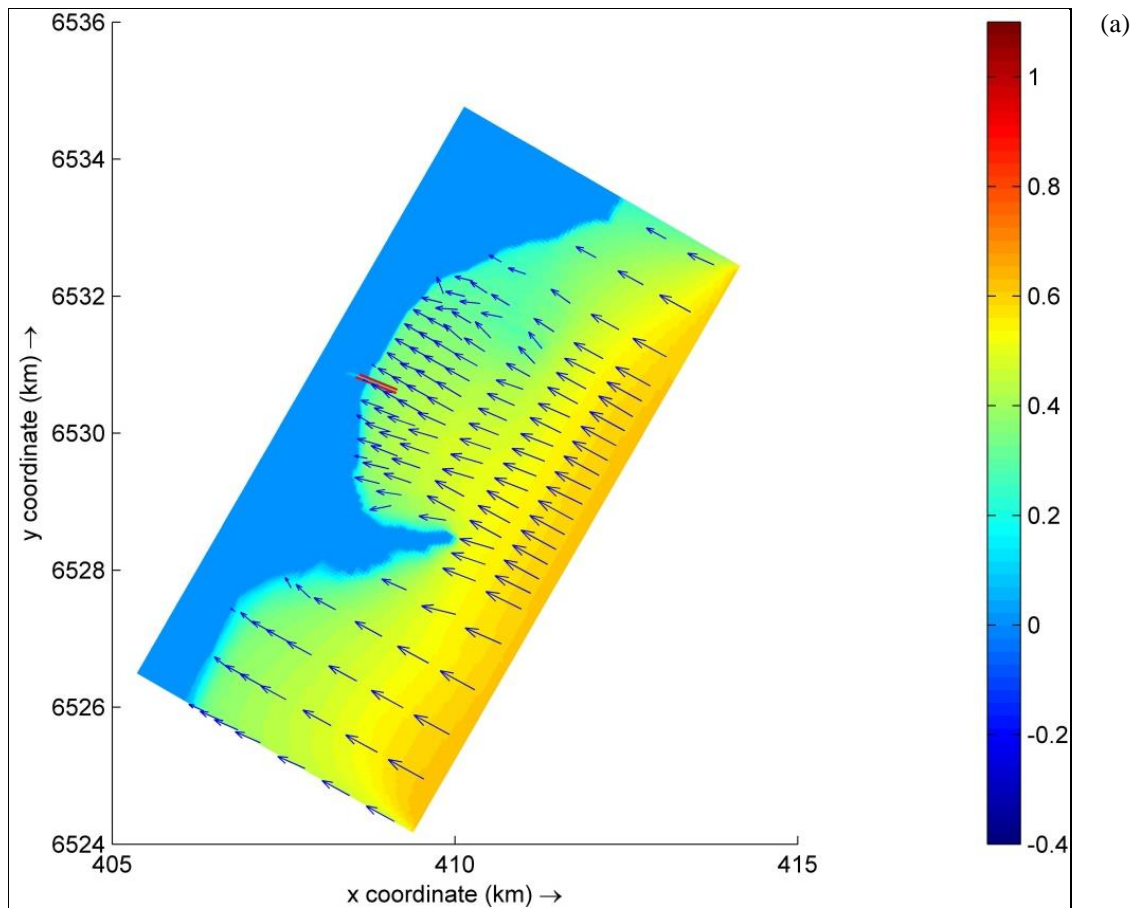


Figura 4.117: (a) Propagação de onda do caso 32 (primavera) com obras: $H_s = 0,60$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 119,7^\circ$. Escala de cores em metros. (b) Correspondentes correntes geradas pela quebra das ondas e pelo vento. Escala de cores em m/s.

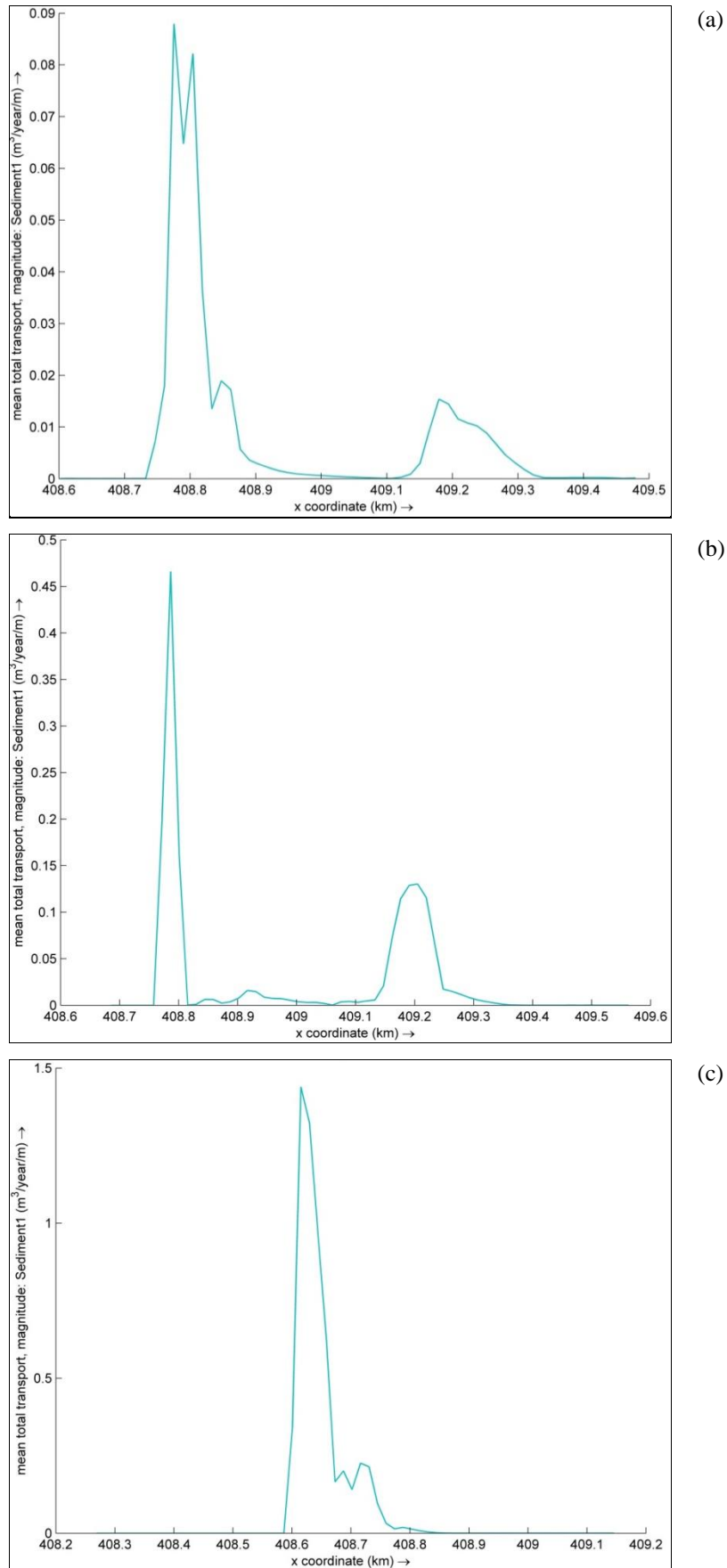


Figura 4.118: Transporte médio total ($m^3/\text{ano}/m$) através da simulação com molhes, utilizando D_{50} de 0,564 mm, ao longo dos perfis: (a) foz, (b) norte e (c) sul.

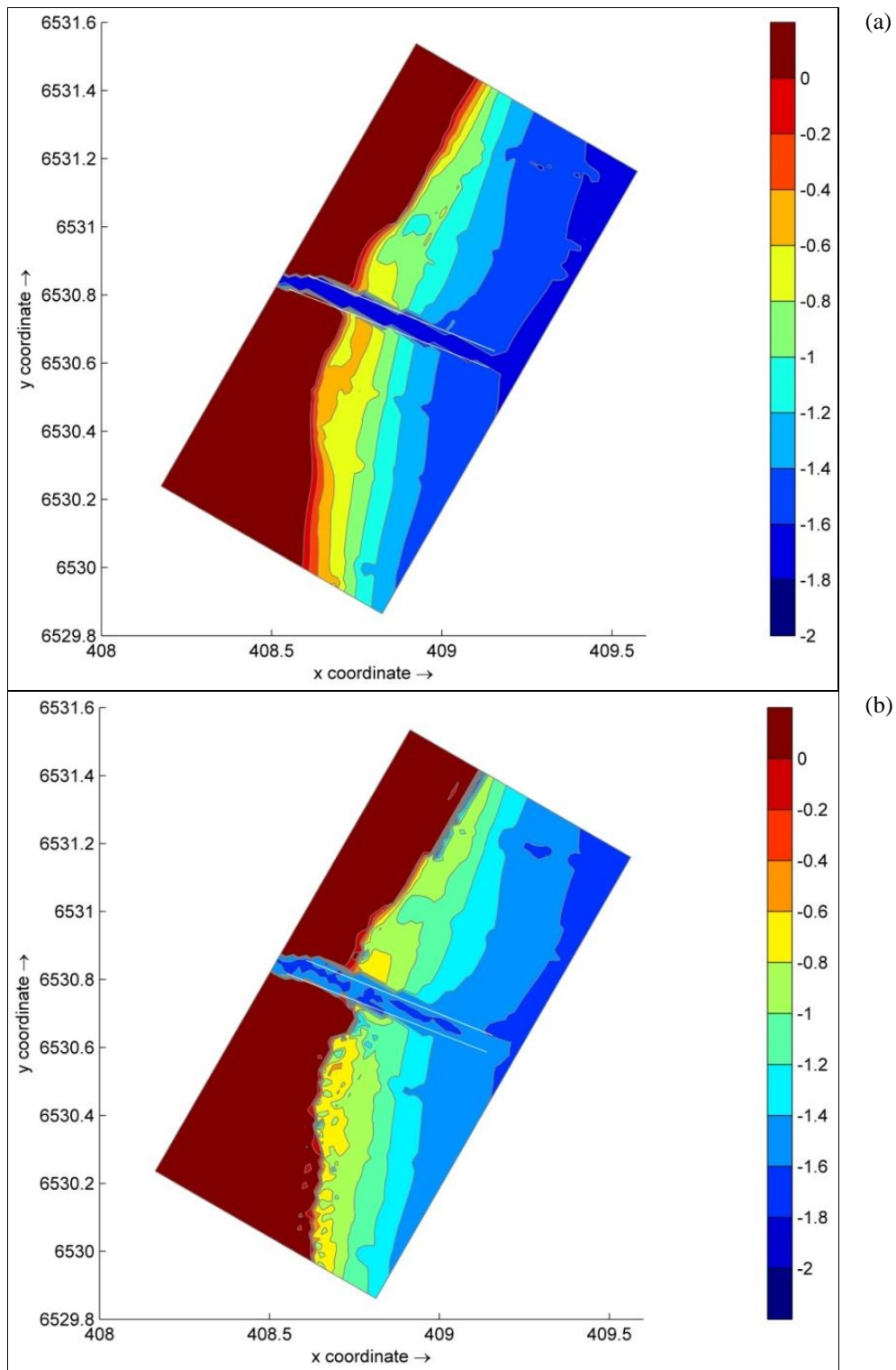


Figura 4.119: (a) Morfologia de fundo inicial. (b) Morfologia de fundo ao final dos 5 anos simulados, com molhes.

Escalas de cores em metros.

5. DISCUSSÕES

Os processos físicos associados às características dos sedimentos condicionam a morfologia da zona costeira (morfodinâmica). Dinâmica e morfologia evoluem conjuntamente através do transporte de sedimentos em busca do equilíbrio ou estabilidade costeira. Regiões costeiras podem ser influenciadas por três processos: dominadas por ondas, dominadas por marés e balanceadas por ondas e por marés (DAVIS e HAYES, 1984). Em relação às marés, Davies (1964, apud Davis e Hayes, 1984) classifica em três categorias: micromaré (menor que 2 metros), mesomaré (2 a 4 metros) e macromaré (maior que 4 metros). Em relação às ondas, os ambientes podem ser classificados como de baixa ou alta energia. Hegge et al. (1996) considera que os ambientes são de baixa energia quando a média anual de alturas significativas as ondas é menor que 1 metro, e são de alta energia quando esta média é superior a 2 metros. Desta forma, pode-se inferir que a enseada de São Lourenço do Sul é um ambiente costeiro de baixa energia em uma região de micromaré, onde os processos físicos predominantes são as ondas.

As ondas de gravidade geradas pelo vento e as marés, são responsáveis por grande parte de energia que chega à costa. As ondas superficiais de gravidade desempenham a função principal na determinação da dinâmica, da morfologia e da composição da linha de costa.

Parte da energia dissipada pela incidência de ondas na zona de surfe contribui na formação de correntes costeiras, tanto longitudinais (*longshore currents*), quanto transversais (correntes de retorno, *rips currents* ou *rips*), as quais são responsáveis pelo transporte de sedimentos, causando alterações no relevo da praia (CLARKE, 1984). As correntes longitudinais são direcionadas por forças associadas à quebra das ondas (KOMAR, 1976). Adicionalmente, variação da altura da quebra das ondas ao longo da costa pode induzir correntes litorâneas, as quais podem aumentar ou diminuir a intensidade da corrente gerada por incidência oblíqua. Ou seja, a corrente litorânea é influenciada pela incidência oblíqua e pela variação da altura da arrebenção ao longo da costa.

De acordo com Calliari et al. (2003) os fenômenos responsáveis pelo comportamento das praias e conseqüentemente da linha de costa iniciam na base da antepraia, a qual delimita a camada limite costeira. A troca bidirecional de sedimentos entre esta camada e a face praial, através da zona de surfe, causa parte das modificações nas praias. Variações temporais e espaciais do estado de uma praia dependem, respectivamente, do regime de ondas em águas

profundas e em águas rasas, e dependem do tipo e da disponibilidade do material existente na zona costeira. A geologia e a configuração da costa controlam as alterações temporais e espaciais de uma praia.

A partir da análise da evolução da linha de costa em São Lourenço do Sul, verificou-se que processos erosivos estão ocorrendo ao norte da foz do Arroio Carahá, atingindo 1,4 m/ano e 0,73 m/ano nos perfis P12 e P13, respectivamente, conforme descrito no Capítulo 4, Seção 4.2. No entanto, ao sul da foz do arroio, ocorrem processos de acreção, com taxas médias de 0,18 m/ano. Esta taxa, apesar de pequena, resulta em uma variação de aproximadamente 10 metros ao longo dos 57 anos analisados. Entre os perfis com taxas de sedimentação na margem ao sul da foz, o perfil P31 apresenta uma taxa de erosão de 0,21 m/ano. Esta erosão pontual, entre processos de deposição, pode ser explicada pela hipótese de que antigamente existia vegetação (juncos) semelhante a outros setores da costa em estudo. Após retiradas, a dinâmica natural da enseada foi responsável pela formação deste trecho de praia mais retilíneo. É notório o efeito de juncos na estabilização da linha de costa em ambientes lagunares, e provavelmente sua retirada tenha acarretado em processos pontuais de erosão numa linha de costa que está sofrendo acreção.

O valor médio da taxa de erosão ao norte da desembocadura é de 1,06 m/ano, maior que a taxa média determinada por Fischer e Calliari (2011) na praia do Barro Duro (margem oeste da Lagoa dos Patos, Laranjal - Pelotas) a qual foi de 0,55 m/ano. Os referidos autores também encontram processos de acreção em algumas praias, atingindo taxas de 0,47 m/ano. Estes autores apresentaram as seguintes hipóteses: existência de deriva litorânea para o sul, devido à frequente incidência oblíqua de ondas geradas por ventos de NE, explicando assim a acreção em alguns locais das praias estudadas; e transporte bidirecional associado a ventos de NE e também de SE, os quais seriam responsáveis pela incidência de ondas oblíquas e transporte de sedimentos para o norte.

Conforme apresentado no Capítulo 4, Seção 4.4.4, existe a ocorrência de correntes bidirecionais (NE e SW) na enseada de São Lourenço do Sul. As correntes para SW são mais frequentes, e podem estar transportando sedimentos da margem norte para a foz do Arroio Carahá e também para a margem mais ao sul. Embora também ocorram correntes no outro sentido (para NE) estas nunca atingem a margem ao norte da foz, devido à convergência de correntes de ambos os sentidos na foz do canal. As correntes geradas na margem ao norte da foz do Arroio Carahá sempre apresentaram direção para SW, o que pode estar resultando em uma erosão mais acentuada no local.

Através da Figura 4.1 (Capítulo 4, Seção 4.2) observa-se que houve a migração da barra arenosa durante o período analisado (1953 – 2010). De acordo com Bruun (1995) a estabilidade de um *inlet* depende da energia das ondas incidentes, das correntes longitudinais e, conseqüentemente, do transporte de sedimentos litorâneo, assim como do fluxo do canal. Dependendo da quantidade de areia disponível e das condições de energia do ambiente costeiro, a formação de bancos poderá fechar a entrada do canal, e este fechamento poderá permanecer por um longo período. Segundo FitzGerald et al. (2000) as embocaduras consistem em um dos ambientes costeiros mais complexos no que diz respeito à quantificação do transporte sedimentar nas suas proximidades. São muitas as variáveis que controlam a estabilidade de uma embocadura, tais como: prisma de maré, geometria do canal, ondas, correntes, marés, fonte de sedimentos, estratigrafia regional, declividade do ambiente, batimetria e obras de engenharia costeira. A caracterização do transporte de sedimentos em enseadas requer a consideração de várias escalas temporais e espaciais que abrangem o movimento individual de grãos (centímetros/segundo), a migração das formas de fundo (metros/dia) e o deslocamento de grandes barras (centenas de metros/ano).

Desta maneira, considerando que atualmente o canal do Arroio Carahá não apresenta fluxo significativo para alterar a morfologia de sua foz, conforme apresentado no Capítulo 4, Seção 4.3.5, esta é influenciada pelos processos costeiros atuantes. A migração da barra arenosa observada na Figura 4.1 pode estar associada a possíveis vazões do rio que existiam em épocas pretéritas, ou até mesmo por ação antrópica, com intuito de tentar estabilizar a sua foz para a navegação de embarcações locais.

Diante da constatação da existência do problema através da análise da variação da linha de costa e das feições do *inlet*, a modelagem morfológica da região de estudo tornou-se uma ferramenta de extrema valia para compreender os processos costeiros atuantes. Para realizar a modelagem morfológica, primeiramente tornou-se necessário analisar diversos dados oceanográficos da Lagoa dos Patos, assim como de dados locais nas praias de São Lourenço do Sul.

O estudo detalhado da granulometria da porção subaquosa na enseada de São Lourenço do Sul permitiu identificar diferentes classes granulométricas na região, desde areia muito fina até areia muito grossa. Em pontos específicos constatou-se a predominância de silte e argila, como por exemplo, nas amostras A4 e P9 49, conforme exposto no Capítulo 4, Seção 4.3.1. Verificou-se também a ocorrência de amostras bimodais e outras polimodais, pobremente selecionadas. Este padrão não homogêneo corrobora com as observações de Martins et al.

(1989), em que sedimentos ao longo da margem oeste da Lagoa dos Patos são classificados como pobremente selecionados, com tamanhos entre areia fina e cascalho, enquanto que na margem leste os sedimentos são bem selecionados, com predominância de areia fina. Provavelmente, a existência de sedimentos mais grossos indica a influência de área fonte associada a formações geológicas mais antigas ocorrentes na margem oeste da Lagoa dos Patos. De modo geral, pode-se dizer que o valor do D_{50} médio para todas as amostras da enseada é característico de areia grossa, com 0,564 mm.

Especificamente na barra arenosa, formada na foz do Arroio Carahá, o padrão apresentado é de areia muito grossa, com D_{50} de 1,16 mm. Através da análise da granulometria das amostras coletadas no canal do Arroio Carahá verificou-se que a amostra mais próxima da foz possui classe textural de areia muito grossa, equivalente à classe da barra arenosa. No entanto isto não comprova que os sedimentos depositados na foz são trazidos pelo rio, pois a amostra mais distante da foz pertence à classe granulométrica de areia média, com D_{50} de 0,3482 mm.

Através de diversas observações locais, constatou-se que incidências de ondas da lagoa na foz do arroio geram correntes para o interior deste. Desta forma, constata-se que devido às maiores correntes geradas pelas ondas, os sedimentos próximos à foz do Arroio Carahá são mais grossos (Figura 4.2(e) do Capítulo 4, Seção 4.2.1). Ao se afastar da foz, em direção ao interior do canal, os sedimentos são mais finos, onde se percebe que não há mais interferência de correntes geradas pelas ondas. Salienta-se que a amostra mais distante da foz (Canal 4) é bem selecionada.

Modificações na linha de costa e na zona de arrebentação estão intimamente associadas às características das ondas (ângulo de incidência, altura e período) e à herança geológica caracterizada pelos sedimentos. Segundo Hoefel (1998) ondas mais esbeltas e de curto período, de alta energia, transportam grandes volumes de sedimentos, em direção ao mar, que se depositam na forma de bancos longitudinais na zona de surfe. Já a incidência de ondas menos esbeltas, de baixa energia, resulta na mobilização destes bancos em direção à costa. Por outro lado, o ângulo de incidência associado à variação da altura das ondas são componentes fundamentais na determinação do transporte litorâneo.

Portanto, o conhecimento do clima de ondas em determinada região é de fundamental importância na área do gerenciamento e da engenharia costeira. A caracterização do clima de ondas de uma região é determinada através do padrão estatístico dos parâmetros descritivos: altura, período, direção de propagação e energia. O clima, a localização de sistemas

atmosféricos, o regime de ventos predominantes e sua área de alcance são fatores que contribuem diretamente na caracterização do clima de ondas (MACHADO, 2013).

Deste modo, a análise de dados de ventos atuantes sobre a região costeira do Rio Grande do Sul consistiu em uma etapa fundamental para a modelagem de ondas na Lagoa dos Patos. A seleção de um ano representativo (2008) de ventos atuantes sobre a região da Lagoa dos Patos e a constatação de que dados de ventos medidos na Praticagem da Barra do Rio Grande podem ser adotados para todo corpo lagunar permitiram reduzir consideravelmente o esforço computacional da modelagem de ondas.

Durante o período analisado (2004 a 2010) as maiores ocorrências foram de ventos NE, com intensidades entre 3,1 a 6 m/s (4,92%), seguidas de ventos ENE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s (4,50%). Observou-se também, elevada ocorrência de ventos de NNE, com intensidades entre 3,1 a 6 m/s (4,10%). Já para o ano de 2008, as maiores ocorrências de ventos foram de ENE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s (5,65%) e de NE, com intensidades entre 3,1 a 6 m/s (4,85%).

As análises de dados de ventos para as estações do ano permitiram inferir que, durante o verão, as maiores frequências de ventos são de NE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s (6,12%), de ENE, com intensidades entre 6,1 e 9 m/s (6,11%) e de NE, com intensidades entre 3,1 e 6 m/s (5,74%). De maneira muito semelhante, durante a primavera, as maiores ocorrências são de ventos ENE (6,38%), com intensidades entre 6,1 e 9 m/s, seguidos de ventos de NE (5,30%), também com intensidades entre 6,1 e 9 m/s. Verifica-se também que há bastante ocorrência de ventos provenientes de NE, mas com intensidades entre 3,1 e 6 m/s (4,86%). Durante outono e inverno, as maiores frequências de ventos ainda são de NNE e NE, mas com significativo aumento de ventos de W e WSW. Tanto no outono, quanto no inverno, as maiores frequências ocorreram com intensidades de ventos entre 3,1 e 6 m/s, nas direções NNE (5,25% no outono e 5,42% no inverno), W (5,04% no outono e 4,42% no inverno), WSW (4,92% no outono e 4,36% no inverno).

De maneira geral, os resultados de ventos característicos da região, mostraram-se semelhantes a estudos realizados por diversos autores. As direções predominantes de ventos coincidem com a direção do eixo longitudinal do corpo lagunar (NE-SW) (MÖLLER et al., 2001). Malaval (1923, *apud* Calliari e Fachin, 1993) realizou um estudo sobre ventos durante o período de 1913 a 1915, observando que os ventos de NE foram os mais frequentes, seguidos de ENE, de SE e de SW. Toldo et al. (2006) concluíram que, durante o verão e a primavera de

1988, os ventos predominantes na margem oeste da Lagoa dos Patos foram de NE, enquanto que, durante outono e inverno, os ventos mais frequentes na margem leste eram provenientes de NW e SW. Segundo Möller (1996) o regime de ventos predominantes na região é de NE, associado ao anticiclone sobre o Oceano Atlântico. No inverno, devido à passagem de sistemas frontais, ocorre um aumento na frequência de ventos do quadrante sul. De acordo com Calliari e Fachin (1993) a alteração entre os anticiclones do Atlântico Sul e Polar durante o ano resulta na maior frequência de ventos do quadrante NE entre setembro e fevereiro, e do quadrante SW entre abril e agosto.

A comparação entre as análises de dados de ventos realizadas nesta Tese com estudos pretéritos é bem consistente, visto que diversos autores já fizeram estudos relacionados. No entanto, a caracterização do regime de ondas na Lagoa dos Patos ainda é escassa. Os parâmetros de ondas adquiridos através do ondógrafo que esteve fundeado na Lagoa dos Patos, durante 22 de janeiro a 01 de julho de 2015, não permite fazer uma comparação com outros dados medidos através de equipamentos específicos no corpo lagunar, pois são inexistentes até o momento. No entanto, é possível fazer uma explanação geral sobre os resultados adquiridos através do ondógrafo, comparando com os resultados obtidos por Toldo et al. (2006) no estudo de predição de ondas na Lagoa dos Patos em 1988, na estação 13, à qual é mais próxima ao local de fundeio do ondógrafo.

No estudo realizado por Toldo et al. (2006), os valores médios de alturas significativas e de períodos das ondas na estação 13 foram, respectivamente, 0,6 metros e 3,1 segundos durante o verão, 0,5 metros e 2,8 segundos durante o outono, 0,5 metros e 2,7 segundos no inverno, 0,6 metros e 3,0 segundos na primavera. O ondógrafo esteve em operação na Lagoa dos Patos durante 2 meses do verão, todo outono e 9 dias do inverno. Deste modo, a comparação entre dados medidos pelo ondógrafo e as predições de Toldo et al. (2006) serão feitas apenas para o verão e para o outono.

Durante o verão os valores médios de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas adquiridos através do ondógrafo foram de 0,51 metros, 3,2 segundos e 119°. E durante o outono os valores médios de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas adquiridos foram de 0,36 metros, 2,7 segundos e 137°. Observa-se que os valores médios adquiridos pelo ondógrafo para Hs e Tp são bem próximos aos valores médios de Hs e T determinados por Toldo et al. (2006). A direção das ondas atribuída pelos referidos autores é a mesma direção dos ventos, diferenciando dos valores encontrados nesta Tese, pois se verificou a

ocorrência da refração das ondas tanto na modelagem computacional, quanto na comparação entre dados de ventos medidos na Praticagem e parâmetros de ondas registrados pelo ondógrafo.

Os valores médios de H_s , T_p e Dir obtidos durante todo período de fundeio do ondógrafo na Lagoa dos Patos são, respectivamente, 0,35 metros, 2,78 segundos e 102,7°. A relação entre direções de ventos atuantes na Lagoa dos Patos e direções de pico das ondas permite inferir a ocorrência de refração das ondas na região.

De maneira geral constata-se que, durante o período de operação do ondógrafo, as maiores frequências de ondas registradas corresponderam a curtos períodos (entre 2 e 3,5 segundos) e a pequenos valores de alturas significativas (entre 0 e 0,6 metros).

A direção de pico mais frequente foi de E, totalizando 33,3% das ocorrências, seguida de ESE (11,5%) e de S (9,47%). Em relação à altura significativa, percebe-se que ondas de 0 a 0,3 metros (41,2%), 0,3 a 0,6 metros (38%) e 0,6 a 0,9 metros (16,4%) incidiram com maior frequência. Ondas com períodos de pico entre 2,5 e 3 segundos (25,6%), 3 e 3,5 segundos (22,1%) e entre 2 e 2,5 segundos (18,4%) ocorreram com maiores frequências.

Além de representarem medições inéditas no corpo da Lagoa dos Patos, os parâmetros de ondas adquiridos através do ondógrafo em 2015 permitiram realizar a calibração do modelo de geração de ondas em toda lagoa, utilizando-se dados de ventos referentes ao mesmo período, conforme descrito no Capítulo 4, Seção 4.4.2.

Os parâmetros de ondas obtidos pelo ondógrafo, a calibração do modelo SWAN para a Lagoa dos Patos e a geração de ondas na lagoa durante o ano representativo de ventos (2008) consistiram em etapas fundamentais e de extrema importância para avaliar os processos costeiros atuantes na enseada de São Lourenço do Sul, bem como para analisar as variações do fundo batimétrico ao realizar as simulações do modelo morfológico. Embora o modelo SWAN tenha apresentado a tendência em subestimar os dados de ondas registrados pelo ondógrafo na Lagoa dos Patos, tanto para altura significativa, quanto para período de pico e direção de pico das ondas, obteve um bom desempenho, visto que os resultados estatísticos de SI e SS estão dentro de uma margem aceitável na literatura. Estudos com a aplicação do modelo SWAN em ambientes abrigados (Baía de Chesapeake e Lago Erie) foram realizados por Lin et al. (2002) e Moeini e Shahidi (2009), respectivamente. Ambos autores constataram a tendência do modelo SWAN em superestimar dados de altura significativa e subestimar dados de período de pico das ondas. Na validação do modelo SWAN para o Lago Guaíba, realizada por Nicolodi (2007), foi constatado que os resultados de menor acurácia ocorreram para o parâmetro de período de pico

das ondas, e que as maiores discrepâncias quanto aos valores de altura significativa surgiram quando as intensidades dos ventos enfraqueceram com uma variação na direção proveniente (de S para W). O referido autor argumenta que estas divergências podem ter ocorrido em função da demora do tempo de resposta do SWAN às variações de vento e o consequente surgimento de ondas em ambientes abrigados.

Até o presente momento nenhum estudo científico na área de oceanografia havia sido realizado na região de São Lourenço do Sul. Desta forma, não há como comparar os resultados obtidos pela modelagem morfológica com outros estudos acadêmicos deste local, pois são inexistentes.

A dissipação da energia devido à fricção com o fundo tem importante contribuição na determinação do clima de ondas em uma região costeira. Conforme as ondas aproximam-se da costa, a profundidade diminui e, conseqüentemente, surgem fricções entre o fundo e a velocidade orbital das partículas da onda, fazendo com que haja perda da energia e diminuição da altura da onda (WRIGHT, 1985). O máximo valor de Hs (1,03 metros) dos 36 casos de ondas refere-se ao contorno da grade numérica local (São Lourenço do Sul). No entanto, ao se aproximar de águas mais rasas estas ondas perdem energia e altura, atingindo 0,60 metros de Hs a cerca de 400 metros da linha de costa.

O caso de maior frequência ocorre na primavera, caso 26 (Hs = 0,60 metros, Tp = 3,39 segundos, Dir = 119,7°), com duração de cerca de 27 dias. O segundo caso de maior frequência ocorre durante cerca de 19 dias no verão, caso 5 (Hs = 0,54 metros, Tp = 3,24 segundos, Dir = 116,8°), apresentando características muito semelhantes ao caso 26 da primavera. Ambos os casos, 5 e 26, estão associados a ventos de ENE com intensidades de 7,5 m/s e 8,3 m/s, respectivamente, evidenciando a refração das ondas.

Verificou-se que para todos os cenários simulados (36 casos de ondas) as correntes geradas devido à quebra das ondas e aos ventos apresentam direção para SW em toda margem ao norte da desembocadura do Arroio Carahá. A ocorrência de correntes com direção para NE está limitada a todos os casos de ondas propagadas com direções de pico entre 150° e 210°, e mesmo assim, estas correntes não atingem a margem norte da foz do arroio. Este fenômeno pode ser explicado devido ao fato de que na margem norte sempre há ocorrência de correntes para SW e ao encontram as correntes com direção para NE foram uma zona de convergência em frente à foz do Arroio Carahá.

Os maiores valores de correntes obtidos foram de 0,184 m/s (SW) no perfil norte, 0,168 m/s (SW) no perfil da foz, associados ao cenário 33 ($H_s = 0,90$ m, $T_p = 3,93$ s, $Dir = 111,8^\circ$), e de 0,182 m/s (NE) no perfil sul, correspondente ao cenário 18 ($H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,4^\circ$).

Quando adotado no modelo morfológico D_{50} de 1,16 mm (valor médio das amostras da barra), as correntes geradas não apresentaram energia suficiente para mobilizar os sedimentos da enseada. Deste modo, surgem as hipóteses de que os grãos mais grossos encontrados na barra possam ser provenientes de condições de tempestades (ondas com maiores alturas significativas e períodos de pico que as selecionadas nos 36 casos) ou de eventos pretéritos com elevadas vazões do Arroio Carahá, ou ainda de um processo de *winnowing*, ou seja, remoção dos mais finos pelas correntes, onde permanecem os grossos (*lag deposits*).

Apesar de o valor médio do D_{50} das amostras da barra ser característico de areia muito grossa, observa-se também a presença de areia grossa e areia média nas três amostras, conforme mostrado no Capítulo 4, Seção 4.3.1. De acordo com os resultados do modelo morfológico, utilizando D_{50} de 0,564 mm (valor médio das amostras da enseada) verificou-se que existe transporte de sedimentos, embora em pequena escala de grandeza. Portanto, o fechamento da foz pode ocorrer com as condições oceanográficas normais da enseada, características de baixa energia. Assim, as frações de areia grossa e areia média encontradas nas amostras sedimentares da barra, podem ser carregadas pelas correntes litorâneas e depositadas nela.

Desta maneira, as condições de baixa energia das ondas com suas correspondentes correntes e frequências de ocorrências são responsáveis pelas pequenas taxas médias de transporte de sedimentos ao longo dos perfis analisados, às quais são de 9 m³/ano/m, 7,3 m³/ano/m e 6,7 m³/ano/m, respectivamente, nos perfis norte, da foz e sul, ambos com sentido de NE para SW.

Embora estas taxas tenham sido obtidas através da simulação de 1 ano, percebe-se que a maior taxa de transporte no perfil norte (9 m³/ano/m) juntamente com a erosão localizada, observada na Figura 4.111 (Capítulo 4, Seção 4.4.4) corroboram com os resultados das análises da evolução da linha costa através de imagens aéreas (Capítulo 4, Seção 4.2), que indicaram uma alta taxa de erosão neste local, atingindo cerca de 1,4 m/ano. Da mesma maneira, a deposição de sedimentos observada na Figura 4.111, associada com as menores taxas de transporte sedimentar (6,7 m³/ano/m), confirmam os resultados das análises de imagens aéreas, onde foi determinada uma taxa média de acreção de 0,18 m/ano.

A ocorrência de correntes para SW na margem norte durante todo período simulado, e de correntes bidirecionais (NE e SW) na margem sul evidenciam o fato da taxa média de transporte ser maior no perfil norte do que nos demais perfis. Portanto, torna-se mais evidente que sedimentos são erodidos da margem norte e, então, depositados na foz do arroio e também na margem sul. Embora ocorram correntes para NE, mas com menor frequência, não há energia suficiente para remobilizar os sedimentos na foz de forma a abrir a barra. As correntes para NE também resultam em transporte sedimentar no mesmo sentido, contribuindo com a formação da barra arenosa na foz do Arroio Carahá.

Embora ainda não existam outros estudos de transporte sedimentar no local específico de estudo, os resultados aqui apresentados podem ser comparados com os resultados da pesquisa de Toldo et al. (2003). Para estes autores, o transporte longitudinal ao longo da margem leste da Lagoa dos Patos indica que sedimentos são erodidos e transportados em direção ao interior do corpo lagunar, enquanto que ao longo da margem oeste da lagoa os sedimentos geralmente são movidos em direção à linha de costa. Os referidos autores constataram que a deriva litorânea é predominantemente para norte, na margem leste da lagoa, e para sul, na margem oeste. Especificamente nas regiões mais próximas de São Lourenço do Sul (Figura 2.3) o transporte longitudinal é dominante para sul na estação 11 e bidirecional (N e S) na estação 13.

Ressalta-se que devido à vazão do Arroio Carahá ser pouco significativa e à formação da barra arenosa na sua foz, o processo que viabiliza a navegação de embarcações locais no canal está associado apenas à variação do nível d'água na Lagoa dos Patos. Em períodos de muita precipitação o nível d'água se eleva, de forma a sobrepôr à crista da barra, tornando o canal acessível para a navegação de embarcações de pequeno porte (até 1 metro de calado). Caso contrário, a crista da barra está sempre aparente sobre o nível da água, impossibilitando a passagem através do canal.

Como a foz do Arroio Carahá encontra-se na zona de convergência entre correntes (NE e SW), o depósito sedimentar torna-se mais acentuado nesta região, resultando na formação da barra arenosa. Após a formação da barra, não há corrente com energia suficiente que possa retirar os sedimentos ali depositados. Desta forma, a alternativa em construir estruturas de engenharia costeira para estabilizar a foz do arroio é viável.

Obras de engenharia, tais como os molhes, são frequentemente adotadas em embocaduras marítimas (estuarinas, lagunares ou deltaicas) com complementação de dragagens (ALFREDINI e ARASAKI, 2014). Quando implementados em canais de navegação, os molhes visam

direcionar o escoamento (guias-correntes) prevenindo a intrusão de sedimentos provenientes do transporte longitudinal. Quando localizados em praias, ajudam a estabilizar a linha de costa, mas podem causar erosão à sotamar em regiões de significativo transporte sedimentar. Além de estabilizarem embocaduras e canais de navegação, quando se estendem ao largo da zona de rebentação, os molhes auxiliam nas manobras dos navios, pois fornecem abrigo contra as ondas de tempestade. (U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2001).

Dean e Dalrymple (2002) salienta que a dragagem é uma prática comum para a manutenção de canais de navegação, visando manter uma profundidade adequada aos calados dos navios que por estes passam. A presença de *inlets* gera impacto em praias adjacentes, devido à redução do fornecimento de sedimentos para estas praias (seja pelo bloqueio através de estruturas costeiras ou pela dragagem), ou devido à redistribuição de sedimentos presentes. Desta forma, deve haver um estudo de processos costeiros existentes bem como um monitoramento adequado, a fim de evitar impactos negativos em praias adjacentes.

Nesta Tese, a simulação dos processos costeiros com a presença de dois molhes perpendiculares à linha de costa, com aproximadamente de 400 metros de comprimento, atingindo a profundidade de 1,6 metros, gerou resultados muito interessantes ao final de 5 anos, como por exemplo, a deposição de sedimentos nas adjacências das estruturas. As taxas médias anuais de transporte de sedimentos foram reduzidas para 0,45 m³/ano/m e 1,4 m³/ano/m, respectivamente, nos perfis norte e sul. O bloqueio das correntes litorâneas, assim como do transporte sedimentar, fica evidente com a implementação das estruturas. A escolha da orientação perpendicular dos molhes é a mais segura para uma linha de costa que apresenta componentes bidirecionais da deriva litorânea.

Considerando que a profundidade média de fechamento determinada para os perfis analisados é de 1,06 metros, e que os molhes se estendem até a profundidade de 1,6 metros, todo transporte litorâneo será bloqueado pelas estruturas. Devido à presença de correntes bidirecionais, ocorre o acúmulo de sedimentos nas adjacências dos molhes, tanto ao norte, quanto ao sul. Salienta-se que a profundidade média de fechamento encontrada (1,06 metros) é muito próxima do valor encontrado nas praias do Laranjal por Fischer e Calliari (2006), o qual foi de aproximadamente 1,0 metro. No entanto, segundo Toldo et al. (2003) a profundidade de fechamento na Lagoa dos Patos é de 3 metros, valor divergente do encontrado nesta Tese (1,06 metros). Porém, ressalta-se que esta profundidade foi calculada com base no valor médio do D₅₀ das amostras da enseada de São Lourenço do Sul (0,564 mm - areia grossa), e apenas para os 36 cenários simulados. Portanto, se outros valores de D₅₀ fossem atribuídos ao modelo morfológico,

desde areia muito fina até areia muito grossa, e se fossem construídos mais cenários, provavelmente seriam encontrados outros valores de profundidade de fechamento.

No Brasil há vários exemplos de obras em embocaduras, entre os quais, destacam-se: fixação da foz do Rio Guaraú em Peruíbe (SP) com um dique, fixação da foz do Rio Mongaguá (SP) através de um par de enrocamento, fixação da foz do Rio Grande em Ubatuba (SP) através de um guia-corrente, molhes-guias-correntes do Porto de Itajaí (SC) e molhes-guias-correntes na Barra do Rio Grande (RS) (ALFREDINI e ARASAKI, 2014).

Os estudos realizados por Lélis e Calliari (2006) e por Cunha e Calliari (2009) indicaram que após a fixação do *inlet* da Lagoa dos Patos houve um aumento da linha de costa, tanto ao sul quanto norte das estruturas, porém mais acentuado ao sul. Portanto, os autores concluíram que, neste setor da costa do Rio Grande do Sul, o transporte predominante é de SW para NE. O mesmo resultado foi encontrado por Fontoura et al. (2012) no estudo da hidrodinâmica costeira e do transporte litorâneo nas praias do Cassino e do Mar Grosso, onde foi constatado que o transporte de sedimentos é bidirecional, mas com resultante para NE.

Os resultados das taxas médias de transporte sedimentar apresentados no Capítulo 4 (Seção 4.4.4) sem a implementação da obra, indicaram que o transporte sedimentar ocorre no sentido de NE para SW nos três perfis analisados (PN, PF e PS). Com os molhes, o transporte de sedimentos também é de NE para SW nos perfis norte e sul. O perfil sul está mais distante da foz, portanto, ainda é influenciado pelas correntes que vão para SW provenientes da margem norte e que contornam as estruturas atingindo a margem sul.

A deposição de sedimentos mais acentuada nas adjacências ao sul da estrutura, conforme se observa na Figura 4.119-b (Capítulo 4, Seção 4.4.4), pode estar associada ao fato de que na margem sul já havia uma barra arenosa formada (Figura 4.119-a, em laranja) e também às ocorrências de correntes para NE com transportes de sedimentos no mesmo sentido.

Diante do exposto neste capítulo, pode-se inferir que a alternativa apresentada para fixar a foz do Arroio Carahá consiste em uma possível solução para o problema, pois devido às correntes bidirecionais, durante o período simulado (5 anos) houve deposição de sedimentos em ambas as margens adjacentes às estruturas, aumentando assim a largura das praias nestas regiões.

Destaca-se que outros estudos ainda poderão ser realizados, com intuito de avaliar respostas morfológicas para simulações com períodos maiores que 5 anos, adicionando outros valores de D_{50} ao modelo, e até mesmo com a aplicação de outros tipos de estruturas.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

O estudo da evolução da linha de costa, realizado através das análises das imagens aéreas (1953/1977 e 1977/2010), permitiu concluir que ao longo dos 57 anos ocorreu um acentuado processo erosivo ao norte da desembocadura do Arroio Carahá, atingindo 1,4 m/ano, e um avanço da linha de costa na margem sul, com uma taxa média de 0,18 m/ano.

As pesquisas sobre dados oceanográficos da região que abrange a Lagoa dos Patos, bem como do local específico de estudo (enseada de São Lourenço do Sul), consistiram em etapas fundamentais para a compreensão dos processos costeiros envolvidos no fechamento da foz do Arroio Carahá, assim como para a realização da modelagem da evolução morfológica local.

As séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas, registradas pelo ondógrafo, além de consistirem em medições inéditas para o corpo lagunar fornecendo informações estatísticas, permitiram a realização da calibração do modelo SWAN para a geração e propagação das ondas na Lagoa dos Patos.

A constatação de que a vazão do Arroio Carahá foi praticamente nula durante o período estudado e de que as amostras sedimentares do canal, da enseada e da barra apresentaram características diferenciadas, permitiu inferir que o processo de formação da barra não é decorrente de sedimentos trazidos pelo arroio. Além disso, a simulação dos processos costeiros predominantes na enseada de São Lourenço do Sul apresentou resultados que indicam o fechamento da foz através do transporte litorâneo de sedimentos. Embora parte da barra arenosa já estivesse formada, mas com um pequeno canal para navegação, o transporte litorâneo resultou no fechamento da foz. Ressalta-se que o transporte litorâneo de sedimentos ocorreu quando utilizado D_{50} de 0,564 mm (valor médio das amostras da enseada). As condições de baixa energia do ambiente não permitiram que houvesse transporte sedimentar quando adotado o D_{50} de 1,16 mm (valor médio das amostras da barra).

A caracterização do regime de ondas incidentes no contorno SE da grade numérica local (São Lourenço do Sul) também consistiu em uma etapa essencial para a compreensão dos processos costeiros atuantes. Os 36 casos de ondas selecionados mostraram-se característicos de

ambientes de baixa energia, com valores de altura significativa entre 0,16 e 1,03 metros, e de período de pico entre 2,05 e 4,54 segundos.

As correntes geradas pelo processo de quebra das ondas e pela ação dos ventos, resultantes da modelagem, foram bidirecionais (NE e SW) com intensidades variando entre 0,011 m/s e 0,184 m/s. Na margem ao norte da foz, as correntes geradas apresentaram direção para SW em todos os cenários simulados. No entanto, na margem ao sul da foz, as correntes apresentaram direção para SW quando as ondas incidiram com ângulos variando entre 30° e 150°, e apresentam direção oposta (NE) com a incidência de ondas entre os ângulos de 150° e 210°. A formação da zona de convergência na foz do Arroio Carahá ocorreu com o encontro das correntes da margem sul para NE com as correntes da margem norte para SW.

Portanto, pode-se inferir que as correntes litorâneas para SW, predominantes na margem norte, são responsáveis pela elevada taxa de erosão ao norte da foz e pela deposição de sedimentos na margem sul, conforme constatado tanto nas análises de imagens aéreas, quanto na modelagem morfológica. Deste modo, a pequena taxa de avanço observada na margem ao sul da foz, através das análises de imagens aéreas, está associada à ocorrência de correntes bidirecionais (NE e SW), resultando em transportes de sedimentos bidirecionais também.

Desta forma, conclui-se que não há transporte sedimentar de SW para NE na margem norte, e que devido à formação da zona de convergência de correntes na foz do Arroio Carahá, os sedimentos depositados na barra não podem ser removidos para a margem norte. Assim, pode-se inferir que a barra arenosa é mais saliente na foz devido ao fato do Arroio Carahá desembocar no ponto de convergência das correntes bidirecionais. As taxas médias de transporte sedimentar obtidas ao longo dos perfis analisados foram de 9 m³/ano/m, 7,3 m³/ano/m e 6,7 m³/ano/m, respectivamente, nos perfis norte, da foz e sul, com sentido de NE para SW. Embora estas taxas apresentem pequenos valores, foram suficientes para realizar o processo de fechamento da foz com a formação da barra. E, após fechar a foz, as condições de baixa energia do ambiente não permitiram remobilizar os sedimentos depositados.

Portanto, uma das principais conclusões desta Tese consiste no fato de que após ocorrer o processo de fechamento da desembocadura do Arroio Carahá e se não houver intervenção antrópica, esta permanece constantemente fechada, pois não há energia suficiente das correntes litorâneas nem do arroio para retirar os sedimentos depositados na forma de barra. Por conseguinte, as embarcações locais de pequeno porte têm acesso à navegação através do canal apenas quando o nível d'água na Lagoa dos Patos está alto, ou seja, em condições de cheia.

A partir da compreensão dos processos costeiros que contribuem com a formação da barra arenosa, de forma a fechar a foz do Arroio Carahá, constatou-se que a proposta de sua fixação através de obras de engenharia oceânica consiste em uma possível alternativa para resolver o problema em questão. Considerando que a foz do Arroio Carahá está sujeita às correntes para SW na maior parte do tempo, mas está situada na zona de convergência das correntes bidirecionais, optou-se pela implementação de dois molhes perpendiculares à linha de costa, com o aprofundamento do canal de 1,6 metros.

Desta forma, após realizar a simulação do modelo morfológico por um período de 5 anos, com a implementação de dois molhes perpendiculares à linha de costa, verificou-se que devido ao bloqueio das correntes pelas estruturas, as taxas médias de transporte sedimentar diminuíram consideravelmente, atingindo valores de $0,45 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ e $1,4 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$, respectivamente, nos perfis norte e sul. Devido à presença de correntes bidirecionais houve deposição de sedimentos em ambas as margens adjacentes às estruturas durante o período simulado (5 anos), de forma a aumentar a largura das praias nestas regiões. Portanto, a alternativa apresentada para fixar a foz do Arroio Carahá apresentou-se viável através da modelagem, visto que o comprimento dos molhes (400 metros) atinge à profundidade de 1,6 metros, na qual não há remobilização de sedimentos, pois a profundidade de fechamento na região está em torno de 1 metro.

6.2 Considerações Finais

Embora o modelo morfológico tenha gerado resultados semelhantes aos encontrados com as análises de imagens aéreas, seria interessante realizar medições em campo de correntes litorâneas e de transporte de sedimentos com específicos equipamentos, a fim de comparar com o modelo e torná-lo mais robusto.

A busca por equipamentos mais sensíveis que o molinete utilizado nesta Tese poderá auxiliar a obter registros de vazões do Arroio Carahá, contribuindo assim com outras pesquisas que ainda poderão ser realizadas.

Outras opções de obras de engenharia oceânica poderão ser atribuídas ao modelo morfológico, de modo a comparar os resultados e, assim, verificar qual será a melhor solução. Os cenários simulados poderão compreender períodos maiores que 5 anos (10, 20 ou 50 anos).

Ressalta-se a importância de realizar o levantamento do custo das obras e também uma avaliação entre custo e benefício, considerando futuras manutenções, como por exemplo, a dragagem do canal.

ANEXO A

Aerofotografia de São Lourenço do Sul do ano de 1953 – Coordenadas UTM



Aerofotografia de São Lourenço do Sul do ano de 1977 – Coordenadas UTM



Imagem de Satélite de São Lourenço do Sul do ano de 2010 – Coordenadas UTM



ANEXO B

Coordenadas geográficas (UTM) dos pontos de controle

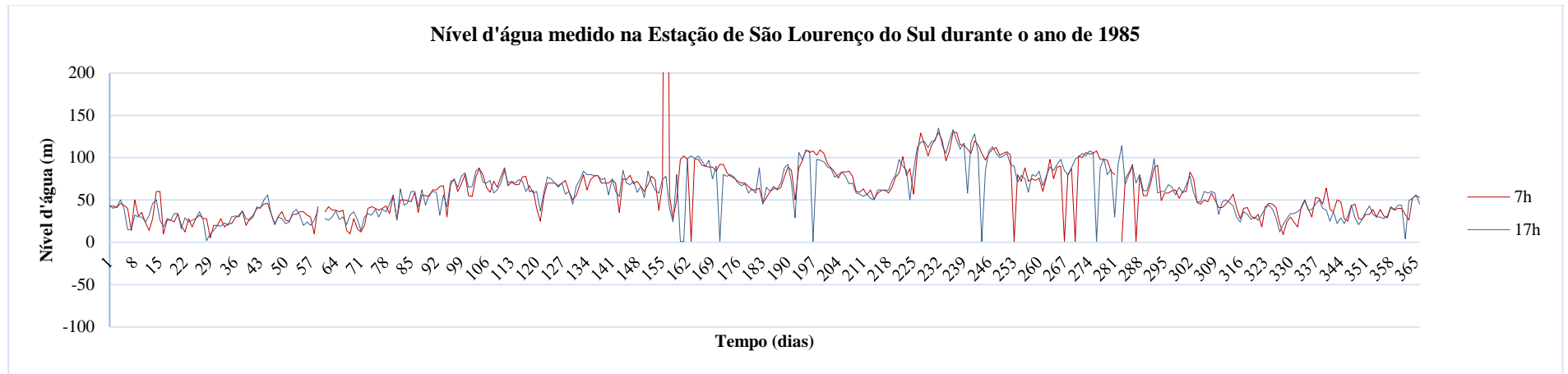
Ponto	Longitude (m)	Latitude (m)	Ponto	Longitude (m)	Latitude (m)
1	406631,258	6529752,456	26	408220,174	6530515,831
2	406675,205	6529790,486	27	408196,402	6530662,812
3	406720,674	6529794,780	28	408161,676	6530697,530
4	406992,562	6529651,817	29	408215,991	6530689,911
5	407186,375	6529461,992	30	408323,412	6530117,785
6	407072,128	6529266,906	31	407960,207	6529963,497
7	406879,817	6529017,275	32	407498,298	6529747,678
8	406755,581	6529262,983	33	408186,031	6529216,842
9	406568,813	6529297,880	34	408387,785	6529052,756
10	406187,883	6529901,048	35	408667,438	6528150,498
11	406177,076	6529398,168	36	408522,513	6528197,138
12	405901,605	6529408,200	37	408400,460	6528161,475
13	407368,090	6529671,348	38	408387,381	6528488,212
14	407534,227	6529350,681	39	408110,972	6528483,212
15	407702,217	6528992,787	40	407284,473	6528999,508
16	407743,474	6528871,797	41	407466,397	6528352,135
17	407859,507	6528657,528	42	408009,088	6528344,614
18	407777,314	6529181,768	43	408004,115	6528343,789
19	407552,100	6529633,430	44	407995,858	6528347,190
20	407880,028	6528936,041	45	406116,875	6528947,708
21	408629,545	6530753,193	46	405944,906	6529025,349
22	408526,227	6530782,507	47	406311,076	6530128,478
23	408431,875	6530460,701	48	407099,910	6529974,080
24	408295,350	6530394,083	49	407103,389	6529973,066
25	408225,033	6530489,219	50	407698,965	6530255,647

Coordenadas geográficas (UTM) dos pontos de coleta de sedimentos

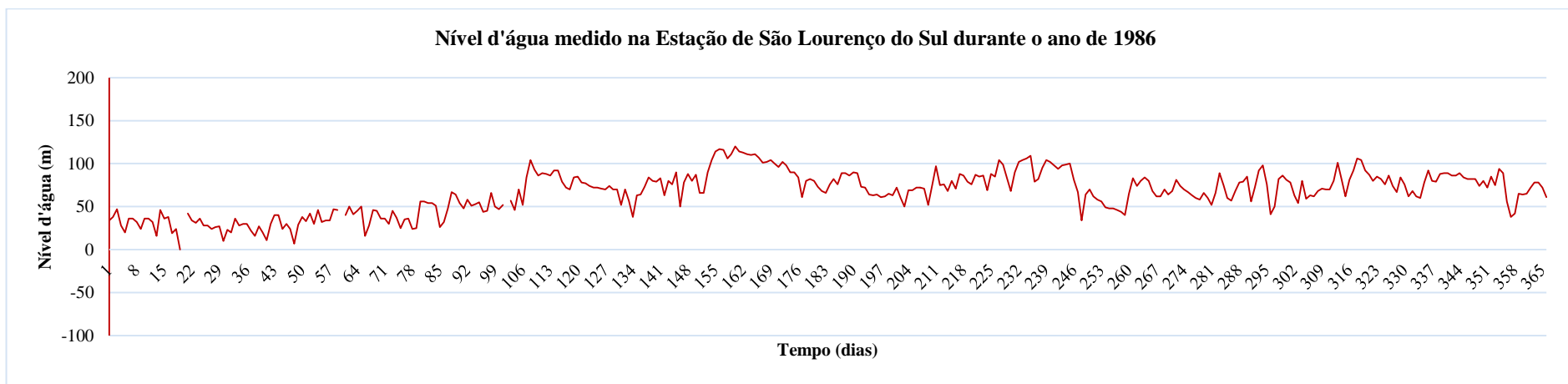
Ponto	Longitude (m)	Latitude (m)
Barra	408696	6530789
A1	408849	6530163
A2	408977	6530146
A3	409069	6530129
A4	409147	6530130
A5	409225	6530091
B1	408757	6530754
B2	408905	6530721
B3	408999	6530722
B4	409151	6530658
B5	409279	6530621
C0	408998	6531415
C1	409223	6531336
C2	409357	6531323
C3	409458	6531309
C4	409723	6531310
C5	409817	6531310
D1	409765	6532284
D2	409838	6532230
D3	409893	6532203
D4	409990	6532088
D5	410062	6532008
Canal 1	408531	6530843
Canal 2	408453	6530870
Canal 3	408354	6530684
Canal 4	408213	6530503

ANEXO C

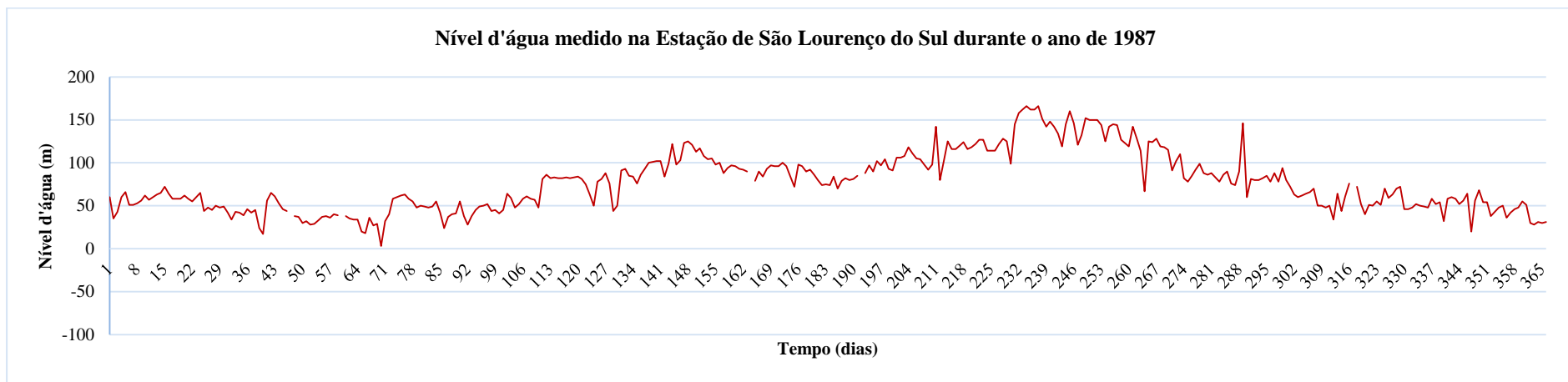
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1985.



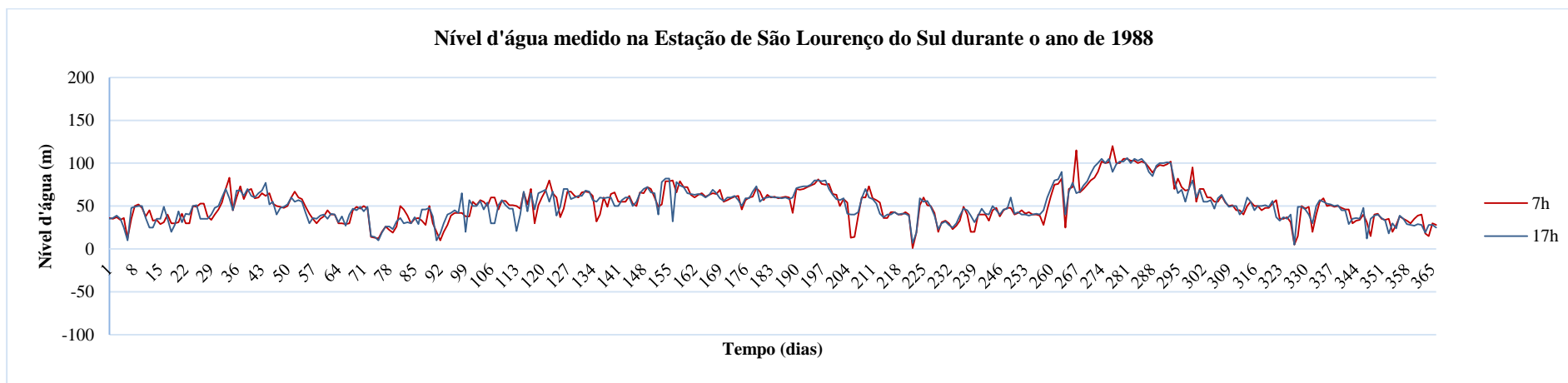
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1986.



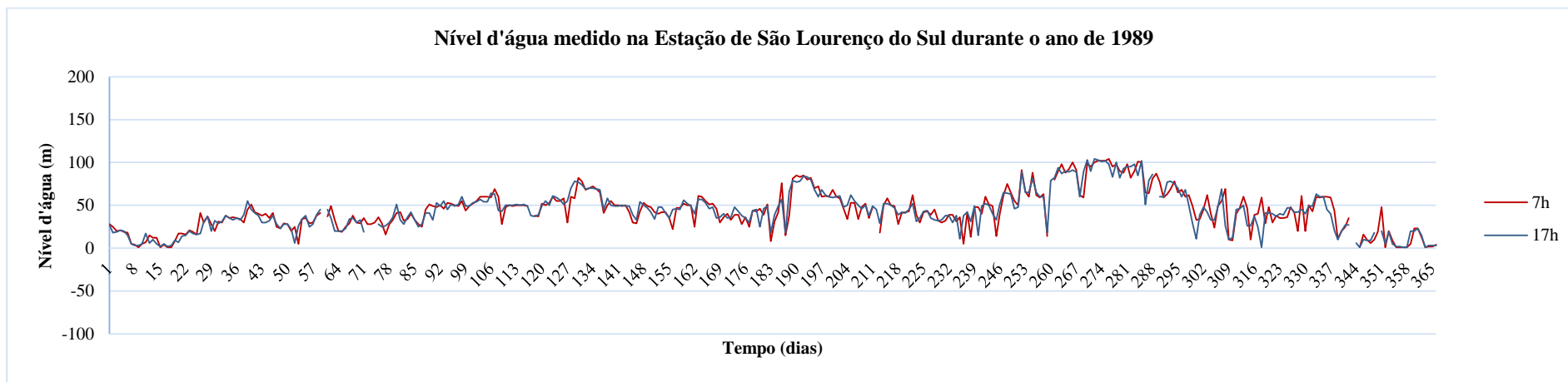
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1987.



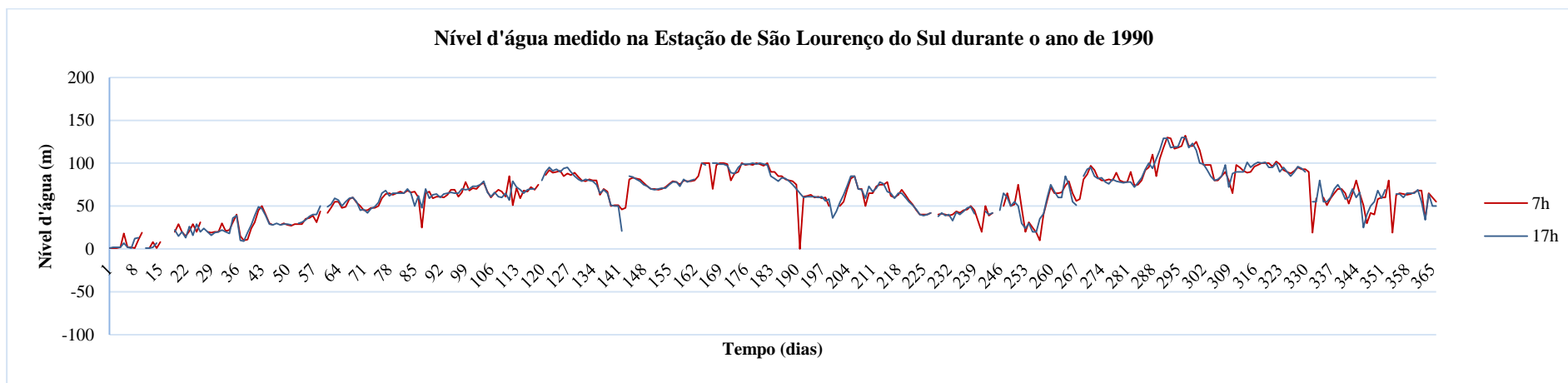
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1988.



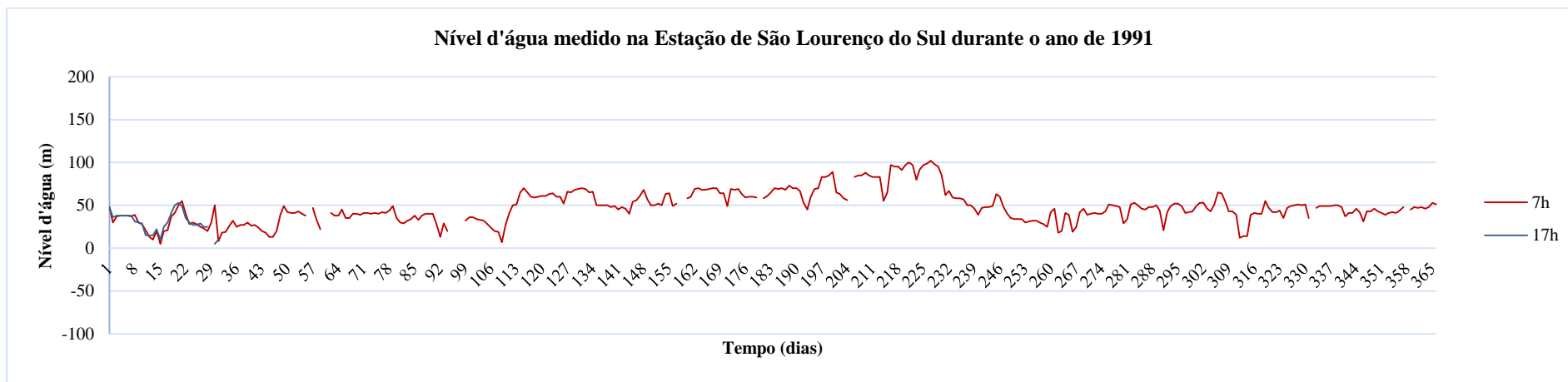
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1989.



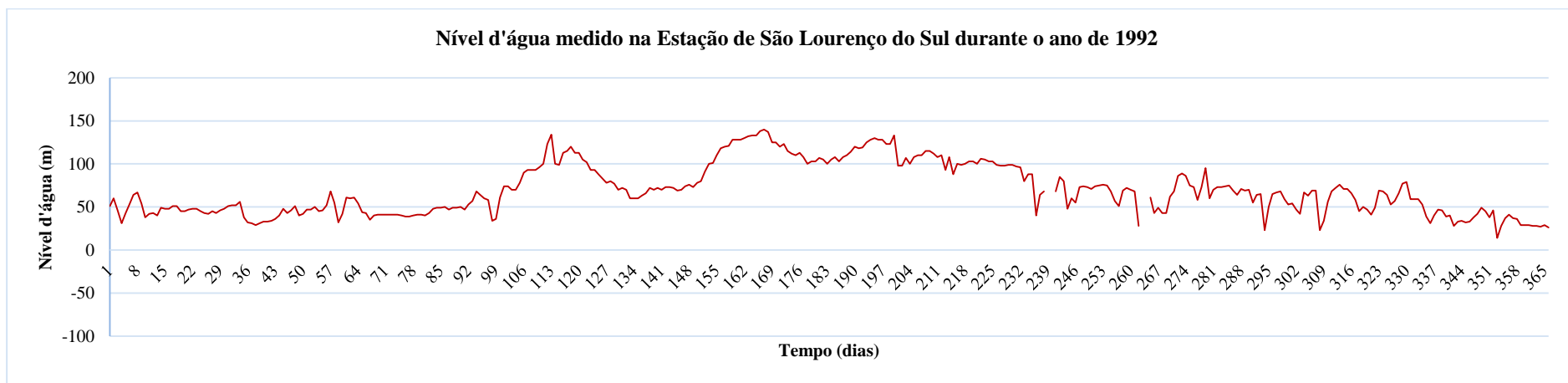
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1990.



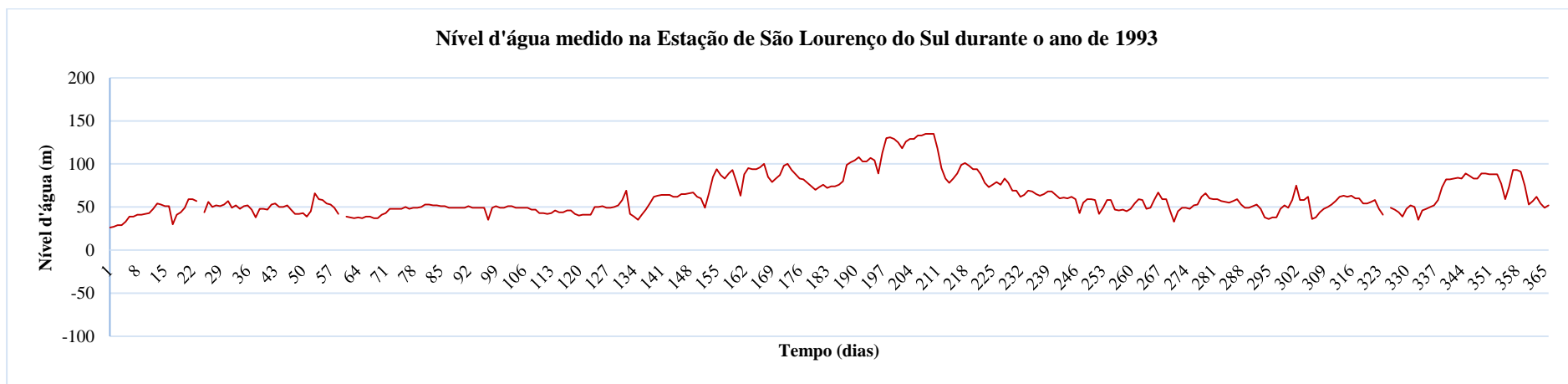
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1991.



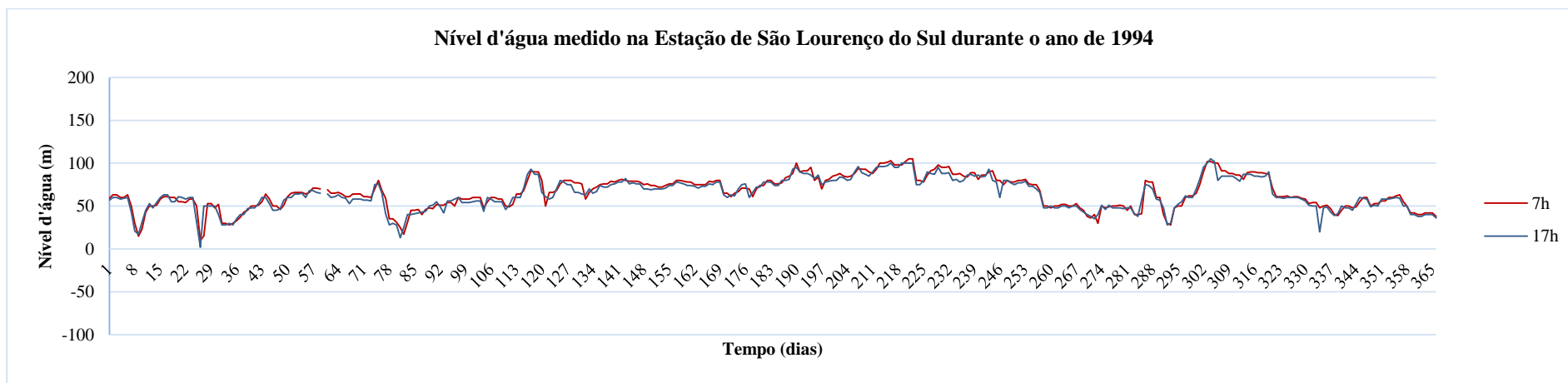
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1992.



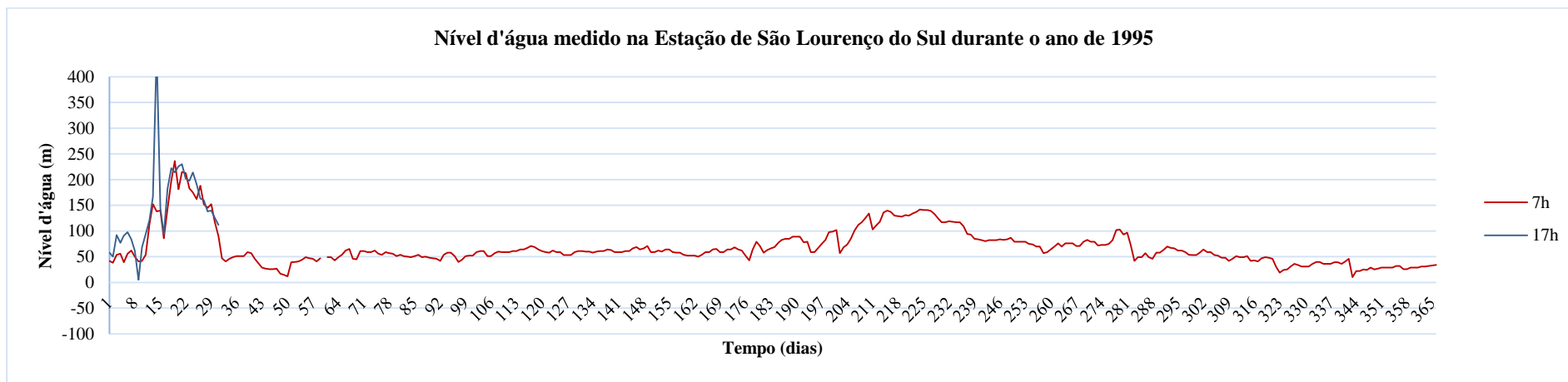
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1993.



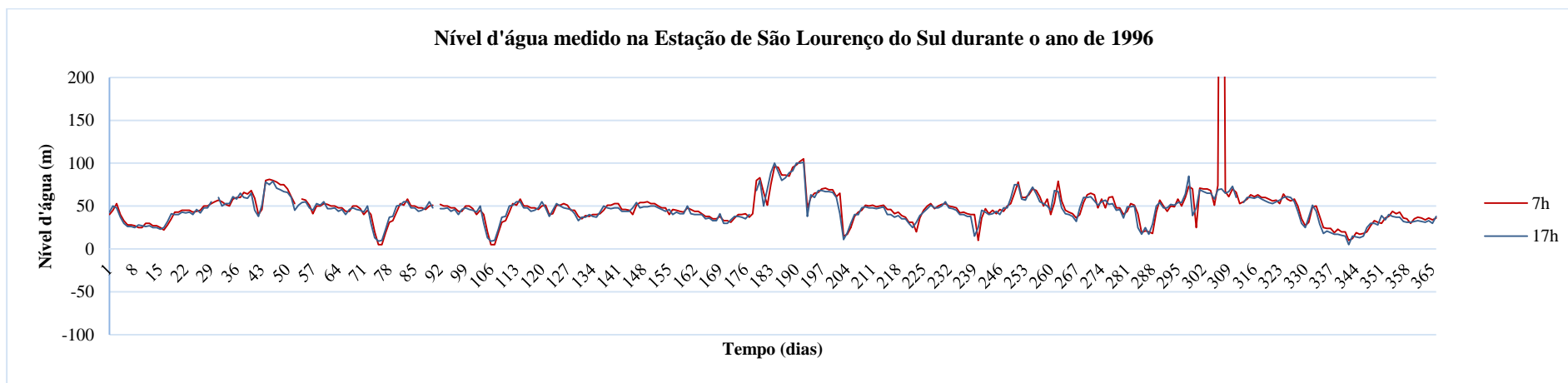
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1994.



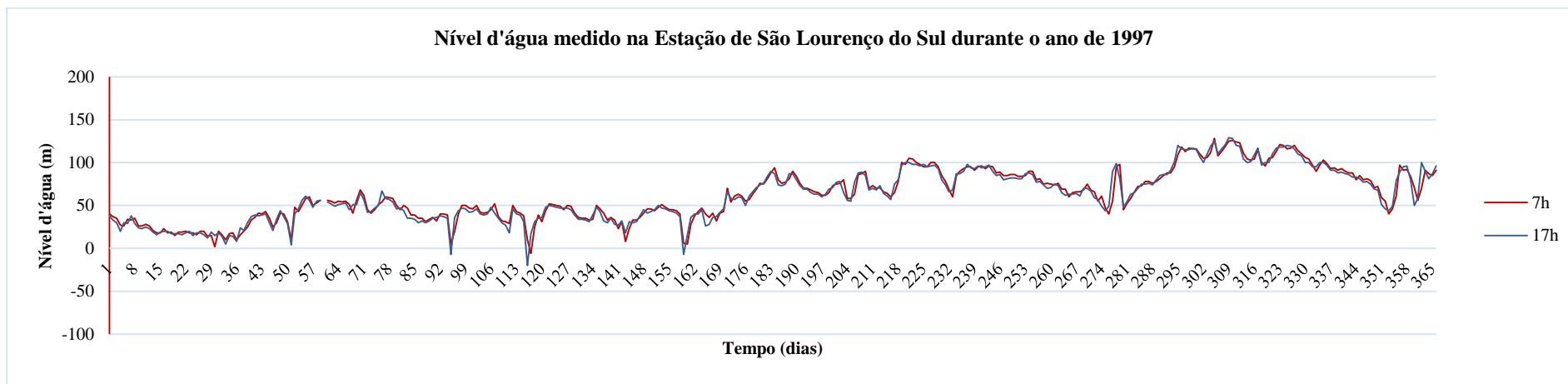
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1995.



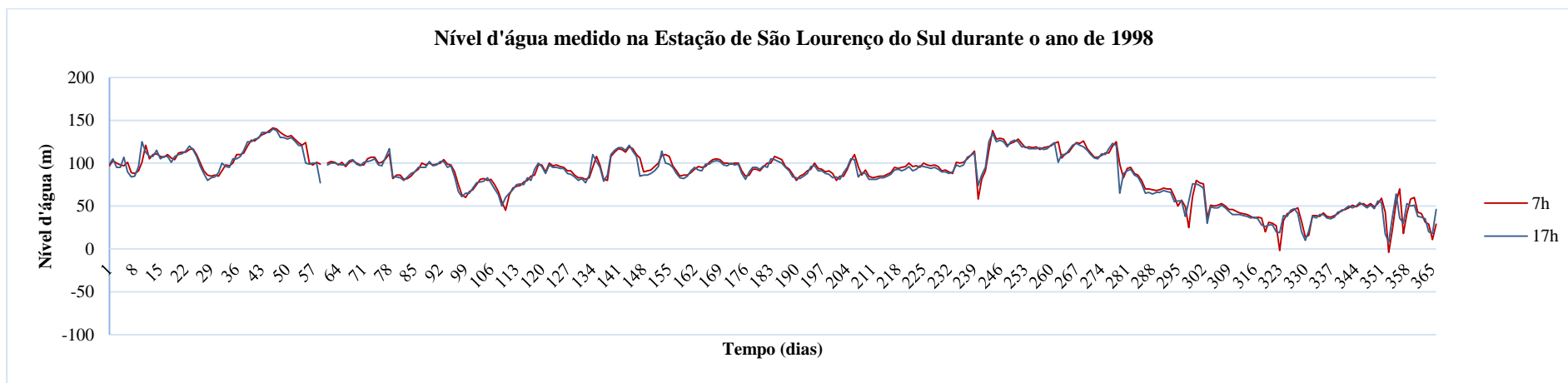
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1996.



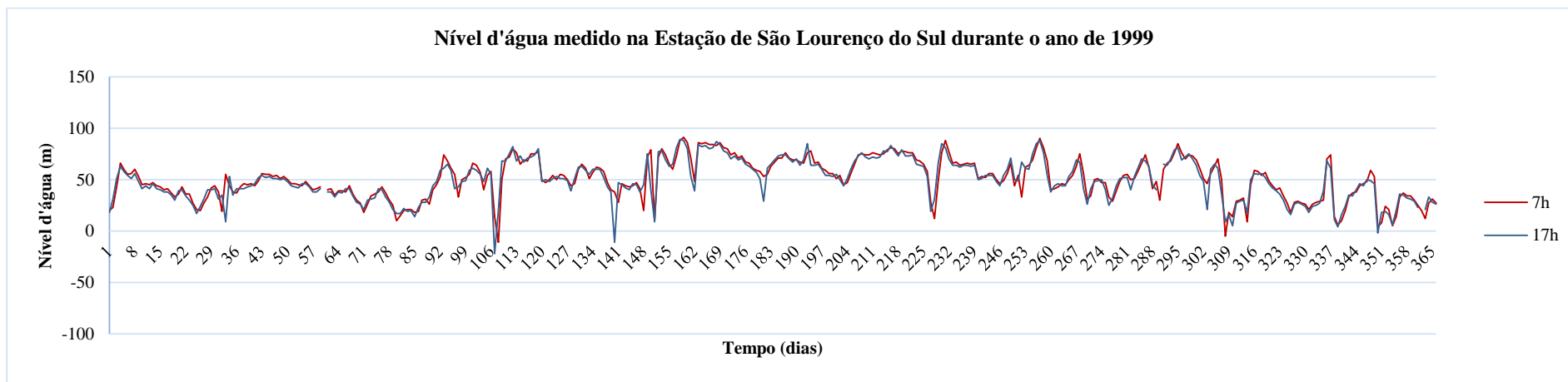
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1997.



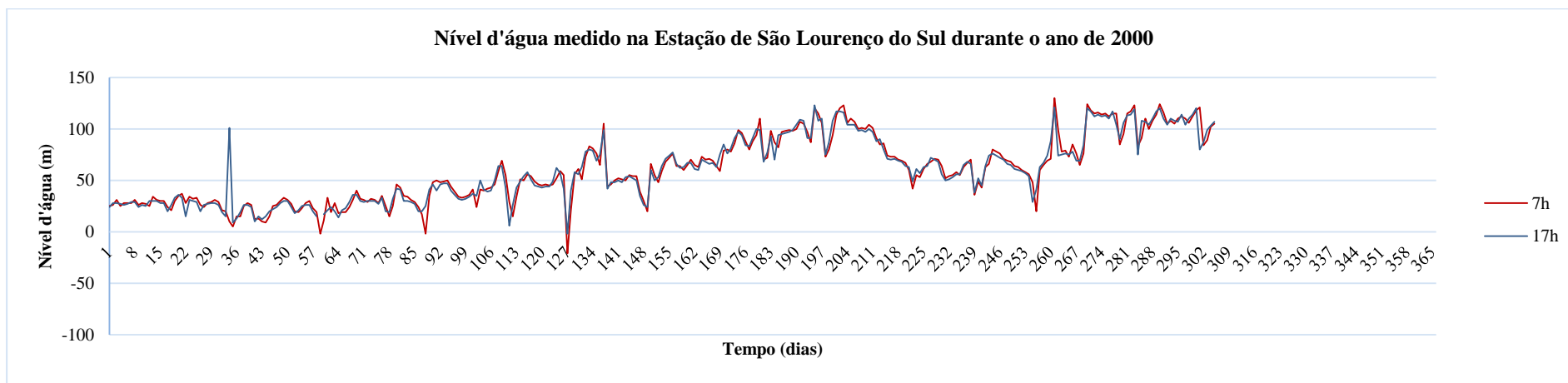
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1998.



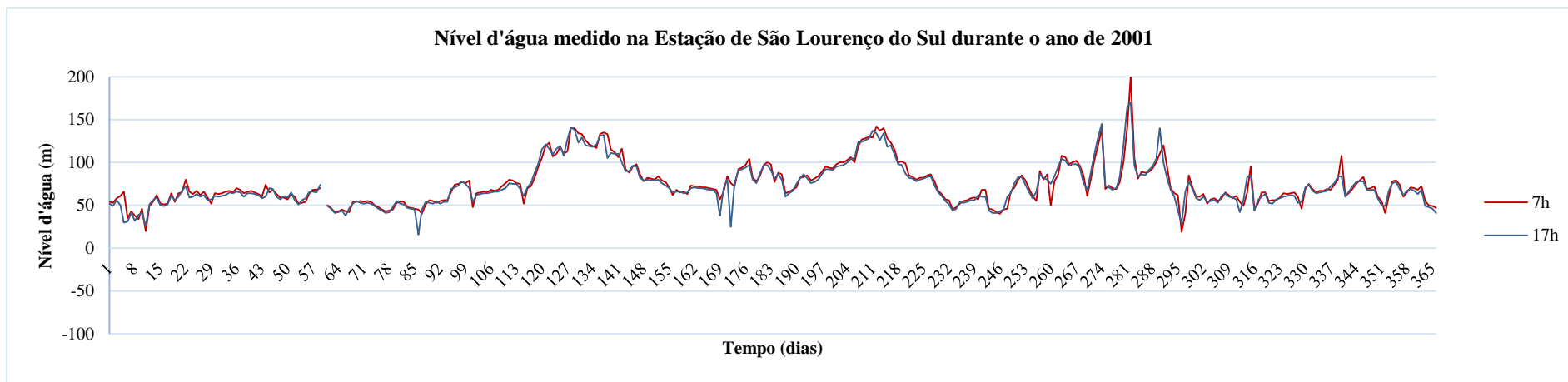
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 1999.



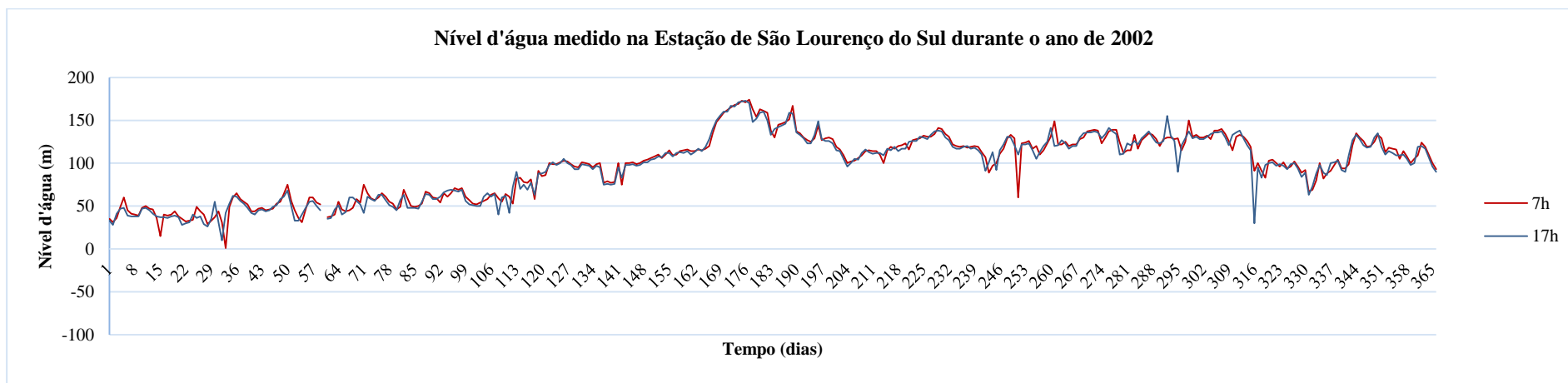
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2000.



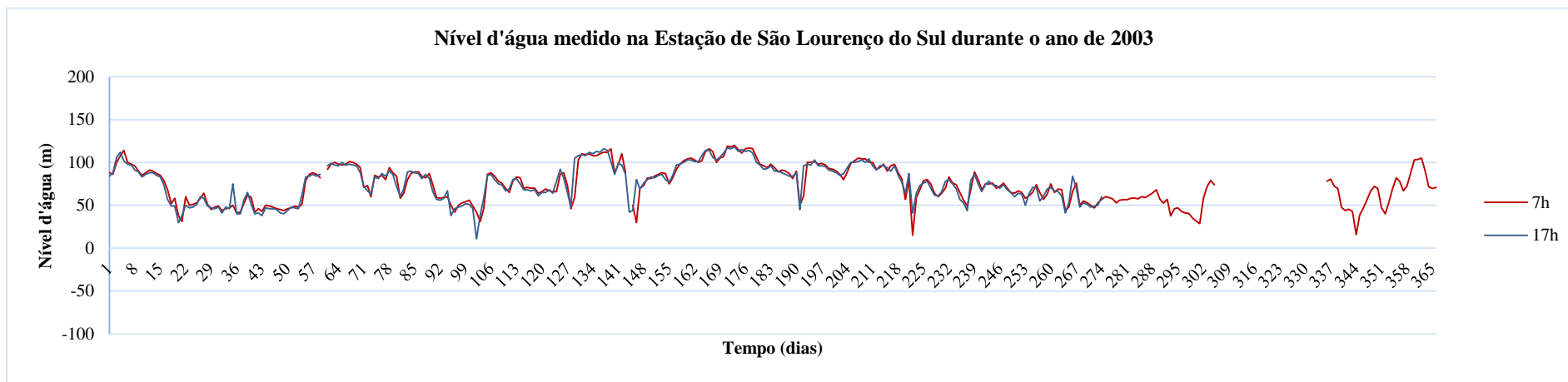
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2001.



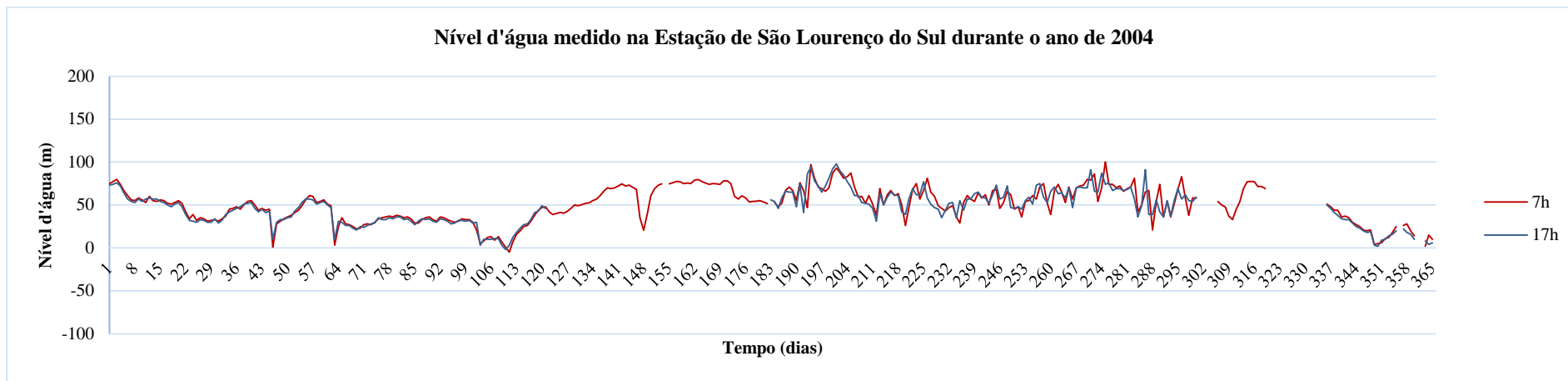
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2002.



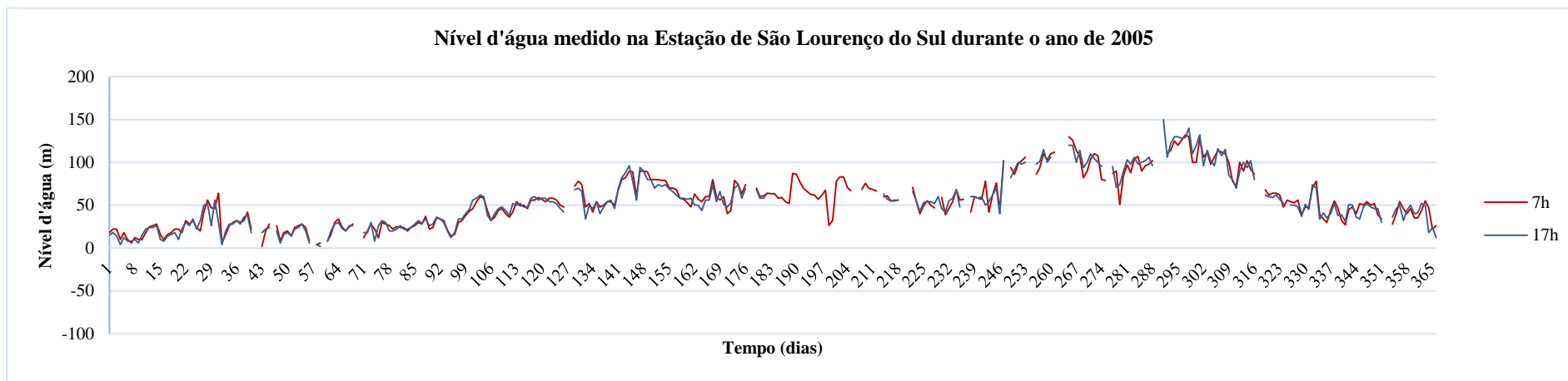
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2003.



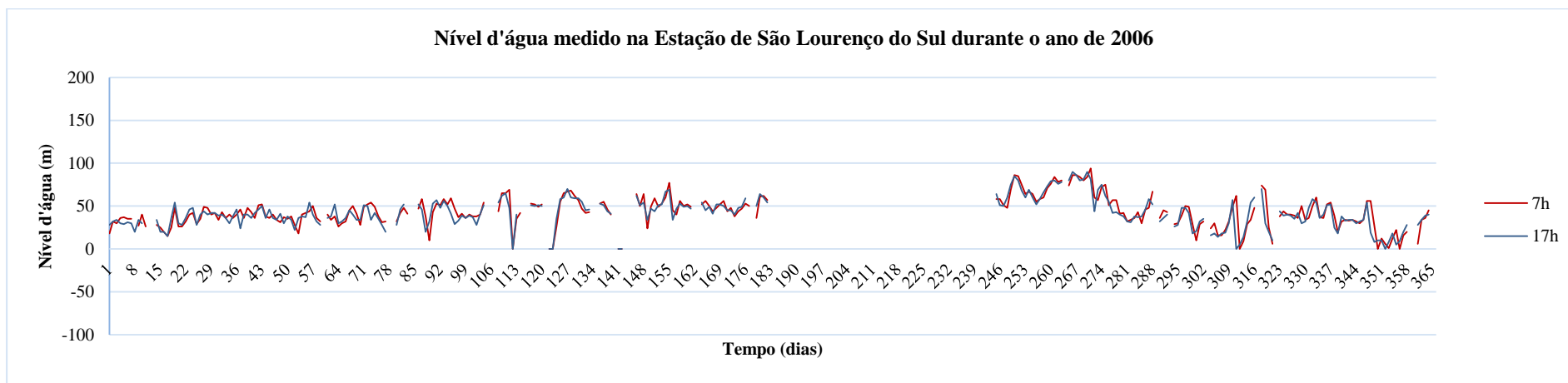
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2004.



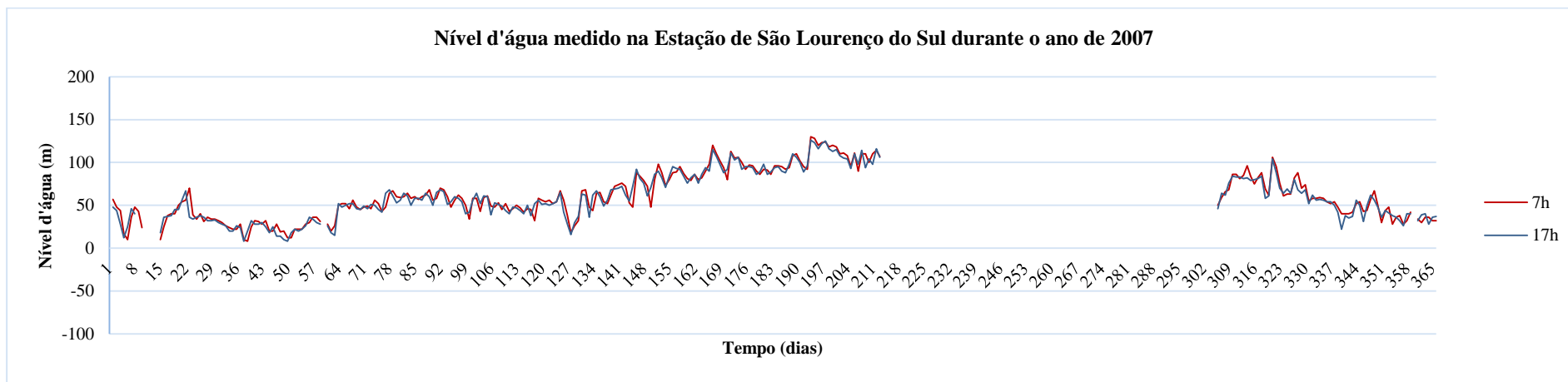
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2005.



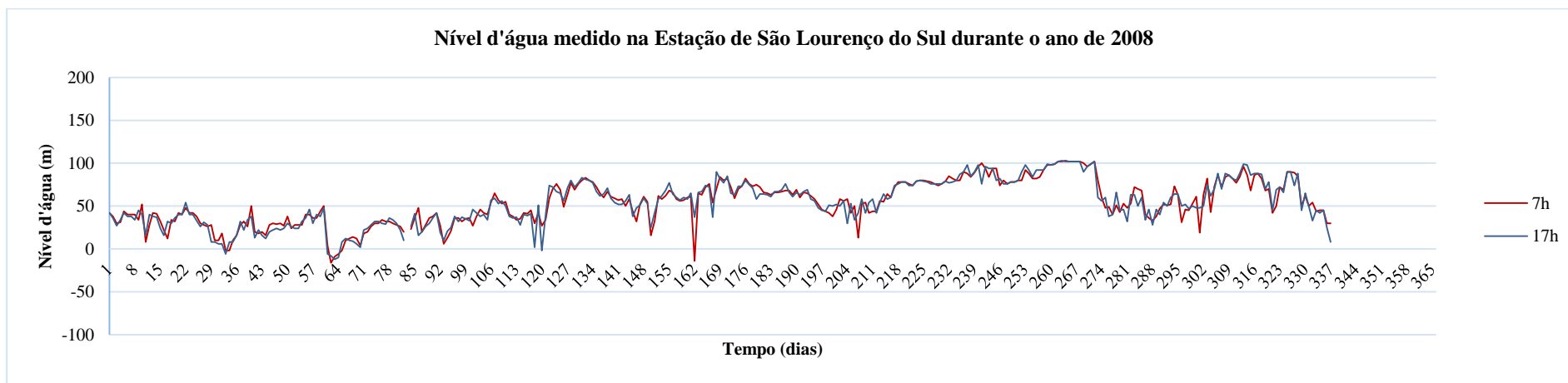
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2006.



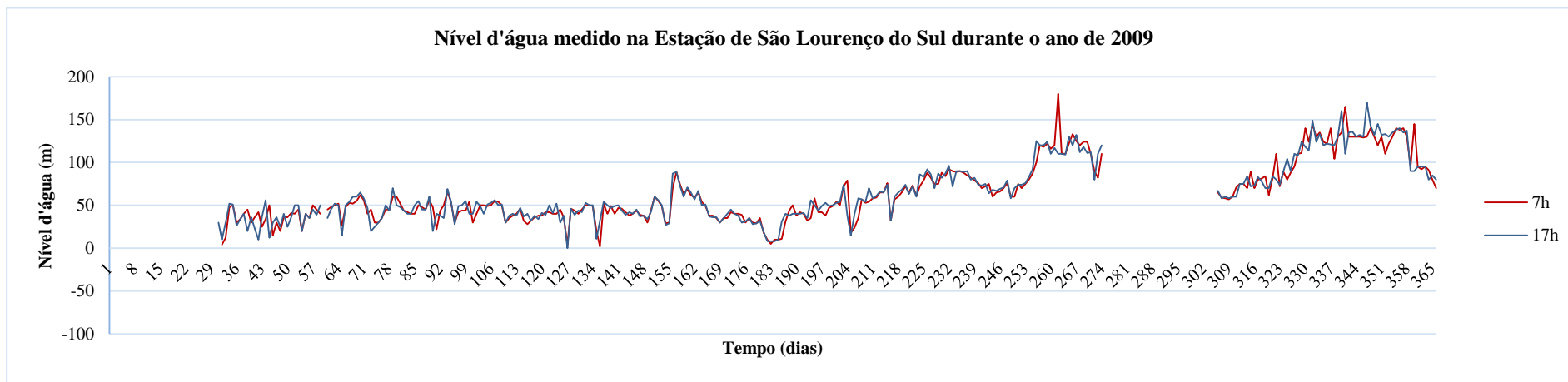
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2007.



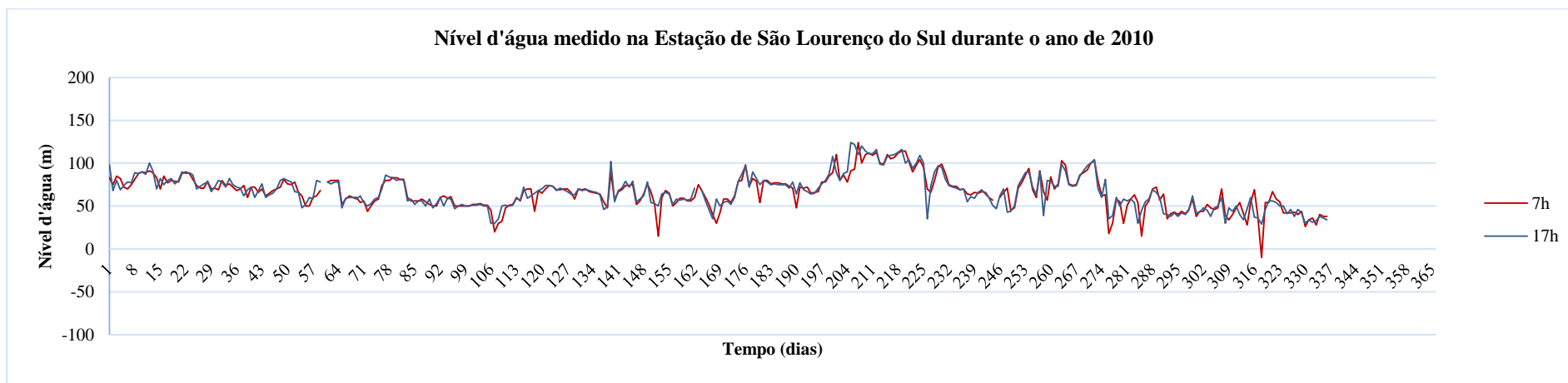
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2008.



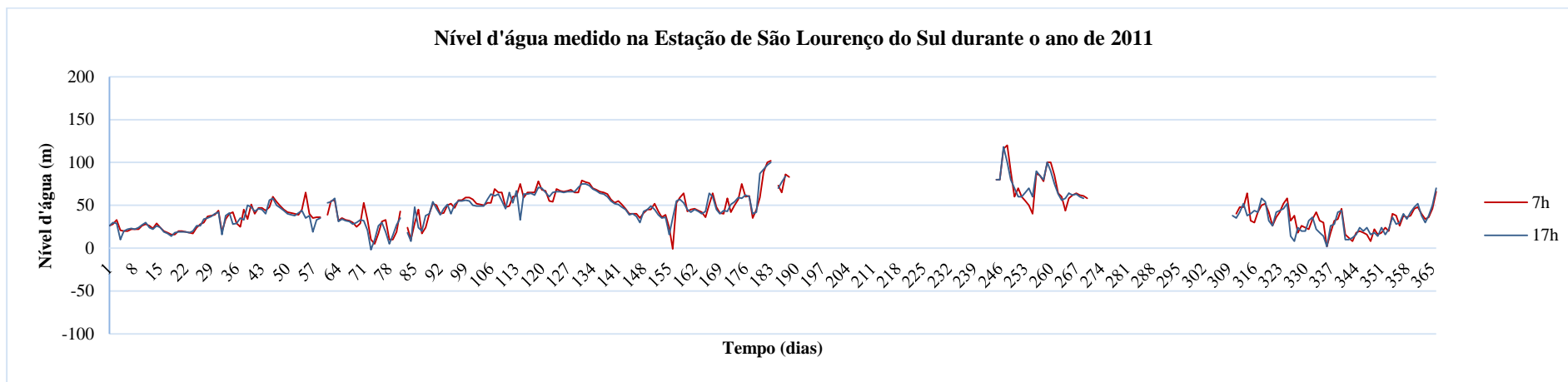
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2009.



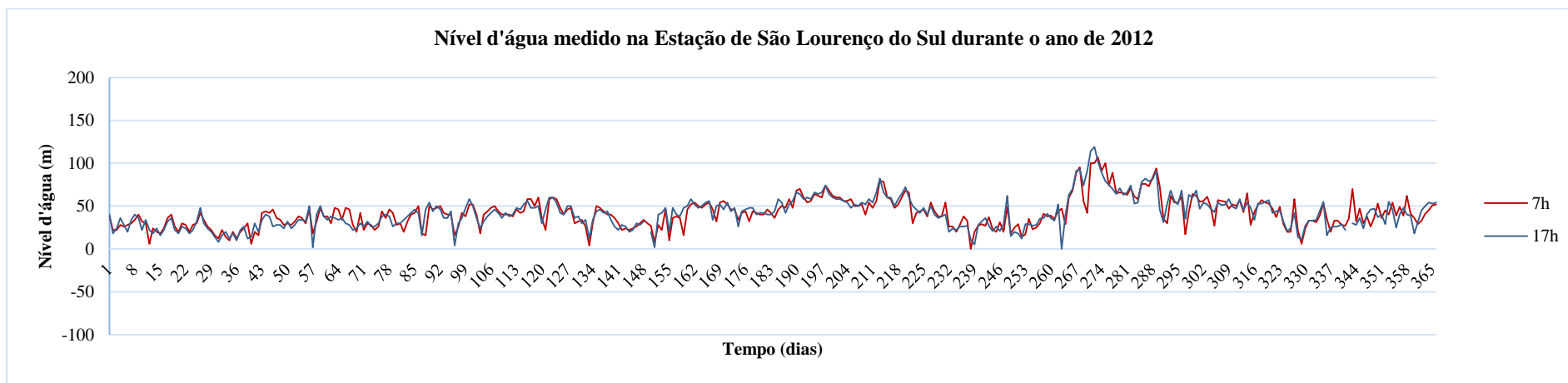
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2010.



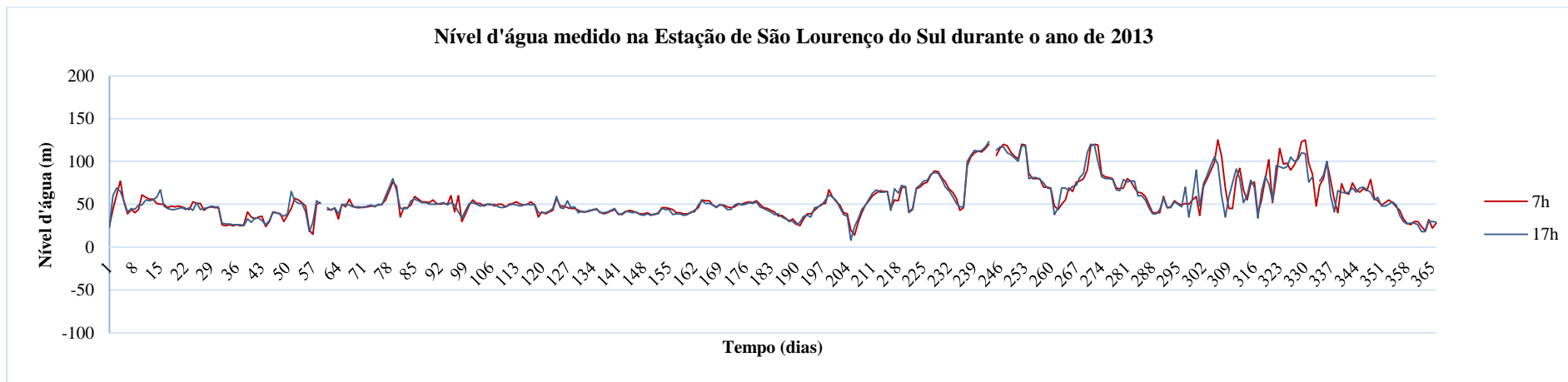
Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2011.



Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2012.

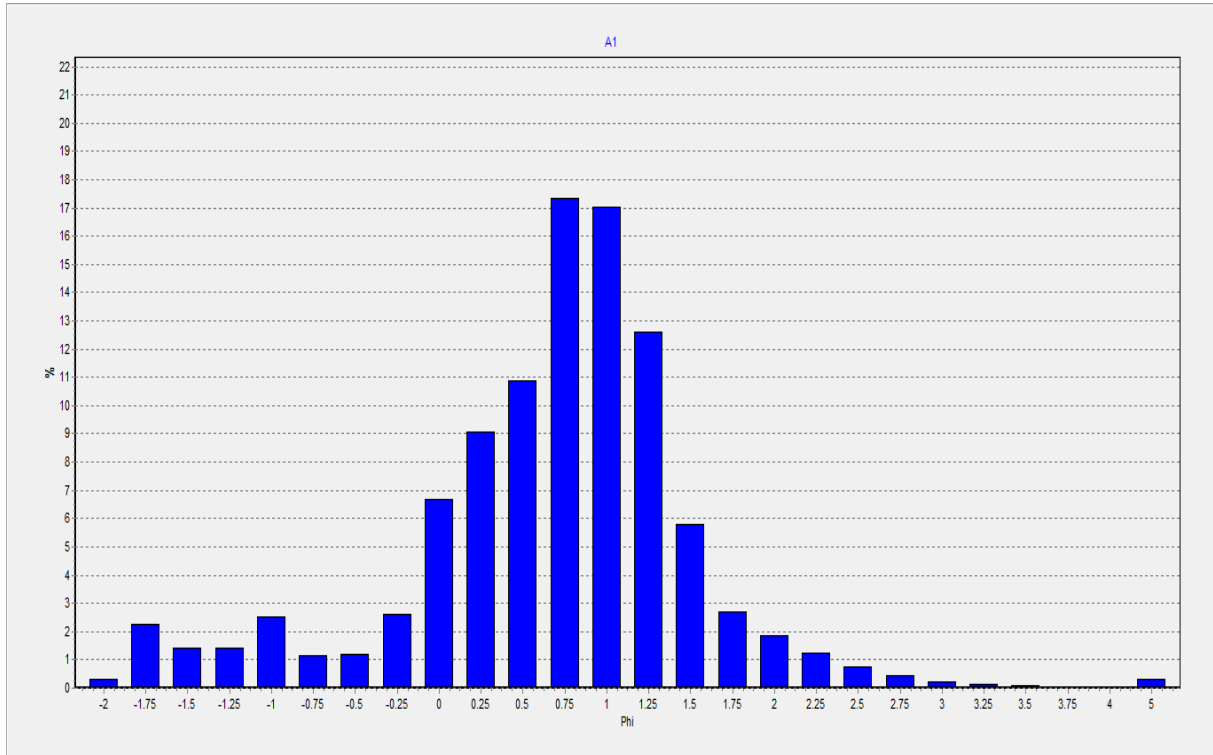


Série temporal de níveis d'água medidos no linígrafo, em São Lourenço do Sul, durante o ano de 2013.

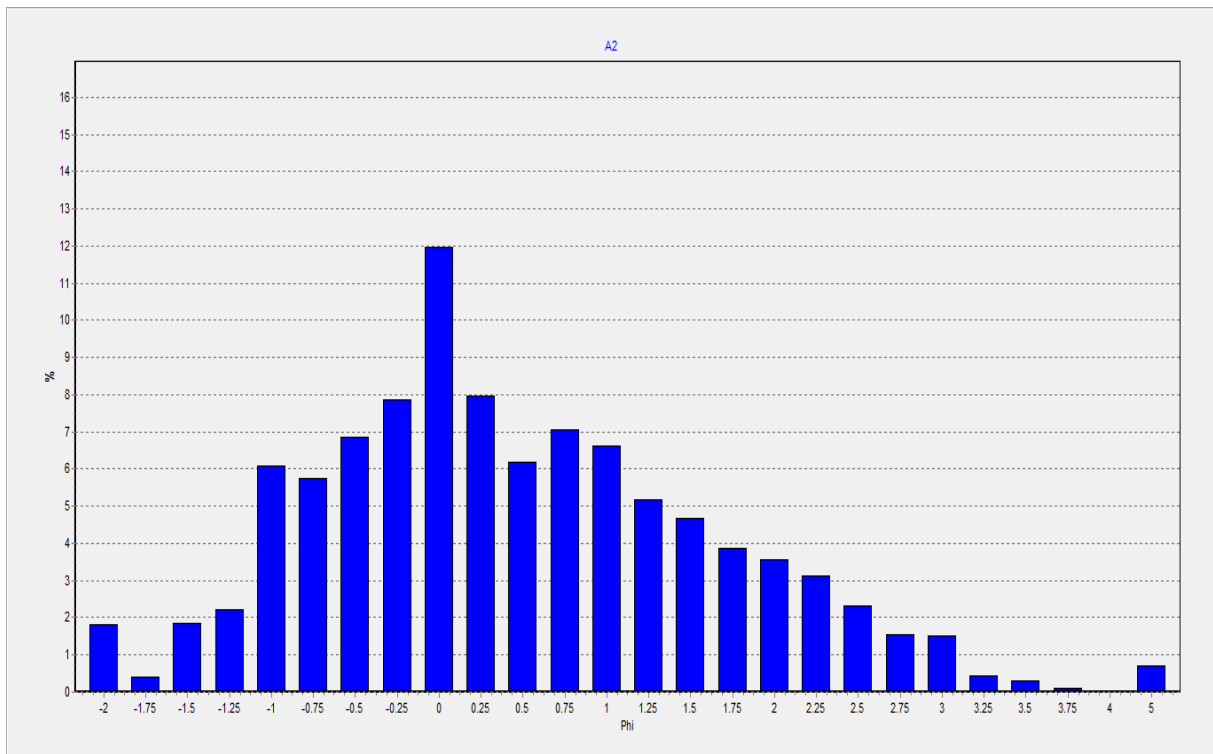


ANEXO D

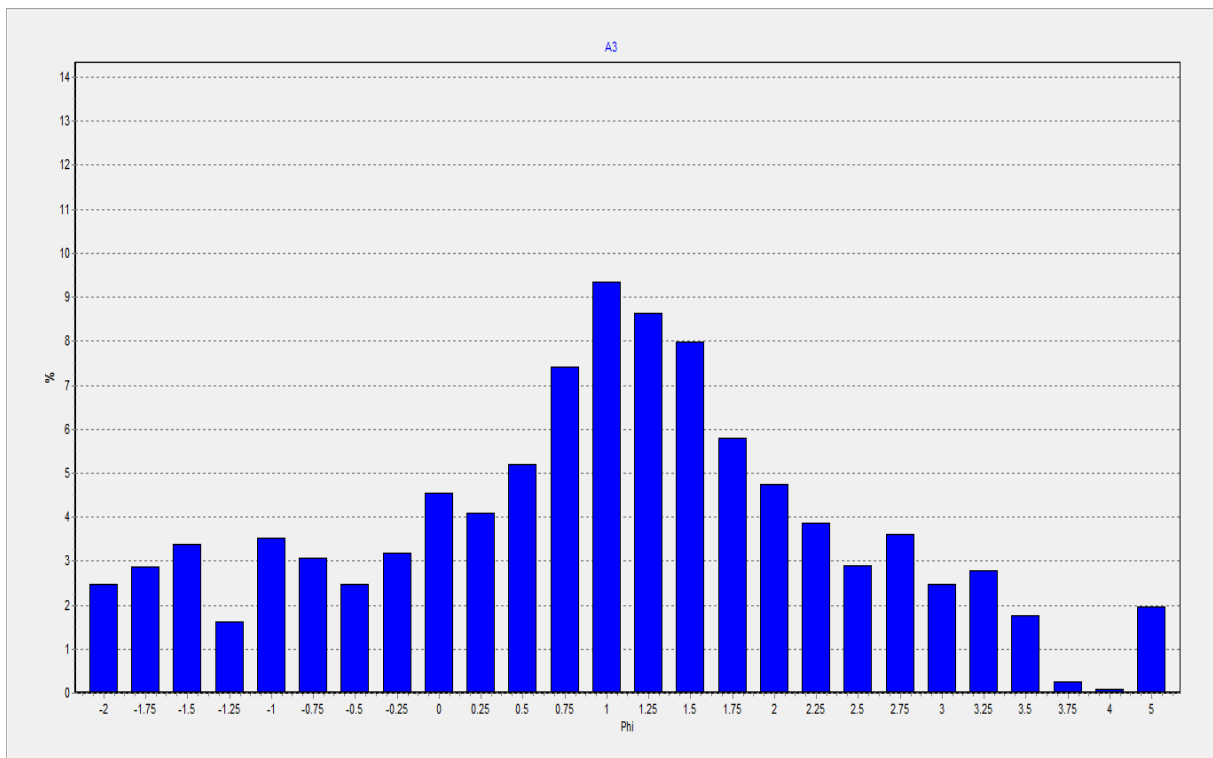
Histograma de frequências para a amostra A1



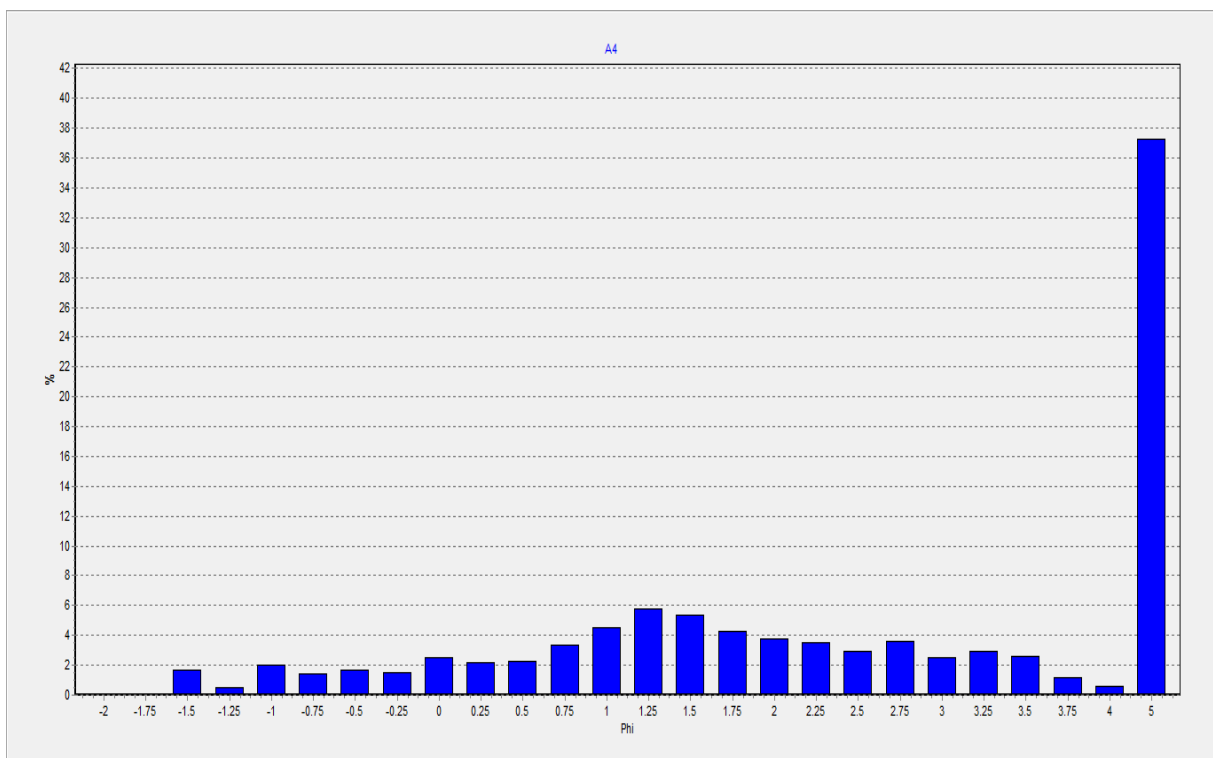
Histograma de frequências para a amostra A2



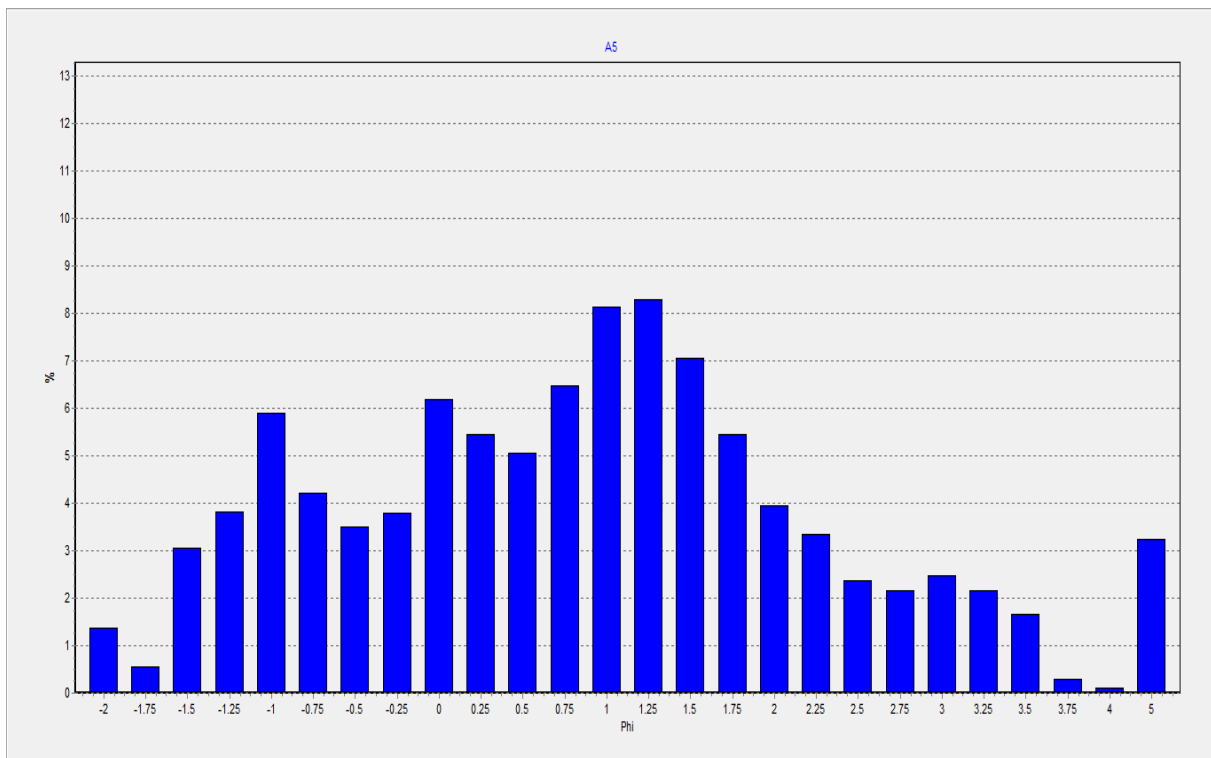
Histograma de frequências para a amostra A3



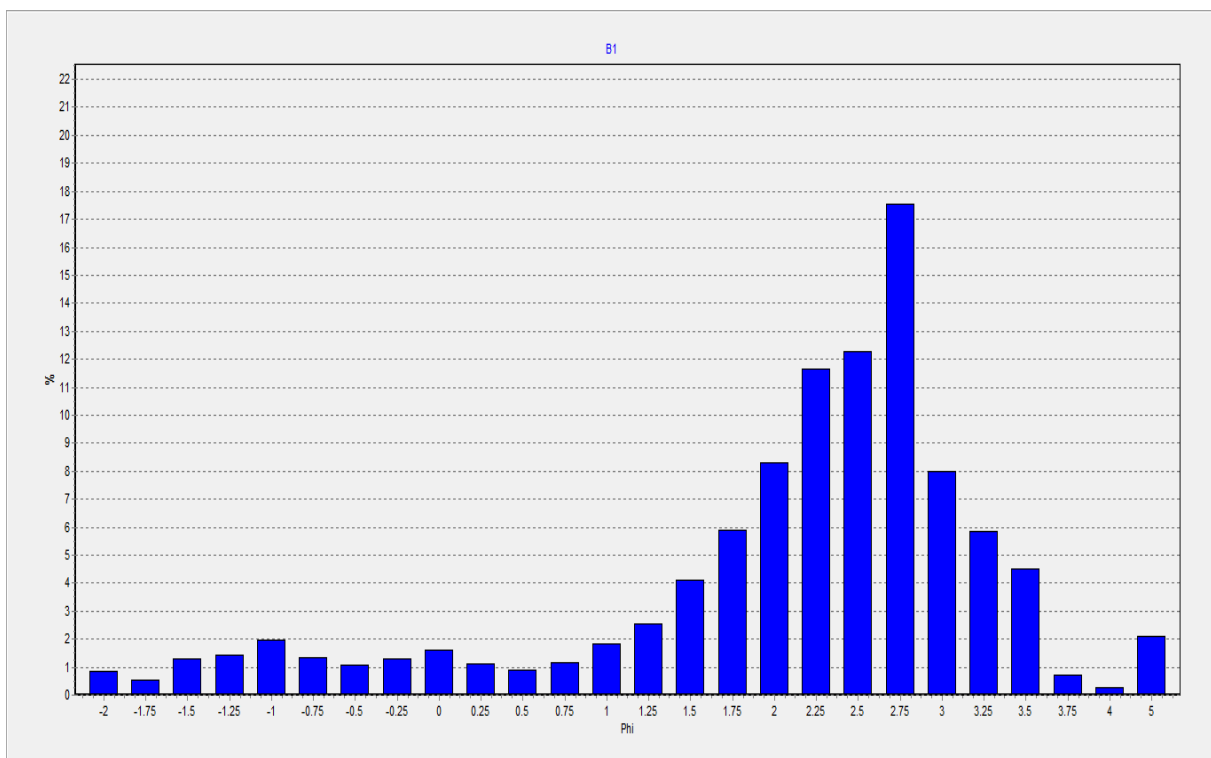
Histograma de frequências para a amostra A4



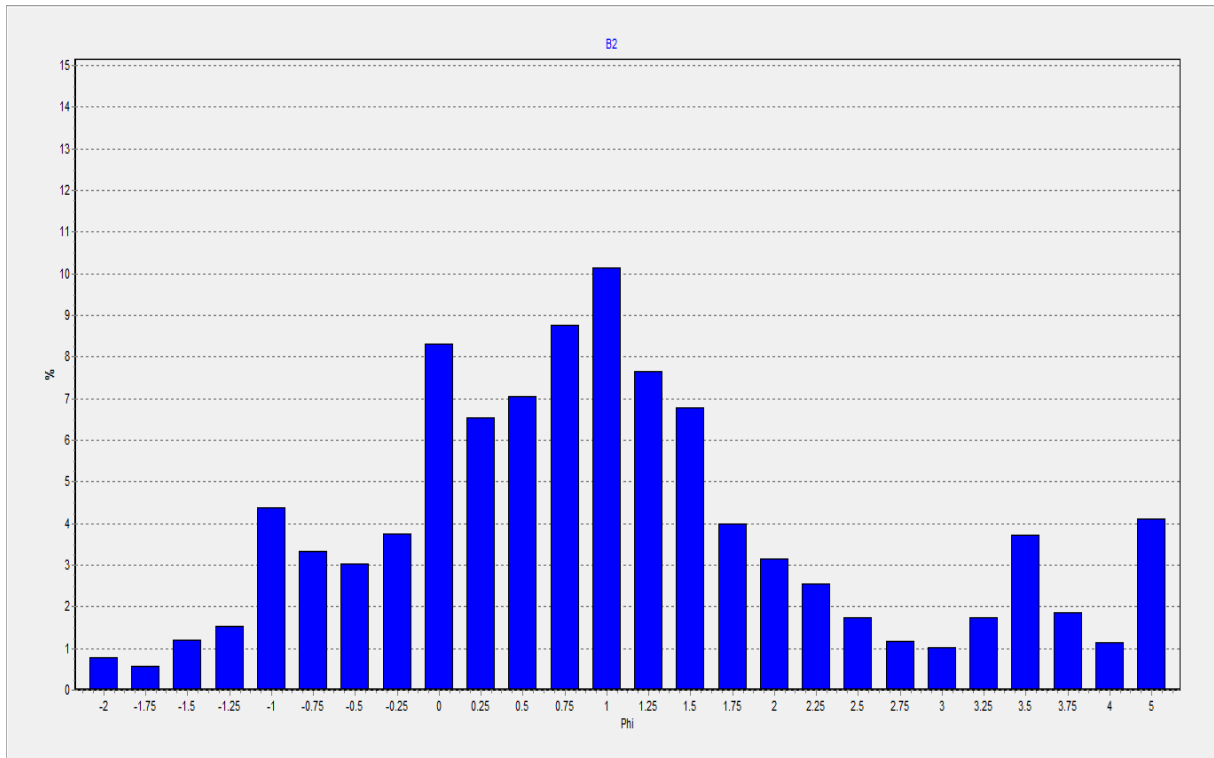
Histograma de frequências para a amostra A5



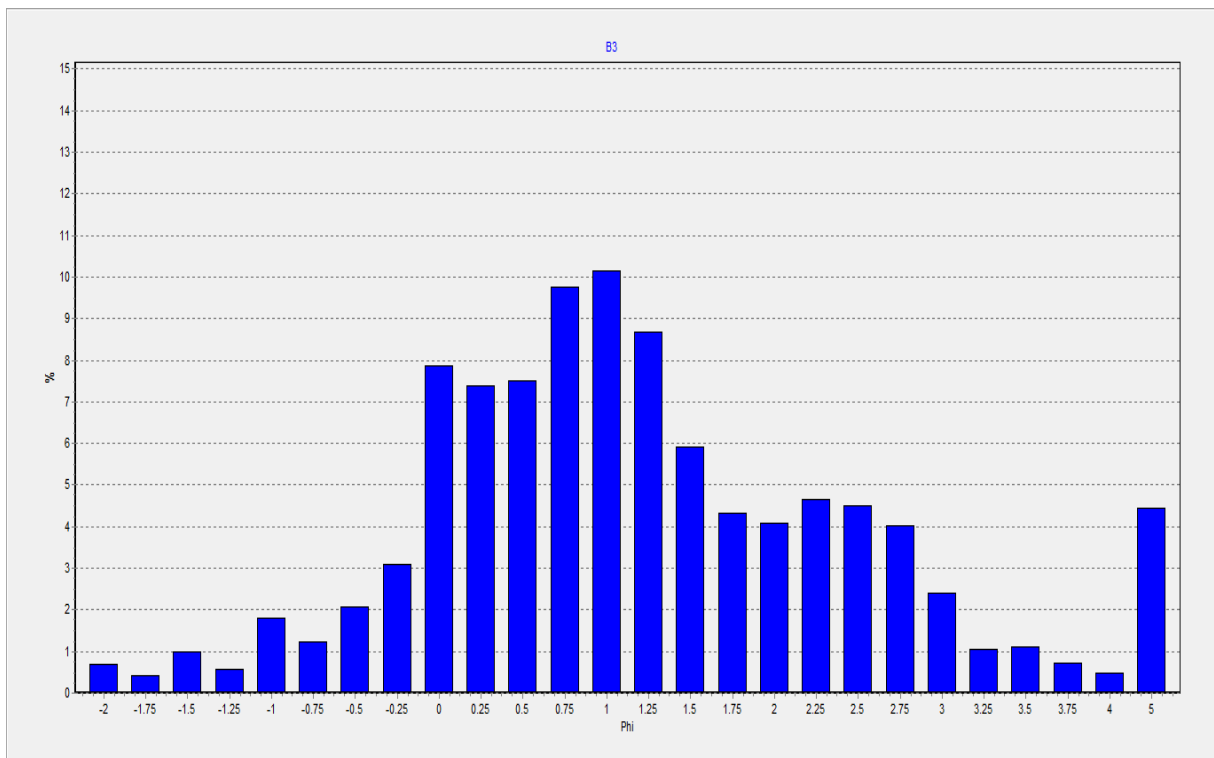
Histograma de frequências para a amostra B1



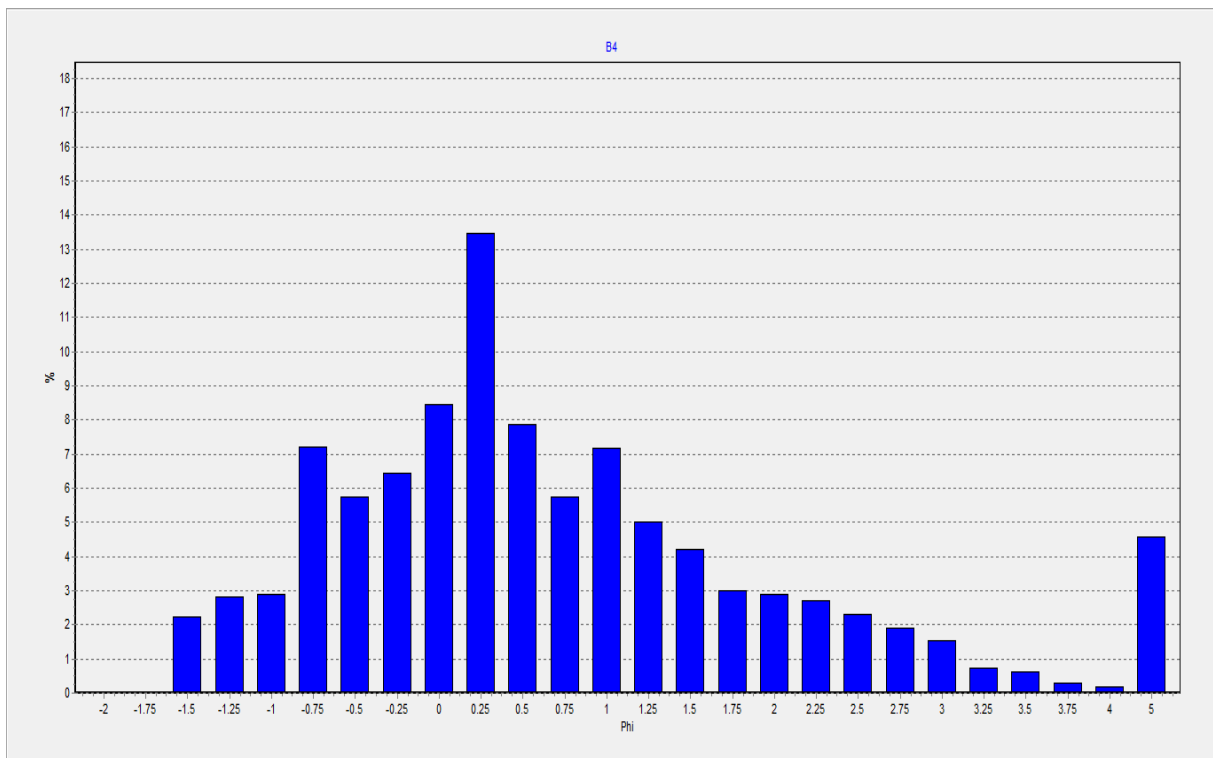
Histograma de frequências para a amostra B2



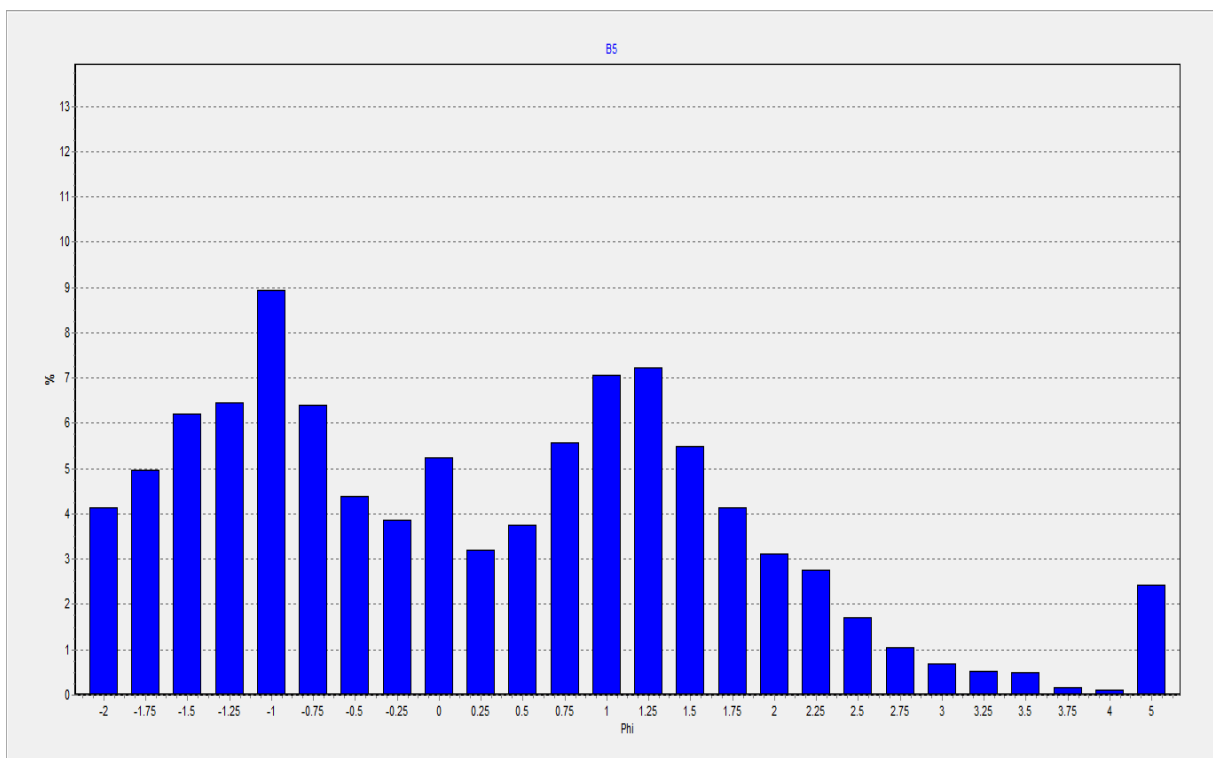
Histograma de frequências para a amostra B3



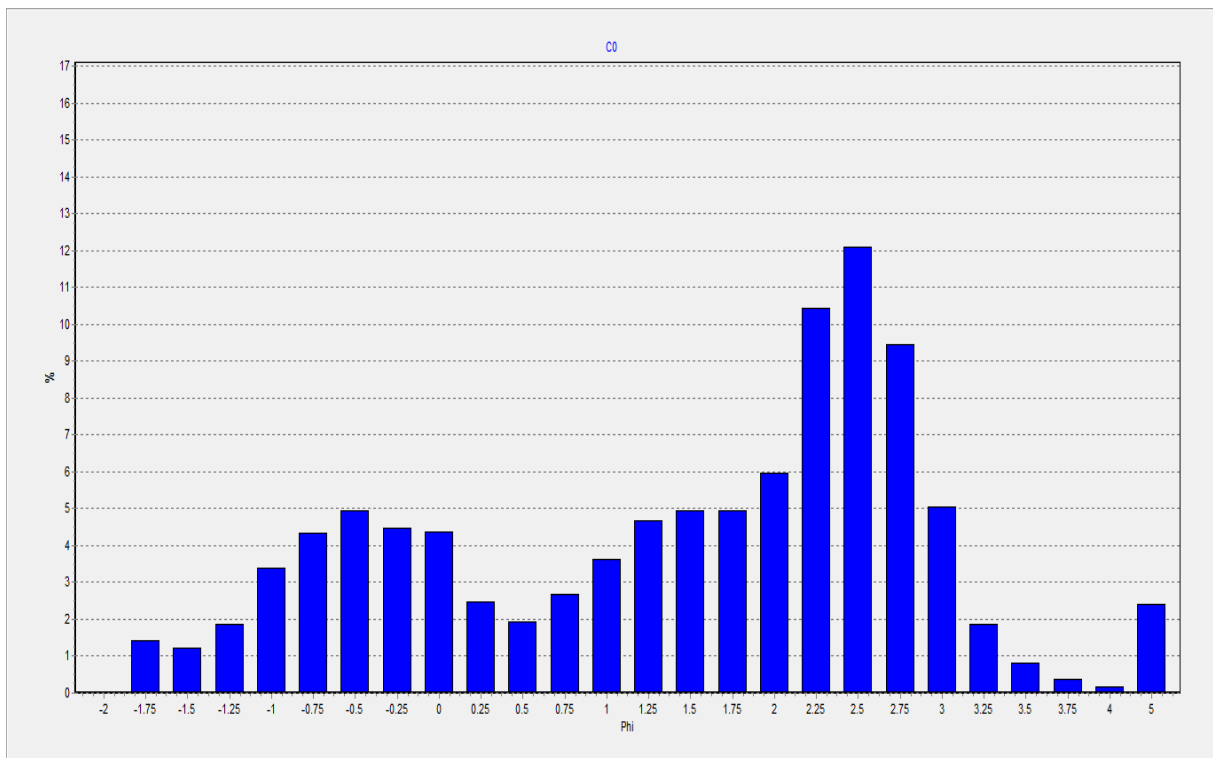
Histograma de frequências para a amostra B4



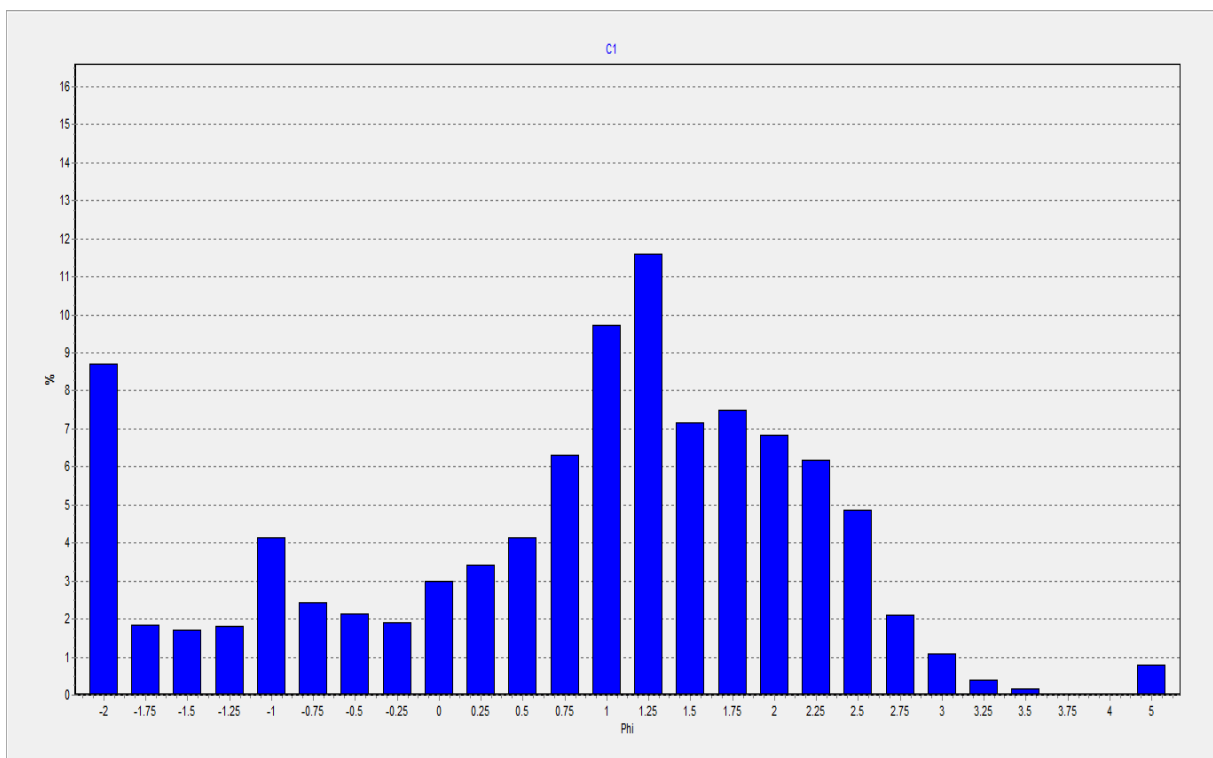
Histograma de frequências para a amostra B5



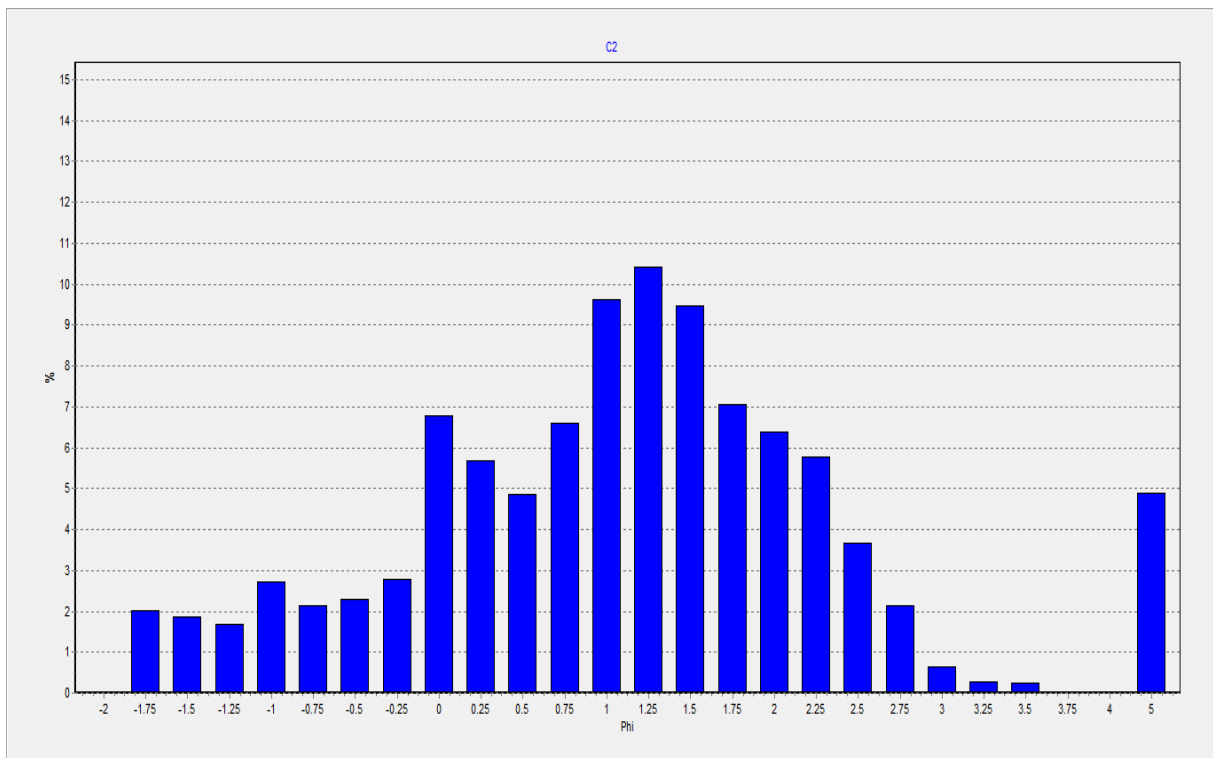
Histograma de frequências para a amostra C0



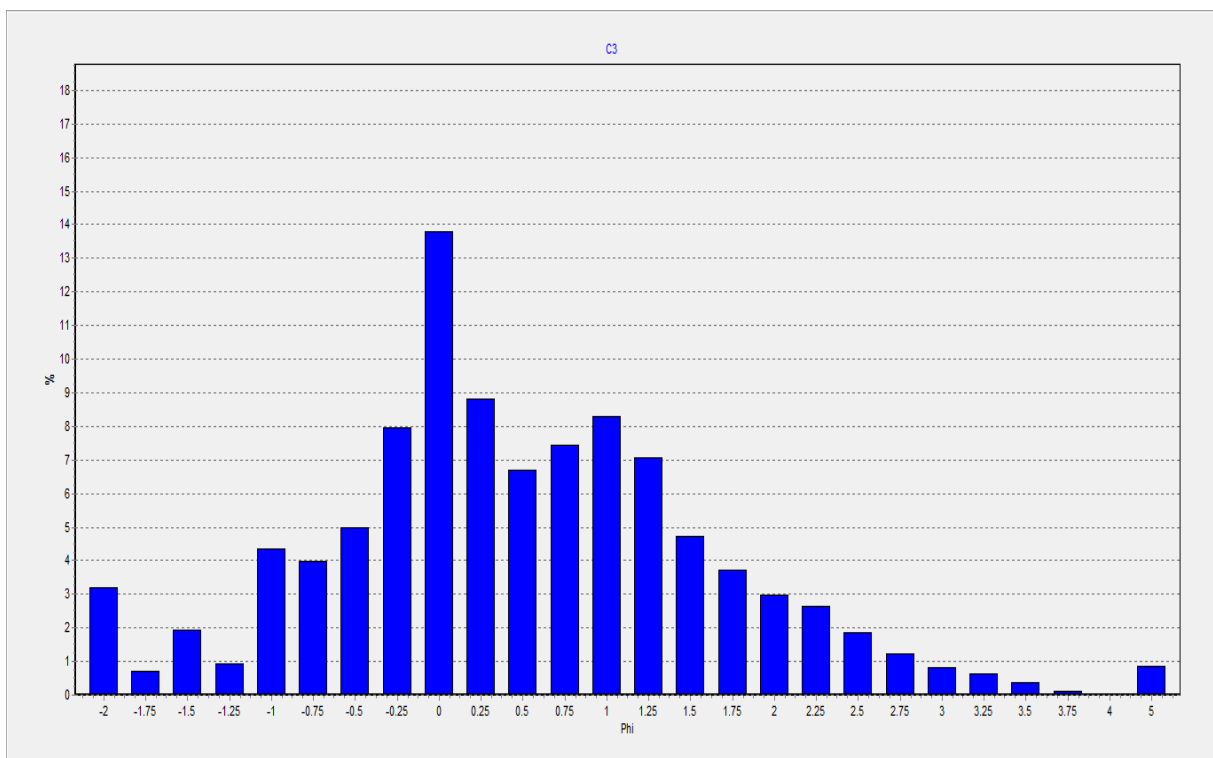
Histograma de frequências para a amostra C1



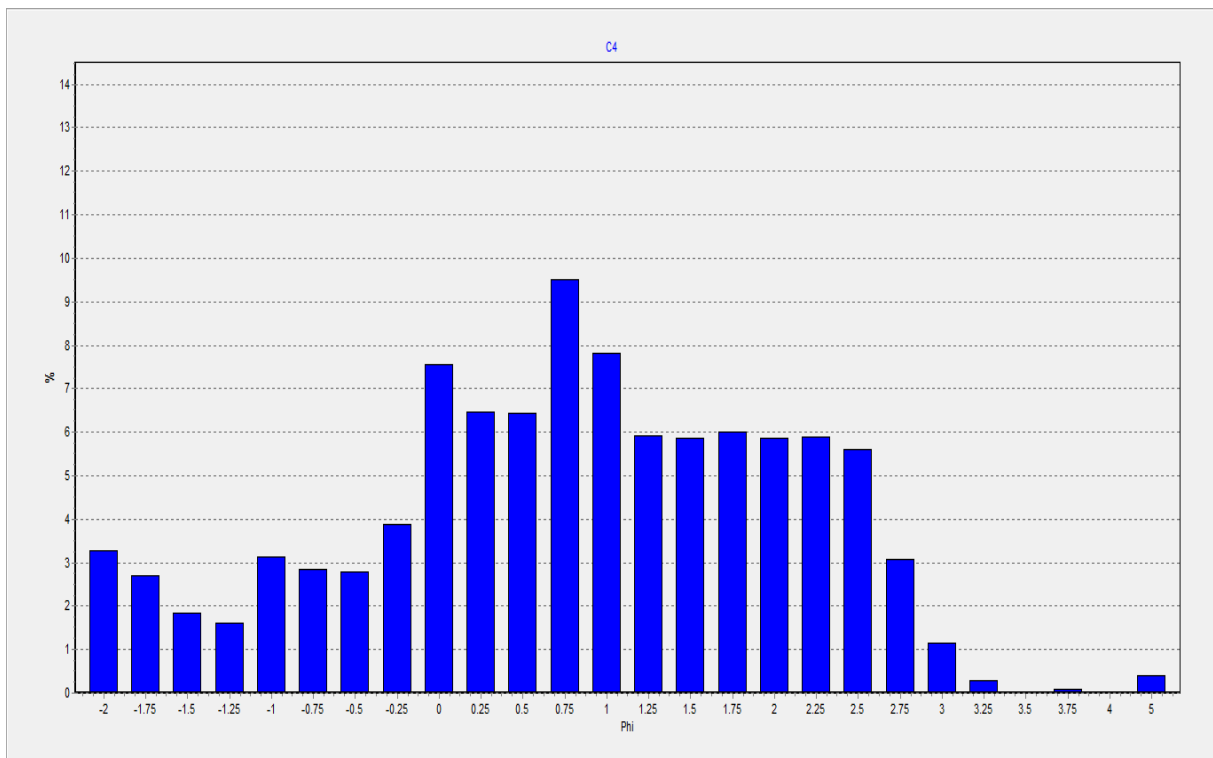
Histograma de frequências para a amostra C2



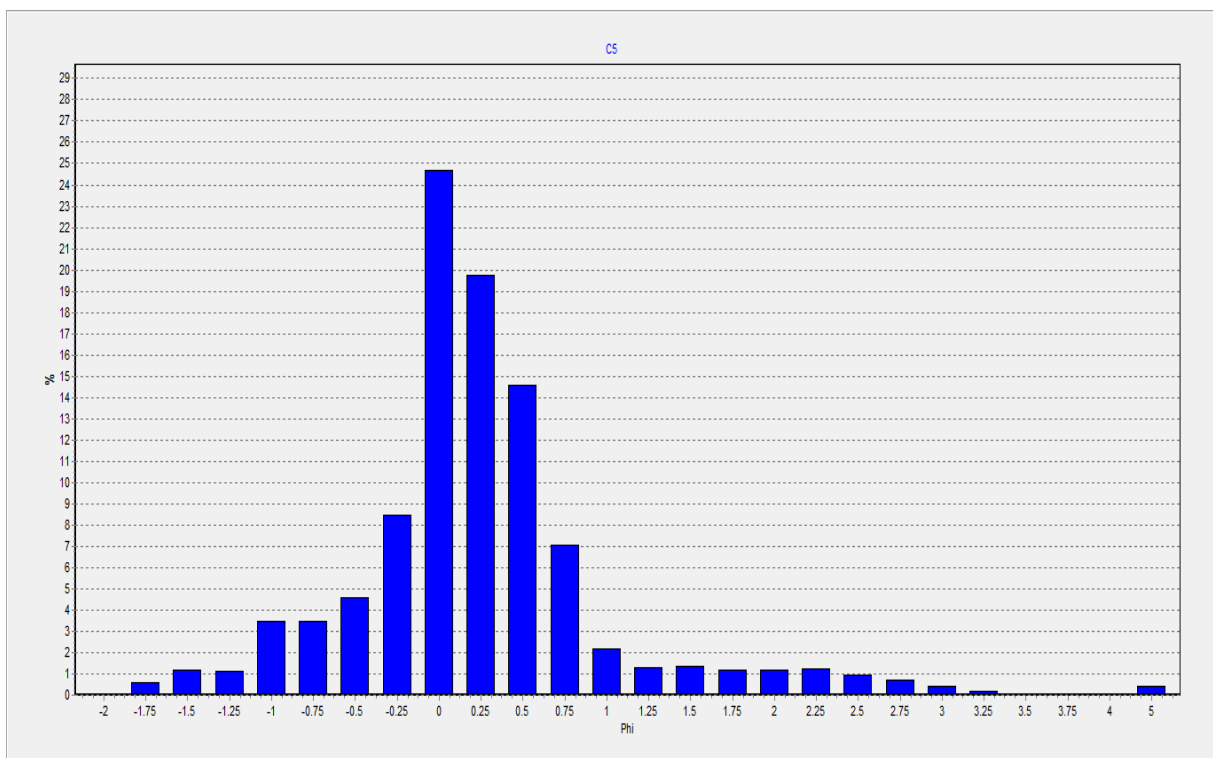
Histograma de frequências para a amostra C3



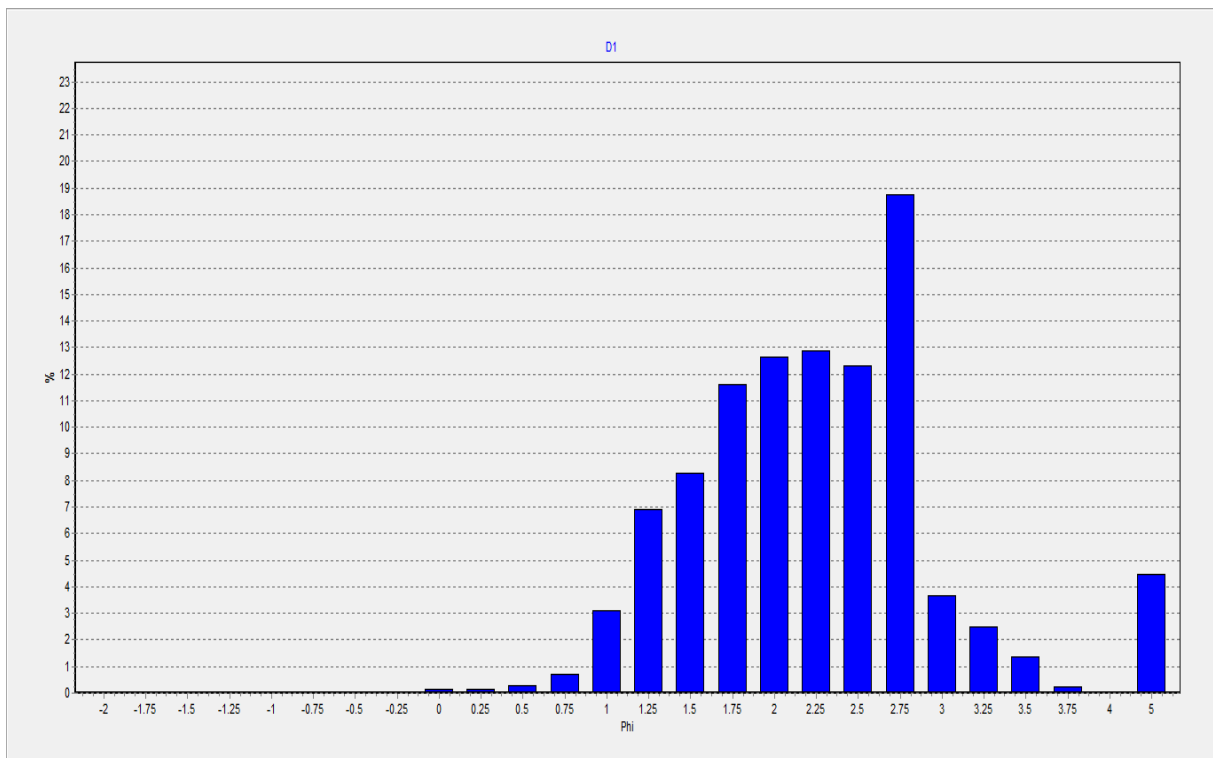
Histograma de frequências para a amostra C4



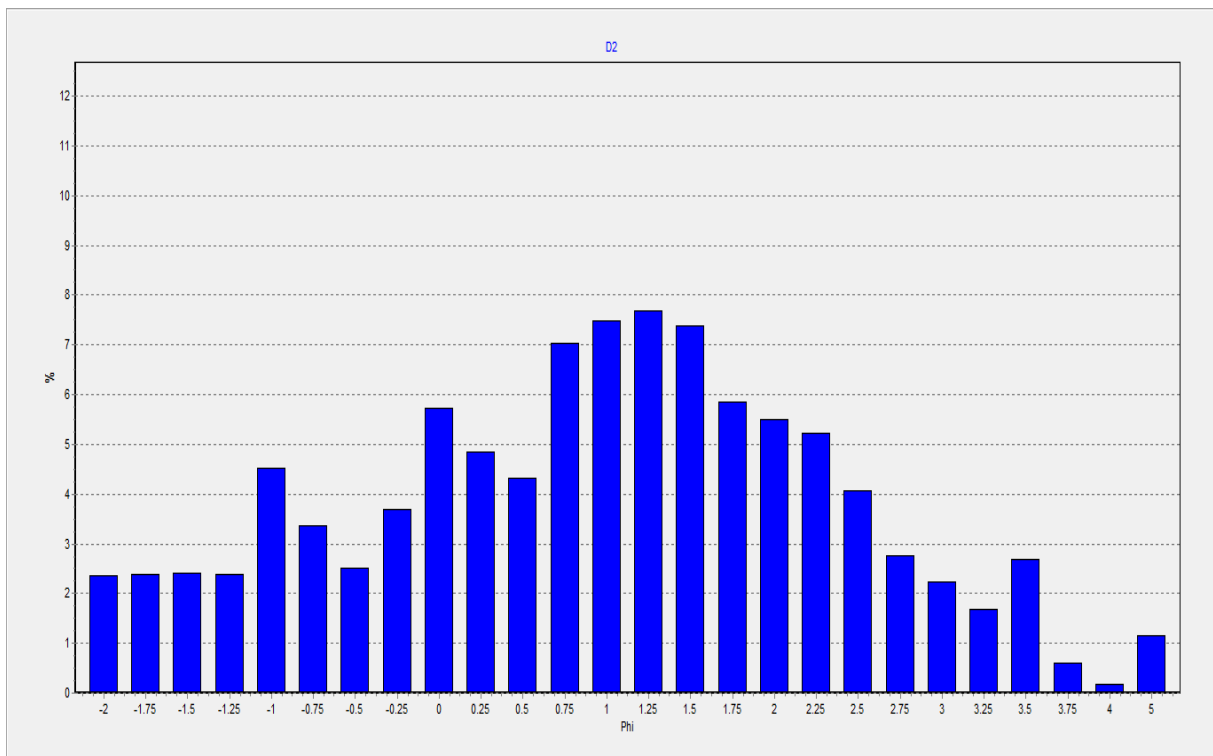
Histograma de frequências para a amostra C5



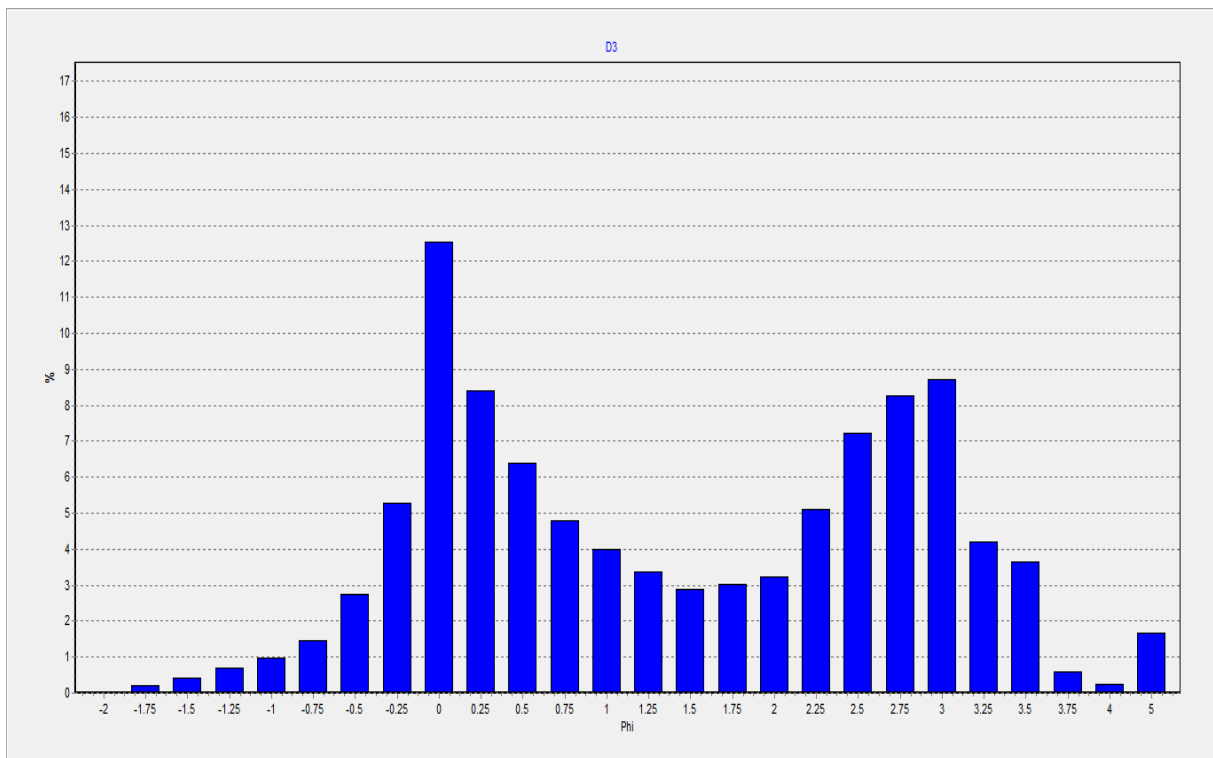
Histograma de frequências para a amostra D1



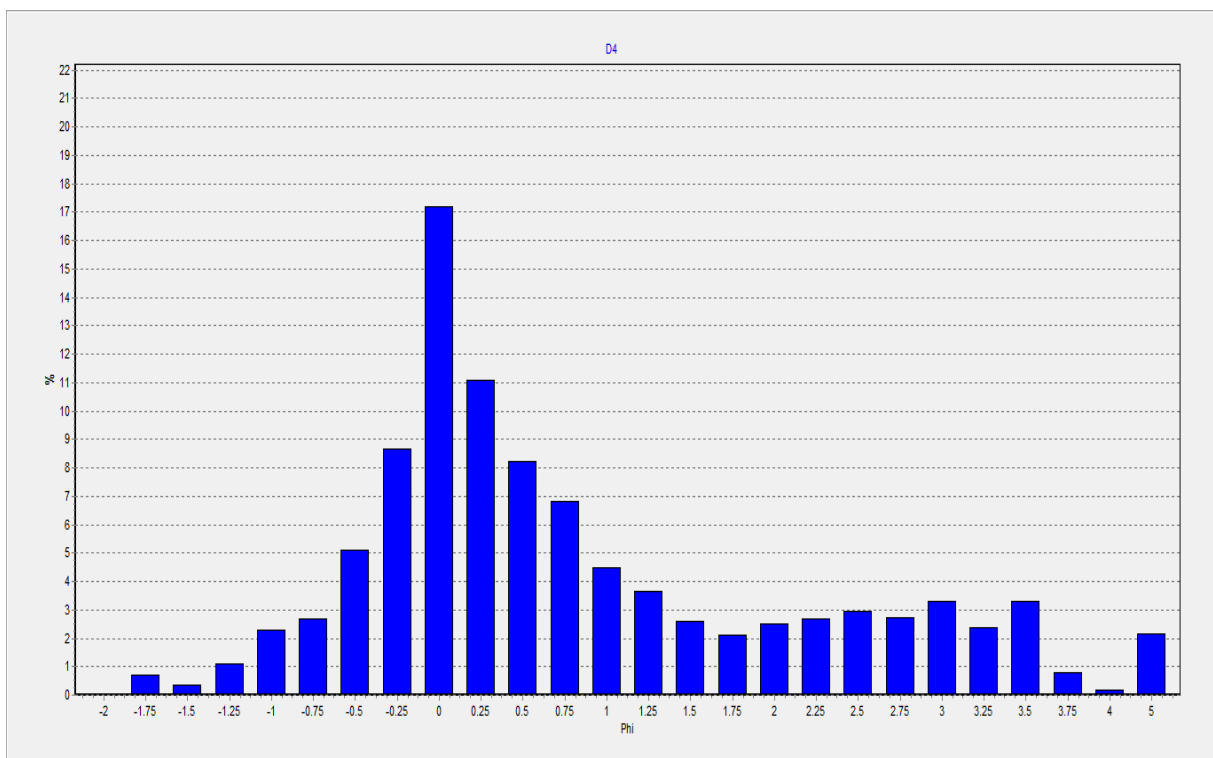
Histograma de frequências para a amostra D2



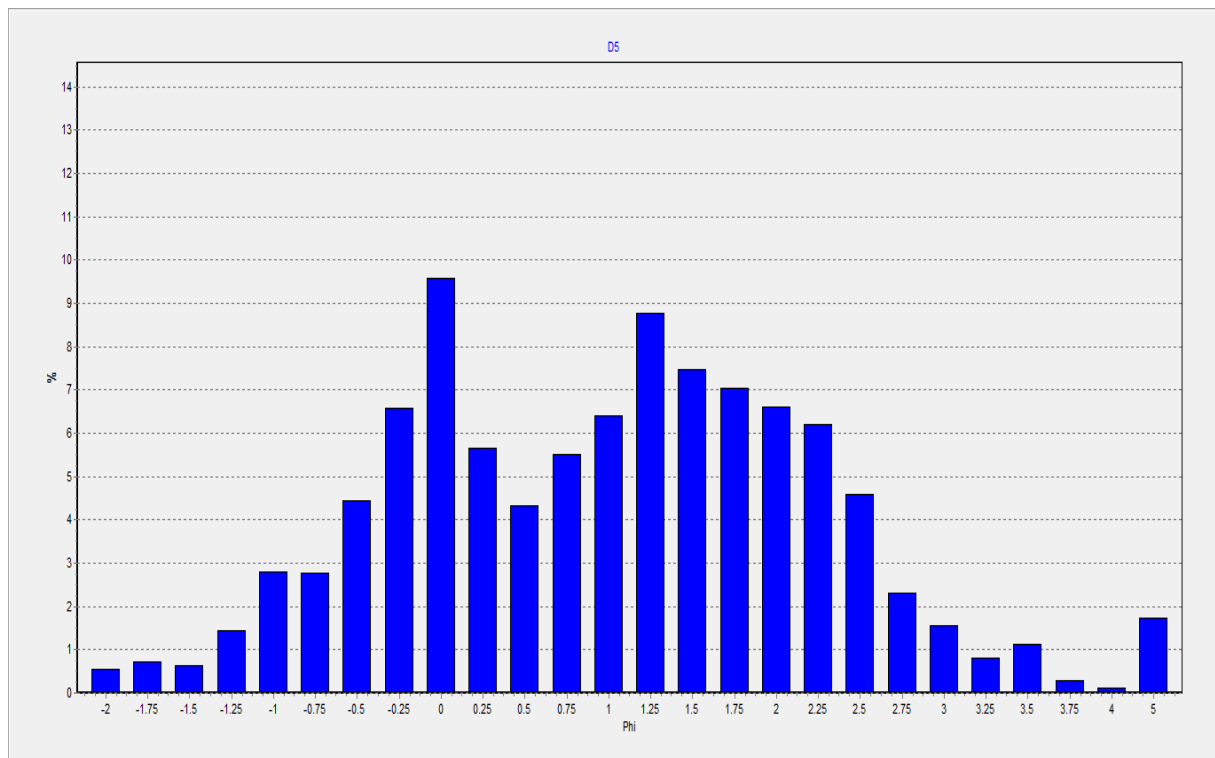
Histograma de frequências para a amostra D3



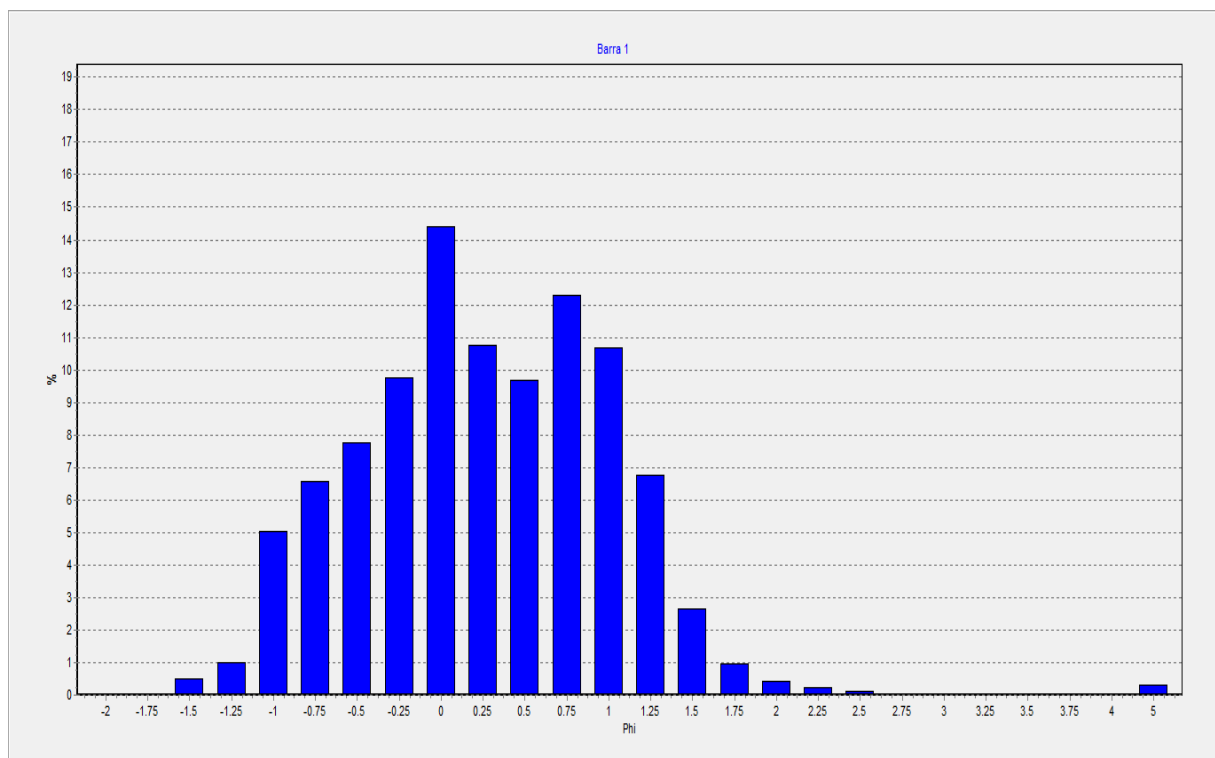
Histograma de frequências para a amostra D4



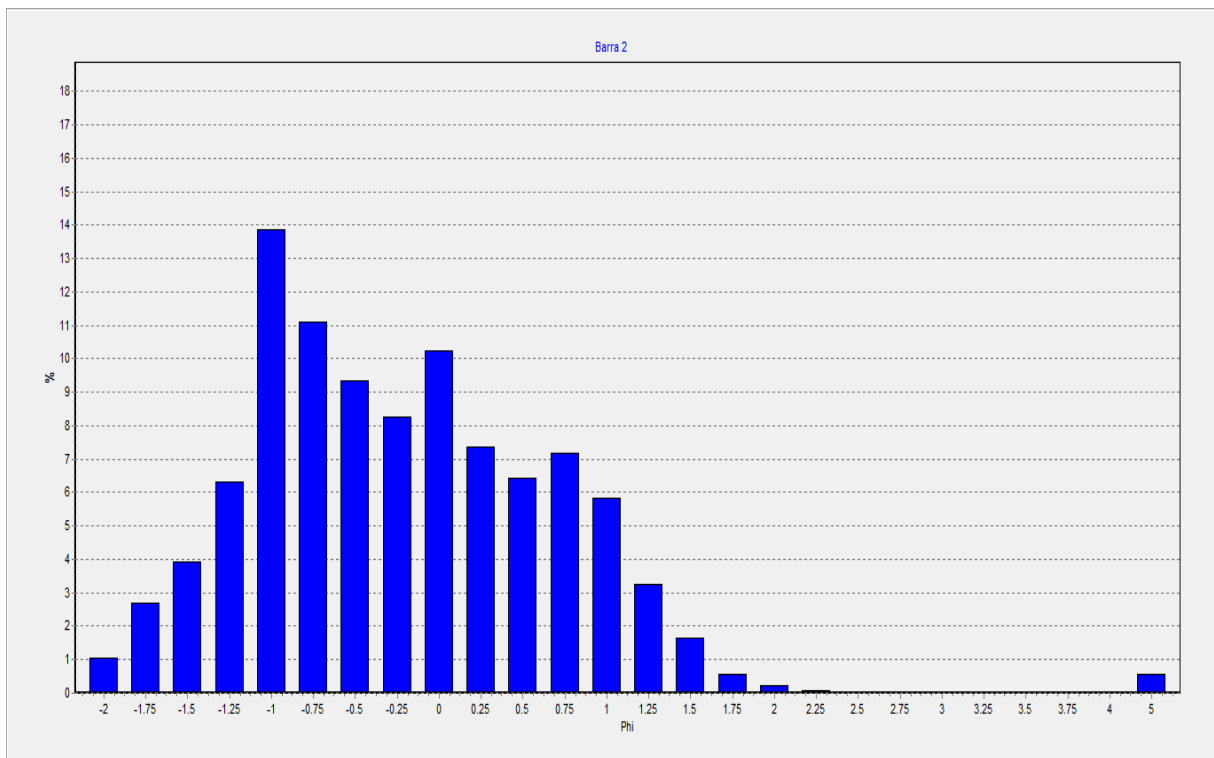
Histograma de frequências para a amostra D5



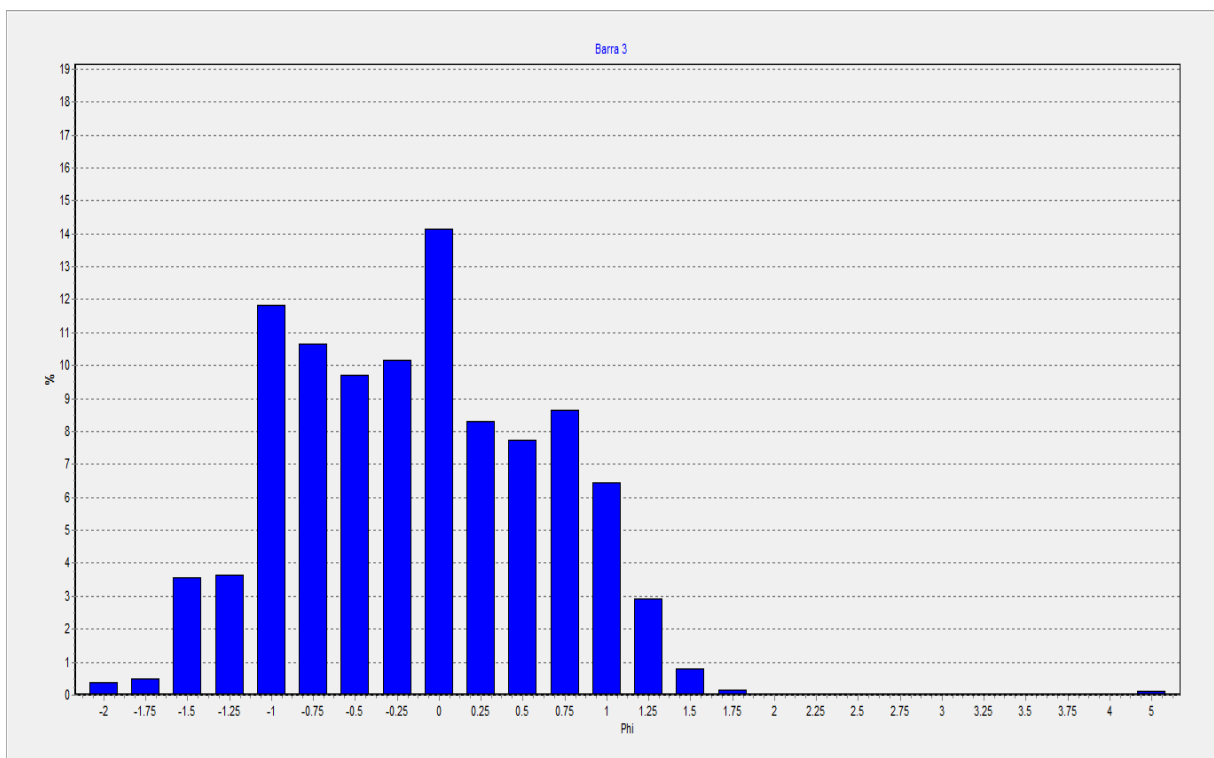
Histograma de frequências para a amostra Barra 1



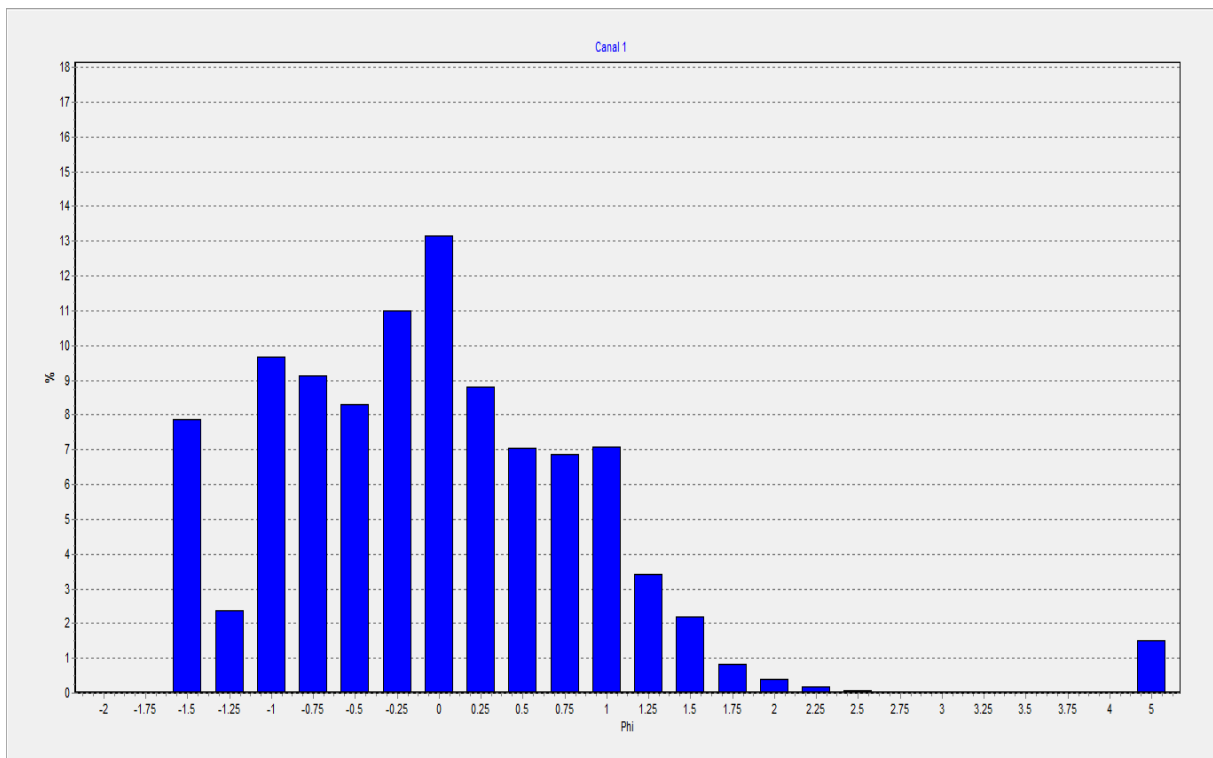
Histograma de frequências para a amostra Barra 2



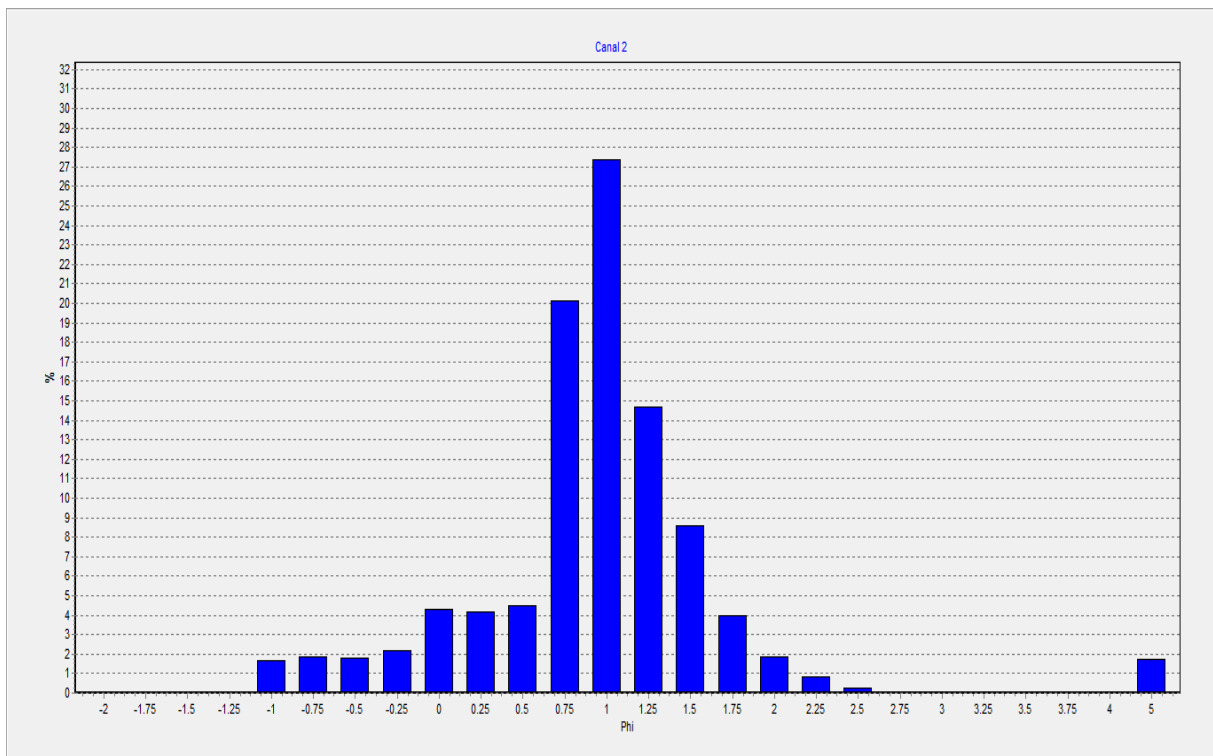
Histograma de frequências para a amostra Barra 3



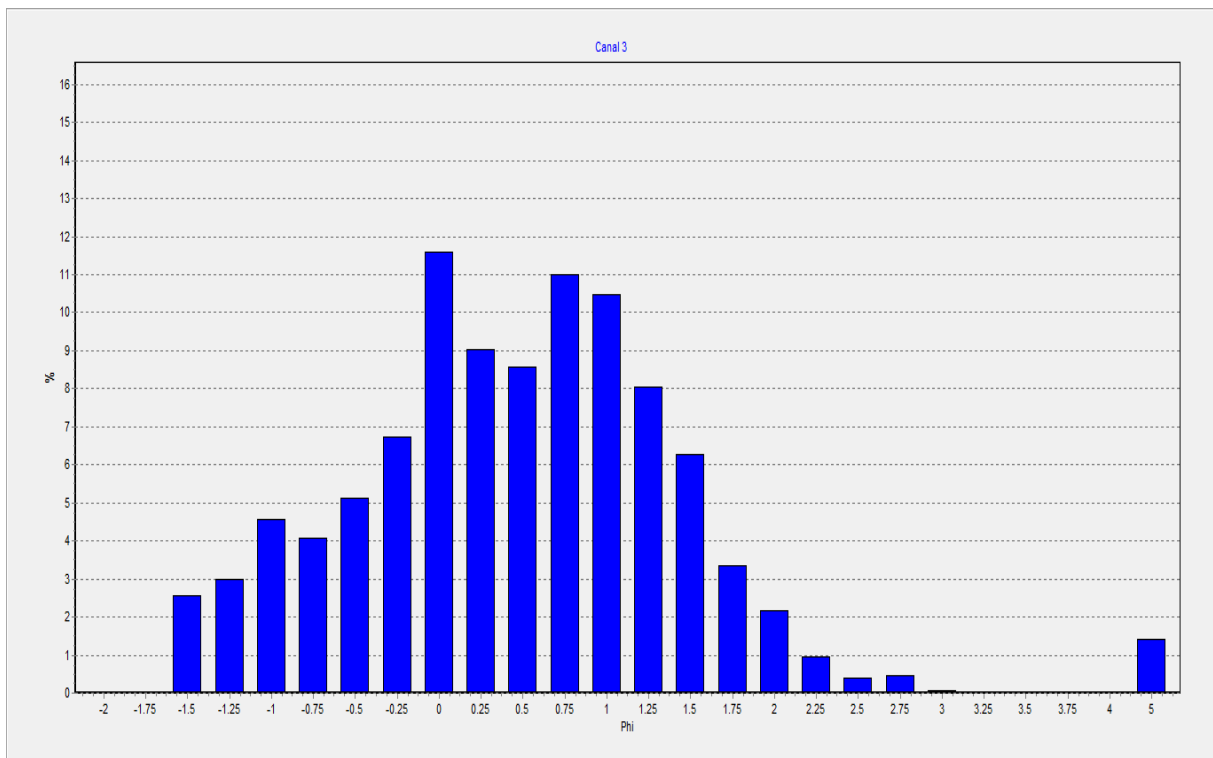
Histograma de frequências para a amostra Canal 1



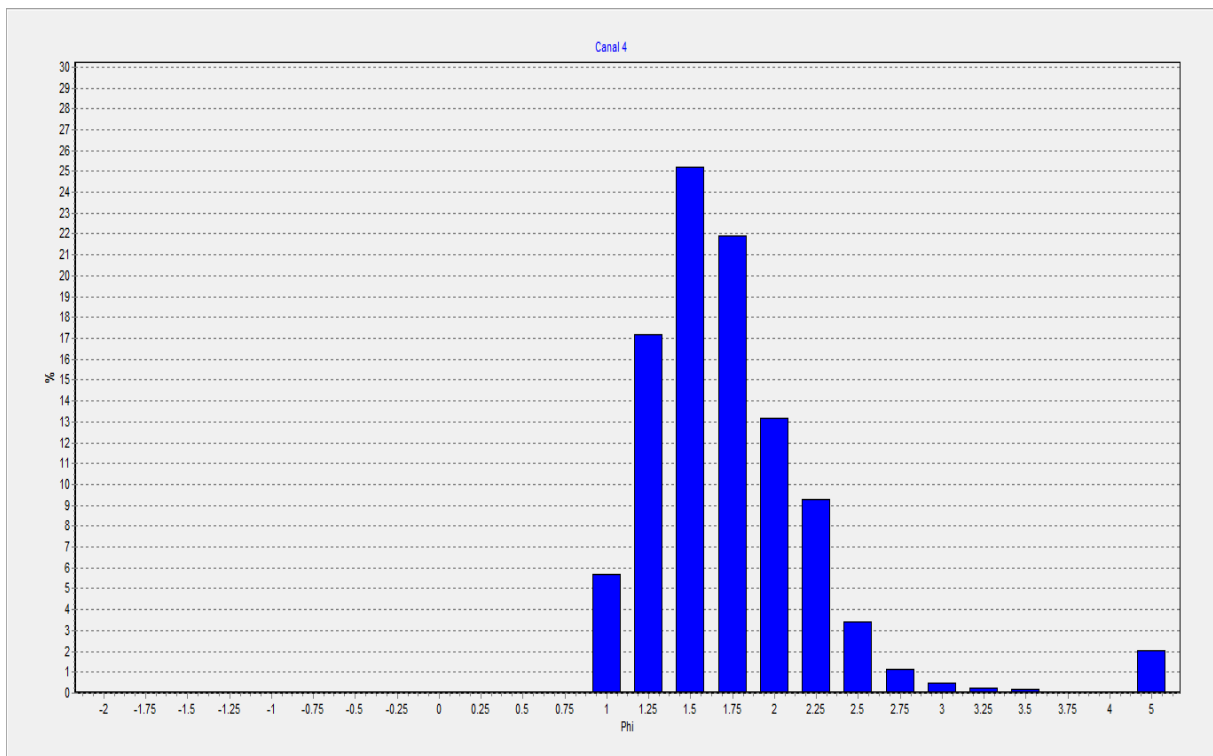
Histograma de frequências para a amostra Canal 2



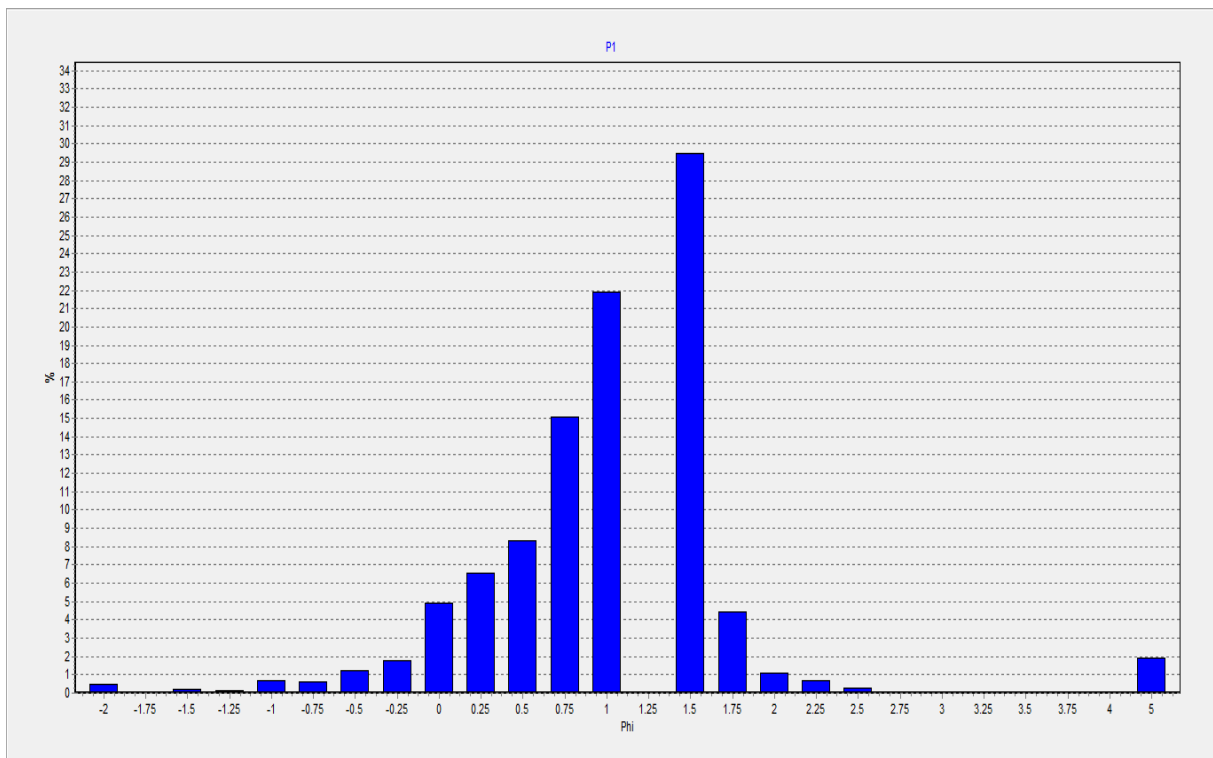
Histograma de frequências para a amostra Canal 3



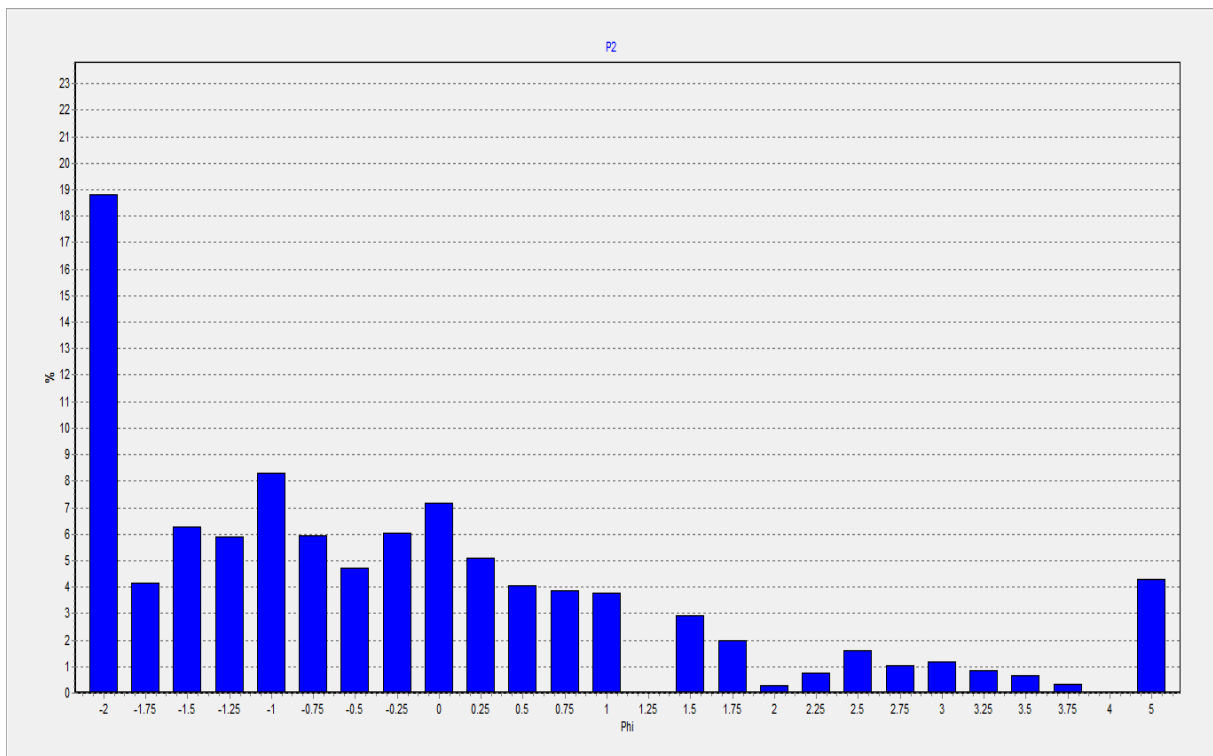
Histograma de frequências para a amostra Canal 4



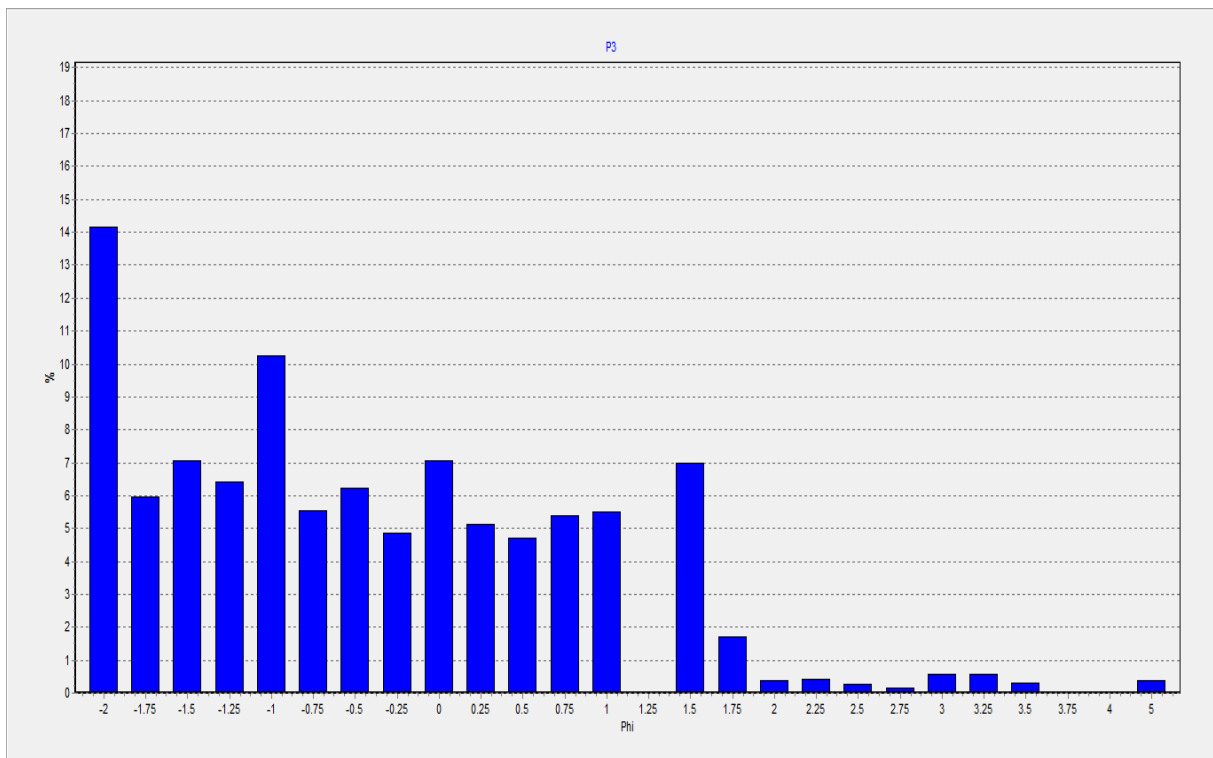
Histograma de frequências para a amostra P1



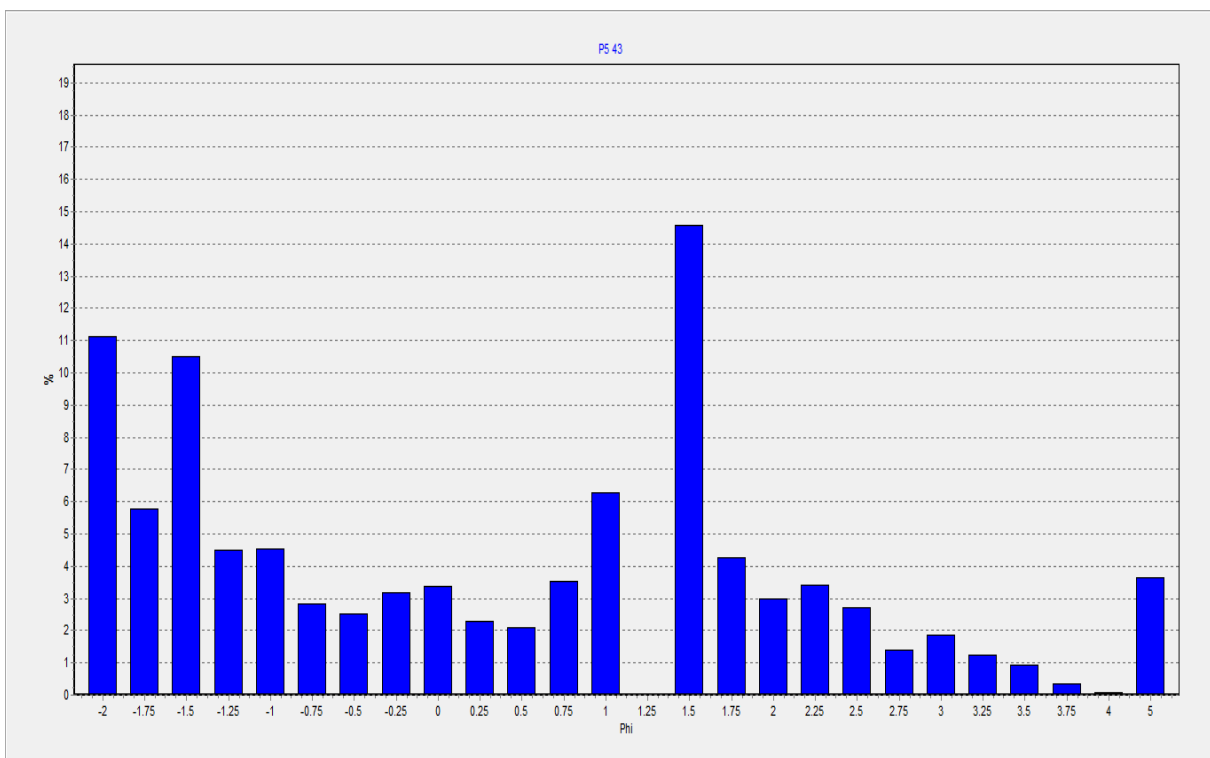
Histograma de frequências para a amostra P2



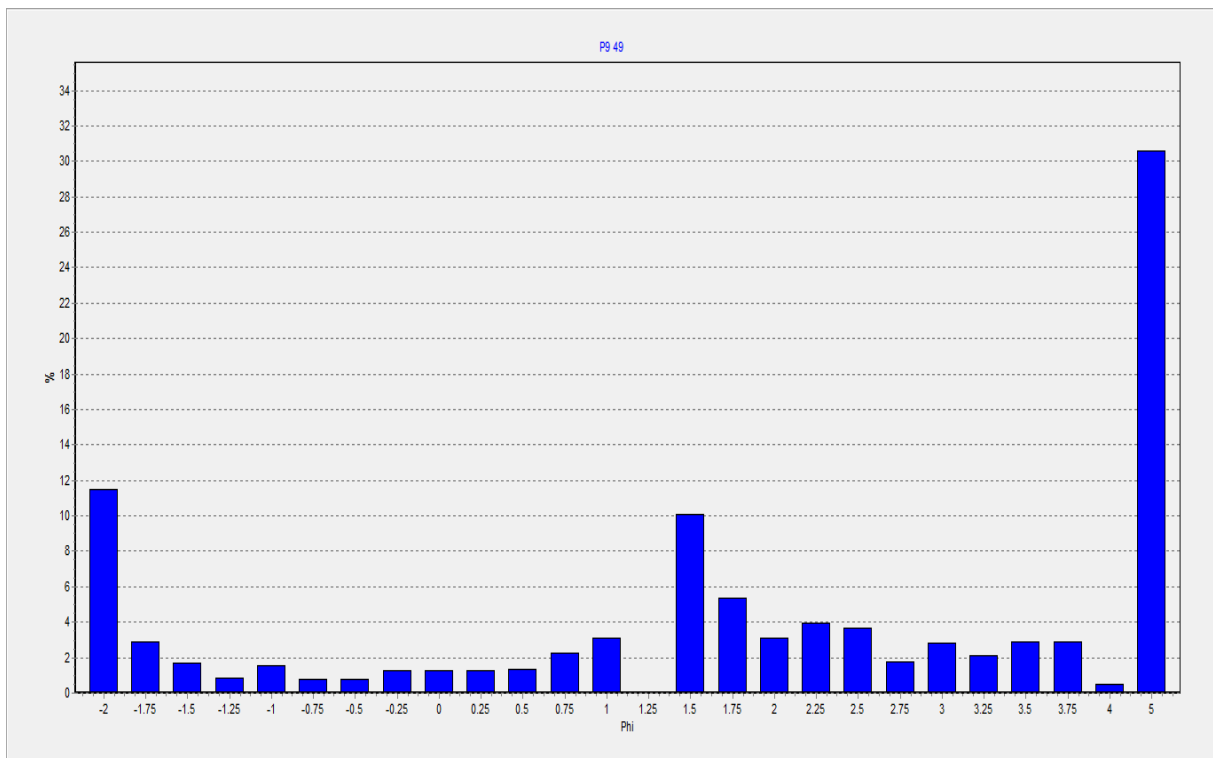
Histograma de frequências para a amostra P3



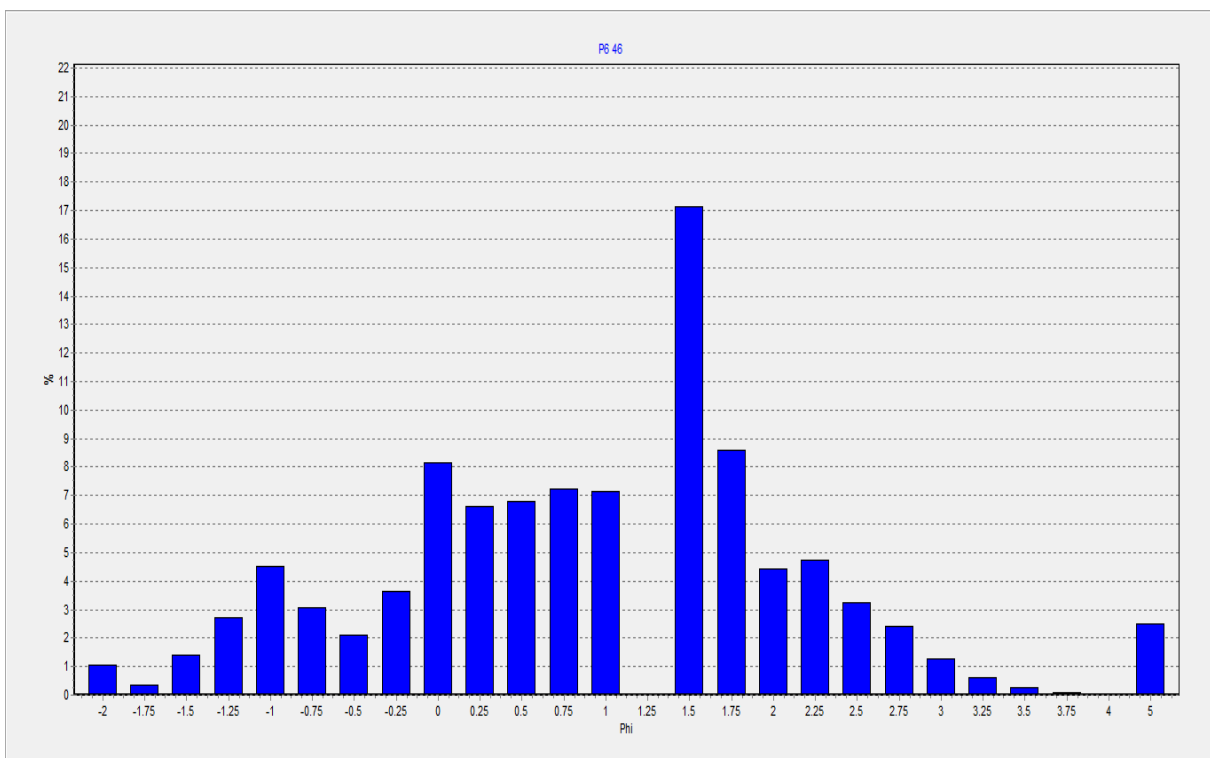
Histograma de frequências para a amostra P5 43



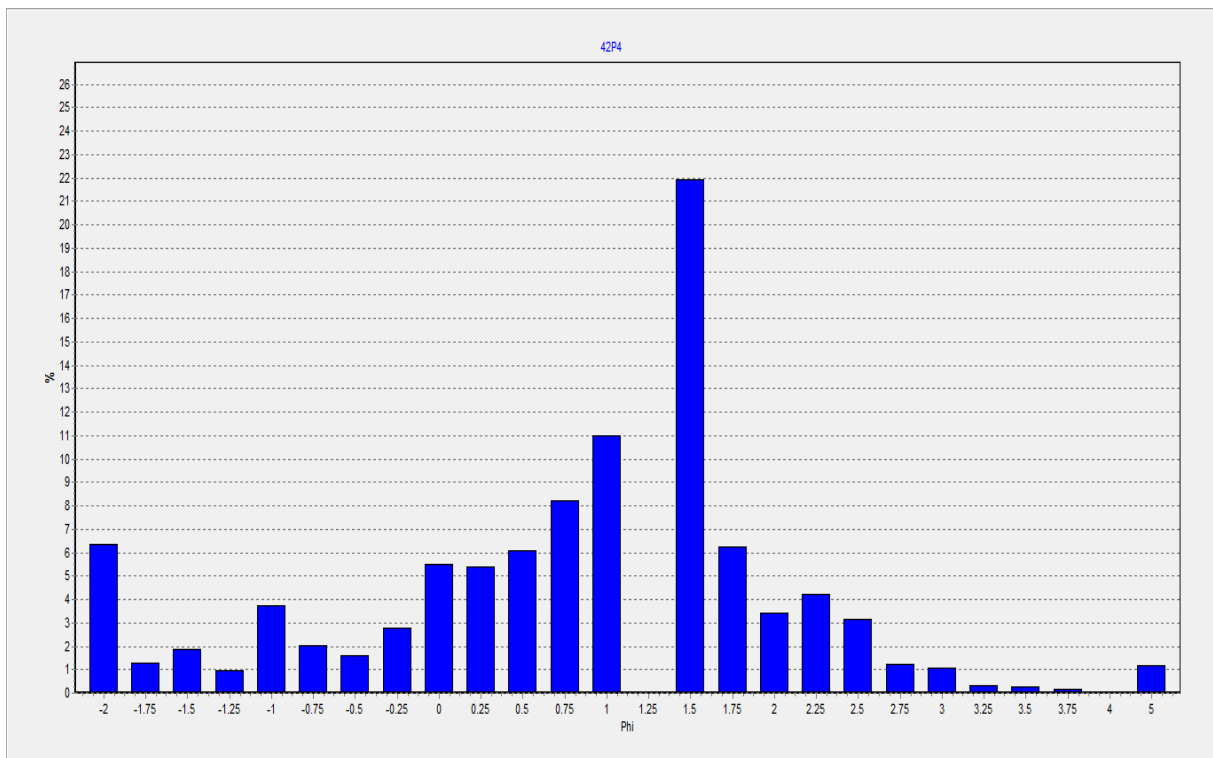
Histograma de frequências para a amostra P9 49



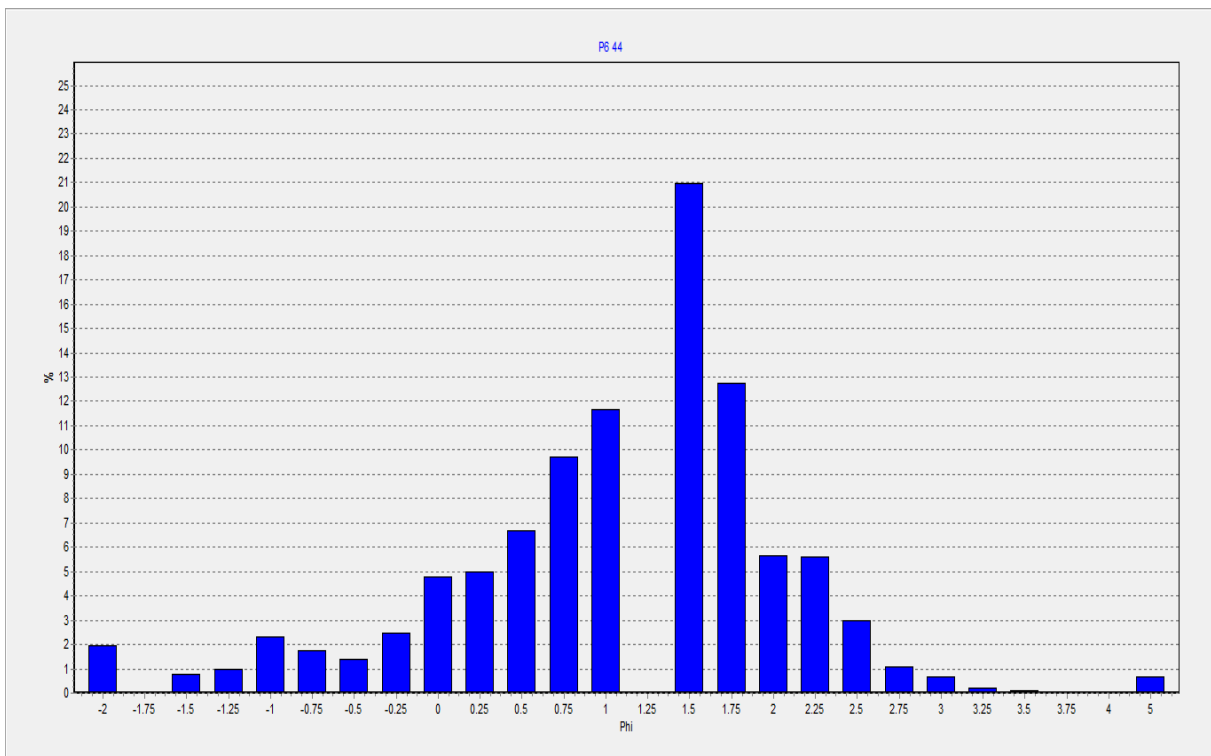
Histograma de frequências para a amostra P6 46



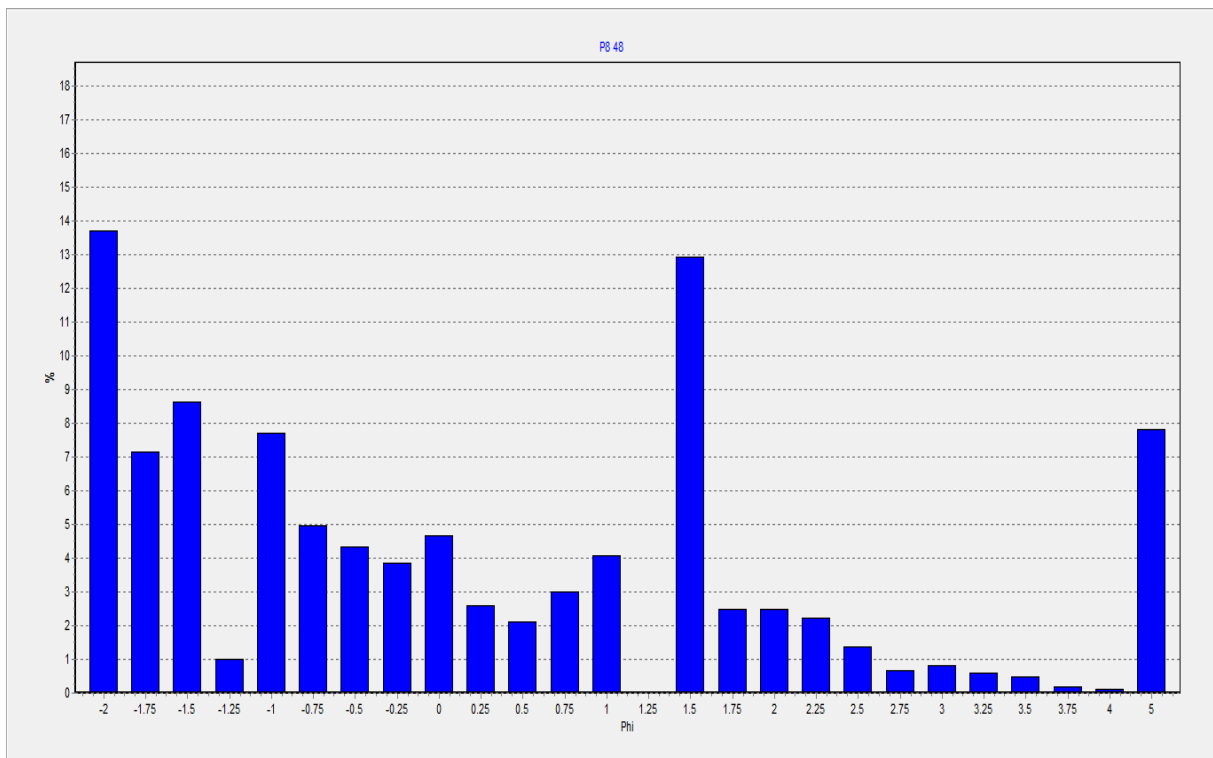
Histograma de frequências para a amostra 42 P4



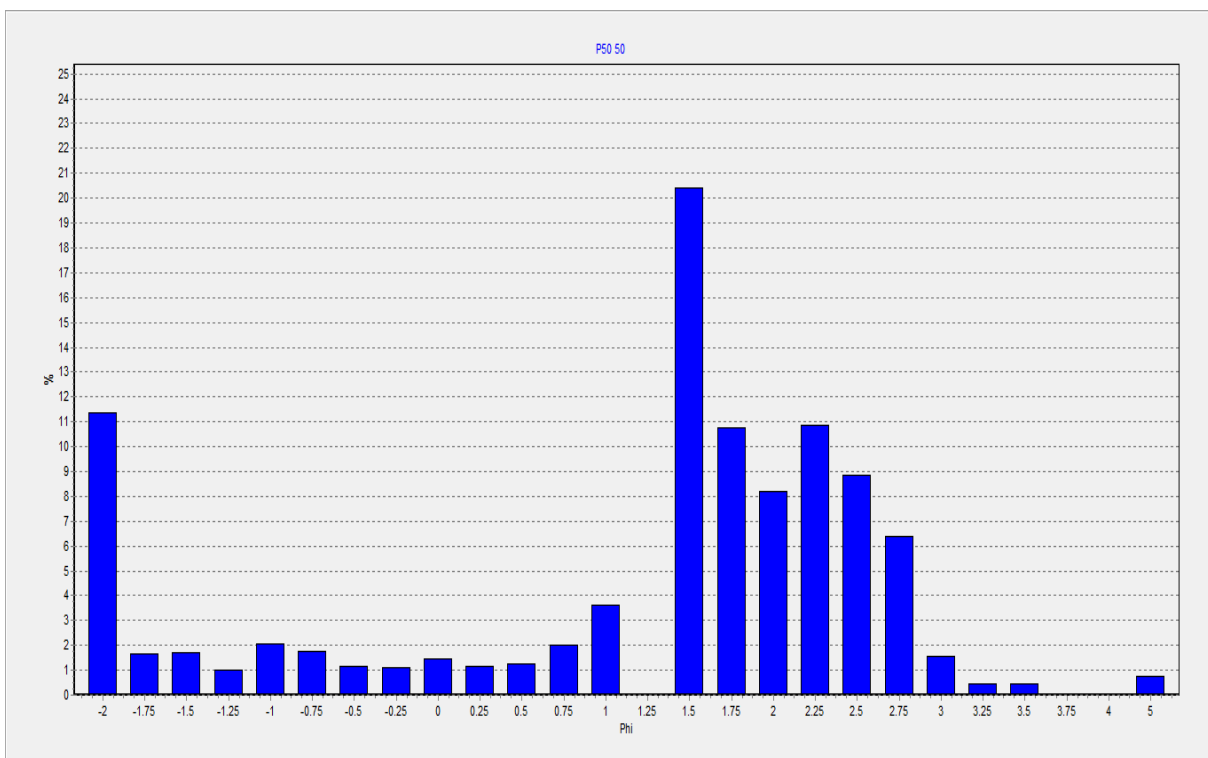
Histograma de frequências para a amostra P6 44



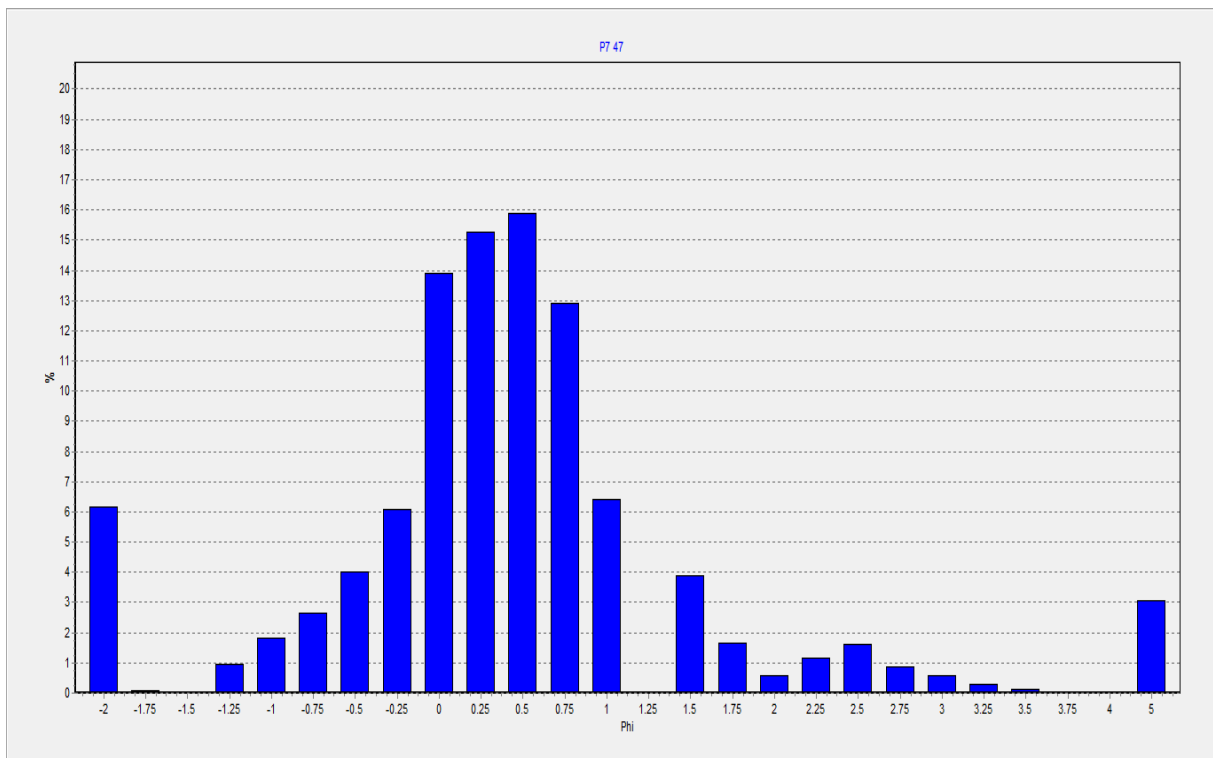
Histograma de frequências para a amostra P8 48



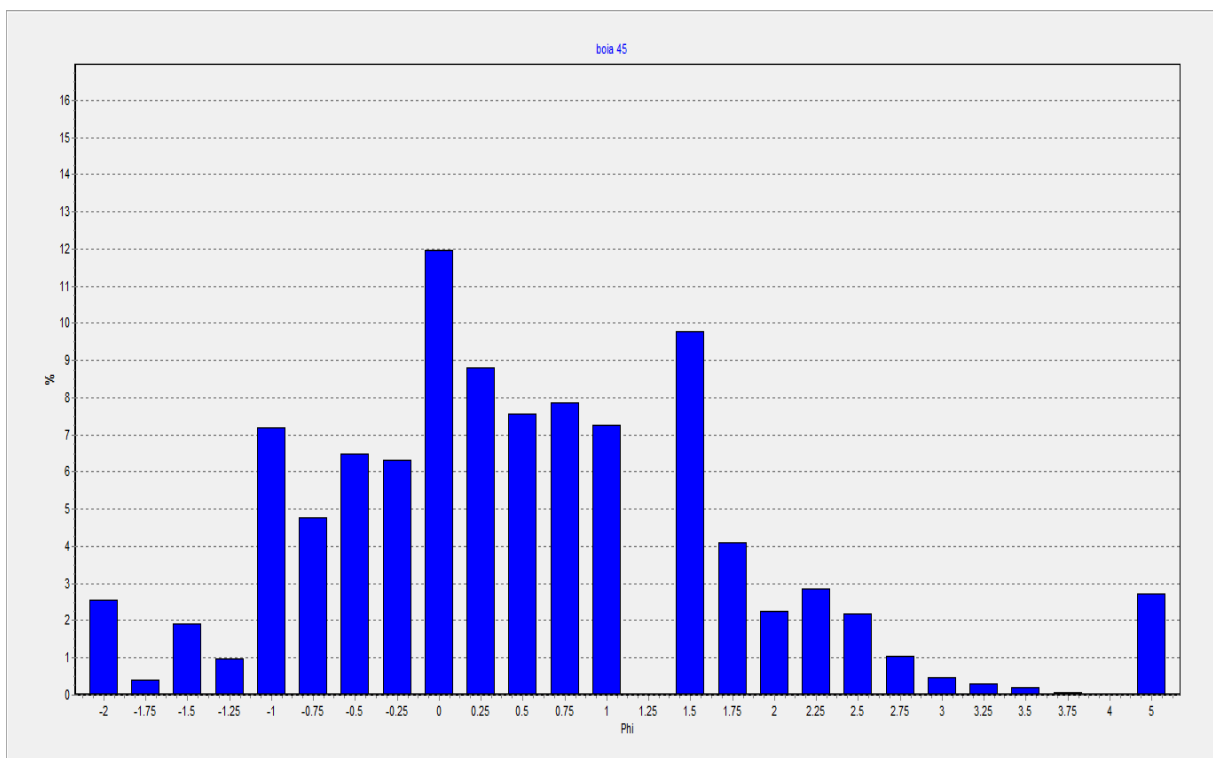
Histograma de frequências para a amostra P50 50



Histograma de frequências para a amostra P7 47

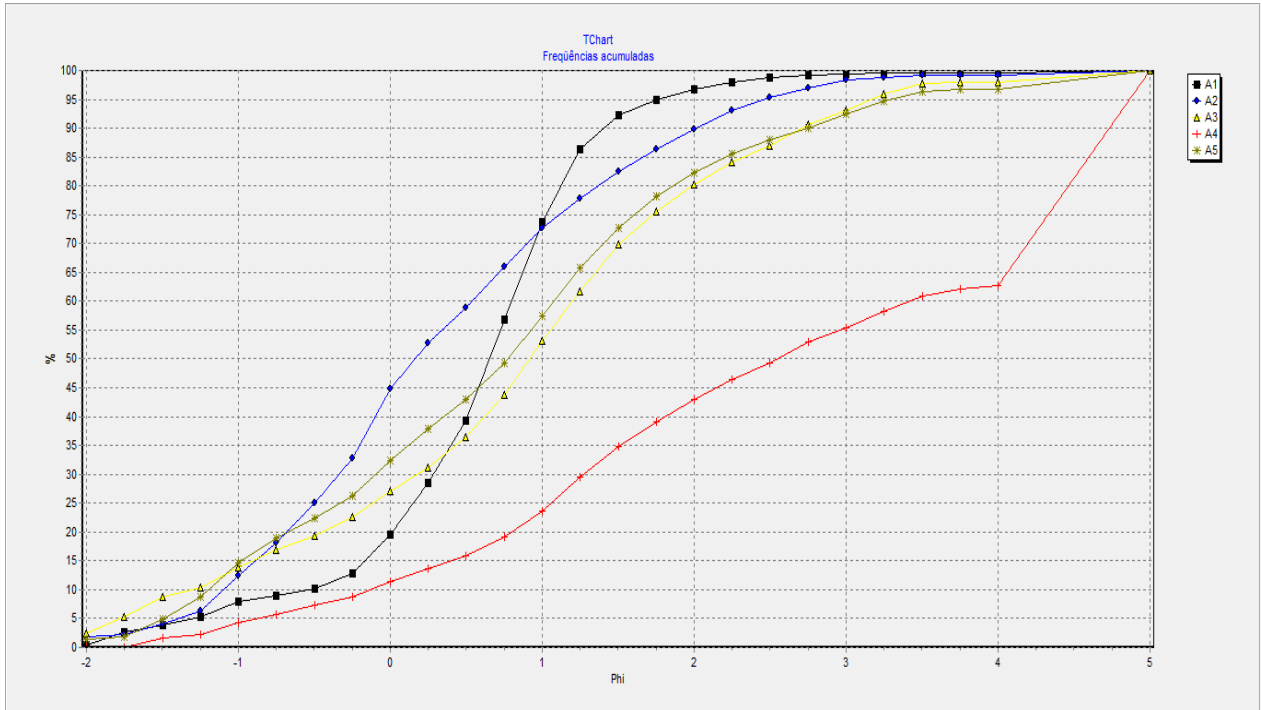


Histograma de frequências para a amostra PB 45

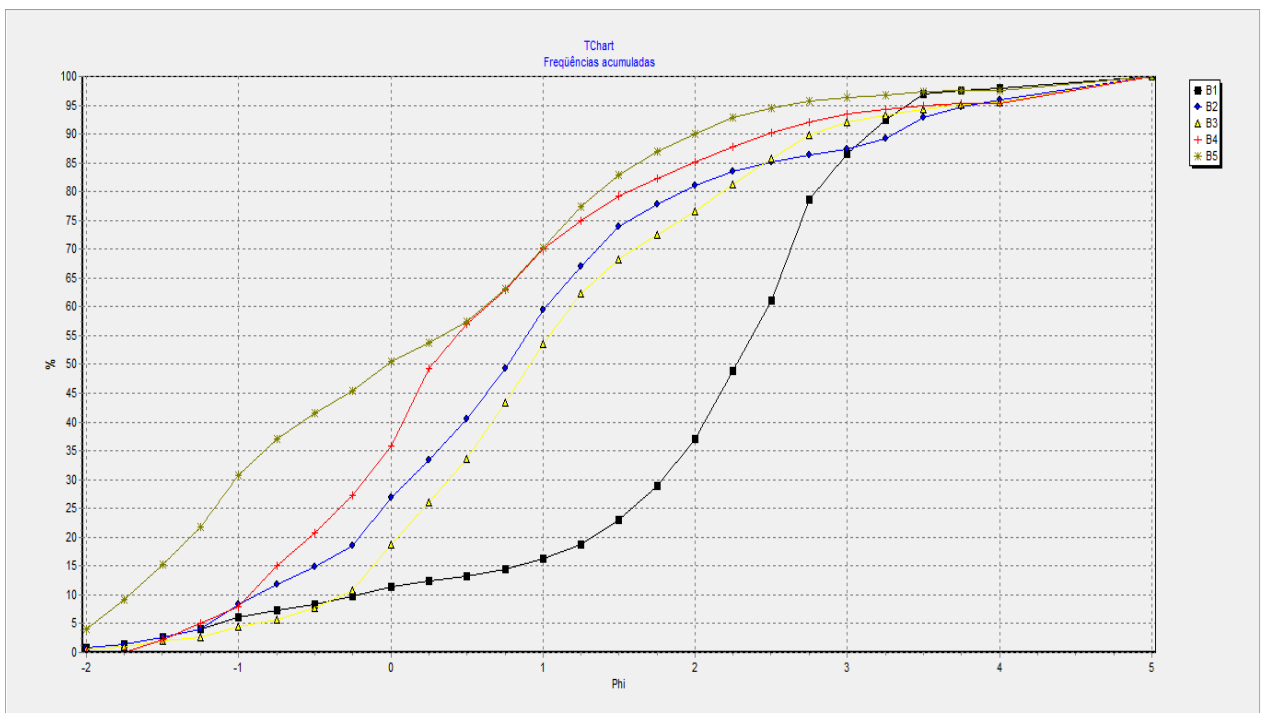


ANEXO E

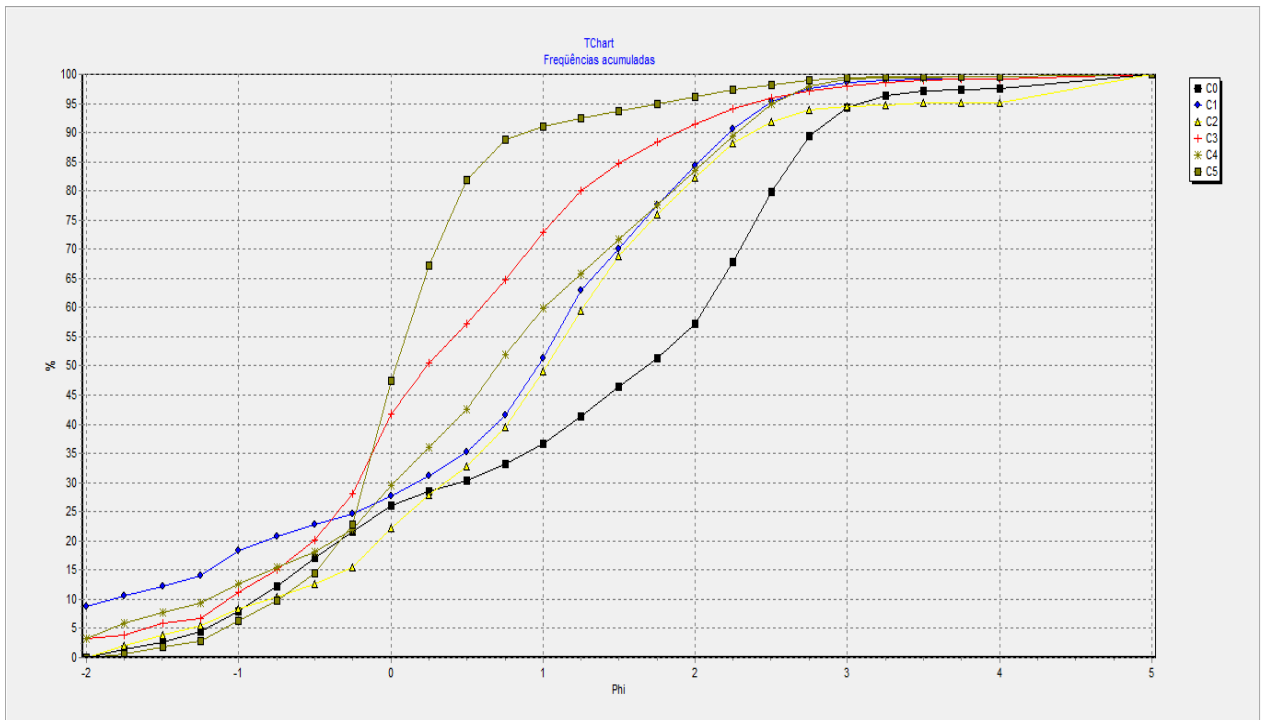
Frequências acumuladas para as amostras do perfil A



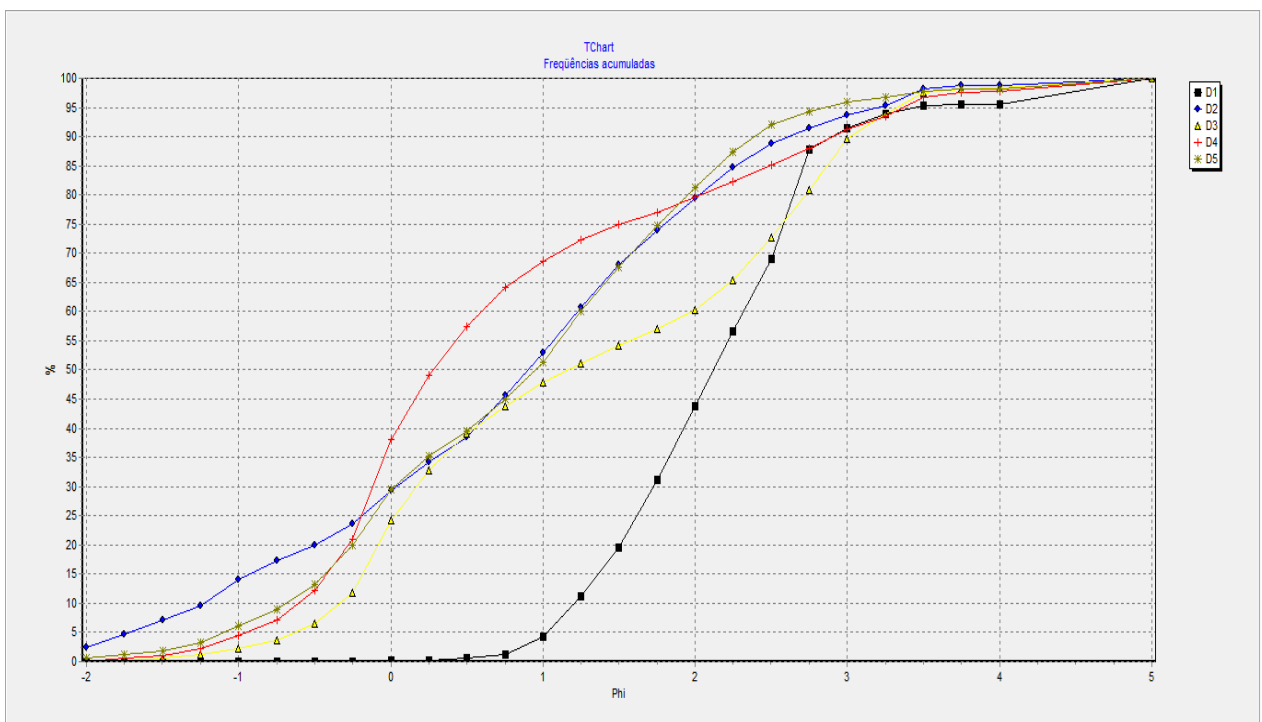
Frequências acumuladas para as amostras do perfil B



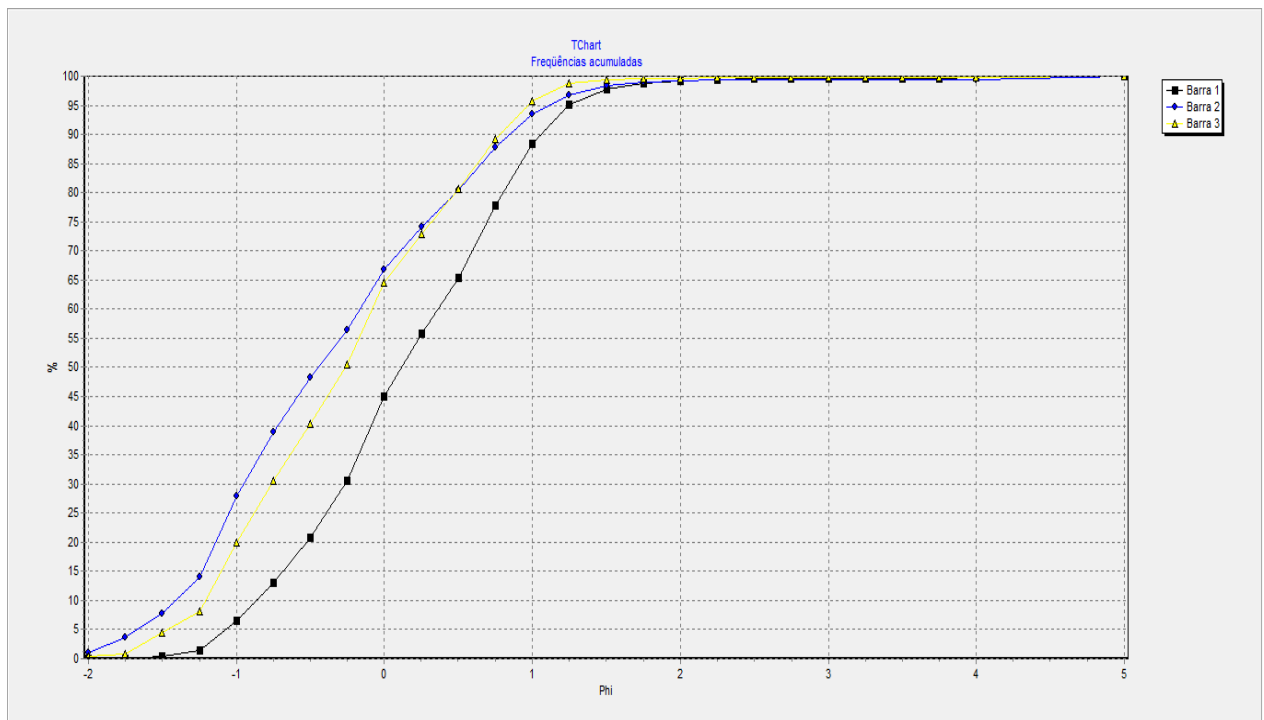
Frequências acumuladas para as amostras do perfil C



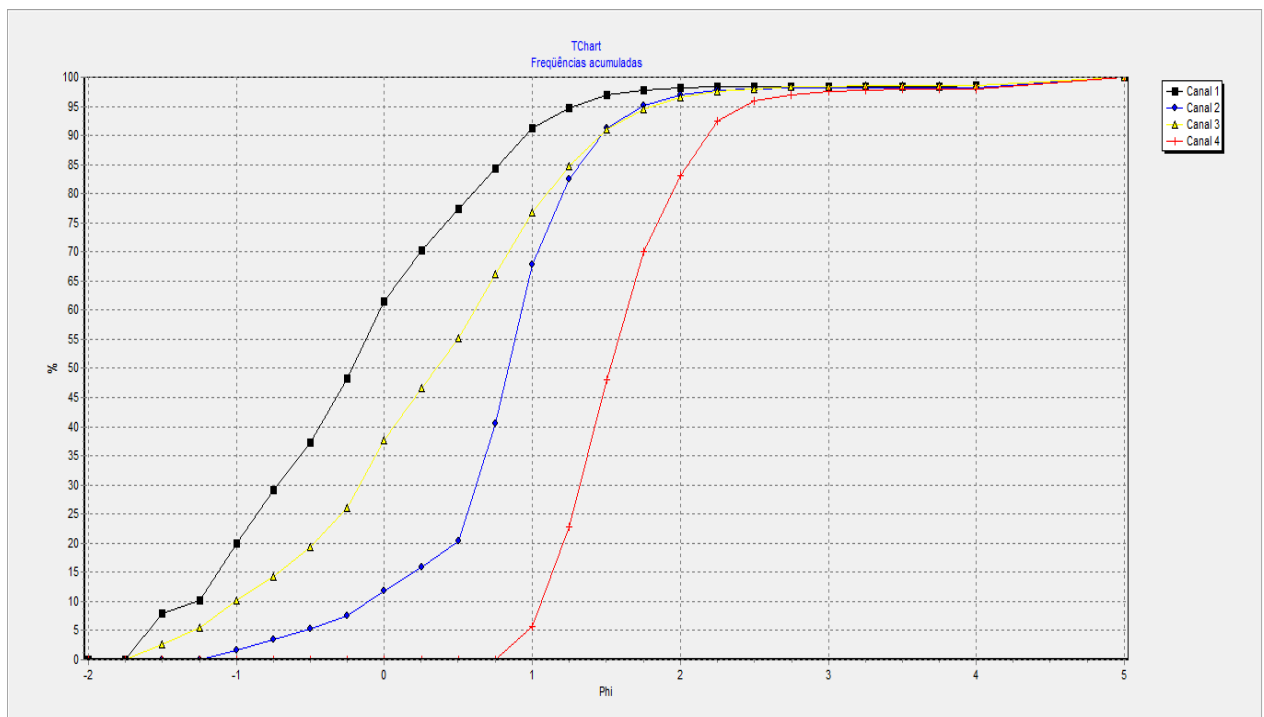
Frequências acumuladas para as amostras do perfil D



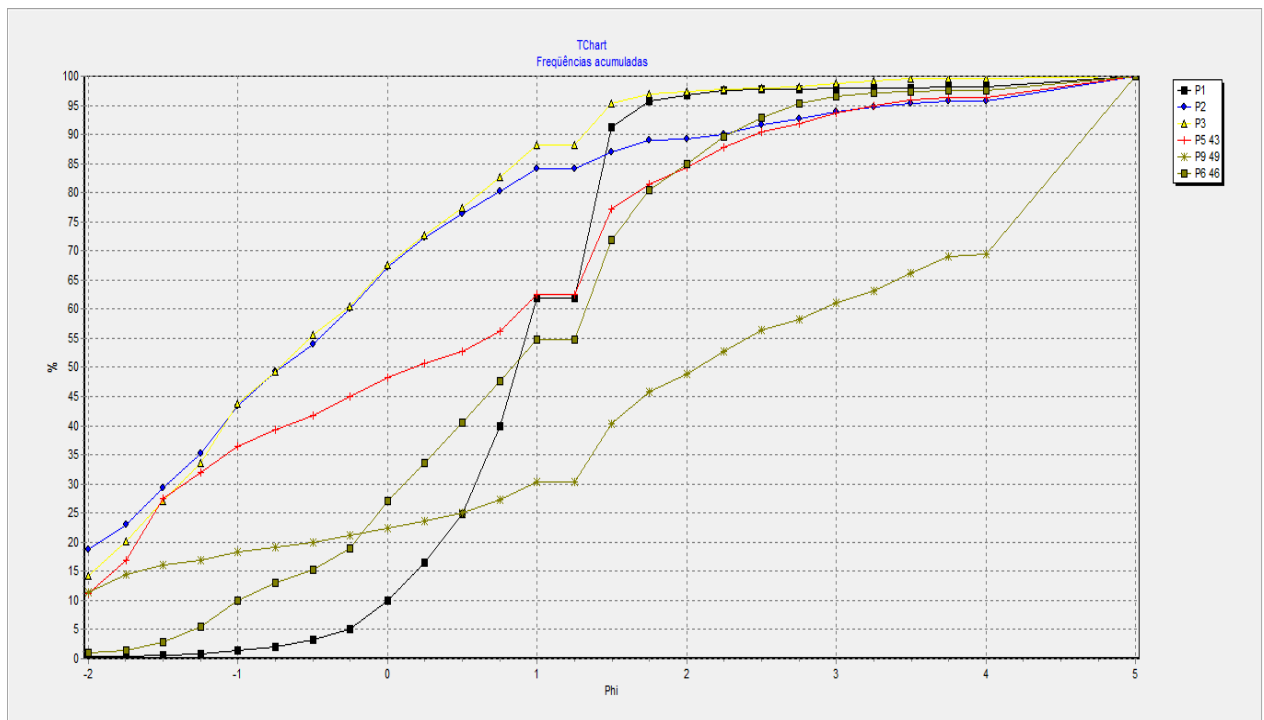
Frequências acumuladas para as amostras da barra formada na foz do Arroio Carahá



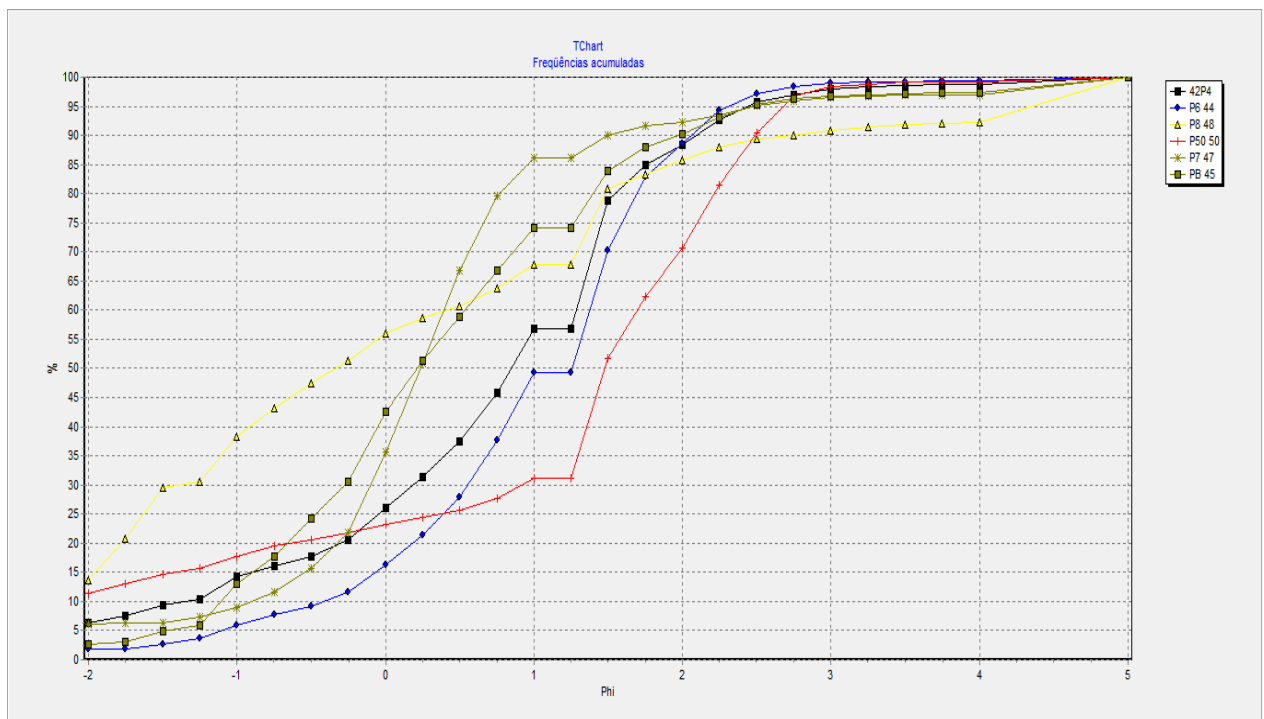
Frequências acumuladas para as amostras do canal do Arroio Carahá



Frequências acumuladas para amostras coletadas na Campanha 2

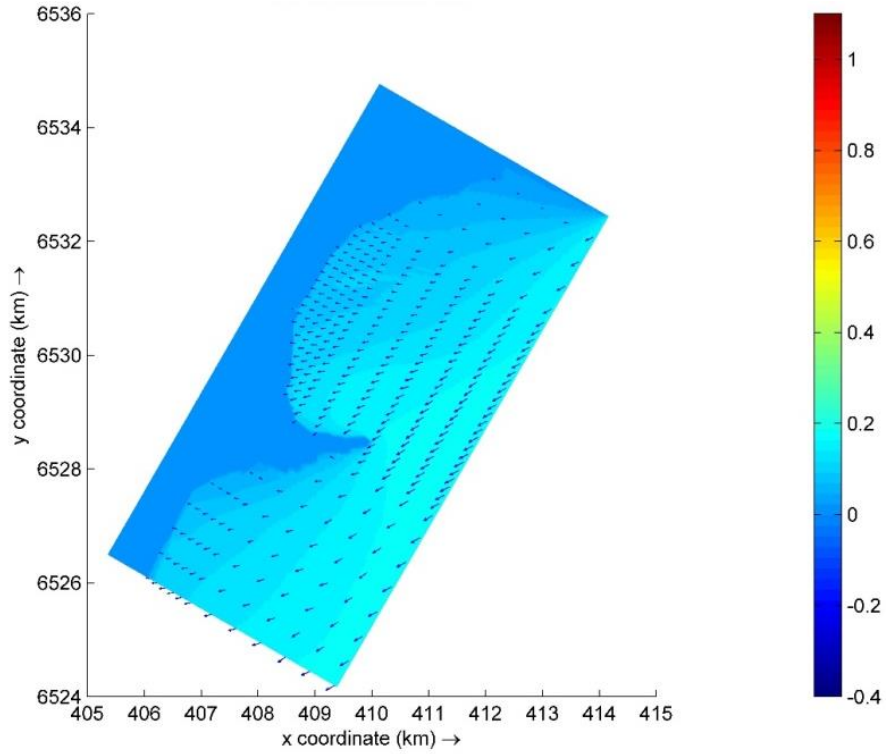


Frequências acumuladas para amostras coletadas na Campanha 2

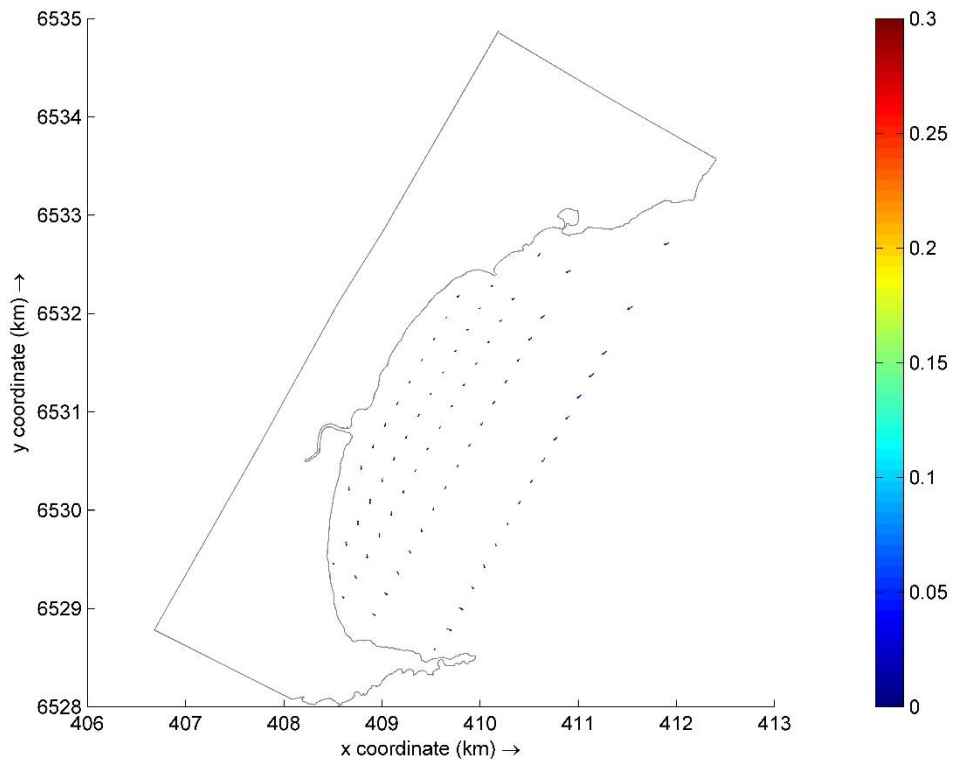


ANEXO F

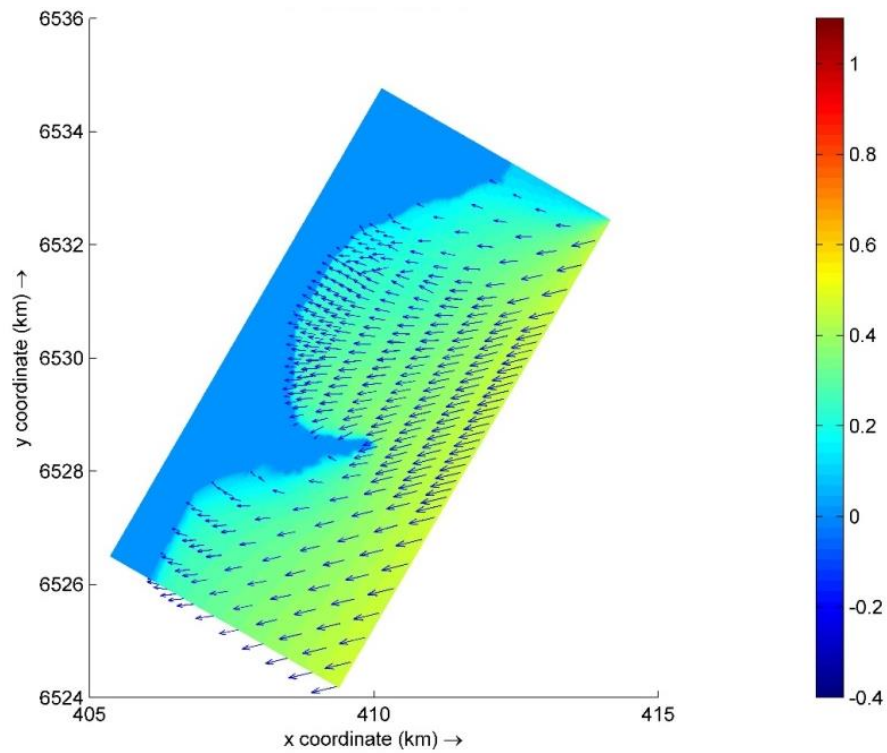
Cenário 1: $H_s = 0,17$ m, $T_p = 2,04$ s, $Dir = 61,66^\circ$. Escala de cores em metros.



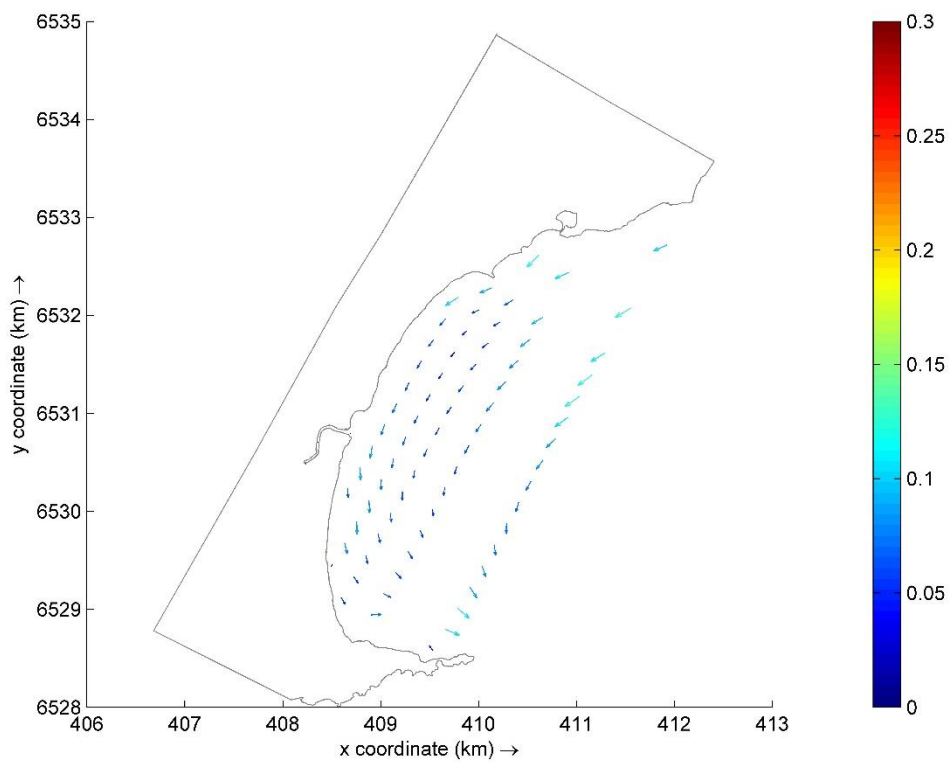
Correntes geradas através do cenário 1. Escala de cores em m/s.



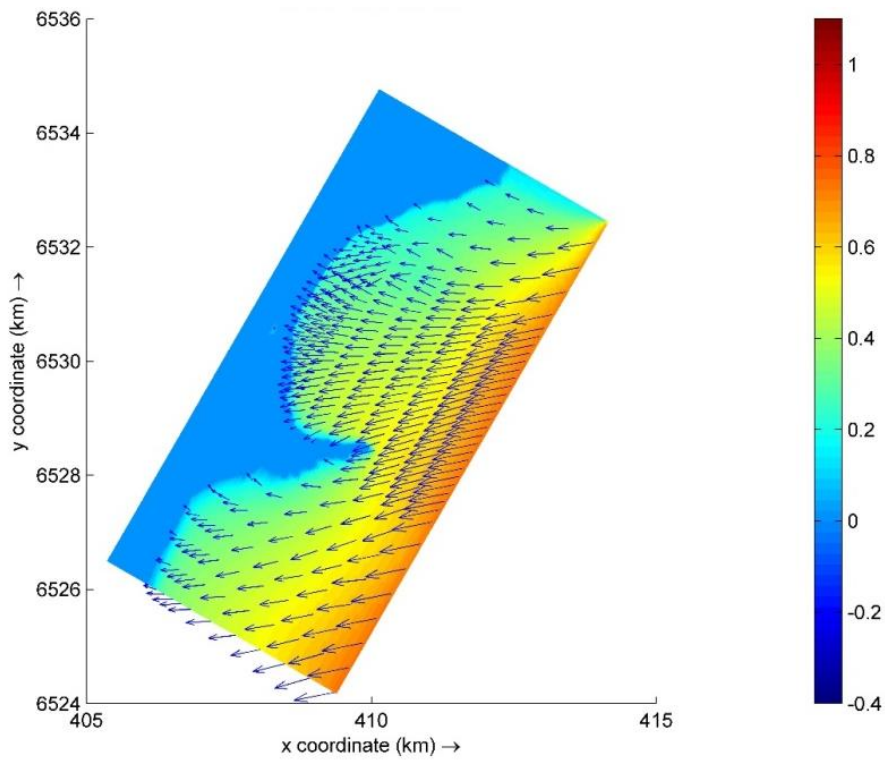
Cenário 2: $H_s = 0,45$ m, $T_p = 2,87$ s, $Dir = 76,38^\circ$. Escala de cores em metros.



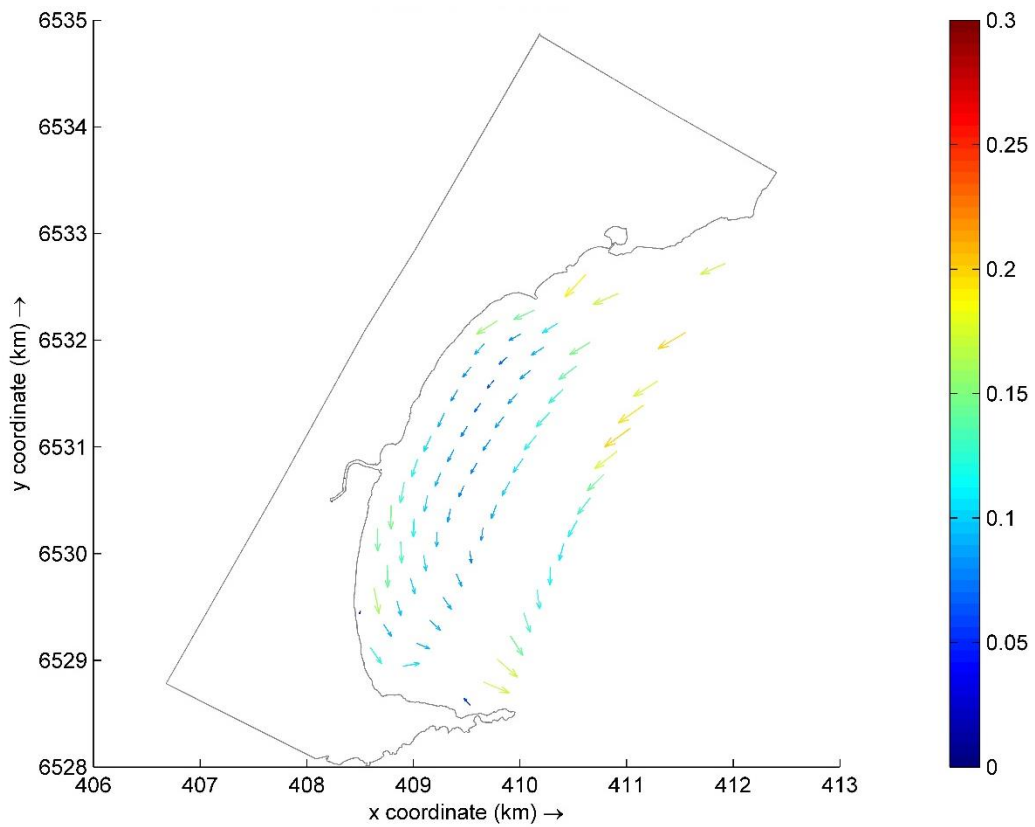
Correntes geradas através do cenário 2. Escala de cores em m/s.



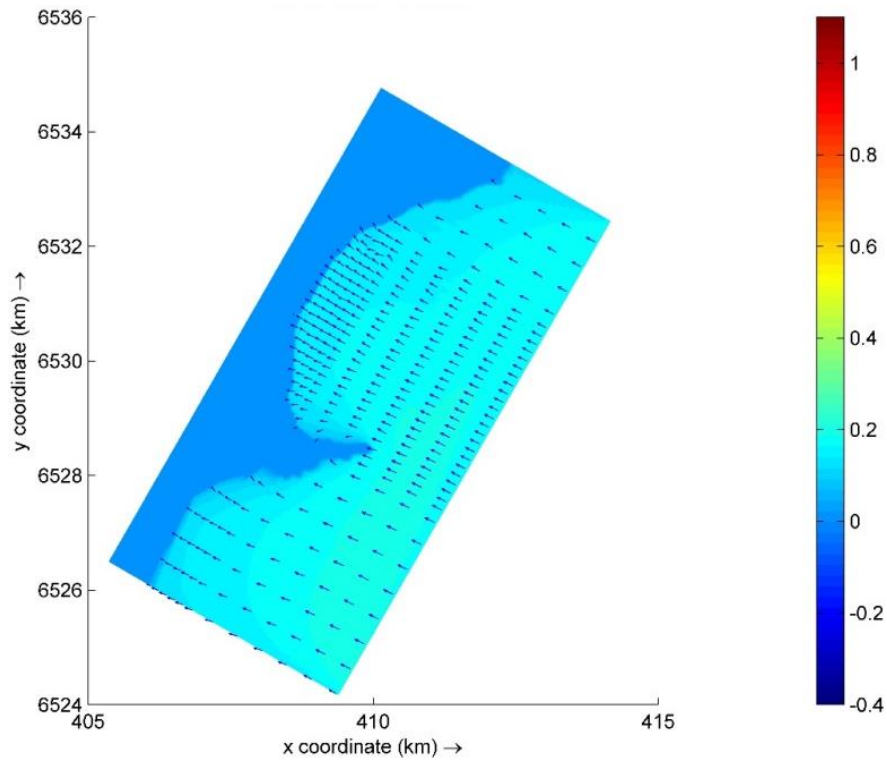
Cenário 3: $H_s = 0,71$ m, $T_p = 3,36$ s, $Dir = 78,01^\circ$. Escala de cores em metros.



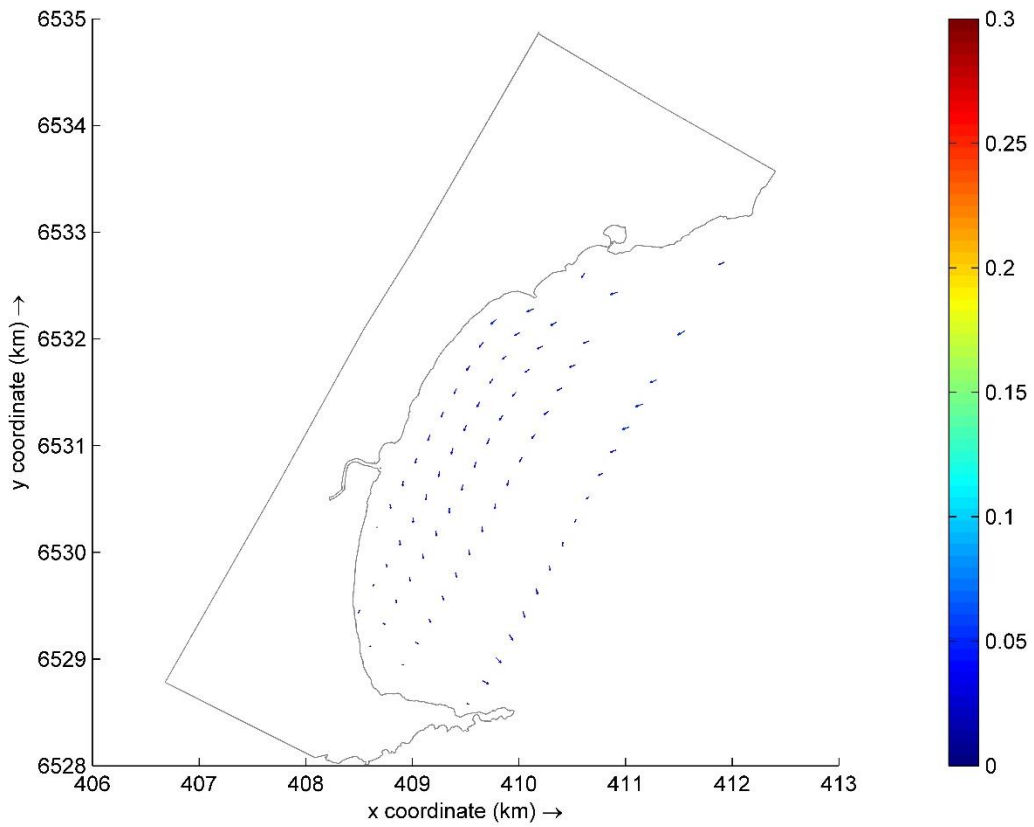
Correntes geradas através do cenário 3. Escala de cores em m/s.



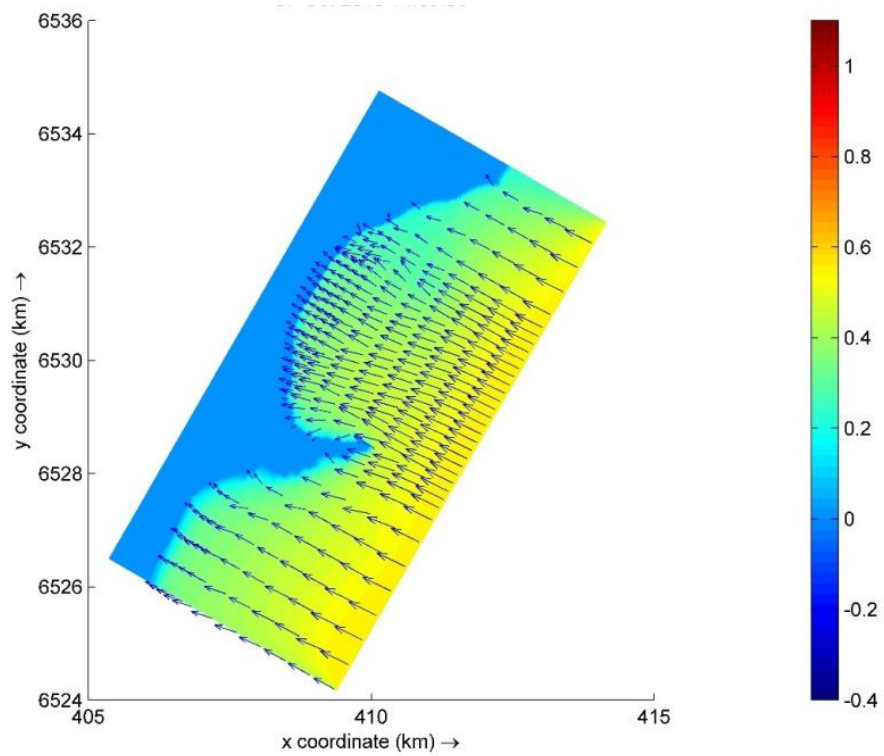
Cenário 4: $H_s = 0,18$ m, $T_p = 2,16$ s, $Dir = 117,5$. Escala de cores em metros.



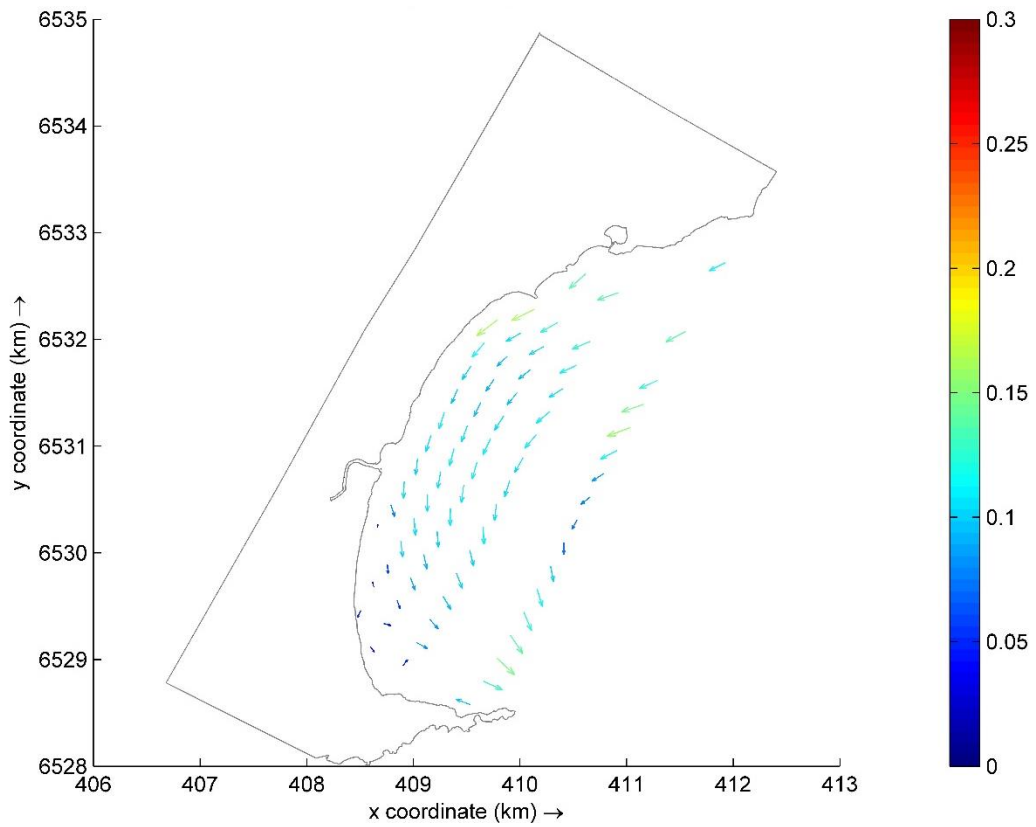
Correntes geradas através do cenário 4. Escala de cores em m/s.



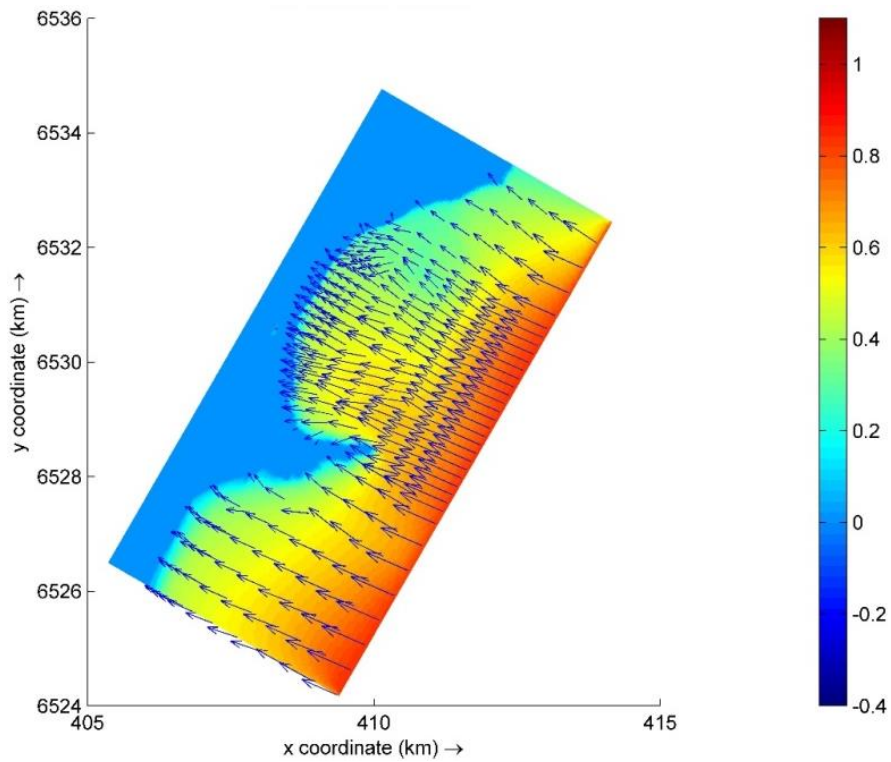
Cenário 5: $H_s = 0,54$ m, $T_p = 3,24$ s, $Dir = 116,8^\circ$. Escala de cores em metros.



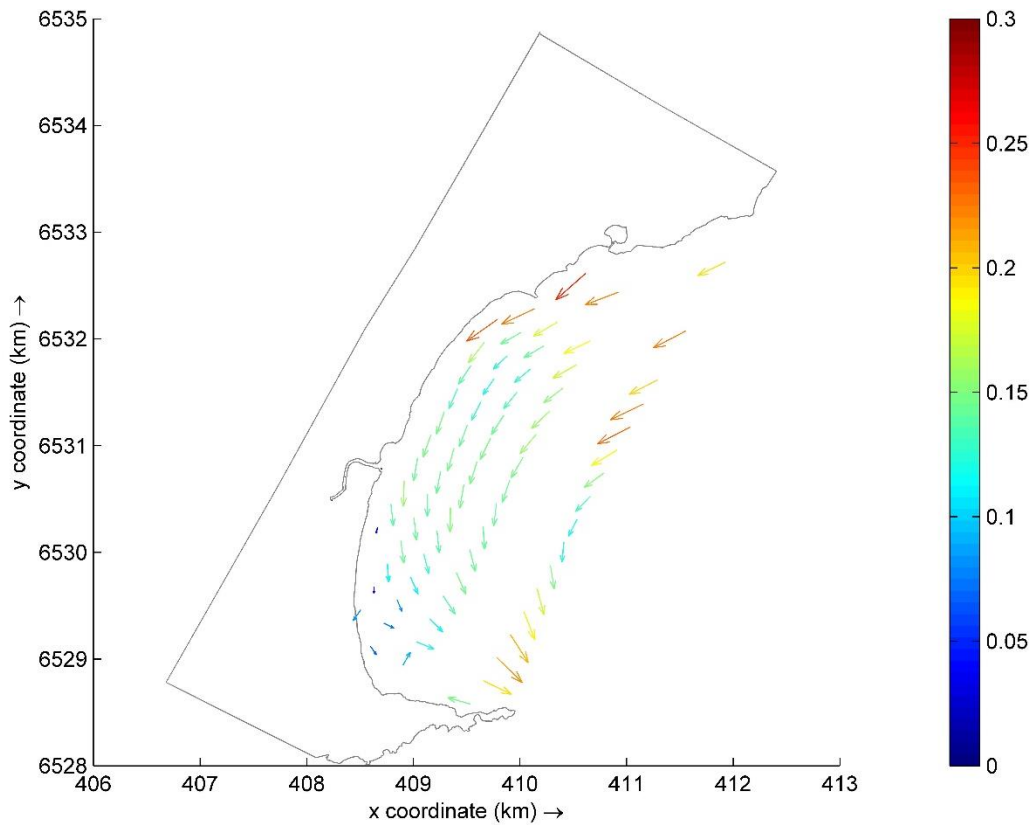
Correntes geradas através do cenário 5. Escala de cores em m/s.



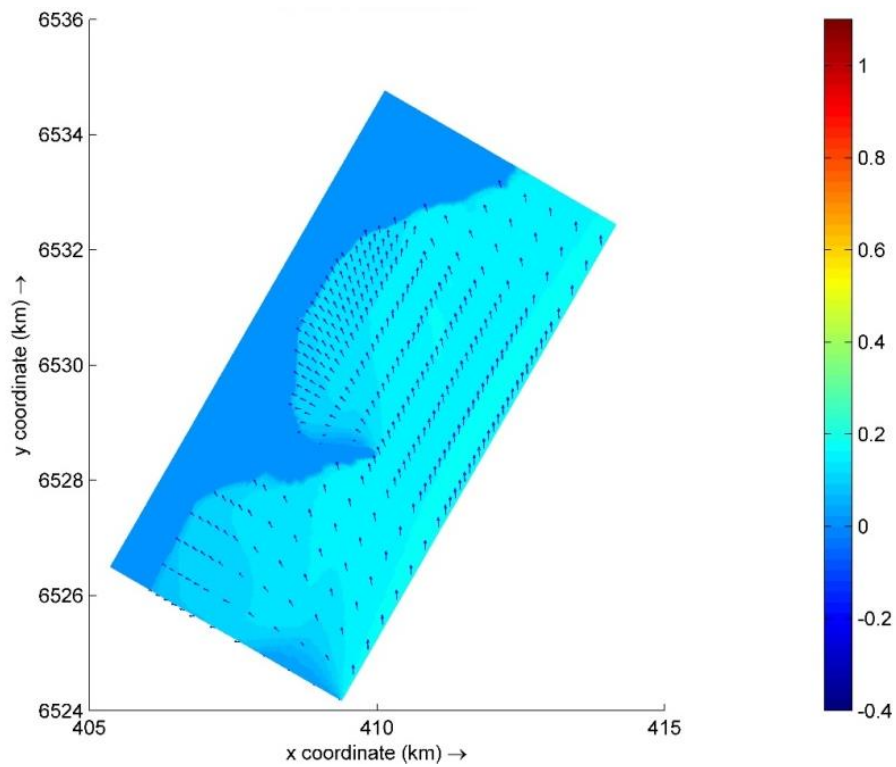
Cenário 6: $H_s = 0,82$ m, $T_p = 3,80$ s, $Dir = 113,7^\circ$. Escala de cores em metros.



Correntes geradas através do cenário 6. Escala de cores em m/s.



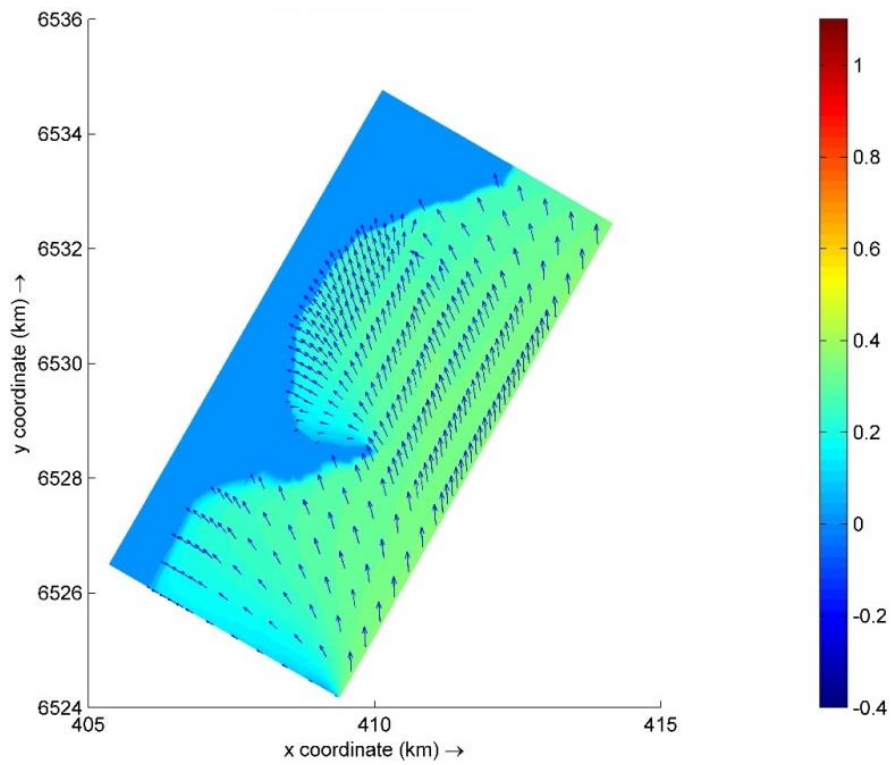
Cenário 7: $H_s = 0,18$ m, $T_p = 2,21$ s, $Dir = 117,6^\circ$. Escala de cores em metros.



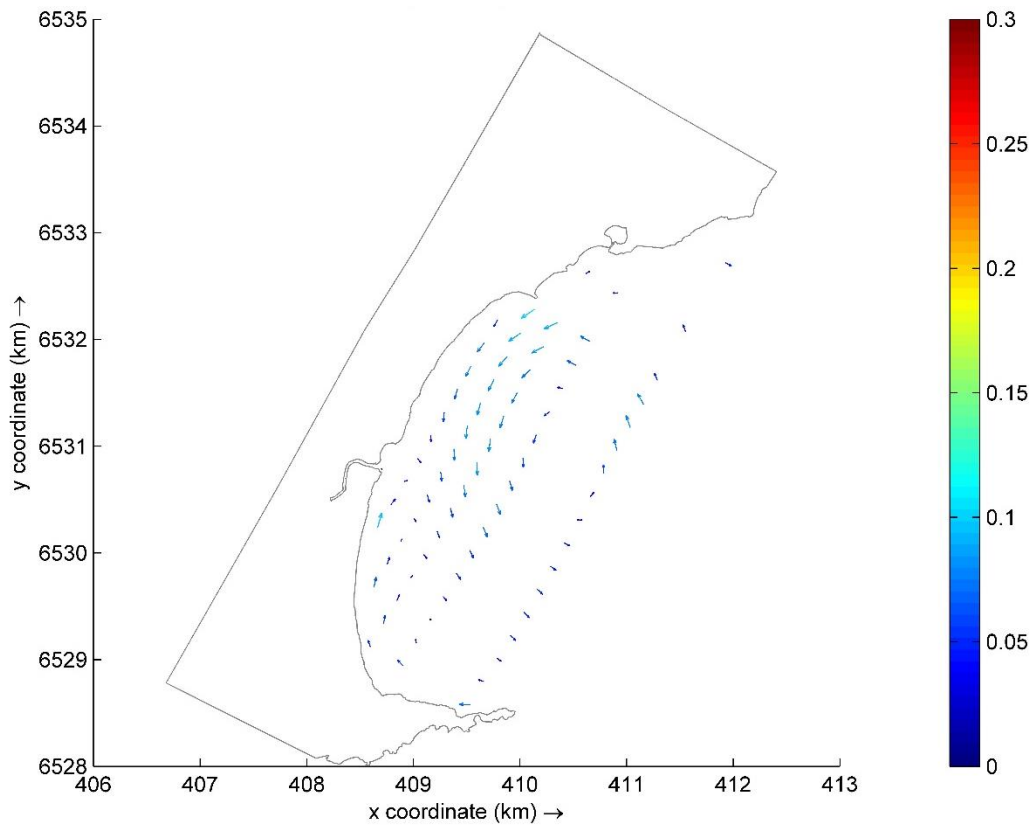
Correntes geradas através do cenário 7. Escala de cores em m/s.



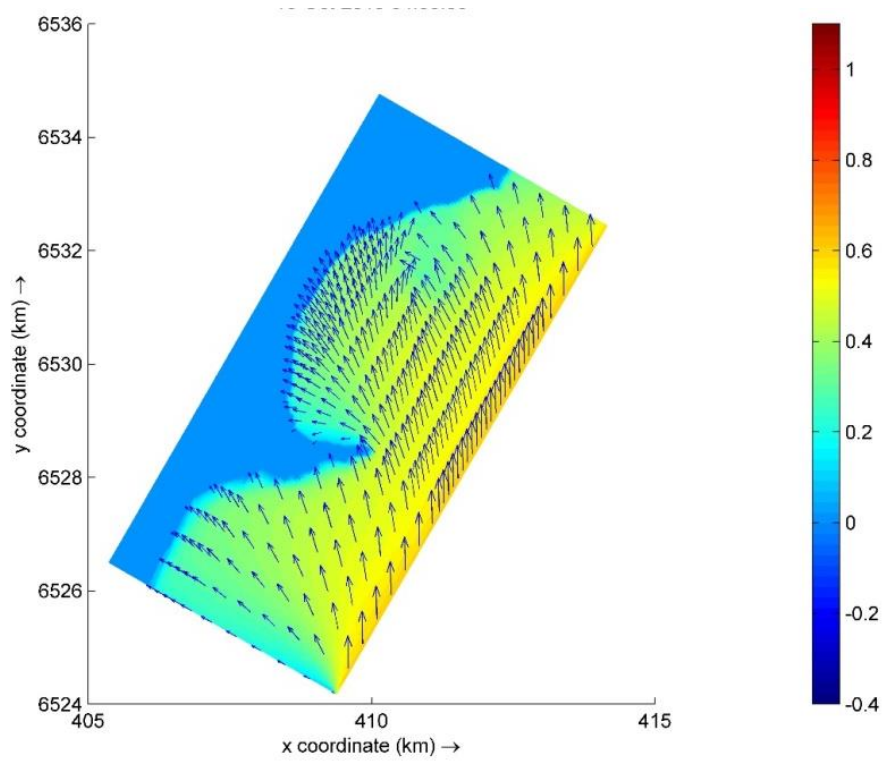
Cenário 8: $H_s = 0,38$ m, $T_p = 2,89$ s, $Dir = 177,0^\circ$. Escala de cores em metros.



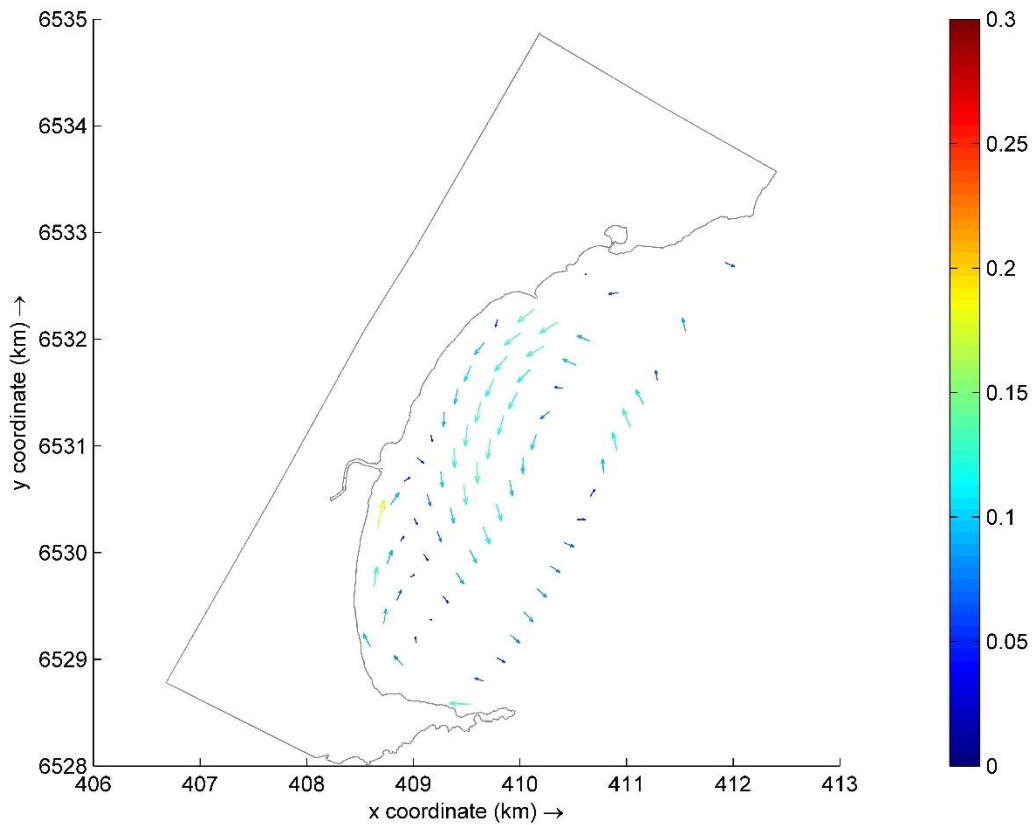
Correntes geradas através do cenário 8. Escala de cores em m/s.



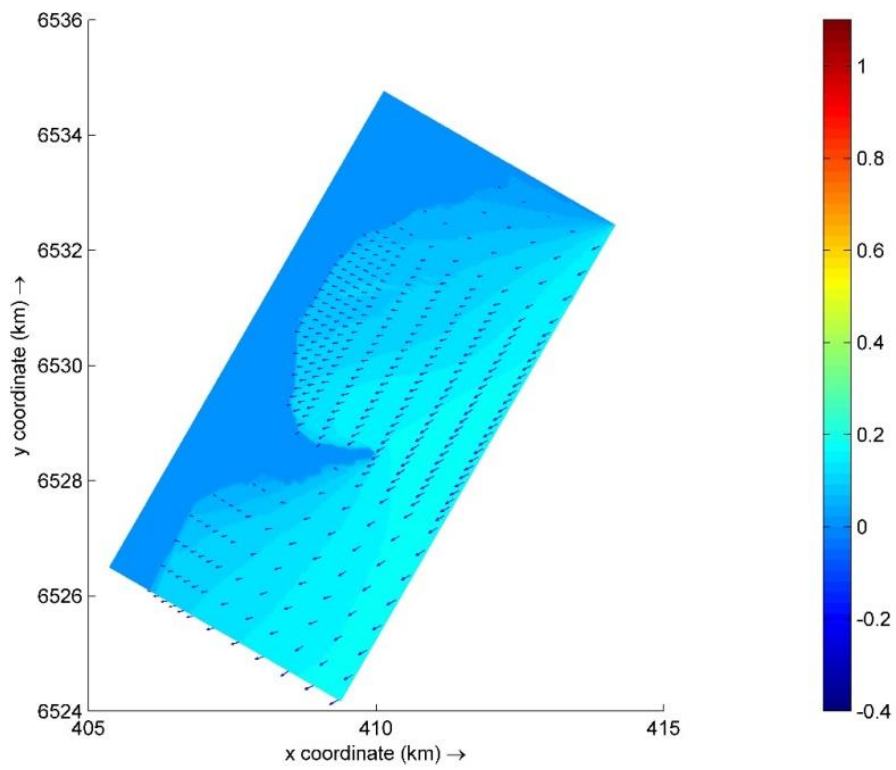
Cenário 9: $H_s = 0,64$ m, $T_p = 3,65$ s, $Dir = 179,4^\circ$. Escala de cores em metros.



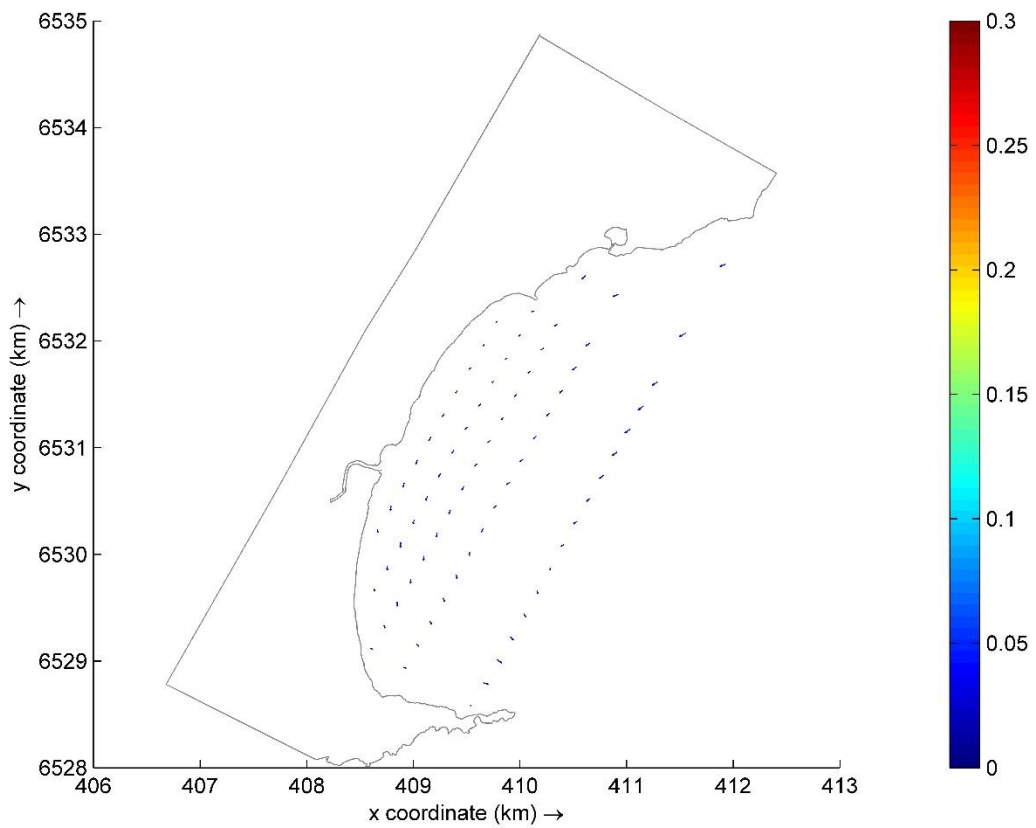
Correntes geradas através do cenário 9. Escala de cores em m/s.



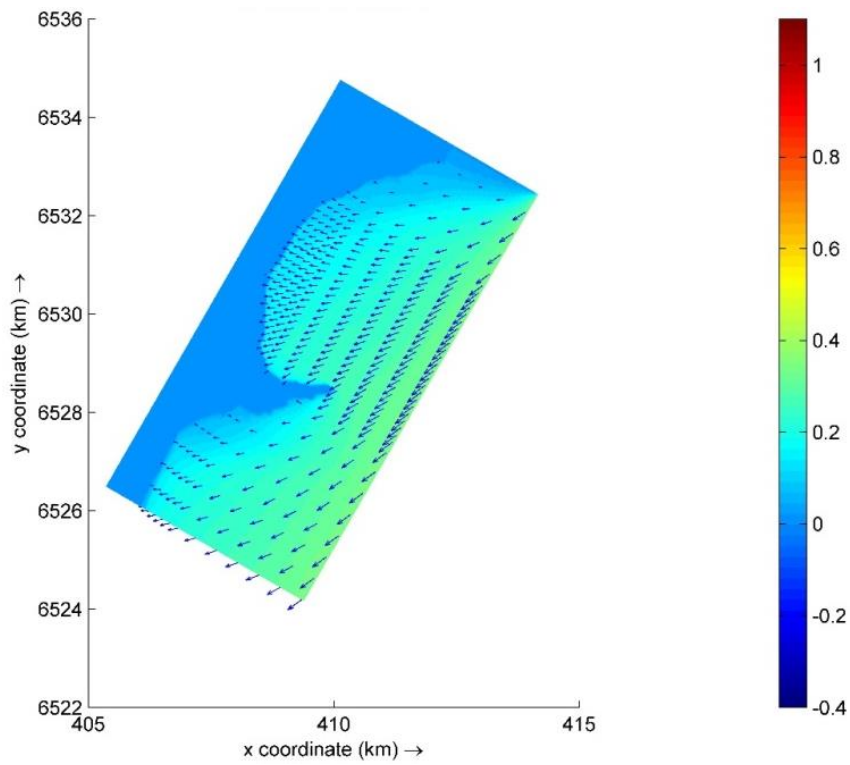
Cenário 10: $H_s = 0,17$ m, $T_p = 2,05$ s, $Dir = 61,2^\circ$. Escala de cores em metros.



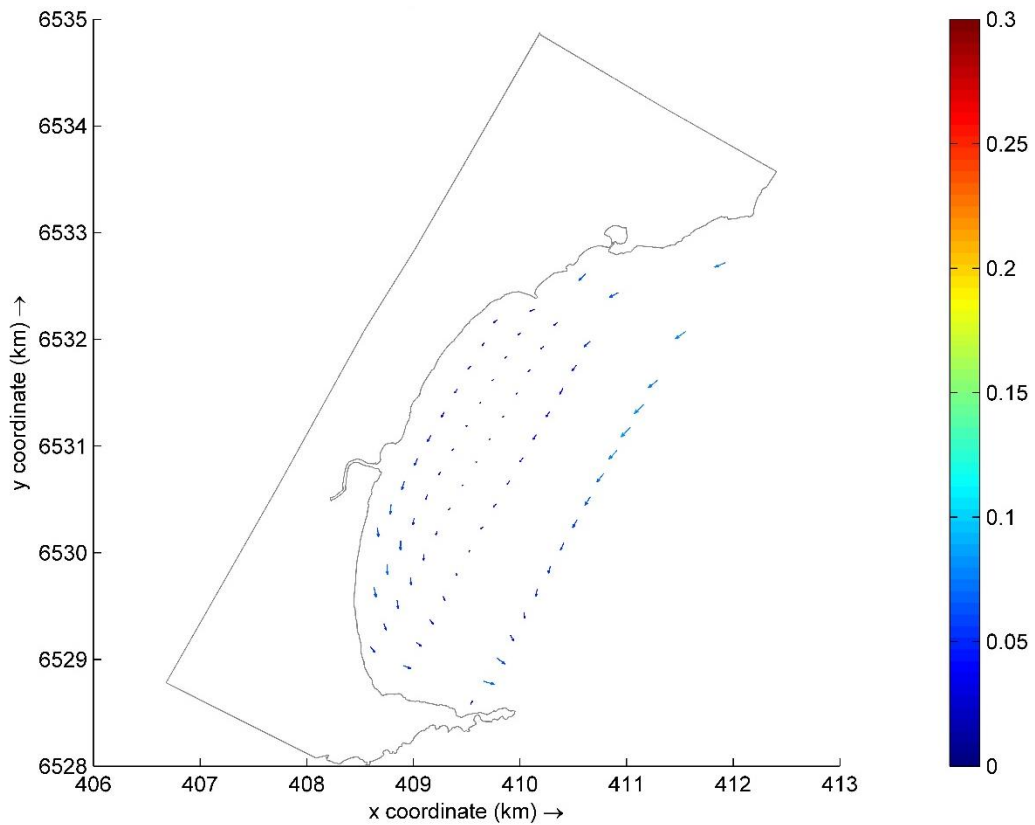
Correntes geradas através do cenário 10. Escala de cores em m/s.



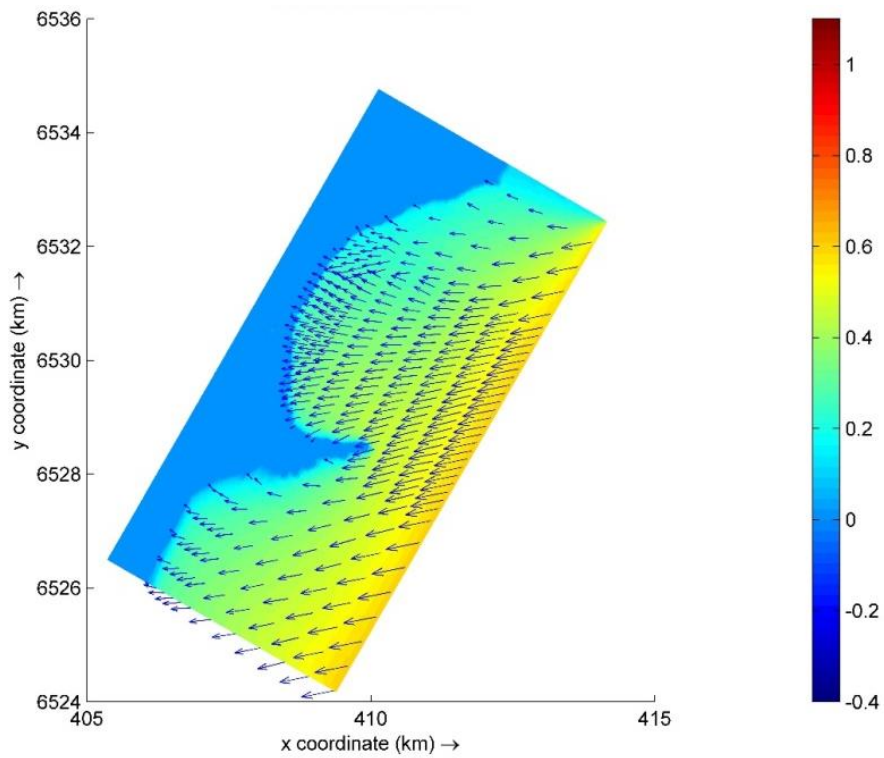
Cenário 11: $H_s = 0,35$ m, $T_p = 2,54$ s, Dir $53,8^\circ$. Escala de cores em metros.



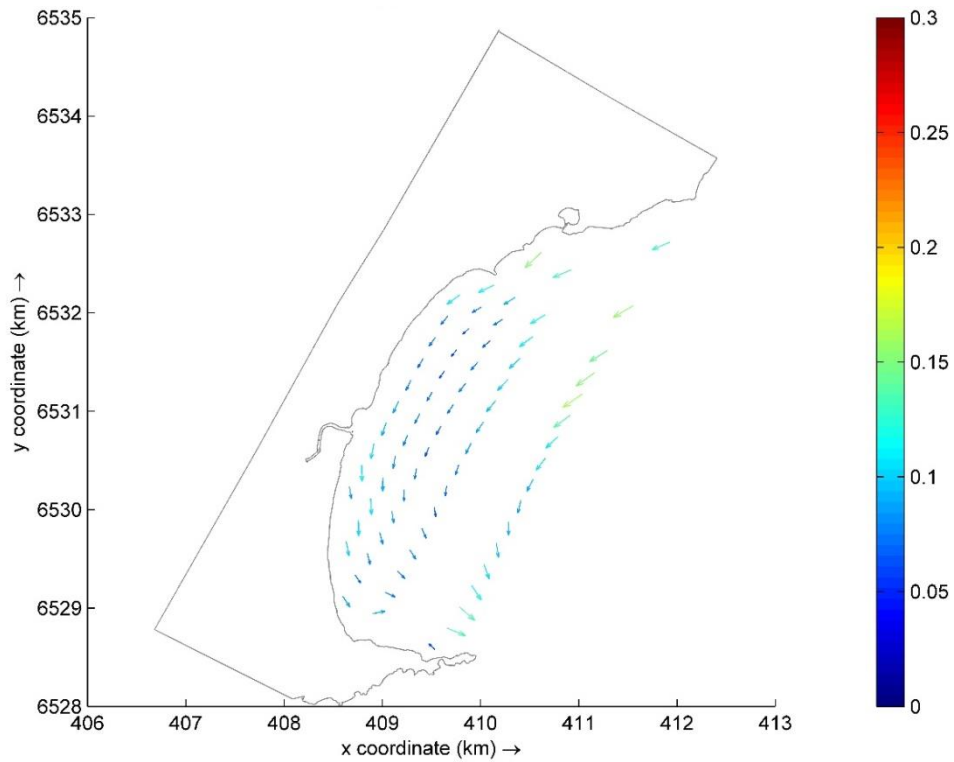
Correntes geradas através do cenário 11. Escala de cores em m/s.



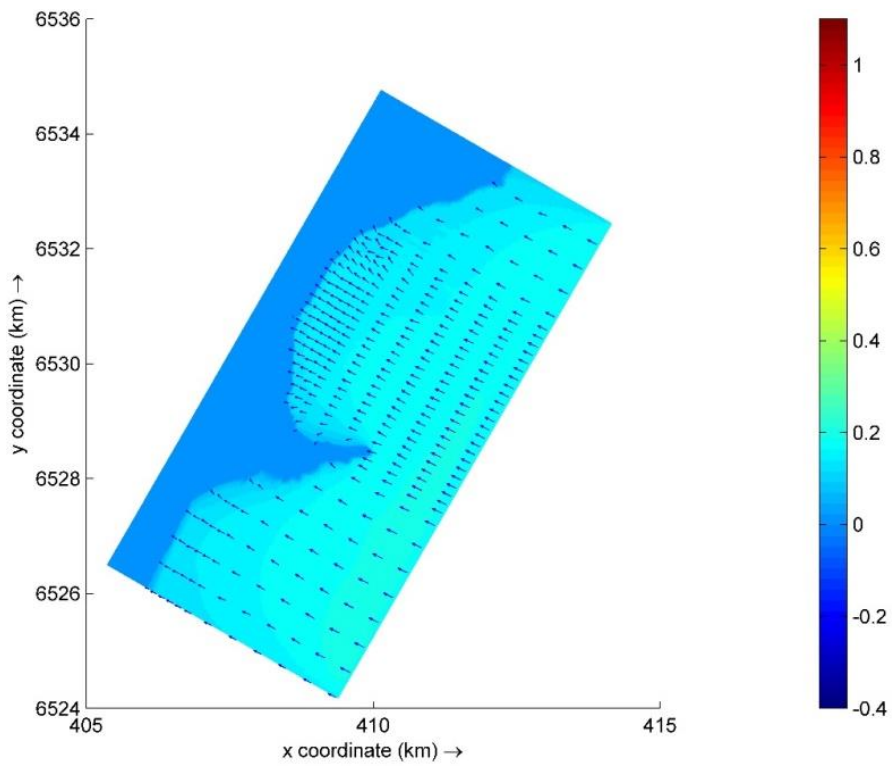
Cenário 12: $H_s = 0,57$ m, $T_p = 3,13$ s, $Dir = 78,4^\circ$. Escala de cores em metros.



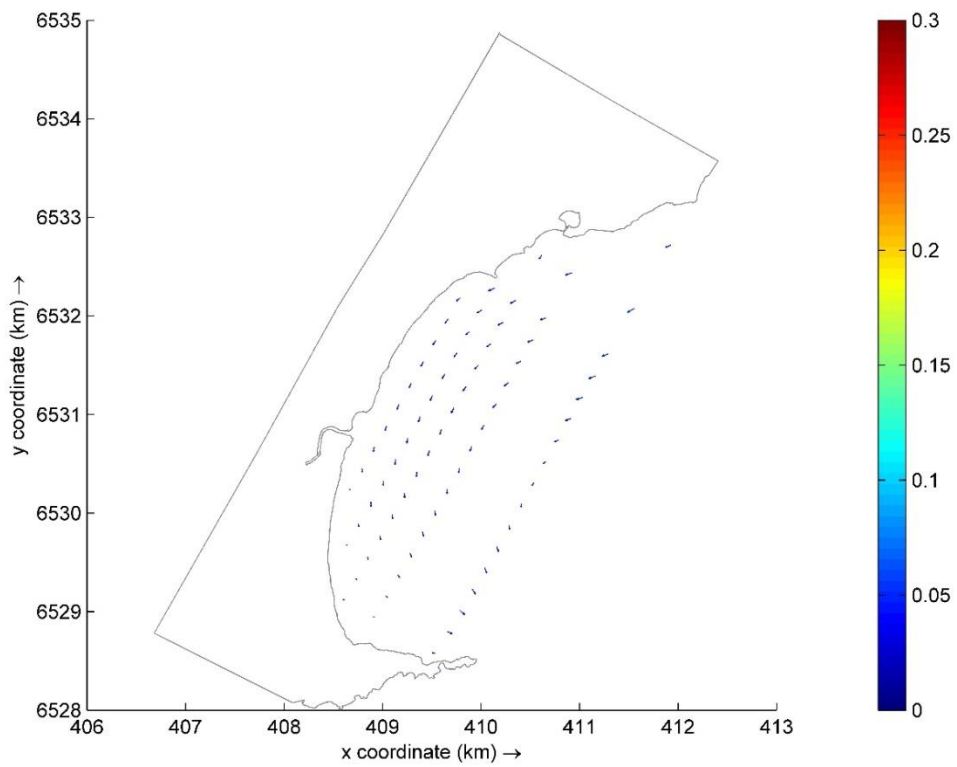
Correntes geradas através do cenário 12. Escala de cores em m/s.



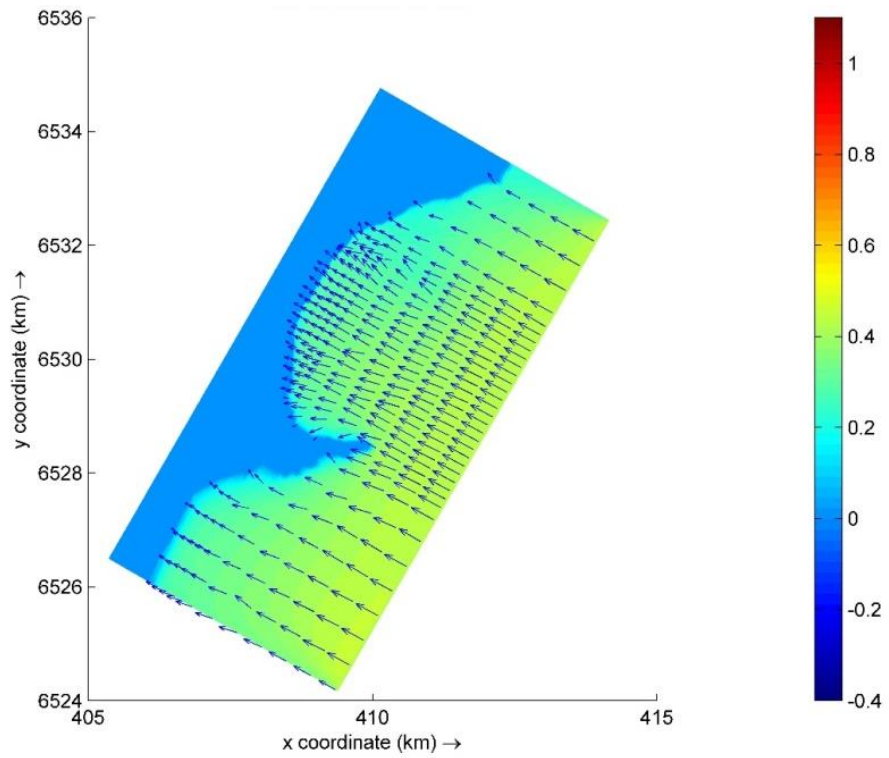
Cenário 13: $H_s = 0,18$ m, $T_p = 2,12$ s, $Dir = 116,7^\circ$. Escala de cores em metros.



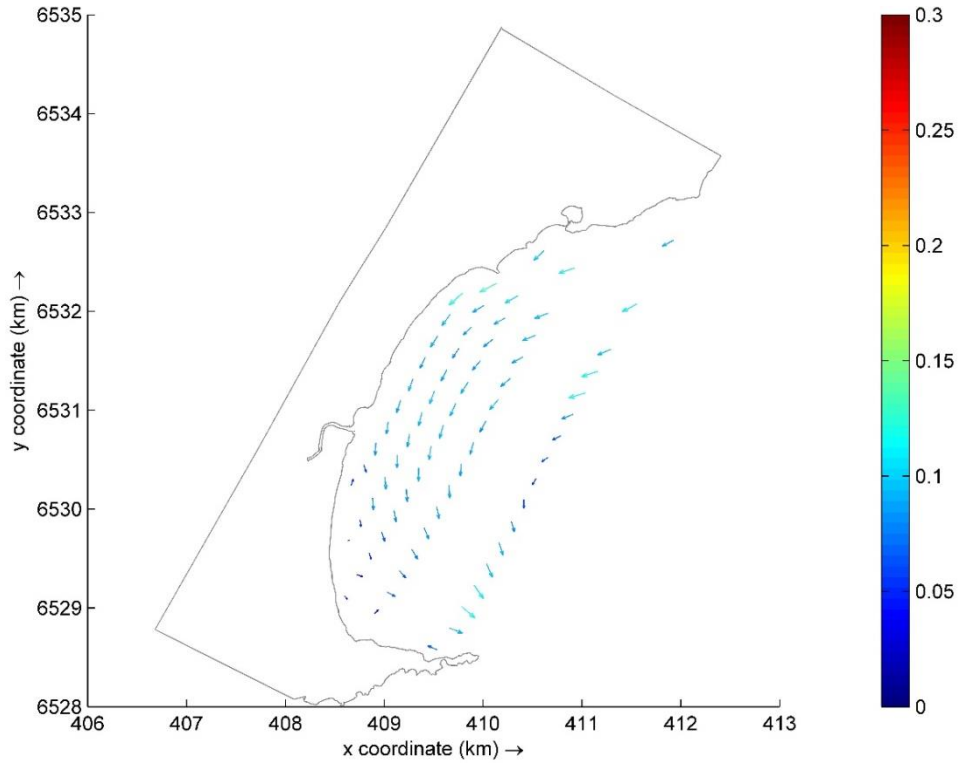
Correntes geradas através do cenário 13. Escala de cores em m/s.



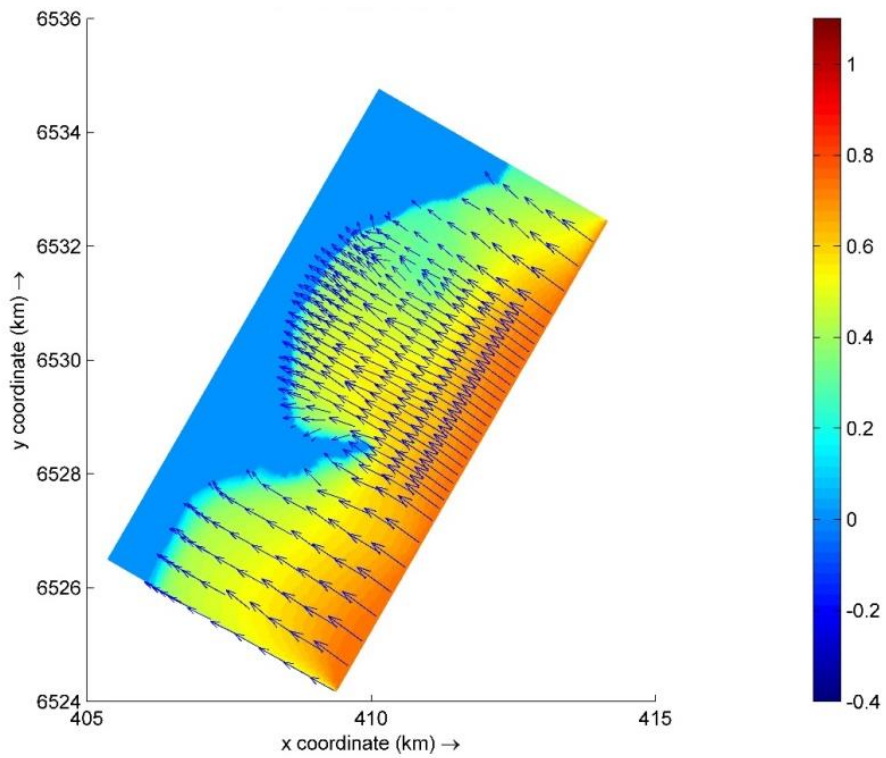
Cenário 14: $H_s = 0,43$ m, $T_p = 2,99$ s, $Dir = 119,9^\circ$. Escala de cores em metros.



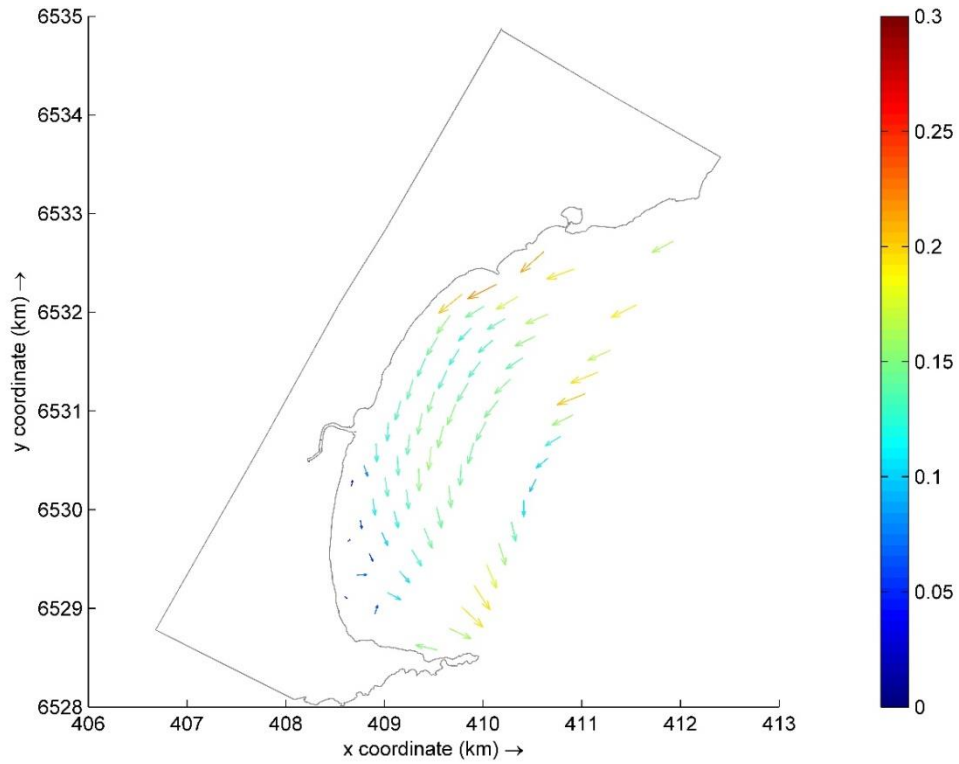
Correntes geradas através do cenário 14. Escala de cores em m/s.



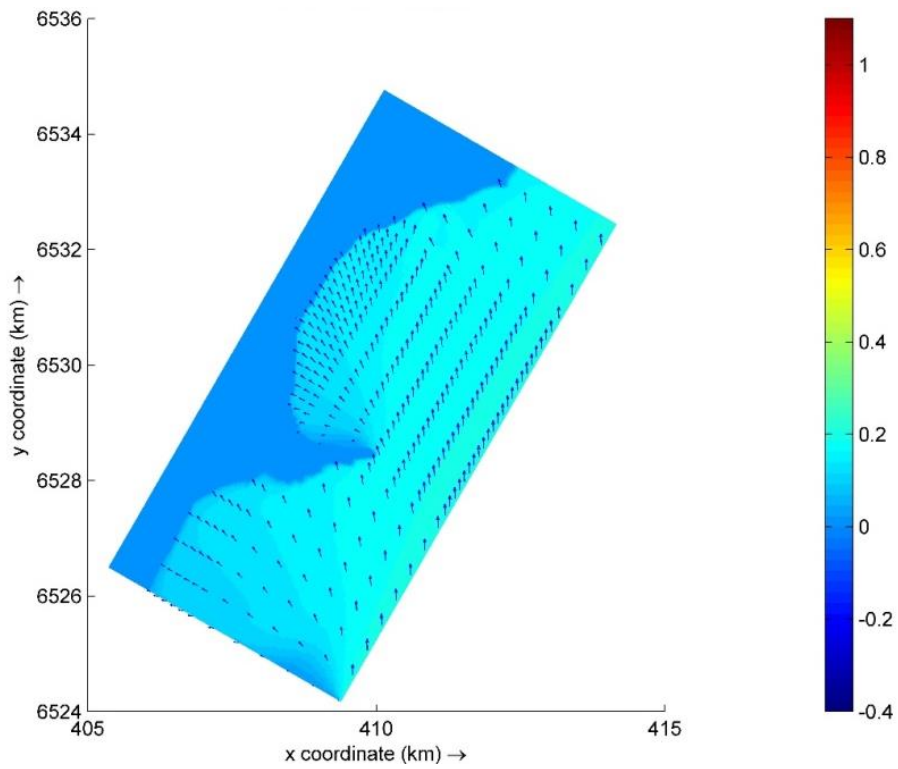
Cenário 15: $H_s = 0,74$ m, $T_p = 3,75$ s, $Dir = 127,4^\circ$. Escala de cores em metros.



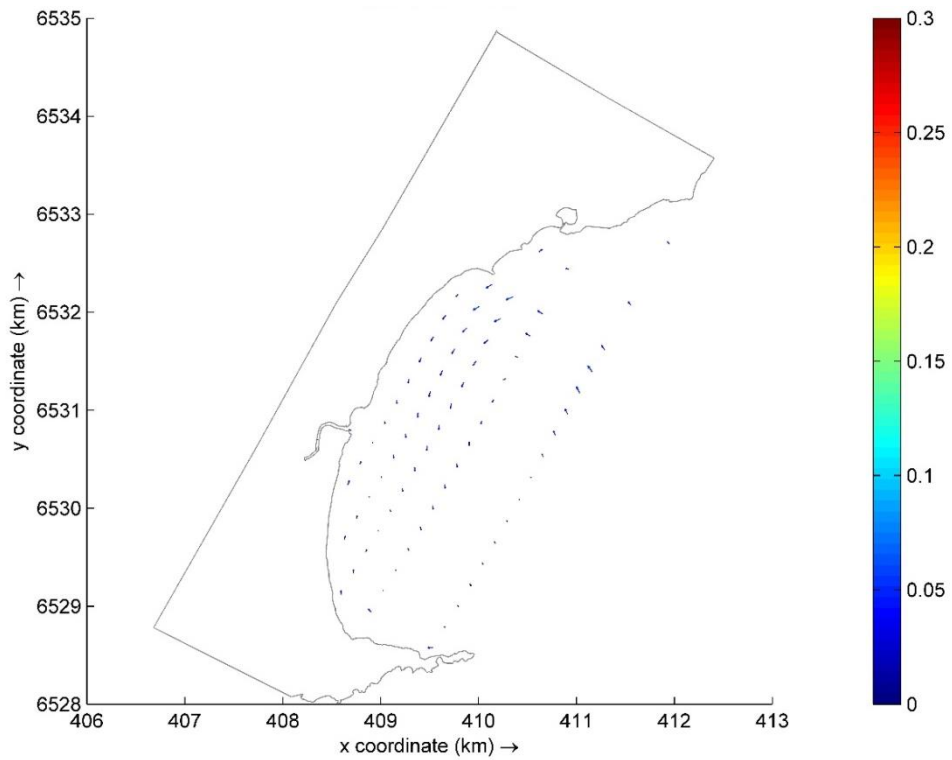
Correntes geradas através do cenário 15. Escala de cores em m/s.



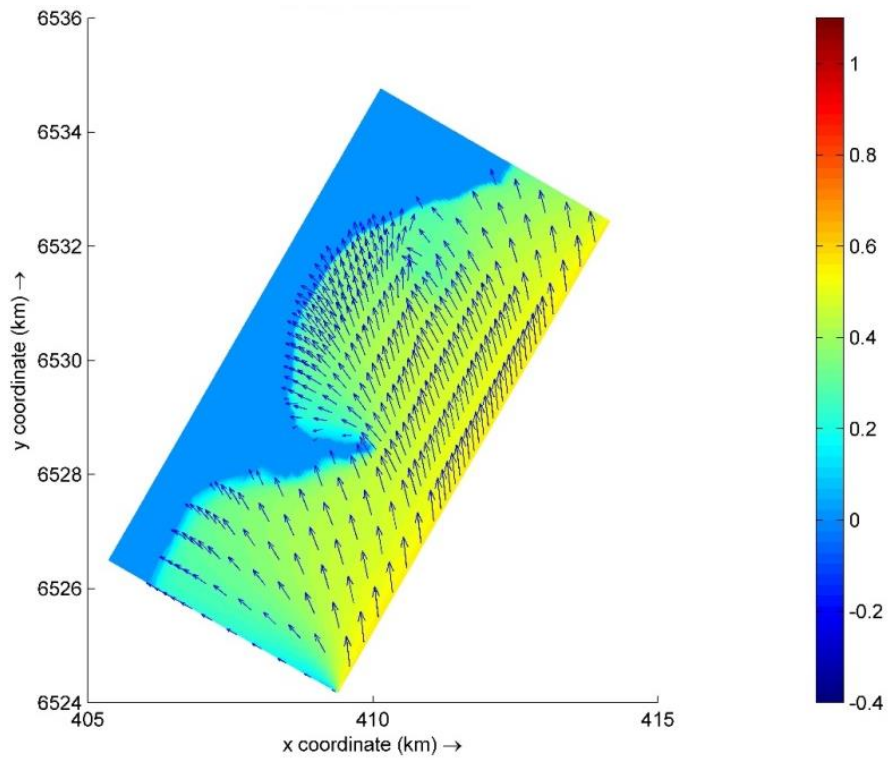
Cenário 16: $H_s = 0,21\text{m}$, $T_p = 2,27\text{ s}$, $\text{Dir} = 179,0^\circ$. Escala de cores em metros.



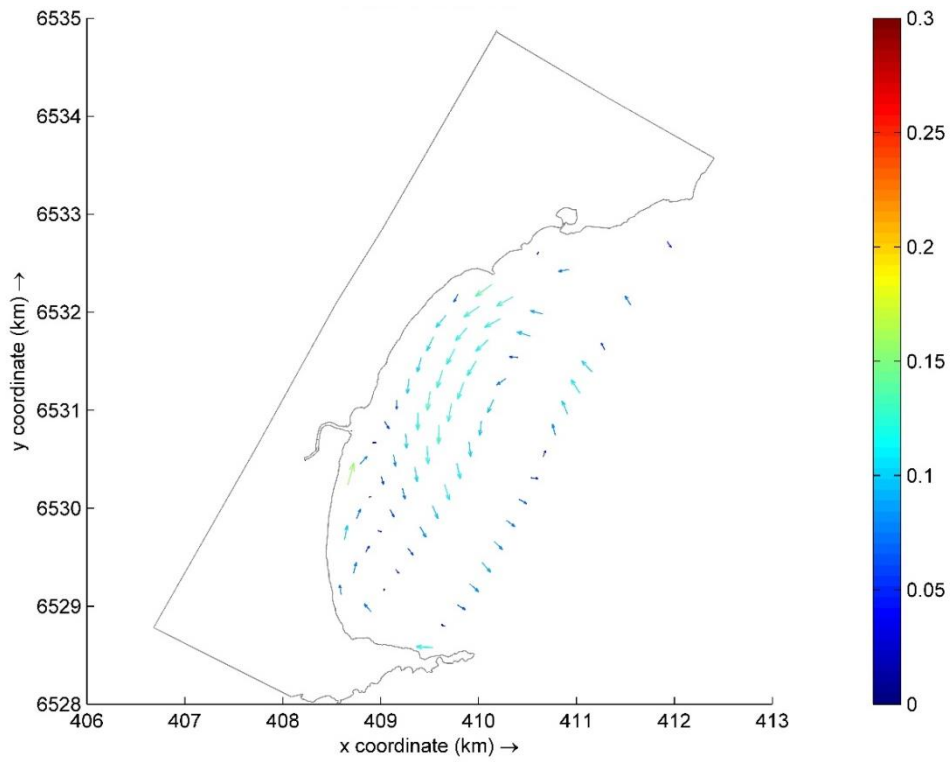
Correntes geradas através do cenário 16. Escala de cores em m/s.



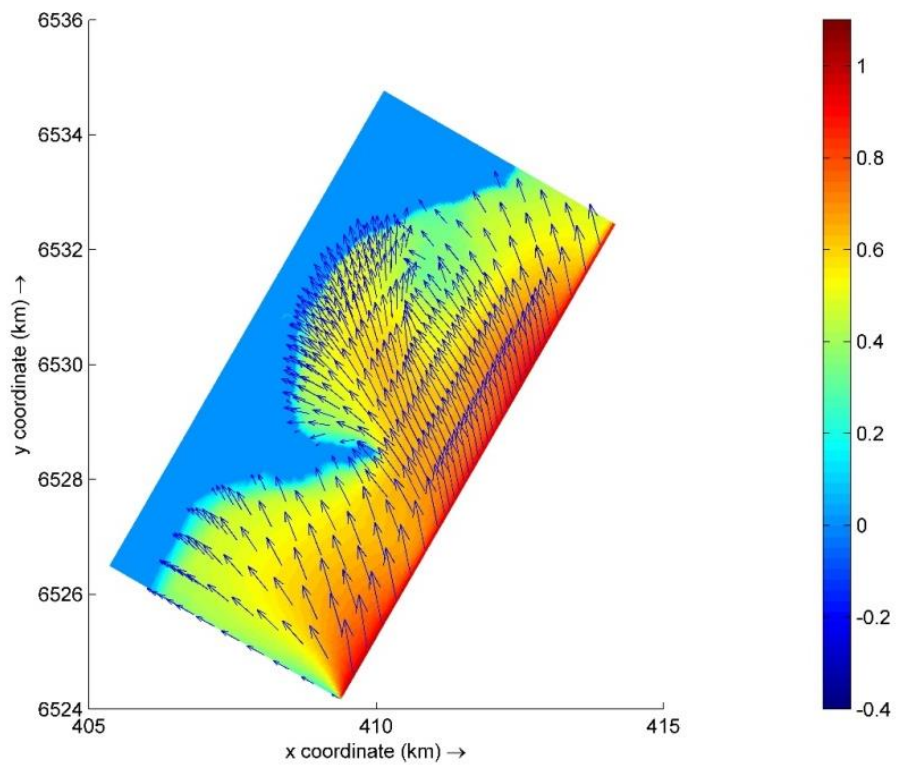
Cenário 17: $H_s = 0,57$ m, $T_p = 3,46$ s, $Dir = 174,0^\circ$. Escala de cores em metros.



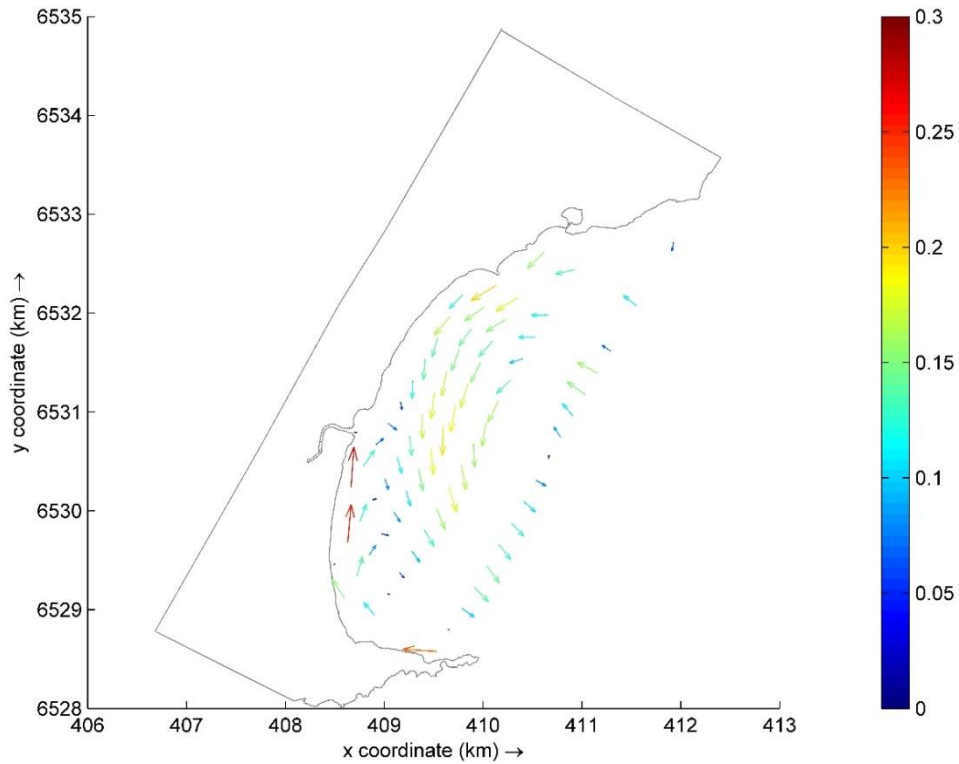
Correntes geradas através do cenário 17. Escala de cores em m/s.



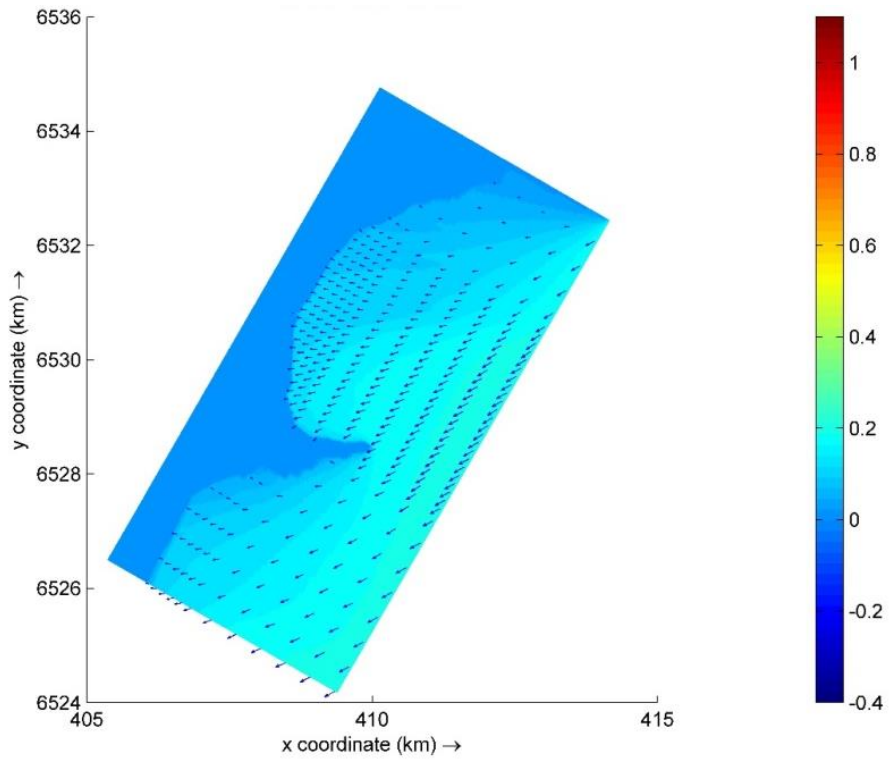
Cenário18: $H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,466^\circ$. Escala de cores em metros.



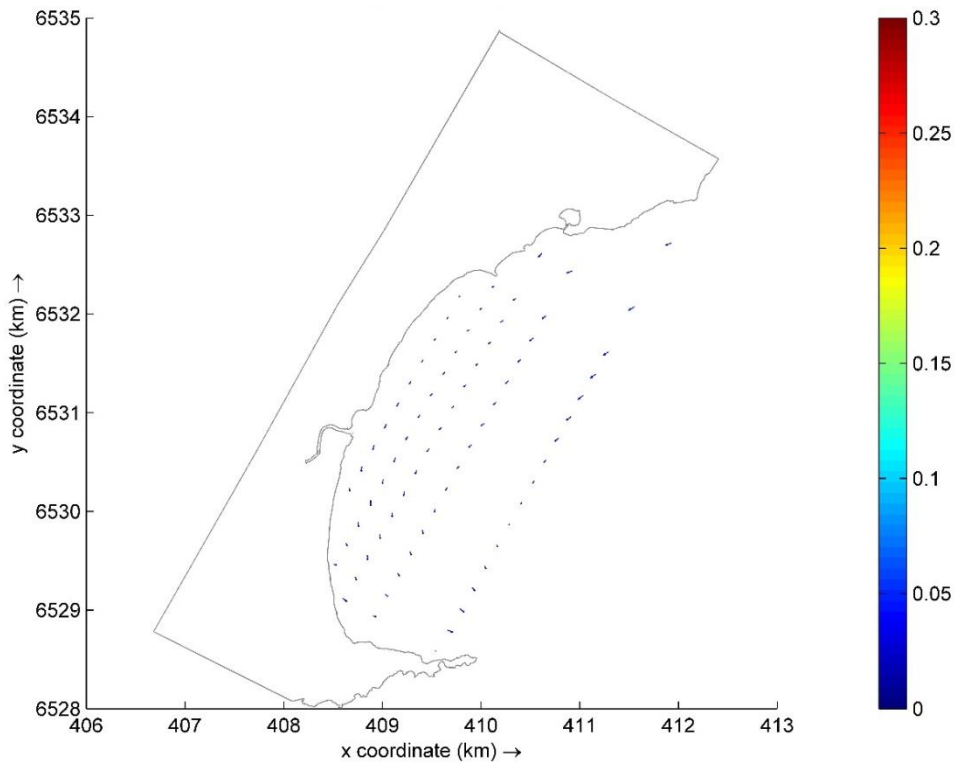
Correntes geradas através do cenário 18. Escala de cores em m/s.



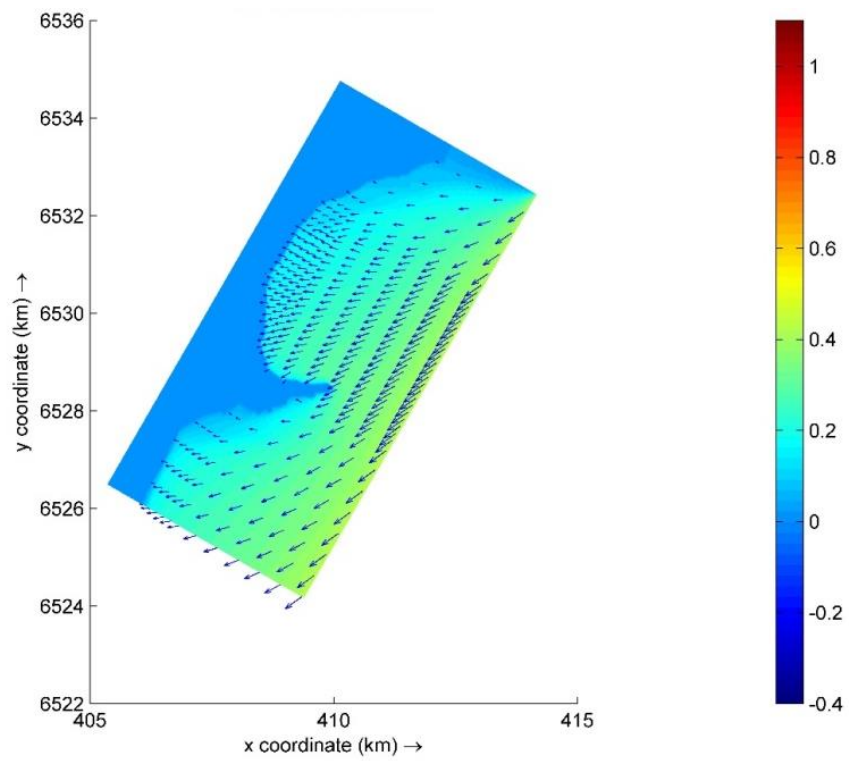
Cenário 19: $H_s = 0,19$ m, $T_p = 2,13$ s, $Dir = 60,10^\circ$. Escala de cores em metros.



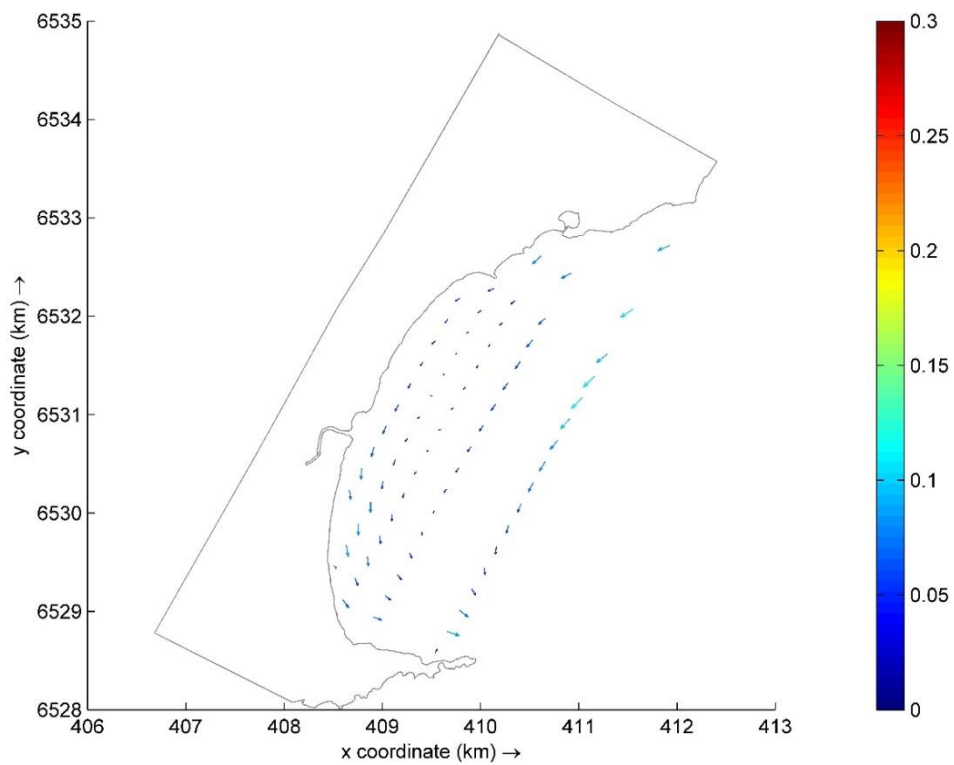
Correntes geradas através do cenário 19. Escala de cores em m/s.



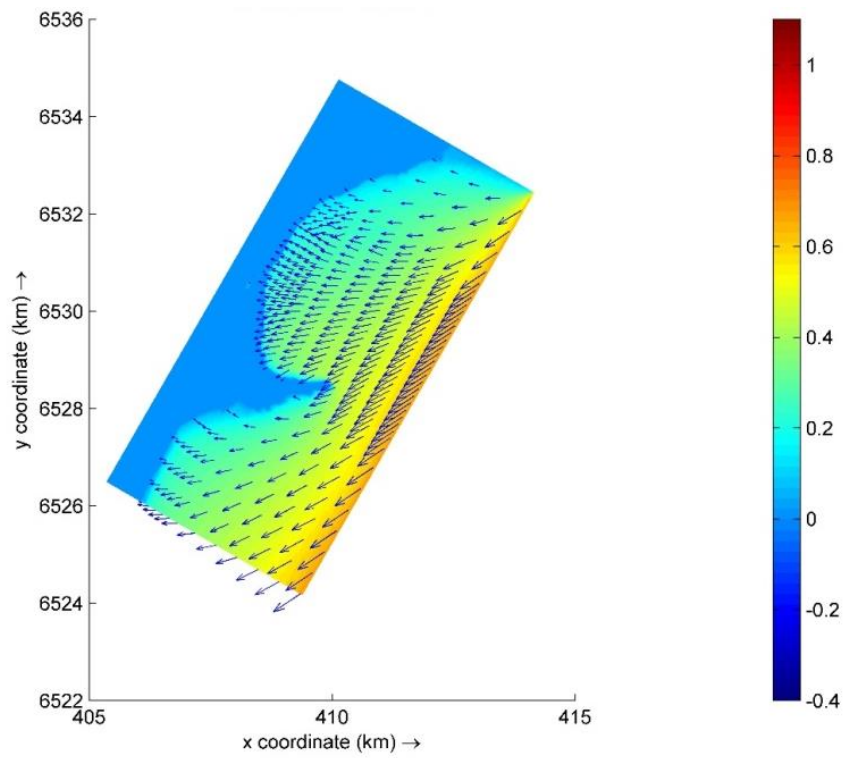
Cenário 20: $H_s = 0,43$ m, $T_p = 2,76$ s, $Dir = 53,42^\circ$. Escala de cores em metros.



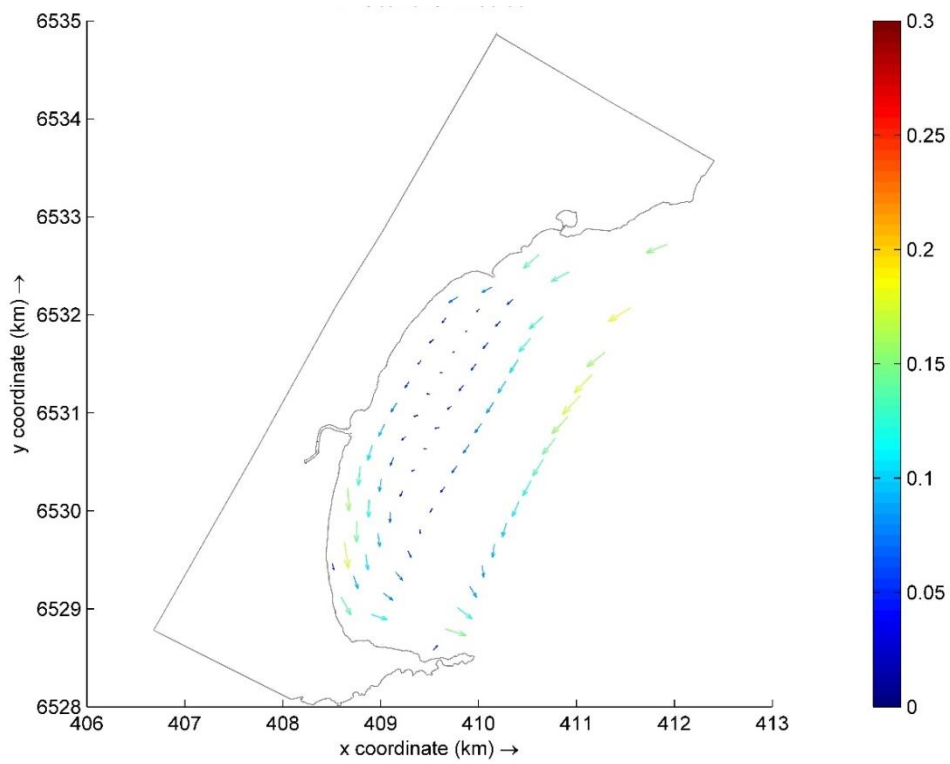
Correntes geradas através do cenário 20. Escala de cores em m/s.



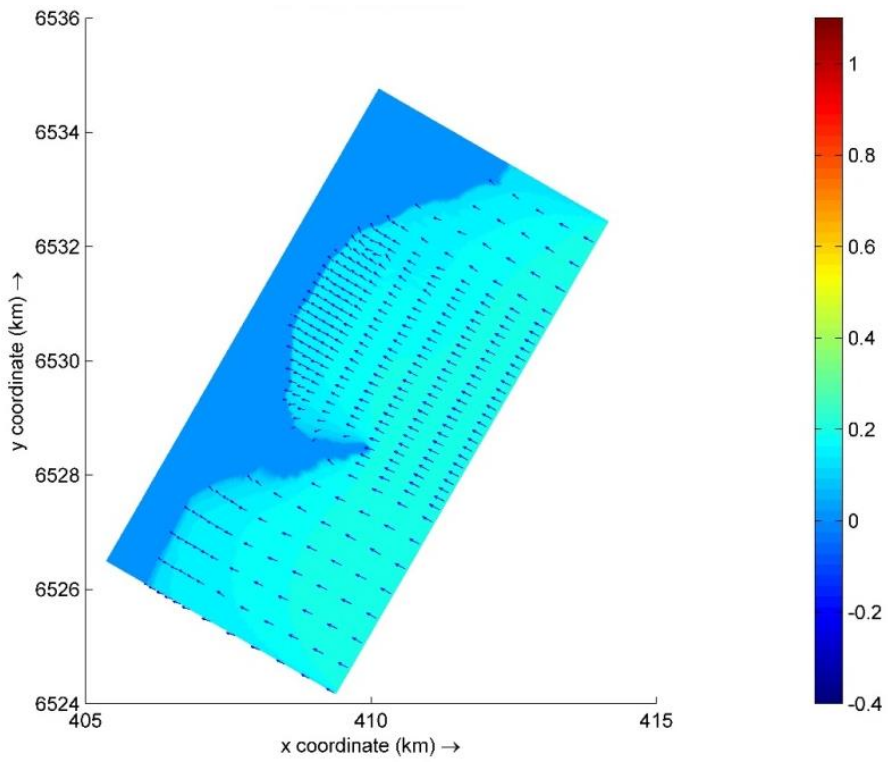
Cenário 21: $H_s = 0,69$ m, $T_p = 3,27$ s, $Dir = 54,38^\circ$. Escala de cores em metros.



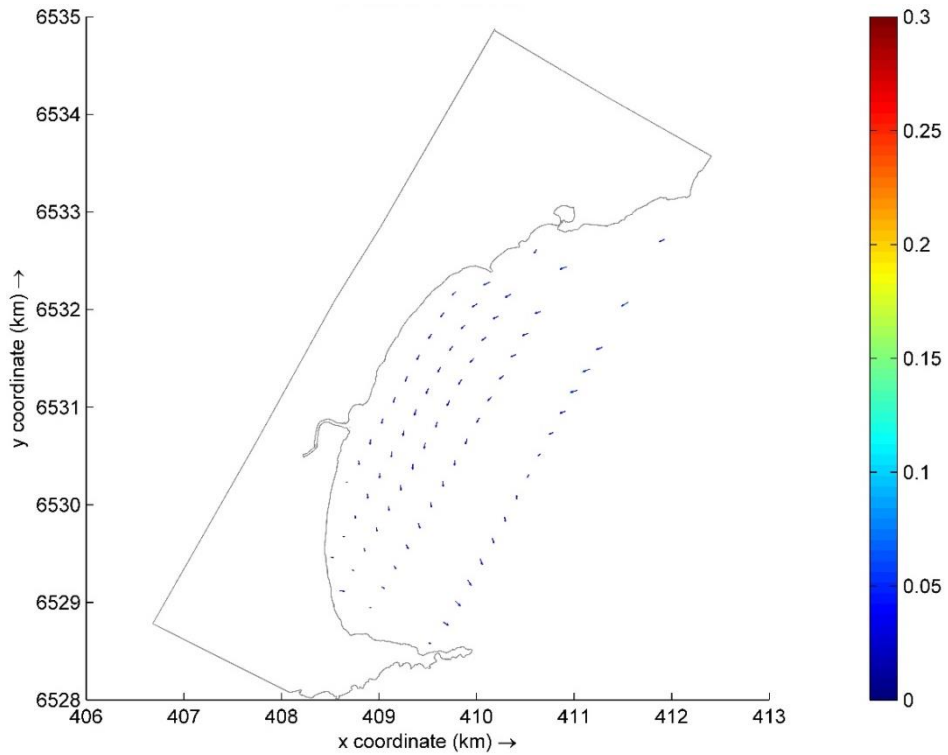
Correntes geradas através do cenário 21. Escala de cores em m/s.



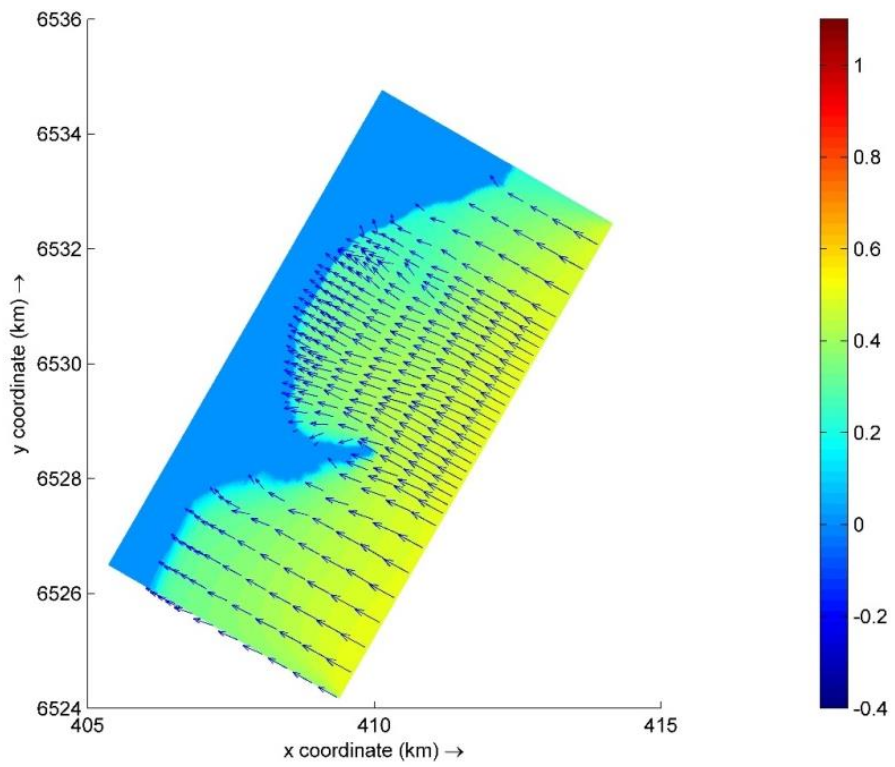
Cenário 22: $H_s = 0,19$ m, $T_p = 2,16$ s, $Dir = 119,3^\circ$. Escala de cores em metros.



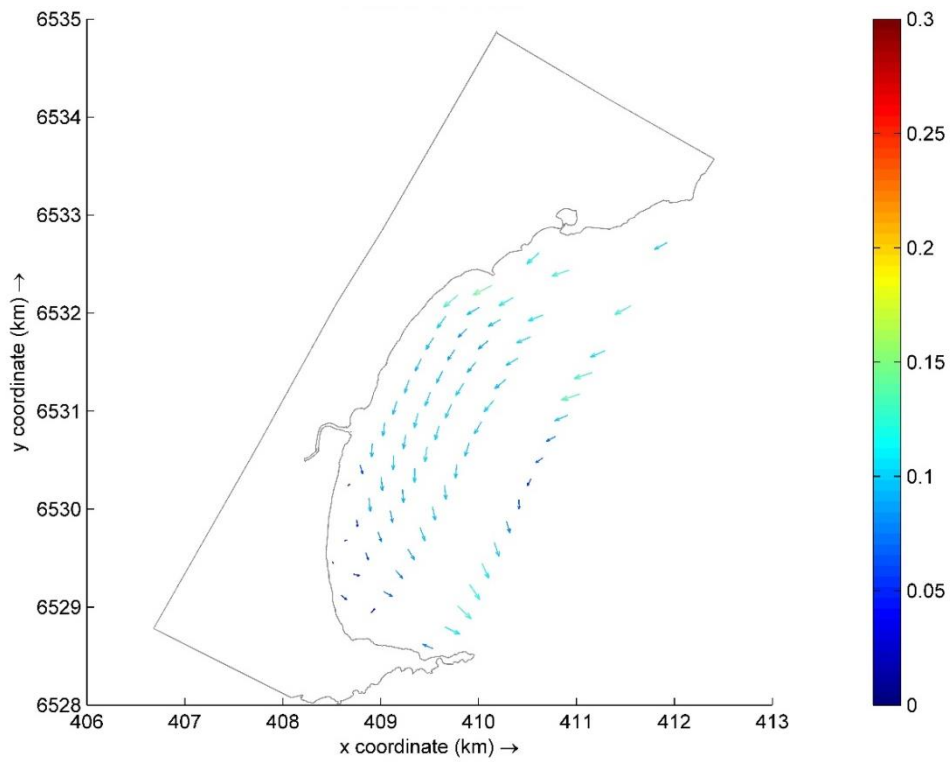
Correntes geradas através do cenário 22. Escala de cores em m/s.



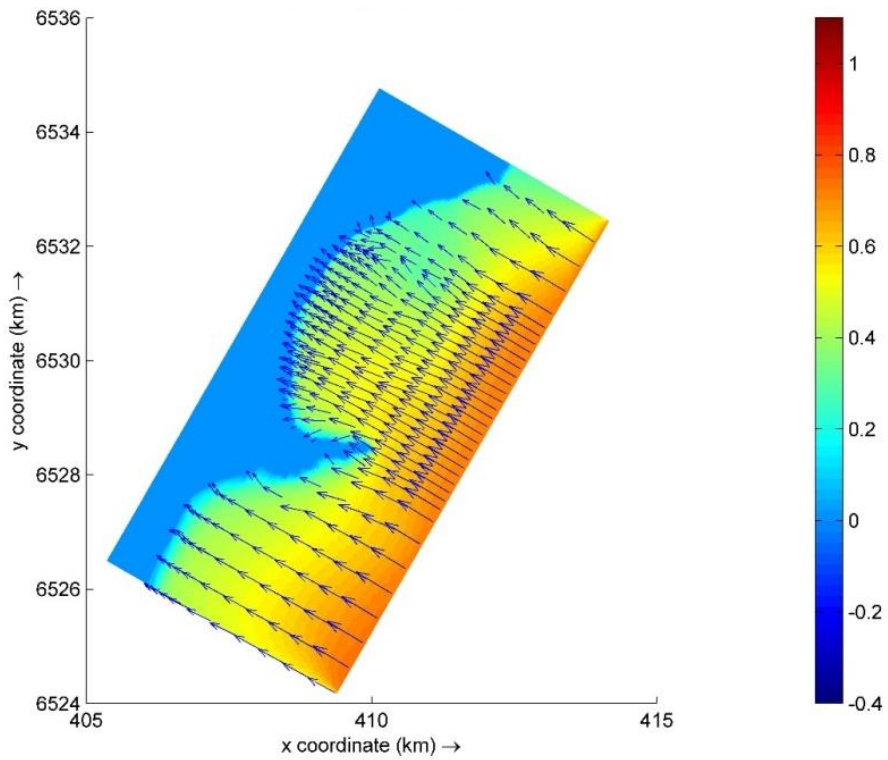
Cenário 23: $H_s = 0,48$ m, $T_p = 3,08$ s, $Dir = 119,5^\circ$. Escala de cores em metros.



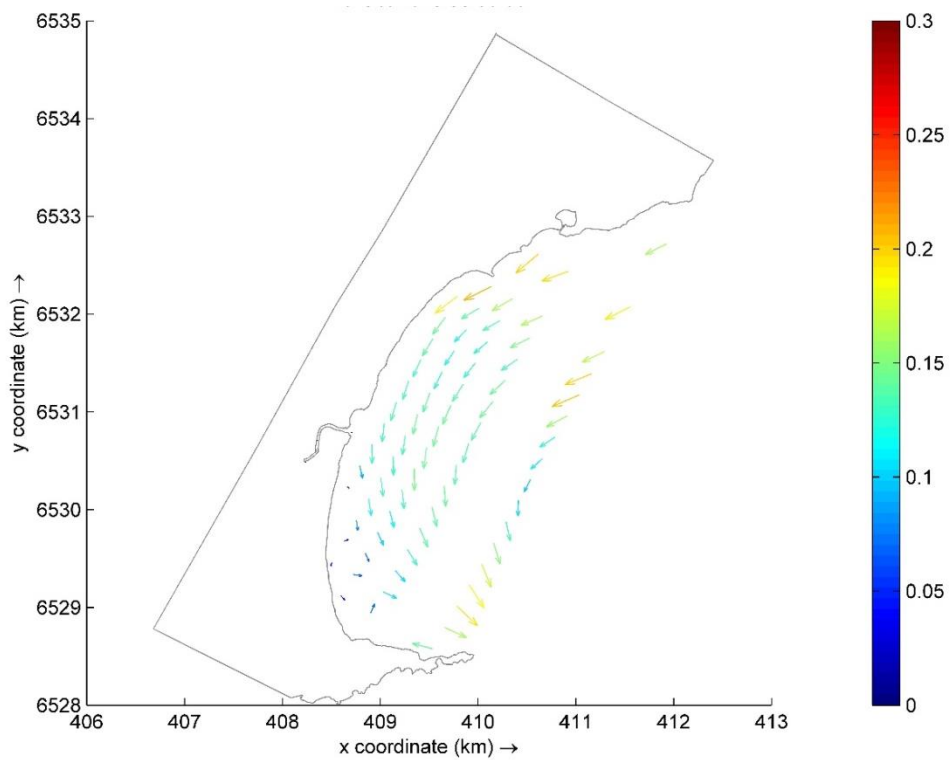
Correntes geradas através do cenário 23. Escala de cores em m/s.



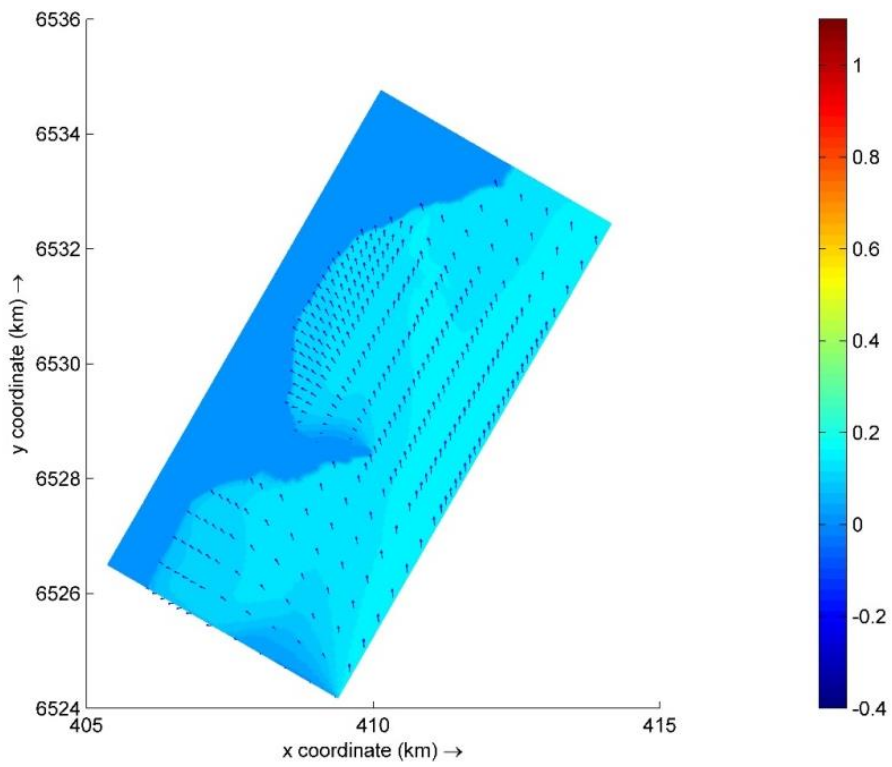
Cenário 24: $H_s = 0,72$ m, $T_p = 3,68$ s, $Dir = 121.6^\circ$. Escala de cores em metros.



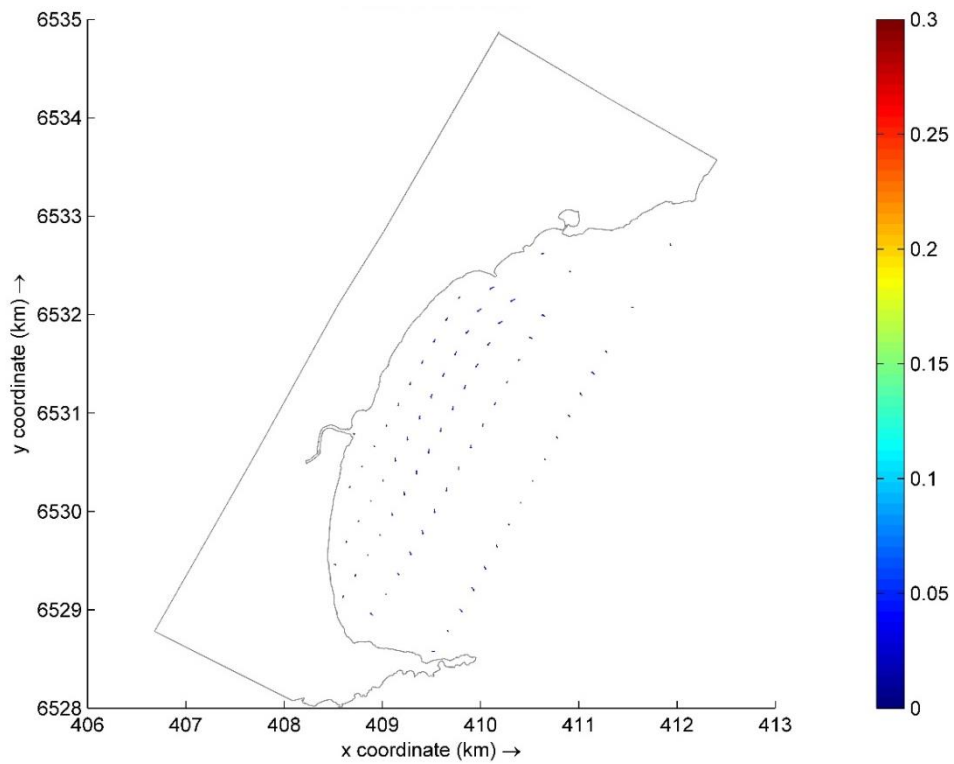
Correntes geradas através do cenário 24. Escala de cores em m/s.



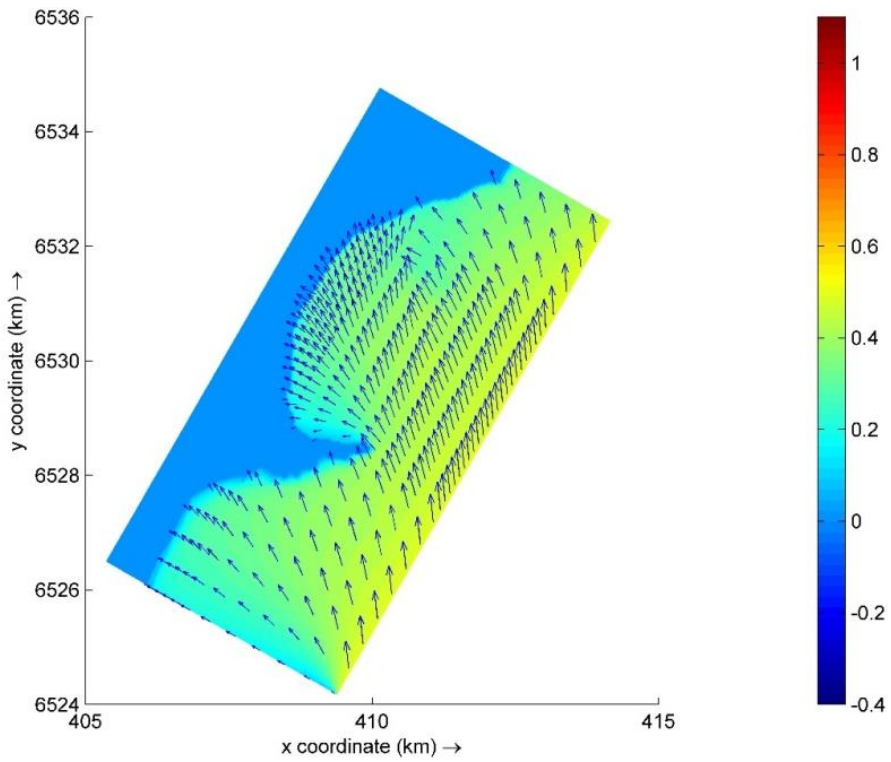
Cenário 25: $H_s = 0,16$ m, $T_p = 2,13$ s, $Dir = 176,2^\circ$. Escala de cores em metros.



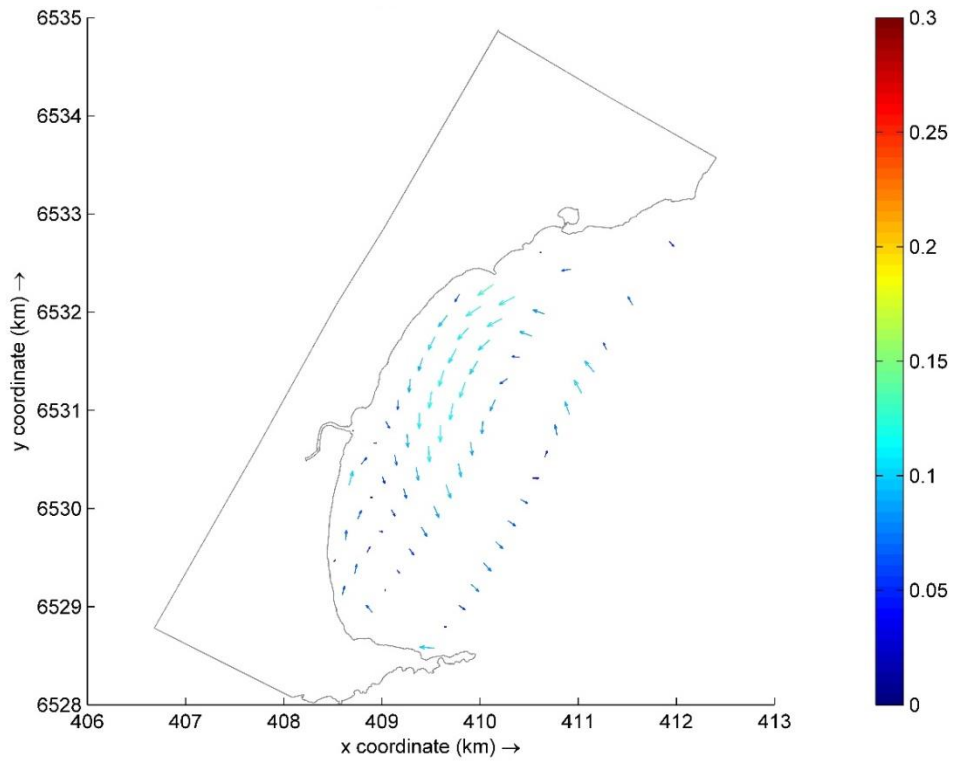
Correntes geradas através do cenário 25. Escala de cores em m/s.



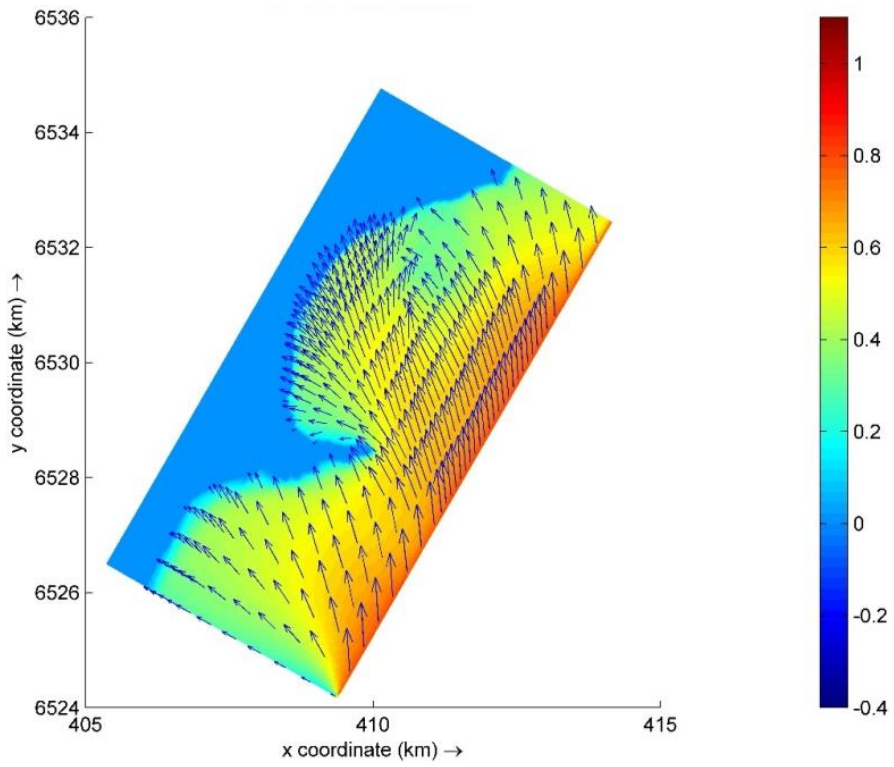
Cenário 26: $H_s = 0,52$ m, $T_p = 3,33$ s, $Dir = 174,3^\circ$. Escala de cores em metros.



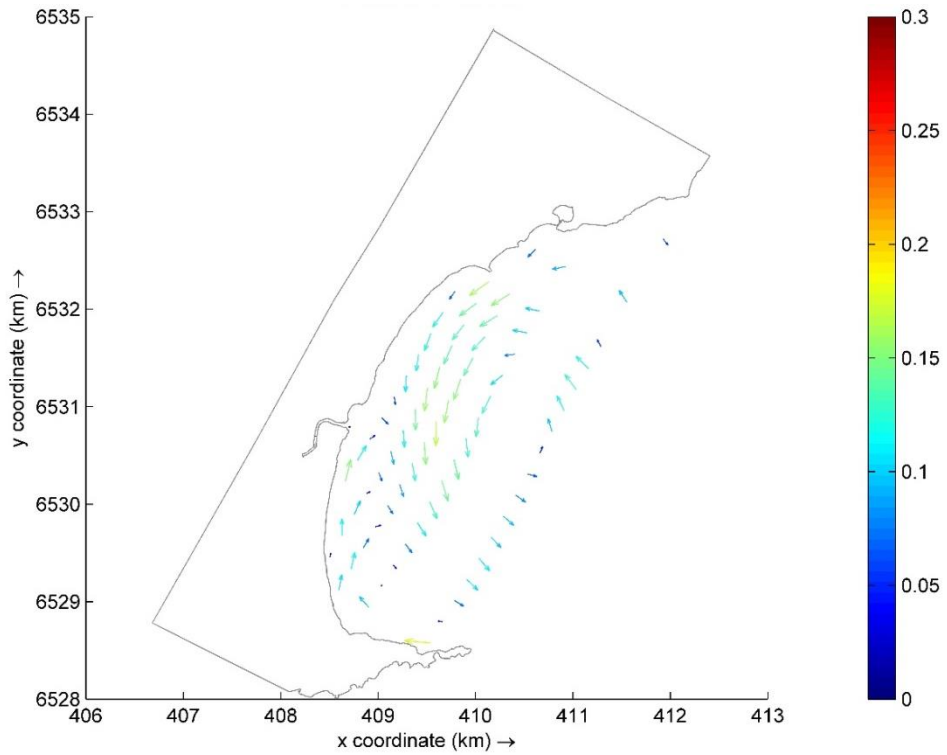
Correntes geradas através do cenário 26. Escala de cores em m/s.



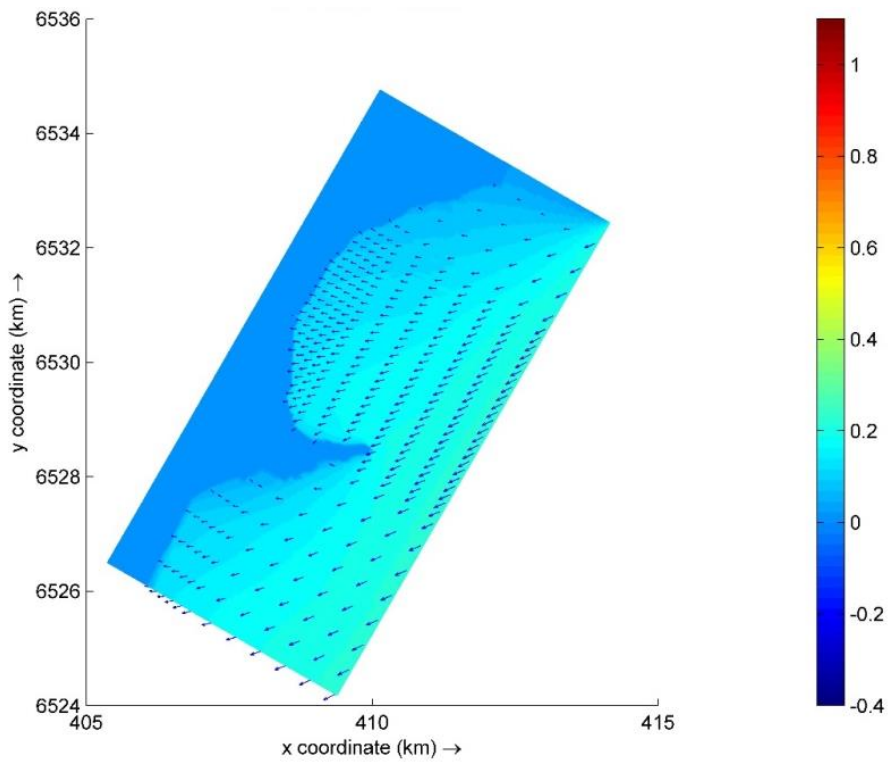
Cenário 27: $H_s = 0,82$ m, $T_p = 4,07$ s, $Dir = 175,9^\circ$. Escala de cores em metros.



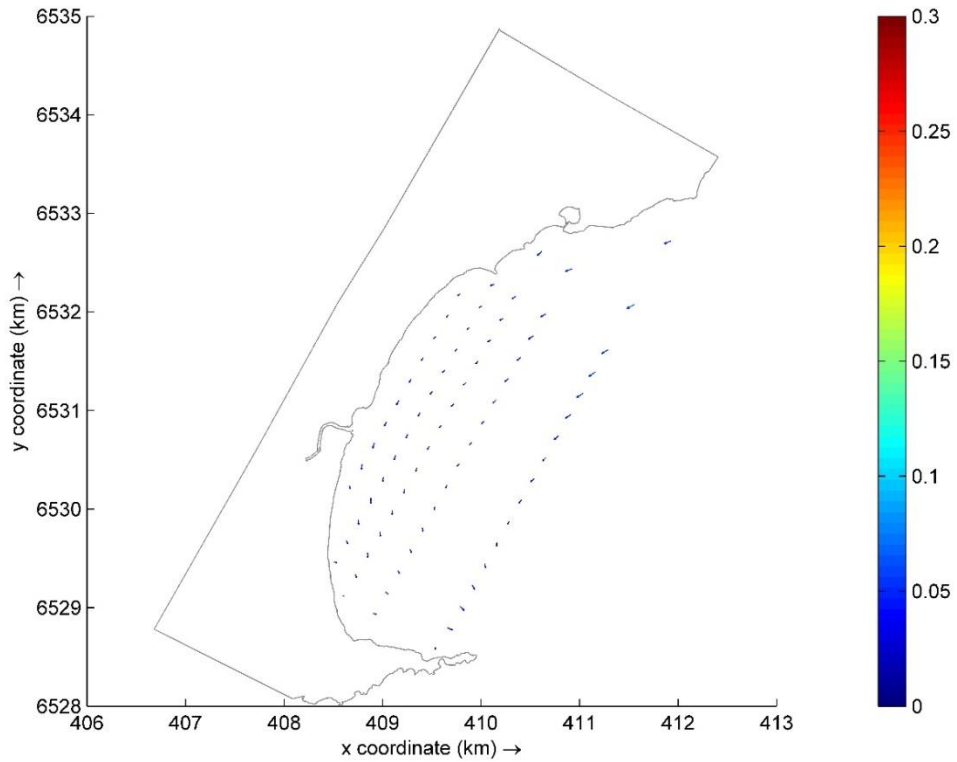
Correntes geradas através do cenário 27. Escala de cores em m/s.



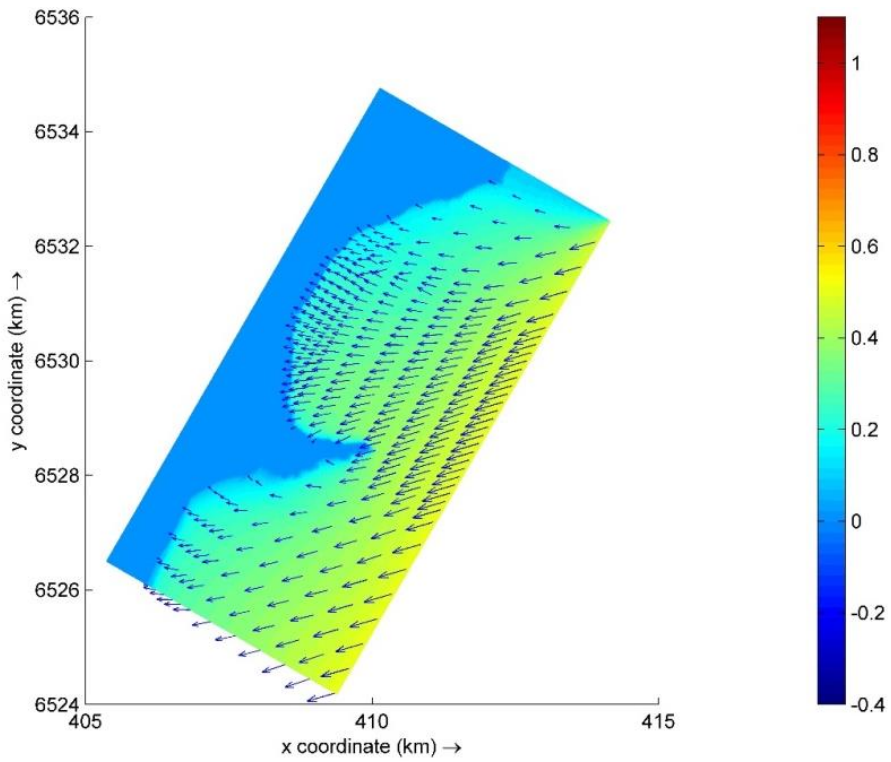
Cenário 28: $H_s = 0,21$ m, $T_p = 2,18$ s, $Dir = 66,2^\circ$. Escala de cores em metros.



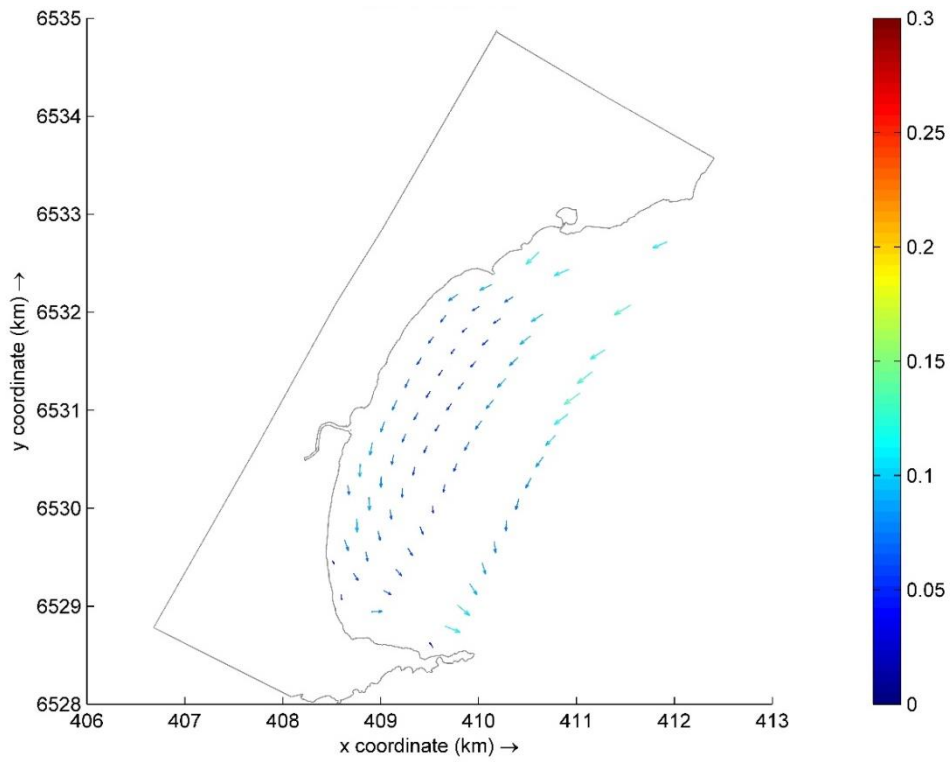
Correntes geradas através do cenário 28. Escala de cores em m/s.



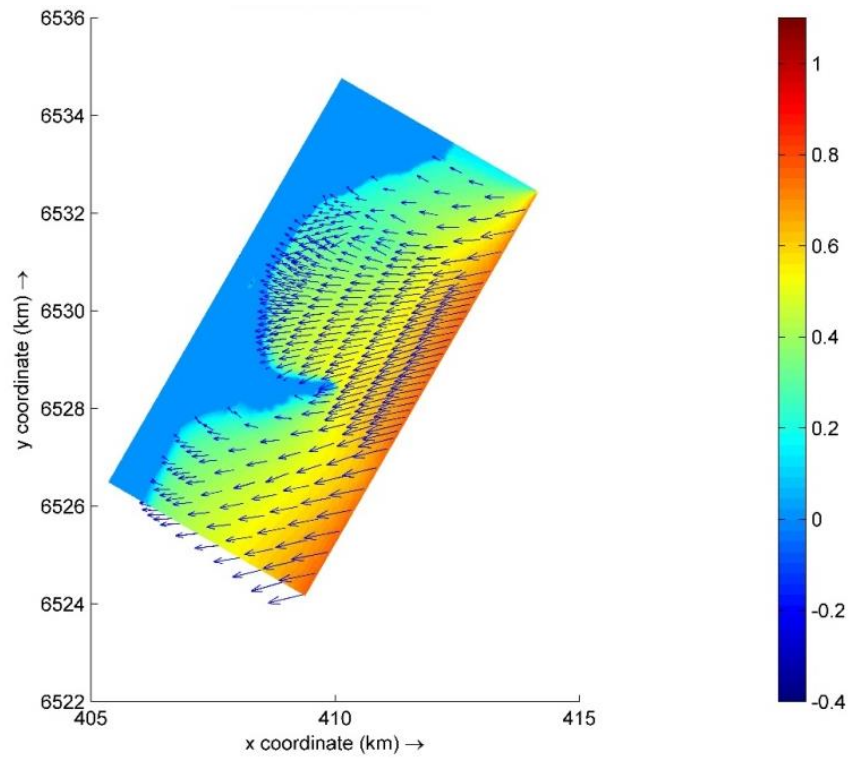
Cenário 29: $H_s = 0,49$ m, $T_p = 2,94$ s, $Dir = 73,1^\circ$. Escala de cores em metros.



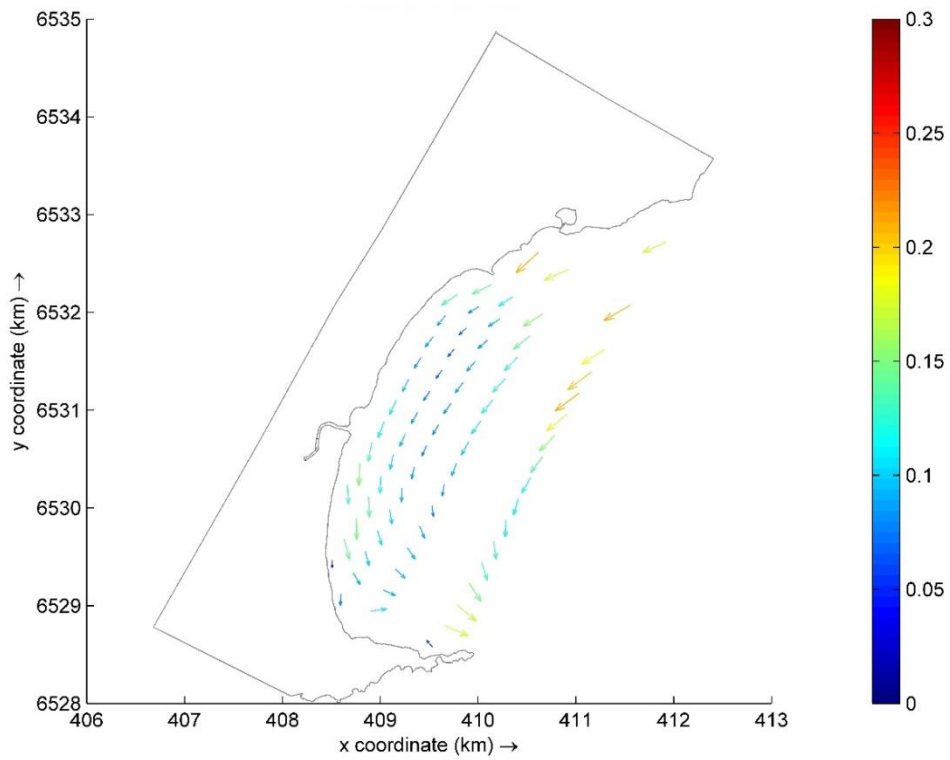
Correntes geradas através do cenário 29. Escala de cores em m/s.



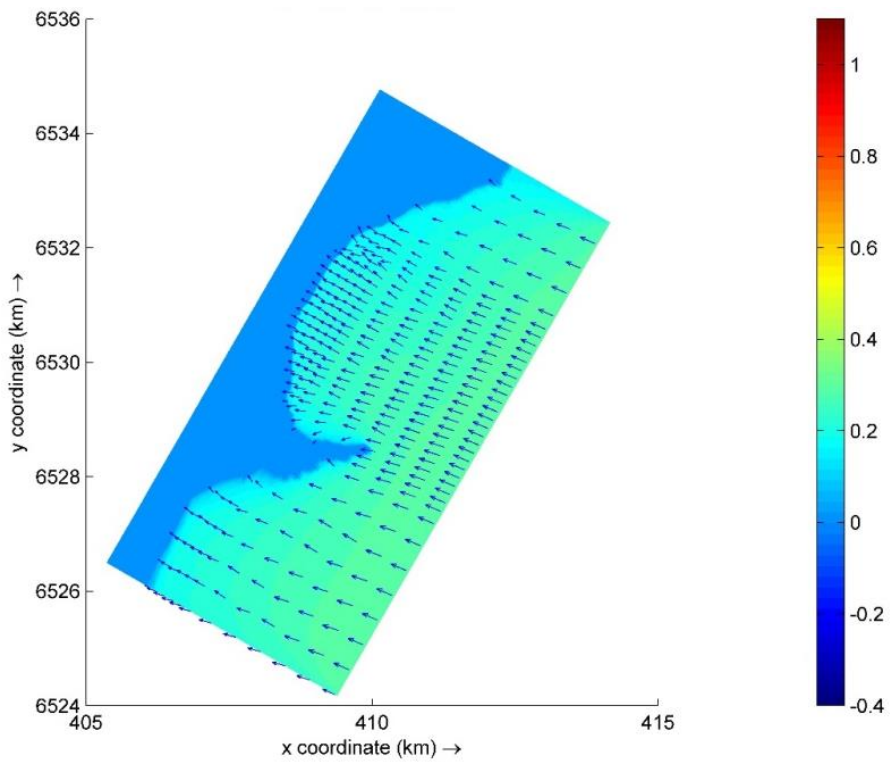
Cenário 30: $H_s = 0,73$ m, $T_p = 3,42$ s, $Dir = 76,9^\circ$. Escala de cores em metros.



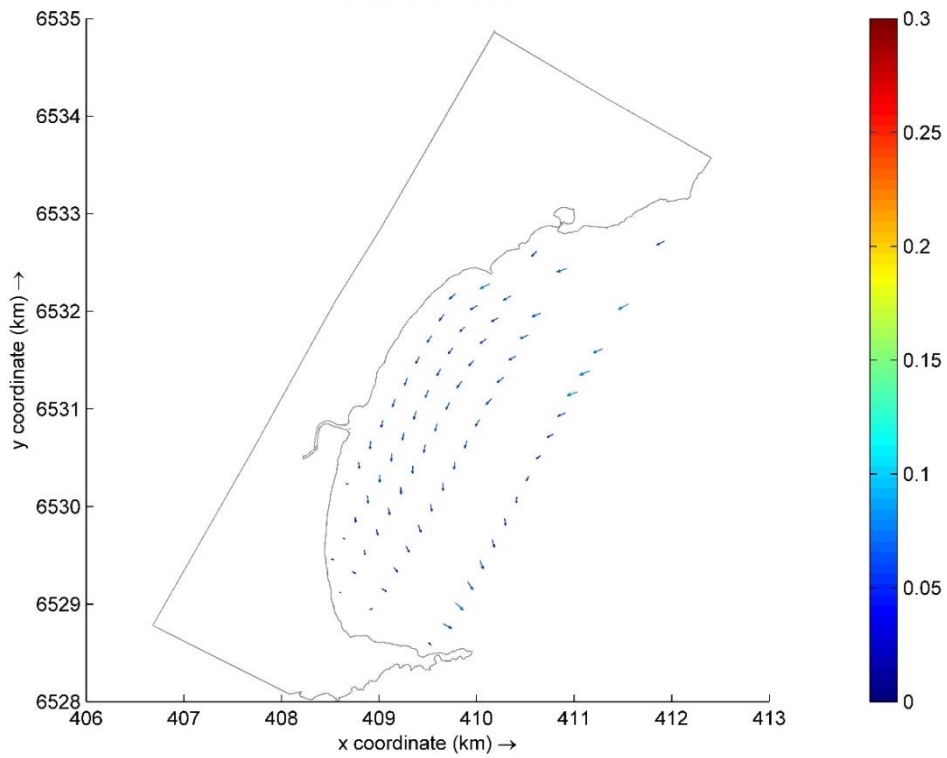
Correntes geradas através do cenário 30. Escala de cores em m/s.



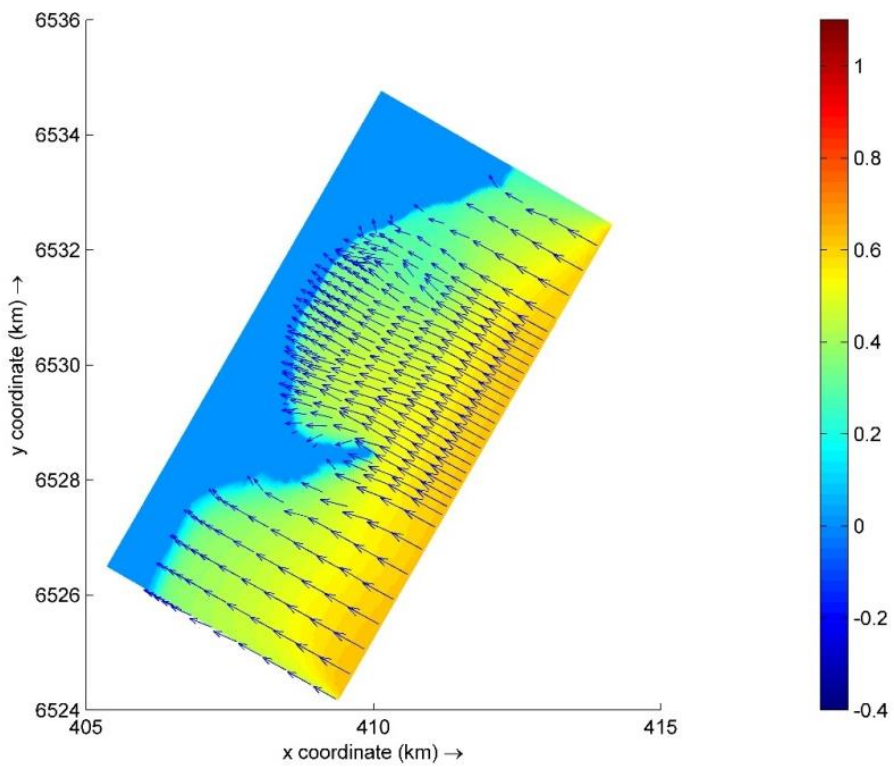
Cenário 31: $H_s = 0,28$ m, $T_p = 2,48$ s, $Dir = 113,2^\circ$. Escala de cores em metros.



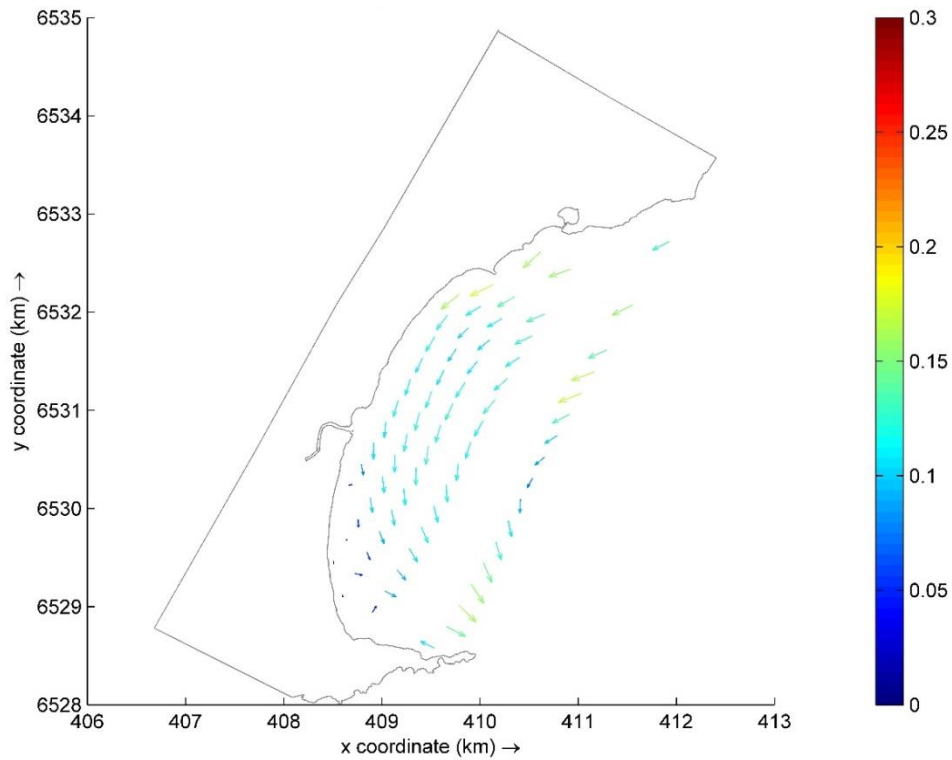
Correntes geradas através do cenário 31. Escala de cores em m/s.



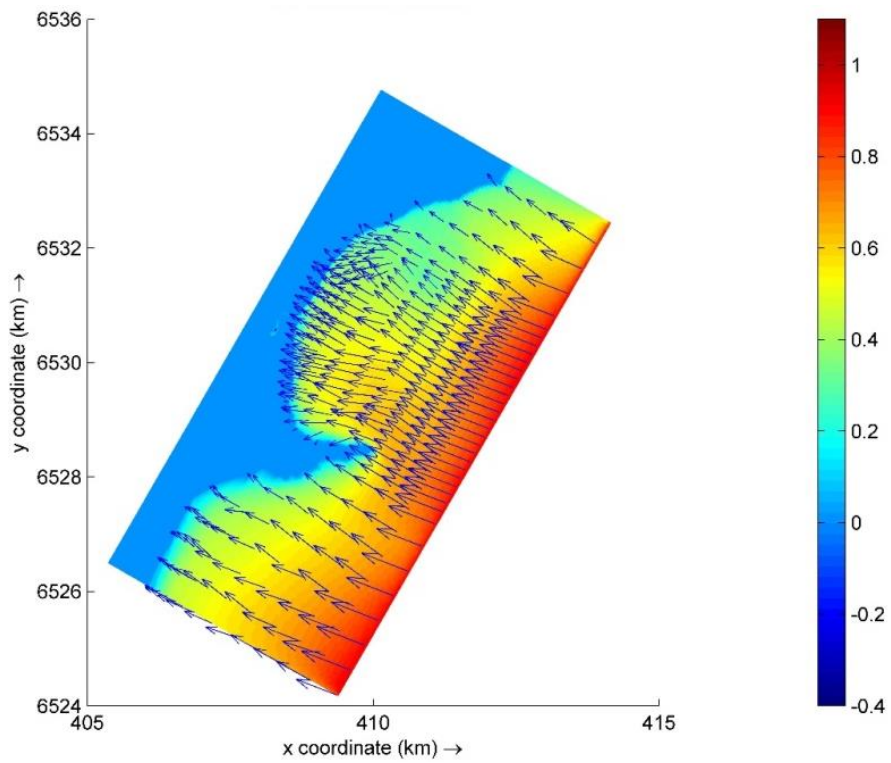
Cenário 32: $H_s = 0,60$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 119,7^\circ$. Escala de cores em metros.



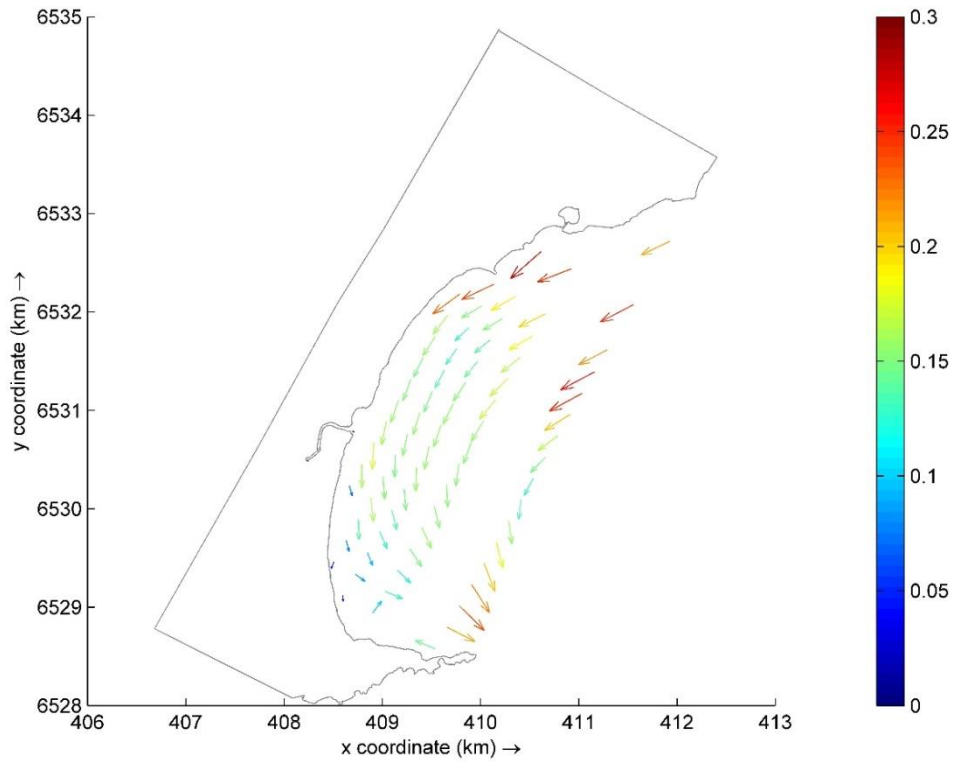
Correntes geradas através do cenário 32. Escala de cores em m/s.



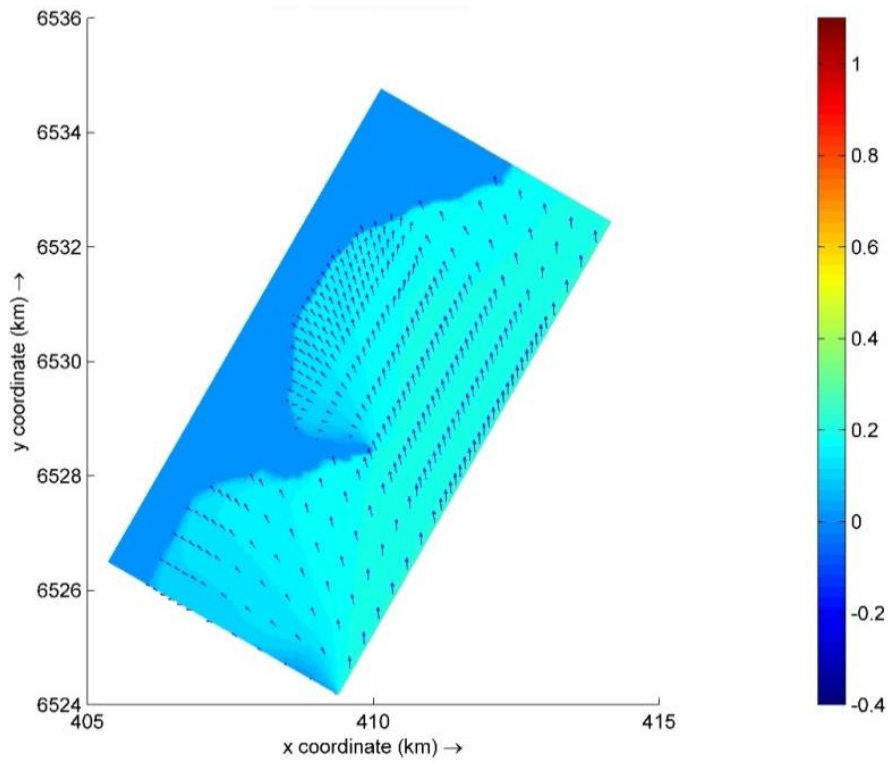
Cenário 33: $H_s = 0,90$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 111,8^\circ$. Escala de cores em metros.



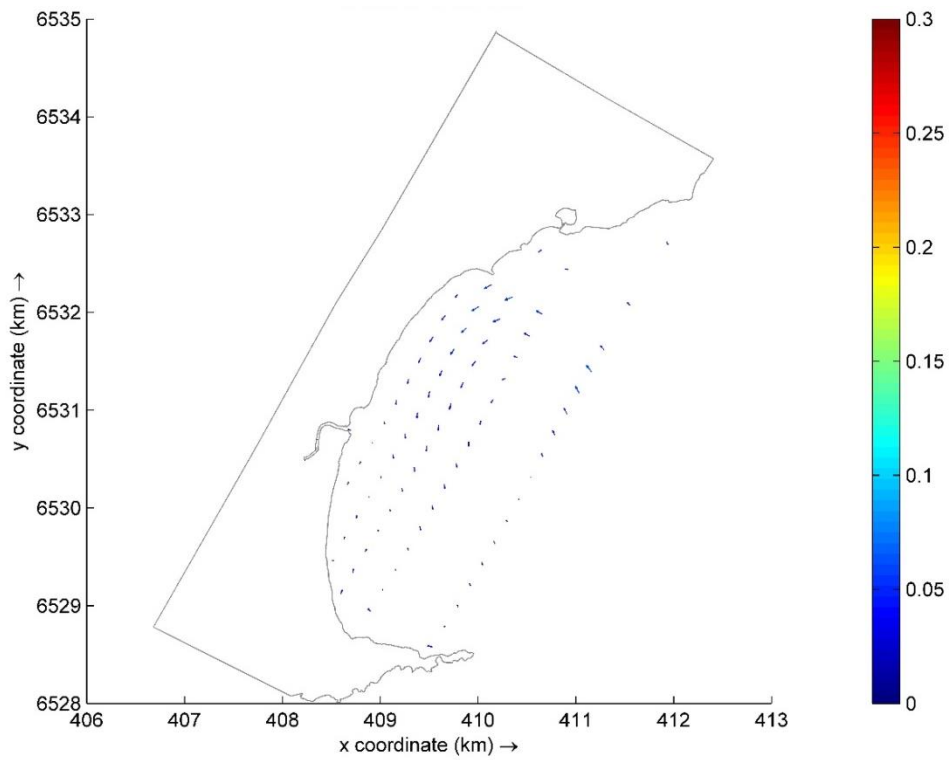
Correntes geradas através do cenário 33. Escala de cores em m/s.



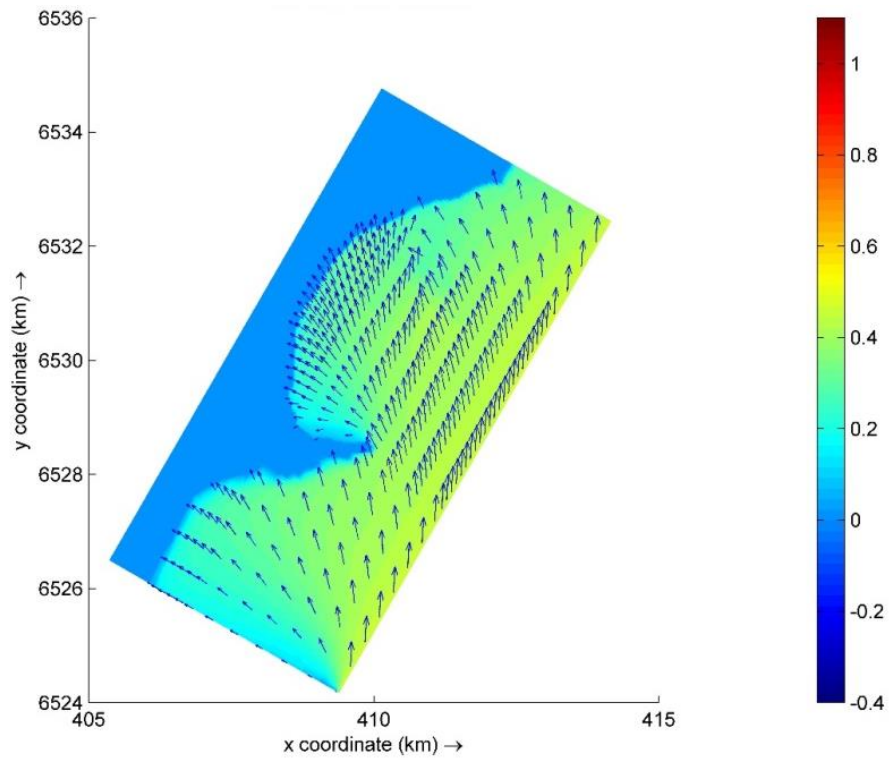
Cenário 34: $H_s = 0,22$ m, $T_p = 2,35$ s, $Dir = 175,9^\circ$. Escala de cores em metros.



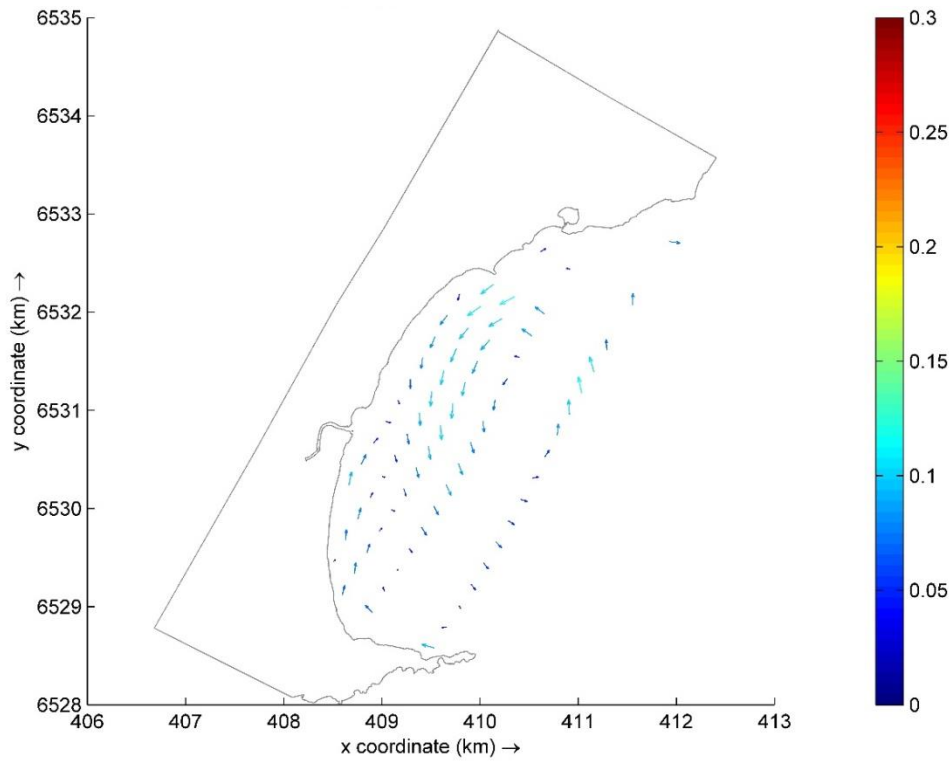
Correntes geradas através do cenário 34. Escala de cores em m/s.



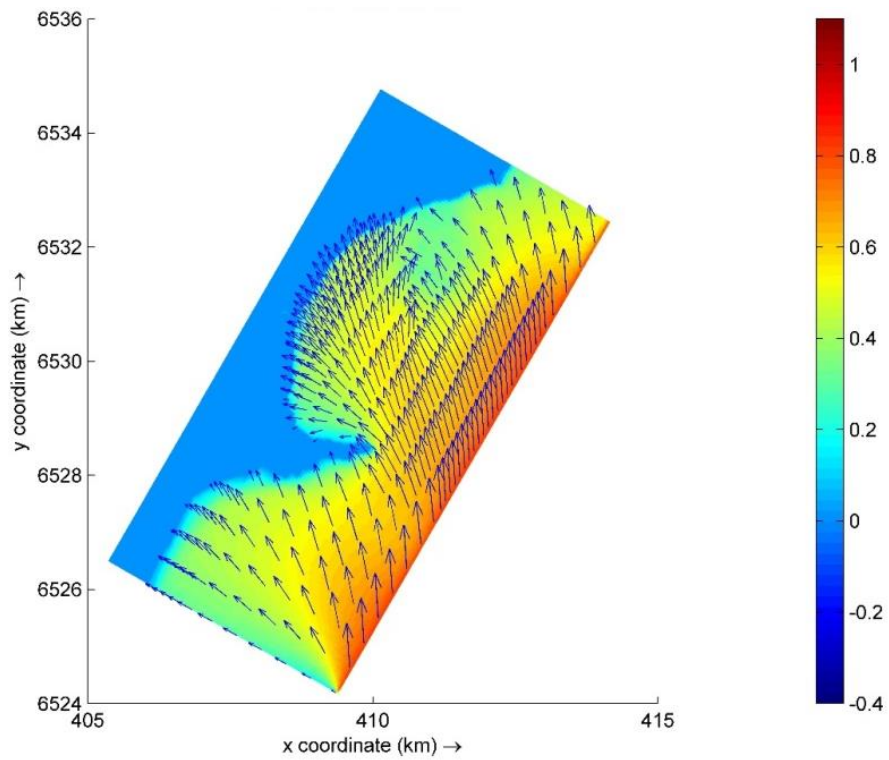
Cenário 35: $H_s = 0,51$ m, $T_p = 3,28$ s, $Dir = 184,7^\circ$. Escala de cores em metros.



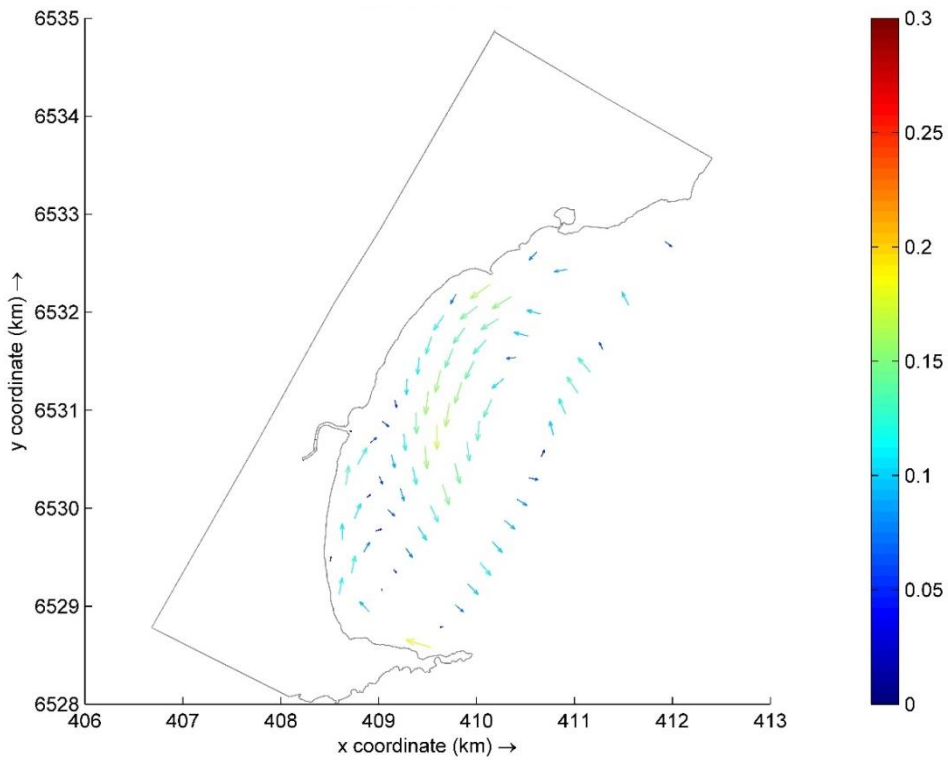
Correntes geradas através do cenário 35. Escala de cores em m/s.



Cenário 36: $H_s = 0,86$ m, $T_p = 4,14$ s, $Dir = 177,3^\circ$. Escala de cores em metros.

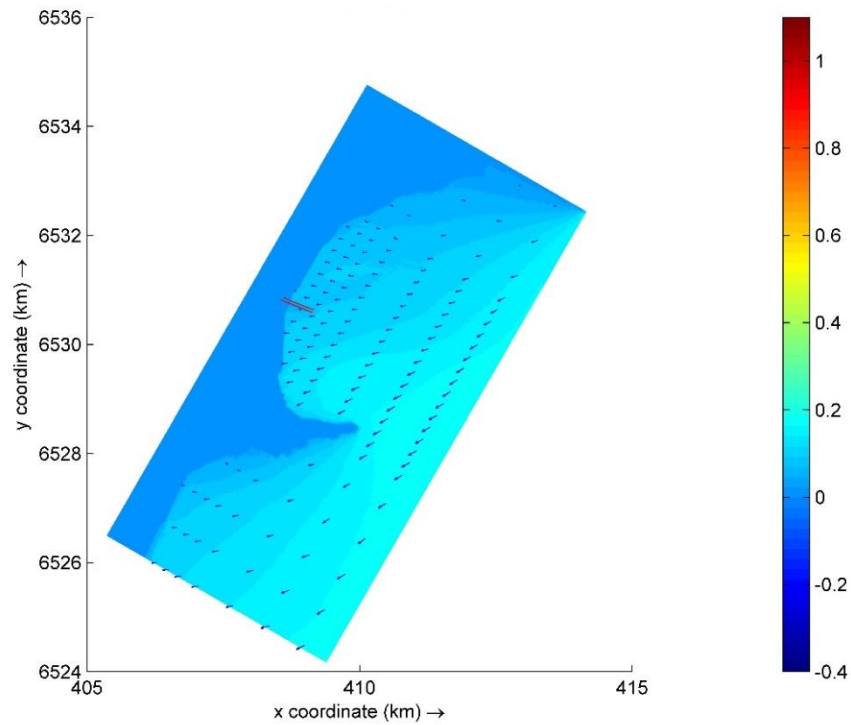


Correntes geradas através do cenário 36. Escala de cores em m/s.

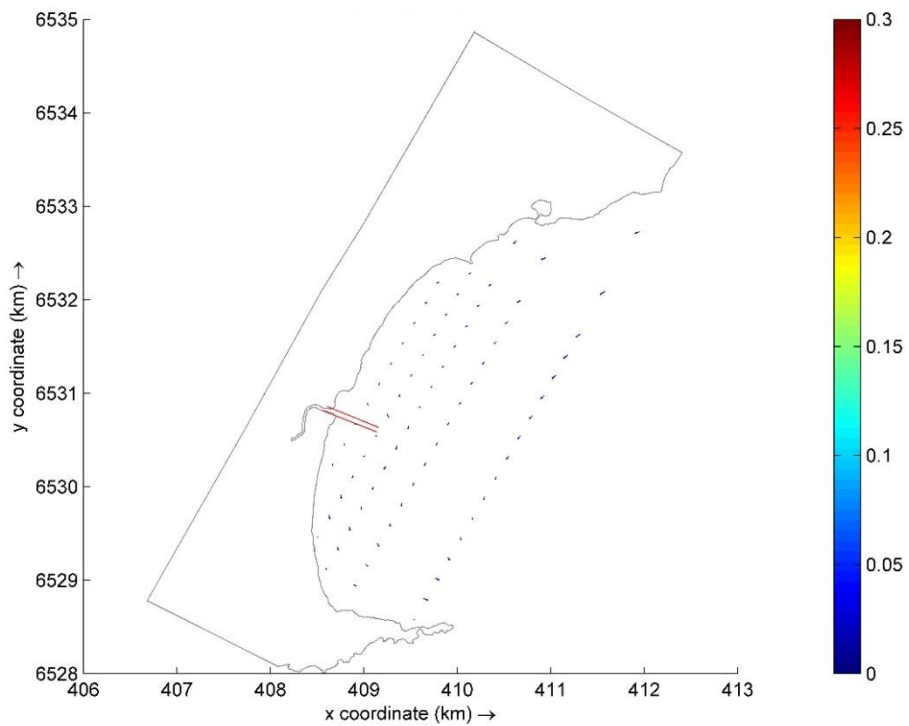


ANEXO G

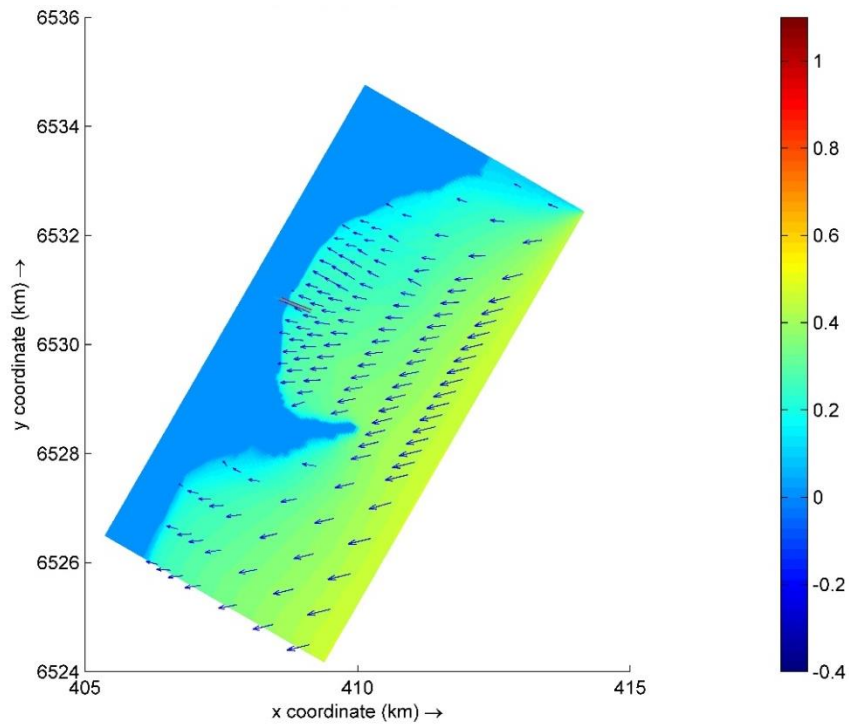
Cenário 1: $H_s = 0,17$ m, $T_p = 2,04$ s, $Dir = 61,66^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



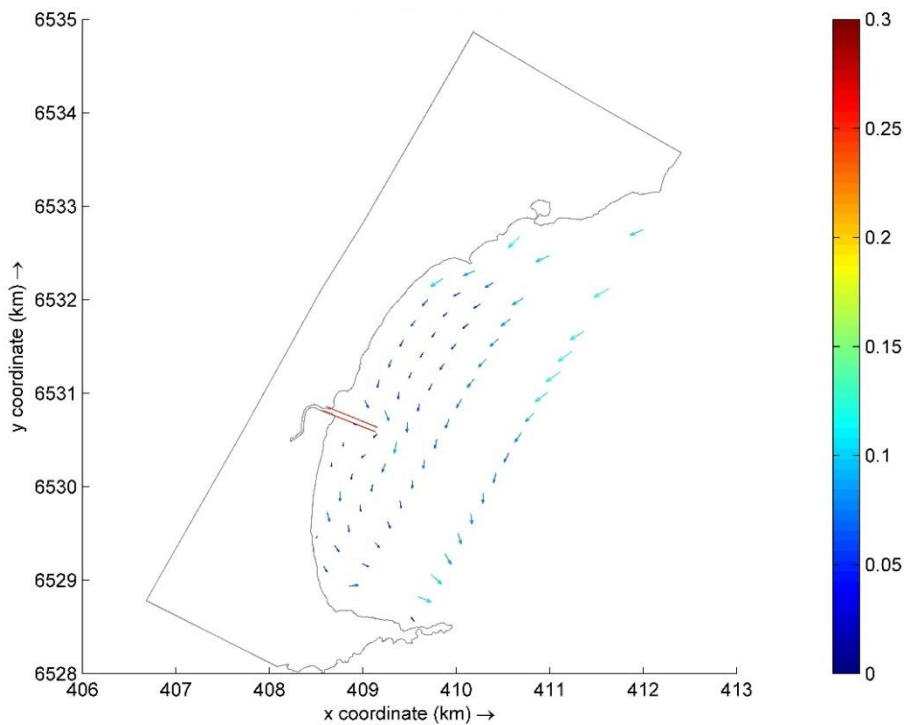
Correntes geradas através do cenário 1 (com obras). Escala de cores em m/s.



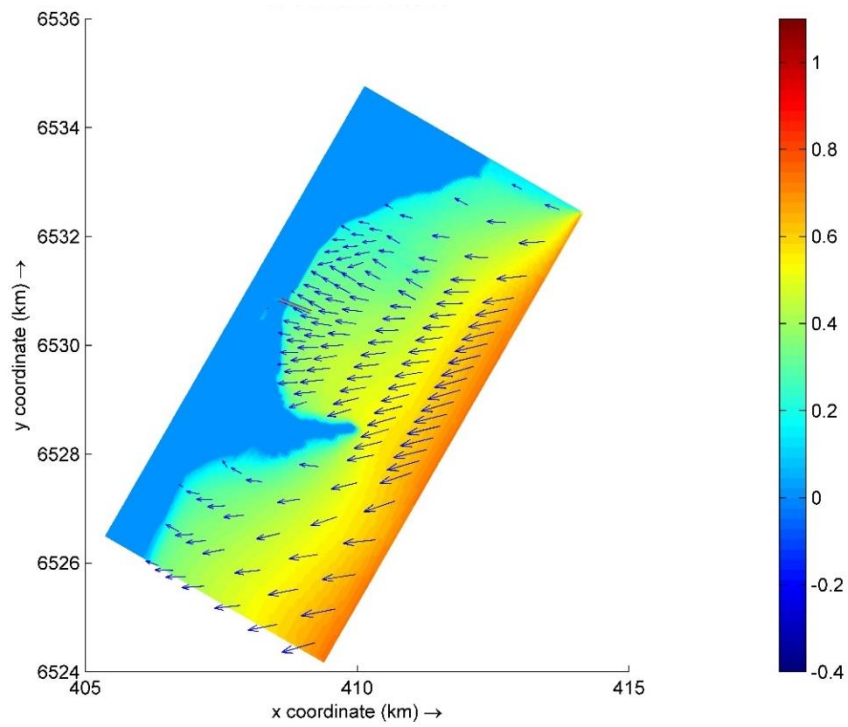
Cenário 2: $H_s = 0,45$ m, $T_p = 2,87$ s, $Dir = 76,38^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



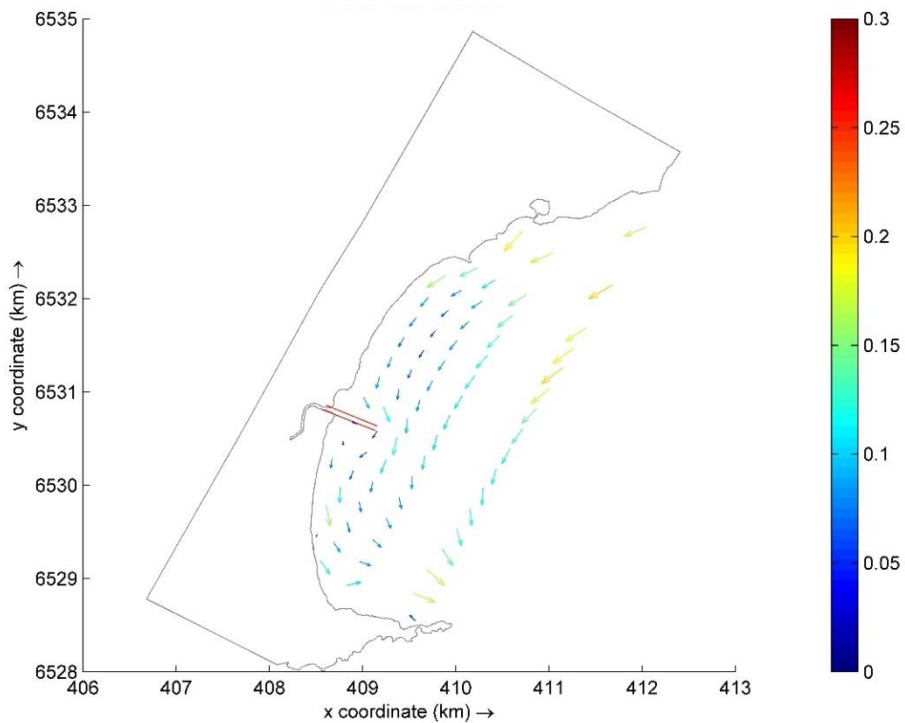
Correntes geradas através do cenário 2 (com obras). Escala de cores em m/s.



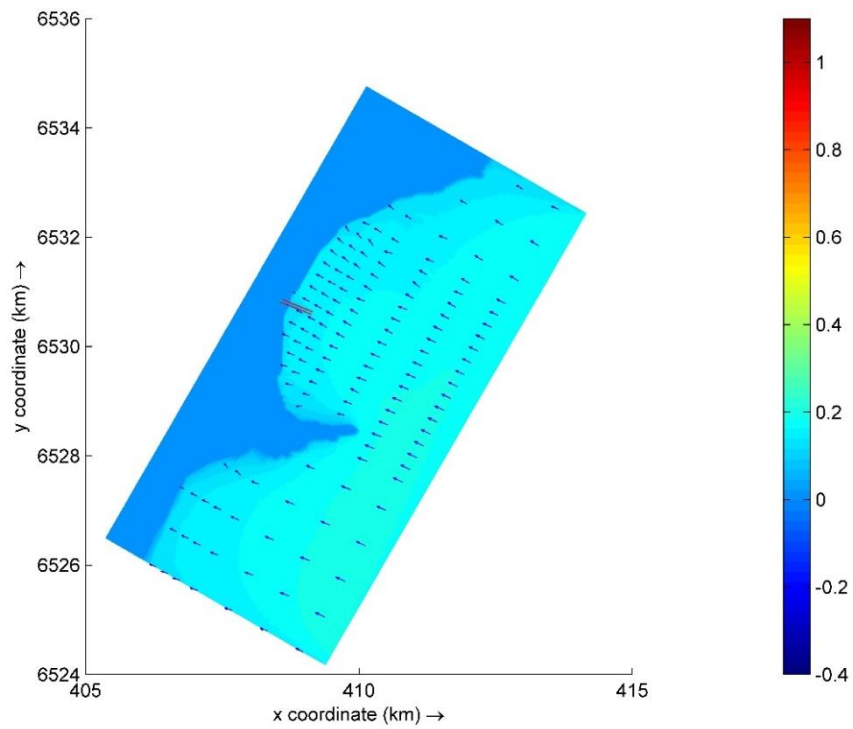
Cenário 3: $H_s = 0,71$ m, $T_p = 3,36$ s, $Dir = 78,01^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



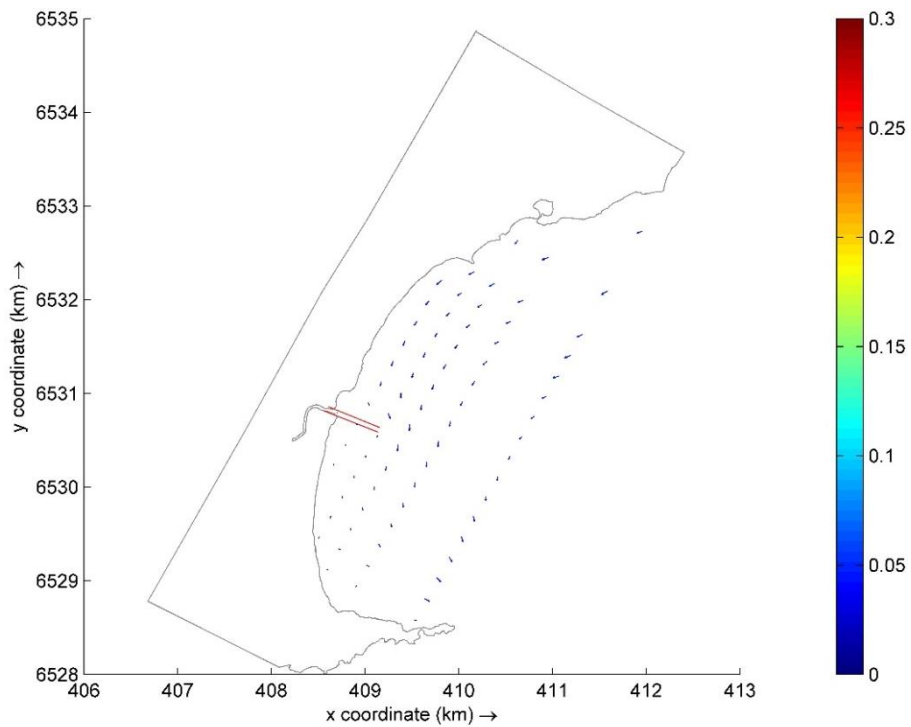
Correntes geradas através do cenário 3 (com obras). Escala de cores em m/s.



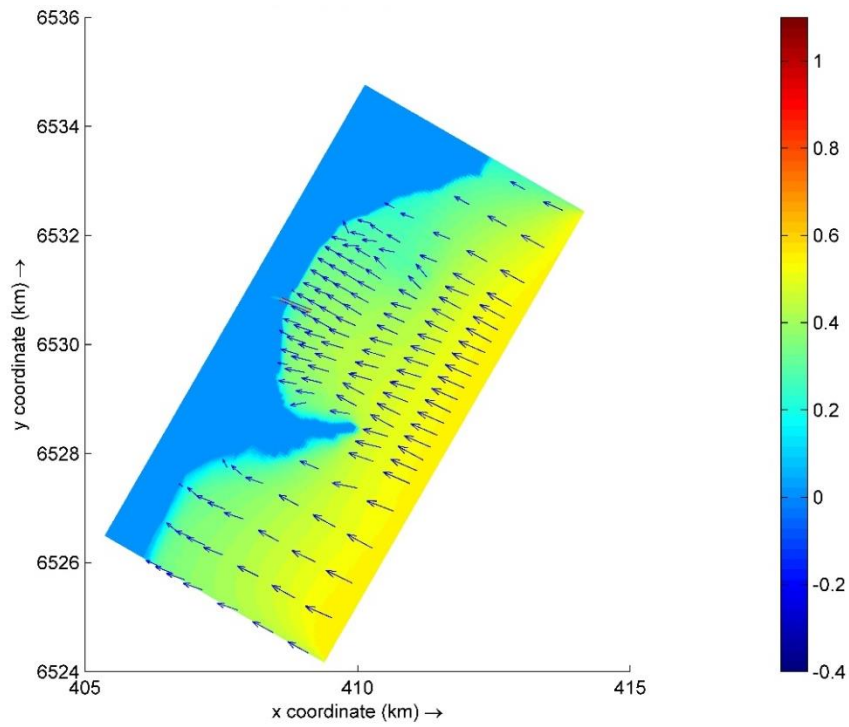
Cenário 4: $H_s = 0,18$ m, $T_p = 2,16$ s, $Dir = 117,5$ (com obras). Escala de cores em metros.



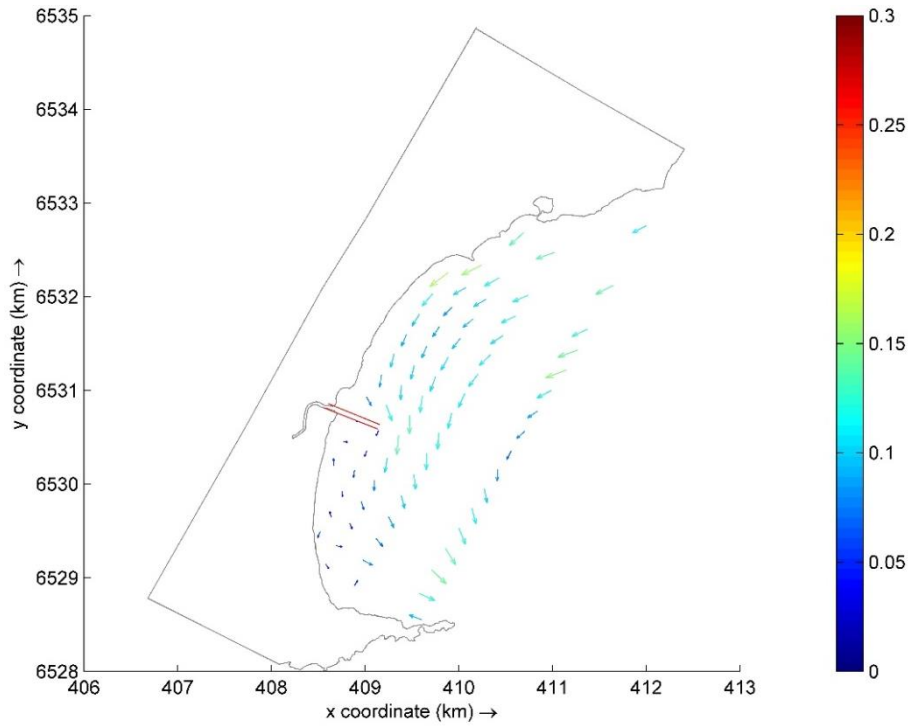
Correntes geradas através do cenário 4 (com obras). Escala de cores em m/s.



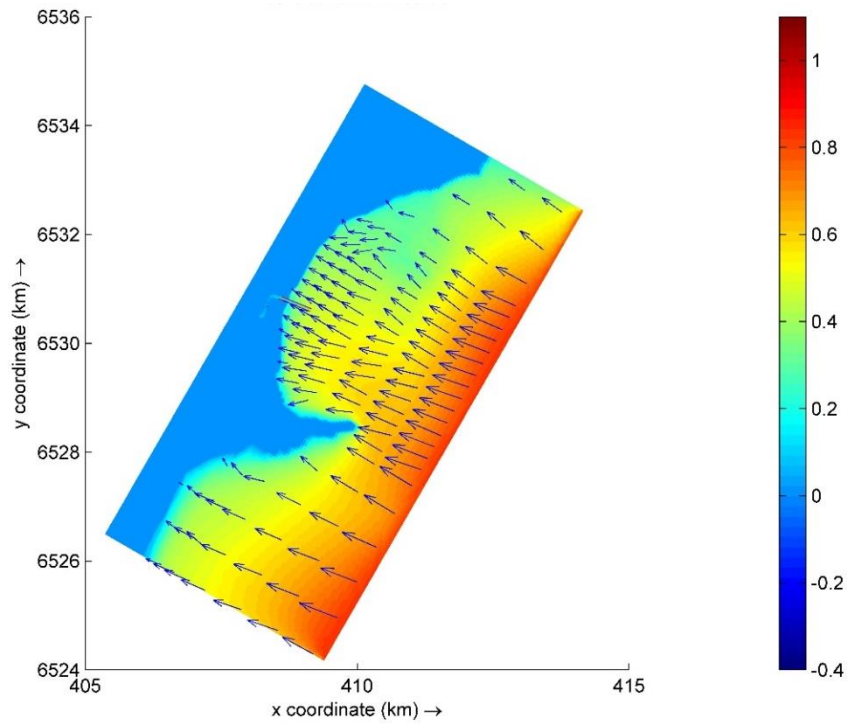
Cenário 5: $H_s = 0,54$ m, $T_p = 3,24$ s, $Dir = 116,8^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



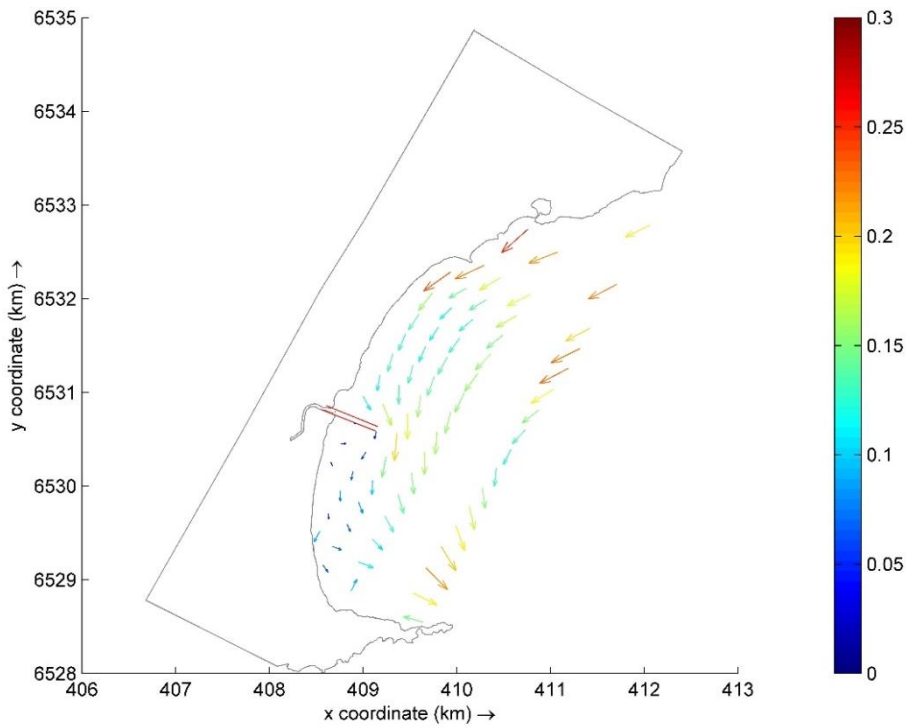
Correntes geradas através do cenário 5 (com obras). Escala de cores em m/s.



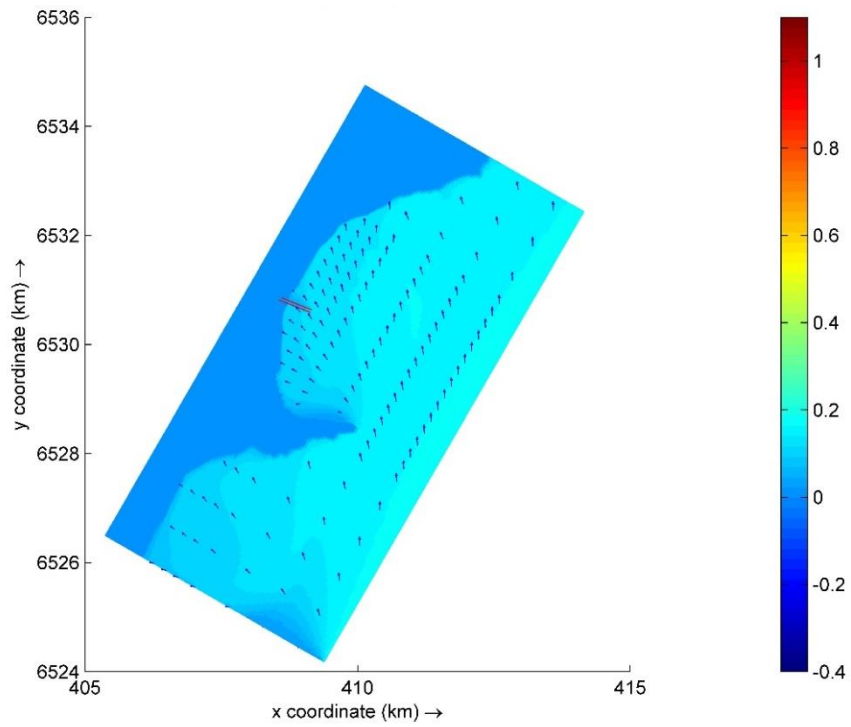
Cenário 6: $H_s = 0,82$ m, $T_p = 3,80$ s, $Dir = 113,7^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



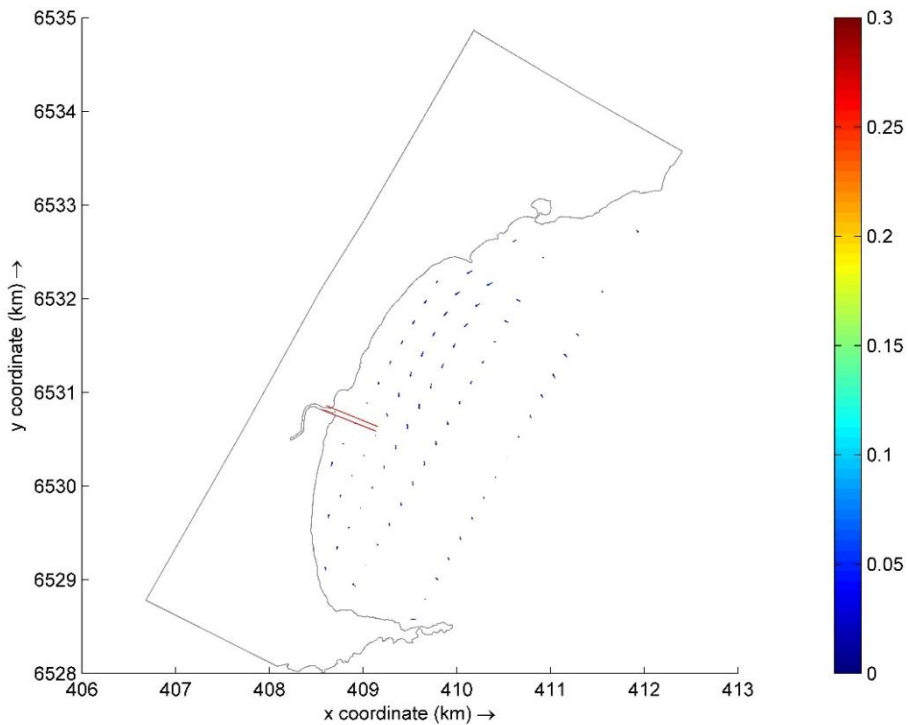
Correntes geradas através do cenário 6 (com obras). Escala de cores em m/s.



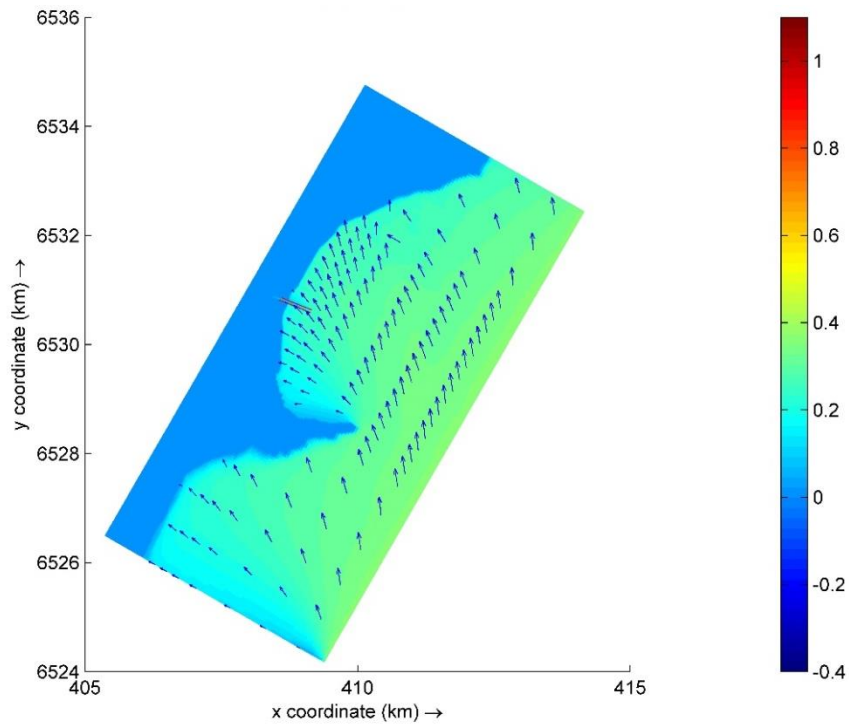
Cenário 7: $H_s = 0,18$ m, $T_p = 2,21$ s, $Dir = 117,6^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



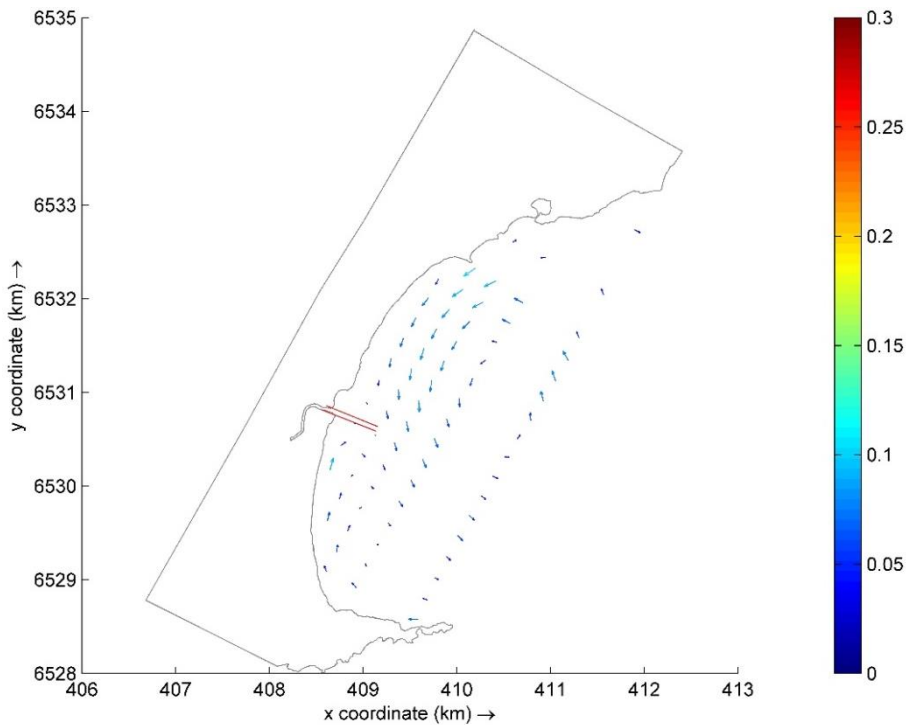
Correntes geradas através do cenário 7 (com obras). Escala de cores em m/s.



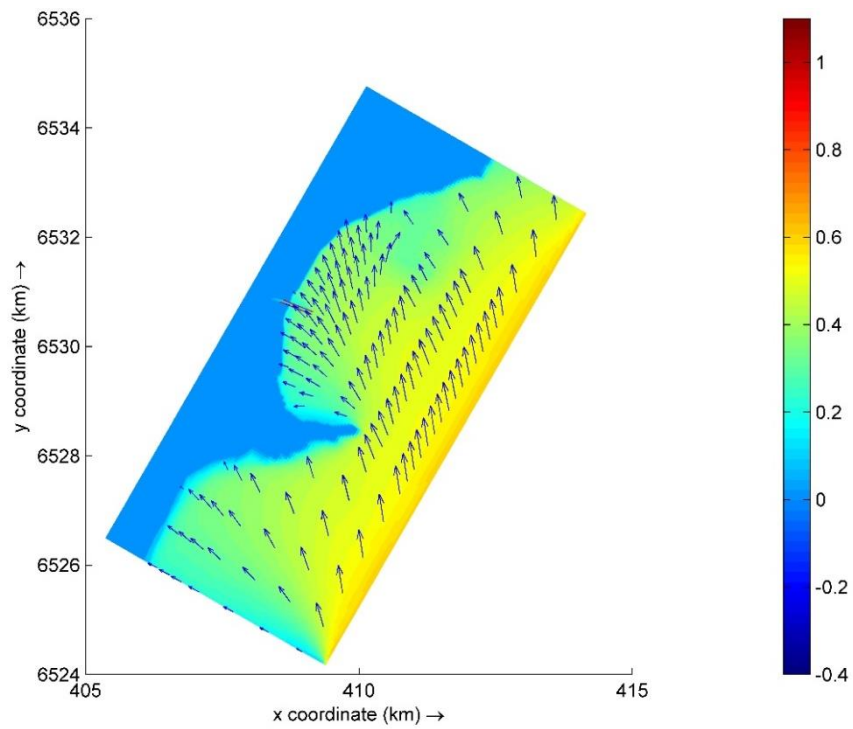
Cenário 8: $H_s = 0,38$ m, $T_p = 2,89$ s, $Dir = 177,0^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



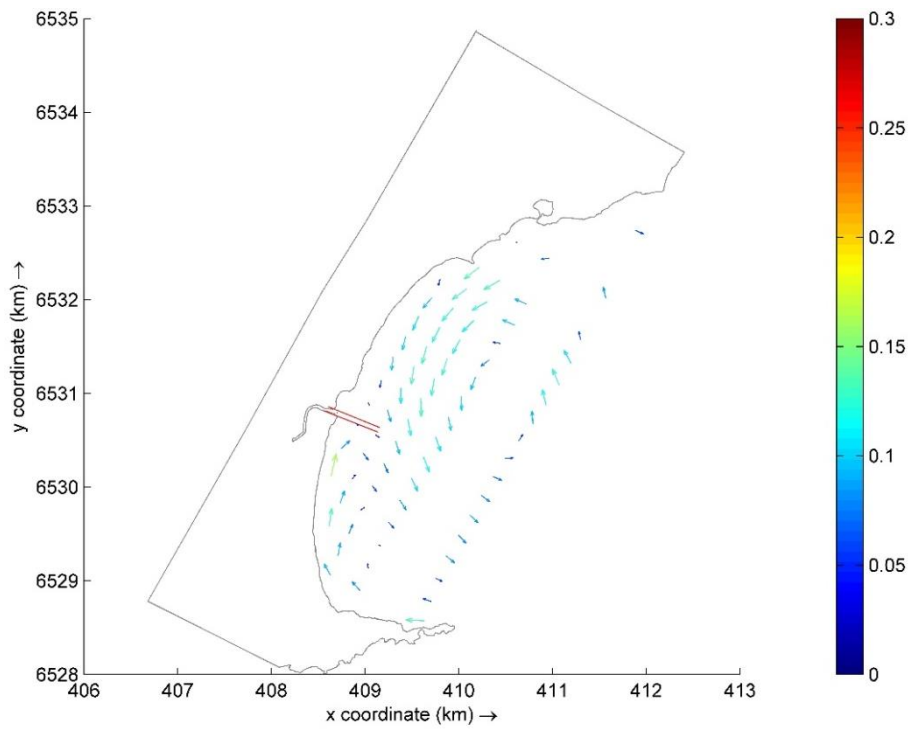
Correntes geradas através do cenário 8 (com obras). Escala de cores em m/s.



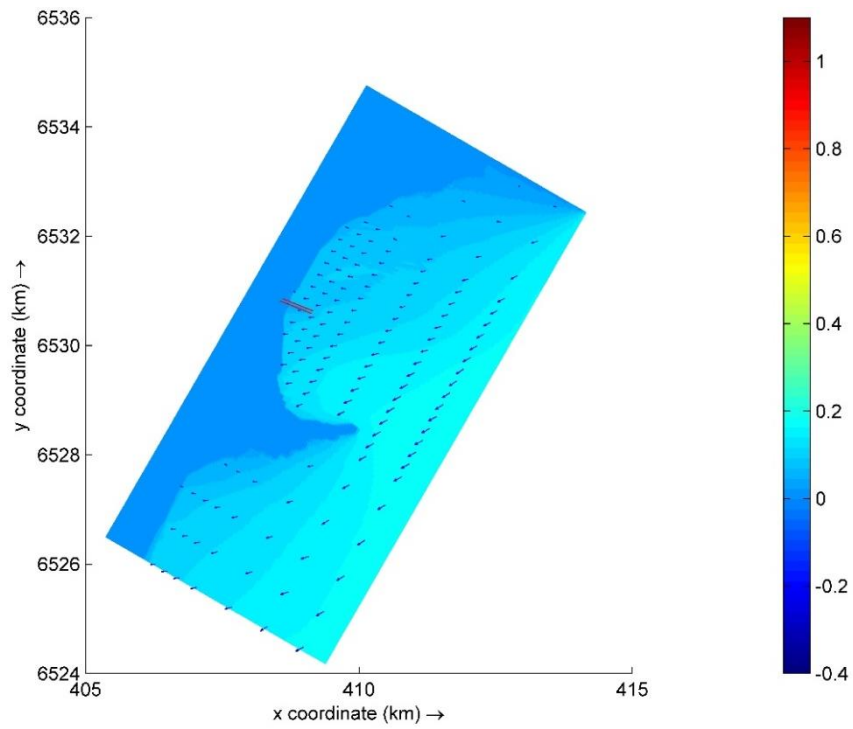
Cenário 9: $H_s = 0,64$ m, $T_p = 3,65$ s, $Dir = 179,4^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



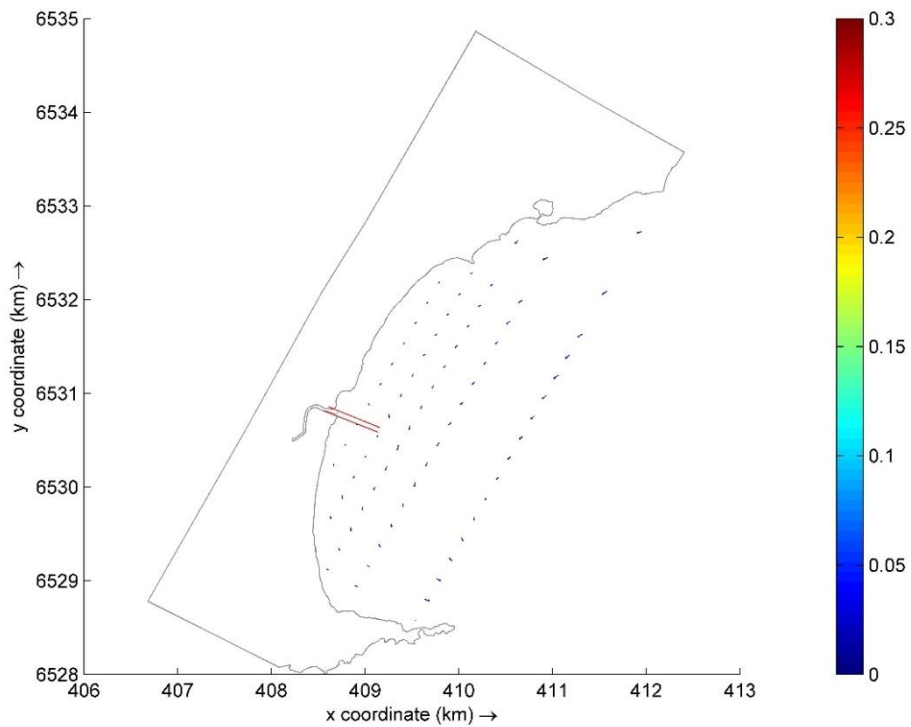
Correntes geradas através do cenário 9 (com obras). Escala de cores em m/s.



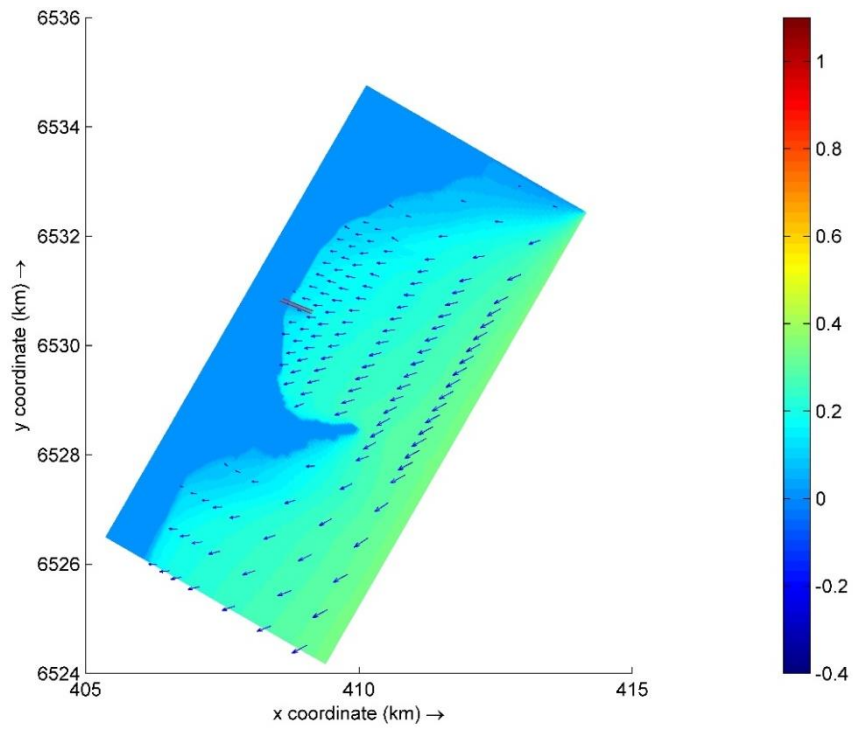
Cenário 10: $H_s = 0,17$ m, $T_p = 2,05$ s, $Dir = 61,2^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



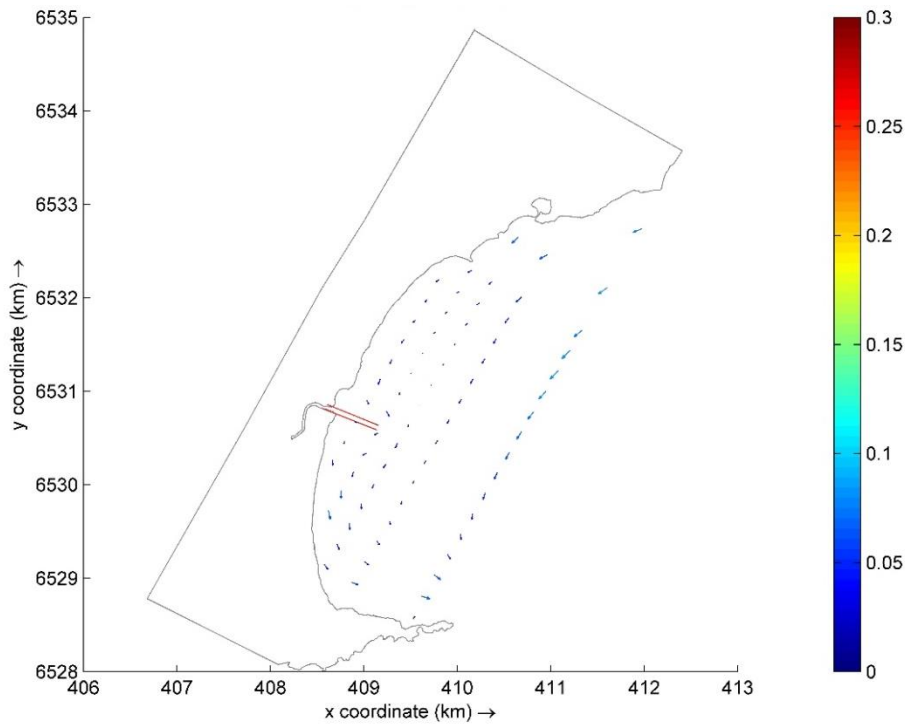
Correntes geradas através do cenário 10 (com obras). Escala de cores em m/s.



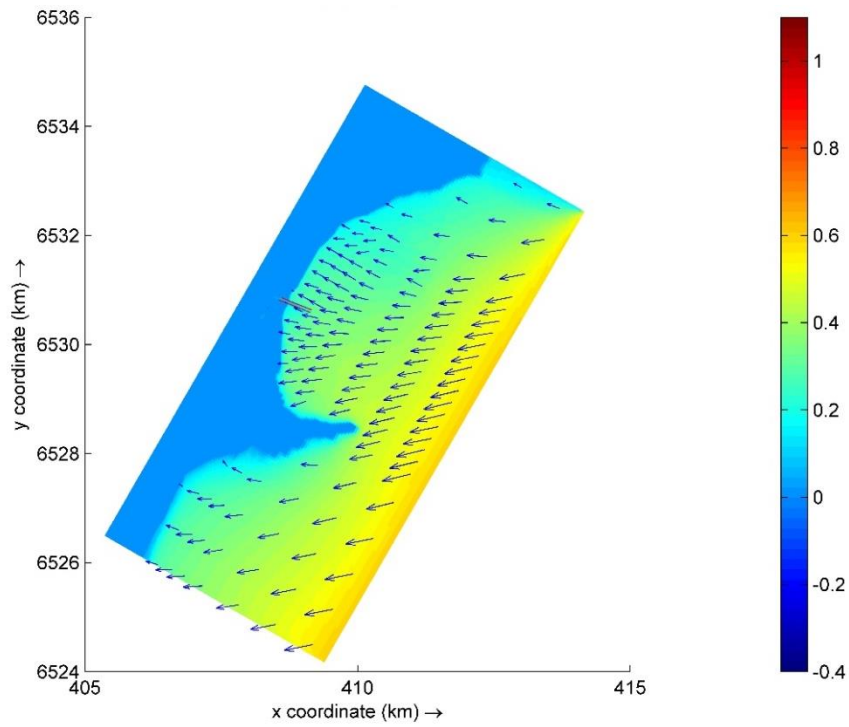
Cenário 11: $H_s = 0,35$ m, $T_p = 2,54$ s, $Dir 53,8^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



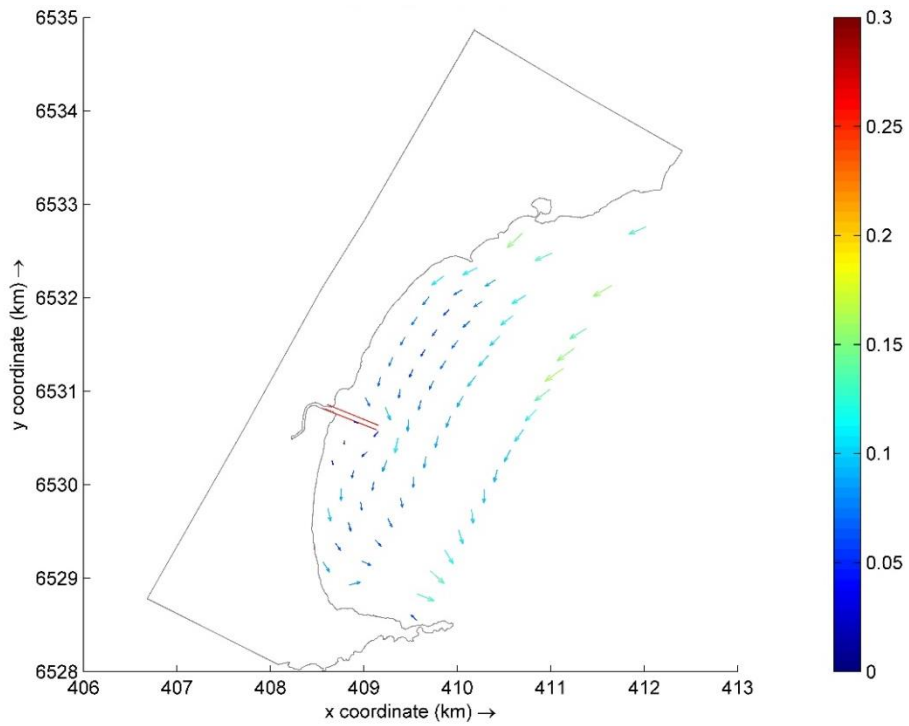
Correntes geradas através do cenário 11 (com obras). Escala de cores em m/s.



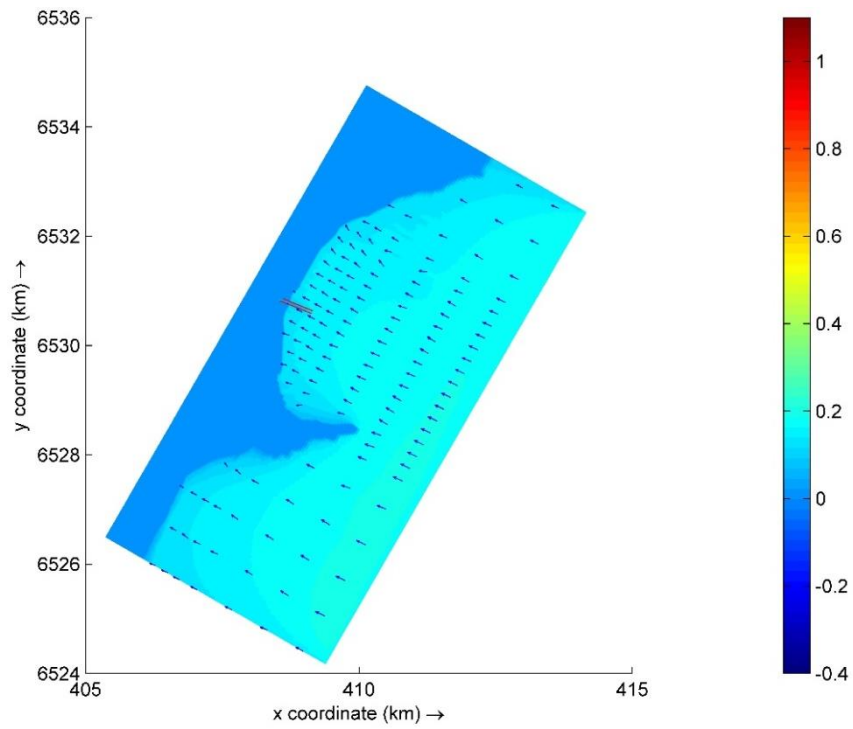
Cenário12: $H_s = 0,57$ m, $T_p = 3,13$ s, $Dir = 78,4^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



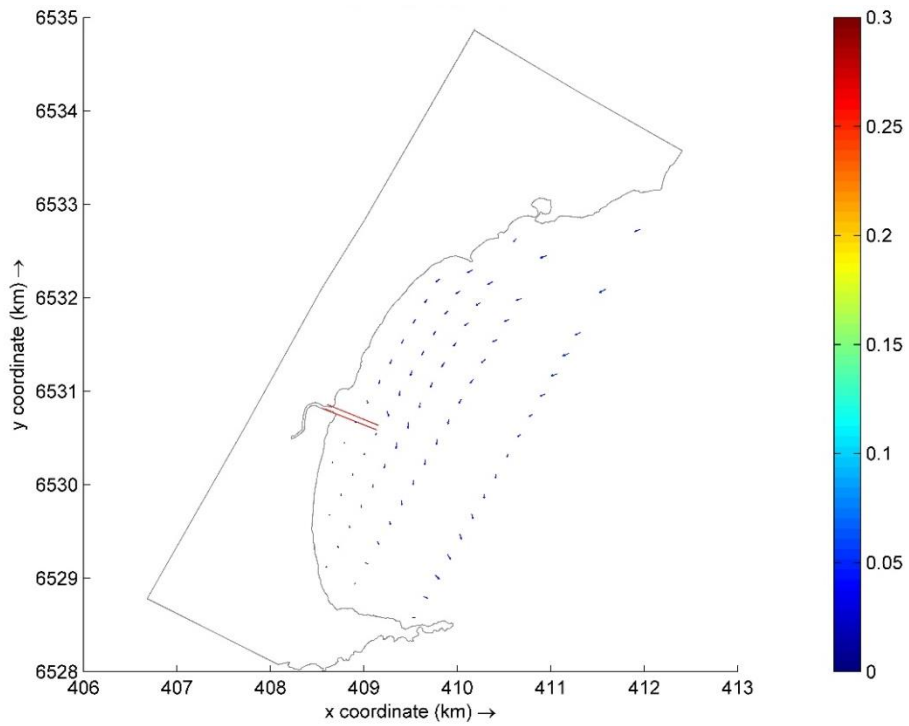
Correntes geradas através do cenário 12 (com obras). Escala de cores em m/s.



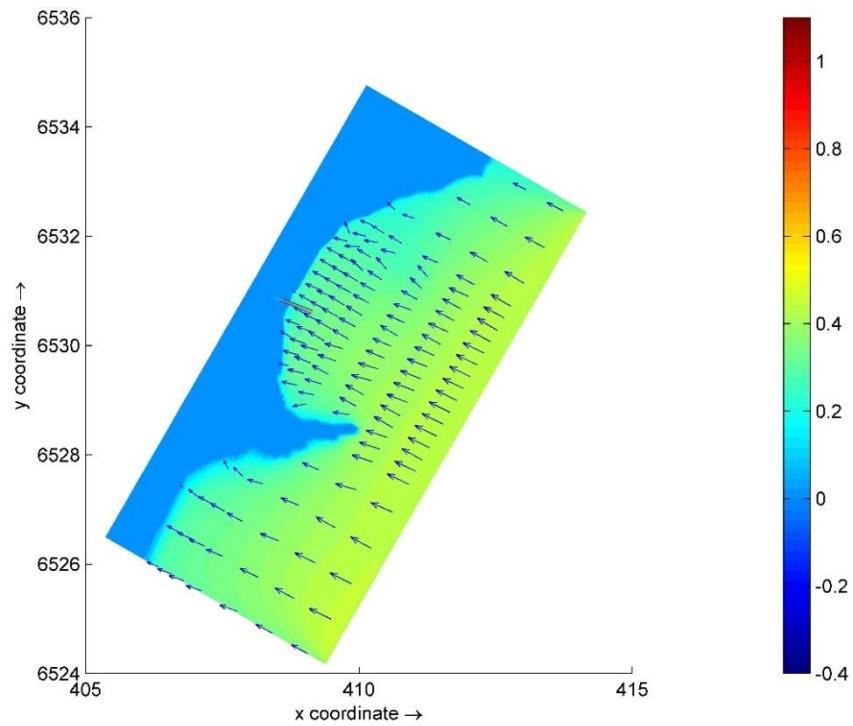
Cenário 13: $H_s = 0,18$ m, $T_p = 2,12$ s, $Dir = 116,7^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



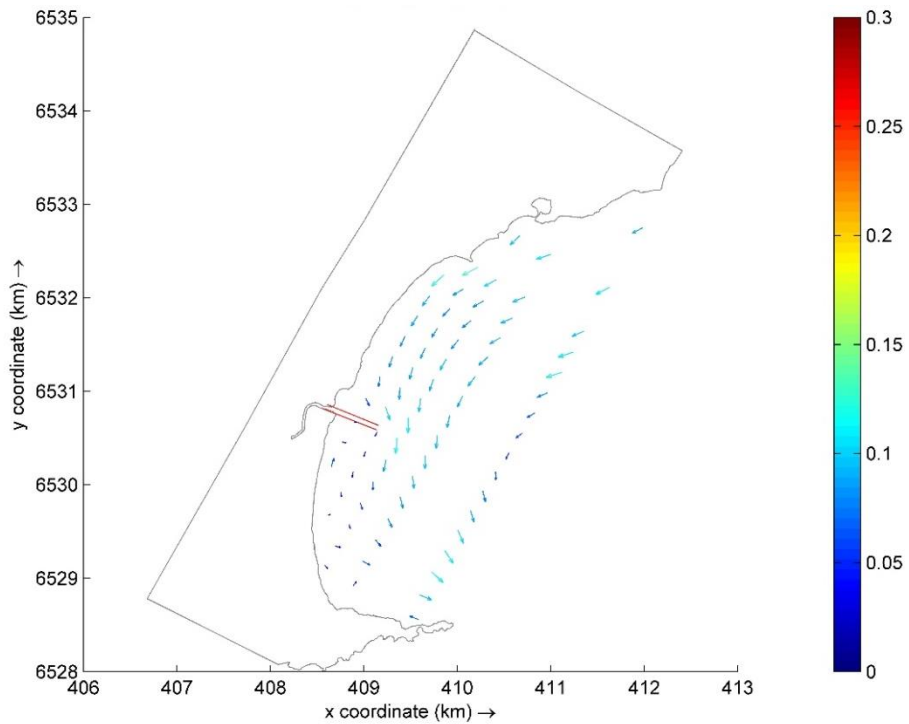
Correntes geradas através do cenário 13 (com obras). Escala de cores em m/s.



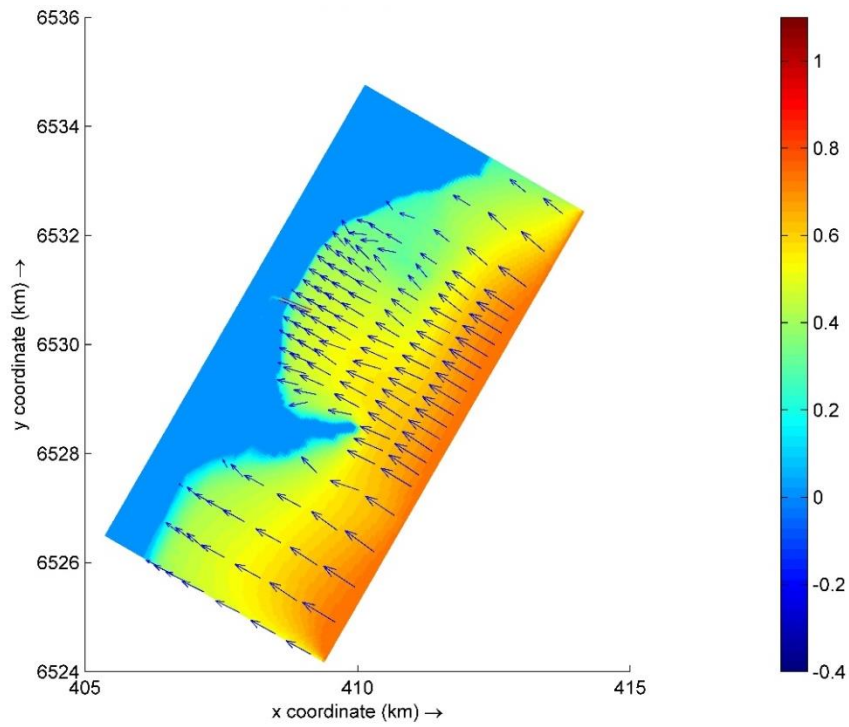
Cenário 14: $H_s = 0,43$ m, $T_p = 2,99$ s, $Dir = 119,9^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



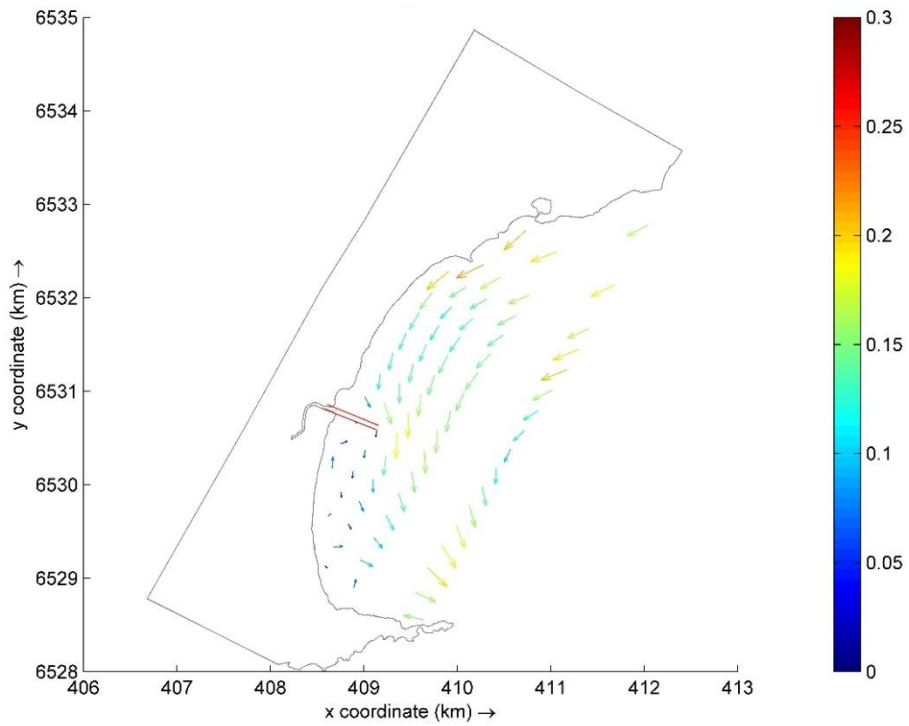
Correntes geradas através do cenário 14 (com obras). Escala de cores em m/s.



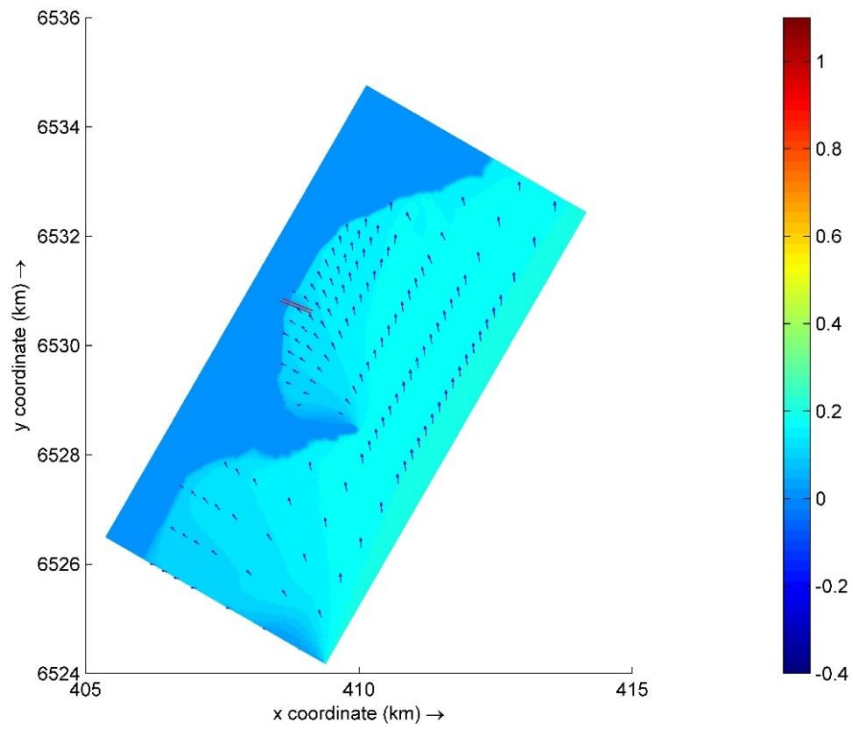
Cenário 15: $H_s = 0,74$ m, $T_p = 3,75$ s, $Dir = 127,4^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



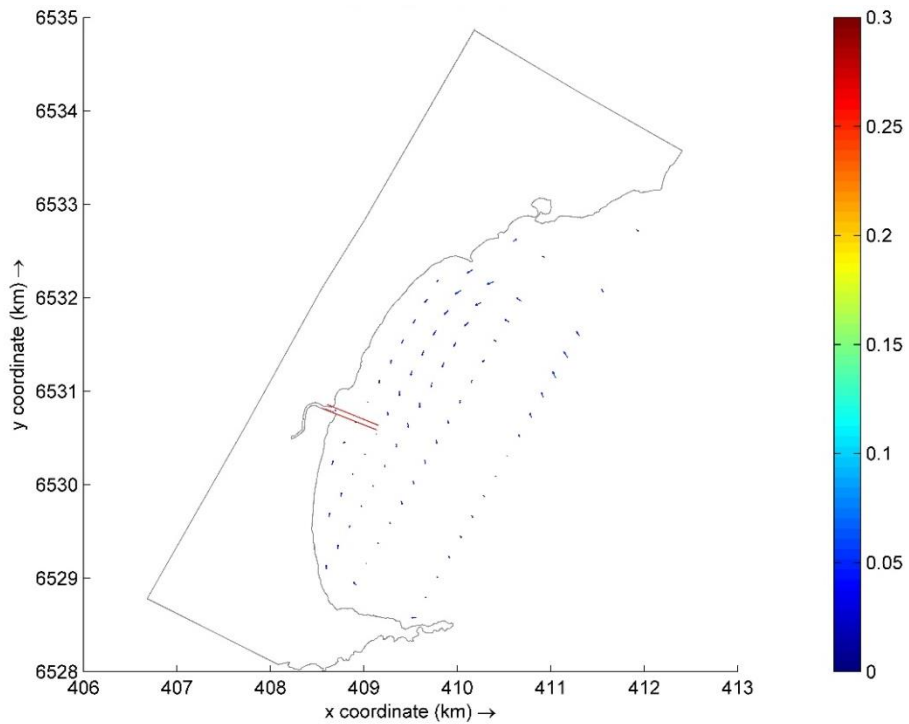
Correntes geradas através do cenário 15 (com obras). Escala de cores em m/s.



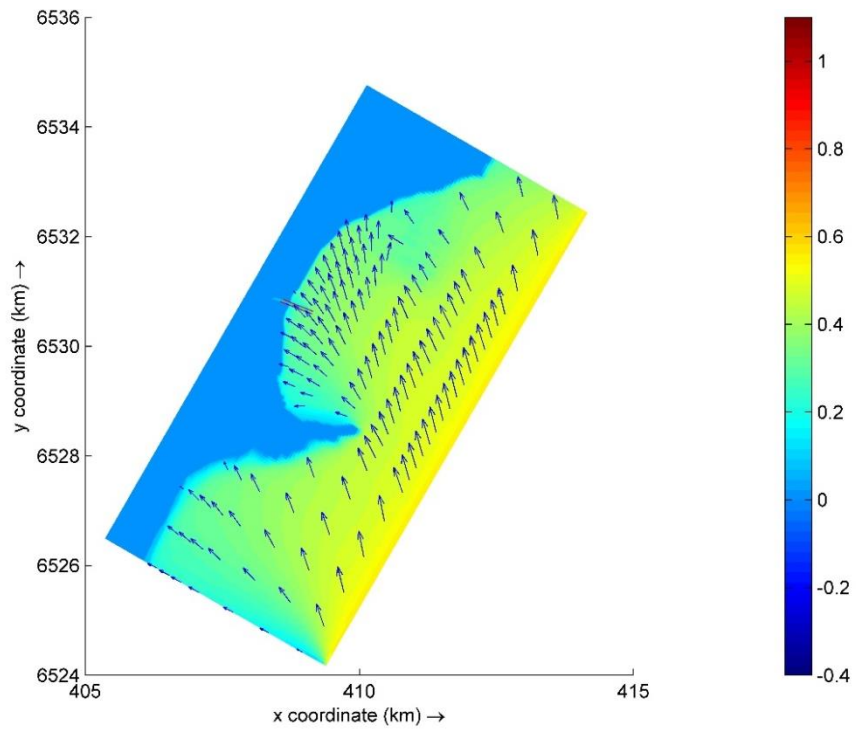
Cenário 16: $H_s = 0,21\text{m}$, $T_p = 2,27\text{ s}$, $\text{Dir} = 179,0^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



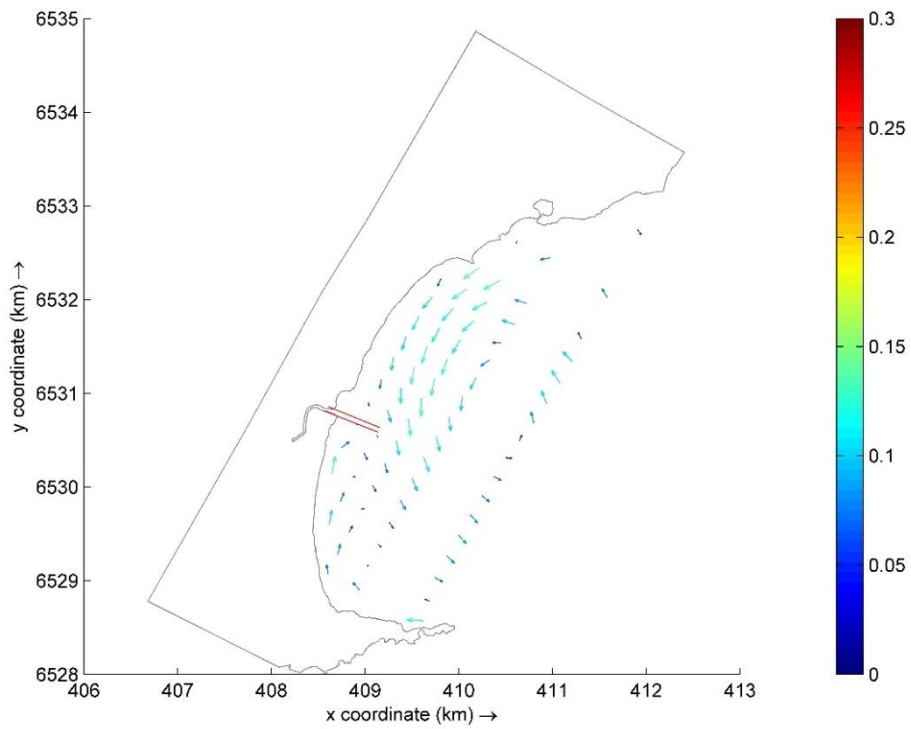
Correntes geradas através do cenário 16 (com obras). Escala de cores em m/s.



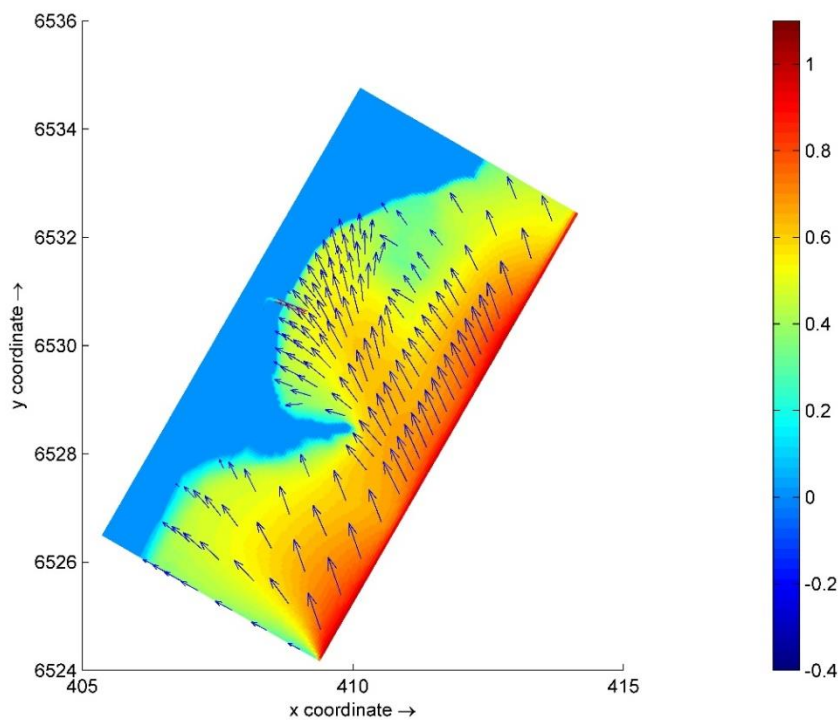
Cenário 17: $H_s = 0,57$ m, $T_p = 3,46$ s, $Dir = 174,0^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



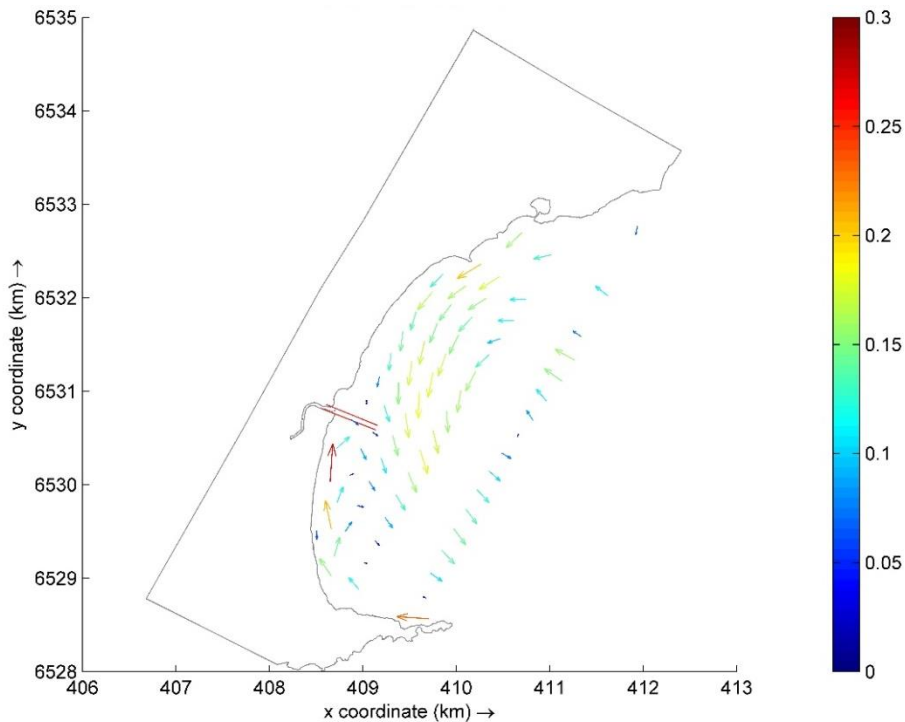
Correntes geradas através do cenário 17 (com obras). Escala de cores em m/s.



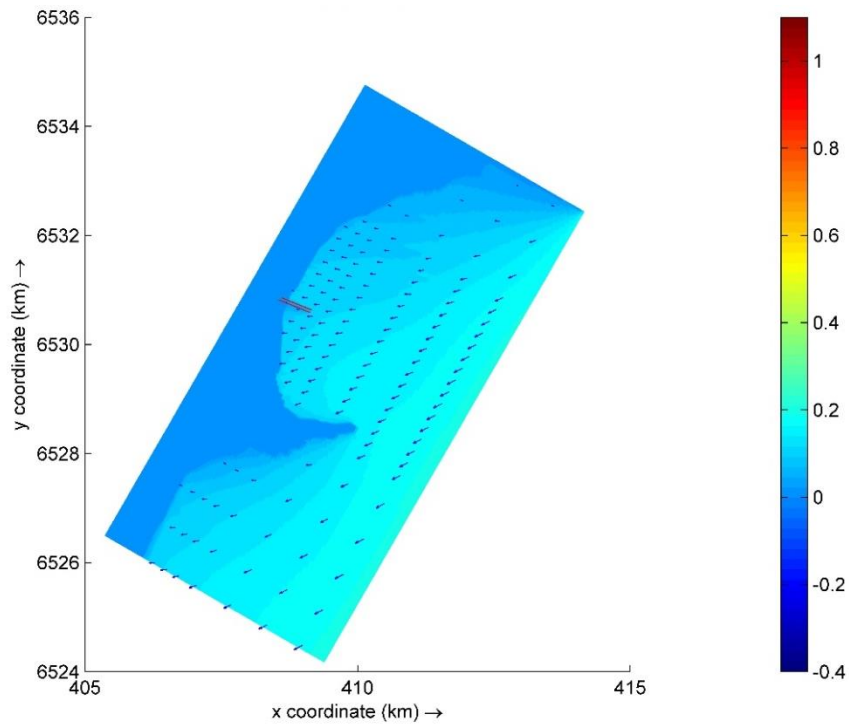
Cenário18: $H_s = 1,03$ m, $T_p = 4,54$ s, $Dir = 172,466^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



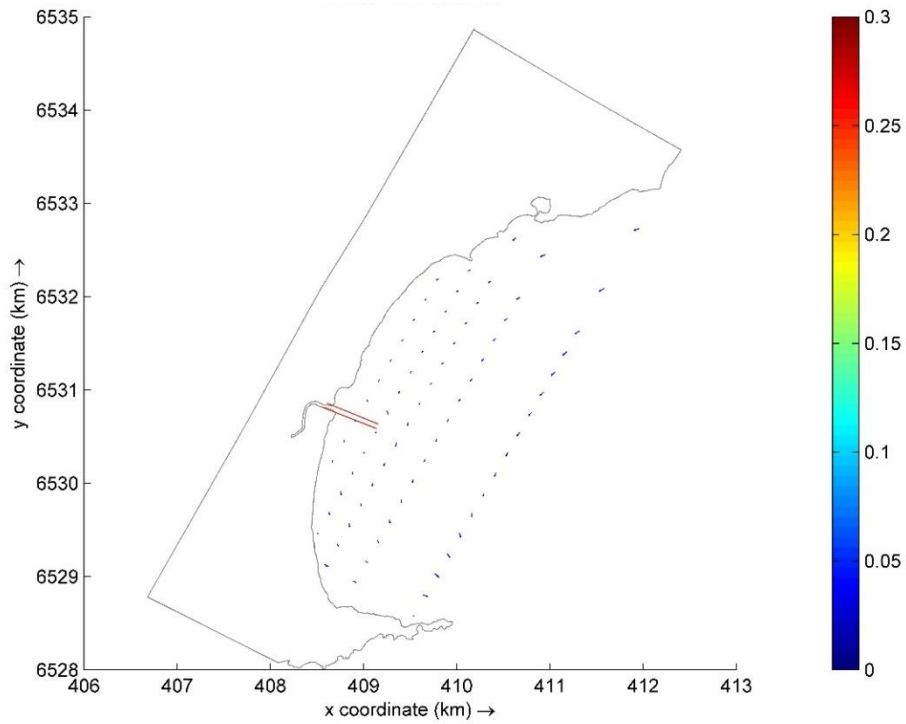
Correntes geradas através do cenário 18 (com obras). Escala de cores em m/s.



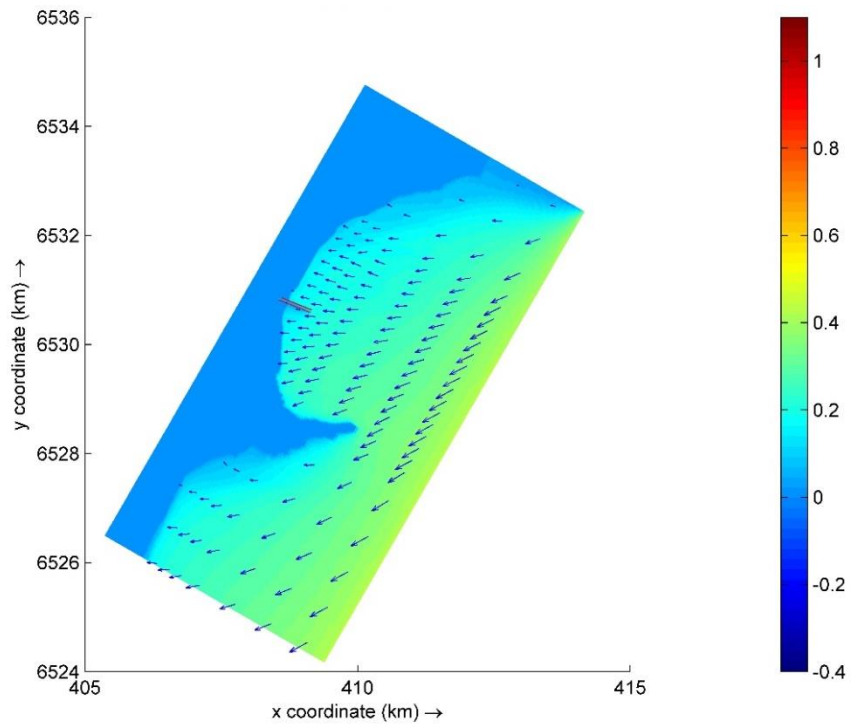
Cenário 19: $H_s = 0,19$ m, $T_p = 2,13$ s, $Dir = 60,10^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



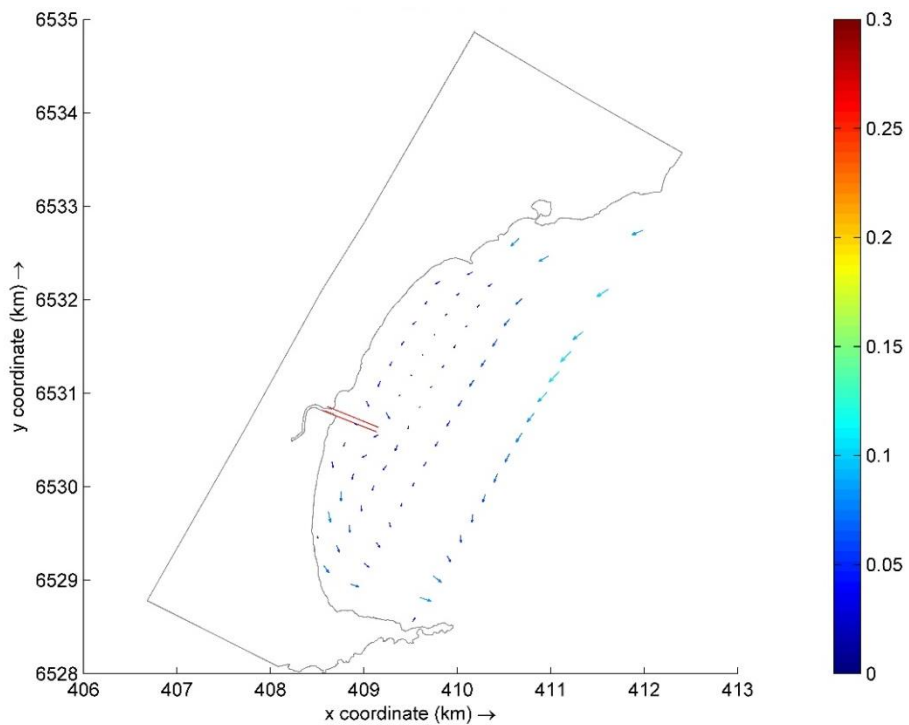
Correntes geradas através do cenário 19 (com obras). Escala de cores em m/s.



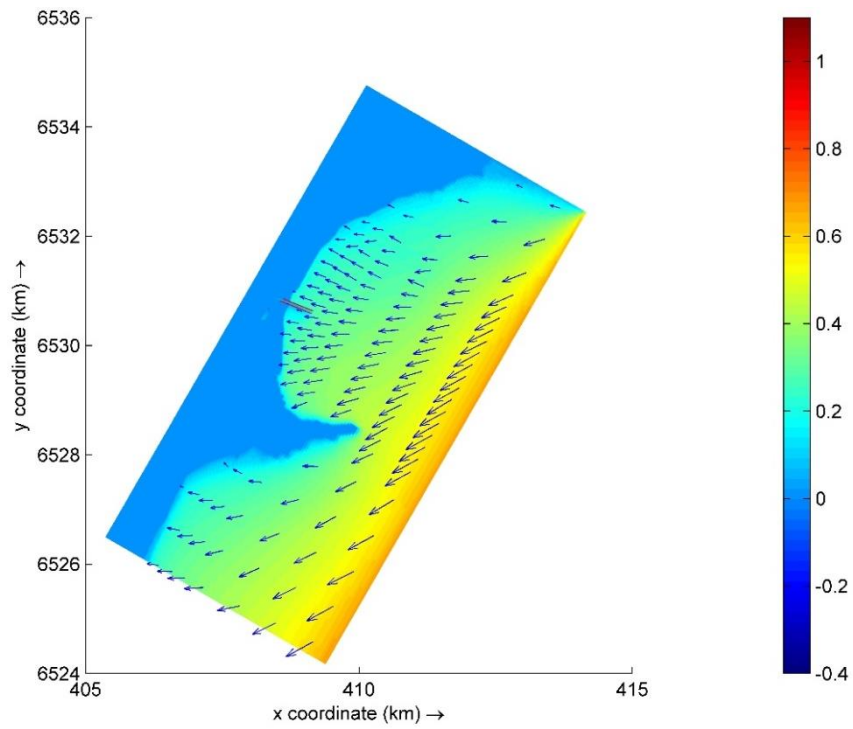
Cenário 20: $H_s = 0,43$ m, $T_p = 2,76$ s, $Dir = 53,42^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



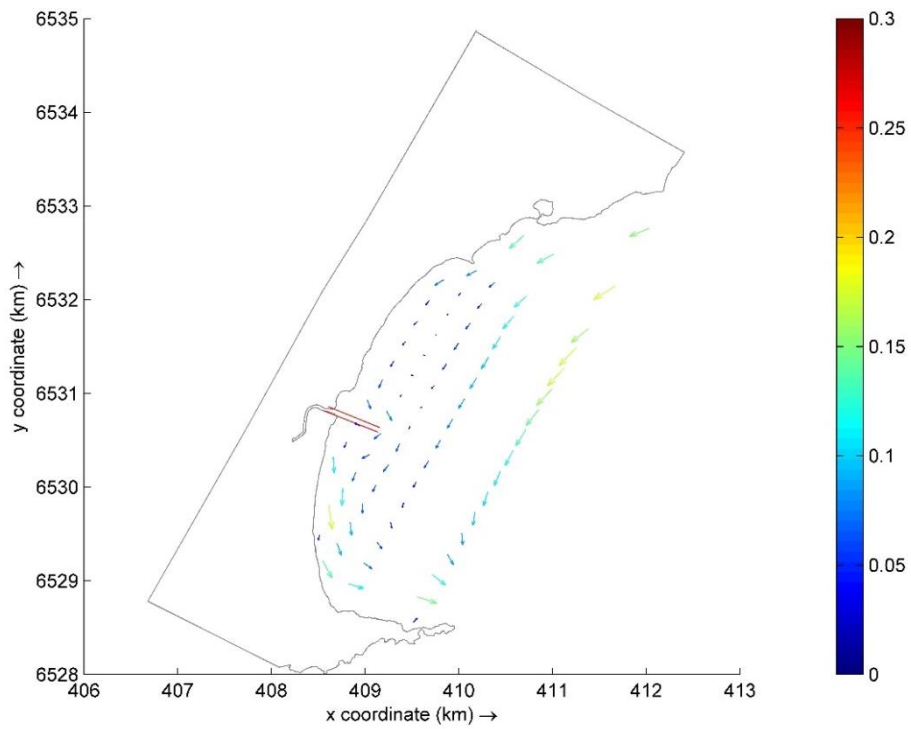
Correntes geradas através do cenário 20 (com obras). Escala de cores em m/s.



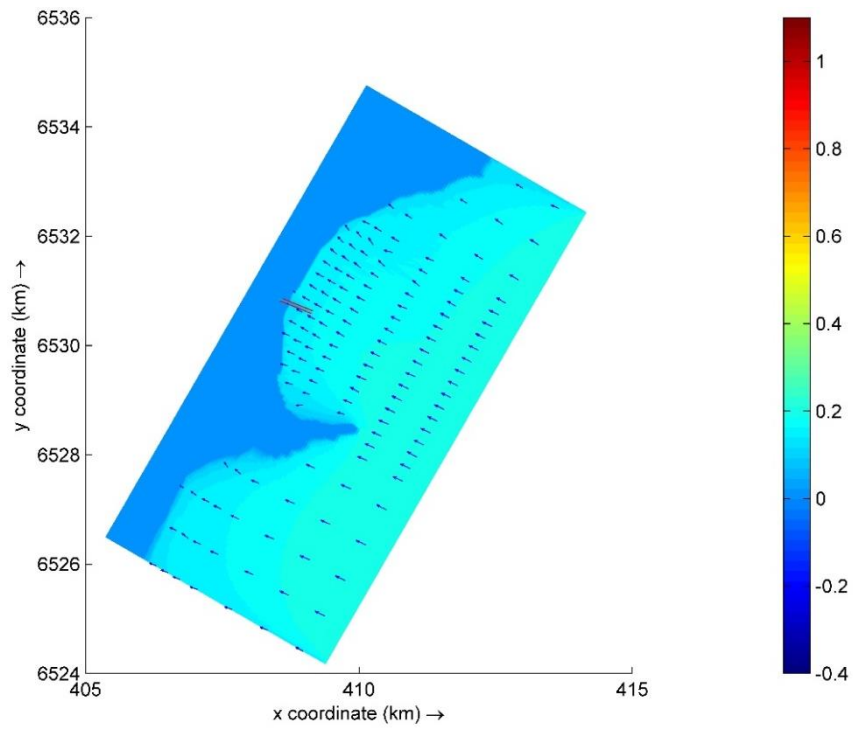
Cenário 21: $H_s = 0,69$ m, $T_p = 3,27$ s, $Dir = 54,38^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



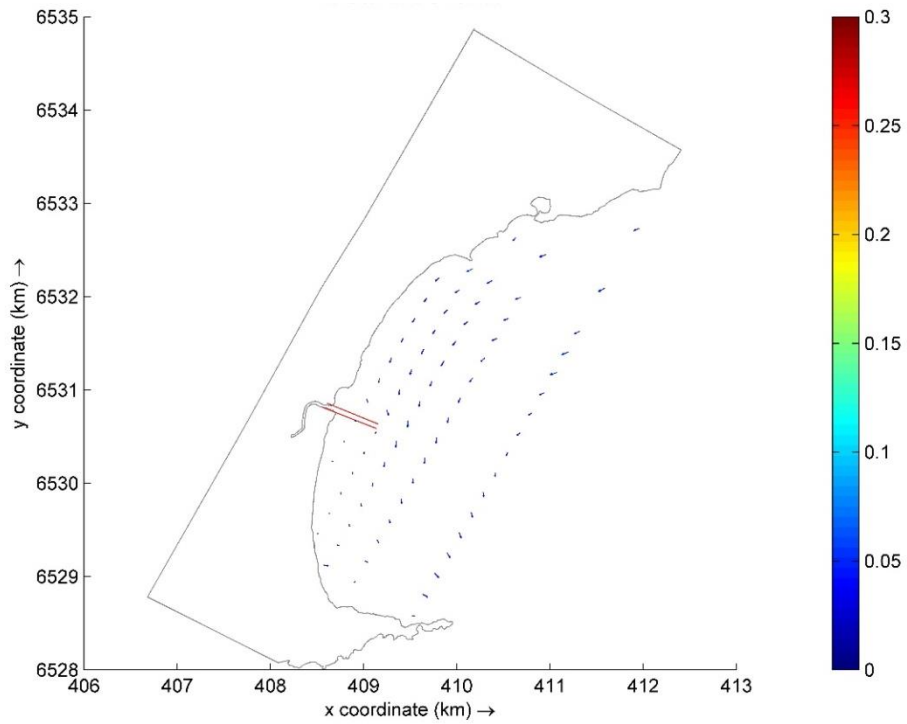
Correntes geradas através do cenário 21 (com obras). Escala de cores em m/s.



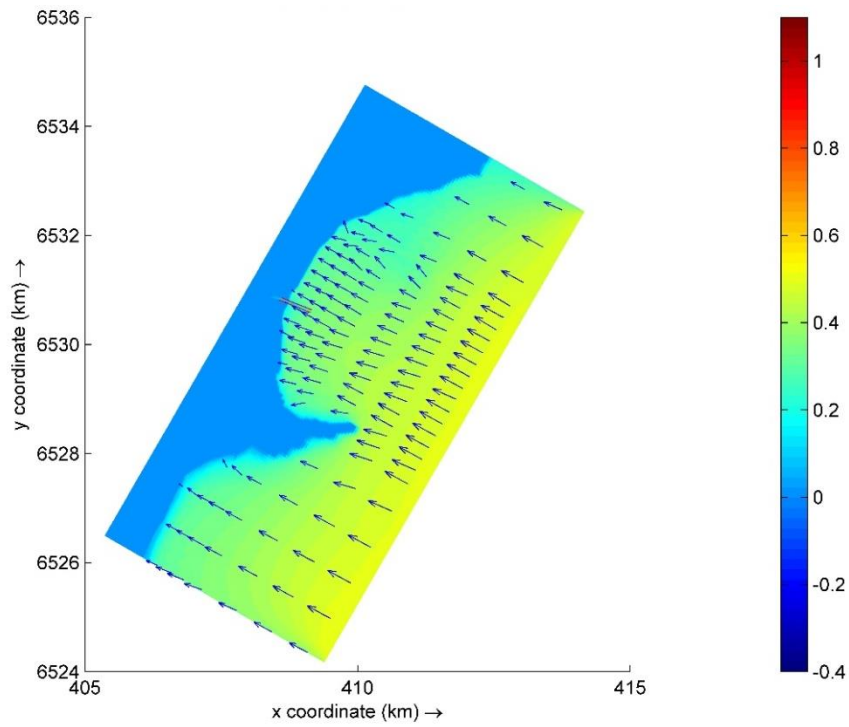
Cenário 22: $H_s = 0,19$ m, $T_p = 2,16$ s, $Dir = 119,3^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



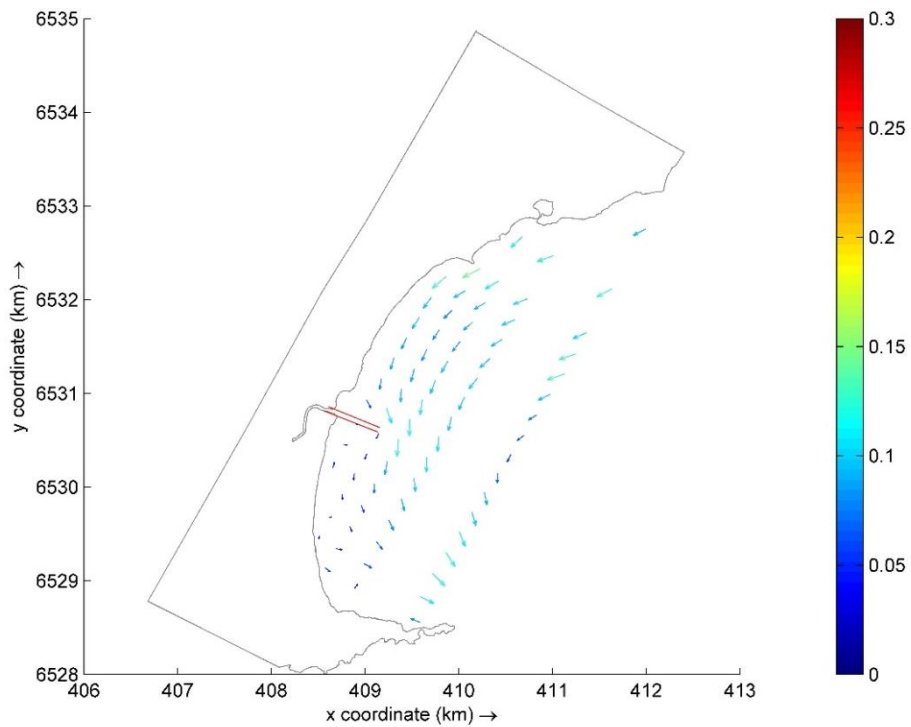
Correntes geradas através do cenário 22 (com obras). Escala de cores em m/s.



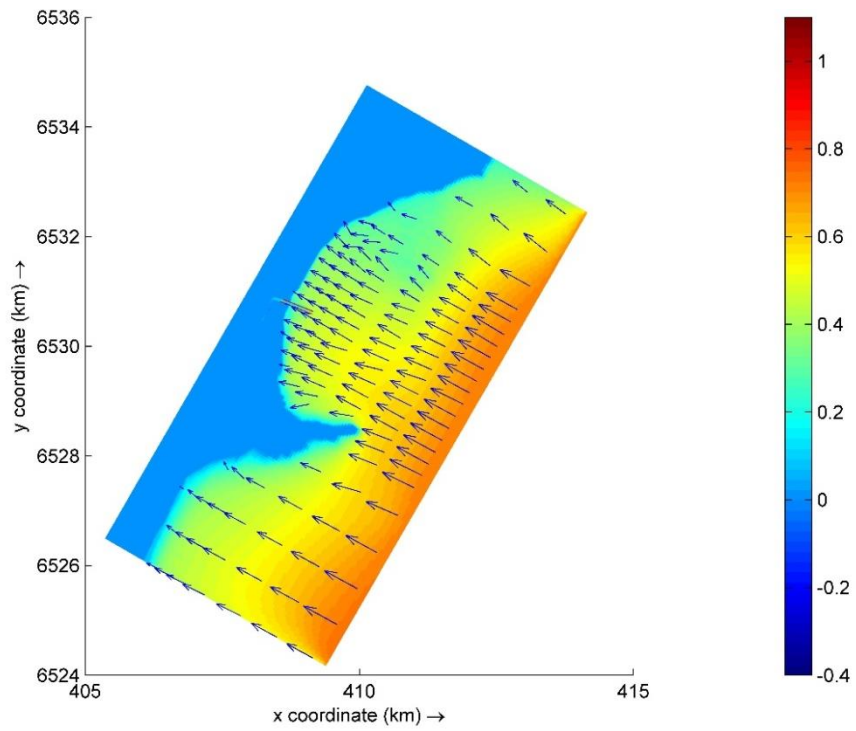
Cenário 23: $H_s = 0,48$ m, $T_p = 3,08$ s, $Dir = 119,5^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



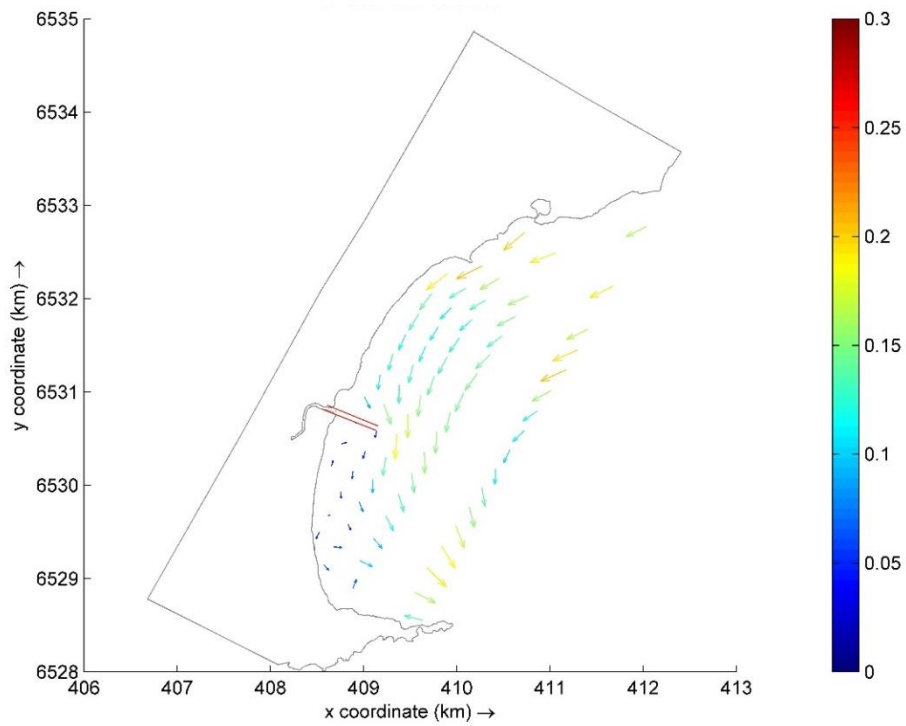
Correntes geradas através do cenário 23 (com obras). Escala de cores em m/s.



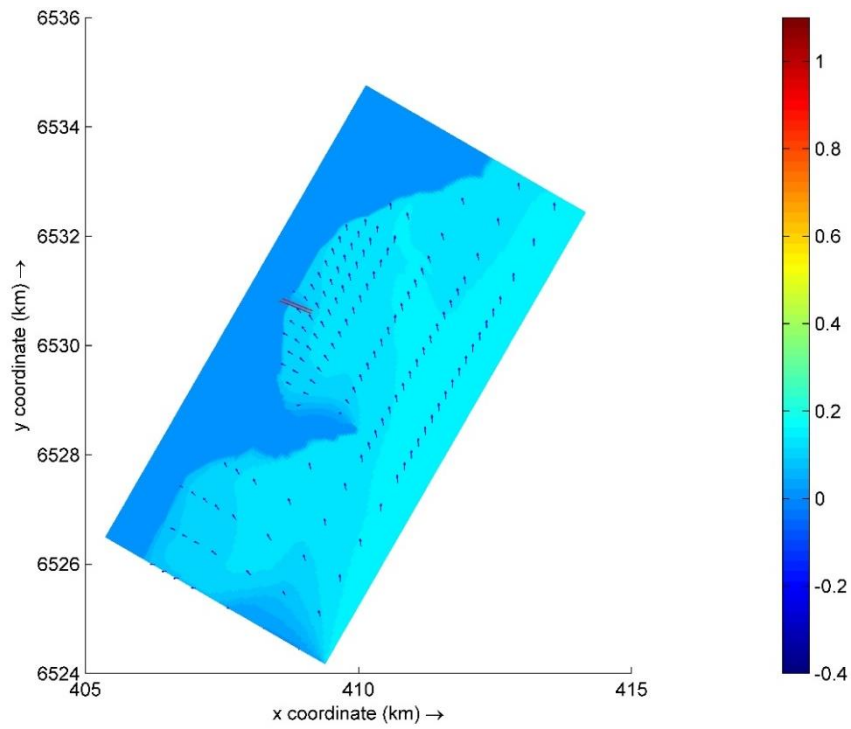
Cenário 24: $H_s = 0,72$ m, $T_p = 3,68$ s, $Dir = 121.6^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



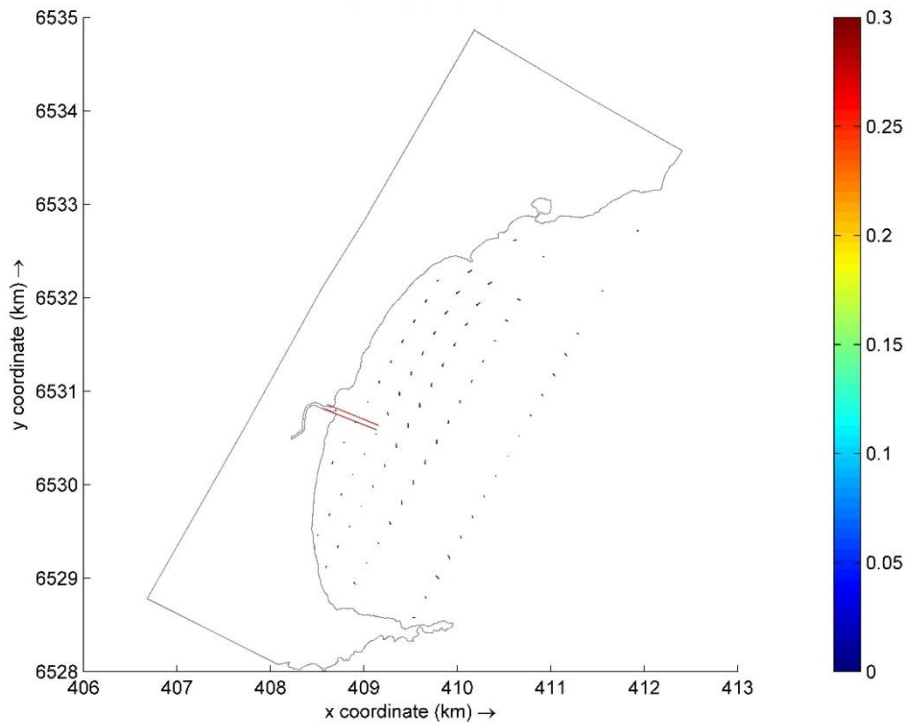
Correntes geradas através do cenário 24 (com obras). Escala de cores em m/s.



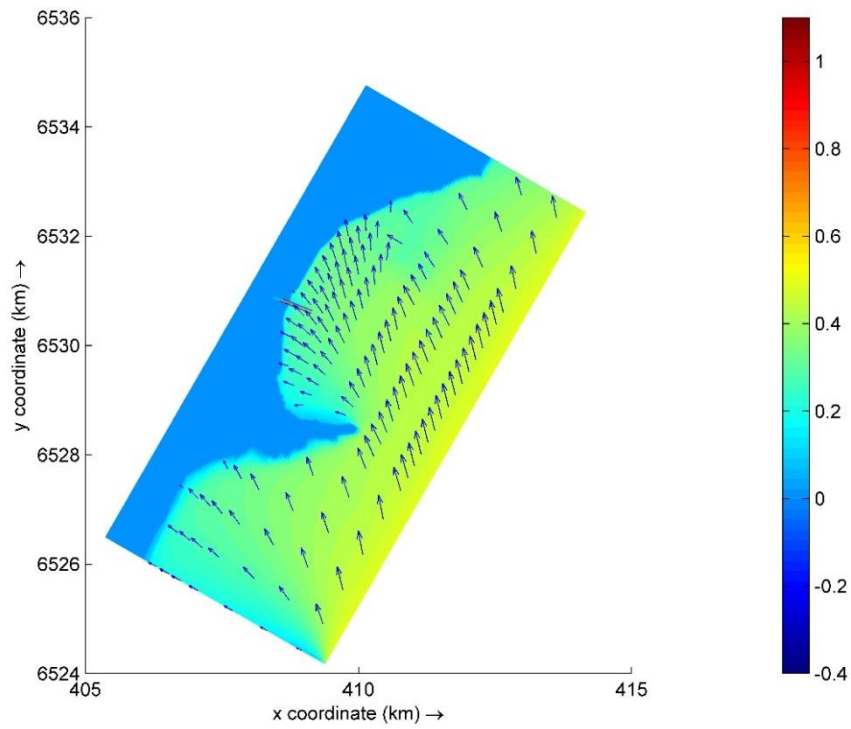
Cenário 25: $H_s = 0,16$ m, $T_p = 2,13$ s, $Dir = 176,2^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



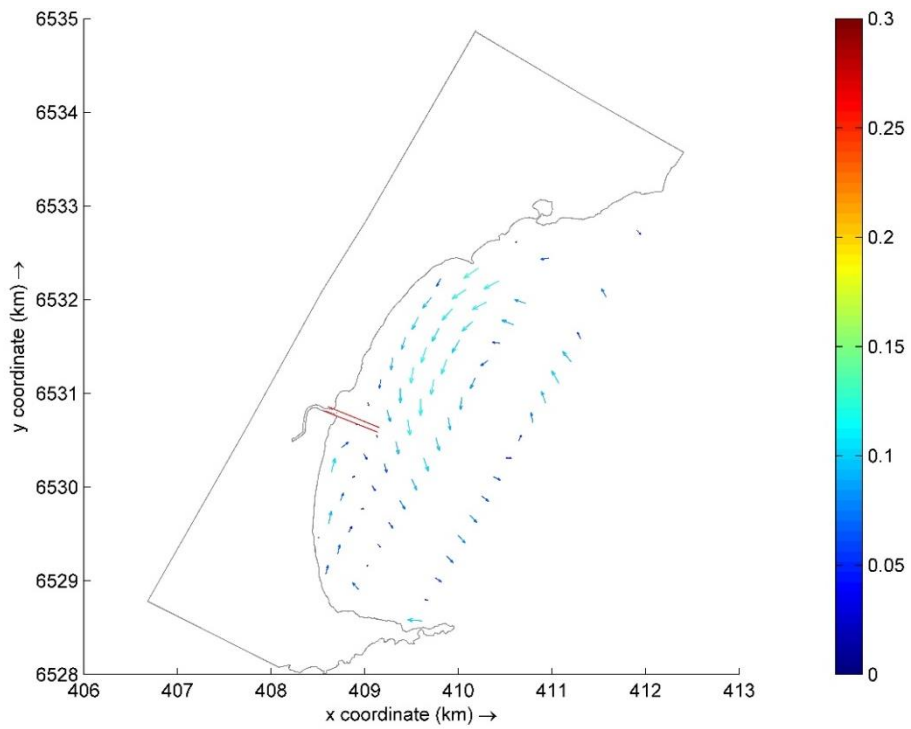
Correntes geradas através do cenário 25 (com obras). Escala de cores em m/s.



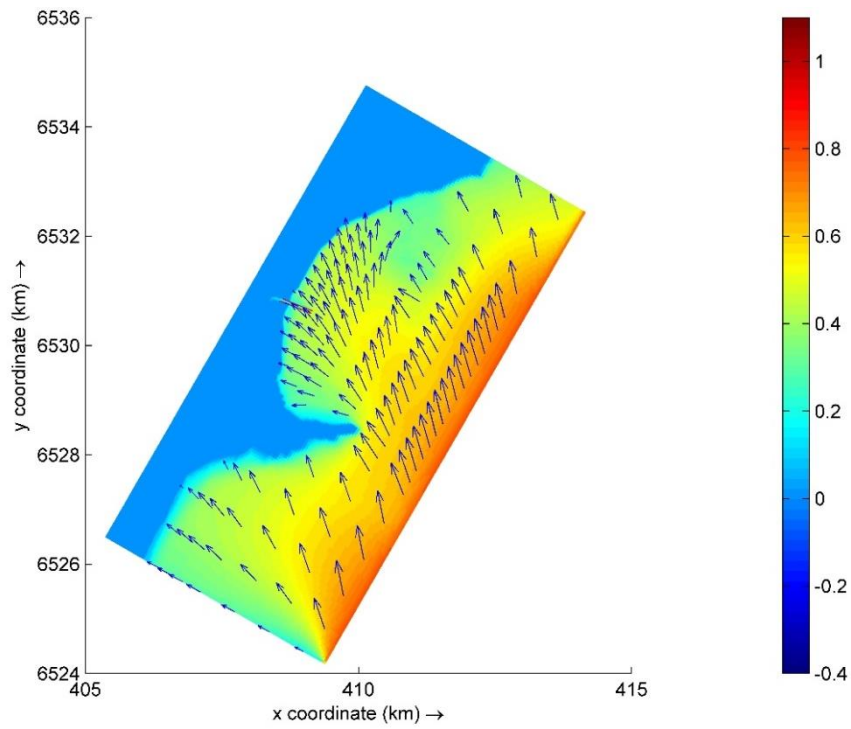
Cenário 26: $H_s = 0,52$ m, $T_p = 3,33$ s, $Dir = 174,3^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



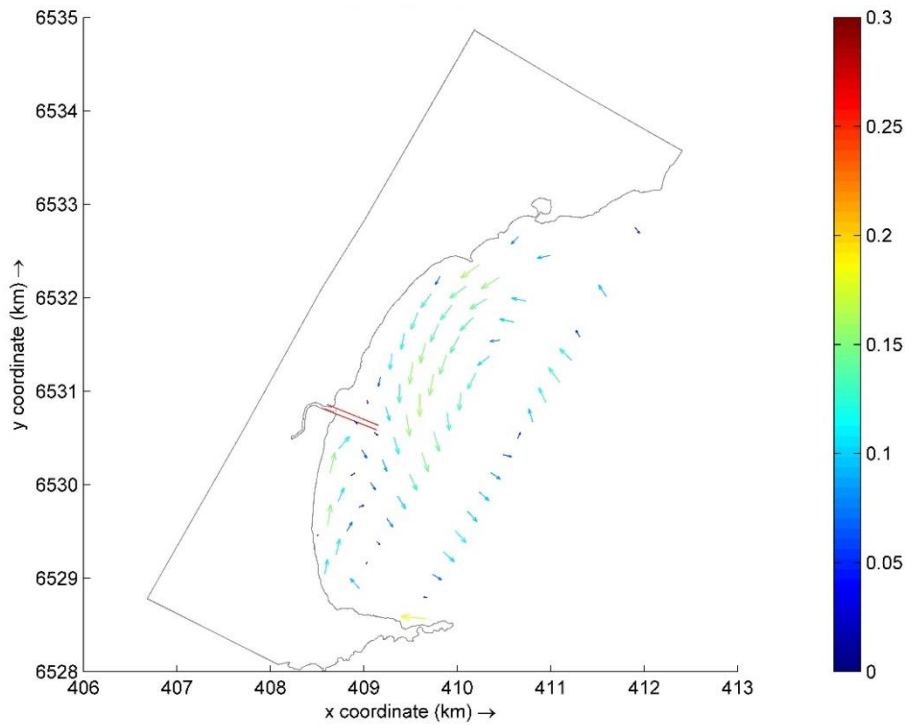
Correntes geradas através do cenário 26 (com obras). Escala de cores em m/s.



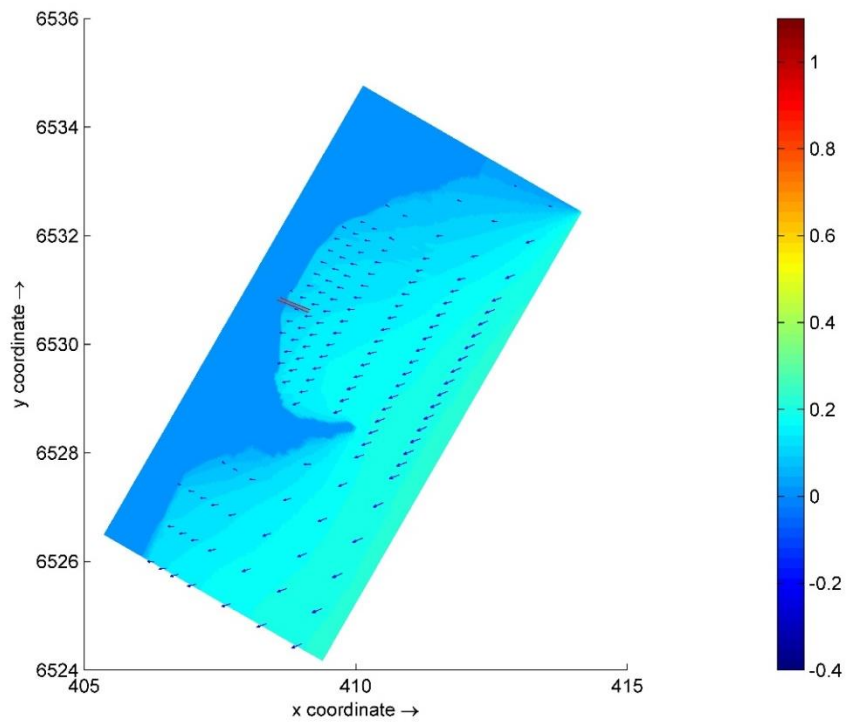
Cenário 27: $H_s = 0,82$ m, $T_p = 4,07$ s, $Dir = 175,9^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



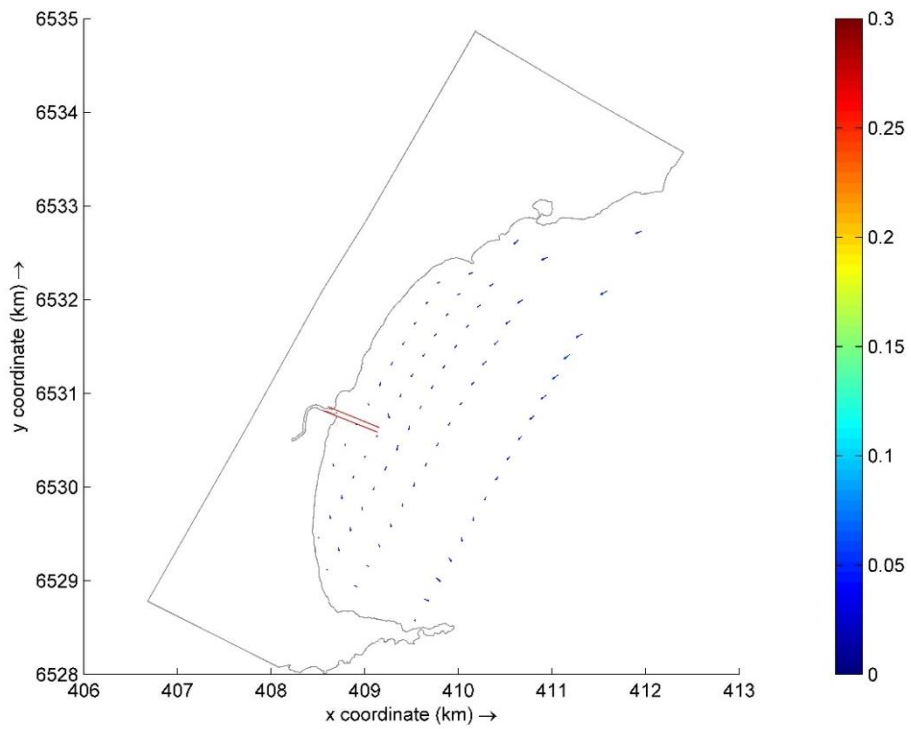
Correntes geradas através do cenário 27 (com obras). Escala de cores em m/s.



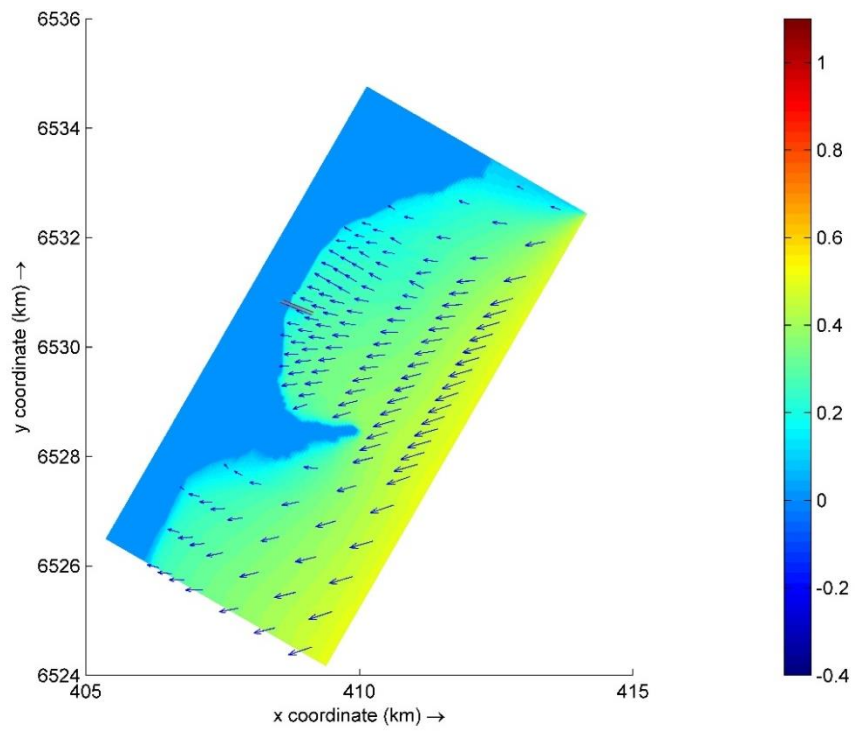
Cenário 28: $H_s = 0,21$ m, $T_p = 2,18$ s, $Dir = 66,2^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



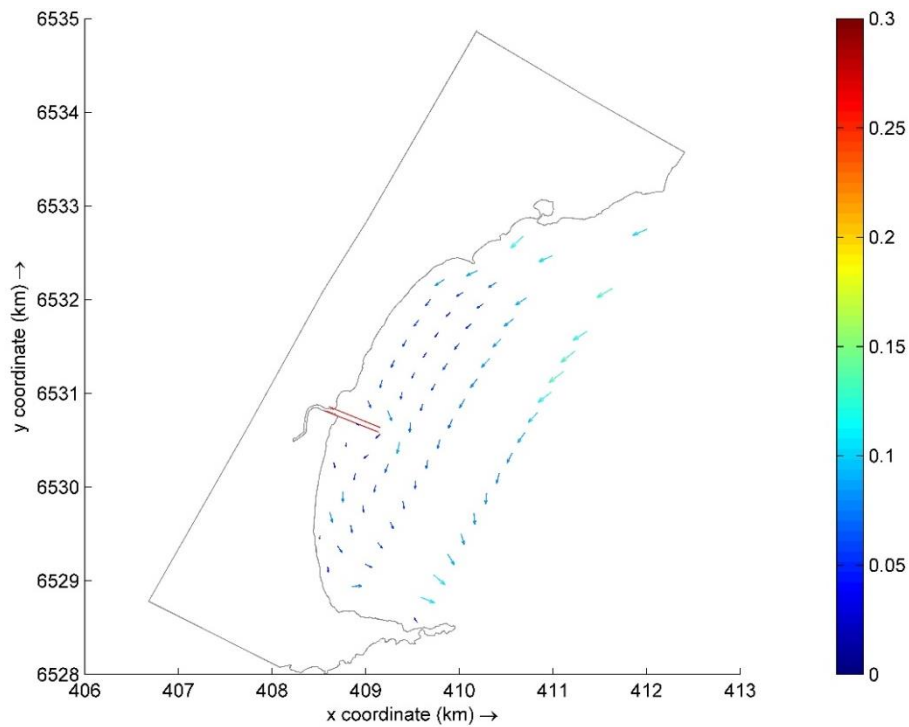
Correntes geradas através do cenário 28 (com obras). Escala de cores em m/s.



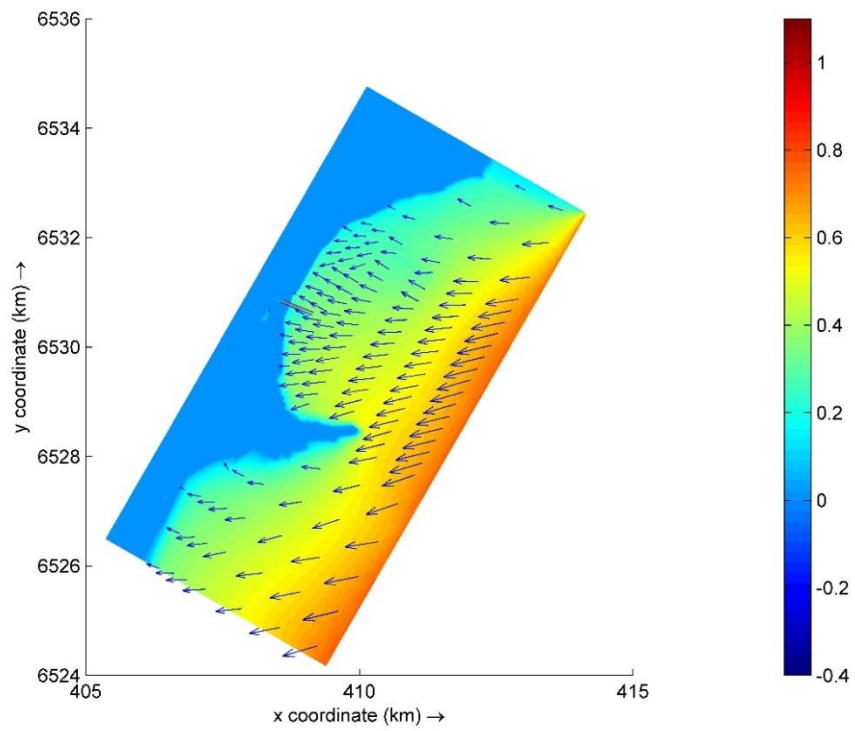
Cenário 29: $H_s = 0,49$ m, $T_p = 2,94$ s, $Dir = 73,1^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



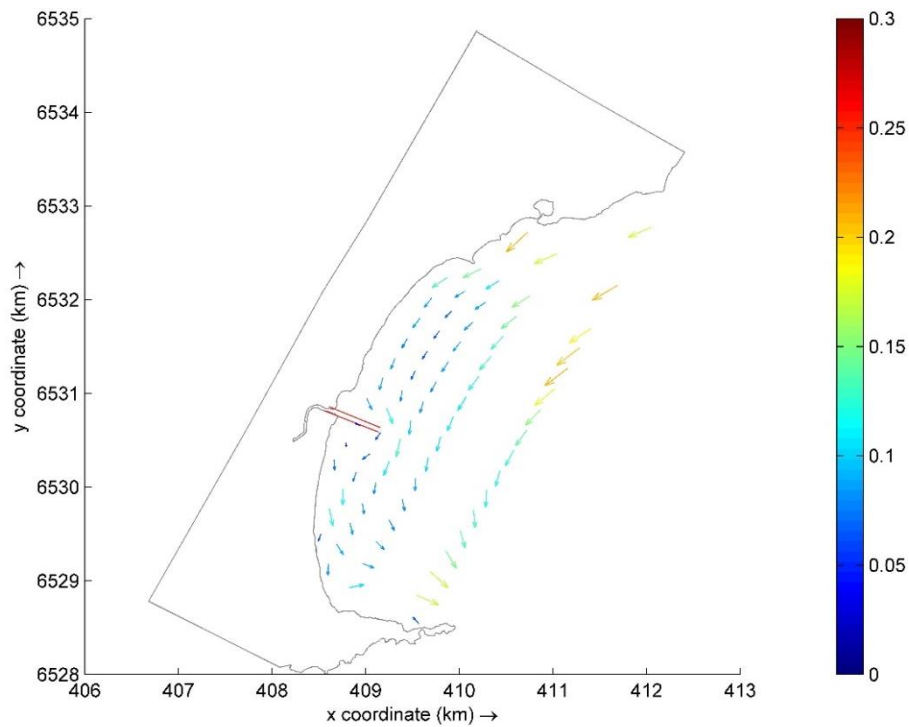
Correntes geradas através do cenário 29 (com obras). Escala de cores em m/s.



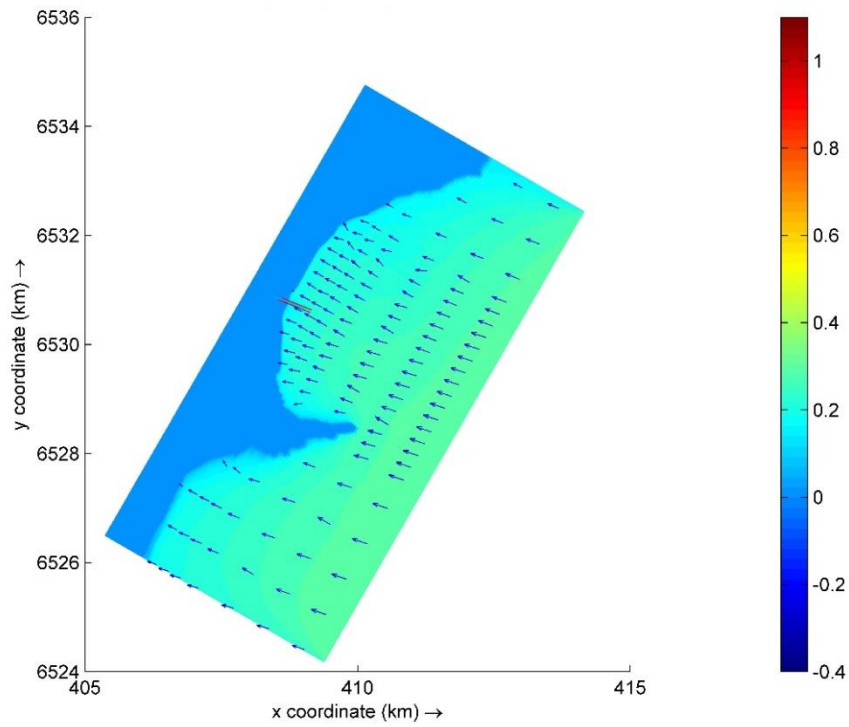
Cenário 30: $H_s = 0,73$ m, $T_p = 3,42$ s, $Dir = 76,9^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



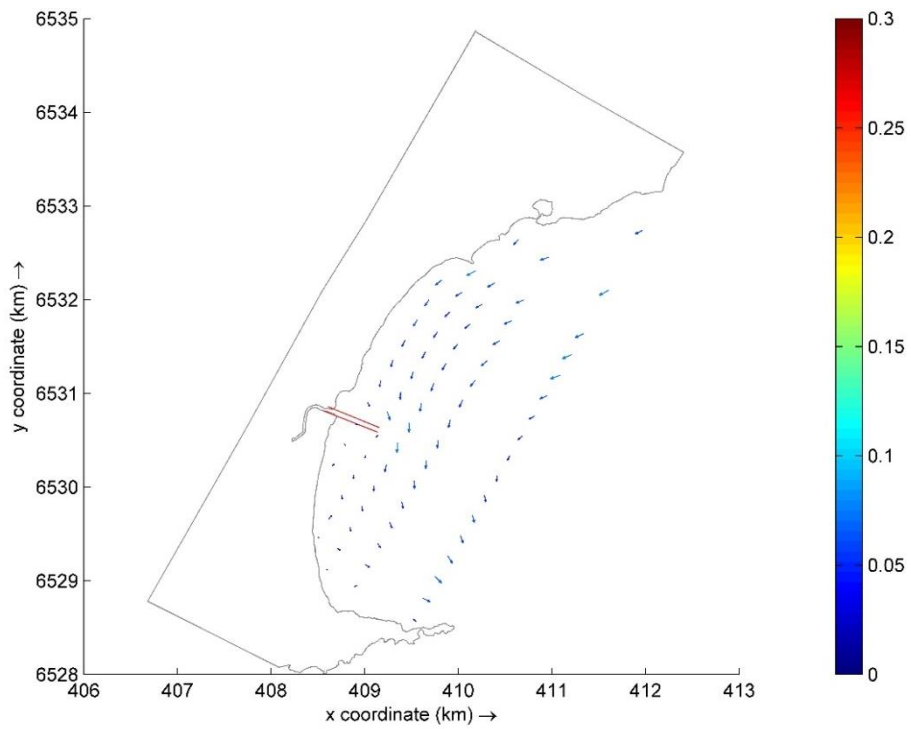
Correntes geradas através do cenário 30 (com obras). Escala de cores em m/s.



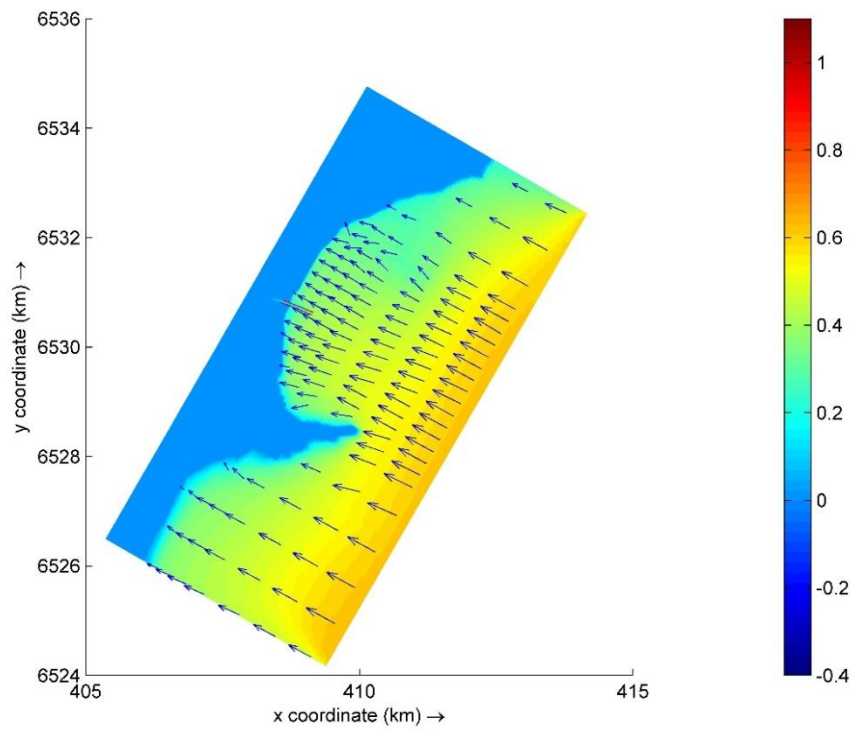
Cenário 31: $H_s = 0,28$ m, $T_p = 2,48$ s, $Dir = 113,2^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



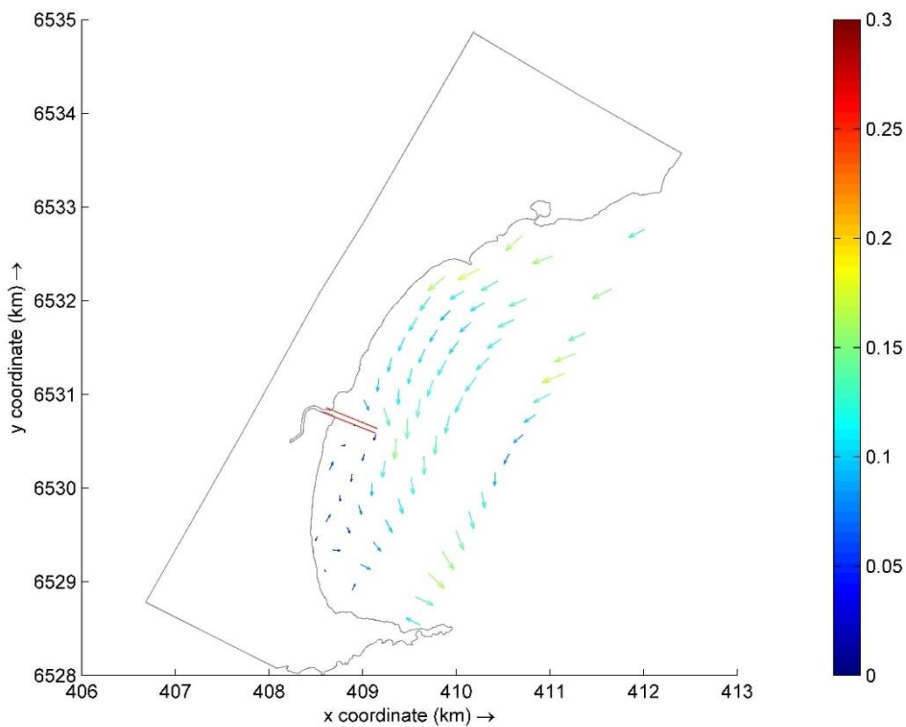
Correntes geradas através do cenário 31 (com obras). Escala de cores em m/s.



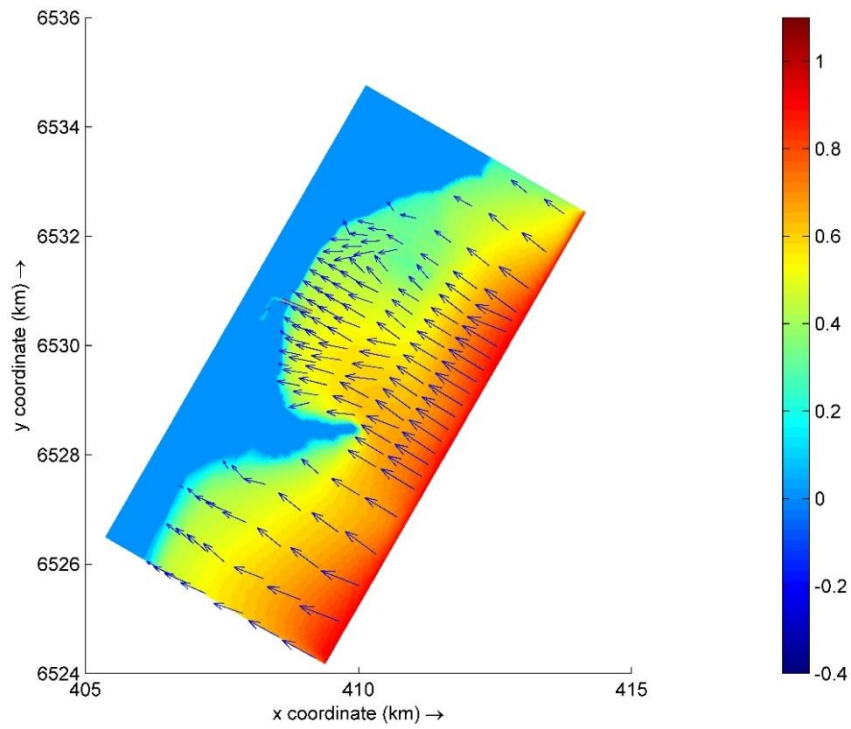
Cenário 32: $H_s = 0,60$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 119,7^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



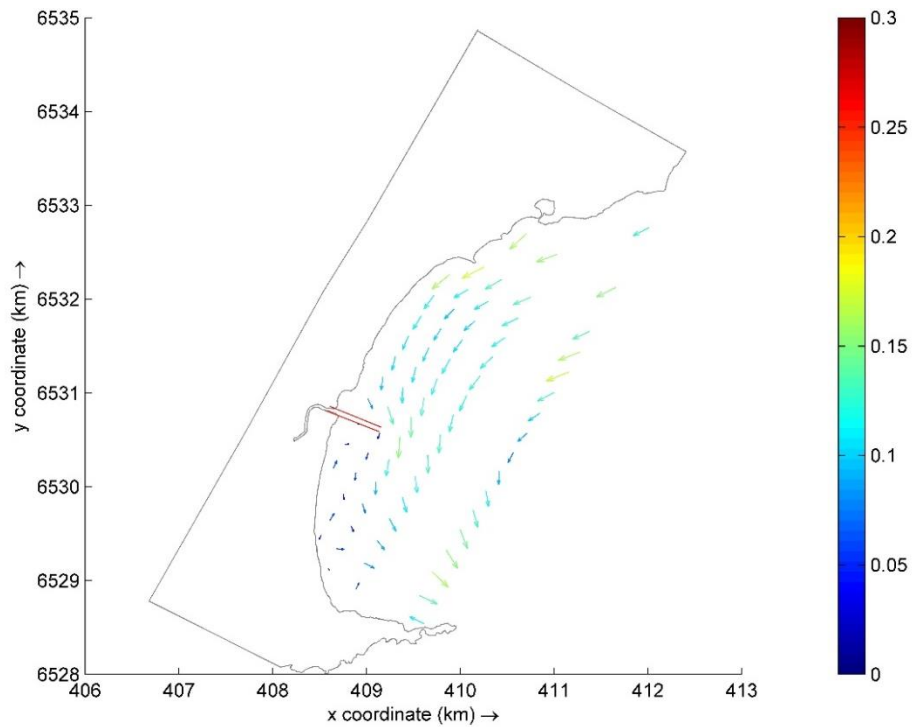
Correntes geradas através do cenário 32 (com obras). Escala de cores em m/s.



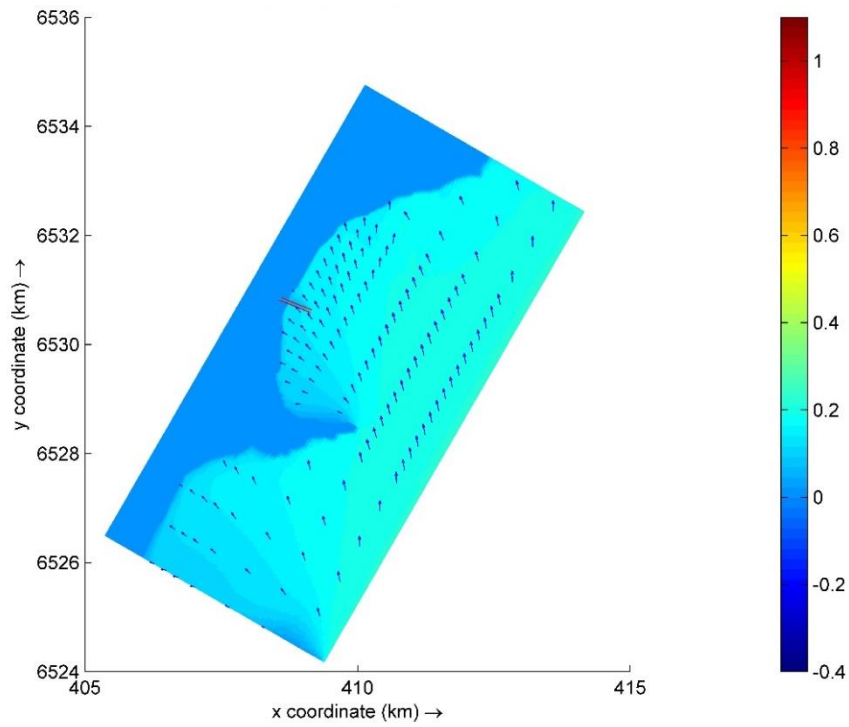
Cenário 33: $H_s = 0,90$ m, $T_p = 3,39$ s, $Dir = 111,8^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



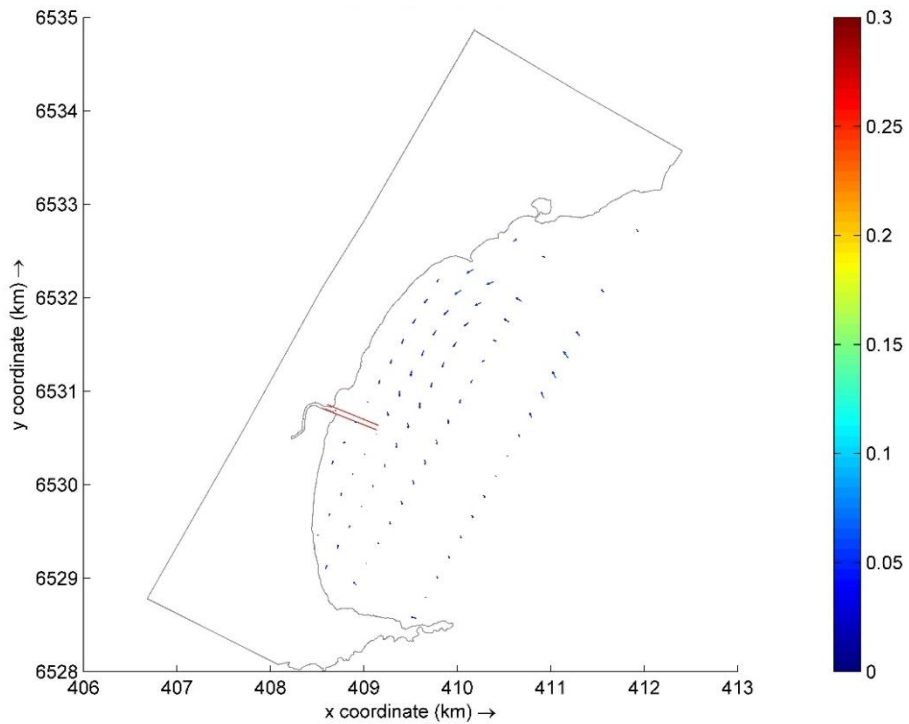
Correntes geradas através do cenário 33 (com obras). Escala de cores em m/s.



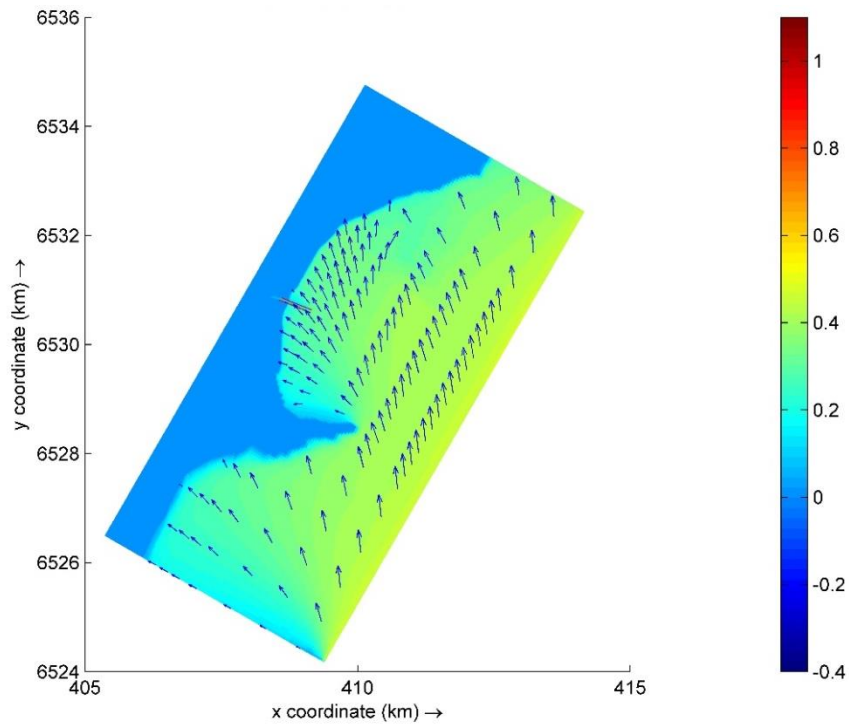
Cenário 34: $H_s = 0,22$ m, $T_p = 2,35$ s, $Dir = 175,9^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



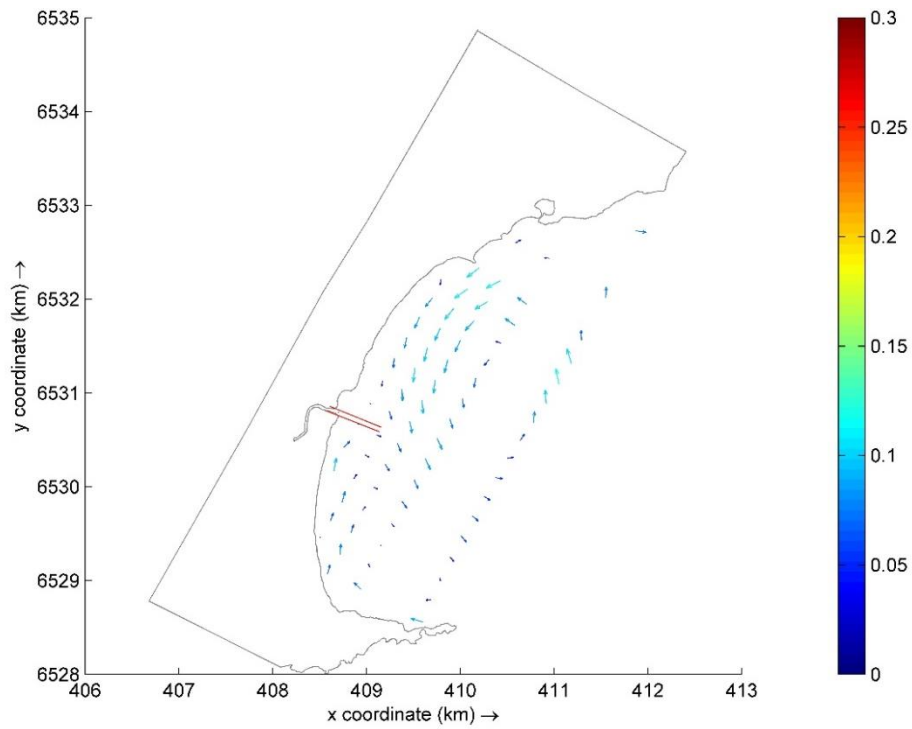
Correntes geradas através do cenário 34 (com obras). Escala de cores em m/s.



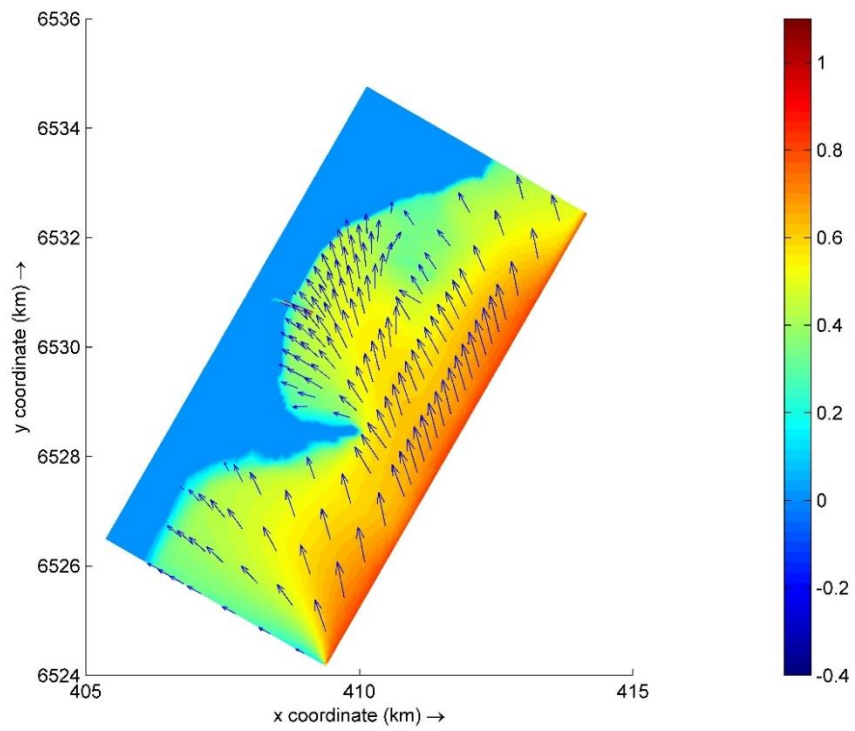
Cenário 35: $H_s = 0,51$ m, $T_p = 3,28$ s, $Dir = 184,7^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



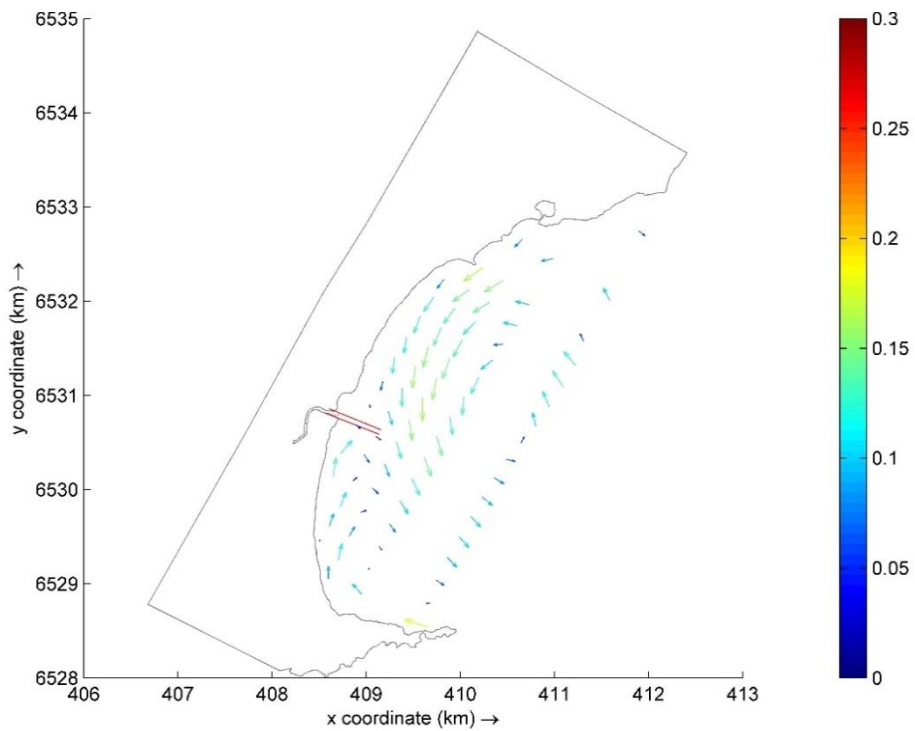
Correntes geradas através do cenário 35 (com obras). Escala de cores em m/s.



Cenário 36: $H_s = 0,86$ m, $T_p = 4,14$ s, $Dir = 177,3^\circ$ (com obras). Escala de cores em metros.



Correntes geradas através do cenário 36 (com obras). Escala de cores em m/s.



REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D. F., 2014. Metodologia para determinação da onda de projeto baseada em dados do WW3: aplicação aos molhes do Rio Grande. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.
- AGUIAR, D. F., et al., 2015. Análise de Ondas na Lagoa dos Patos. XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite. XI OMARSAT. Arraial do Cabo – RJ.
- ALFREDINI, P. e ARASAKI, E., 2009. Obras e Gestão de Portos e Costas. A Técnica Aliada ao enfoque Logístico e Ambiental. 2ª edição. Editora Blucher. São Paulo, SP.
- ALFREDINI, P. e ARASAKI, E., 2014. Engenharia Portuária. Editora Blucher. São Paulo, SP.
- ALVAREZ et al., 1981. Estudo da Lagos dos Patos. Revista Pesquisas, Porto Alegre. Volume 14, p. 41-66, Dezembro.
- ANA. Página eletrônica da Agência Nacional de Águas. Página eletrônica. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acessado em janeiro de 2014.
- BALTAZAR, L. R. S., 2013. Processos de Transporte e Morfodinâmica dos Bancos de Areia na Barra Norte do Rio Amazonas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BOAK, E. H. e TURNER, I. L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research. Volume 21, No 4, p. 688-703, doi: 10.2112/03-0071.1.
- BRUUN, P., 1995. Port Engineering. Harbor Transportation, Fishing Ports, Sediment Transport, Geomorphology, Inlets, and Dredgin. 4ª Edição. Editora Copyright. Houston, Texas.
- CALLIARI, L. J. e FACHIN, S., 1993. Laguna dos Patos: Influência nos Depósitos Lamíticos Costeiros. Pesquisas. Instituto de Geociências. UFRGS, Porto Alegre, R.S., Brasil. Volume 20, p. 57-69.
- CALLIARI, L. J., et al., 2003. Morfodinâmica Praial: uma breve revisão. Revista Brasileira de Oceanografia. Volume 51, p. 63-78.

CALLIARI, L. J., et al., 2008. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon - Cassino beach sedimentary system. *Continental Shelf Research*. Volume 29, No 3, p. 515-529. doi:10.1016/j.csr.2008.09.019.

CLARKE, D. J., 1984. Variation in Subaerial Beach Sediment Volume on a Small Sandy Beach Over a Monthly Lunar Tidal Cycle. *Marine Geology*. Volume 60, p. 319-344.

CROWELL et al., 1993. Shoreline Change Rate Analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach*. Volume 63, p. 13-20.

CUNHA, R. M. P. e CALLIARI, L. J., 2009. Natural and Anthropogenic Geomorphological Changes in the Inlet of Patos Lagoon Before and After its Fixation. *Journal of Coastal Research*. Volume 56, p. 708-712. ISSN 0749-0258.

DATAWELL BV. Datawell Waverider Reference Manual, 2010.

DATAWELL BV. Operating Manual W@ves21 Software for Datawell Waverider Buoys, 2006.

DAVIS, R. A. e HAYES, M. O., 1984. What is a Wave-Dominated Coast? *Marine Geology*. Volume 60, p. 313-329.

DEAN, R. G. e DALRYMPLE, R. A., 2002. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Editora Cambridge.

Delft3D-FLOW Manual, 2011.

Delft3D-WAVE Manual, 2011.

DOBROCHINSKI, J. P. H., 2009. Redução e Esquematização de Clima de Ondas para Modelagem Morfológica. Trabalho de Conclusão de Curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí, SC, RS, Brasil.

DOLAN et al., 1980. The Reliability of Shoreline Change Measurements from Aerial Photographs. *Shore and Beach*. Volume 48, No 4, p. 22-29.

ECMWF. European Center for Medium-Range Weather Forecast. Página eletrônica. Disponível em: http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim_full_daily/. Acessado em dezembro de 2014.

FERNANDES, E.H.L., et al., 2002. The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). *Continental Shelf Research*. Volume 22, p. 1699–1713.

FISCHER, A. e CALLIARI, L. J., 2011. Variações Morfodinâmicas das Praias do “Saco do Laranjal”, Costa Noroeste do Estuário da Laguna dos Patos, RS. *Pesquisas em Geociências*. Volume 38, No. 3, p. 283-296. ISSN: 1518-2398.

FISCHER, A., 2005. Morfodinâmica do “Saco do Laranjal”: Costa Noroeste do Estuário da Laguna dos Patos – RS. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica*. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.

FITZGERALD, D. M, et al., 2000. Natural Mechanisms of Sediment Bypassing at Tidal Inlets. ERDC/CHL CHETN-IV-30.

FONTOURA, J. A. S., 2004. Hidrodinâmica Costeira e Quantificação do Transporte Longitudinal de Sedimentos Não Coesivos na Zona de Surfe das Praias Adjacentes aos Molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil. (Aplicação às praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências dos Molhes Leste e Oeste da embocadura do estuário da Lagos dos Patos). Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil.

FONTOURA, J. A. S., et al., 2012. Coastal Hydrodynamics and Longshore Transport of Sand on Cassino Beach and on Mar Grosso Beach, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*. Volume 29, No 6.

FONTOURA, J. A. S., et al., 2015. Medição direcional de ondas na Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Congresso Aquaviário 2015 (SOBENA).

GORMAN, L. et al., 1998. Monitoring the Coastal Environment; Part IV: Mapping, Shoreline Changes, and Bathymetric Analysis. *Journal of Coastal Research*, Flórida. Volume 14, No 1, p. 61-92.

GOULART, E. S. e CALLIARI, L. J., 2011. Morfodinâmica do Banco das Três Marias – Barra do Rio Grande. *Atlântica*. Rio Grande, RS. Volume 33, No 2, p. 123-139.

GOUVÊA et al., 2010. Caracterização Geoambiental e Histórico do Processo de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. In: ALBA, J. M. F. *Sustentabilidade Socioambiental da Bacia da Lagoa Mirim*. 1ª Edição. Capítulo 1, p. 17-28.

HARTMANN, C. e SCHETTINI, C. A. F., 1991. Aspectos Hidrológicos na Desembocadura da Laguna dos Patos, RS. Revista Brasileira de Geociências. Volume 21, No 4, p. 371-377.

HARTMANN, C., et al., 1996. Cronologia sobre o Estudo do Material em Suspensão no Sistema Lagunar Patos-Mirim e Plataforma Continental Adjacente, RS, Brasil. Notas Técnicas. Volume 9, p. 12-20.

HEGGE, B. et al., 1996. Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Australia. Journal of Coastal Research. Volume 12, No 3, p. 748-760.

HOEFEL, F. G., 1998. Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas. Uma Revisão Bibliográfica. Editora da Univali. 92 p. ISBN: 85-86447-08-0.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Página eletrônica. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home>. Acessado em janeiro de 2015.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Página eletrônica. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em 2013.

KOMAR, P. D., 1976. Beach Processes and Sedimentation. 2ª Edição. Editora Prentice-Hall.

LALBEHARRY, R. 2001. Evaluation of the CMC Regional Wave Forecasting System against Buoy Data. Atmosphere-Ocean. Volume 40, p. 1-20.

LÉLIS, R. J. e CALLIARI, L. J., 2006. Historical Shoreline Changes Near Lagoonal and River Stabilized Inlets in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. Journal of Coastal Research. Volume 39, p. 301 – 305. ISSN: 0749-0208.

LÉLIS, R. J., 2003. Variabilidade da Linha de Costa Oceânica Adjacente às Principais Desembocaduras do Rio Grande do Sul. Monografia, 79 p. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.

LEMKE, N., et al., 2015. Estudo Comparativo entre Modelagem e Medições de Ondas na Lagoa dos Patos – RS, Brasil. XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite. XI OMARSAT. Arraial do Cabo – RJ.

LESSER, G. R., 2009. An Approach to Medium-term Coastal Morphological Modelling. Tese de Doutorado. Universidade de Tecnologia de Delft. Delft, Holanda.

LESSER, G.R., et al., 2004. Development and validation of a three-dimensional morphological model. Coastal Engineering. Volume 51, p. 8-9.

LIN, W. Q., et al., 2002. Wave measurement and modeling in Chesapeake bay. Continental Shelf Research. Volume 22, p. 18-19. ISSN 2673-2686.

MACHADO, M. D., 2013. Um Estudo sobre o Clima de Ondas e o Transporte de Lama ao Largo da Praia do Cassino, RS. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MARTINS et al., 1989. The Lagos dos Patos Estuarine Ecosystem (RS, BRAZIL). Pesquisas. Porto Alegre, RS. No 22, p. 5-44.

MELO, E., et al., 2008. Aferição de desempenho do modelo WW3 em Santa Catarina. III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. SEMENGO. FURG. Rio Grande. (Publicado em CD, sem paginação).

MELO, E., et al., 2010. Condições Extremas de Agitação Marítima ao Largo de Rio Grande a partir do Modelo WW3. IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. SEMENGO. FURG. Rio Grande. (Publicado em CD, sem paginação).

MOEINI, M. H. e ETEMAD-SHAHIDI, A., 2009. Wave Parameter Hindcasting in a Lake Using the SWAN Model. Scientia Iranica. Sharif University of Technology. Transaction A: Civil Engineering. Vol. 16, No. 2, p. 156-164.

MÖLLER Jr., et al., 1994. The Patos Lagoon Summertime Circulation and Dynamics. Continental Shelf Research. Volume 16, No 3, p. 335-351.

MÖLLER Jr., et al., 2001. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. Estuaries. Volume 24, p. 297–311.

NCEP/NCAR. National Centers for Environmental Prediction e National Center for Atmospheric Research. Página eletrônica. Disponível em: Acessado em 2013.

NICOLODI, J. L., 2007. O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, RS, Brasil.

ROMEU, M. A. R., et al., 2010. Estimativa dos Cenários Característicos de Agitação Marítima para a Região Oceânica do RS Utilizando Dados de Reanálise do Modelo WW3. IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. SEMENGO. FURG. Rio Grande, RS. (Publicado em CD, sem paginação).

SANTOS, J. L. D., 2013. Avaliação Morfodinâmica da Praia de Piçarras utilizando Modelagem Numérica. Trabalho de Conclusão de Curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí, SC, RS, Brasil.

SANTOS, I., et al., 2001. Hidrometria Aplicada. Editora CEHPAR. Curitiba, PR.

SHORE PROTECTION MANUAL. 1984. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC, 3ª edição.

SHORE PROTECTION MANUAL. 2001. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC.

STEVAUX, R. e DILLENBURG, S.R., 2011. Propriedades sedimentológicas e mineralógicas das barreiras costeiras do Rio Grande do Sul: uma análise preliminar. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios. Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. São Paulo: ABEQUA, 2011. Volume 1, p. 213-217.

STROHAECKER, T. M., 2008. Dinâmica populacional. In: Zamboni, A., Nicolodi, J.L. (Org.). Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil. 1ed. Brasília: IBAMA/MMA, p. 59-73.

SUGUIO, K., 1973. Introdução a Sedimentologia. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo. 317 p.

TOLDO, E. E. Jr., 1991. Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul. Revista Pesquisas. Volume 18, No 1, p. 58-63. ISSN 0100-5375.

TOLDO, E. E. Jr, et al., 2003. Forecasting Shoreline Changes of Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil. Journal of Coastal Research. Volume 35, p. 43-50.

TOLDO, E. E. Jr., et al., 2006. Sedimentação de Longo e Curto Período na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil. Pesquisa em Geociências. Porto Alegre, RS. Volume 33, No 2, p. 79-86.

TOLDO, E. E. Jr., et al., 2006. Wave Prediction Along Lagoa dos Patos Coastline, Southern Brazil. *Revista Atlântica*, Rio Grande, RS. Volume 28, No 2, p. 87-95.

VIEIRA, E. F. e RANGEL, S. L. S., 1988. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sociodemográfica. Editora Sagra, Brasil. 256 p.

VILLWOCK, J. A. e TOMAZELLI, L. J., 2007. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: Becker, F.G.; Ramos, R.A.; Moura, L.A.. (Org.). Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul. 1ªed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, p. 1-388.

VILLWOCK, J. A., et al., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa L. (ed) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Rotterdam: A. A. Balkema Publishers. 11 p.

VINZON, S.B., et al., 2009. Mud Deposit Formation on the Open Coast of the Larger Patos Lagoon – Cassino Beach System. *Continental Shelf Research*. Volume 29, No. 3, p. 572-588. doi:10.1016/j.csr.2008.09.021.

VON-AHN, C. M. E, 2015. A Lagoa dos Patos como Recarga dos Aquíferos Costeiros Adjacentes. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.

WRIGHT, L. D., 1985. The Physical Energy Regime of The Coastal Zone.

WU, J., 1982. Wind Stress Over Sea Surface From Breeze to Hurricane. *Journal of Geophysical Research*.

ZENCOVITCH, V. P., 1959. On the Genesis of Cuspate Spits Along Lagoon Shores. *Journal of Geology*. Volume 67, p. 267-277.