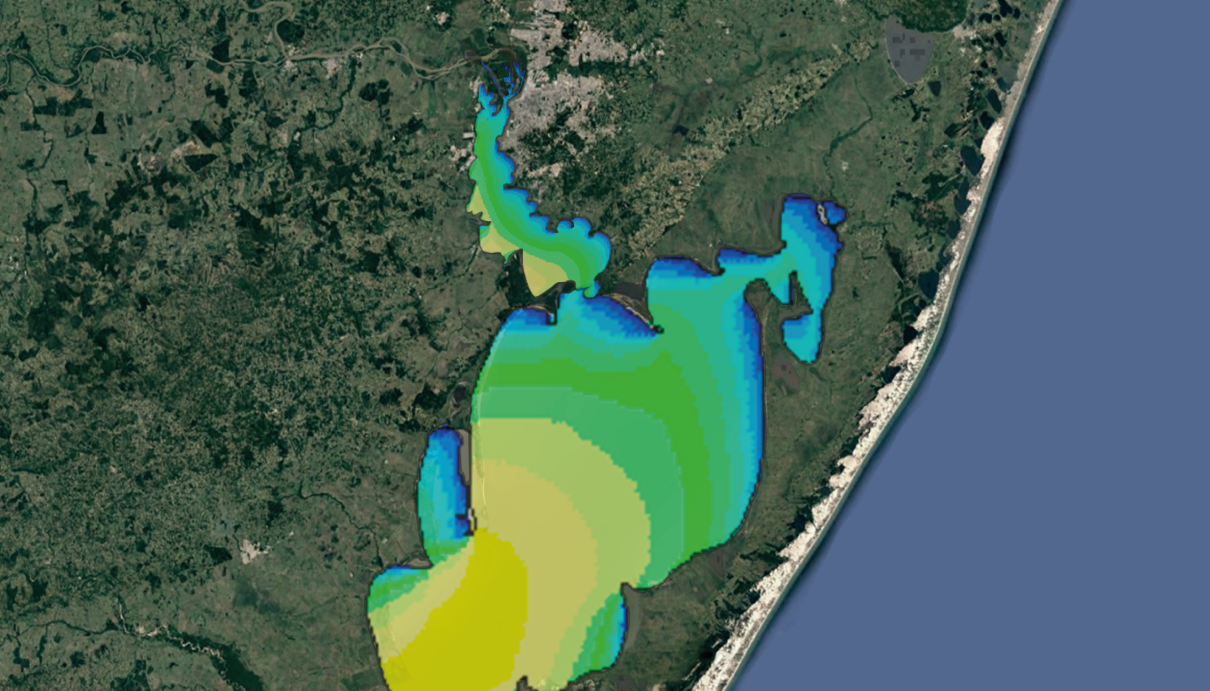
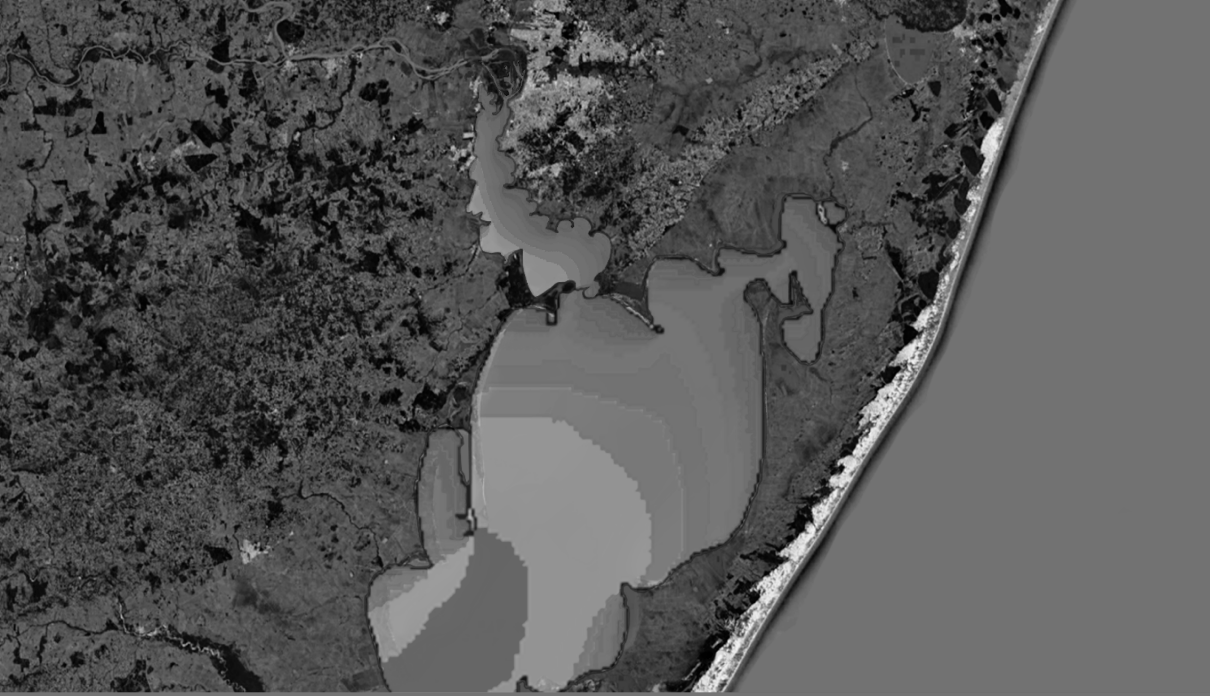




Atlas Hidrodinâmico do Complexo Lagunar Costa Doce

Marcelo Marques
Elaine Patricia Arantes
(Organizadores)



Atlas Hidrodinâmico do Complexo Lagunar Costa Doce

Marcelo Marques
Elaine Patricia Arantes
(Organizadores)

Editora Chefe
Marcia A. A. Marques
Editora Adjunta
Isabela Arantes Ferreira
Coordenador Editorial
Lucas Batista Cunha
Bibliotecária
Maria Alice Ferreira
Diagramação
Marcos Antonio Ribeiro Pereira
Arte da Capa
Matheus Lacerra
Imagem da Capa
Google Earth
Revisão

O conteúdo deste livro está licenciado sob uma licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).



2021 by Bookerfield Editora
Copyright © Bookerfield Editora
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Bookerfield Editora
Os autores cedem à Bookerfield Editora os direitos para

Esta obra é de natureza digital (e-book). Versões impressas são permitidas, não tendo a Bookerfield Editora qualquer responsabilidade pela confecção e distribuição de exemplares físicos deste conteúdo.

Todos os manuscritos da obra passaram por rigorosa avaliação cega pelos pares, baseadas em critérios científicos e imparciais, recebendo a aprovação após atender os critérios técnicos estabelecidos pelo Conselho Editorial.

Todo o conteúdo do livro e de artigos individuais é de responsabilidade exclusiva de seus respectivos autores, não sendo a Bookerfield Editora responsável por quaisquer eventuais irregularidades.

Situações como plágio, má conduta ética/científica ou dados e resultados fraudulentos são de responsabilidade do autor, comprometendo-se a Bookerfield Editora em investigá-las rigorosamente e tomar as ações cabíveis.

O download, compartilhamento e referência da obra são permitidos mediante atribuição de crédito aos autores e à Editora. A comercialização desta obra é expressamente proibida.

CONSELHO EDITORIAL

Ciências Agrárias

Afrânio Silva Madeiro
Alirya Magda Santos do Vale Gomes
Ana Luiza Trovo Marques de Souza
Carlos Eugenio Fortes Teixeira
Daniela Kunkel
Daniele Cristina Ficanha
Elson Barbosa da Silva Junior
Fabiana Schiochet
Fernando Rezende da Costa
Flávio José Rodrigues Cruz
Heiriane Martins Sousa
João Francisco Severo Santos
Joelma Leão Buchir
Kleber Fernando Pereira
Marden Manuel Rodrigues Marques
Maria Cristina Bueno Coelho
Monyck Jeane dos Santos Lopes
Pablo Daniel Freitas Bueno

Ciências Biológicas

Cesar Augusto Cunha Cervantes
Débora Cristina Damasceno
Érika Alves Tavares Marques
Fabíola Aliaga de Lima
Flávio José Rodrigues Cruz
Heiriane Martins Sousa
Jaqueline Rocha Borges dos Santos
Joelma Leão Buchir
José Amorim
José Maria Ferraz Filho
Jussara Gonçalves Fonseca
Kleber Fernando Pereira
Mário César de Oliveira
Morgana do Nascimento Xavier
Nathália Sayuri Yamamoto
Noemi Mendes Fernandes
Patricia Köster e Silva
Rafael Mesquita Stoque

Renato Luís Veiga Oliveira Júnior
Veronica Gabriela Ribeiro da Silva

Ciências da Saúde

Adriano José Barbosa Junior
Alexandre Daré de Almeida
Ana Irene Coelho Nunes
Ana Luiza Trovo Marques de Souza
Andrea Borges Gaia
Andressa Ribeiro Contreira
Camila Gemin R. Locatelli
Carlos Vinícius Pagani Vieira
Machado
Débora Cristina Damasceno
Elisângela Rodrigues Carrijo
Fabiana Leticia Sbaraini
Fabio José Antonio da Silva
Fabrício Casanova
Gisela da Costa Mascarenhas
Greicielle Pereira Arruda
Ivonete Aparecida Alves Sampaio
Janaina da Câmara Zambelli
Jandira Maria do Amarilho Silveira
Jaqueline Rocha Borges dos Santos
João Francisco Severo Santos
Jogilmira Macedo Silva Mendes
José Aderval Aragão
José Maria Ferraz Filho
José Roberto Zaffalon Júnior
Juliane Campos Inácio
June Fernanda Maria Teixeira
Katia Fernanda Forti Porcaro
Kilvia Paula Soares Macedo
Líncon Bordignon Somensi
Luciane Cristina Arantes
Marcello Alberton Herdt
Marcelo Benedet Tournier
Marcelo de Oliveira Pinto
Marcos Guimarães de Souza Cunha

Marcos Roberto Brasil
Maria Cristina C Nepomuceno
Carvalho
Nara Michelle Moura Soares
Nillianne Charles Ribeiro
Rafael Mesquita Stoque
Randson Souza Rosa
Renato Carlos Machado
Rogério Wagner da Silva
Sheila Moura Amaral
Simone Mattos do Nascimento
Sofia Banzatto
Suzana Silva Lira
Taíza Fernanda Ramalhais
Thaís Mendonça Resende
Thiago Luciano Rodrigues da Silva
Valéria Rodrigues da Conceição
Veronica Gabriela Ribeiro da Silva
Vivian Victoria Vivanco Valenzuela

Ciências Exatas e da Terra

Andrea Sartori Jabur
Cláudia Hitomi Watanabe Rezende
Dalvani Fernandes
Duany Dreyton Bezerra Sousa
Edfram Rodrigues Pereira
Evandro Preuss
Gisane Aparecida Michelin
Henrique Mariano Costa do Amaral
Henrique Pereira Oliveira Neves
Hermam Vargas Silva
Isidro ihadua
João César Abreu de Oliveira Filho
Lívia Sancho
Luiz Eduardo da Silva Gomes
Manolo Cleiton Costa de Freitas
Marco Aurélio Schünke
Marcos do Carmo Pereira
Rodolfo Lucas Bortoluzzi
Sonia Tomie Tanimoto
Vagner Marques de Moura
Valdecir Alves dos Santos Júnior

Ciências Humanas

Adailton Pereira de Melo
Alberto Carlos de Souza
Ana Margarida Theodoro Caminhas
Breno Henrique Ferreira Cypriano
Bruna Pacheco de Almeida
Bruno Cezar Silva
Camila Bueno Grejo
Camila de Vasconcelos Tabares
Carlos Eduardo Mauricio
Dalvani Fernandes
Dayane Cristina Guarnieri
Deiziane Pinheiro Aguiar
Eduardo Henrique Assis Cidade
Elisângela Rodrigues Carrijo
Eulalia Fabiano
Fernando Cesar Mendes Barbosa
Guilherme Camara Meireles
Guilherme William Udo Santos
Isadora Vianna Sento-Sé
João César Abreu de Oliveira Filho
João Francisco Severo Santos
Josael Jario Santos Lima
Josiane Nascimento Andrade
Luana Mayer de Souza
Marcos Pereira dos Santos
Marcos Pereira Magalhães
Maria Cristina C Nepomuceno
Carvalho
Marlon Nantes Foss
Miguel Rodrigues Netto
Oscar Yecid Bello Bello
Rebecca Bianca de Melo Magalhães
Sandra das Dores Souza
Silvio Santiago-Vieira
Susan Audrey Bueno dos Santos
Taíza Fernanda Ramalhais
Tatiane dos Santos Duarte
Vanderlei Frari
Vânia Maria Carvalho de Sousa
Vinícius Dantas Silveira

Ciências Sociais Aplicadas

Aline De Souza Lima Barbaroto
Ana Margarida Theodoro Caminhas
Bruna Pacheco de Almeida
Bruno Cezar Silva
Camila Nathalia Padula de Godoy
Cassio Rene Duminelli
Daniel Nascimento e Silva
Eduardo Henrique Assis Cidade
Elisângela Rodrigues Carrijo
Érika Rigotti Furtado
Eulalia Fabiano
Fernando Cesar Mendes Barbosa
Gisela da Costa Mascarenhas
Hermam Vargas Silva
Horácio Monteschio
Isabel das Mercedes Costa
Isadora Vianna Sento-Sé
João Clécio de Sousa Holanda
João Francisco Severo Santos
João Vitor Gomes Pinto
Josael Jario Santos Lima
Josiane Nascimento Andrade
Marco Aurelio de Jesus Mendes
Maria Cristina C Nepomuceno
Carvalho
Miguel Rodrigues Netto
Nelson Calsavara Garcia Junior
Renato Obikawa Kyosen
Rodolfo Lucas Bortoluzzi
Sandra Couto Barbosa
Solange Kileber
Susan Audrey Bueno dos Santos
Vanessa Paiva Costa Vale
Vinícius Dantas Silveira

Engenharias

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia
Andrea Sartori Jabur
Andréia Monique Lermen
Cristhiane Michiko Passos Okawa
Daniele Cristina Ficanha

Elaine Patricia Arantes
Fernando Oliveira de Andrade
Henrique Mariano Costa do Amaral
Israel Henrique Ribeiro Rios
Jaime Andres Castaneda Barbosa
Marcelo Henrique da Silva
Marcelo Marques
Marcos Guimarães de Souza Cunha
Rafael Gonçalves Mafra
Rodolfo Lucas Bortoluzzi
Thiago Averaldo Bimestre
Valdecir Alves dos Santos Júnior
Vanessa Paiva Costa Vale

Linguística, Letras e Artes

Alberto Carlos de Souza
Geison Araujo Silva
Guilherme William Udo Santos
José Edson Barros Correia
Luciano de Oliveira Costa
Márcia Donizete Leite-Oliveira
Marlon Nantes Foss
Silvio Santiago-Vieira
Thiago Blanch Pires
Vera Regiane Brescovici Nunes

Multidisciplinar

Alejandro Victor Hidalgo Valdivia
Aline De Souza Lima Barbaroto
Ana Margarida Theodoro Caminhas
Andrea Sartori Jabur
Andréia Monique Lermen
Cláudia Hitomi Watanabe Rezende
Érika Alves Tavares Marques
Fernanda Imada de Lima
Fernando Oliveira de Andrade
Guilherme Camara Meireles
Isidro ihadua
José Amorim
Marcelo Marques
Vanessa Paiva Costa Vale

Atlas Hidrodinâmico do Complexo Lagunar Costa Doce

Editora Chefe Marcia A. A. Marques
Editora Adjunta Isabela Arantes Ferreira
Coordenador Editorial Lucas Batista Cunha
Bibliotecária Maria Alice Ferreira
Diagramação Marcos Antonio Ribeiro Pereira
Revisão O Autor

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Marques, Marcelo

Atlas hidrodinâmico do complexo lagunar Costa Doce
[livro eletrônico] / Marcelo Marques, Elaine Patricia
Arantes. -- São Paulo : Bookerfield, 2021.

PDF

ISBN 978-65-89929-36-9

1. Atlas - Costa Doce (RS) 2. Hidrodinâmica
3. Modelagem por computador 4. Mapas I. Arantes,
Elaine Patricia. II. Título.

21-92965

CDD-003.366

Índices para catálogo sistemático:

1. Modelagem por computação gráfica 003.366

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

DOI 10.53268/BKF21110900

Bookerfield Editora
São Paulo – Brasil
Telefone: +55 (11) 98441-4444
www.bookerfield.com
contato@bookerfield.com



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores declaram não haver qualquer interesse comercial ou irregularidade que comprometa a integridade desta obra; declaram que participaram da elaboração e revisão da obra, atestando a confiabilidade dos dados e resultados; declaram que a obra está livre de plágio acadêmico; declaram que a publicação desta obra não fere qualquer outro contrato por eles firmados; declaram ter atendido eventuais exigências de outras partes, como instituições financiadoras, para a publicação desta obra.

APRESENTAÇÃO

O complexo lagunar Costa Doce é composto um conjunto de corpos hídricos costeiros sendo quatro os principais: o lago Guaíba, a laguna dos Patos, a lagoa Mirim e o lago da Mangueira. Está localizado próximo à divisa entre o estado do Rio Grande do Sul e o Uruguai.

O presente livro apresenta os mapas de distribuição do fetch e a modelagem dos campos de ondas para os quatro maiores lagos da Costa Doce.

As simulações foram realizadas pelo emprego da técnica numérica e computacional denominada Modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB) pelo emprego do modelo ONDACAD.

Os mapas foram concebidos adotando campos de vento uniforme de 5, 10, 15 e 20 ms^{-1} para cada uma das dezesseis direções adotadas, totalizando 256 mapas.

As alturas de ondas foram determinadas pelo método paramétrico SMB, gerando resultados condicionados pelos comprimentos do fetch e pela intensidade do vento. Ao todo, entre mapas de fetch e altura de ondas, pelo presente trabalho foram gerados 320 mapas.

Esperamos que este livro possa contribuir para uma melhor compreensão dos fenômenos gerados pela ação do vento sobre os corpos hídricos continentais mais importantes do estado do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Marcelo Marques
Profa. Dra. Elaine Patricia Arantes

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 FETCH	14
2.1.1 Método de Saville	15
3 ONDAS PROGRESSIVAS	17
3.1.1 Retrospecto histórico	17
4 MODELO COMPUTACIONAL ONDACAD	19
4.1 Estrutura computacional	19
4.2 Método SMB	22
4.3 Geoprocessamento das margens	23
5 COMPLEXO LAGUNAR COSTA DOCE	25
5.1 Lagoa dos Patos	26
5.2 Lagoa Guaíba	26
5.3 Lagoa Mirim	28
5.4 Lagoa da Mangueira	29
6 LAGOA DOS PATOS	31
6.1 Fetch	31
6.2 Altura das ondas	35
6.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1}	35
6.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}	39
6.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}	43
6.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms^{-1}	47
7 GUAÍBA	51
7.1 Fetch	51
7.2 Altura das ondas	55
7.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1}	55
7.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}	59
7.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}	63
7.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms^{-1}	67

8 LAGOA MIRIM	71
8.1 Fetch	71
8.2 Altura das ondas.....	75
8.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1}	75
8.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}	79
8.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}	83
8.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms^{-1}	87
9 LAGOA DA MANGUEIRA	91
9.1 Fetch	91
9.2 Altura das ondas.....	95
9.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1}	95
9.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}	99
9.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}	103
9.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms^{-1}	107
10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	111
REFERÊNCIAS.....	112
ÍNDICE REMISSIVO	116
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	119

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As ondas em águas continentais de grande espelho d'água se constituem em fenômenos naturais de grande variabilidade espacial e resultam da transferência de energia devido ao vento. Podem ser compreendidas como um meio de transporte de energia e consideradas como o principal elemento natural modificador do ambiente.

A liberação dessa energia pela ação das ondas influencia de forma direta elementos como a hidrodinâmica local, o transporte de sedimentos e a morfologia das margens. As ações das ondas não se restringem às perturbações da superfície livre, mas podem se propagar até o fundo do corpo hídrico, gerar tensões devido ao atrito e alterar as condições de estratificação, impactando o transporte de líquidos e gases na coluna de água, podendo afetar o transporte de sedimentos através da ressuspensão do material sólido do fundo.

Os estudos de ondas geradas pela ação do vento ganharam grande impulso durante a Segunda Guerra Mundial. A previsão das ondas era estratégica para a logística do desembarque de tropas nas áreas costeiras. Essa necessidade deu origem ao desenvolvimento de

modelos paramétricos, os quais permitem a determinação da altura da onda resultante com base em uma equação constituída por parâmetros como o vento (duração, direção e intensidade), a profundidade e a superfície em contato com o vento (fetch).

A partir da década de 1980, com a disseminação no uso de computadores, houve grande desenvolvimento na modelagem dos processos físicos das ondas geradas pelo vento, em detrimento do aperfeiçoamento dos modelos paramétricos. Essa afirmação é comprovada pela constatação da grande quantidade de publicações que trataram de equações paramétricas até a década de 1980, em contraste com a relativamente reduzida quantidade de publicações nas últimas décadas, mesmo com a quantidade de publicações sobre o tema aumentando a cada ano.

Devido às vantagens do método paramétrico, principalmente quanto ao reduzido tempo de processamento computacional e a dependência de poucas variáveis, foi concebida a técnica de modelagem paramétrica bidimensional (MPB).

A técnica MPB foi

devidamente validada por Marques (2013) e permite a determinação dos campos de fetch e a simulação de campos de onda com resultados semelhantes aos gerados pelo difundido modelo numérico de base física SWAN, acrônimo em inglês para *Simulating Waves Nearshore*.

Esta obra apresenta aspectos introdutórios relacionados à técnica MPB e oferece os campos de fetch e altura de ondas para os quatro corpos d'água que compõem o complexo lagunar Costa Doce.

O vento, ao soprar sobre a superfície da água, gera a onda. O fetch é definido como a superfície da água na qual a intensidade e a direção do vento podem ser consideradas constantes (*U. S. Army Coastal Engineering Research Center*, 1984). Apesar do fetch ser a expressão mais difundida para designar a superfície em contato com o vento, outras denominações em língua portuguesa foram tentadas sem muito êxito, tais como pista de vento e alcance do vento. O fetch é imprescindível na simulação de altura de ondas por métodos paramétricos.

Ao se observar mais atentamente a definição do *fetch*, depara-se com um conceito um tanto controverso, já que, apesar de representar uma superfície, o *fetch* possui dimensão de comprimento.

O conceito de *fetch* teve início em aplicações relacionadas às ciências atmosféricas em águas oceânicas, principalmente relacionadas à previsão de altura de ondas geradas pela ação do vento. A definição que condiciona o *fetch* aos ventos de intensidade e direção constantes foi originada das águas oceânicas. Neste ambiente, o comprimento que representa o *fetch* é limitado pela descontinuidade gerada pela presença de uma frente (Shields e Burwell, 1970), sem que haja limitações laterais. Convencionou-se representar o *fetch* por um comprimento livre. Sua determinação é feita de modo rigoroso por meio da utilização de cartas sinóticas.

Em corpos de água continentais, de grandes dimensões, a determinação do *fetch* a partir do conceito de uma distância livre é prática comum. Percebeu-se, no entanto, que, para superfícies de corpos de água em que há um comprimento predominante, a largura exerce forte influência sobre o *fetch*. Essa constatação foi tratada por *U. S. Army Corps of Engineers* (1966) ao afirmar que o efeito da largura do *fetch* pode ser desprezado em áreas de geração que possuem a largura tão grande, ou superiores, ao comprimento. De modo indireto, a afirmação reconheceu que em águas continentais, comumente constituídas de margens de formato dendrítico e, não raramente, sinuoso, o método aplicado em águas oceânicas não era adequado. Uma das soluções foi apresentada por Saville (1954), que propôs determinar o *fetch* com base no comprimento e na largura do corpo de água.

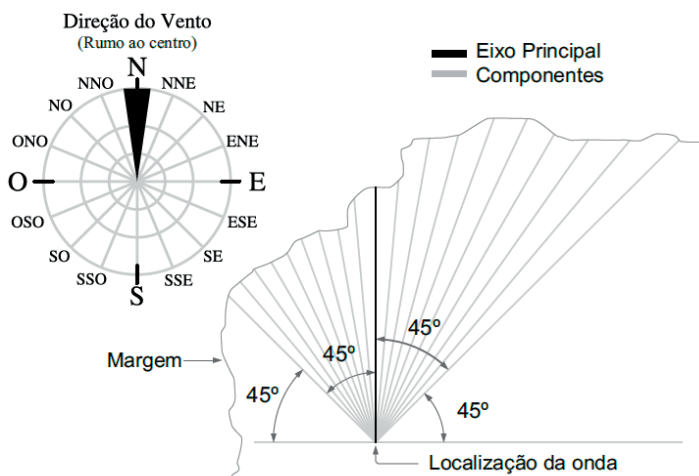
Intuitivamente parece ser razoável, em águas interiores, que o *fetch*

pudesse ser determinado como uma área, assumindo unidades de superfície. No entanto, a tentativa de reaproveitar os resultados gerados historicamente com base em pesquisas em águas oceânicas fez com que se buscassem métodos que respeitassem a dimensão linear do *fetch*, mesmo em condições de águas interiores.

2.1.1 Método de Saville

Saville (1954), buscando a aplicação de um método abrangente, concebeu o método que, atualmente, se constitui entre os mais difundidos para a determinação de altura de ondas. O método consiste na construção de 16 linhas radiais a partir do ponto de incidência da onda em intervalos de 6°, de tal modo a atingir-se uma amplitude máxima de sob um ângulo de 90°, cuja bissetriz é a direção do vento, conforme ilustra a Figura 1. Na sequência deste texto, as 16 linhas radiais serão chamadas de direções secundárias.

Figura 1: Traçado conceitual de fetch efetivo para a direção norte



O comprimento do *fetch* efetivo é obtido pela média das projeções dos segmentos sobre a direção do vento ponderada pelos cossenos dos ângulos, isto é:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{16} x_i \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^{16} \cos \alpha_i} \quad [1]$$

sendo: α_i o ângulo entre a direção do vento e a direção secundária e

x_i o comprimento entre o ponto no corpo d'água e o contorno na direção secundária.

Por tratar de fenômenos em águas continentais, o termo *fetch* significará *fetch* efetivo daqui em diante. O comprimento livre será denominado *fetch* oceânico.

O método de Saville (1954) é baseado em seis hipóteses:

- 1) O vento transfere energia à superfície da água na direção do vento e em todas as direções dentro da amplitude de 45° para cada lado em relação à direção principal.
- 2) O vento transfere uma quantidade unitária de energia para a água ao longo da radial central na direção do vento; nas demais radiais a fração da energia fornecida pelo vento é proporcional ao cosseno do ângulo entre a radial e a direção do vento. A influência de cada uma dessas radiais é mostrada na Figura 1.
- 3) As ondas são completamente absorvidas pelas margens (inexistência do fenômeno de reflexão e difração).
- 4) A direção da onda gerada coincide com a do vento que a gerou (inexistência do fenômeno de refração).
- 5) Considera-se que a direção do vento é uniforme e que é mantida a mesma direção dentro da área de geração.

O método considera que o vento, soprando da terra em direção à água, entra em contato com a superfície líquida assim que cruza margem, ou seja, o método considera que o vento sopra de forma perfeitamente tangente ao relevo.

O método concebido por Saville (1954) foi recomendado pela primeira vez por *U. S. Army Coastal Engineering Research Center* (1966), autorizando o projetista a utilizar ângulos inferiores a seis graus no mesmo procedimento. O manual, no entanto, omite a implicação dessa decisão no comprimento resultante do *fetch*.

ONDAS PROGRESSIVAS

O vento, ao transferir energia, permite a geração de ondas com período que pode chegar a 5 minutos. No entanto, as ondas tratadas pelo presente trabalho possuem a aceleração gravitacional como restauradora do movimento. São, portanto, denominadas ondas de gravidade, restringindo-se a períodos máximos da ordem de 30 segundos. Kinsman (1965) apud Marques (2013) apresentou a classificação dos tipos de onda em relação ao período, ilustrada na Figura 2.

Figura 2. Caracterização das ondas por faixa de frequência



Fonte: Adaptado de Kinsman, 1965

Em ambientes lacustres, a altura das ondas geradas pelo vento depende principalmente de dois fatores: (1) intensidade do vento e (2) extensão da superfície da água em contato com o vento (*fetch*). São de importância secundária os fatores de duração do vento e profundidade do corpo d'água.

3.1.1 Retrospecto histórico

Os métodos de previsão de altura de ondas em águas continentais foram desenvolvidos com base no conhecimento acumulado no decorrer do

tempo em águas oceânicas. O desenvolvimento desses métodos pode ser classificado em três períodos: (1) Período inicial (antes de 1947); (2) Período de consolidação (até 1967) e (3) Período atual.

Conforme Marques (2013), antes de 1947 a previsão era realizada pela utilização da escala Beaufort. O ano é marcado pela publicação dos estudos feitos por Sverdrup e Munk (1947) durante a Segunda Guerra Mundial. De acordo com Wiegel (1964), os trabalhos publicados por Bretschneider (1952, 1958) e Wilson (1961, 1965) permitiram grande aperfeiçoamento no prognóstico de ondas pela revisão dos trabalhos de Sverdrup e Munk, apresentando um método de previsão comumente denominado SMB, em referência à letra inicial dos sobrenomes dos pesquisadores Sverdrup, Munk e Bretschneider. Na década de 1950, estudos visando a caracterização da onda através de abordagens estatísticas foram sendo empreendidos contribuindo para construção do método de previsão de ondas com base em análise espectral publicado por Pierson *et al.* (1955).

A implementação de modelos numéricos de onda tem como marco os trabalhos de Inoue (1967) e Barnett (1968) os quais trataram do mecanismo de geração, transferência de energia e equação do balanço de energia (Kampf, 2009). Atualmente, os modelos numéricos de previsão de ondas, com base física, classificados como de terceira geração, têm sido aperfeiçoados pelo aprimoramento dos termos fonte. Apesar dos grandes avanços experimentados pelos modelos numéricos, ainda se verifica que até nos mais avançados modelos de previsão de ondas de base física alguns termos fonte de energia possuem grande dependência de parametrizações empíricas.

MODELO COMPUTACIONAL ONDACAD

Em águas continentais é verificada a presença de ondas geradas pelo vento, tanto quanto em áreas oceânicas, porém com importante diferença de que em águas continentais verifica-se a interferência da margem, a qual afeta diretamente a transferência de energia do vento, atenuando a altura da onda.

A onda recebe energia do vento e, em águas interiores de grandes espelhos de água, a conformação das margens constitui-se no principal atenuador da transferência de energia. Nesses locais o fetch representa a superfície da água em contato com o vento. Deste modo, um método que defina um campo de fetch pode, em teoria, ser utilizado para expressar a potencial transferência de energia pelo vento e, consequentemente, permitir a obtenção do campo de ondas.

A distribuição do fetch de modo automatizado é realizada por um programa concebido em linguagem LISP denominado ONDACAD podendo ser interpretado por programas de projeto assistido por computador, como o AutoCAD, zwcAD e CorelCAD.

4.1 Estrutura computacional

Devido ao forte apelo geométrico, à consideração da irregularidade da margem e por constituir-se em um método bastante difundido no meio técnico, adotou-se o método apresentado por Saville (1954) na estruturação do modelo computacional considerando, no entanto, alguns aperfeiçoamentos.

A aplicação do referido método em pontos isolados da representação da superfície do lago revela um processo de aplicação excessivamente trabalhoso ao projetista. Isso se agrava com o aumento do número de pontos a analisar, mesmo fazendo uso compartilhado de programas gráficos e planilhas de cálculo. Essa dificuldade combinada com o aspecto geralmente dendrítico dos reservatórios induz o projetista a fazer uso da percepção e da experiência individual, acrescentando elementos de subjetividade na determinação do *fetch*.

No estudo do lago Texoma, entre os estados de Oklahoma e Texas, o método originalmente proposto adotou um ângulo de 6 graus entre radiais. Na aplicação deste método, qualquer outro espaçamento angular inferior

a 6 graus poderia ser usado no mesmo procedimento (*U.S. Army Coastal Engineering Research Center*, 1973). Foi então adotado o ângulo de um grau entre linhas radiais. Aplicou-se, portanto, o método de Saville tratando-o com base em uma relação contínua, qual seja:

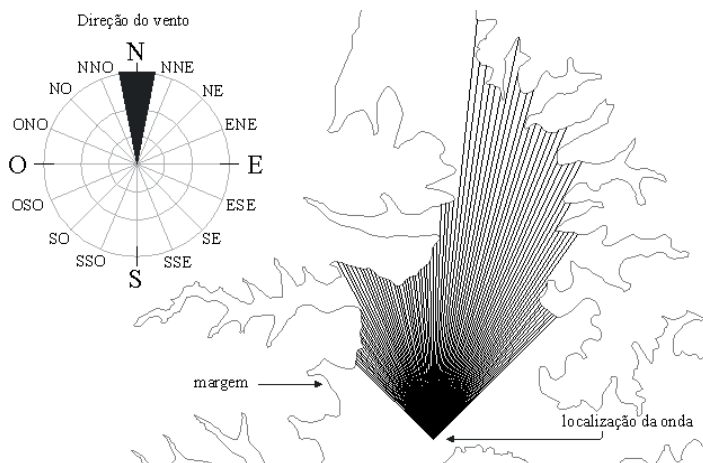
$$F_{ef} = \frac{\int_{-\alpha}^{\alpha} F \cos \varphi d\varphi}{\int_{-\alpha}^{\alpha} \cos \varphi d\varphi} \text{ para } \alpha = \frac{\pi}{4} \text{ e } -\alpha \leq \varphi \leq \alpha \quad [2]$$

sendo F é o comprimento do segmento de reta na direção secundária até atingir-se a margem a barlavento, φ o ângulo entre a direção do vento e a direção secundária; e α a amplitude limite do ângulo φ .

O modelo *ONDACAD* utiliza equações paramétricas para relacionar as variáveis envolvidas. Como se trata de um método de aplicação pontual, adotaram-se os nós de uma malha estruturada quadrangular, a qual é obtida. Esta malha é obtida pela discretização da representação da superfície livre do corpo d'água tendo a margem como fronteira, conforme ilustrado na Figura 3.

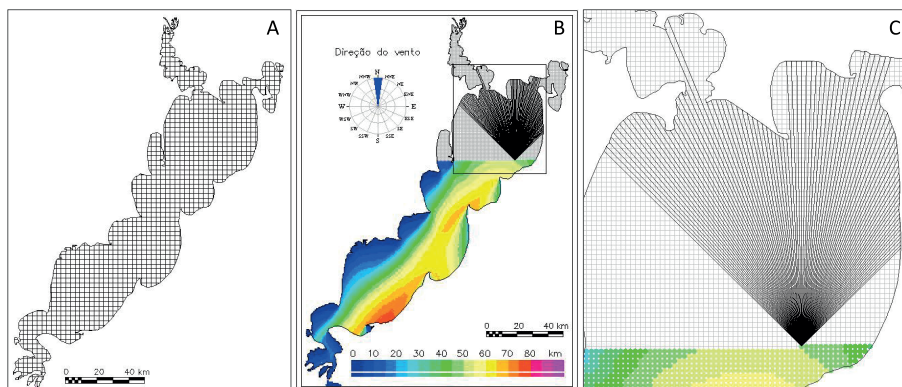
A base para o traçado da margem pode ser um mapa, uma foto aérea ou uma imagem de satélite, sendo esta última opção a utilizada neste trabalho. A escolha da base depende da precisão atribuída ao estudo. A linha traçada é interpretada pelo programa como um objeto pelo qual a malha não pode atravessar. Ao executar o programa é solicitada ao operador a indicação da margem, da direção e da distância entre os nós da malha. A linha da margem é fornecida pelo uso do mouse. A distância entre os nós e a direção do vento é fornecida, via teclado, diretamente na linha de comando do ambiente *CAD*. O programa percorre cada nó da malha aplicando o método proposto por Saville (1954) para cada uma das 16 direções. O procedimento resulta na geração de 16 arquivos, um para cada direção, que passam constituir um conjunto de dados que torna o *fetch* uma variável estática no modelo de ondas.

Figura 3 - *fetch* esquemático para a direção norte



Um dos módulos do modelo ONDACAD gera a distribuição do fetch com base na discretização da superfície do corpo de água pela geração de uma malha estruturada quadrangular (Figura 4a). Os nós da malha são percorridos respeitando-se a direção do vento fornecida e aplicando o método de Saville (1954) com resolução de um grau entre as linhas radiais (Figura 4b e Figura 4c).

Figura 4 - (a) geração de uma malha estruturada quadrangular para a lagoa dos patos; (b) processamento propositalmente interrompido para mostrar os nós da malha sendo percorridos; (c) ampliação de parte da figura b



As alturas de ondas sob campo de vento uniforme foram simuladas pela aplicação da equação paramétrica denominada modelo SMB, e incorporado ao módulo de ondas do modelo computacional ONDACAD.

4.2 Método SMB

Segundo Bretschneider (1966) *apud* Marques (2013), o método referido como SMB foi inicialmente proposto por Sverdrup & Munk (1947) e posteriormente modificado pelo autor, recebendo as letras iniciais do sobrenome de seus idealizadores. O método SMB foi objeto de inúmeras revisões e é um dos mais importantes métodos de previsão de ondas (Cardone & Ross, 1977). É bastante empregado em função de sua simplicidade e eficiência (Cardone & Ross, 1977; Kinsman, 1965; Wiegel, 1970).

O método SMB usa a análise dimensional para identificar os parâmetros considerados fundamentais no estudo das características das ondas, isto é:

$$H_{1/3} \text{ e } T_{1/3} = f(F, W, U, t, d, g) \quad [3]$$

sendo $H_{1/3}$ a altura significativa, $T_{1/3}$ o período significativo da onda, F o *fetch*, t a duração e U a intensidade do vento, d é a profundidade local e W a largura da área afetada pelo vento. A largura (W) é considerada quando a sua medida for muito inferior ao comprimento do *fetch*, como no caso de canais.

Conforme Marques (2013) os grupos adimensionais são:

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = f\left(\frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U}, \frac{gd}{U^2}, \frac{W}{F}\right) \quad [4]$$

Para superfícies estreitas (W menor do que F), o vento tem sua influência atenuada na geração da onda. Razões W/F de 0,5-1,0-1,5 levam a alturas significativas de onda de 65%, 88% e 98%, respectivamente. É necessário um procedimento geométrico para a estimativa do *fetch*, o qual contempla, indiretamente, a influência da largura W . Em águas oceânicas abertas, W/F é igual à unidade (Saville, 1954). Com relação à influência da profundidade na altura da onda, pela teoria linear de ondas, uma classificação é feita com base na relação entre o comprimento da onda (λ), a profundidade (d) e a intensidade do vento a 10 m de altura (U_{10}). A onda se propaga em águas profundas quando $d/\lambda \geq 0,5$. Em termos adimensionais, assumindo as hipóteses relativas à teoria linear de ondas, quando $gd/U_{10}^2 \geq 3$ o efeito do vento gera somente ondas de águas profundas (Wiegel, 1964).

Portanto, respeitadas as condições $W/F \geq 1$ (largura considerada pelo método de Saville) e $gd/U_{10}^2 \geq 3$ (ondas em águas profundas), a equação anterior toma a seguinte forma:

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = f\left(\frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U}\right) \quad [5]$$

O método SMB considera que a onda limite não é atingida, sendo limitada pelo *fetch*. Desta forma, na equação anterior pode-se prescindir do termo relativo à duração:

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = f\left(\frac{gF}{U^2}\right) \quad [6]$$

O método SMB foi objeto de inúmeras revisões, com modificações nos coeficientes que relacionam os parâmetros adimensionais do método. A versão do método aqui utilizado é a atribuída ao *United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation* (1973), ou seja:

$$H_s^* = 0,283 \tanh\left[0,0125 F^{*0,42}\right] \quad [7]$$

$$T^* = 7,54 \tanh\left(0,077 F^{*0,25}\right) \quad [8]$$

com F^* , H_s^* , T^* representando os termos adimensionais descritos pelas equações [6], [7] e [8], os quais, desenvolvidos, resultam nas seguintes equações:

$$H_{1/3} = \frac{U_{10}^2}{g} 0,283 \tanh\left[0,0125 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{0,42}\right] \quad [9]$$

$$T_{1/3} = \frac{U_{10}}{g} 7,54 \tanh\left[0,077 \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{0,25}\right] \quad [10]$$

Em outra revisão realizada por Sibul (1955) foram determinados os coeficientes adequando o método SMB à condição de águas rasas, conforme a equação seguinte:

$$H_{1/3} = \frac{U_{10}^2}{g} 3,23 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_{10}^2}\right)^{0,435} \quad \text{para } gF/U_{10} < 3 \cdot 10^4 \quad [11]$$

4.3 Geoprocessamento das margens

Nas tarefas de modelagem os corpos de água são identificados pelo traçado da linha que contorna a interface ar-água-terra. Eventuais variações no traçado da margem pela variação dos níveis de água foram desprezadas.

Os limites dos corpos d'água foram definidos a partir de imagens do Satélite *LANDSAT 5* geradas a partir de sensor do tipo *Thematic Mapper* (TM). Tais imagens possuem uma resolução espacial compatível com a escala necessária para a modelagem de campo de ondas geradas pelo vento. O sensor permite a obtenção de imagens com 30 metros de resolução espacial, o que permite a geração de uma base cartográfica adequada de 1:100.000. Foi adotada a Banda 4 (infravermelho próximo). A seleção das imagens foi feita evitando-se imagens com cobertura de nuvens e presença forte de aerossóis. Os dados possuem projeção *UTM* e o geoide adotado é o *WGS 84*.

Após a seleção das imagens e organização dos dados, estes foram processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (*SIG*) pela utilização dos softwares *Global Mapper* e *Envi*. Para casos em que foi necessária mais de uma imagem para cobrir adequadamente o corpo de água, as cenas foram agrupadas por meio de mosaico. Com o mosaico foram definidos limiares baseados nos valores numéricos dos pixels, os quais definem os limites entre corpos d'água e superfície terrestre. Esses limiares variam para cada cena porque há variações radiométricas entre a aquisição das imagens. Portanto, a definição do limiar foi definida a partir da interpretação dos alvos.

Após a definição dos limiares, essas linhas foram processadas para correção pela presença de eventuais entidades indesejadas, e as iguais estão compreendidas a eventual presença de pequenas nuvens e de corpos de água. Nesta etapa foi feita ainda a exclusão de pequenos corpos d'água externos à região de interesse.

Após definidos, os limites foram exportados no formato *DXF*, permitindo o processamento por programas *CAD*.

As simulações de campo de ondas empreendidas pelo presente trabalho são baseadas em uma nova técnica de simulação desenvolvida por Marques (2013) e denominada Paramétrica Bidimensional. A técnica é baseada no conceito de campo de fetch baseado na hipótese de que pontos no interior do reservatório sujeitos a um campo de vento uniforme de grande duração tendem a possuir maior altura de onda. Pelo modelo, um campo de fetch pode ser transformado em um campo de ondas, semelhante ao gerado por um modelo numérico de base física mediante a aplicação de uma equação paramétrica específica.

O Conceito foi validado por Marques (2013) pela comparação com os resultados gerados pelo modelo *SWAN*. O modelo *ONDACAD* foi validado por Marques (2013) para os reservatórios de Vossoroca (PR), Molinos (Argentina), Mangueira (RS), Salto Caxias (PR), Itaipu (Brasil/Paraguai) e os lagos Michigan (Canadá/EUA) e Superior (Canadá/EUA).

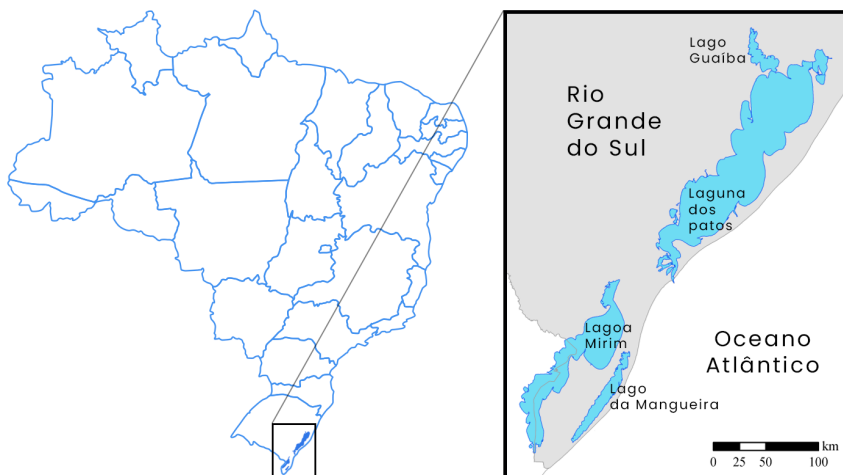
COMPLEXO LAGUNAR COSTA DOCE

As lagoas costeiras são corpos de água rasos, com profundidades normalmente não superiores a 5 m. São orientadas paralelamente as linhas de costa e podem apresentar uma ou mais conexões com o oceano (Smith, 1994).

A ação do vento nestes locais pode ser importante principalmente quando o eixo longitudinal da lagoa é orientado na sua direção predominante. A profundidade média destas lagoas também é um fator extremamente importante, pois, corpos de água rasos têm uma resposta mais rápida a processos de aquecimento e resfriamento ou a ação de ondas. Estas induzem processos de mistura em toda coluna d'água tendendo a destruir a estratificação vertical favorecendo a criação de gradientes longitudinais e transversais mais intensos (Smith, 1994).

O complexo lagunar Costa Doce é composto por um conjunto de quatro principais lagoas costeiras: o lago Guaíba, a laguna dos Patos, a lagoa Mirim e o lago da Mangueira cuja localização é mostrada pela Figura 5.

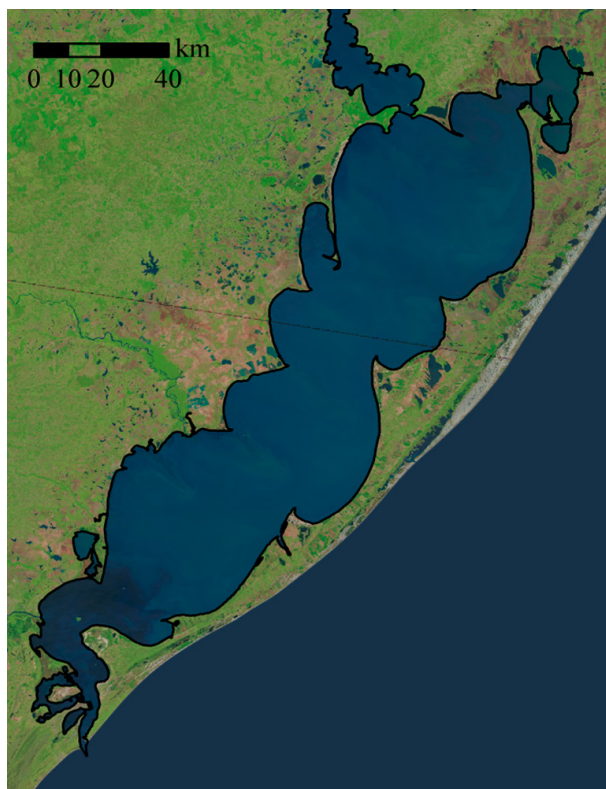
Figura 5. Localização da região de estudo



5.1 Lagoa dos Patos

A Lagoa dos Patos é a maior laguna do Brasil. Em sua cota de nível máximo, possui 265 quilômetros de comprimento, 60 quilômetros de largura e 7 metros de profundidade. Possui superfície de 144 km², estendendo-se paralelamente ao Oceano Atlântico, conforme Figura 6.

Figura 6. Composição de uma imagem landsat abrangendo a Lagoa dos Patos



A nordeste a Lagoa dos Patos encontra a lagoa do Casamento e a noroeste o Lago Guaíba, que faz a transição entre a Lagoa dos Patos e o delta do Rio Jacuí, formado pelos Rios Caí, Gravataí, Jacuí e Rio dos Sinos. Comunica-se com a Lagoa Mirim, ao sul, pelo Canal de São Gonçalo.

5.2 Lago Guaíba

O Lago Guaíba localiza-se na porção centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, margeando a capital, Porto Alegre (Figura 5). Este lago limita-se à jusante com a Laguna dos Patos e à montante pelo Delta do Rio Jacuí,

um complexo fluvial composto por um conjunto de oito grandes ilhas e uma diversidade de pequenas ilhas (Mansur et al., 2003). O Delta do Rio Jacuí alimenta o Lago Guaíba, sendo formado pela entrada de diversos afluentes: Rios Gravataí, dos Sinos, Caí e Jacuí (Mansur et al., 2003).

O Lago Guaíba possui aproximadamente 500 km², com um eixo de maior extensão no sentido SE-NO, tendo 50 km de comprimento e, em média, 12 km de largura (Mansur et al., 2003). Em geral o lago possui profundidades em torno de 5 a 6 metros, com áreas mais rasas do que 2 metros, mas em trechos específicos a profundidade pode alcançar até 60 metros (Mansur et al., 2003).

A área de drenagem que alimenta os rios que desembocam no Lago Guaíba possui aproximadamente 85.950 km², abrangendo 251 municípios do estado. Esta área possui uma grande concentração populacional, incluindo cerca de 56% da população do estado gaúcho. A bacia hidrográfica ainda abrange grande parte das atividades econômicas do estado, com grandes manchas urbanas, atividades comerciais e industriais (Lopes, 2006), além de grandes áreas de cultivo de arroz.

Figura 7. Composição de uma imagem landsat abrangendo o lago Guaíba



5.3 Lagoa Mirim

A Lagoa Mirim, situada no extremo Sul do Brasil (no Rio grande do Sul) e norte do Uruguai, mais especificadamente na latitude 31°30' e 34°30'S e longitude 52° e 56°O, contempla uma superfície de cerca de 62.250 km², sendo 29.250 km² (47%) destes em território brasileiro e 33.000 km² (53%) em território uruguaio - Tratado de Limites de 1909 e Tratado da Lagoa Mirim de 1977 (BRASIL, 1977). No lado brasileiro, a lagoa é limitada pelos municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande em sua margem leste, e os municípios de Arroio Grande e Jaguarão em sua margem oeste, e as províncias de Cerro Largo, Treinta y Tres e Rocha do lado uruguaio (PIEDRAS, 2011). A Figura 6 apresenta a imagem da Lagoa Mirim.

Figura 8. Composição colorida de uma imagem landsat abrangendo a Lagoa Mirim



Em termos de lâmina d'água, o rio principal da lagoa possui uma área de 3.749 km², com extensão aproximada de 185 km e largura média de 20 km. Por meio do Canal São Gonçalo, o qual apresenta 76 km de extensão, a Lagoa Mirim permanece ligada à Lagoa dos Patos (em território brasileiro). A

Bacia de drenagem da Lagoa Mirim é formada por sub-bacias de contribuição, sendo as mais relevantes: do Rio Piratini; Rio Jaguarão; Rio Taquari; e Rio Cebollati (ALM, 2014).

A Lagoa Mirim possui um tempo de detenção médio de 205 dias, e recebe por meio de seus afluentes uma vazão em torno de 787 m³/s (IPH, 1998 apud BASAGLIA, 2008). Na região se observam precipitações médias anuais de 1.300 - 1.500 mm com distribuição irregular, temperaturas médias mensais de 25°C no verão e de 10°C no período de inverno, e de acordo com a classificação Köppen, a região apresenta um clima sub-tropical. Ainda, a região da Lagoa possui ventos com variações de 6,5 – 7,3 m/s (AMARANTE, 2002).

As profundidades naturais na Lagoa Mirim são da ordem de 1,00 - 2,00 m na região norte, em torno de 4,00 m na parte central, e com profundidades maiores na região sul, variação aproximada de 5,00 - 6,00 m (DHI, 2002).

5.4 Lagoa da Mangueira

A Lagoa da Mangueira situa-se na região sul do Estado do Rio Grande do Sul, entre as dunas que separam o município de Santa Vitória do Palmar e o Oceano Atlântico (ARTIOLI et al., 2009).

Segundo Andrade et al., 2012 é um sistema raso, fechado, sem efeito de maré e faz parte do maior complexo lagunar do mundo - o sistema Patos-Mirim-Mangueira. O espelho de água da Lagoa da Mangueira é de 82.000 hectares (MMA, 2006), de 92 km de comprimento por 7,6 km no seu ponto mais largo e profundidade oscilando entre 1,5 e 6 metros. Esse extenso espelho de água perfaz um volume estimado de setecentos milhões de metros cúbicos de água (DELANEY, 1965 apud ARTIOLI et al., 2009).

A Lagoa da Mangueira possui como limite norte o Banhado do Taim, que é conectado com as águas da Lagoa Mirim, através de um canal artificial e integra o sistema hidrográfico do Taim, onde localiza-se a Estação Ecológica do Taim (EETaim).

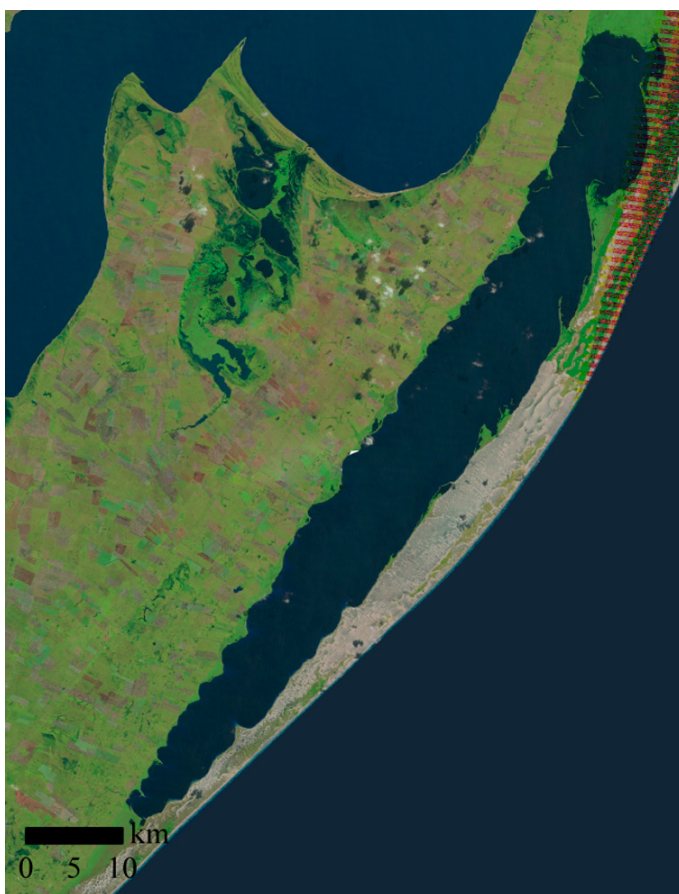
Como a lagoa não tem nenhum afluente e nenhuma comunicação superfície com o oceano, as únicas entradas de água são precipitação direta e descarga de águas subterrâneas. Assim, na verdade, a lagoa comporta-se como um lago (SANTOS et al., 2008). As perdas de água ocorrem por evaporação, fluxos subsuperficiais para o oceano, bombeamento para irrigação e fluxos superficiais sazonais em direção ao banhado do Taim ou deste, para a Lagoa Mirim (VILLANUEVA, A. O. N., 1997 apud ANDRADE et al., 2012).

O clima dessa região é do tipo subtropical, com predomínio de uma precipitação média anual de 1100 milímetros e uma temperatura média anual de 18°C. O período de inverno é caracterizado como sendo frio e chuvoso, e período de verão como quente e seco, além de ventos bastante intensos, obedecendo ao padrão da região sul que mantém as águas da Lagoa da

Mangueira bem misturadas.

O domínio de solos hidromórficos no lado oeste da lagoa, com um baixo gradiente topográfico e de alta abundância de água proporcionam excelentes condições para a produção de arroz, se constituindo na atividade econômica mais importante na área, correspondendo a praticamente todo o consumo de água na bacia do Mangueira. Santos et al. (2008) destacam que por essa razão, a situação é crítica porque o bombeamento de água coincide com a estação seca, quando a diferença entre a precipitação e evaporação é de 32 milímetros/mês (dezembro), em contraste com a precipitação durante a estação chuvosa (precipitação maior que 90 mm/mês).

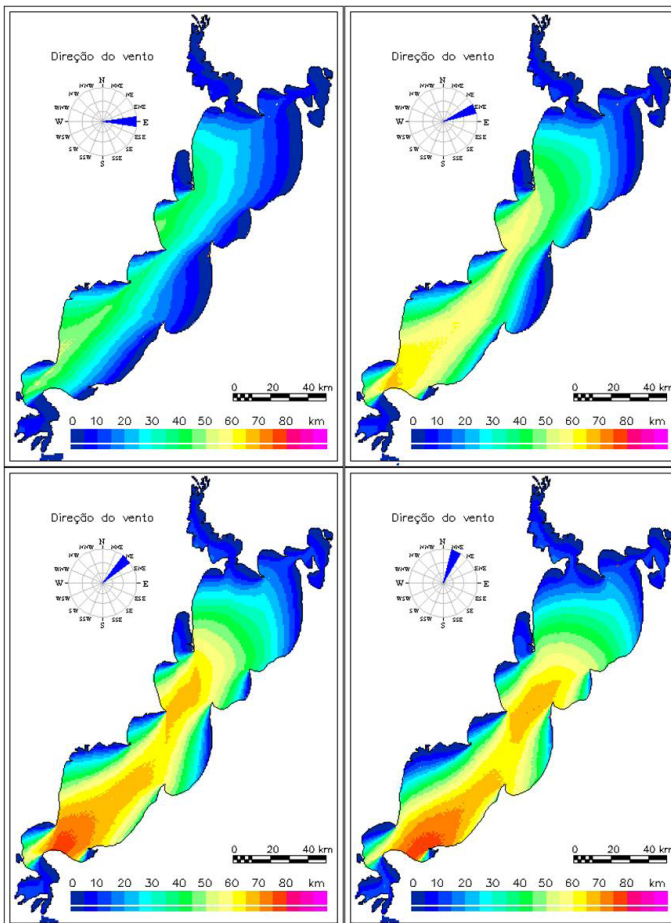
Figura 9. Composição colorida de uma imagem landsat abrangendo a Lagoa da Mangueira

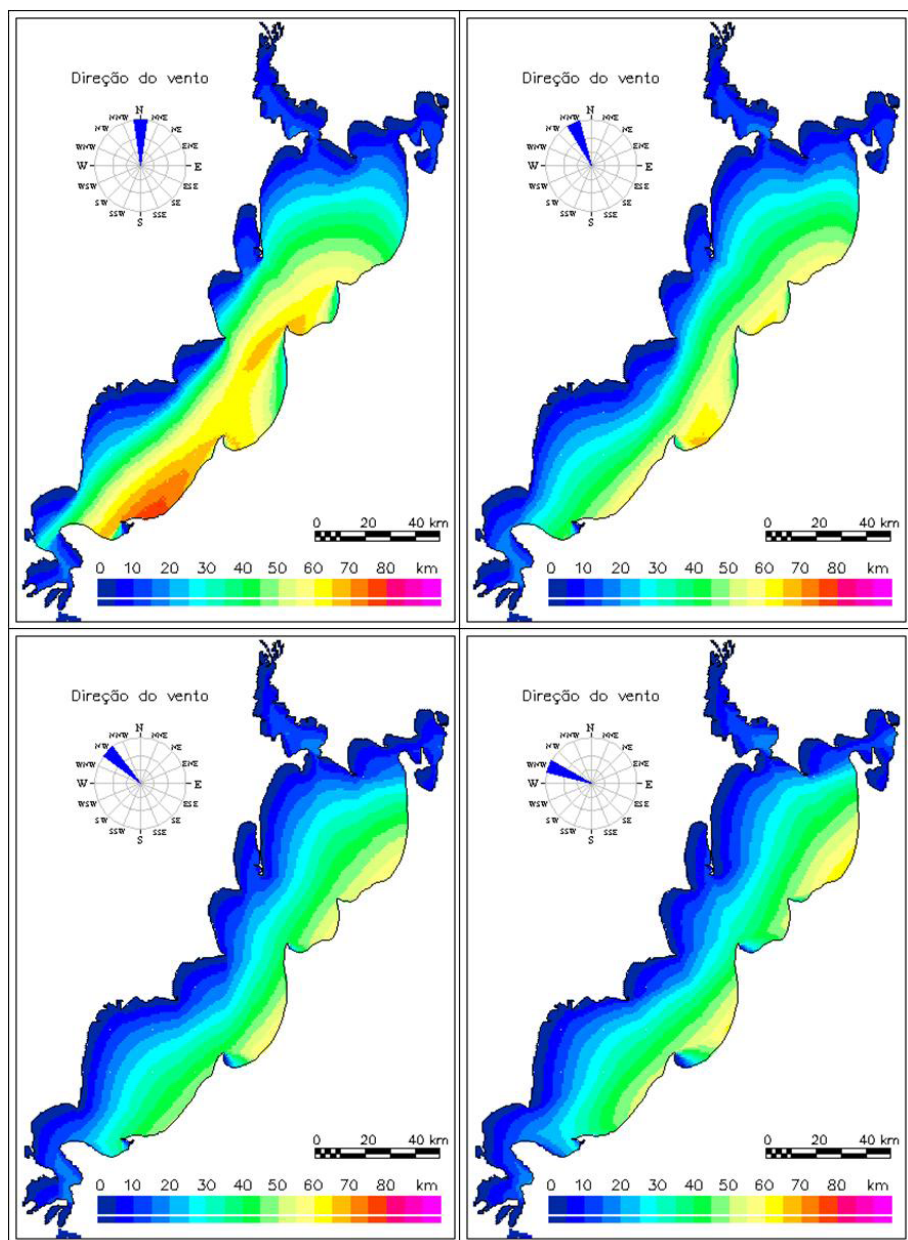


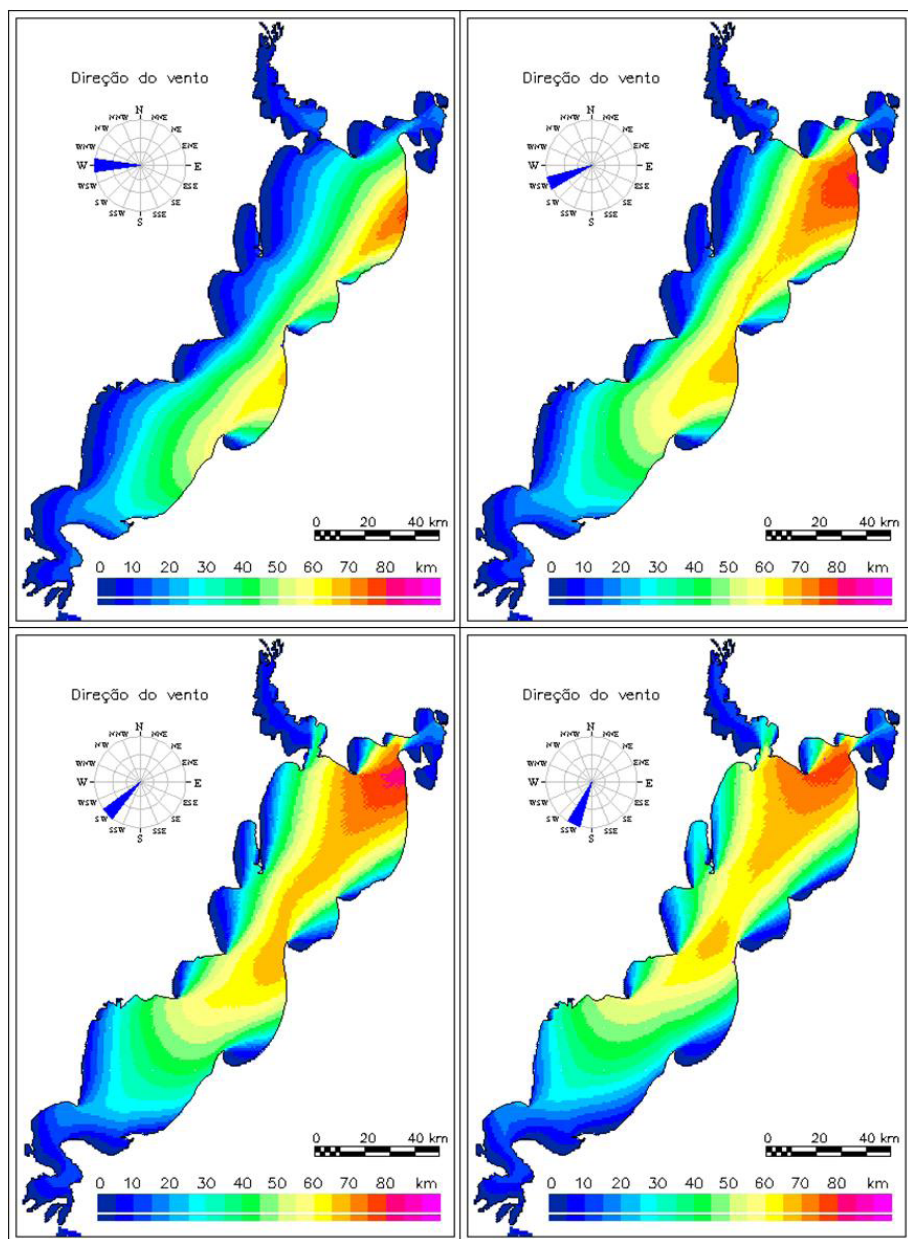
CAPÍTULO 6

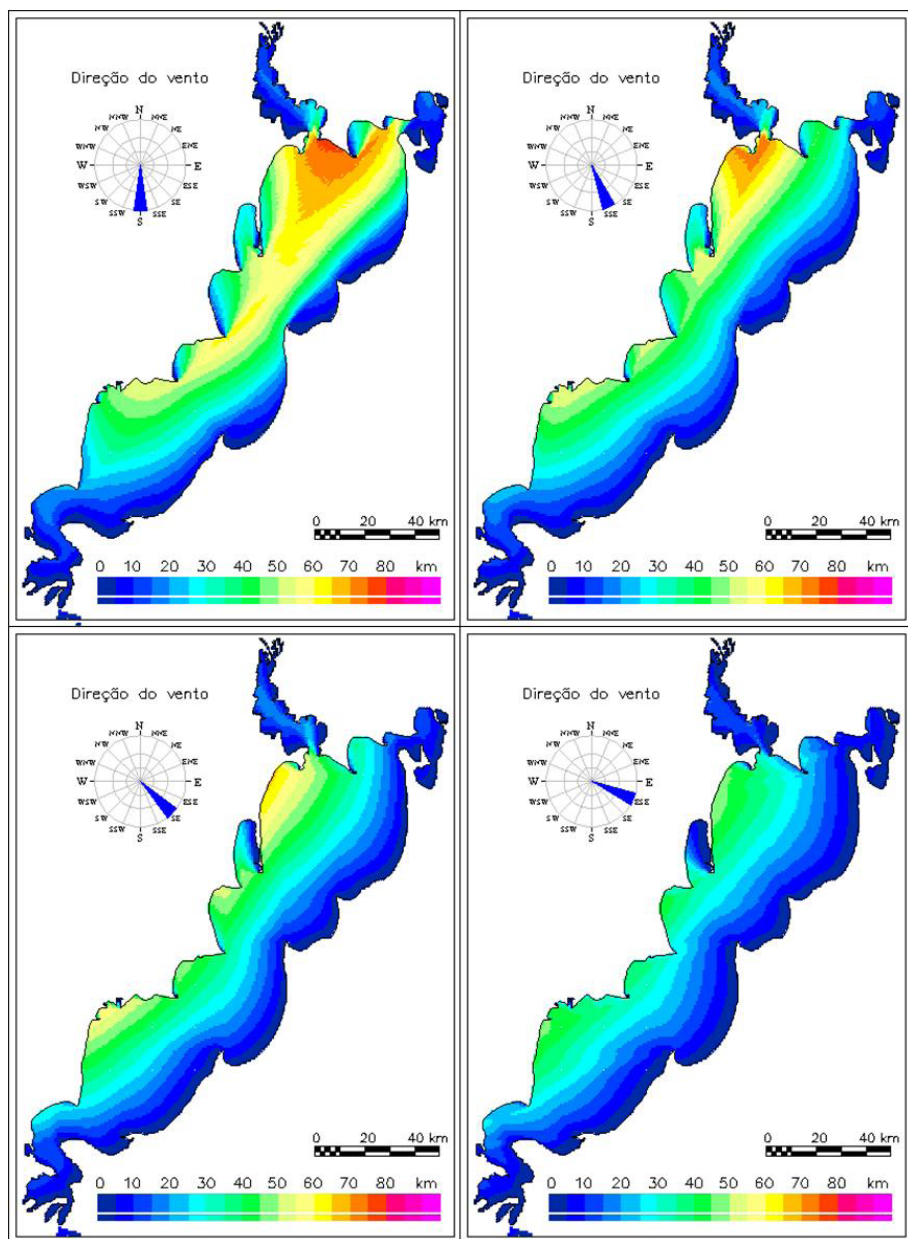
LAGOA DOS PATOS

6.1 Fetch

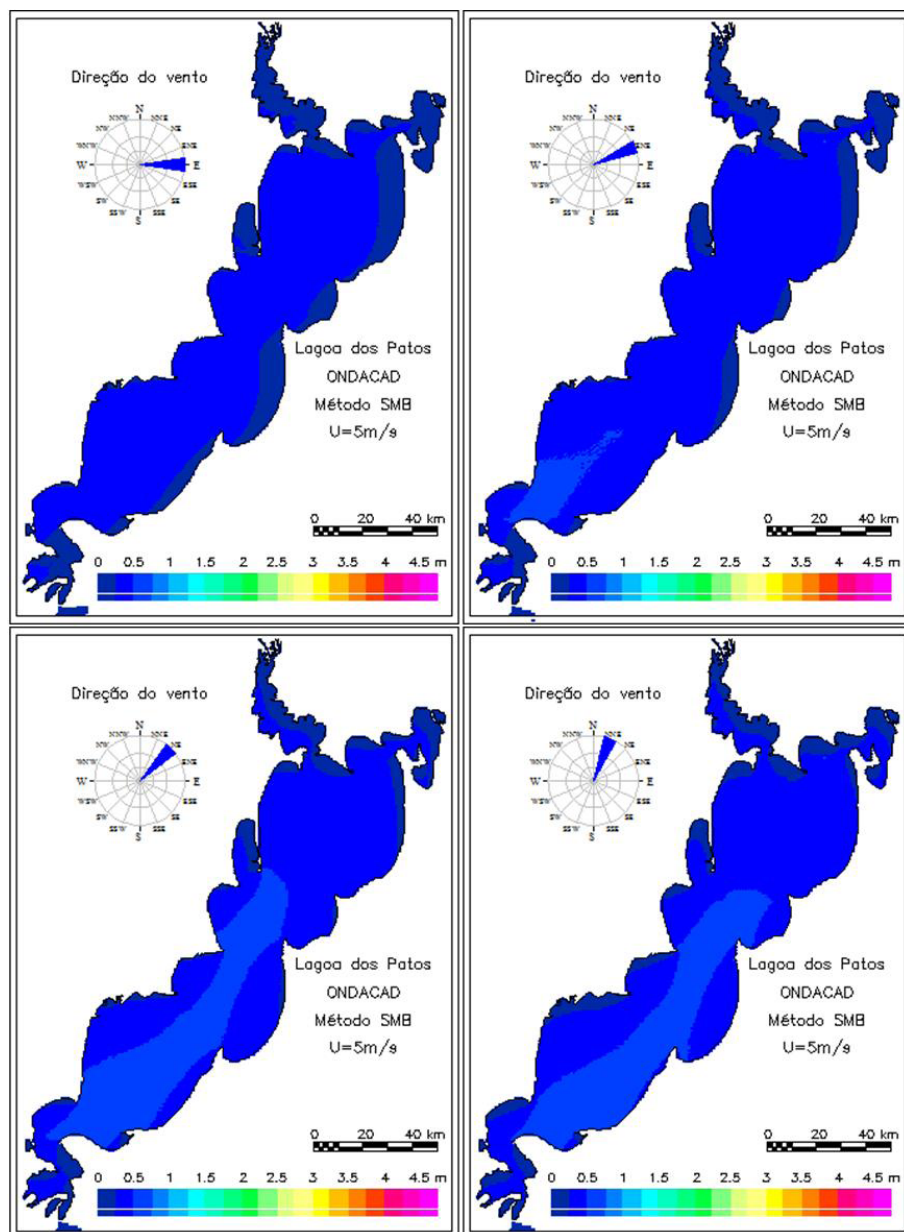


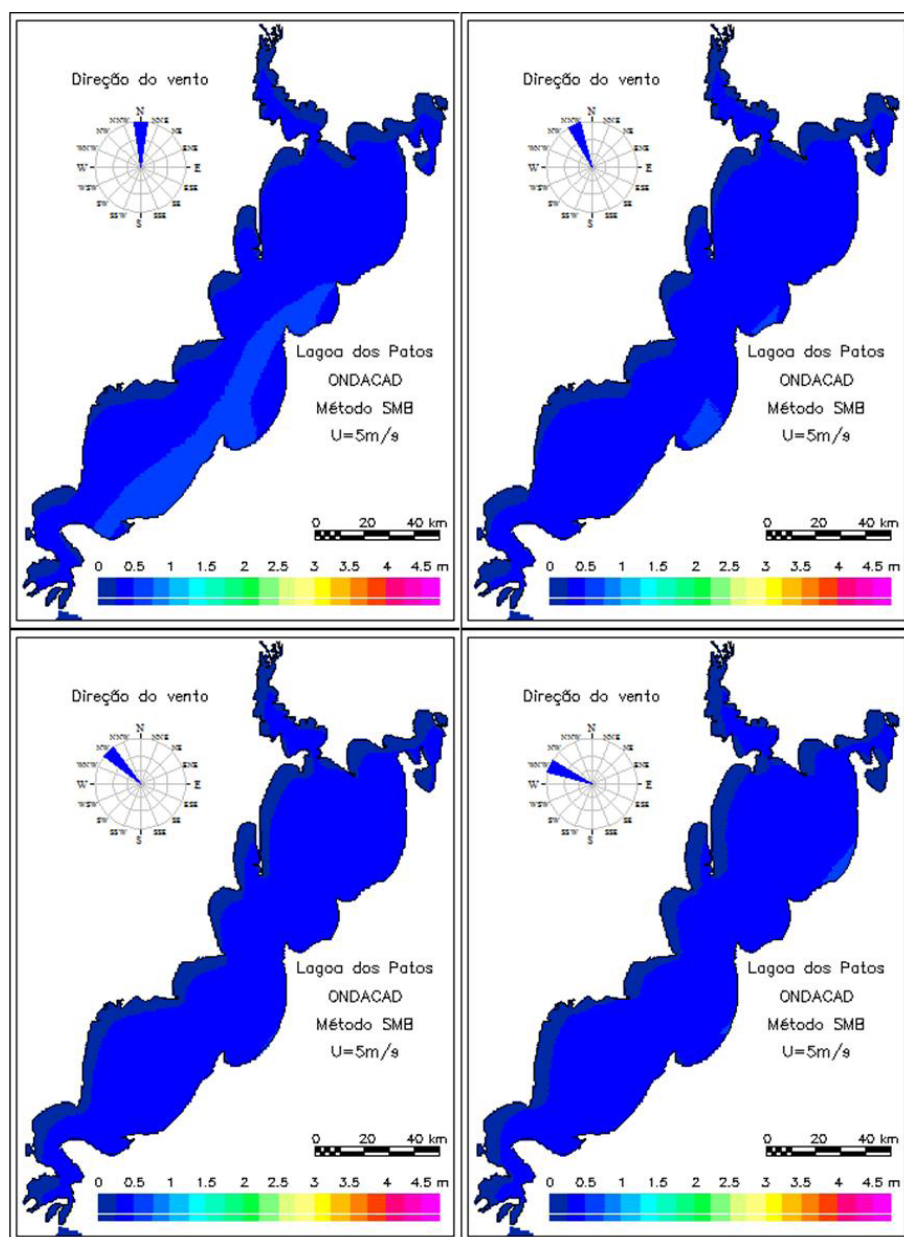


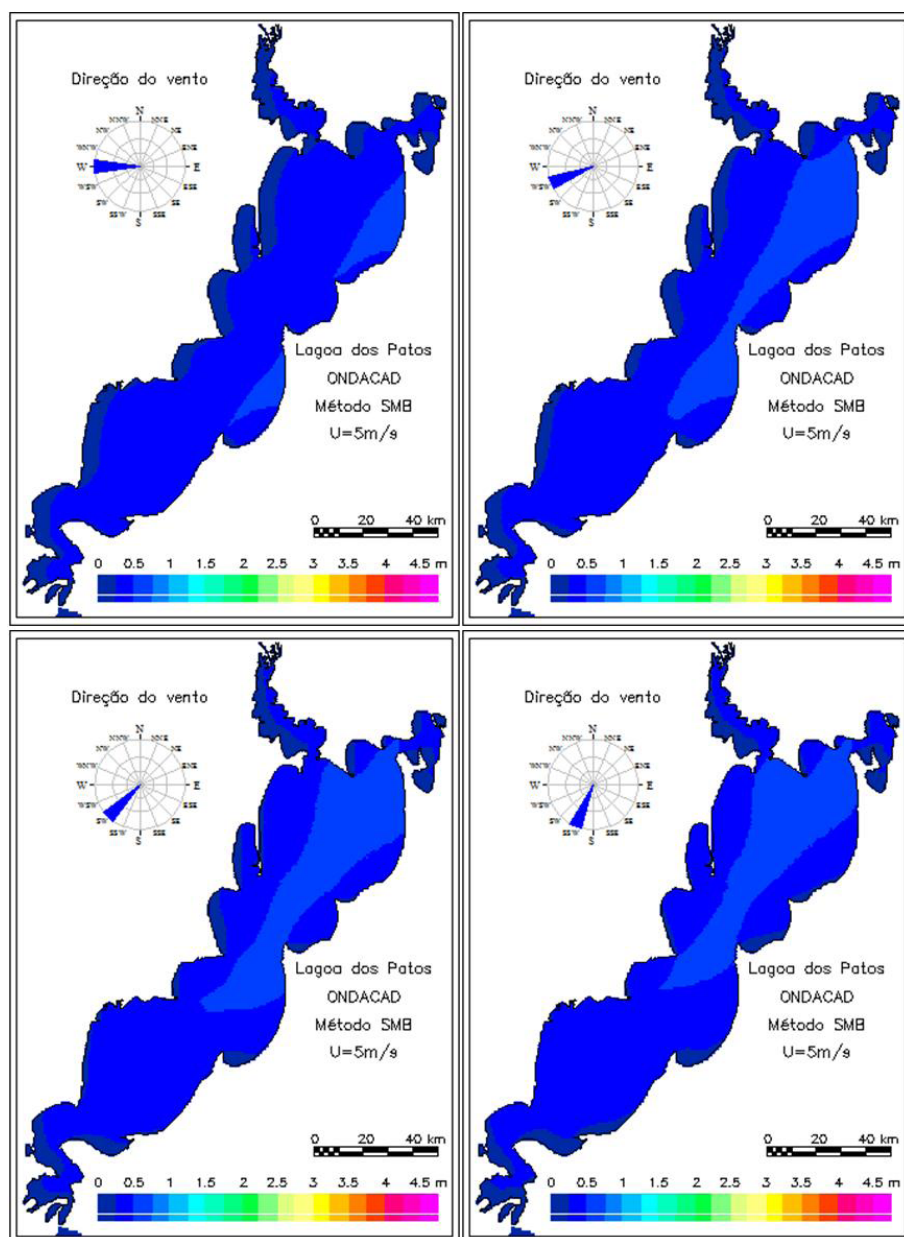


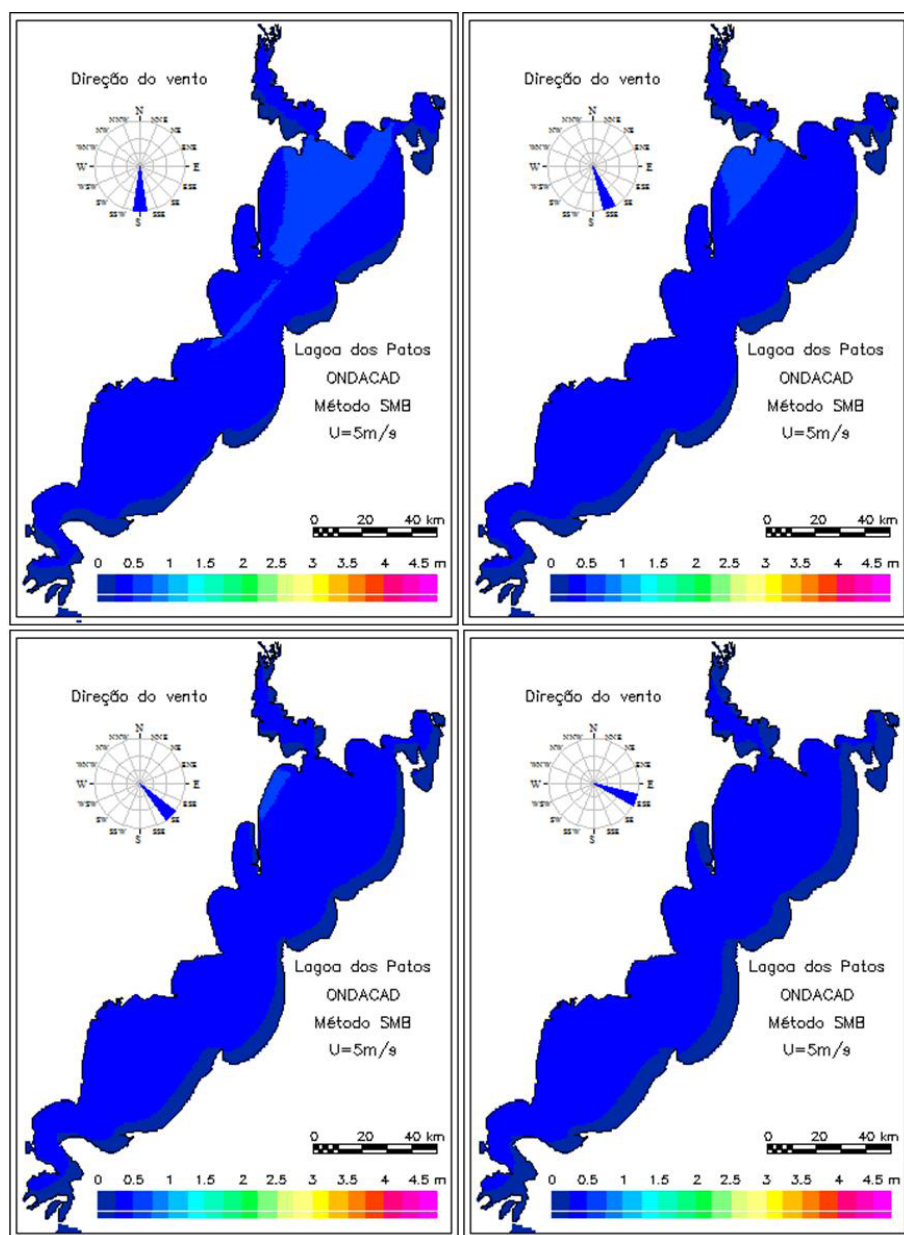


6.2 Altura das ondas

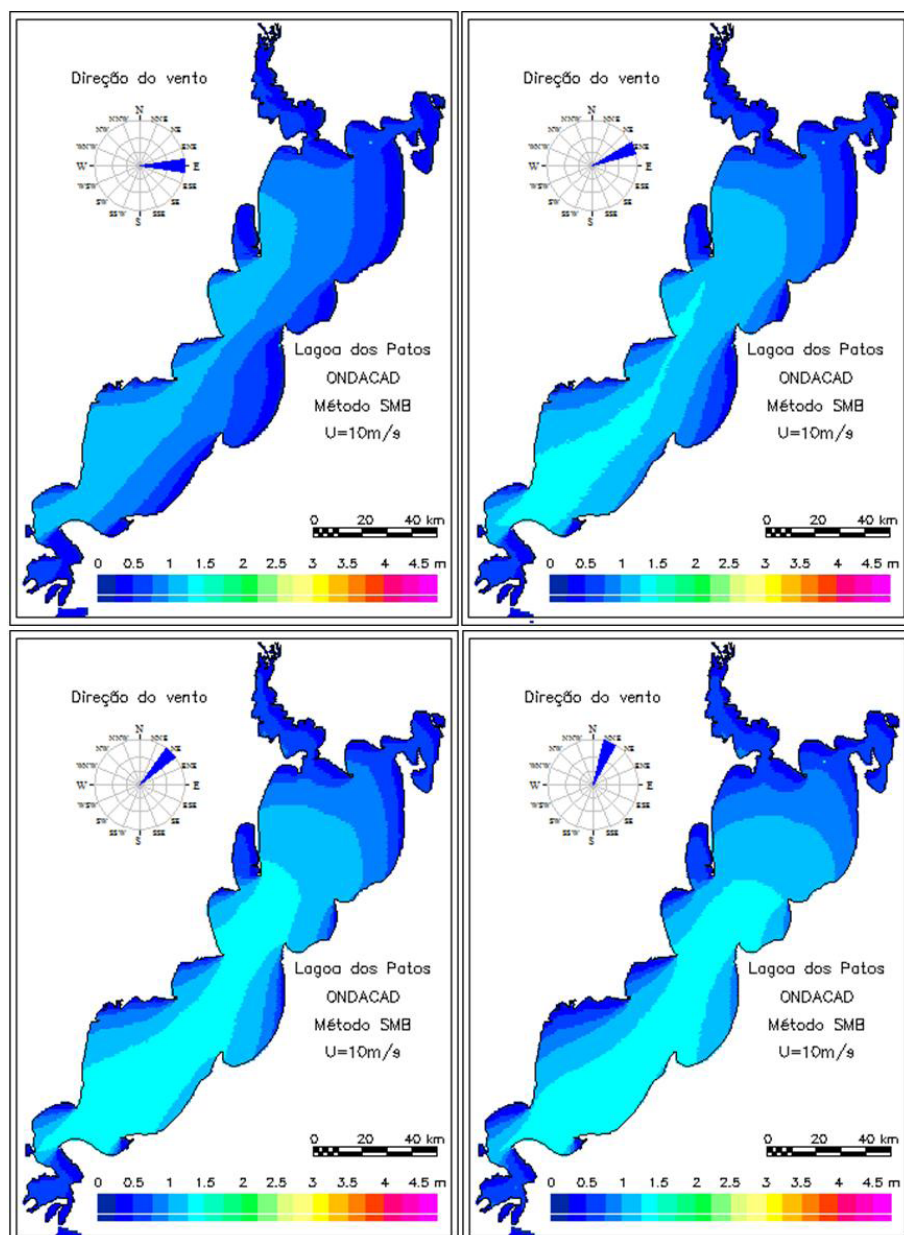
6.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1} 

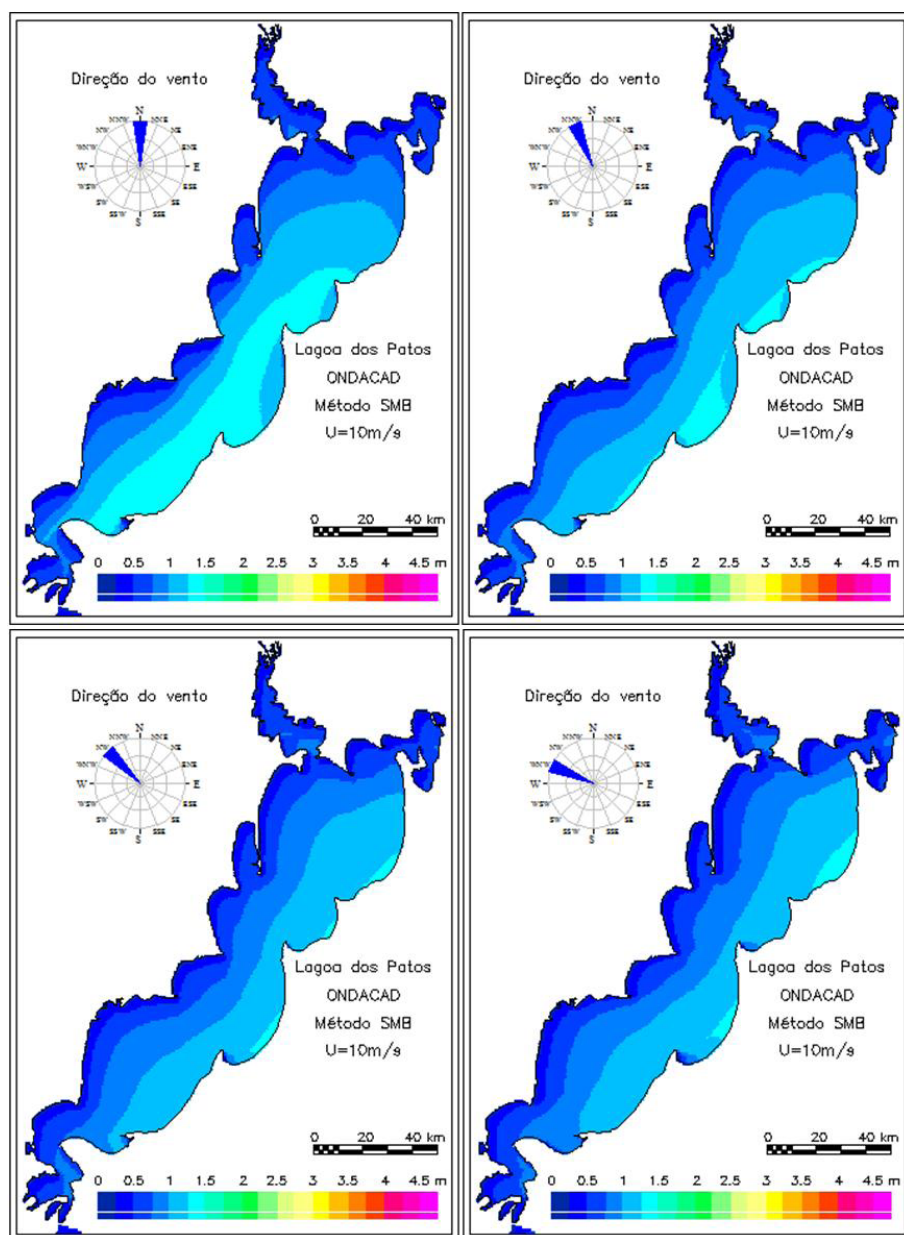


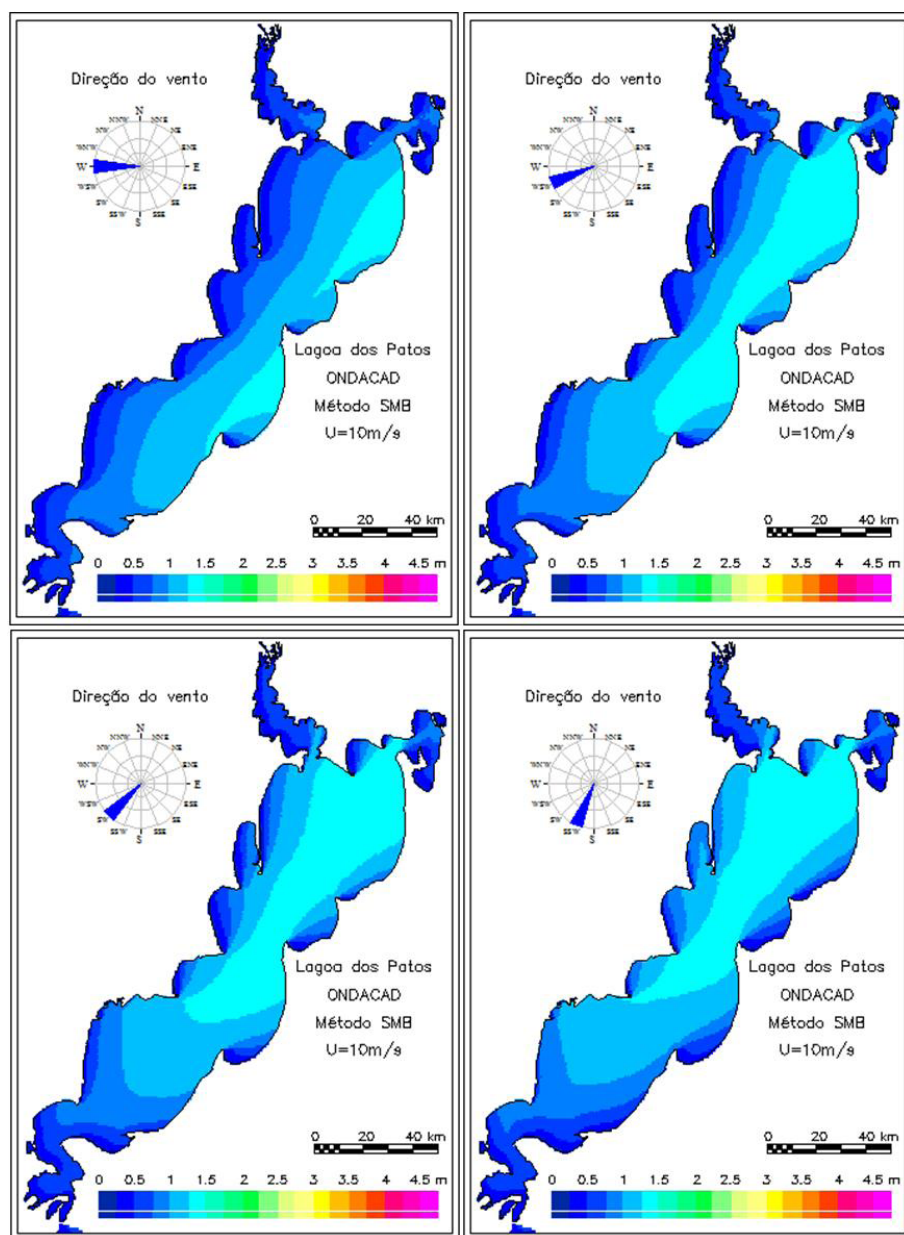


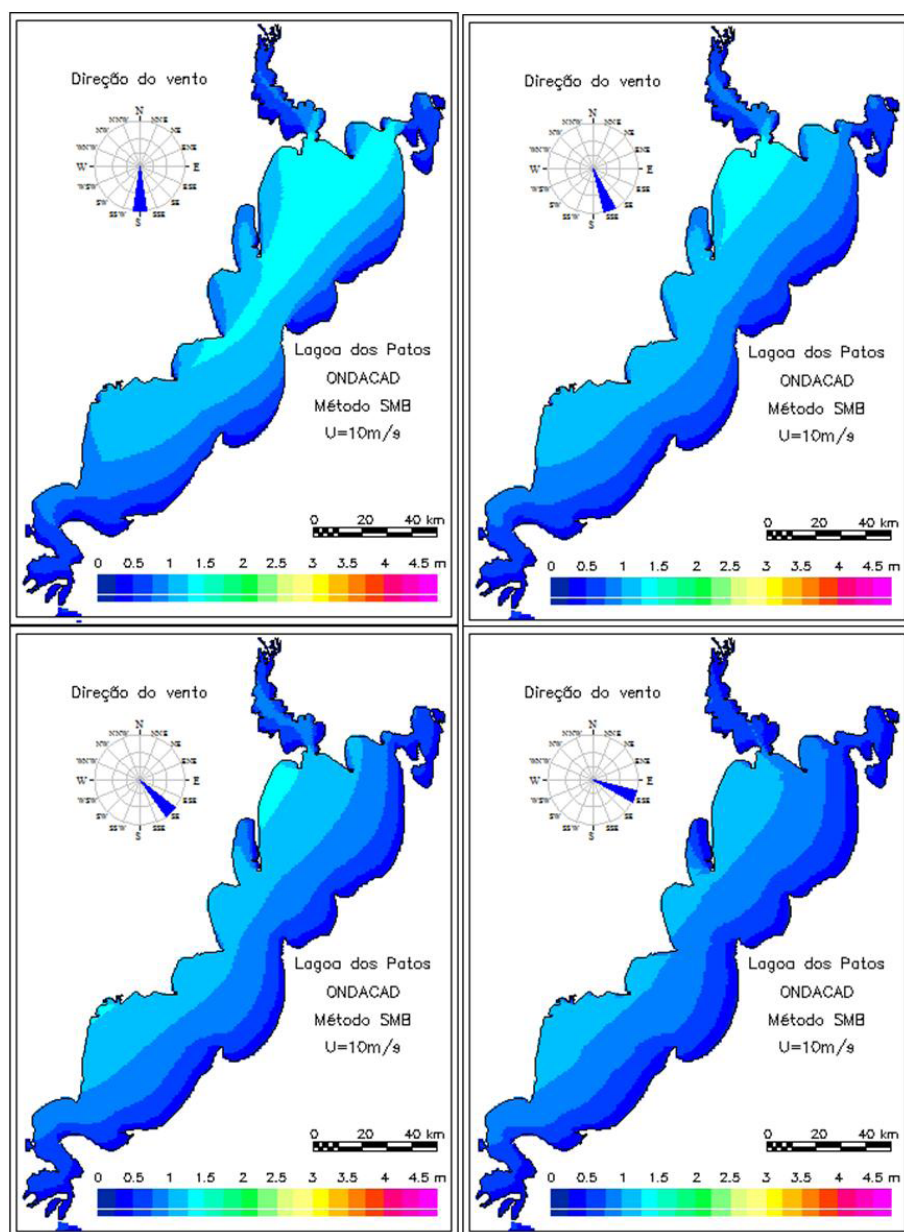


6.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}

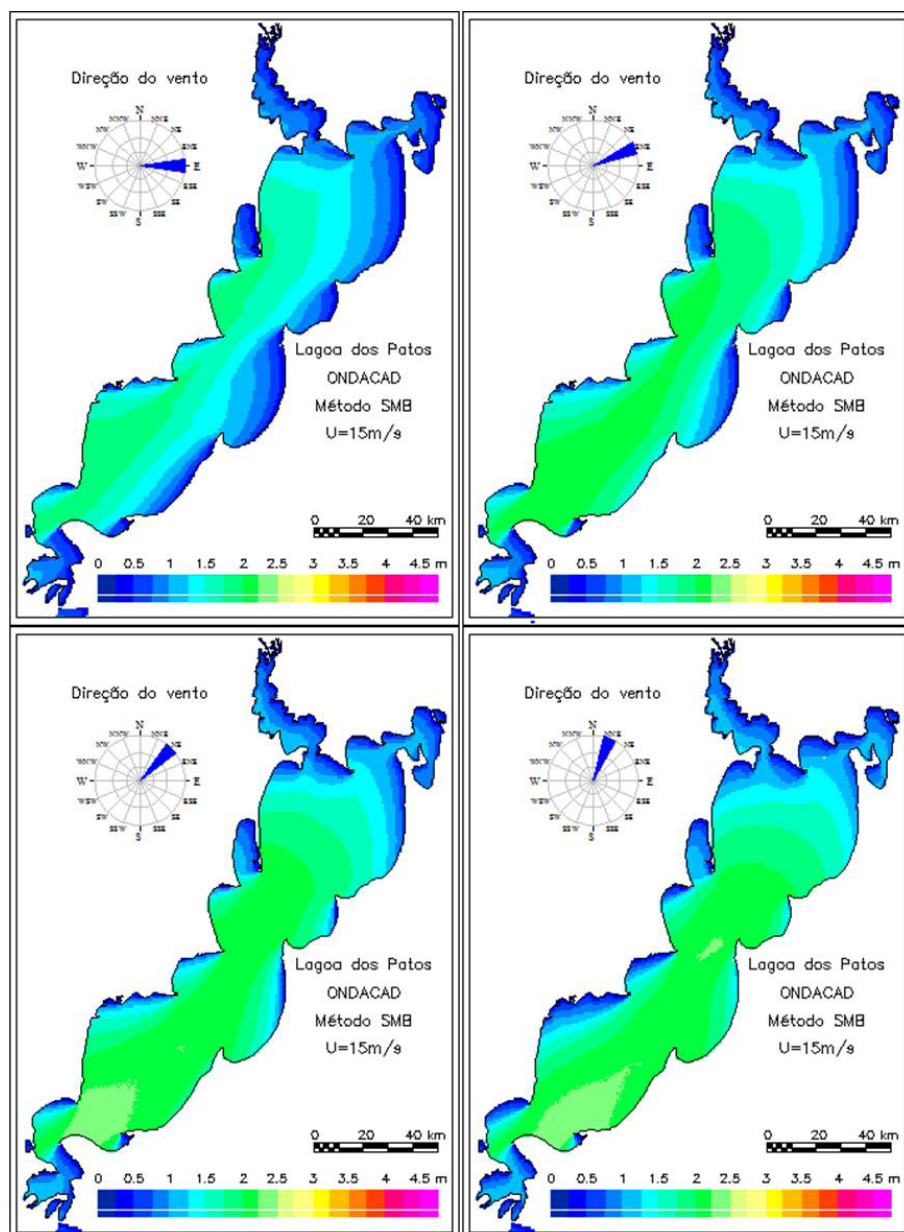


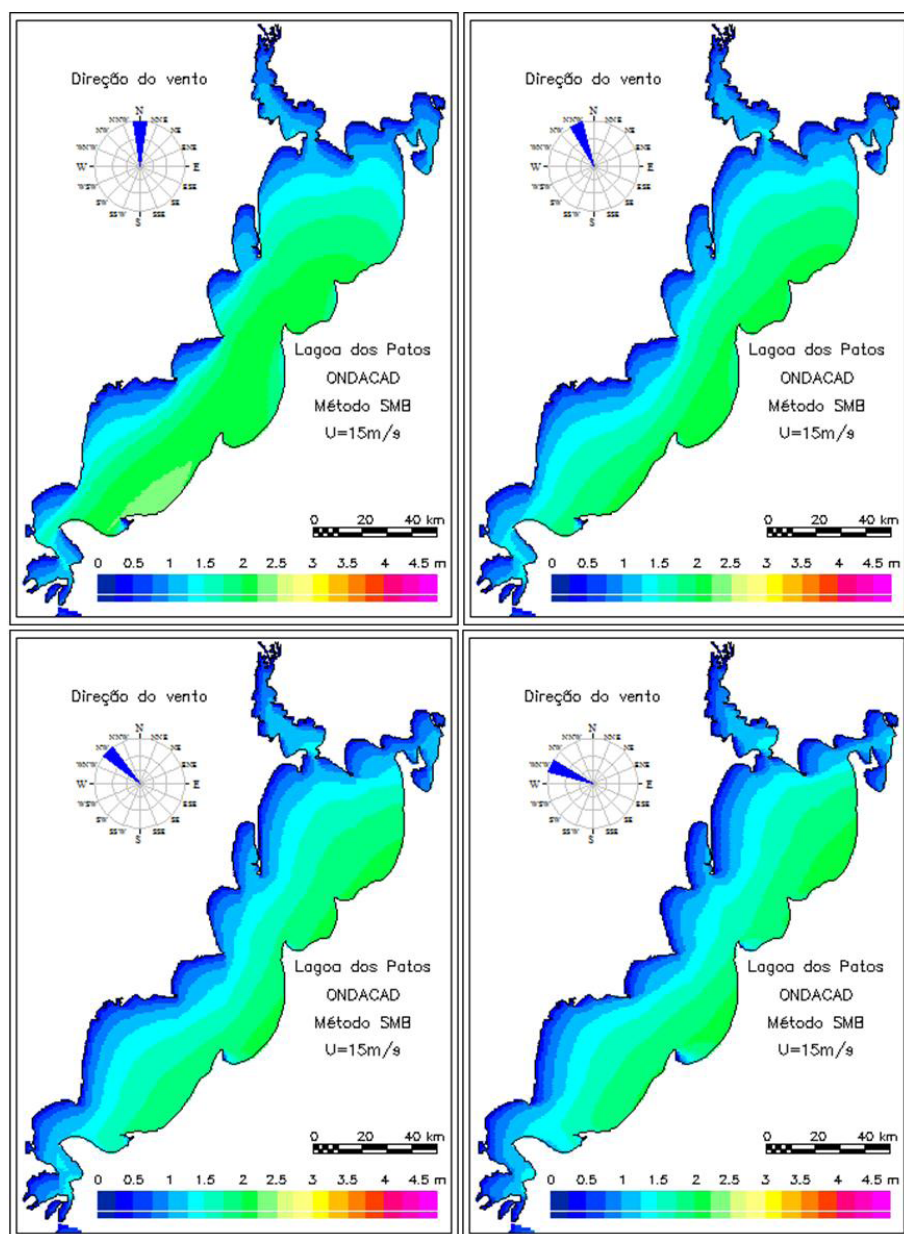


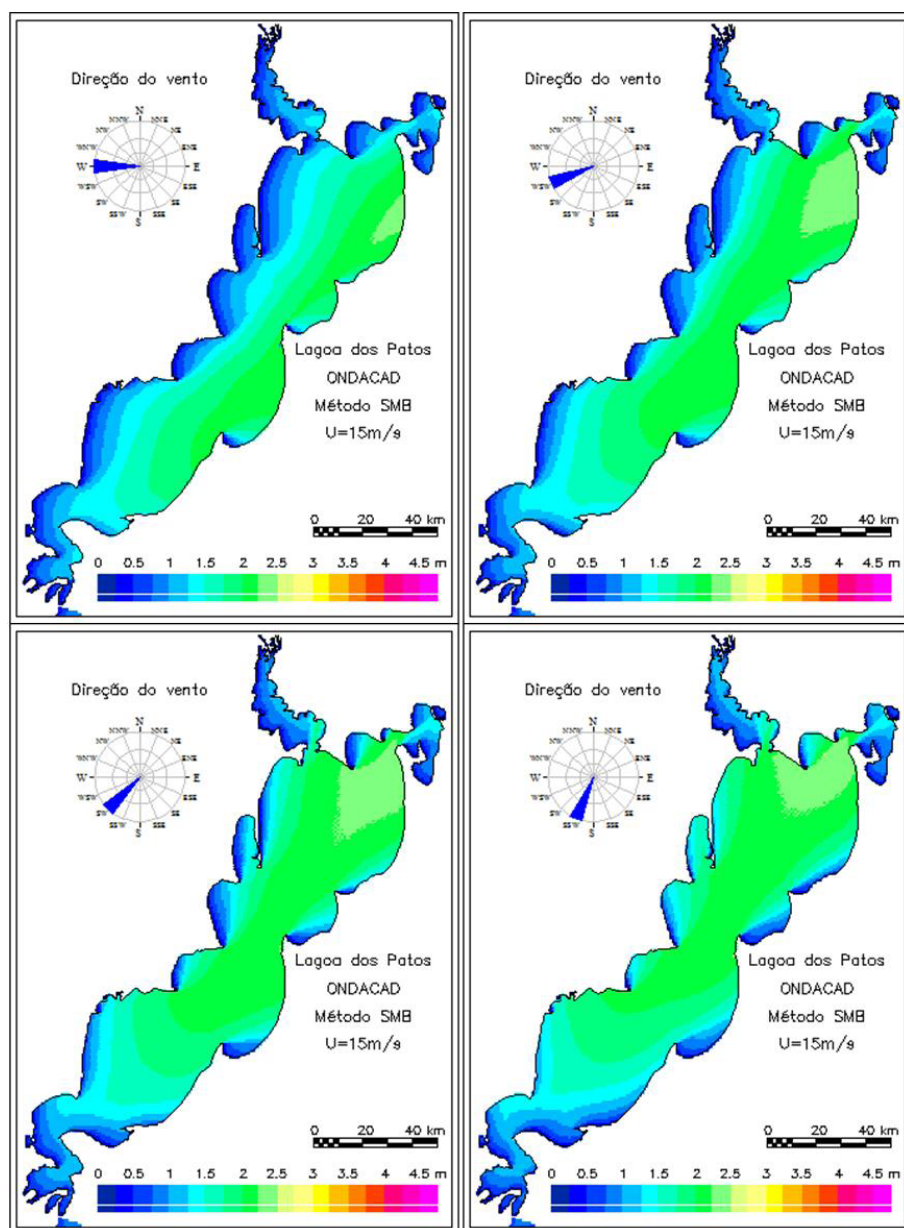


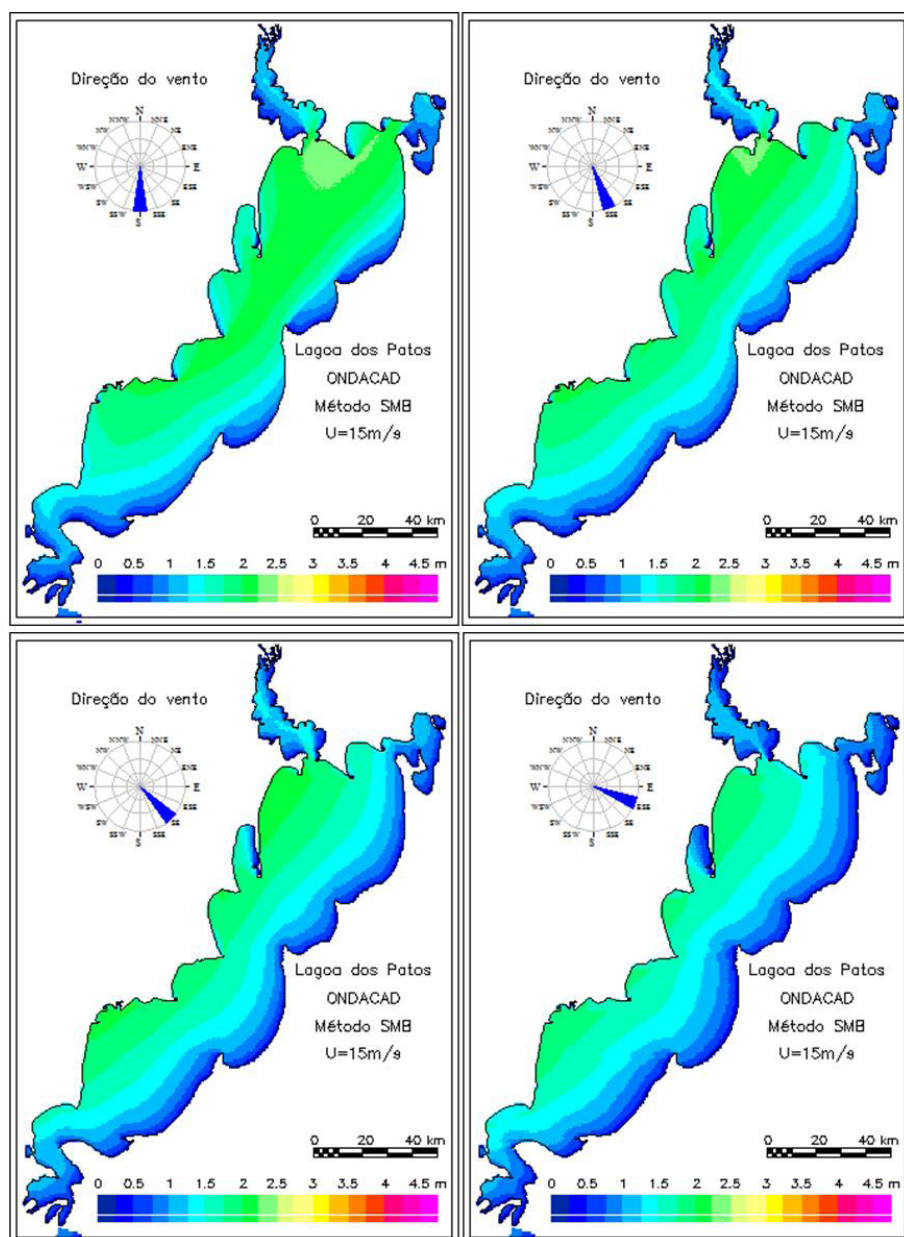


6.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}

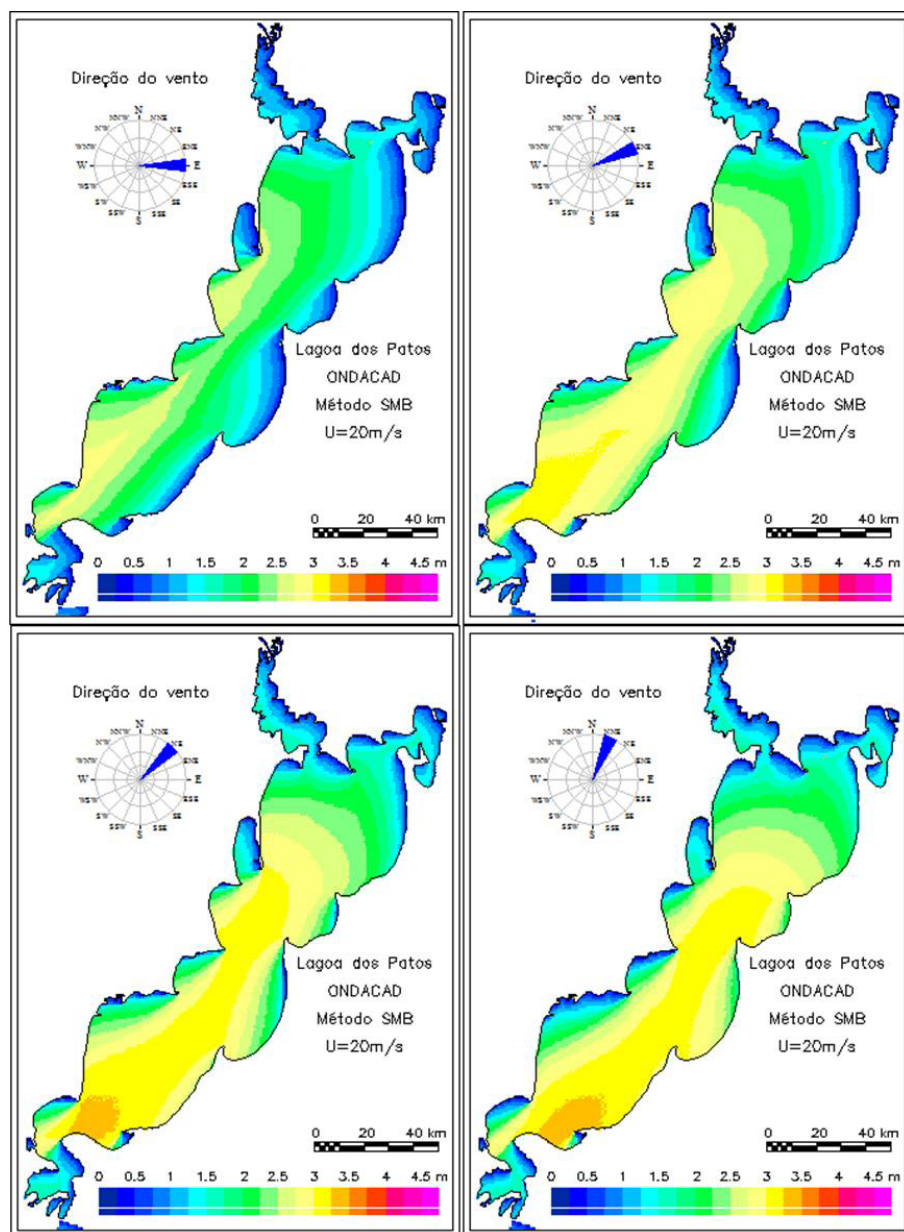


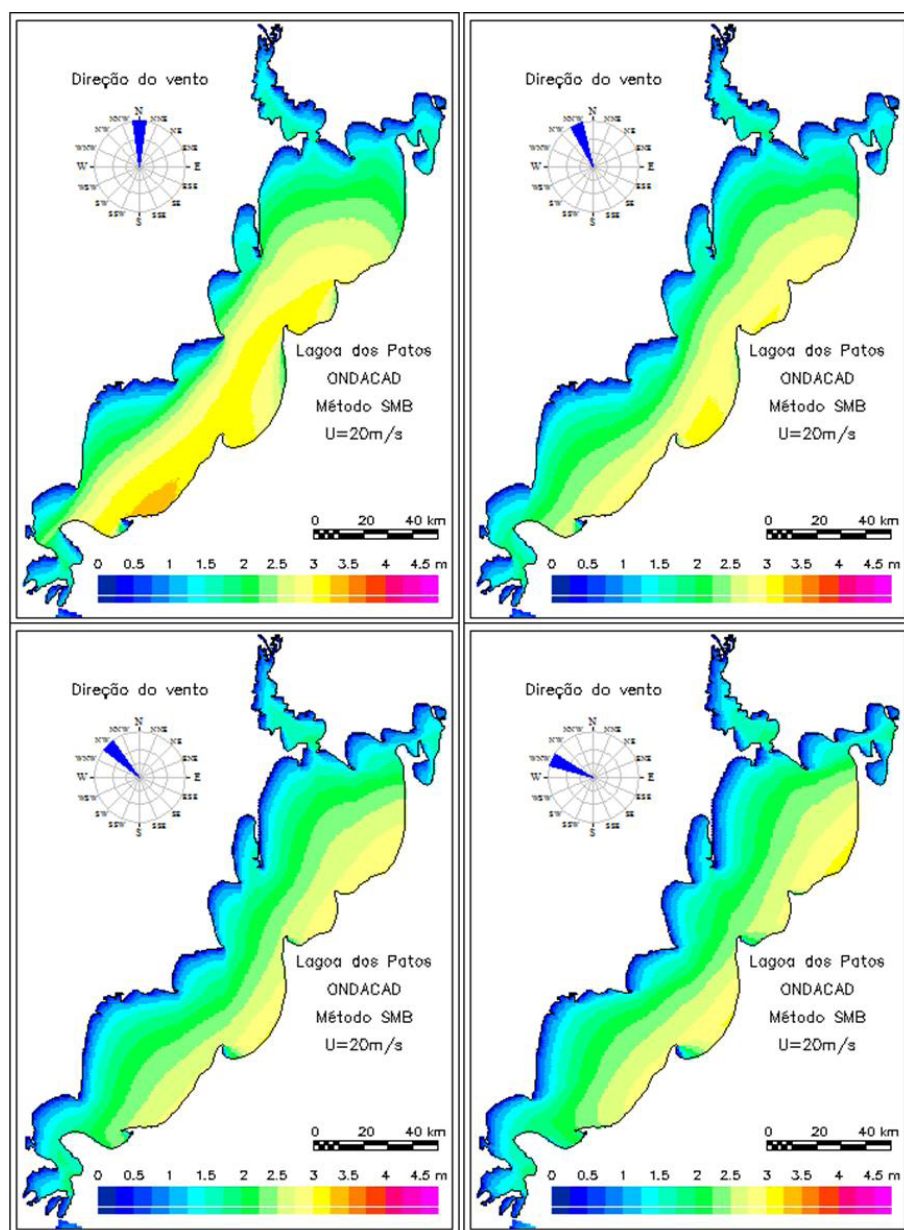


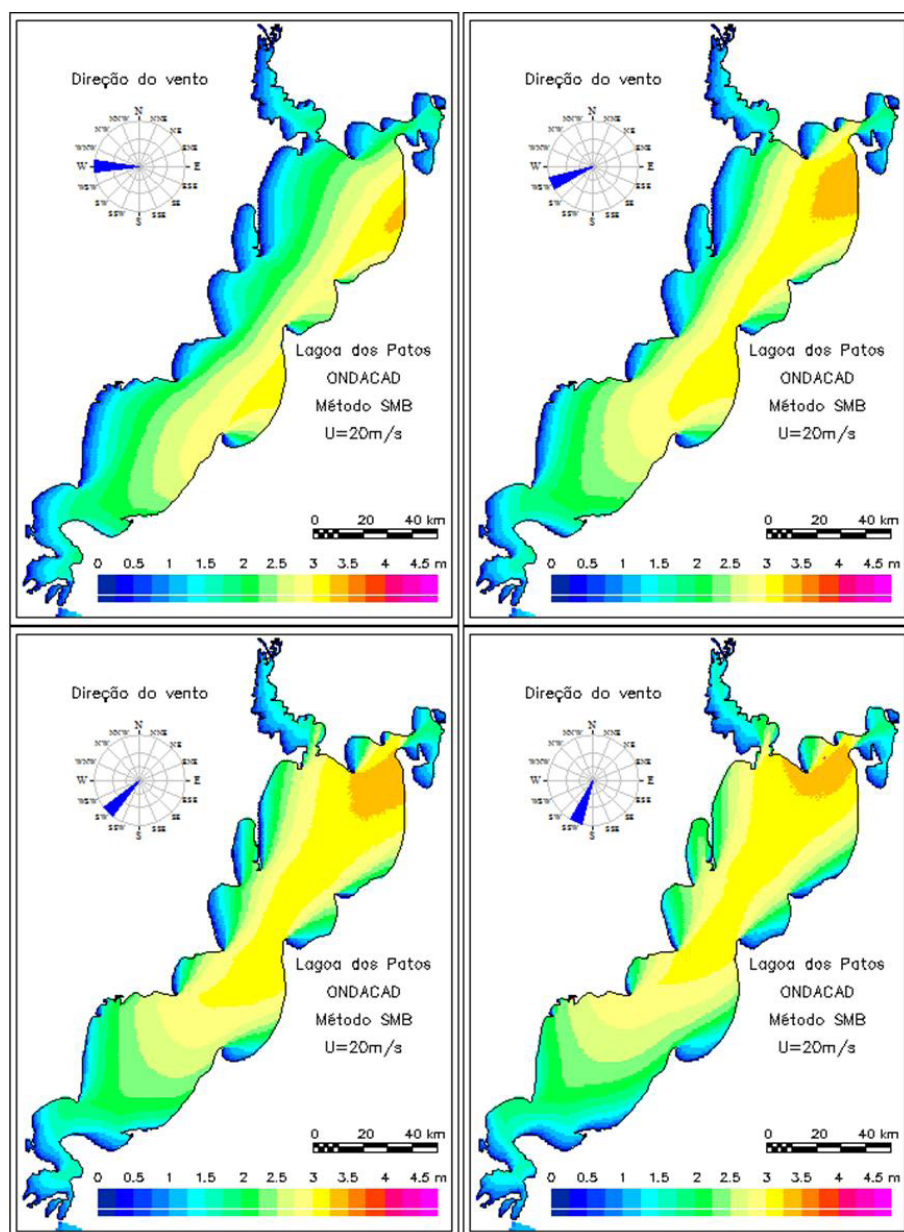


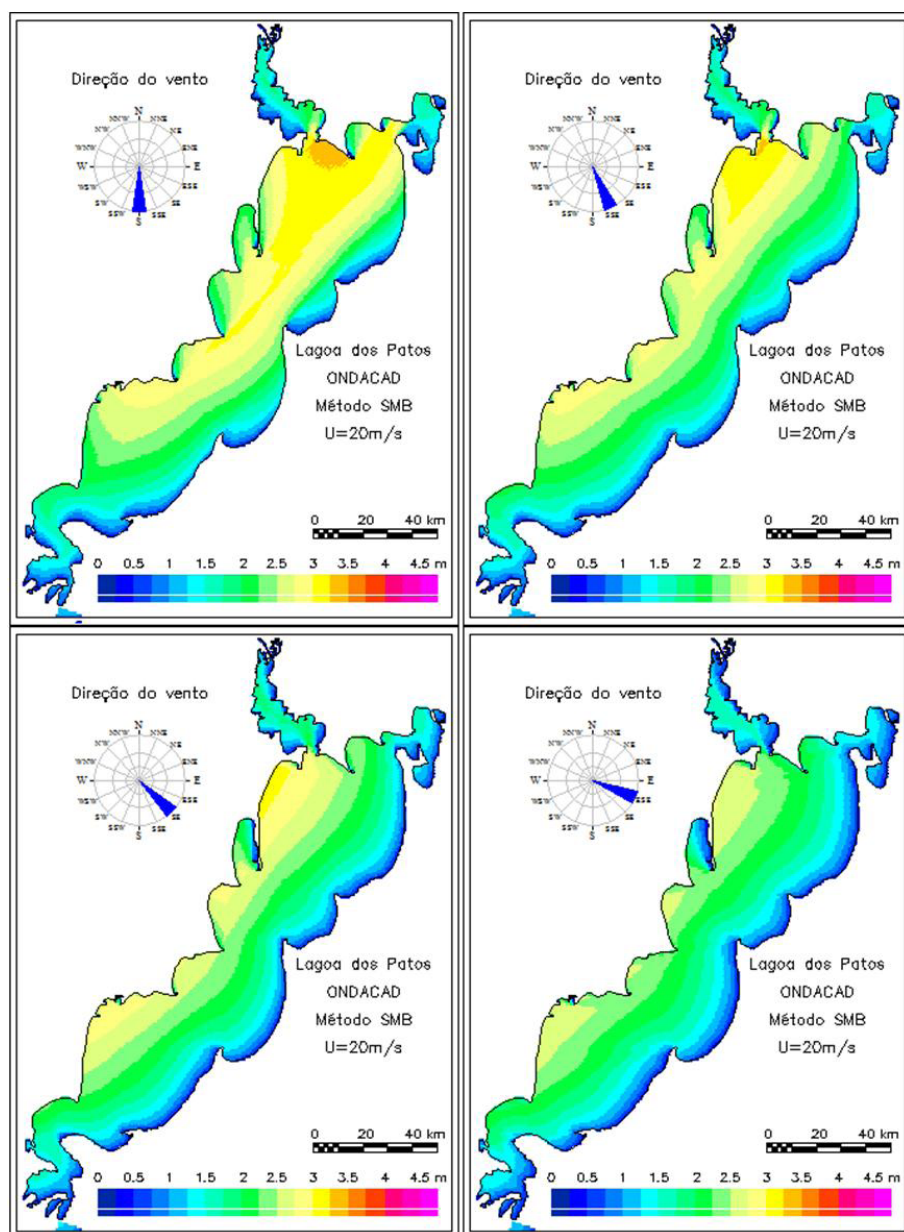


6.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms^{-1}

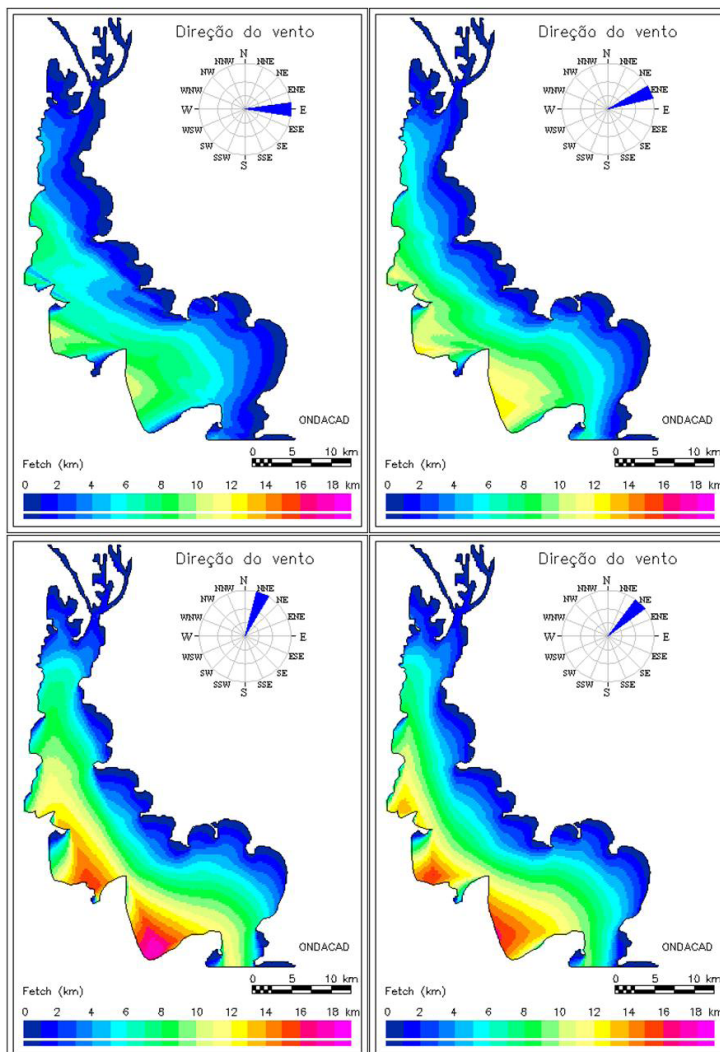


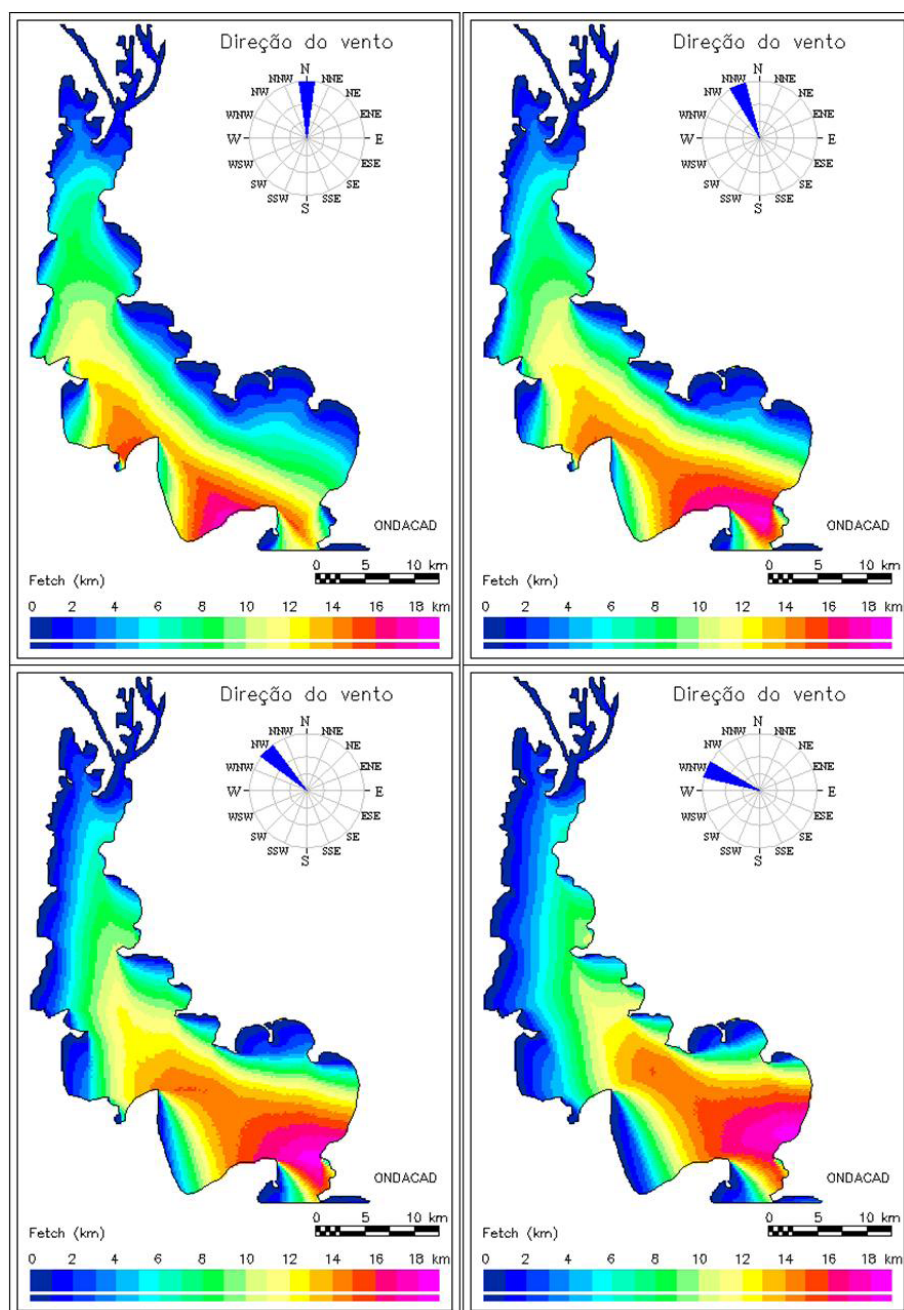


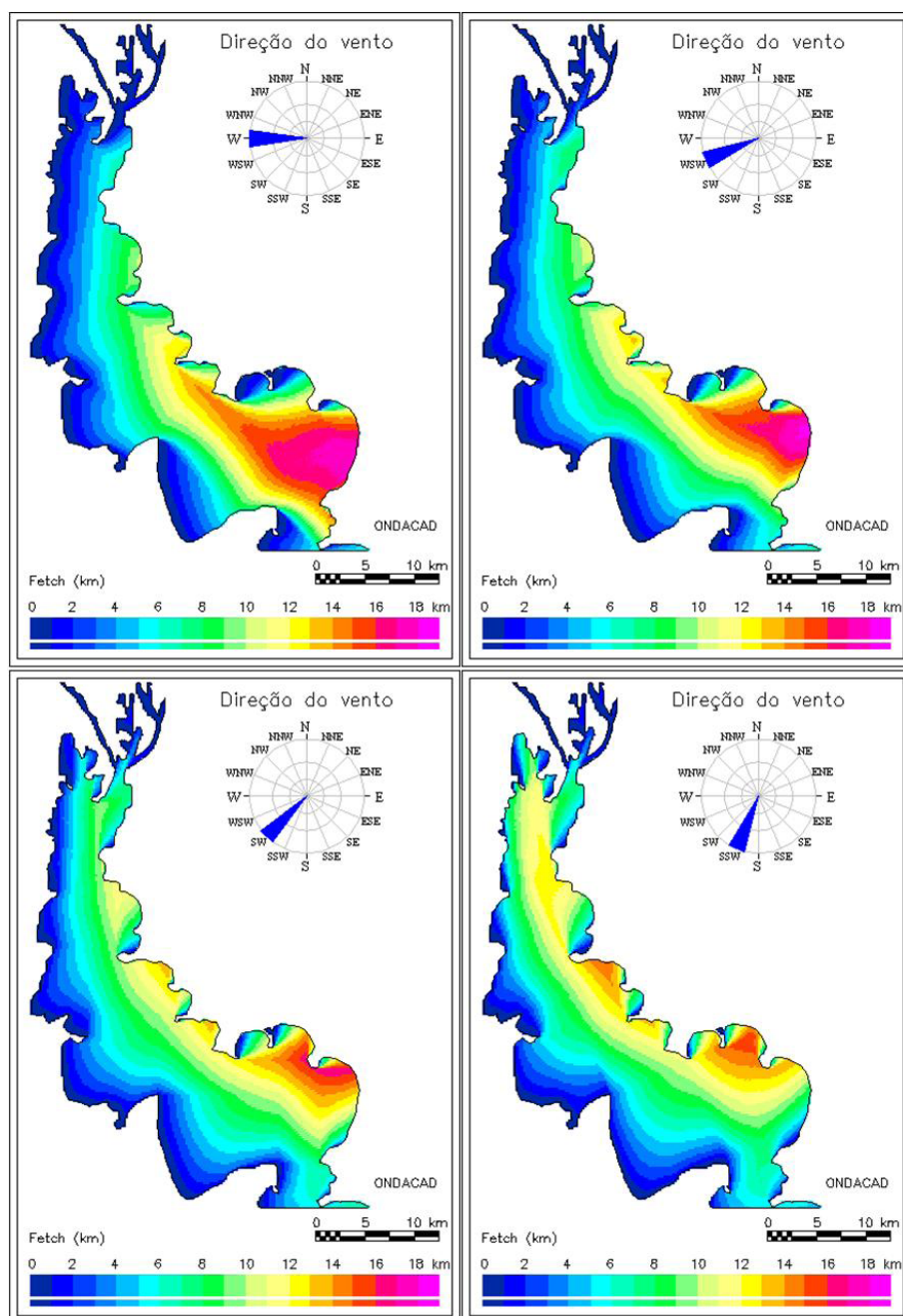


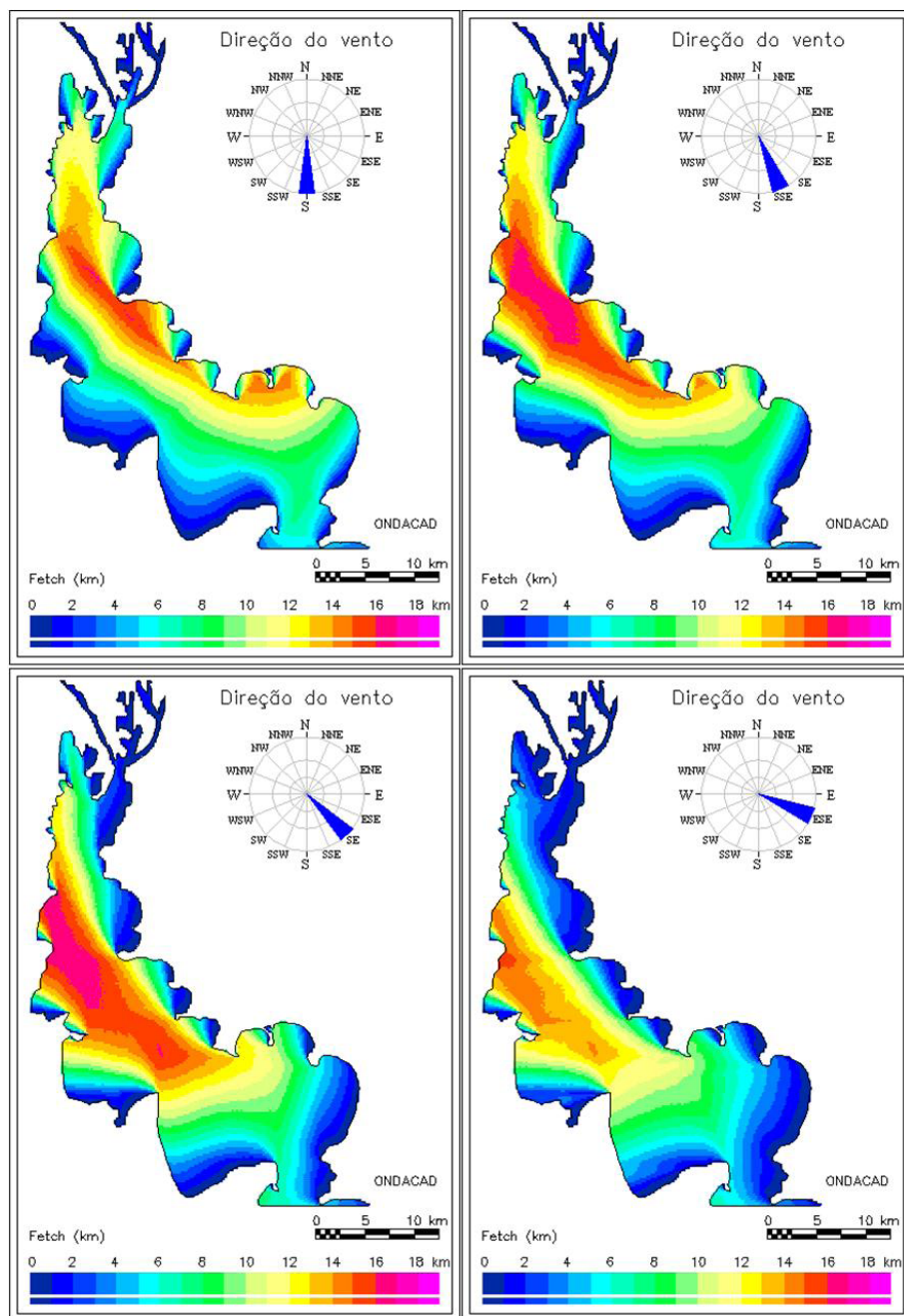


7.1 Fetch

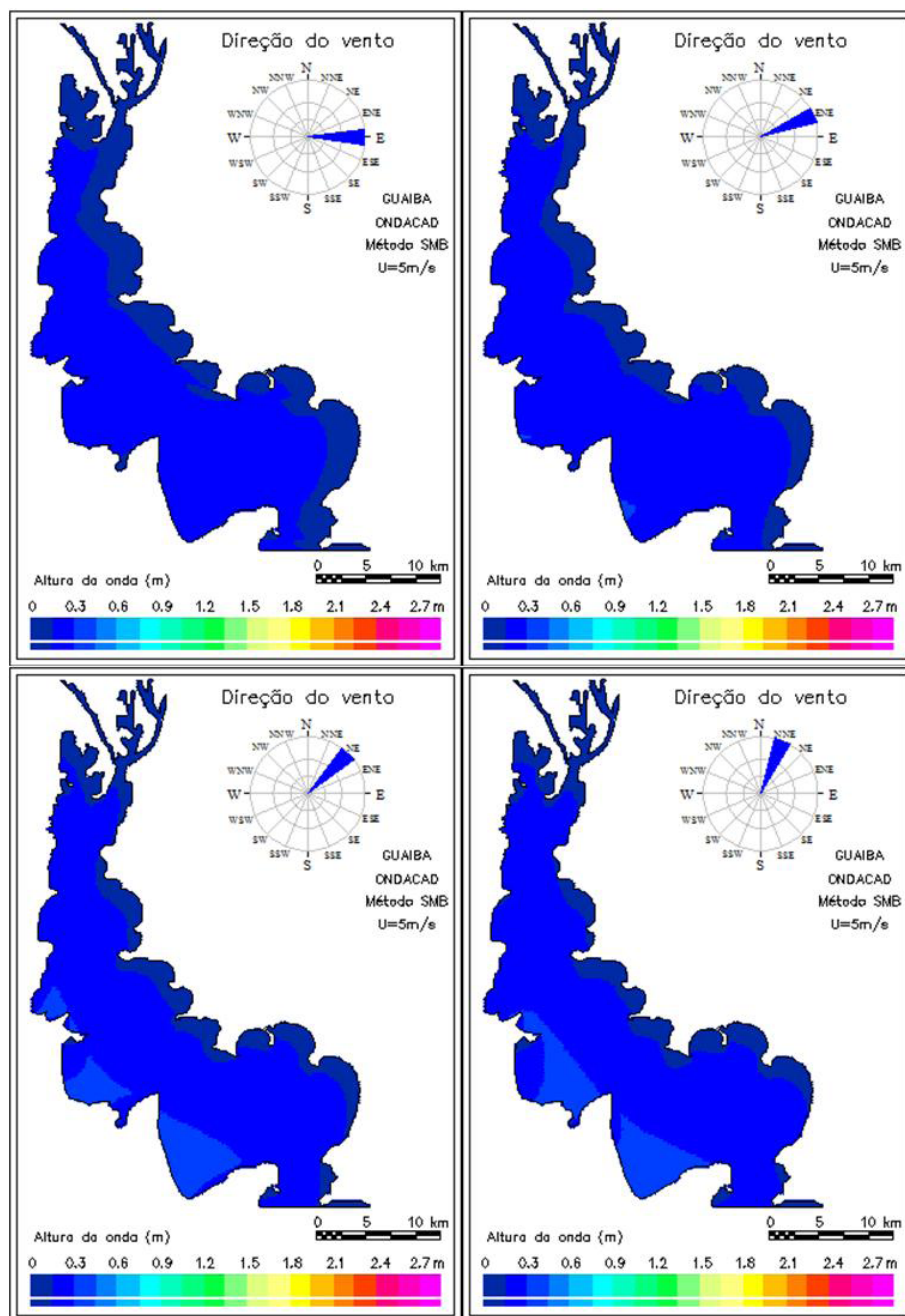


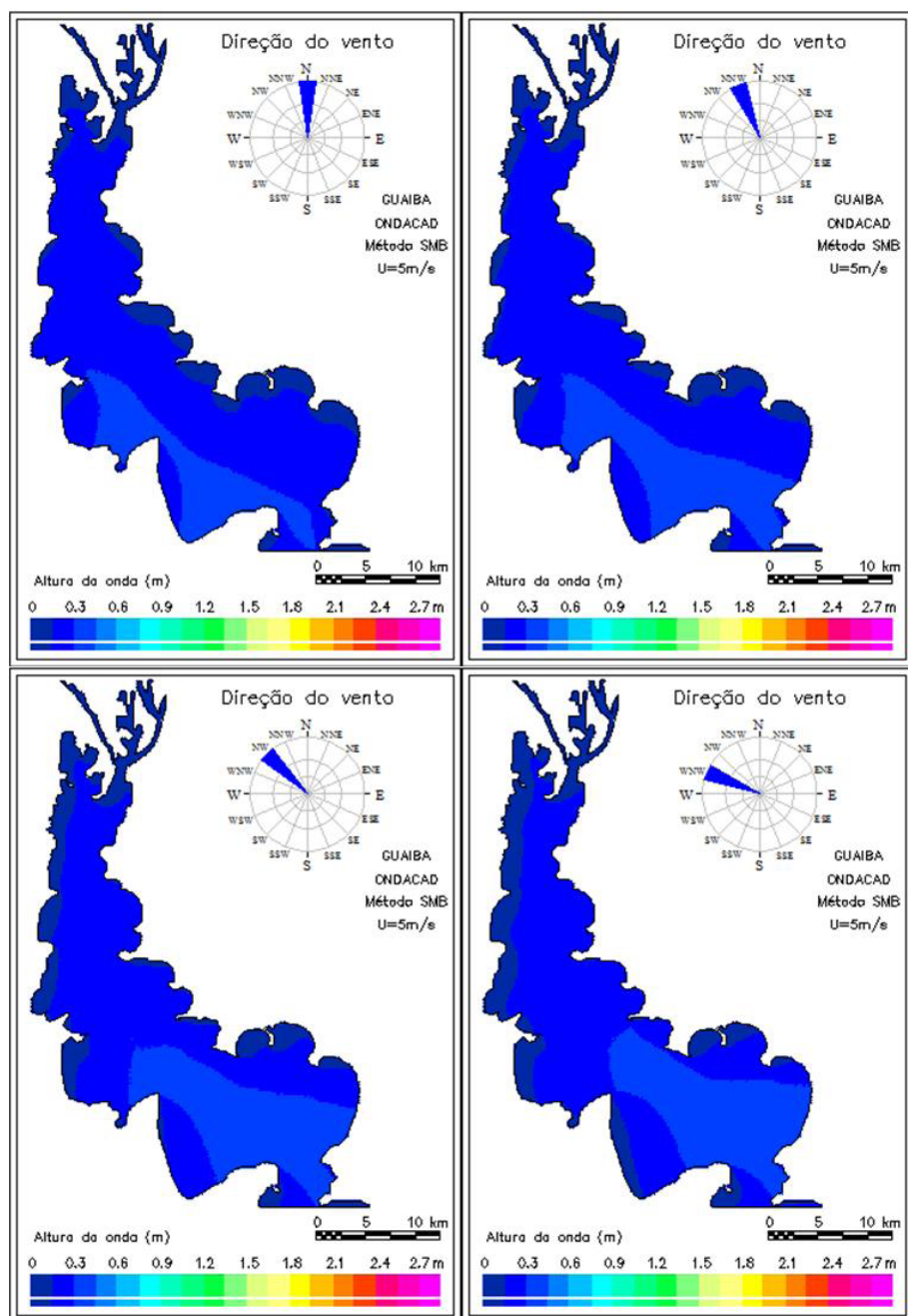


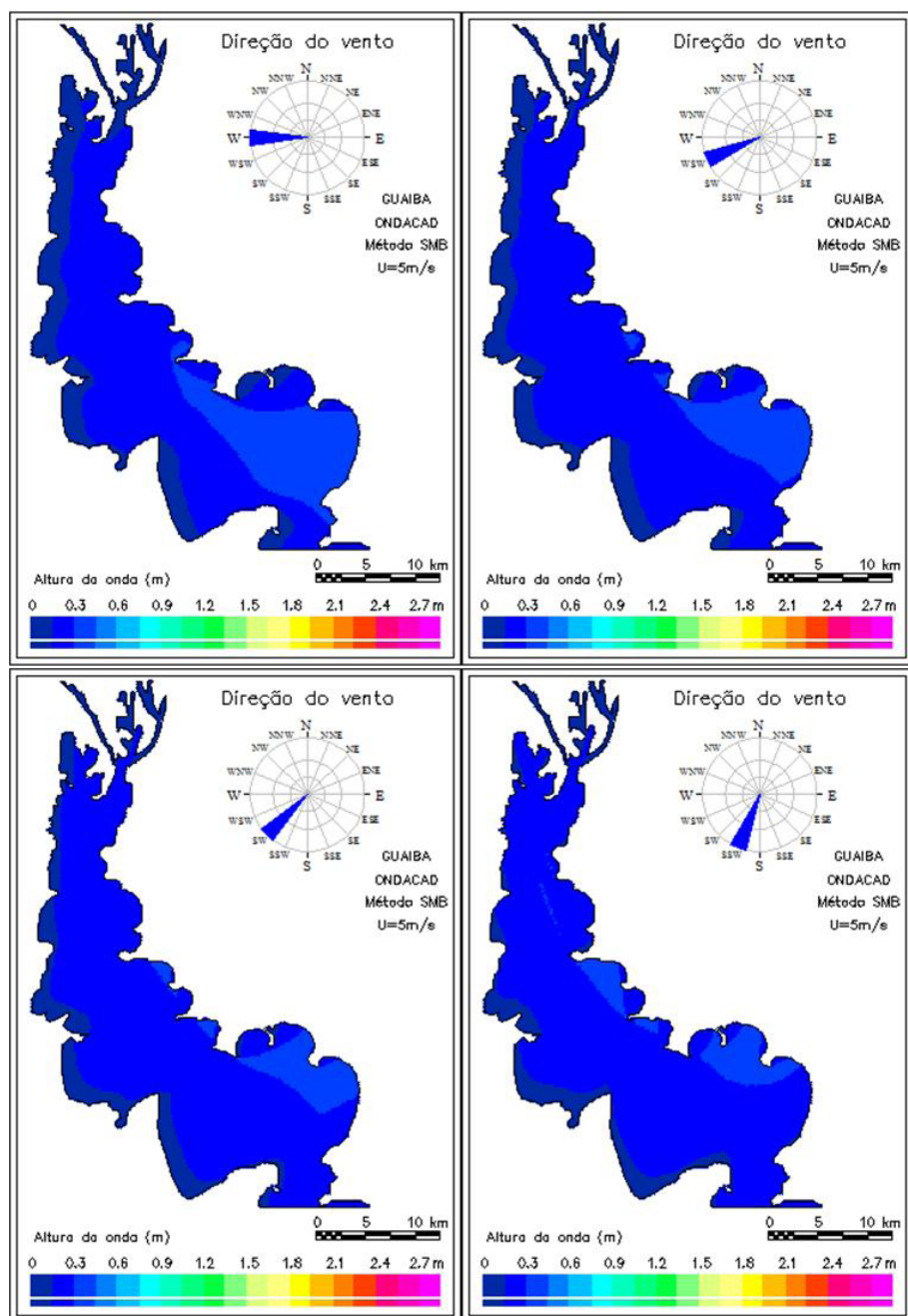


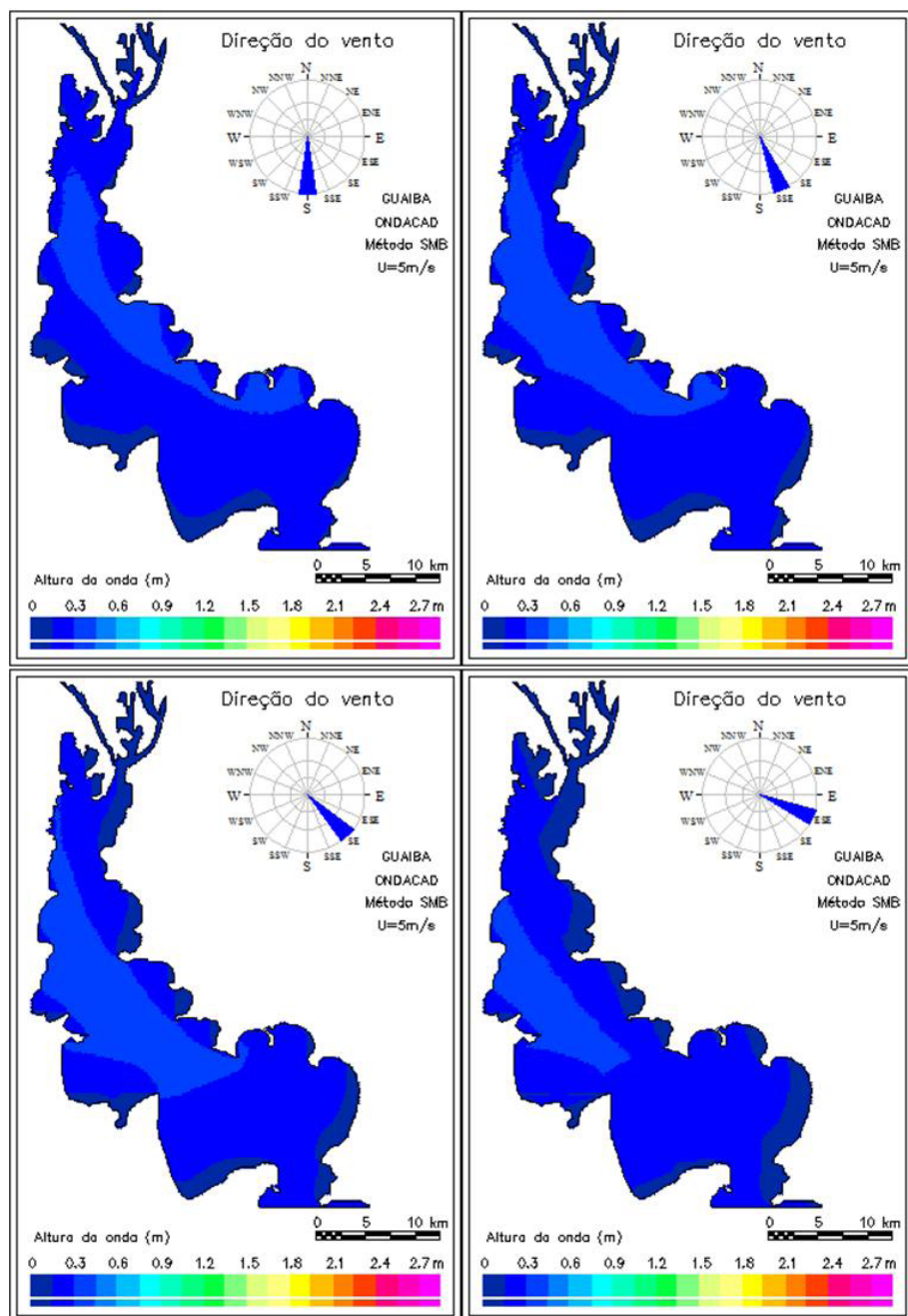


7.2 Altura das ondas

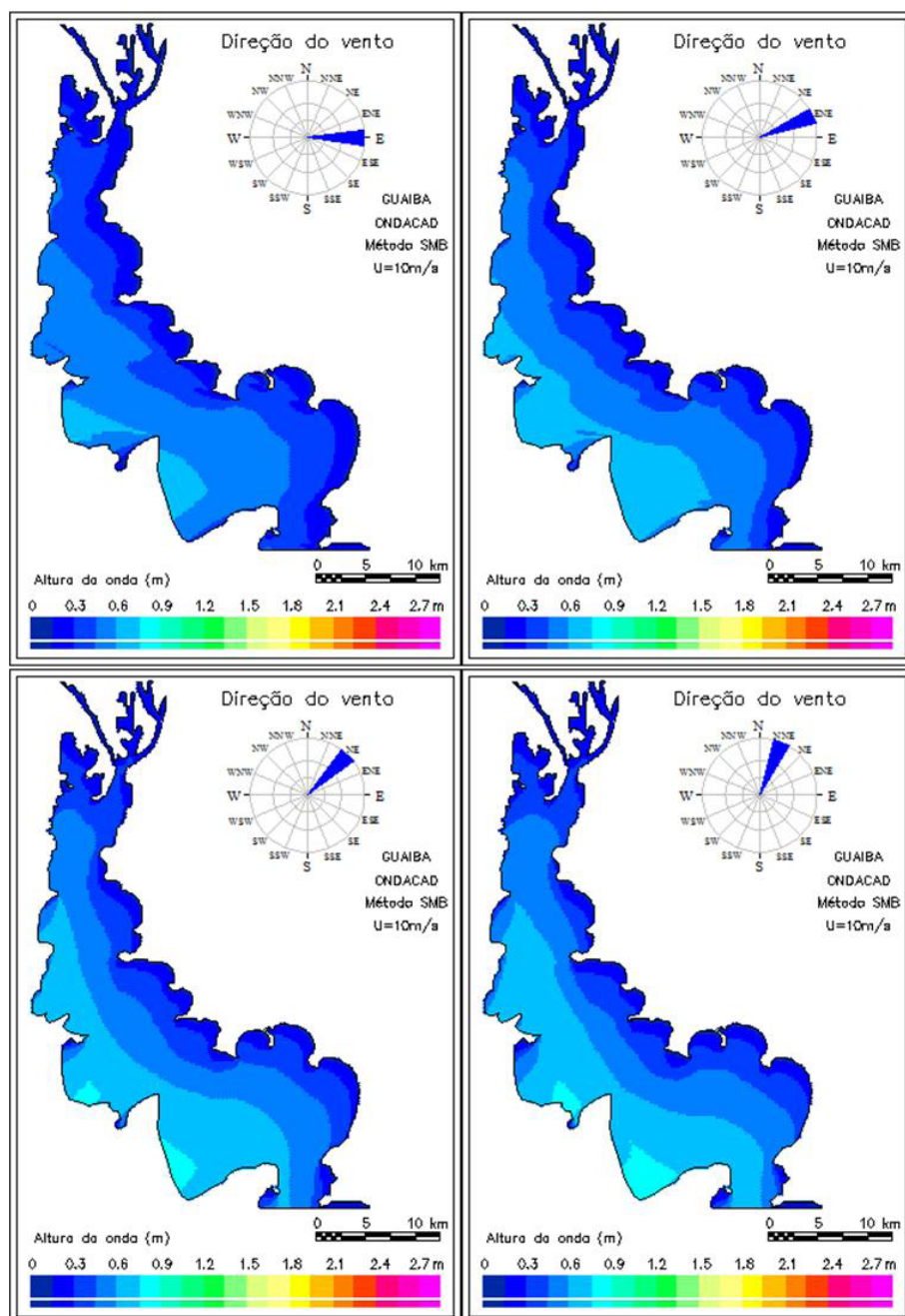
7.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1} 

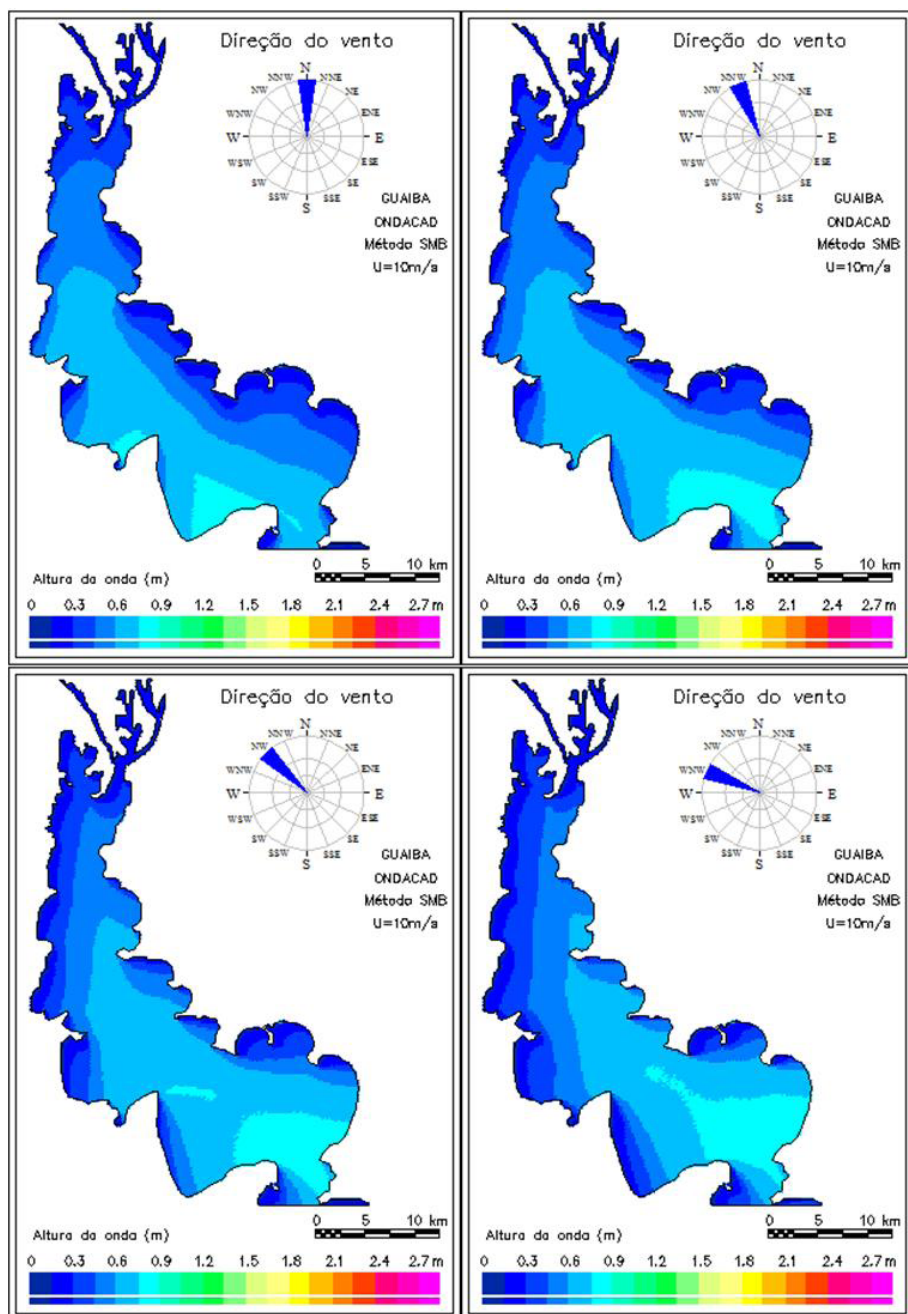


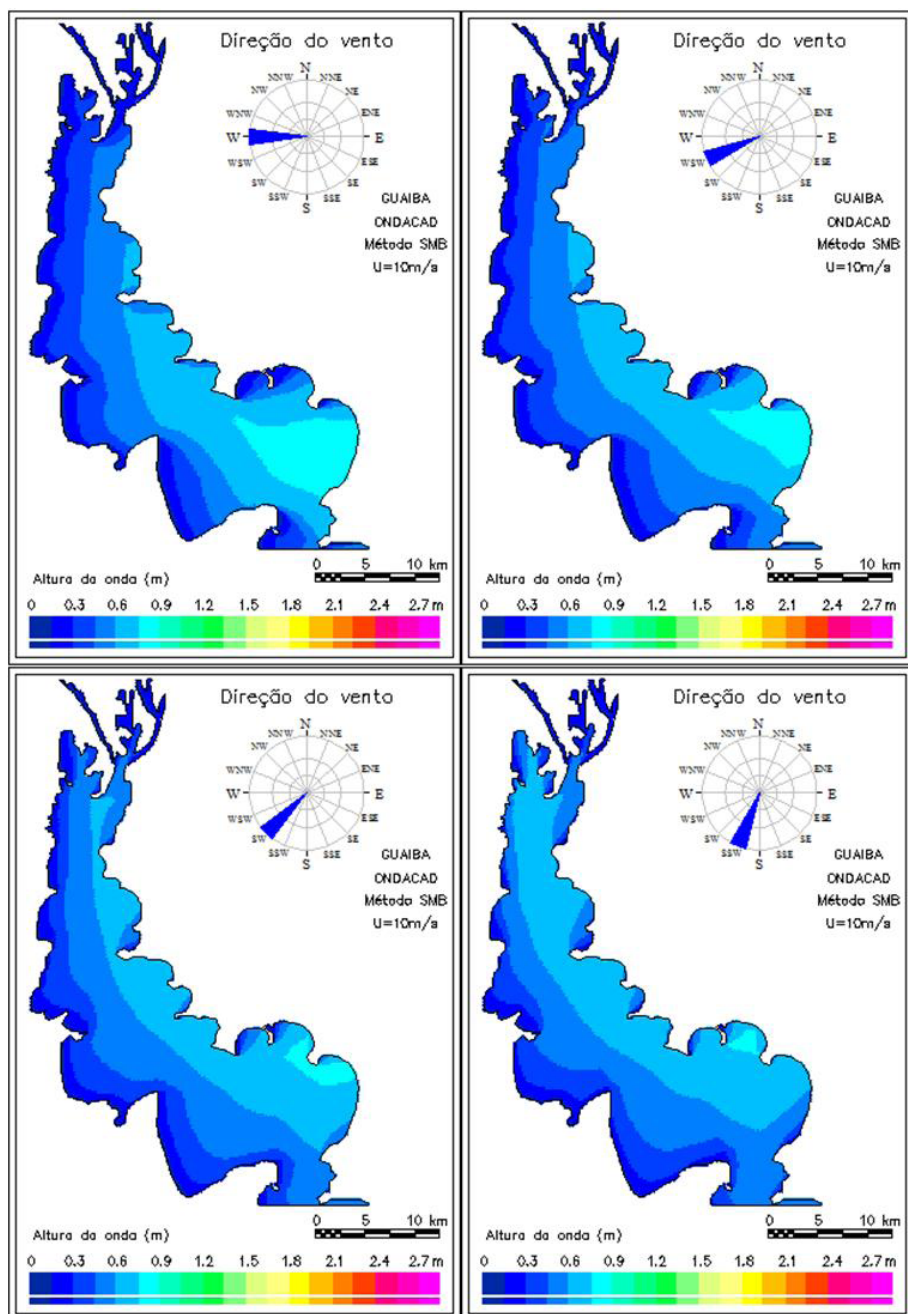


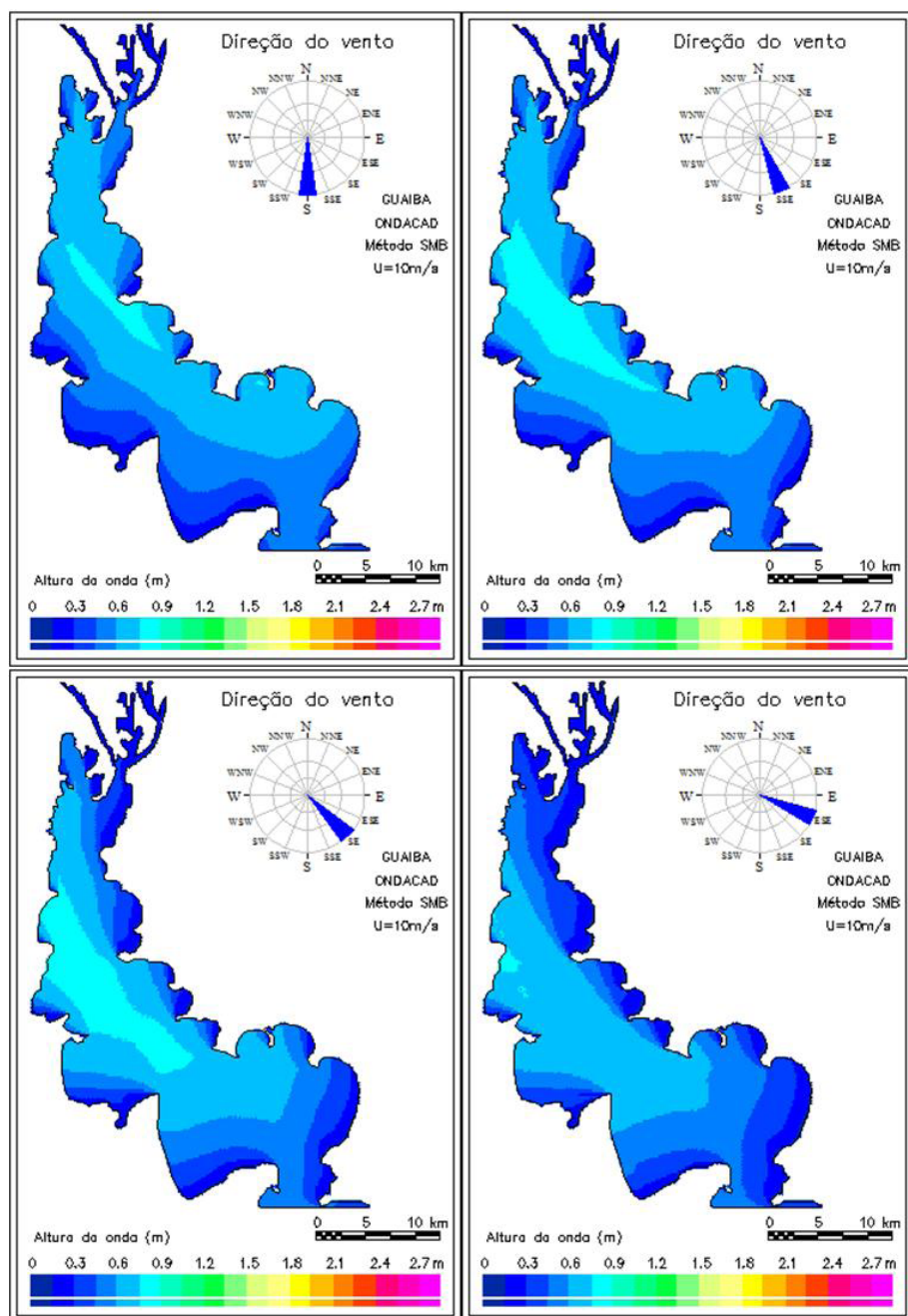


7.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}

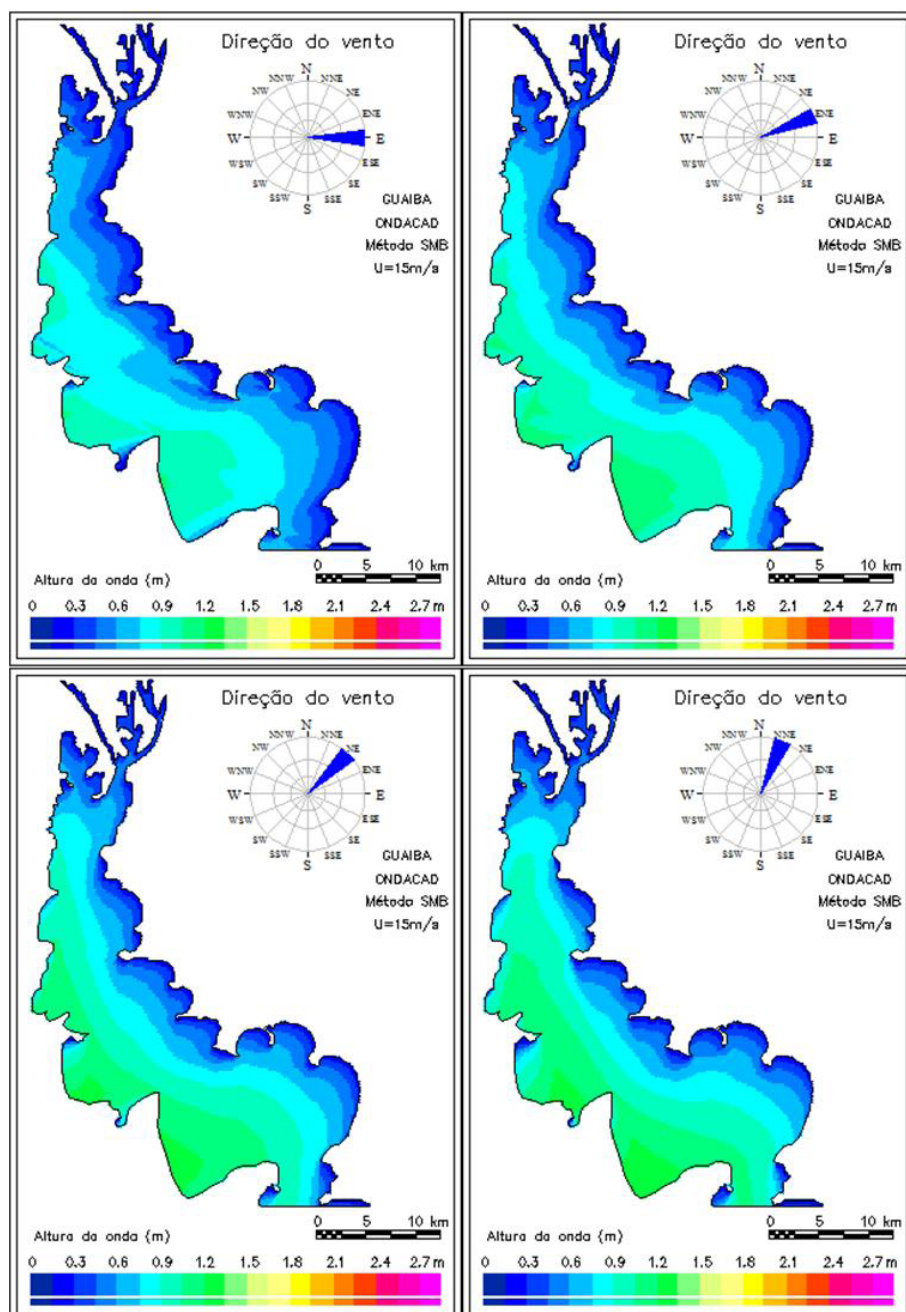


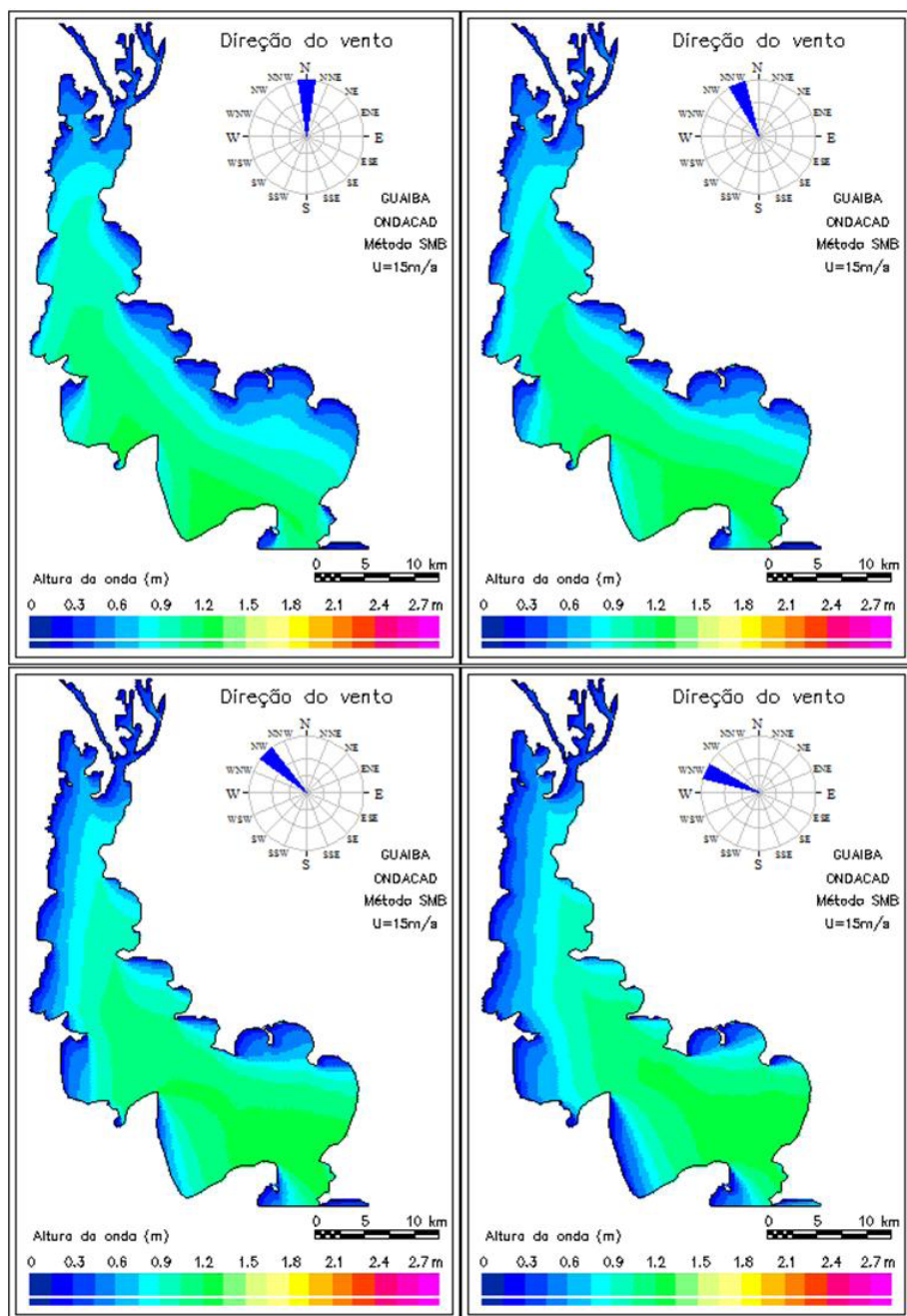


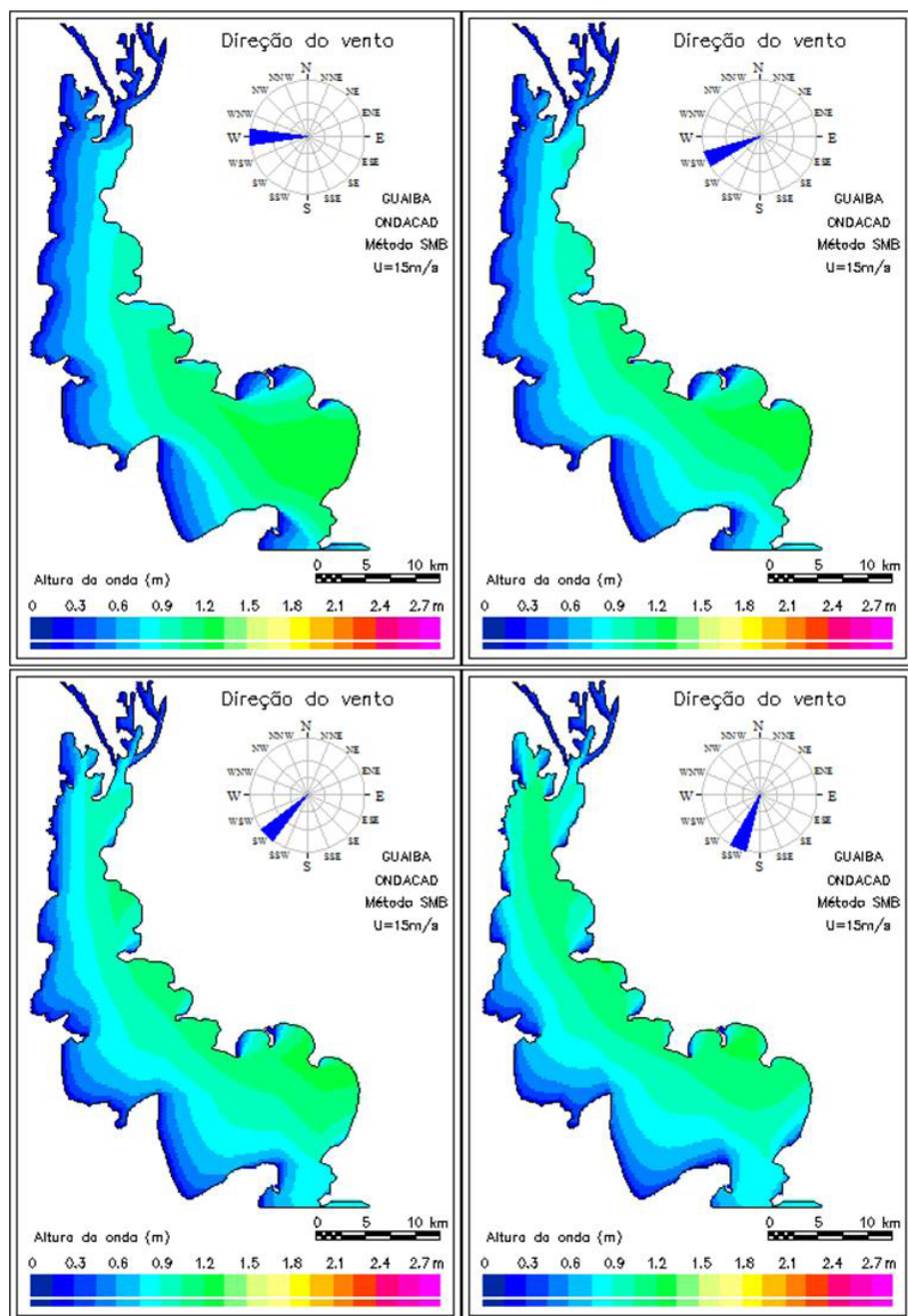


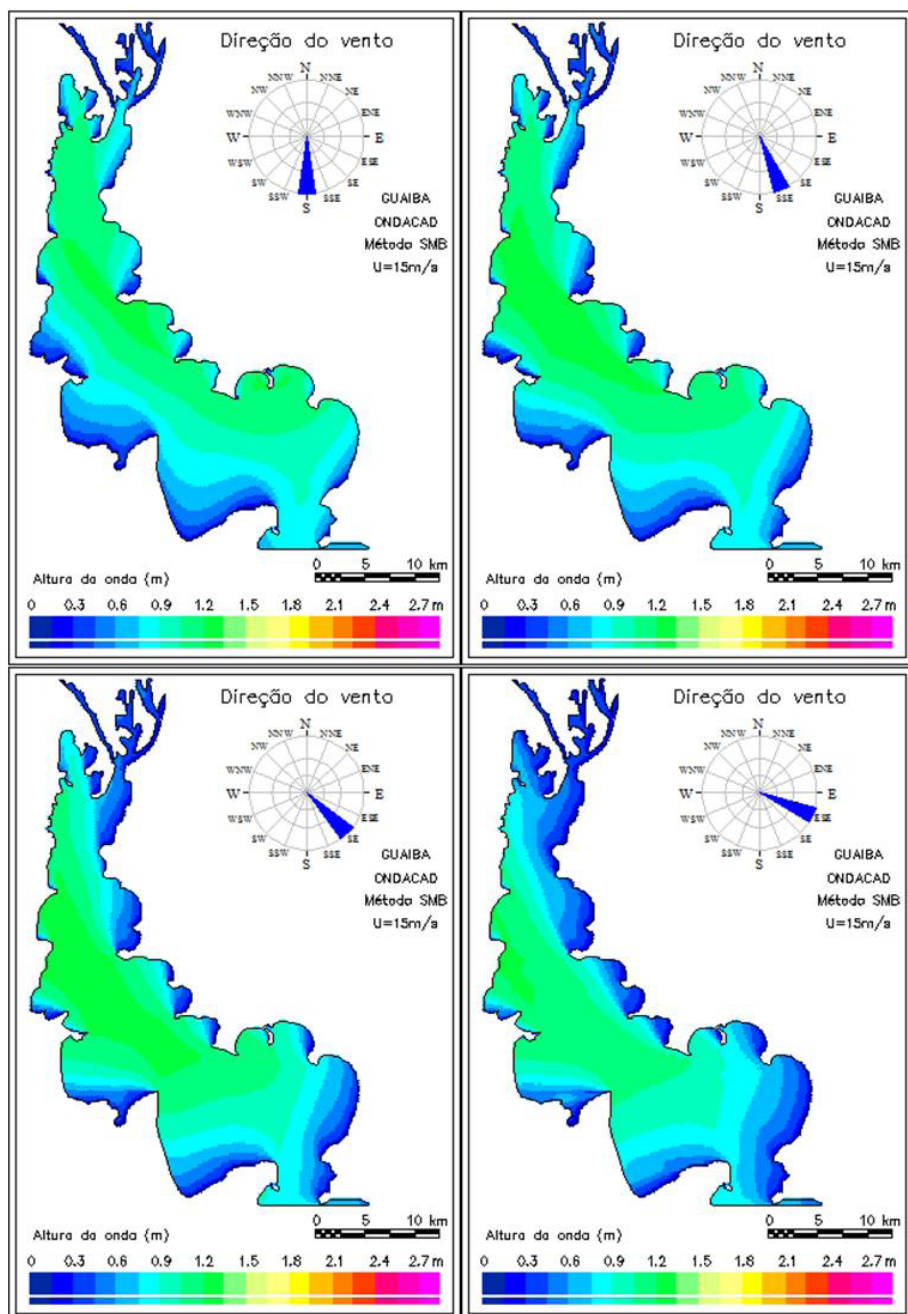


7.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}

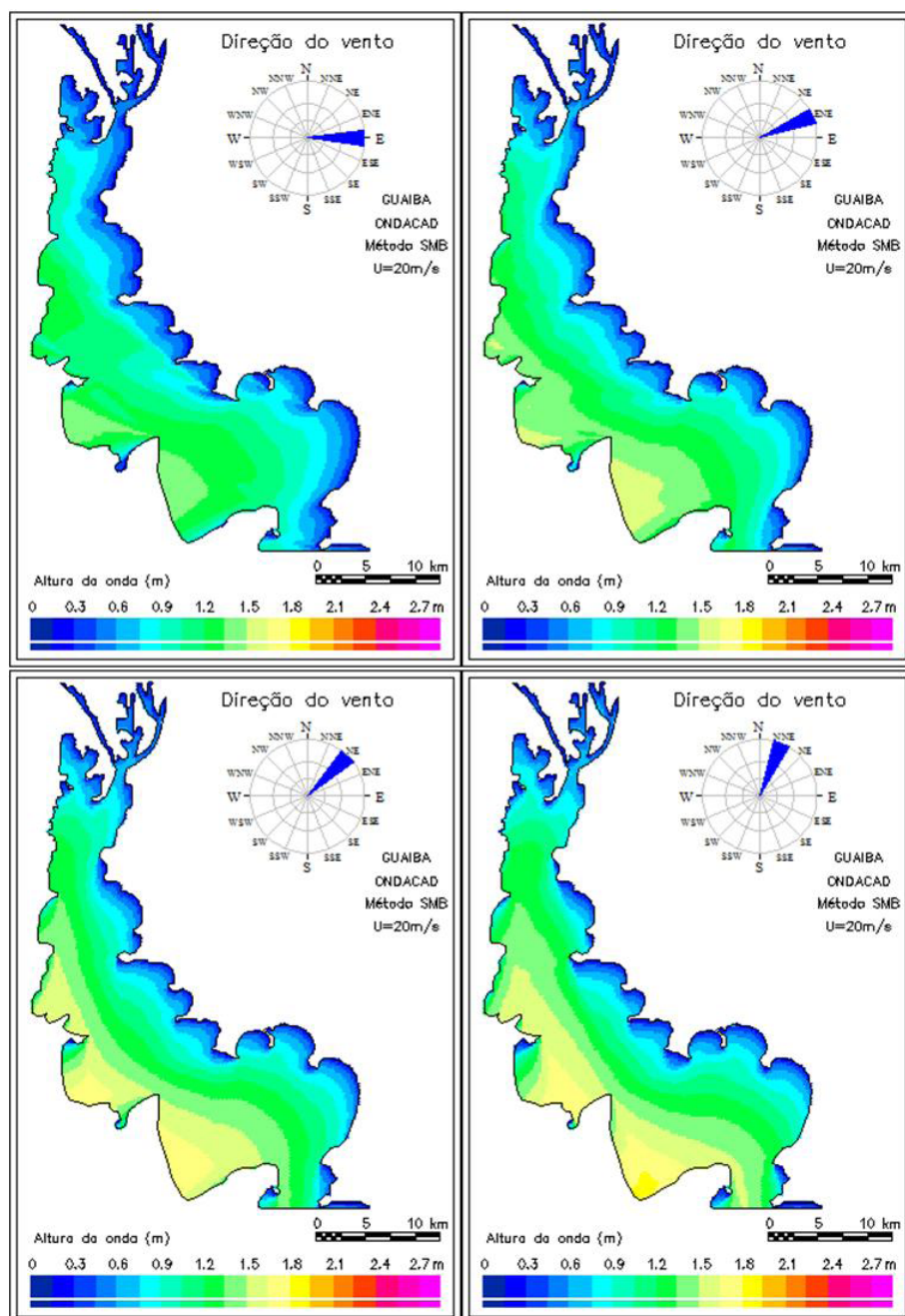


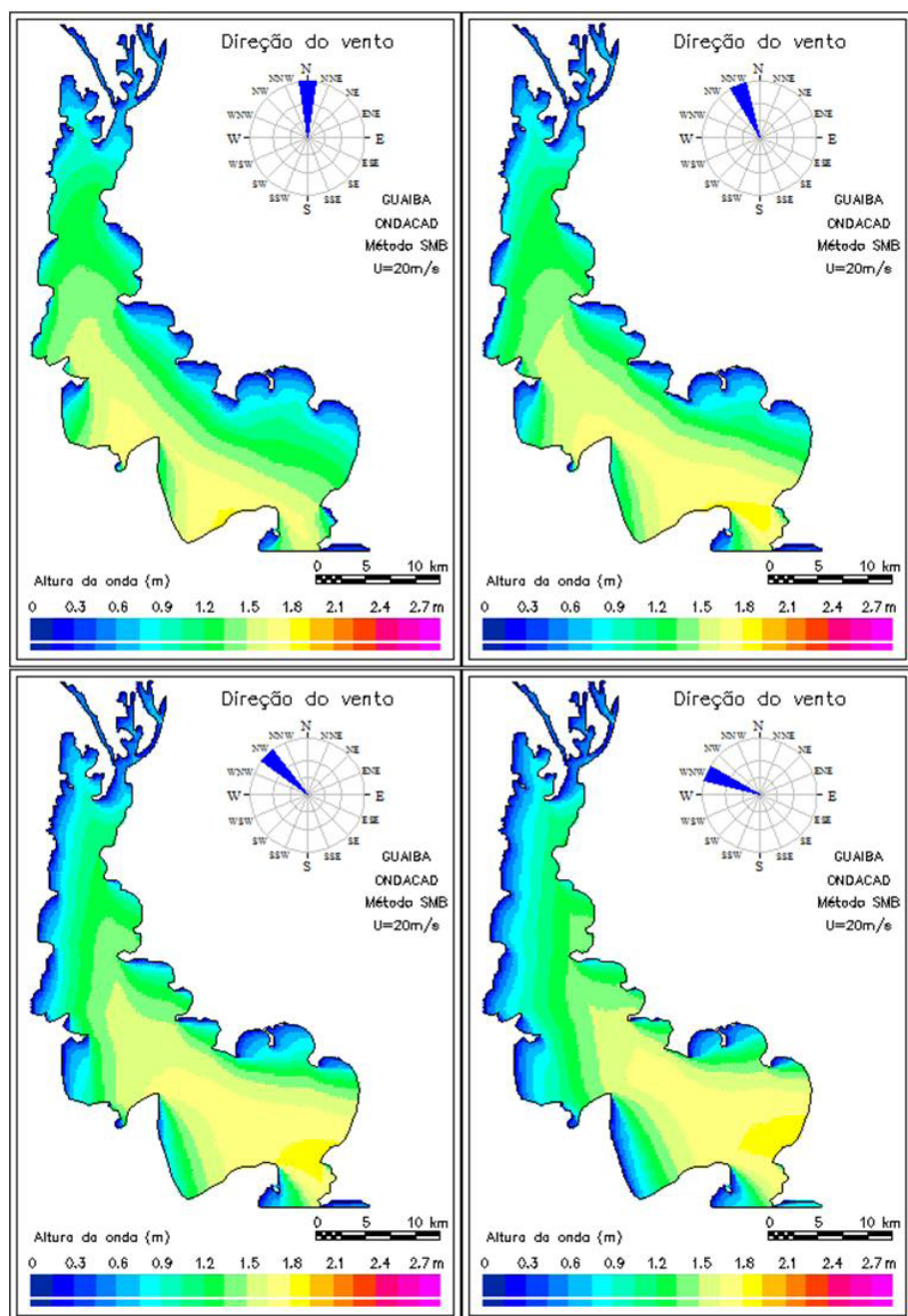


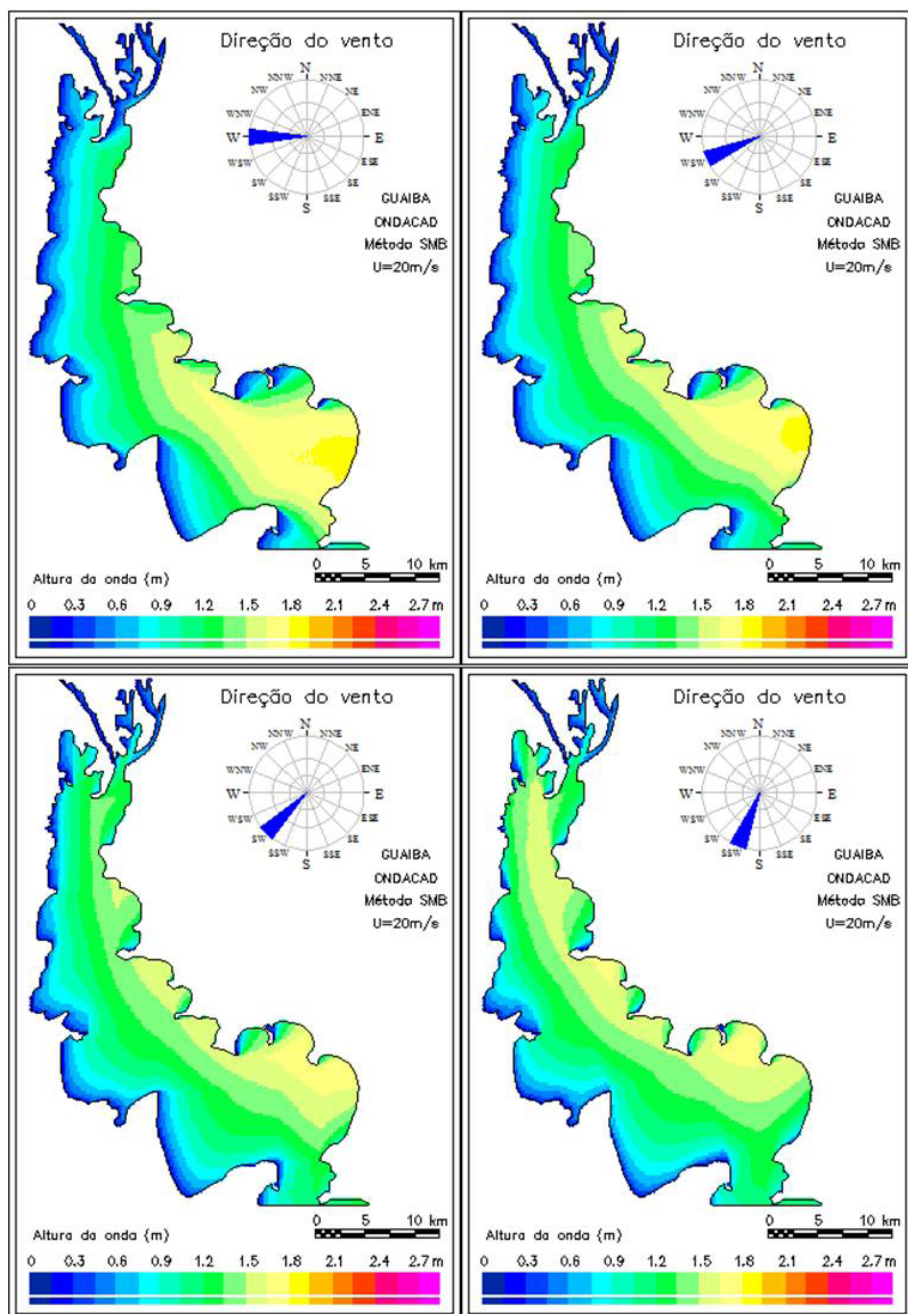


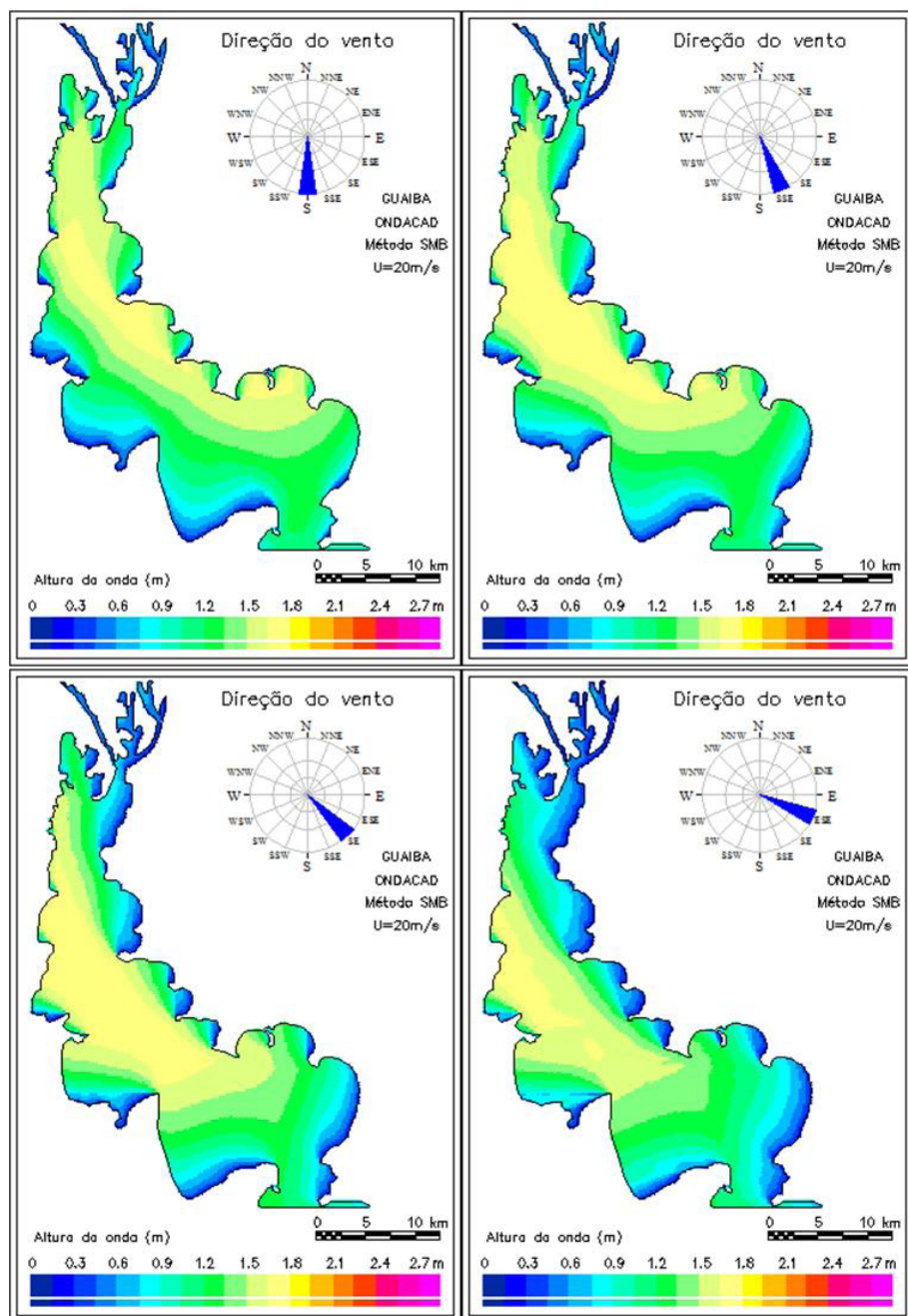


7.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms^{-1}





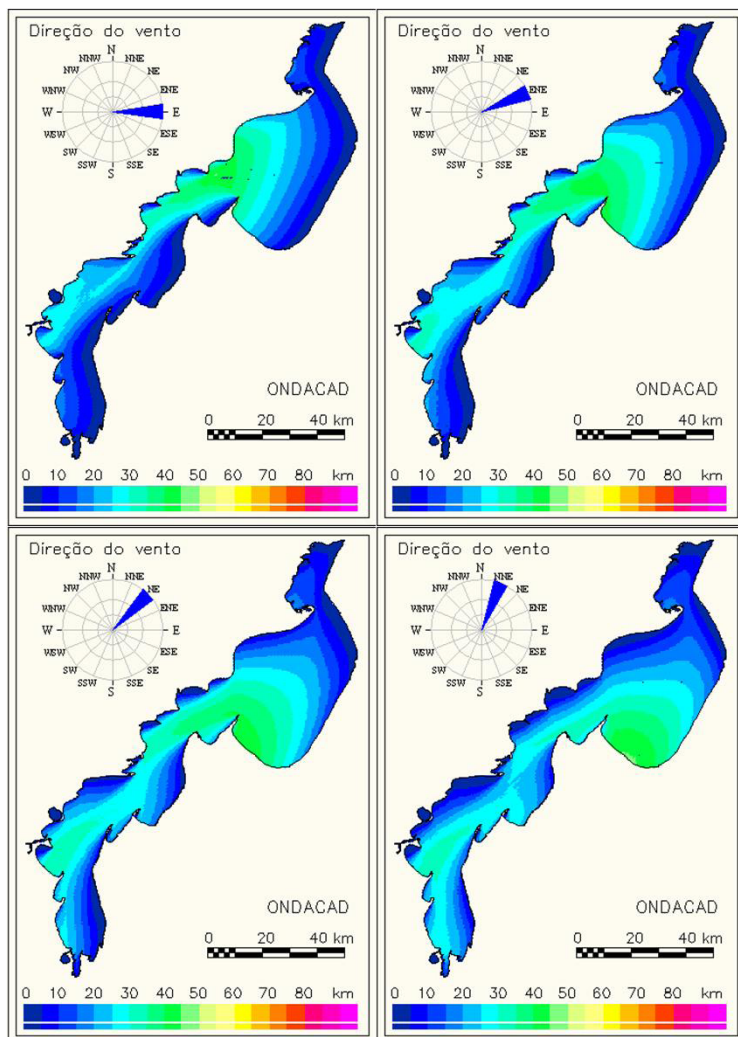


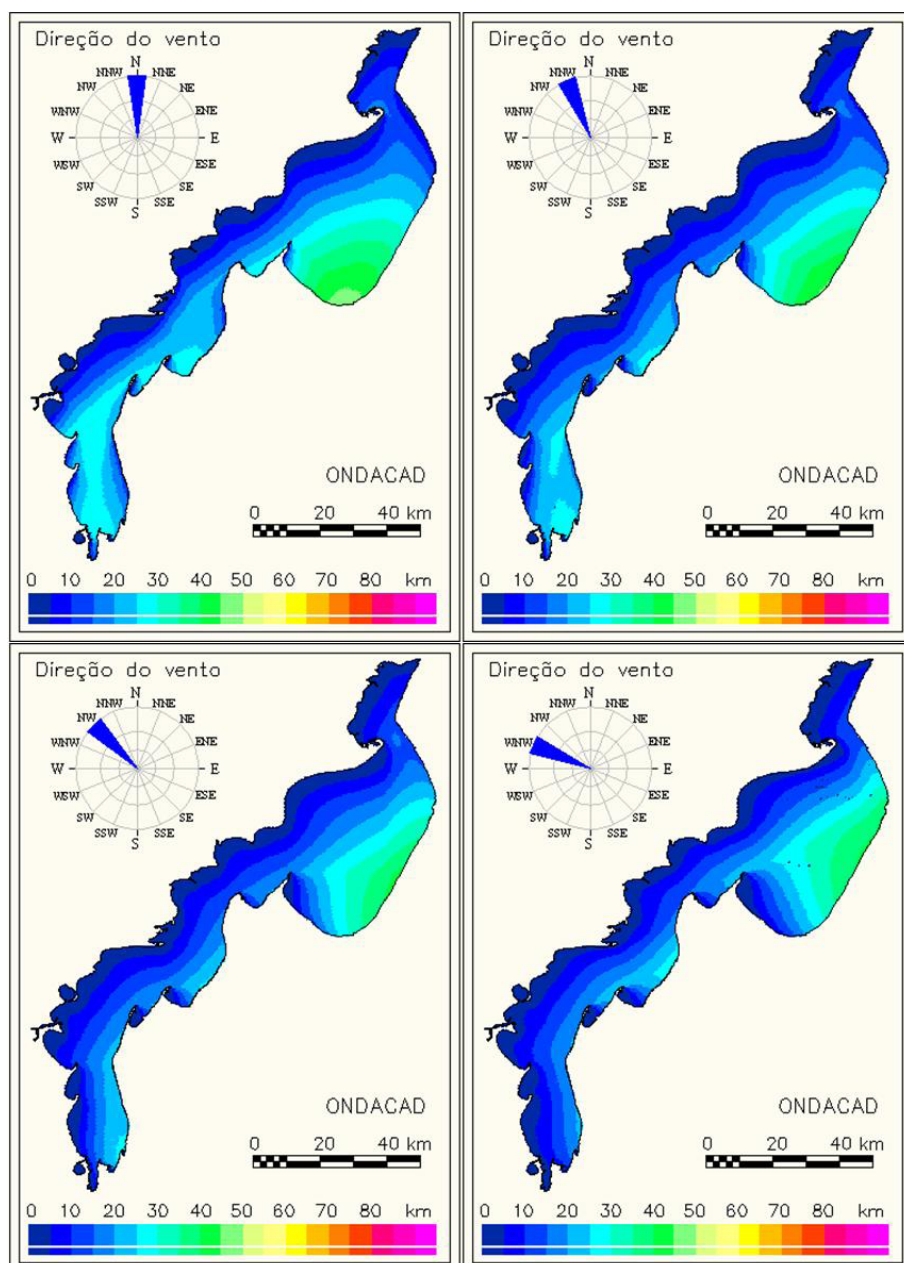


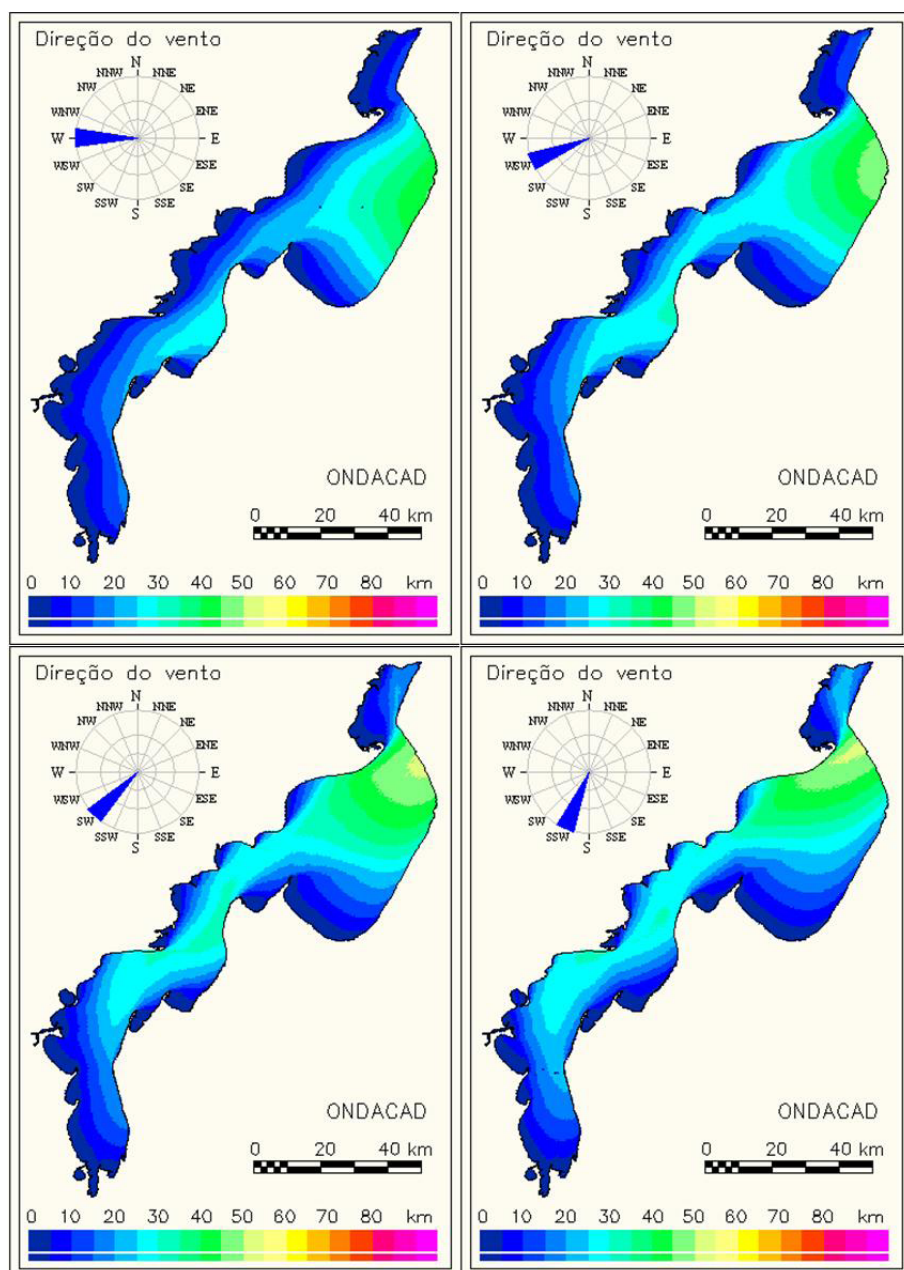
CAPÍTULO 8

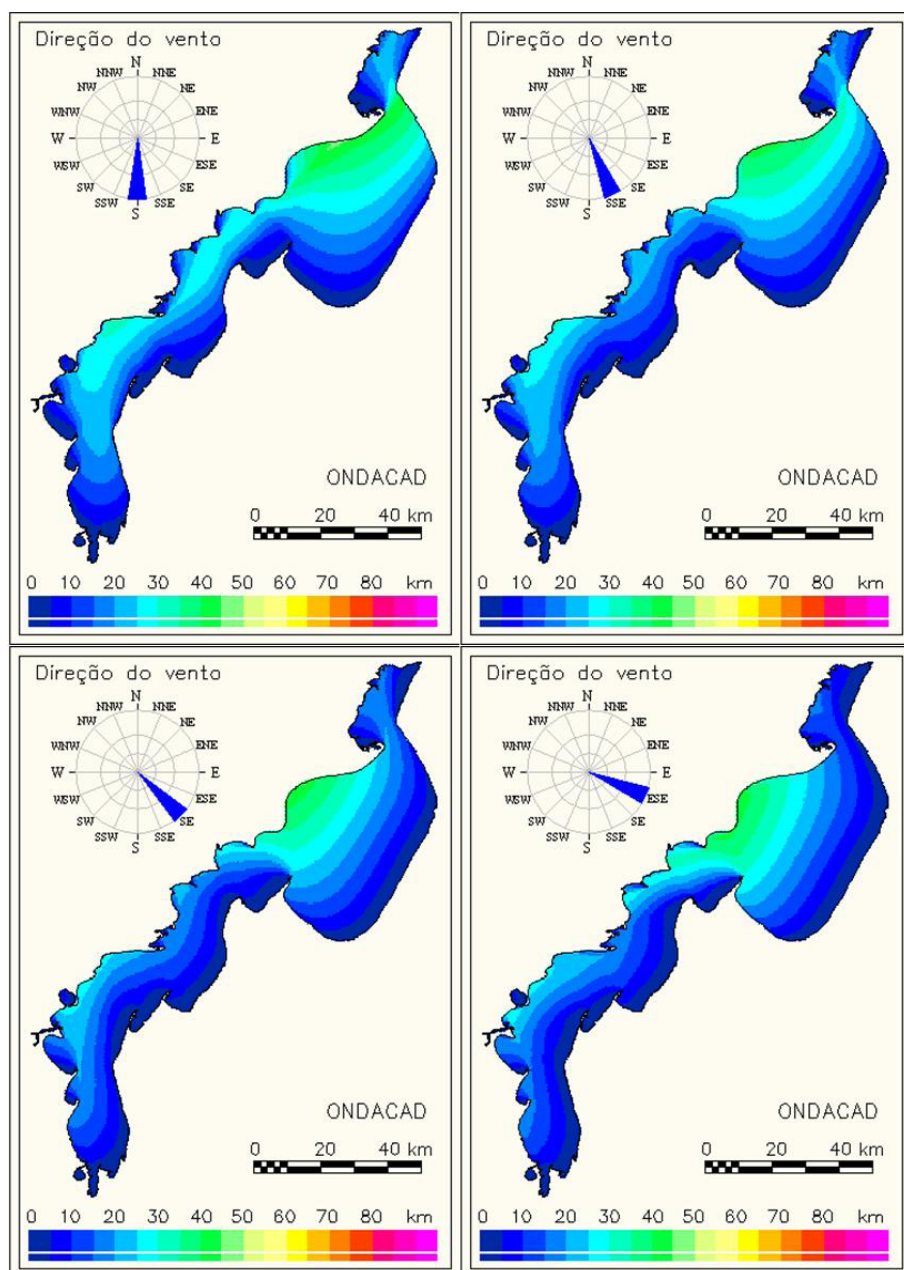
LAGOA MIRIM

8.1 Fetch



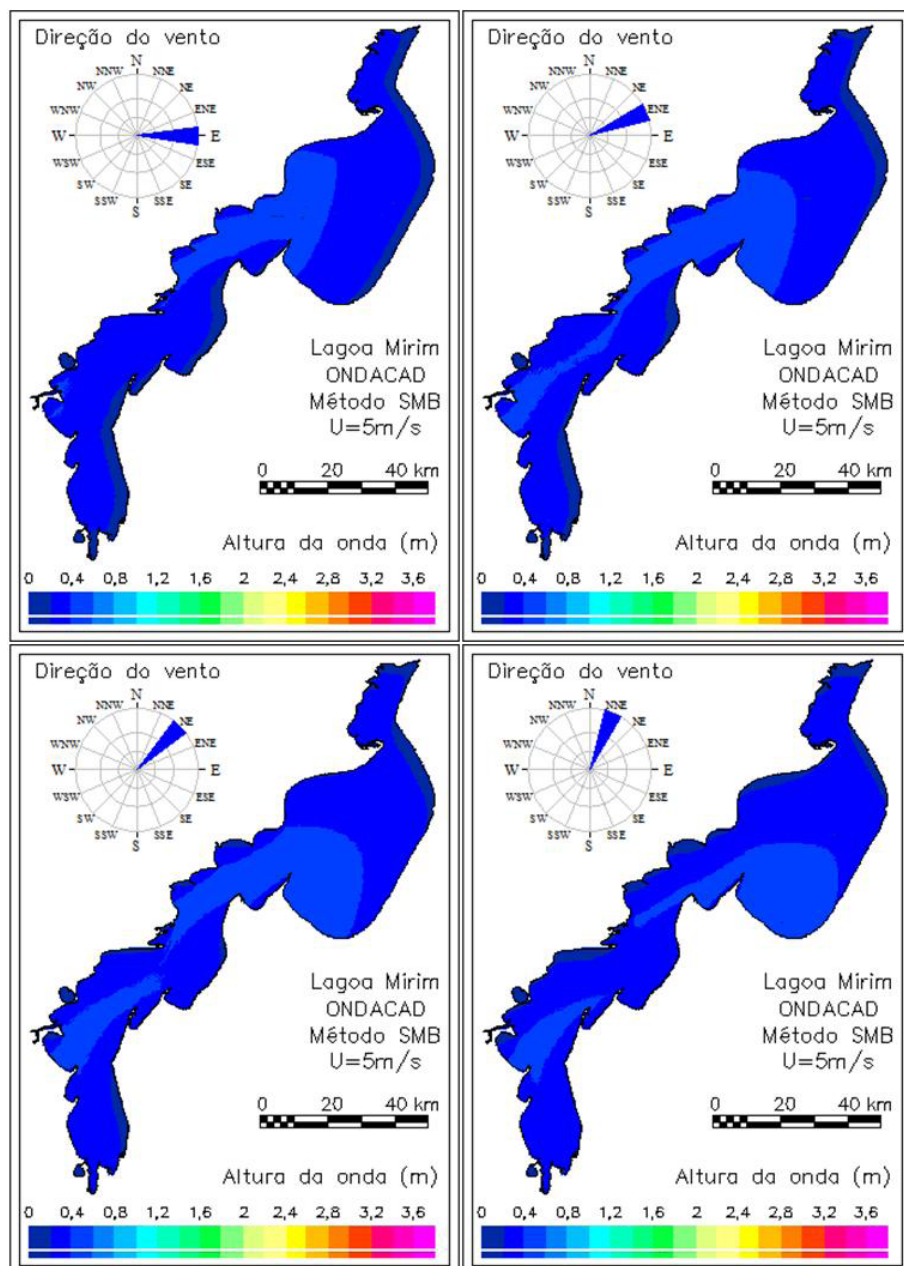


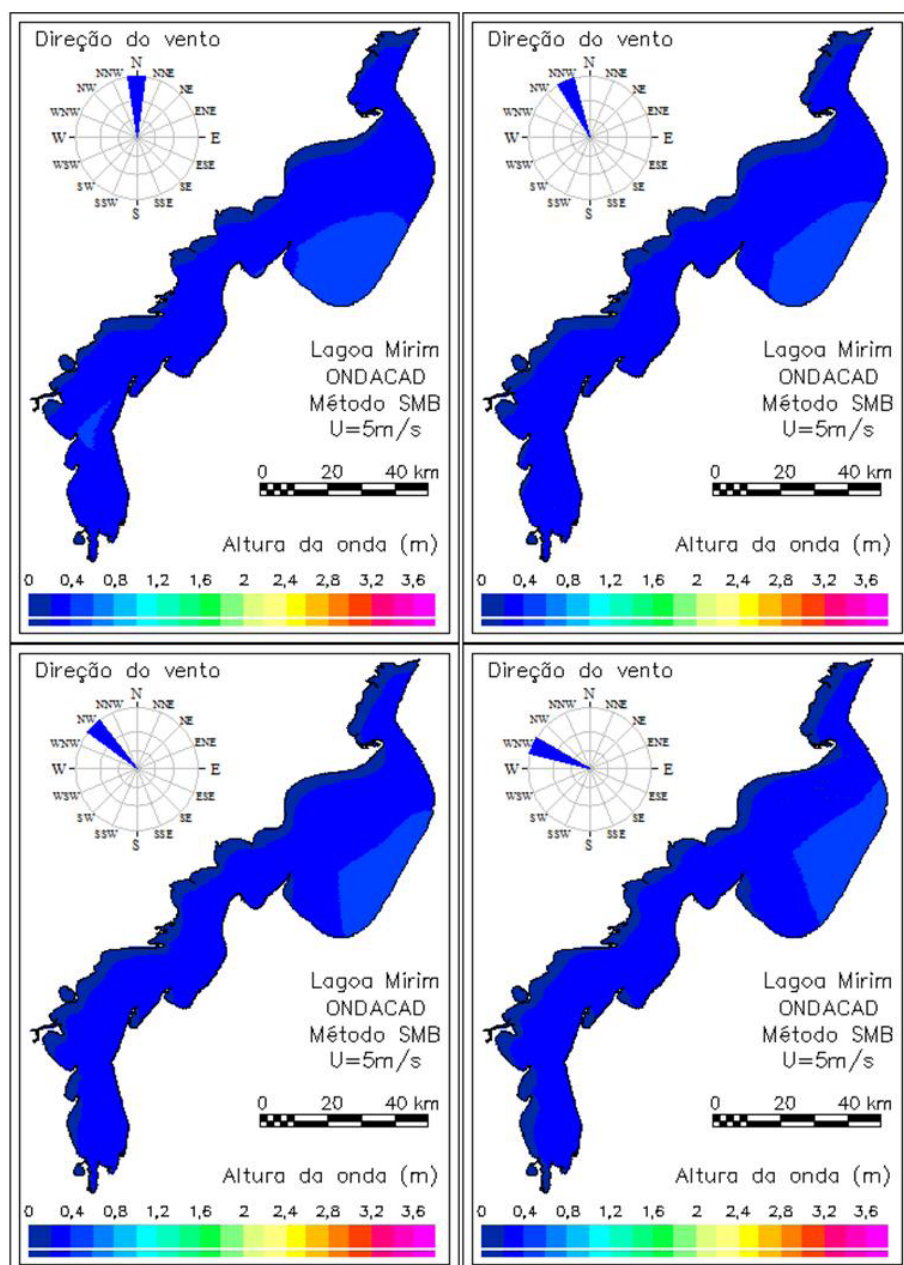


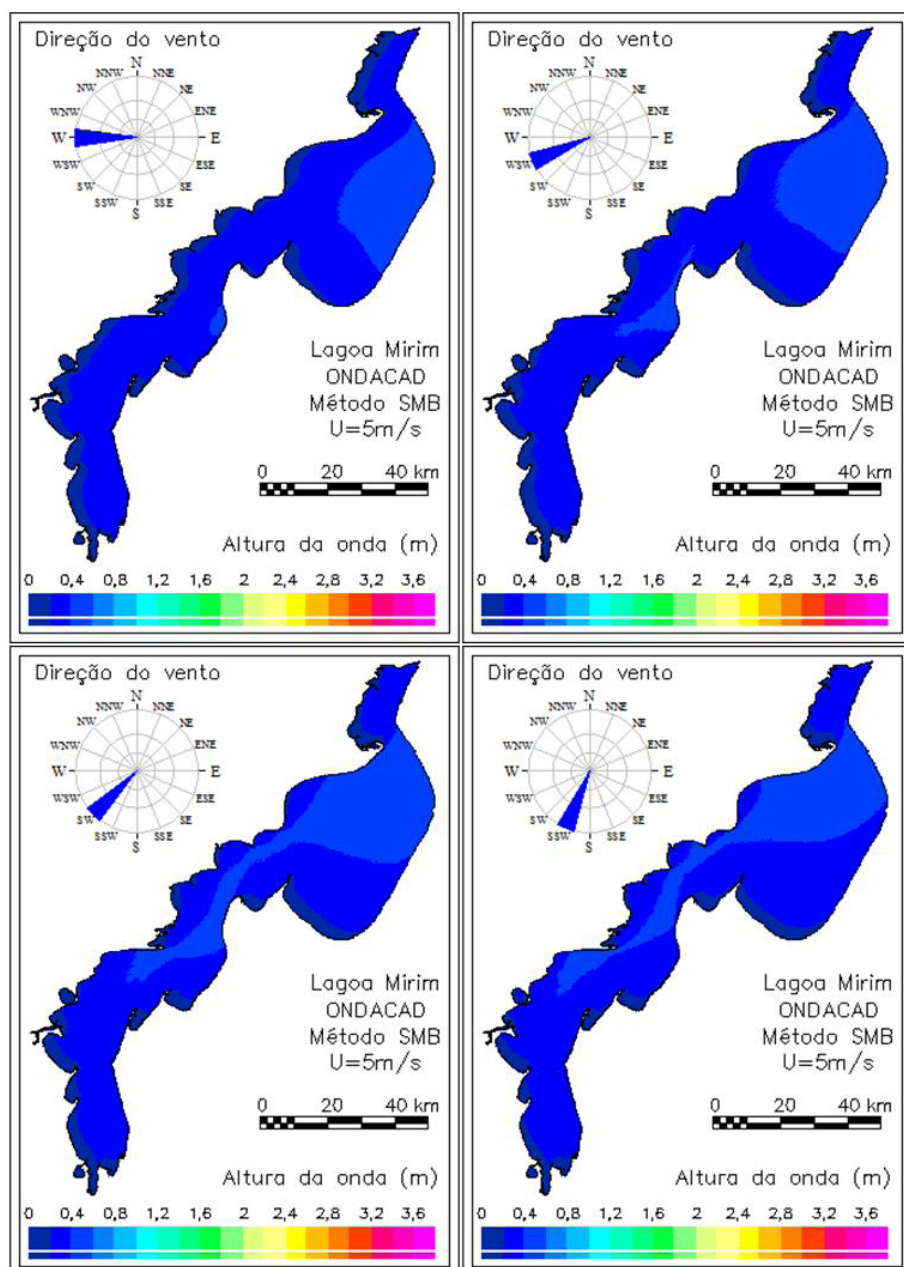


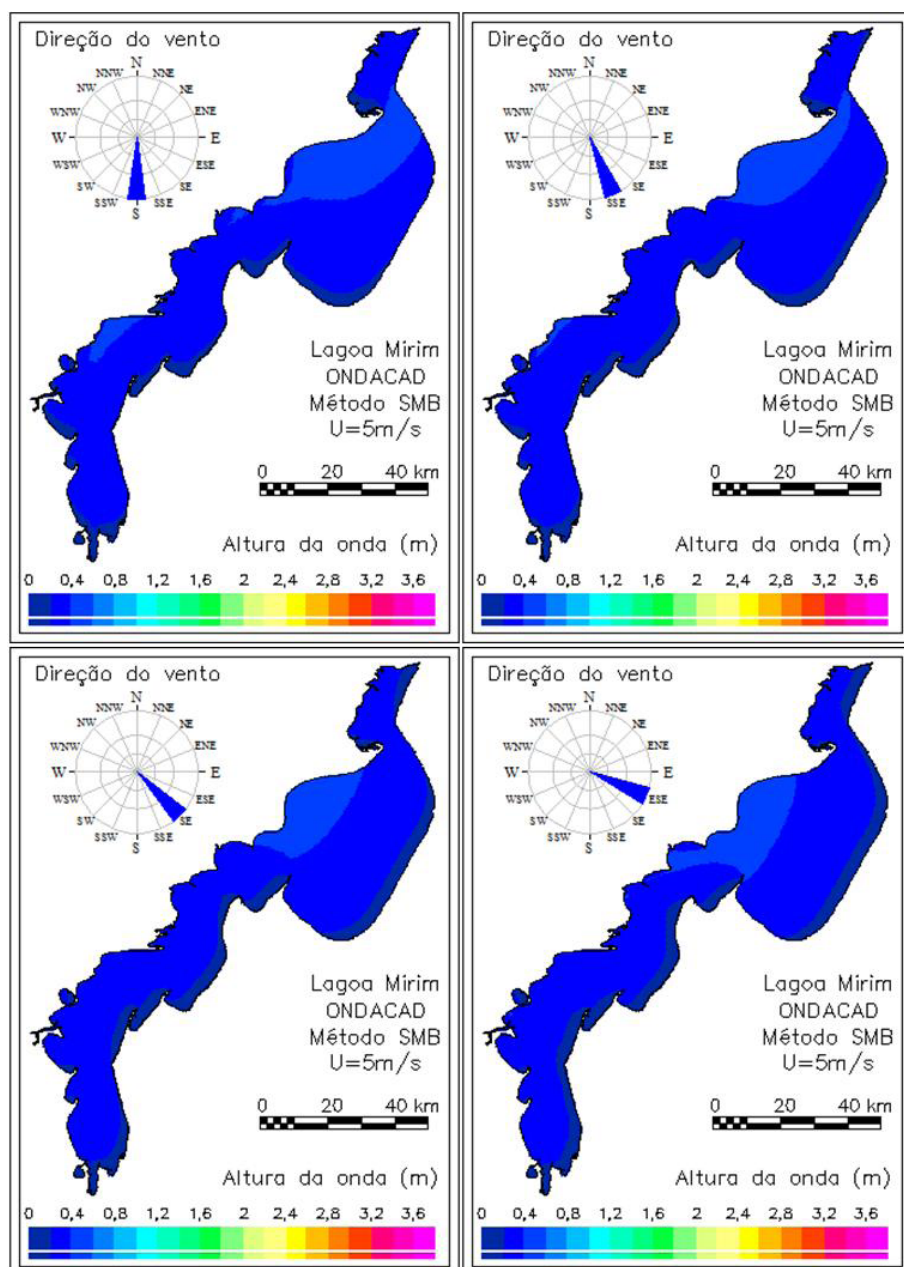
8.2 Altura das ondas

8.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1}

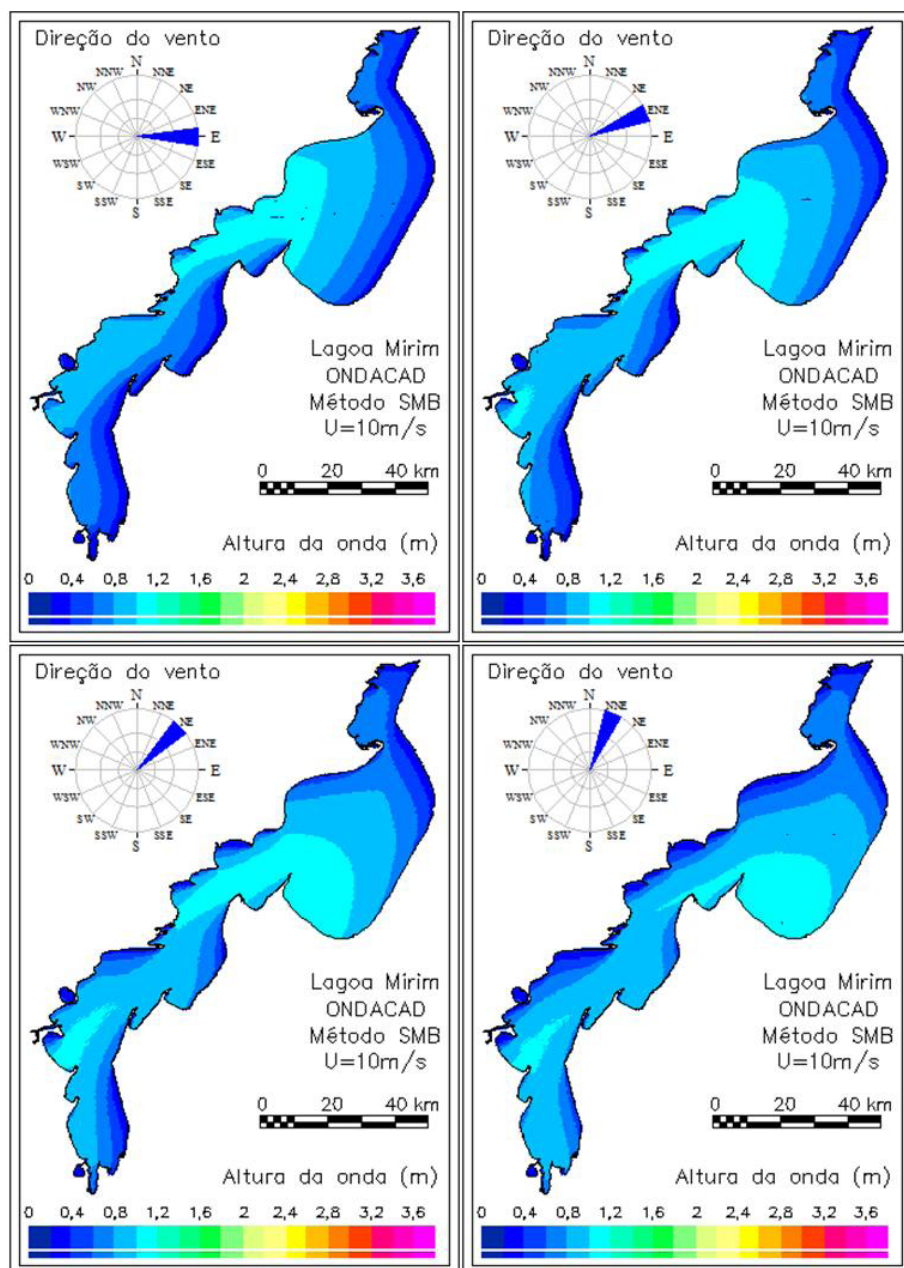


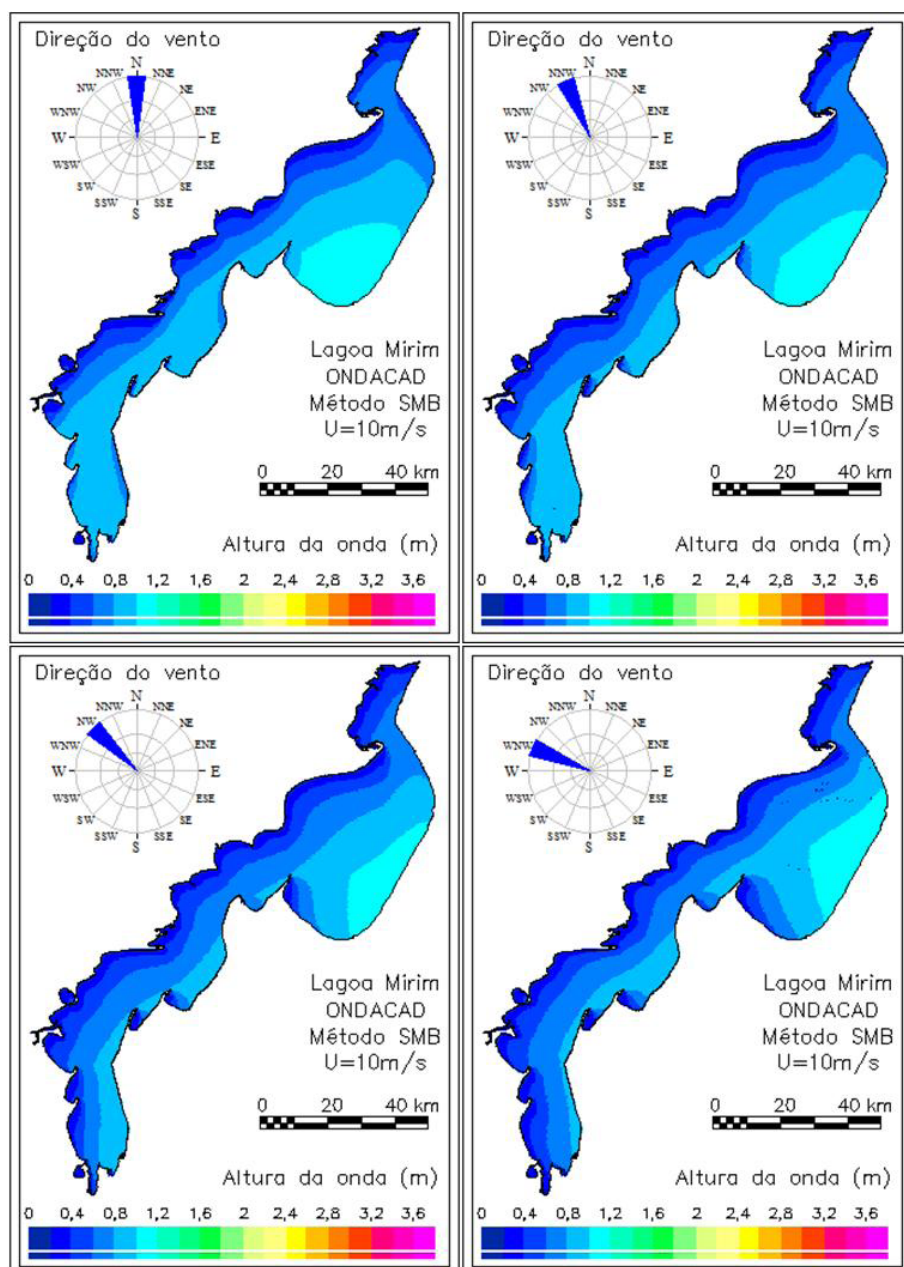


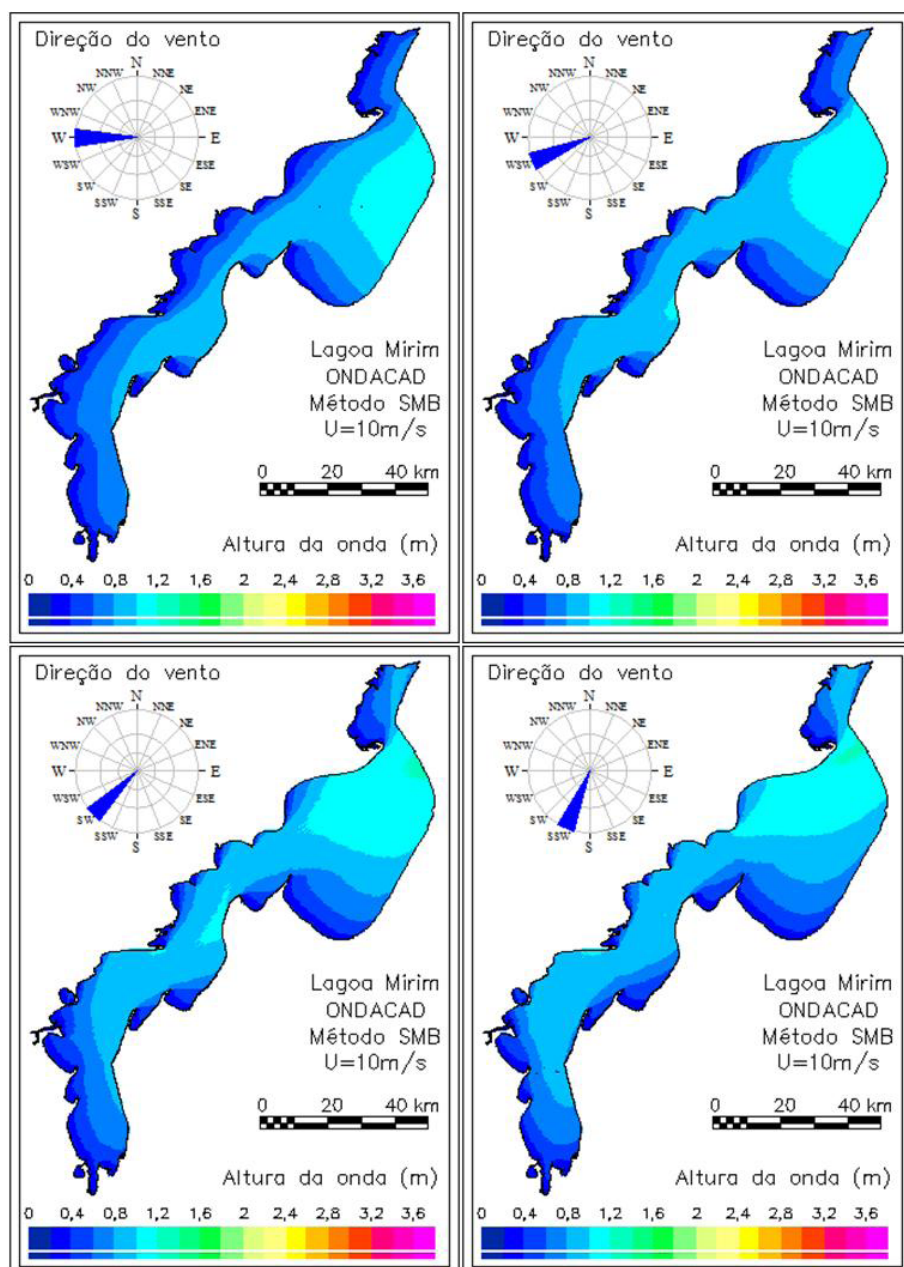


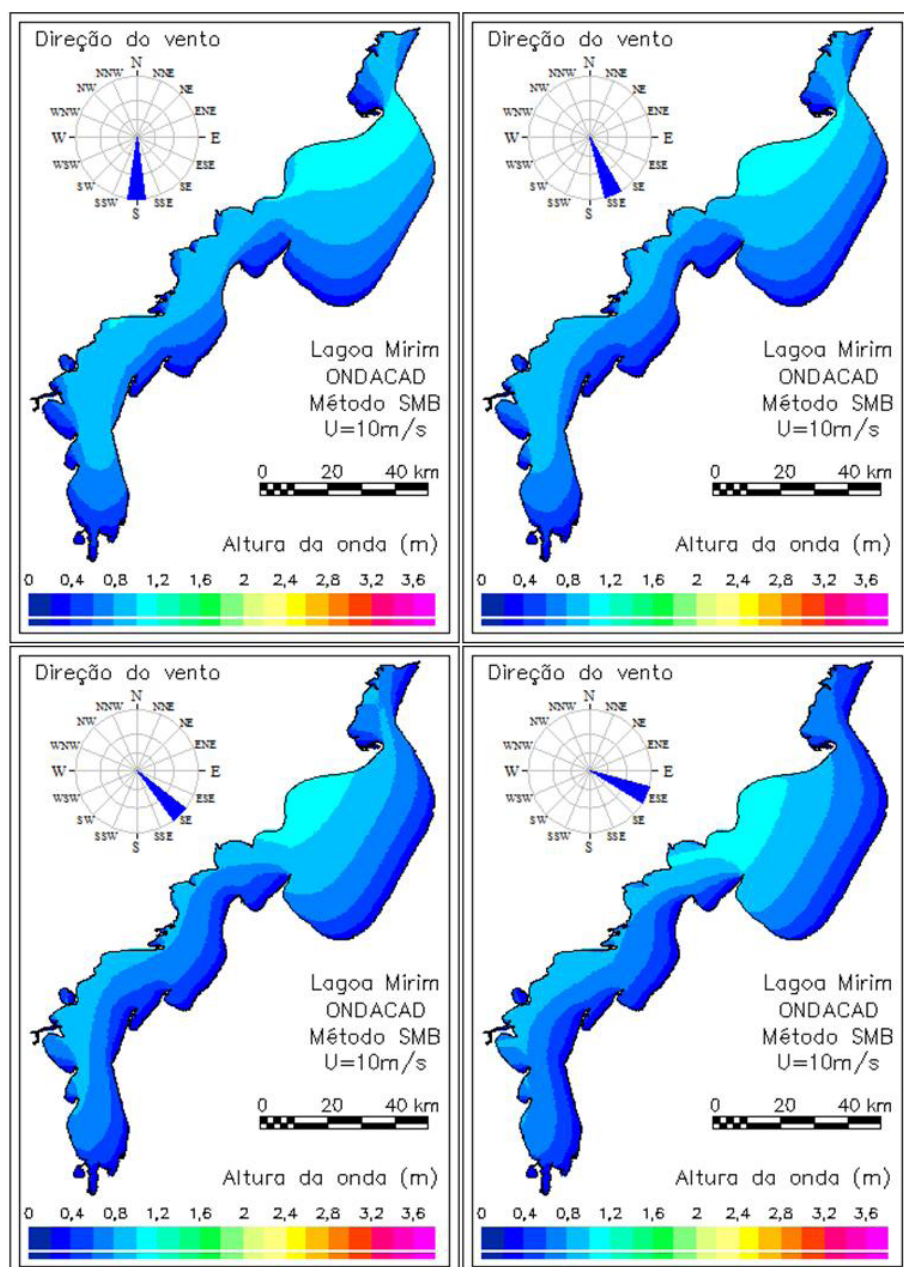


8.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}

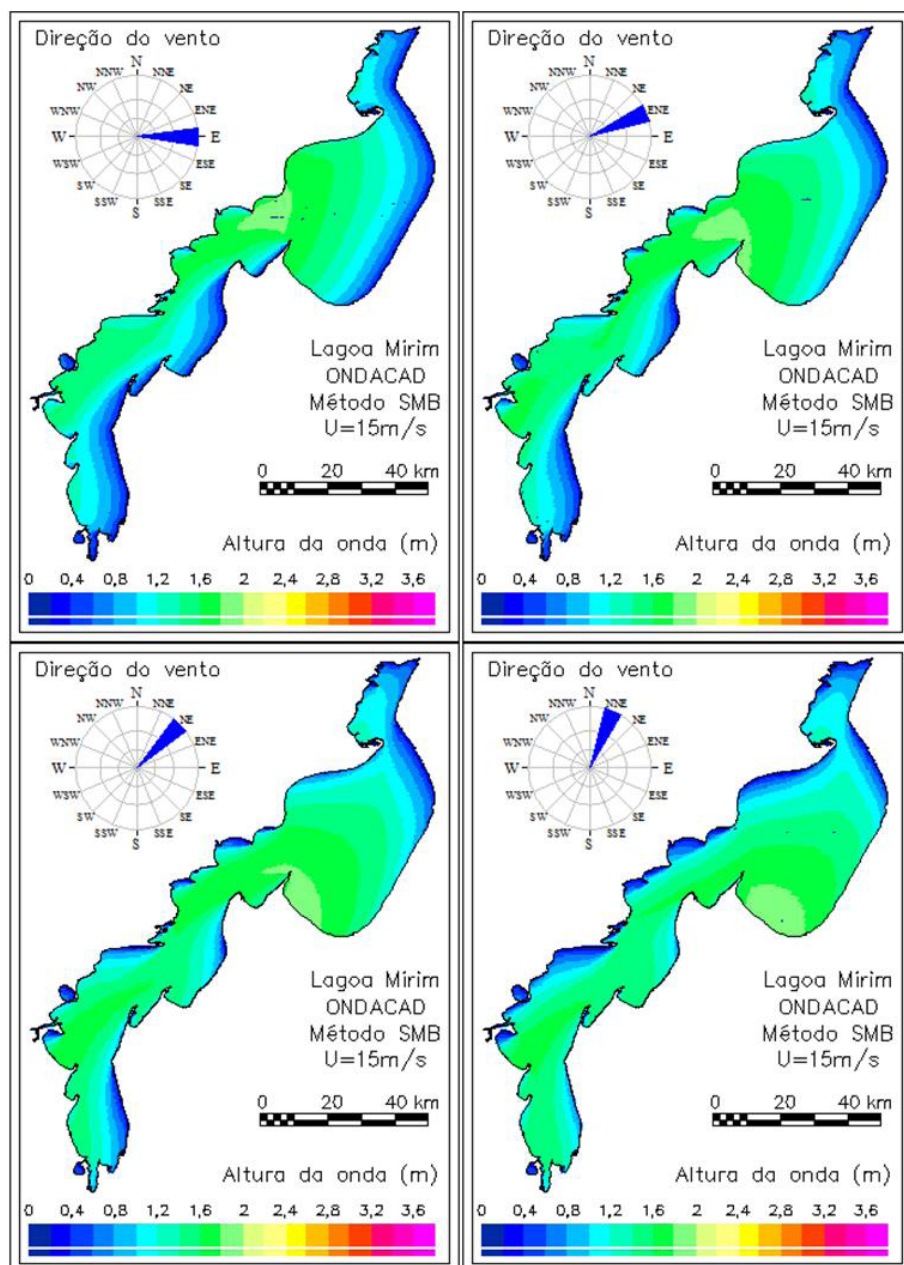


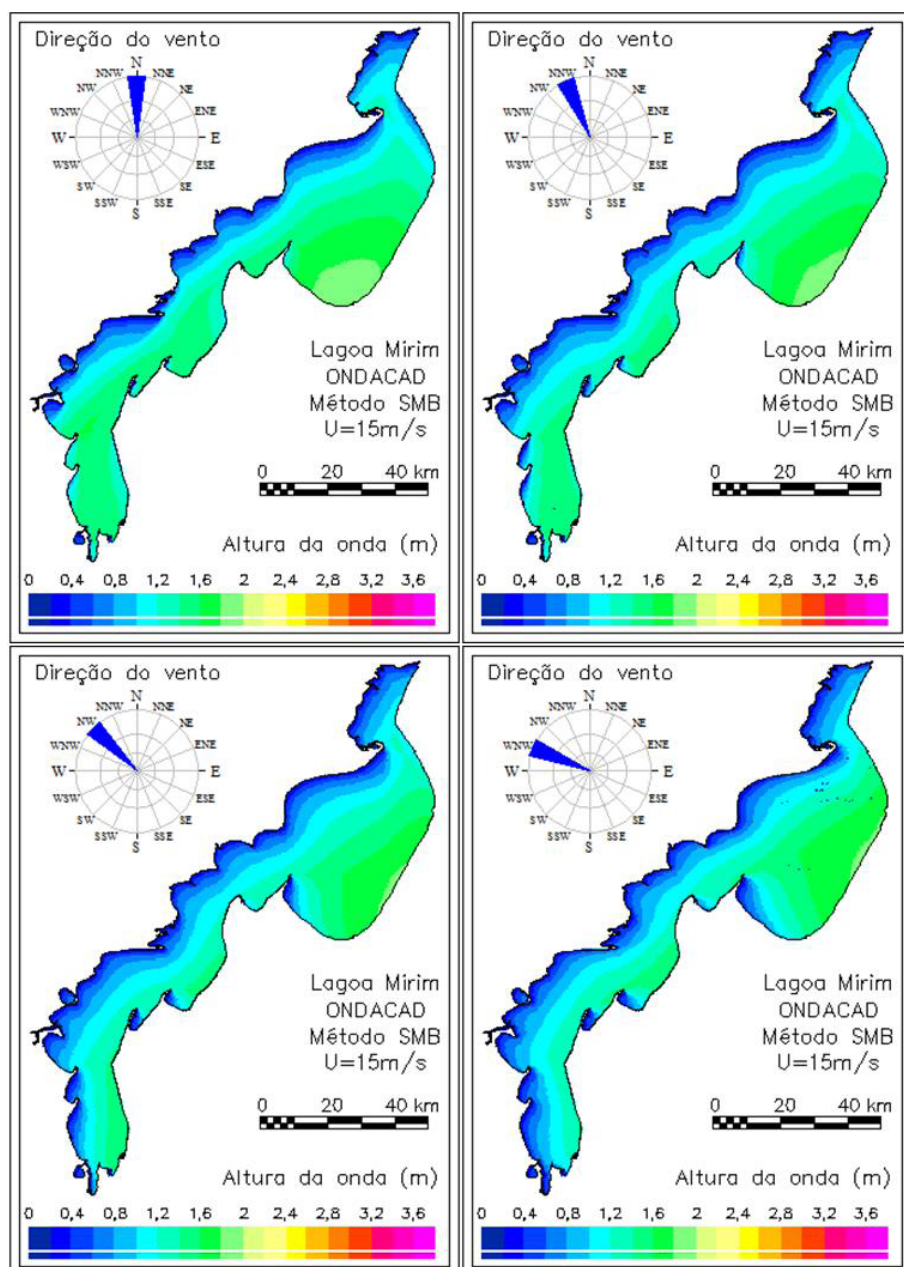


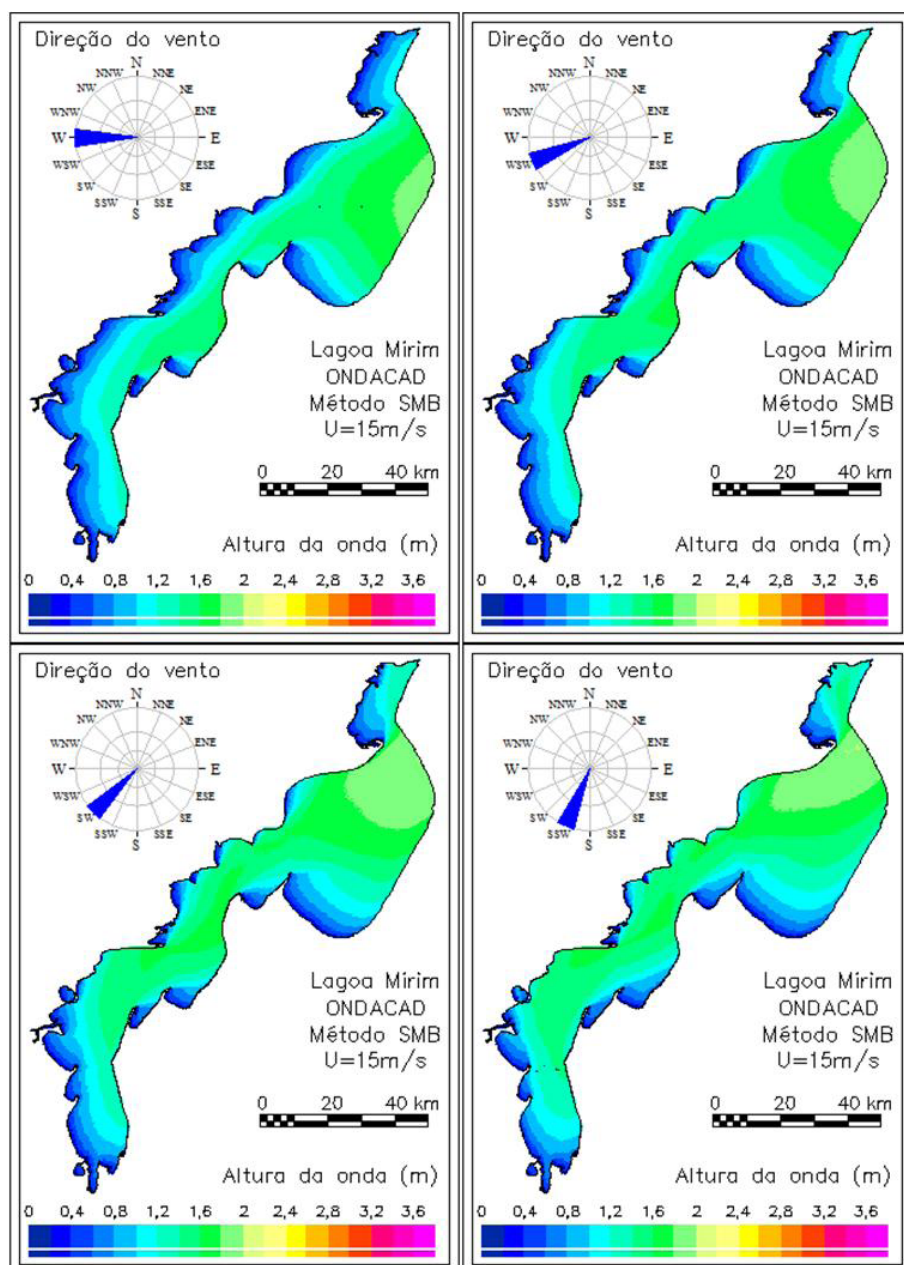


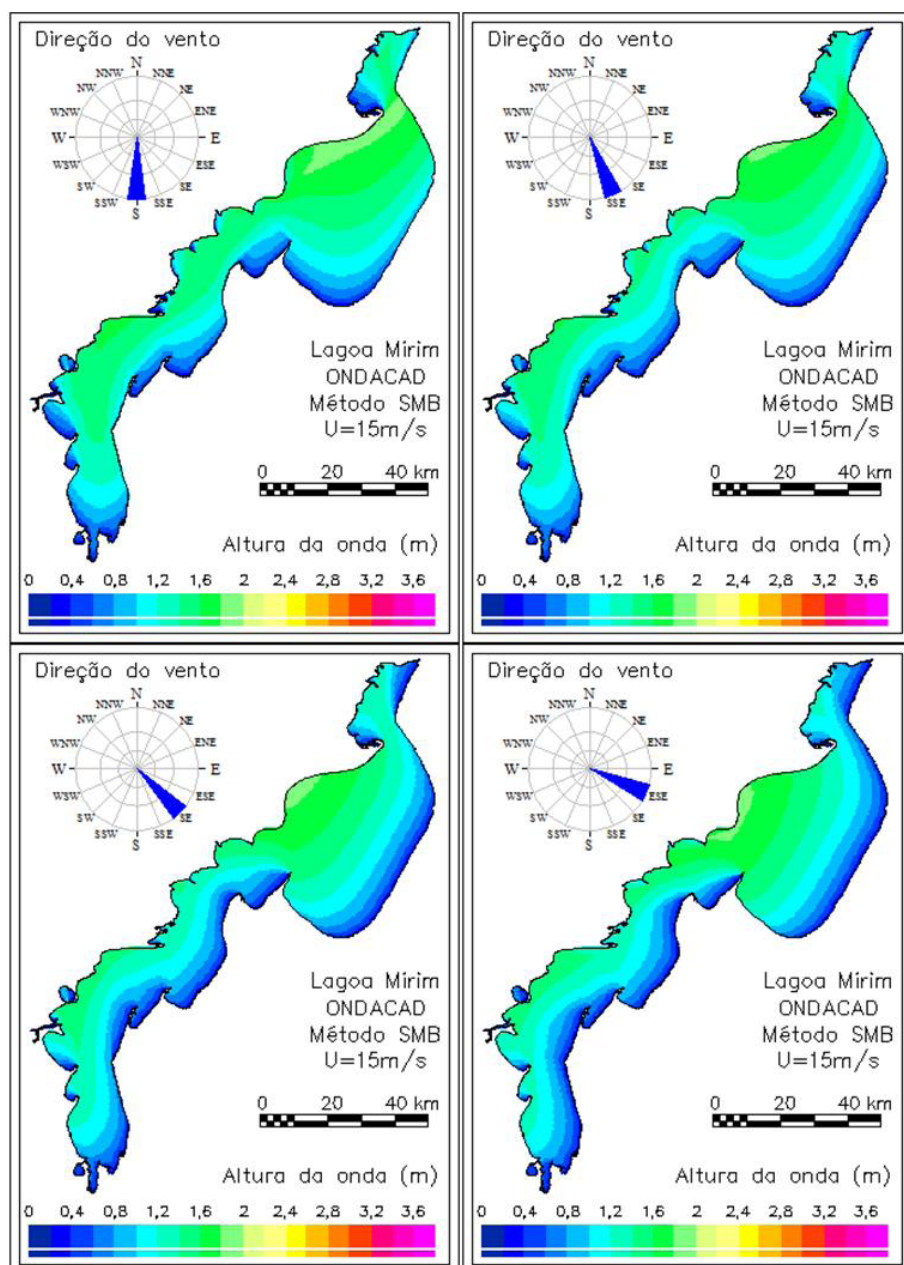


8.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}

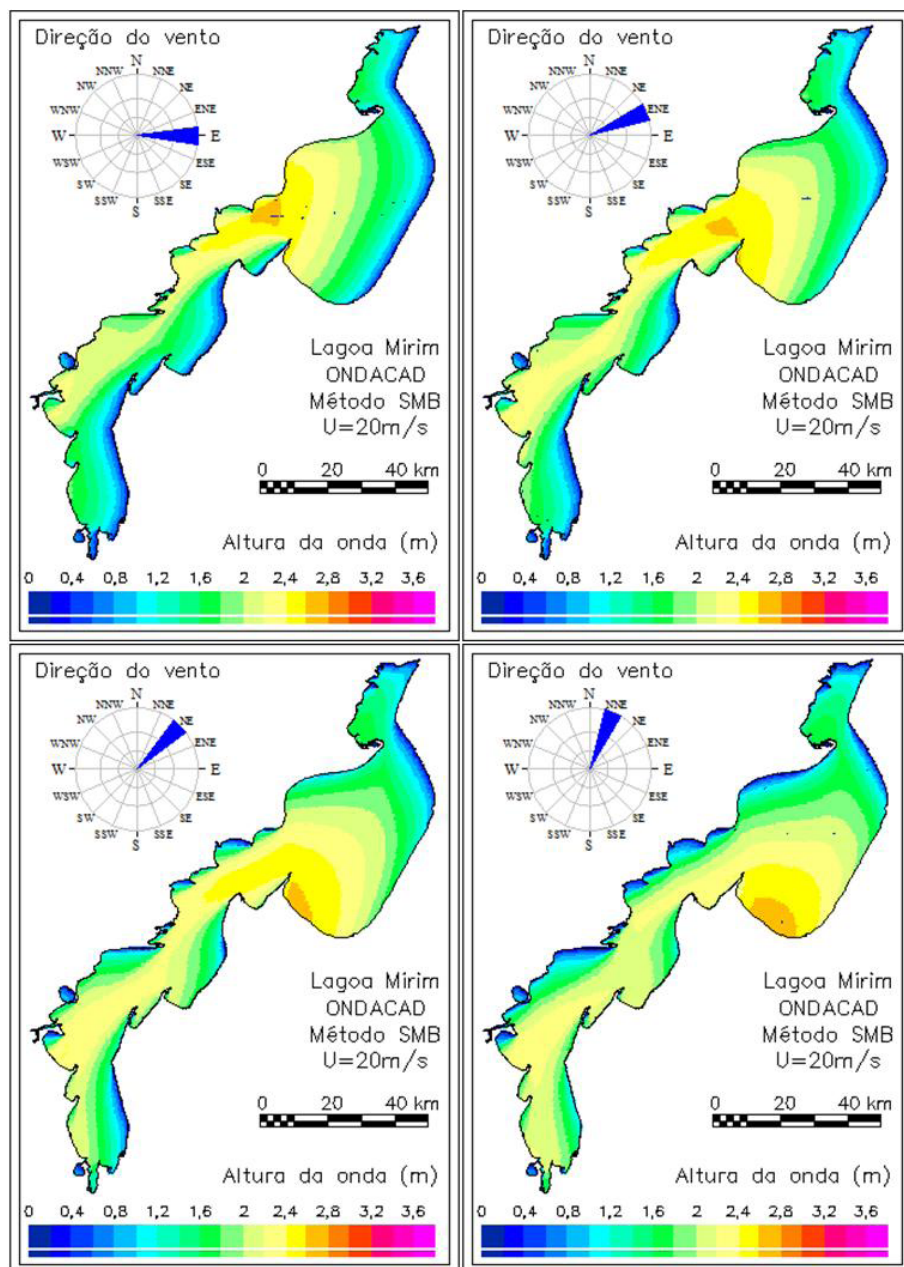


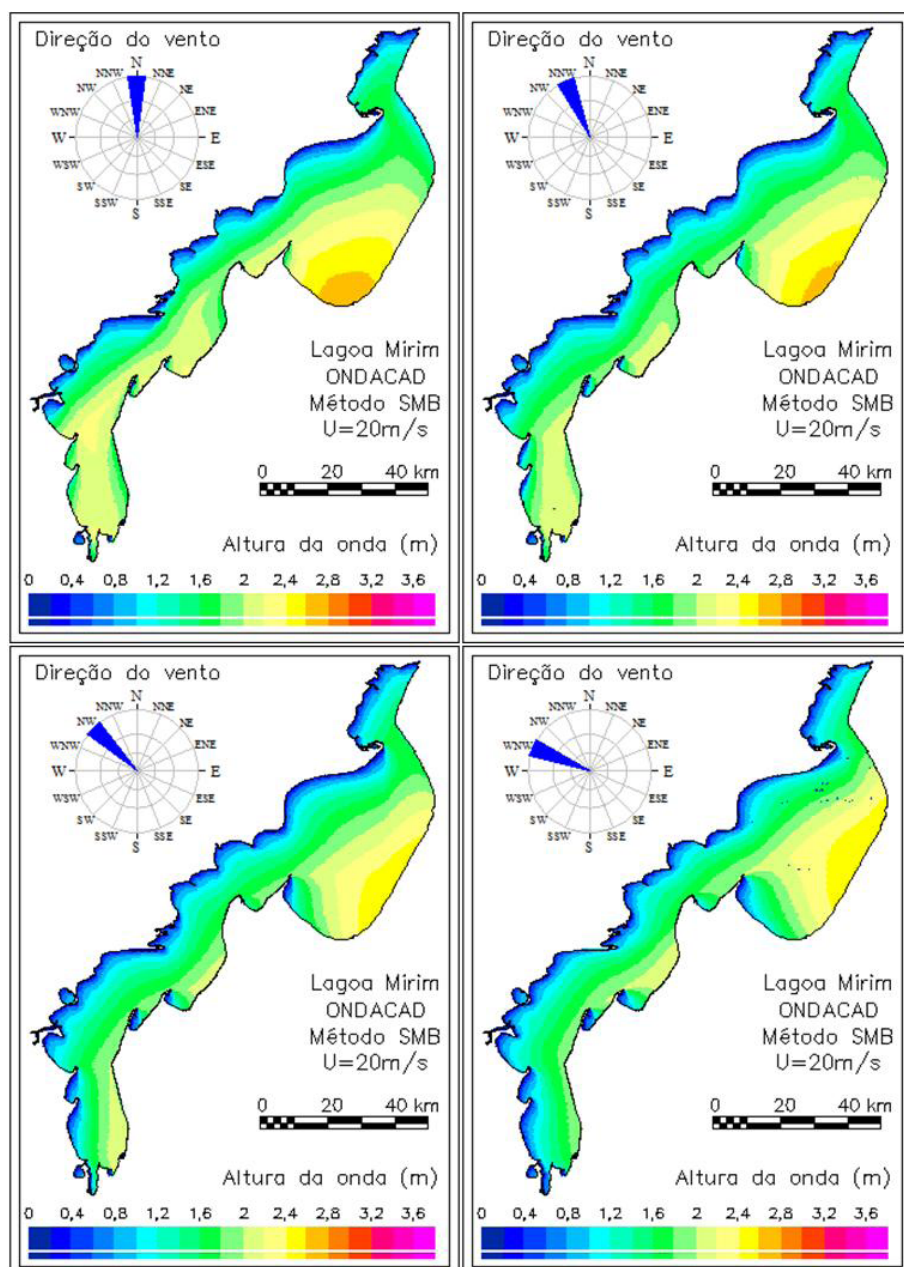


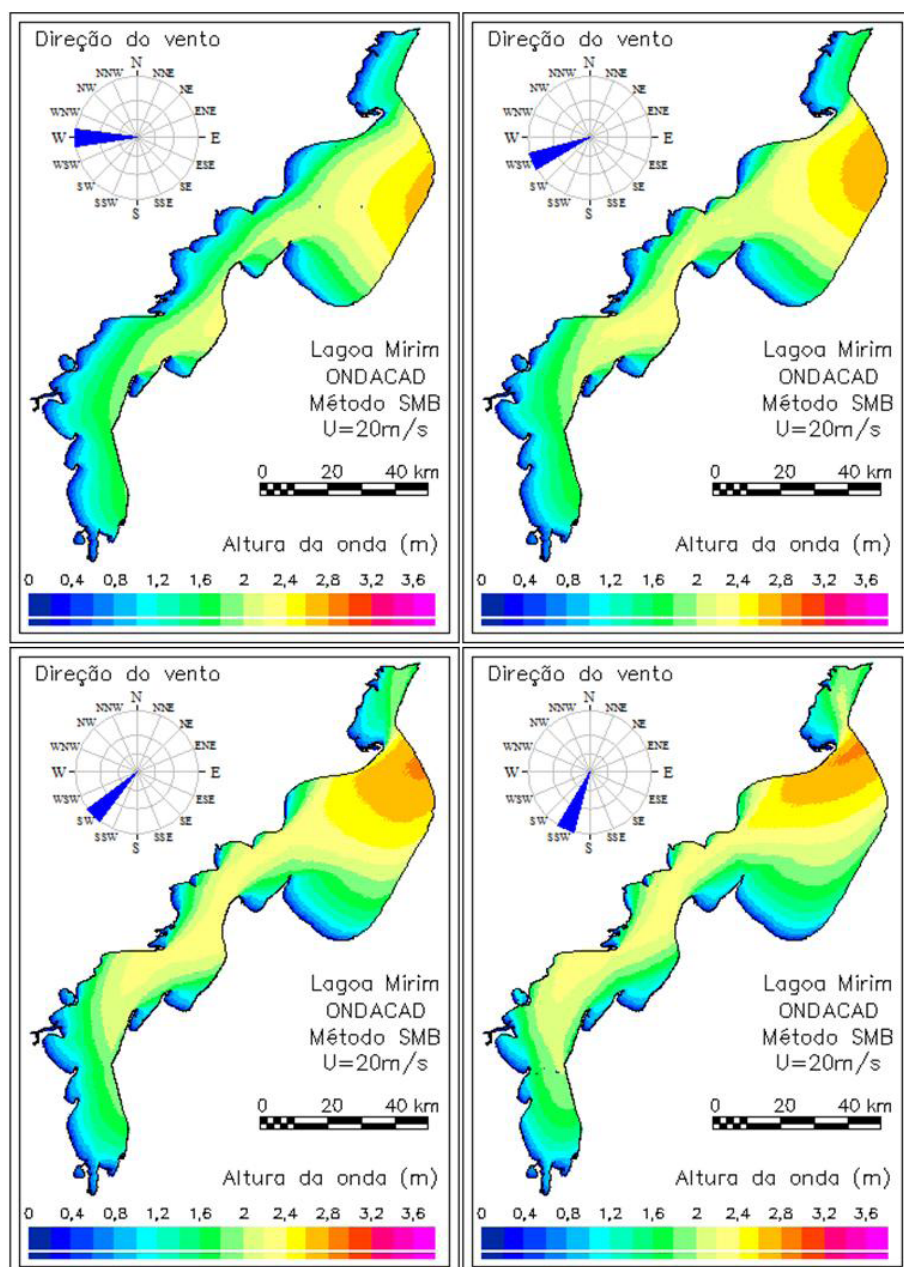


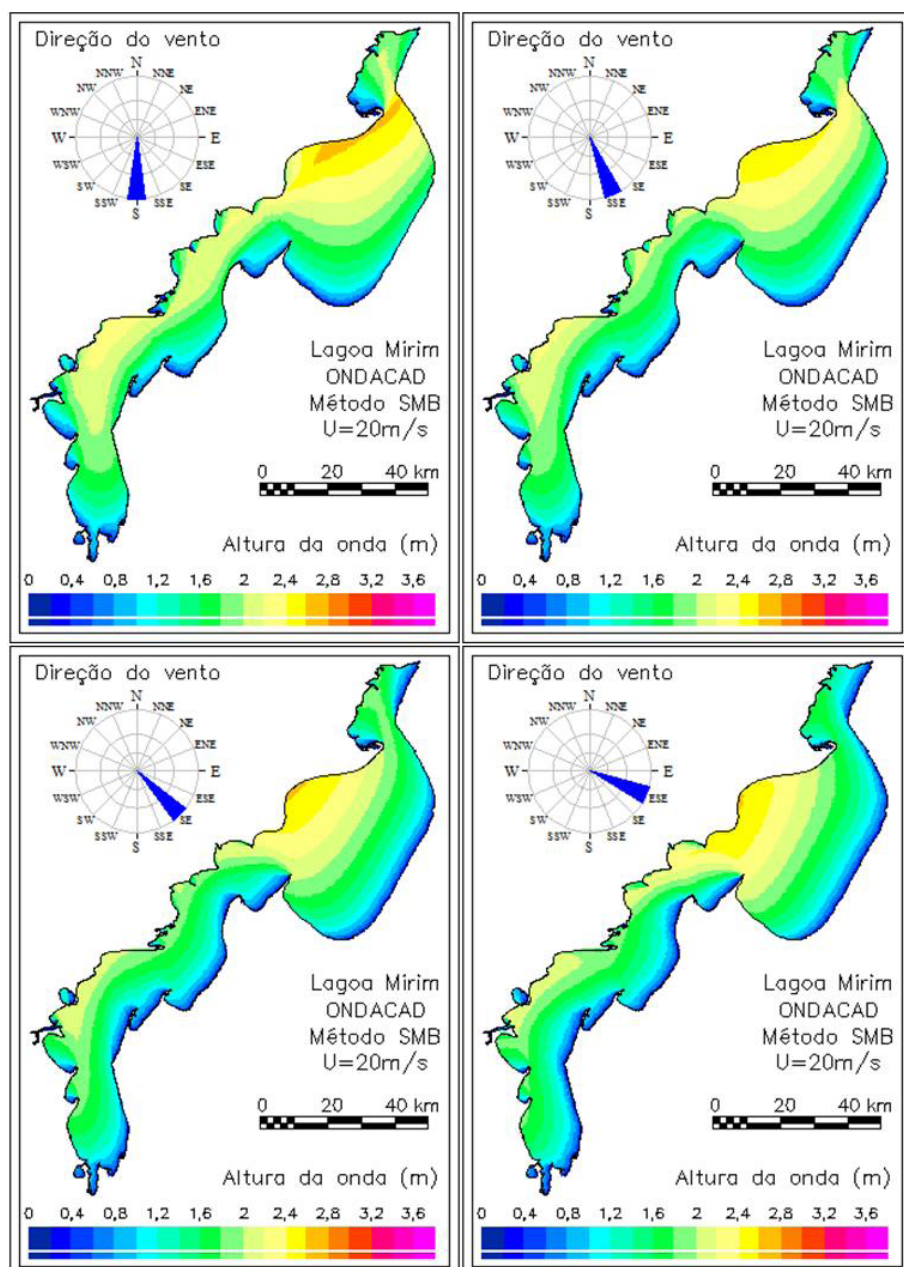


8.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms^{-1}

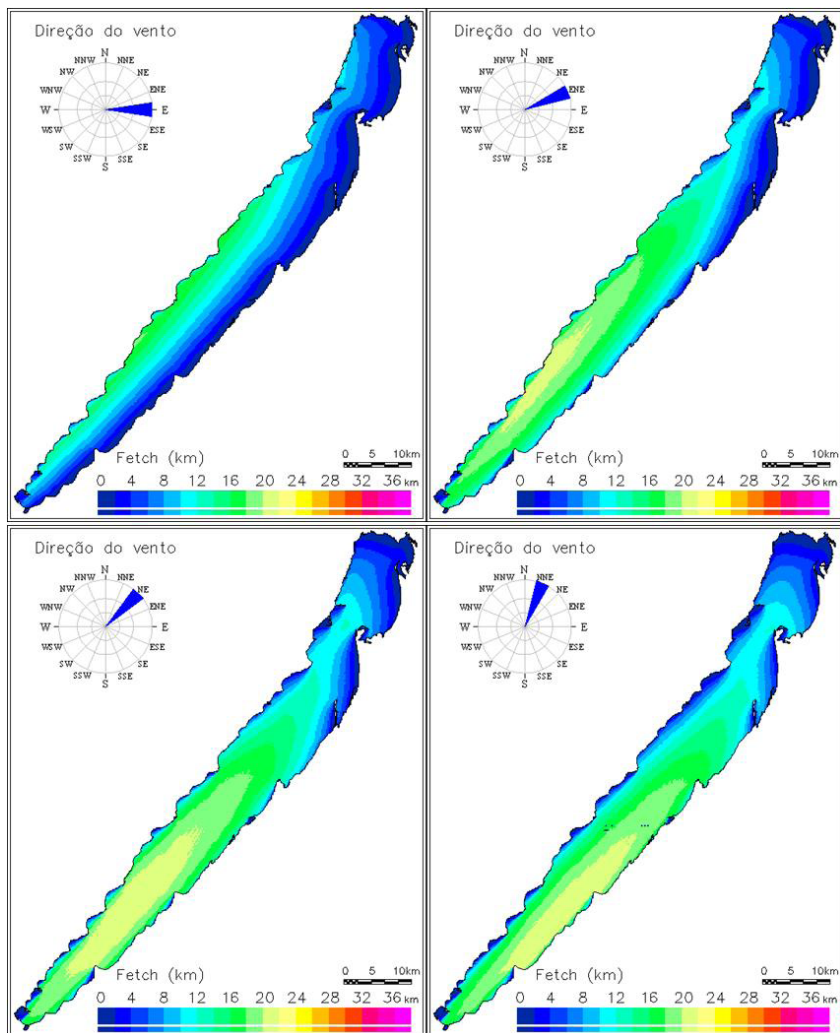


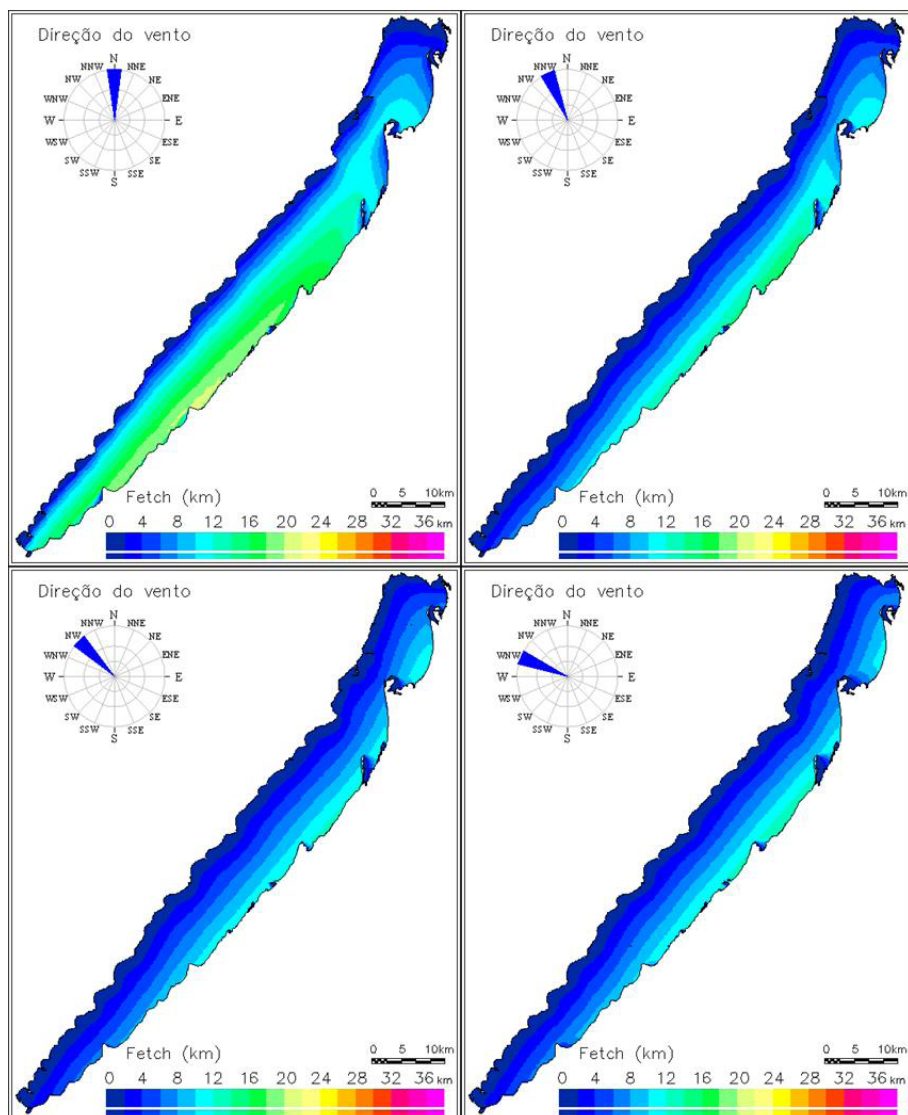


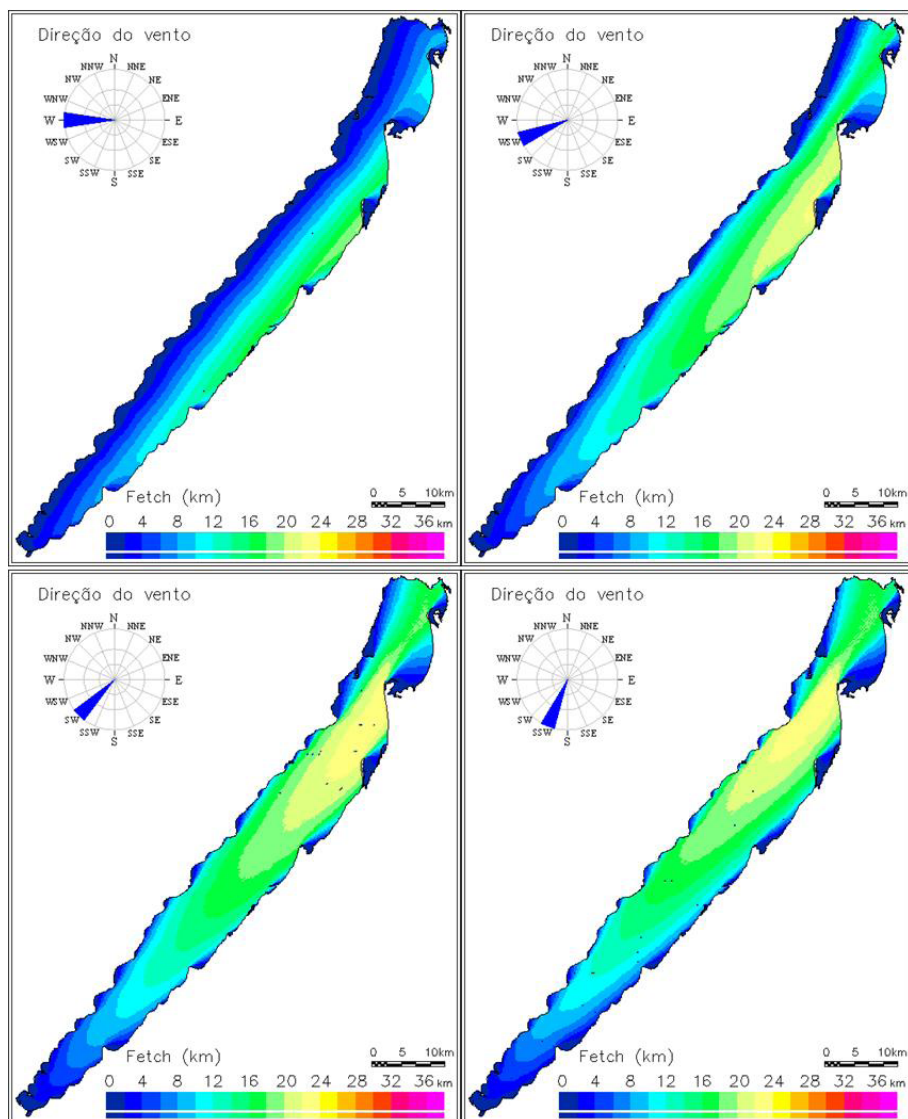


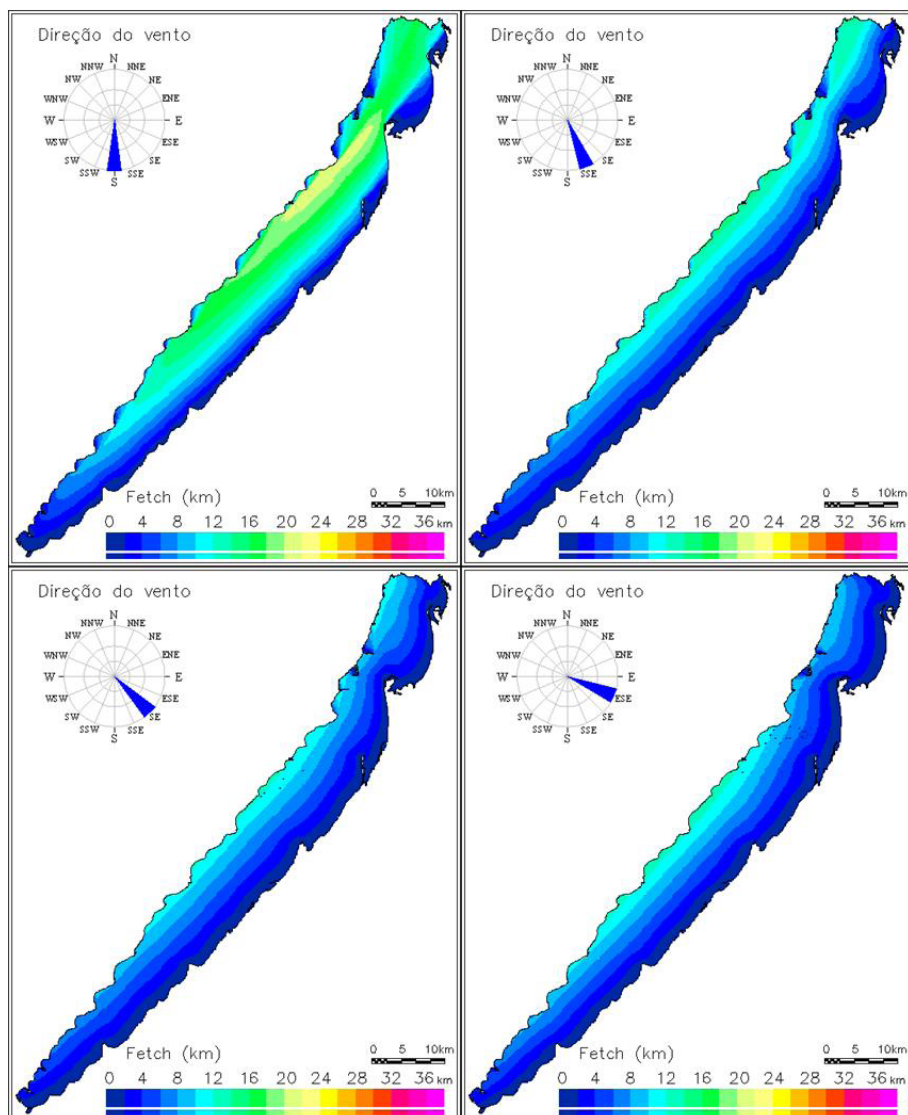


9.1 Fetch



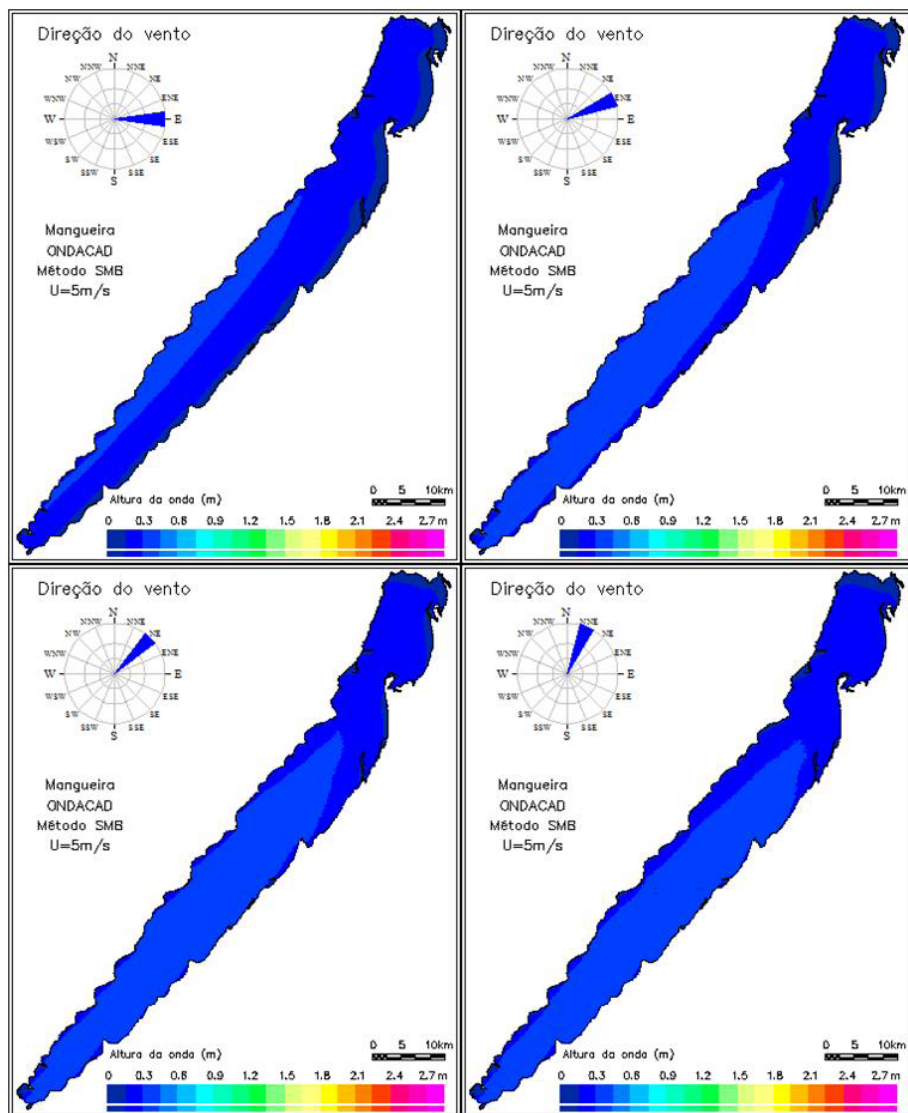


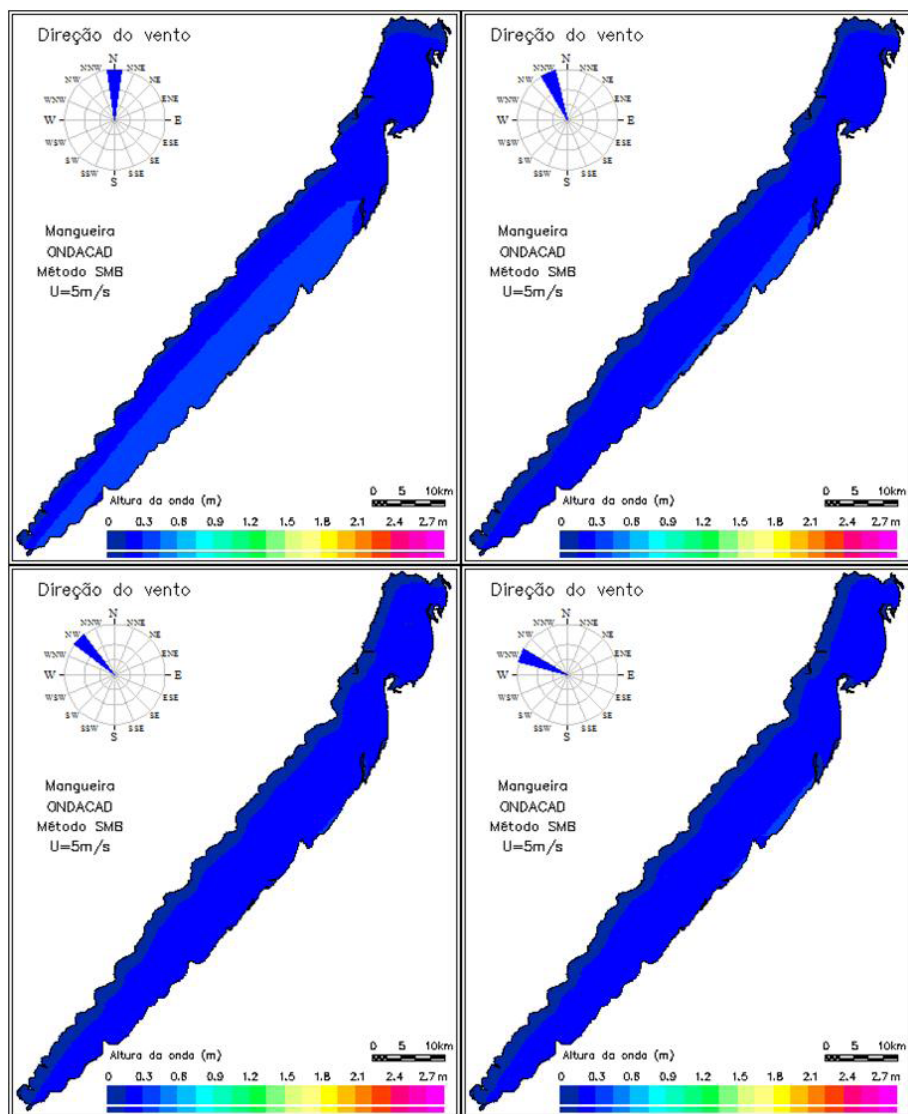


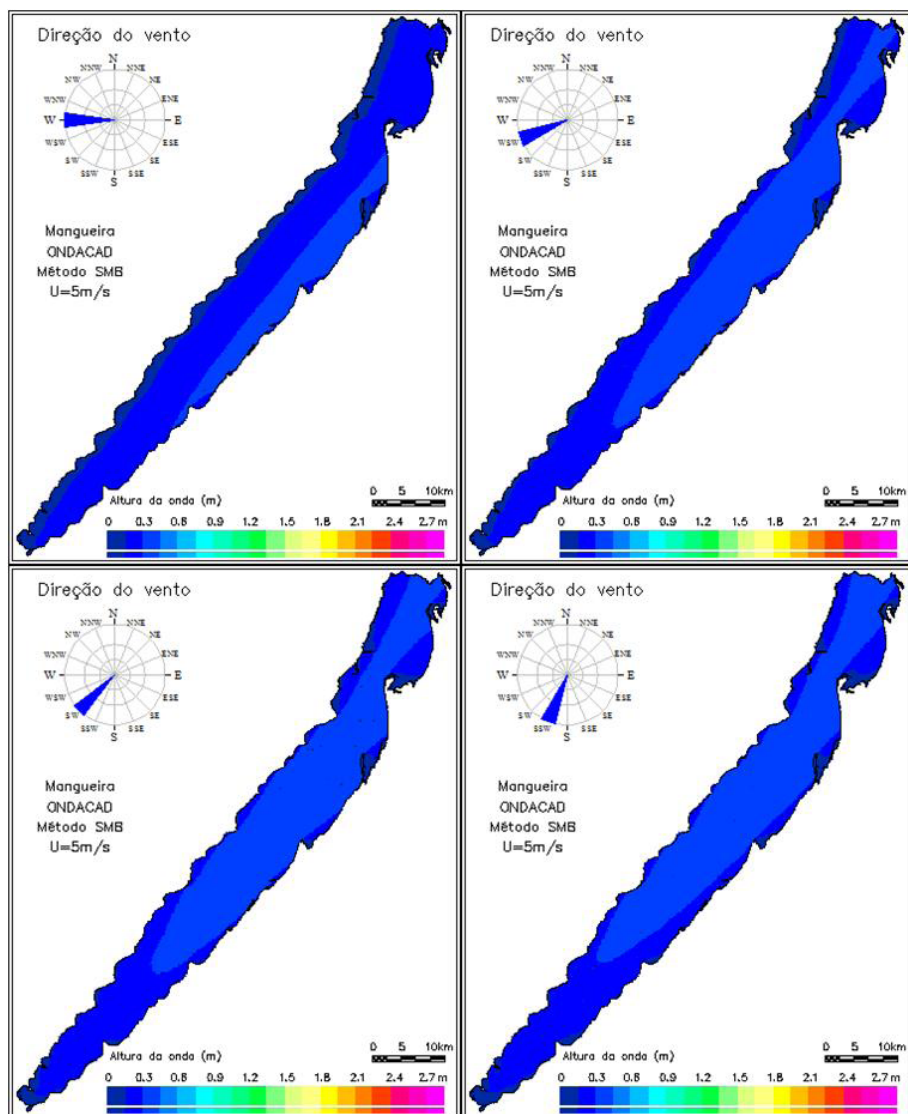


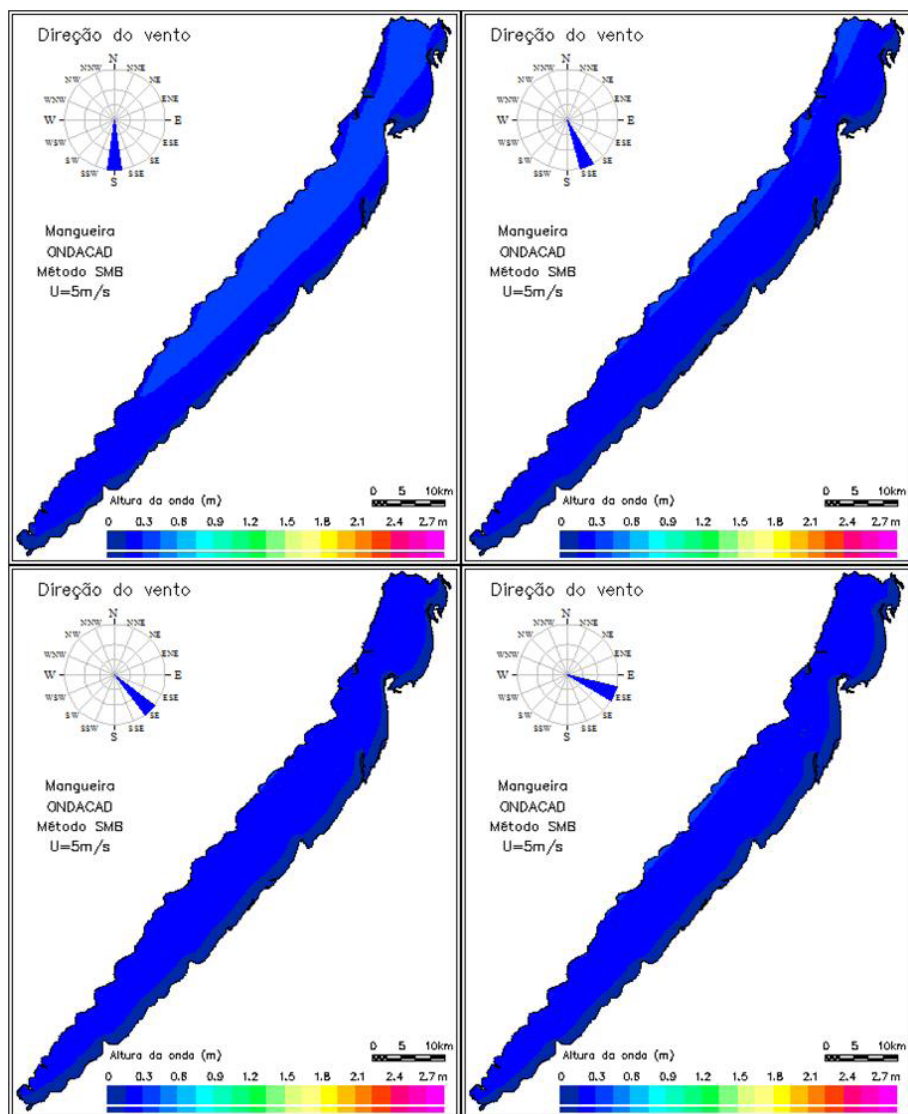
9.2 Altura das ondas

9.2.1 Campos de onda para intensidade do vento de 5ms^{-1}

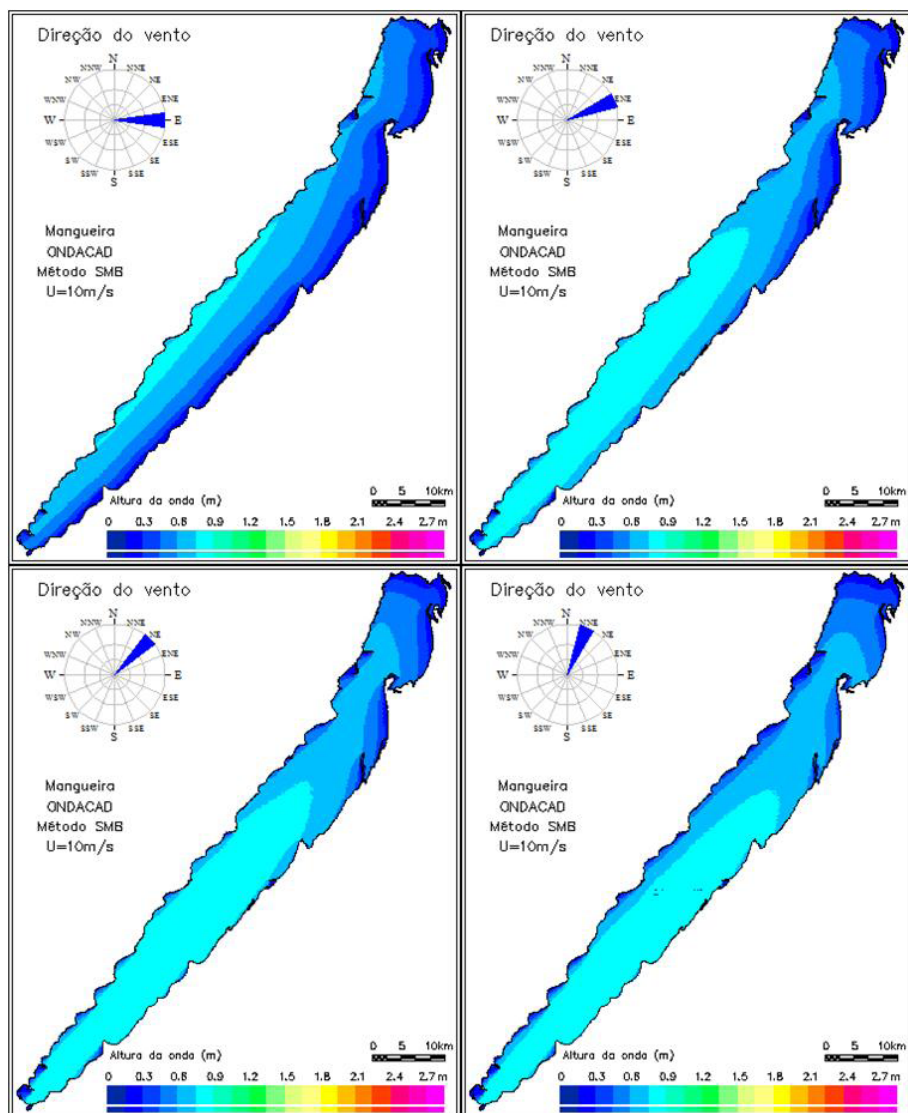


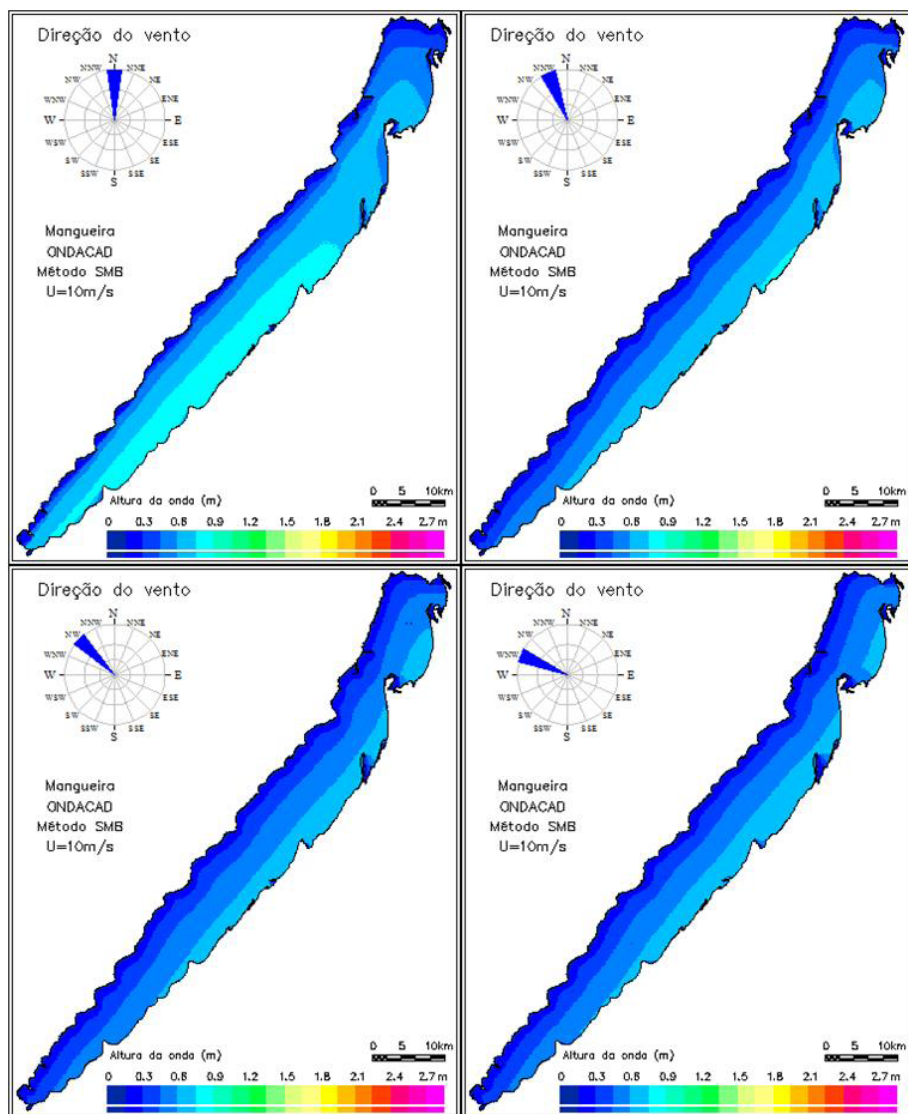


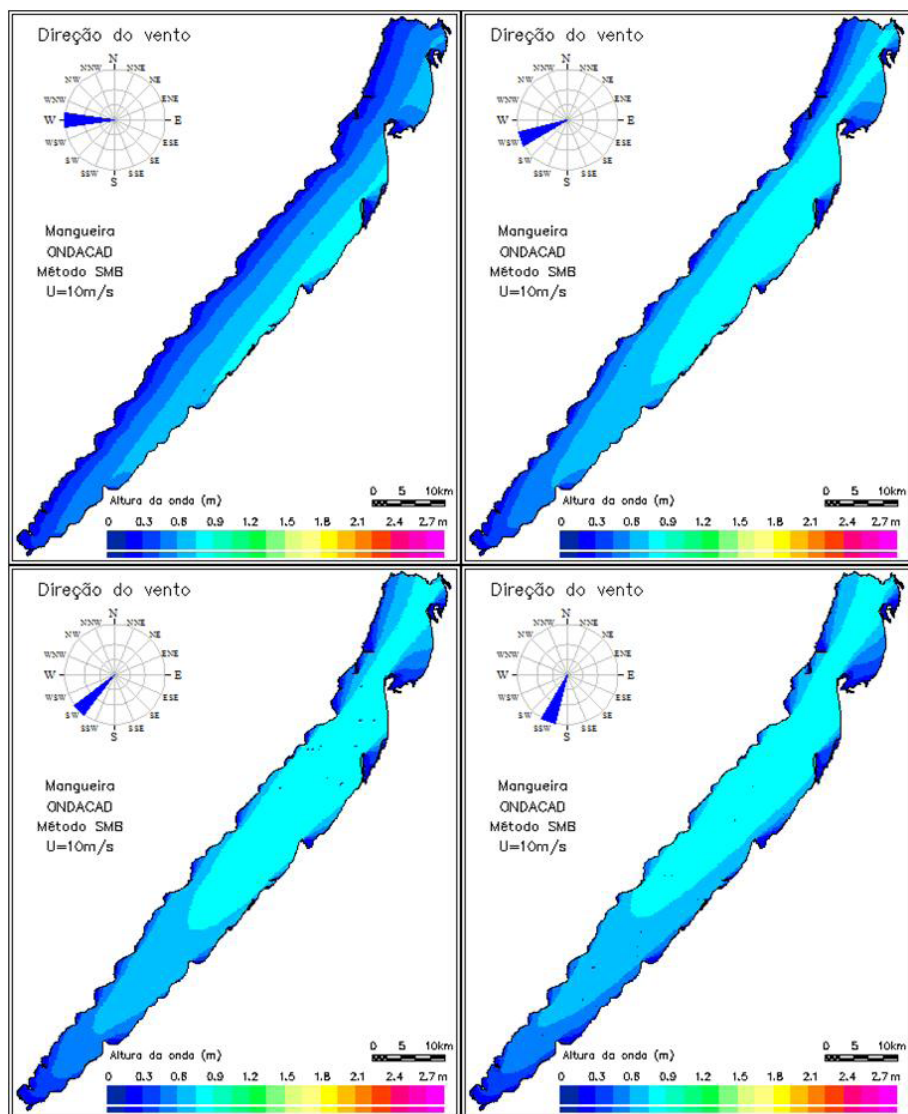


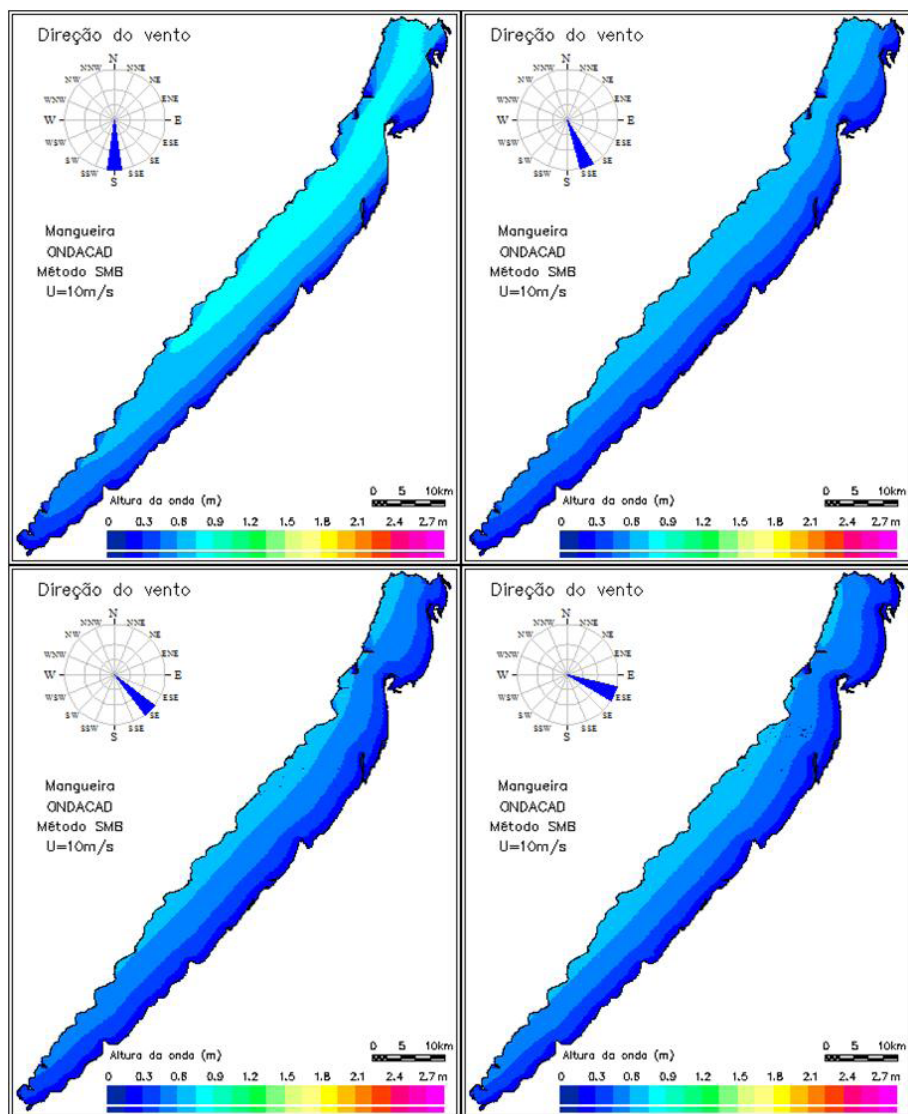


9.2.2 Campos de onda para intensidade do vento de 10ms^{-1}

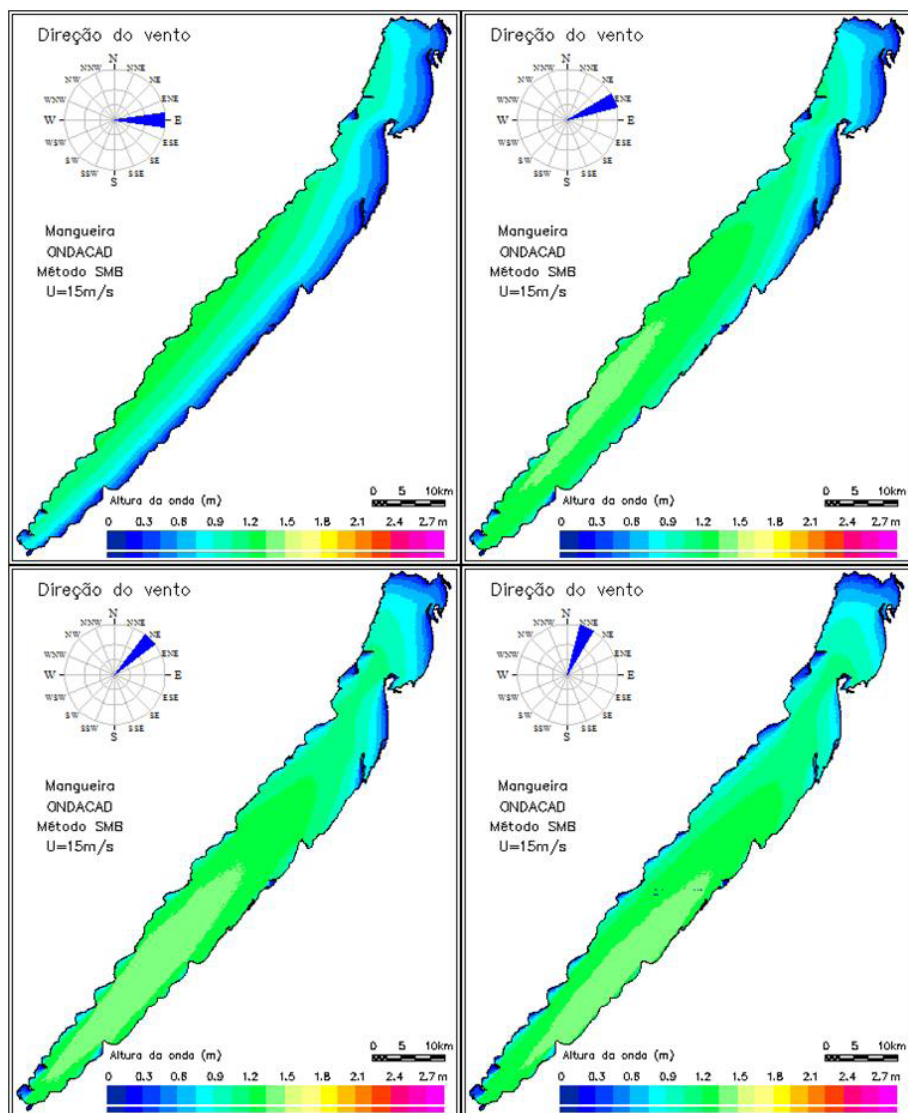


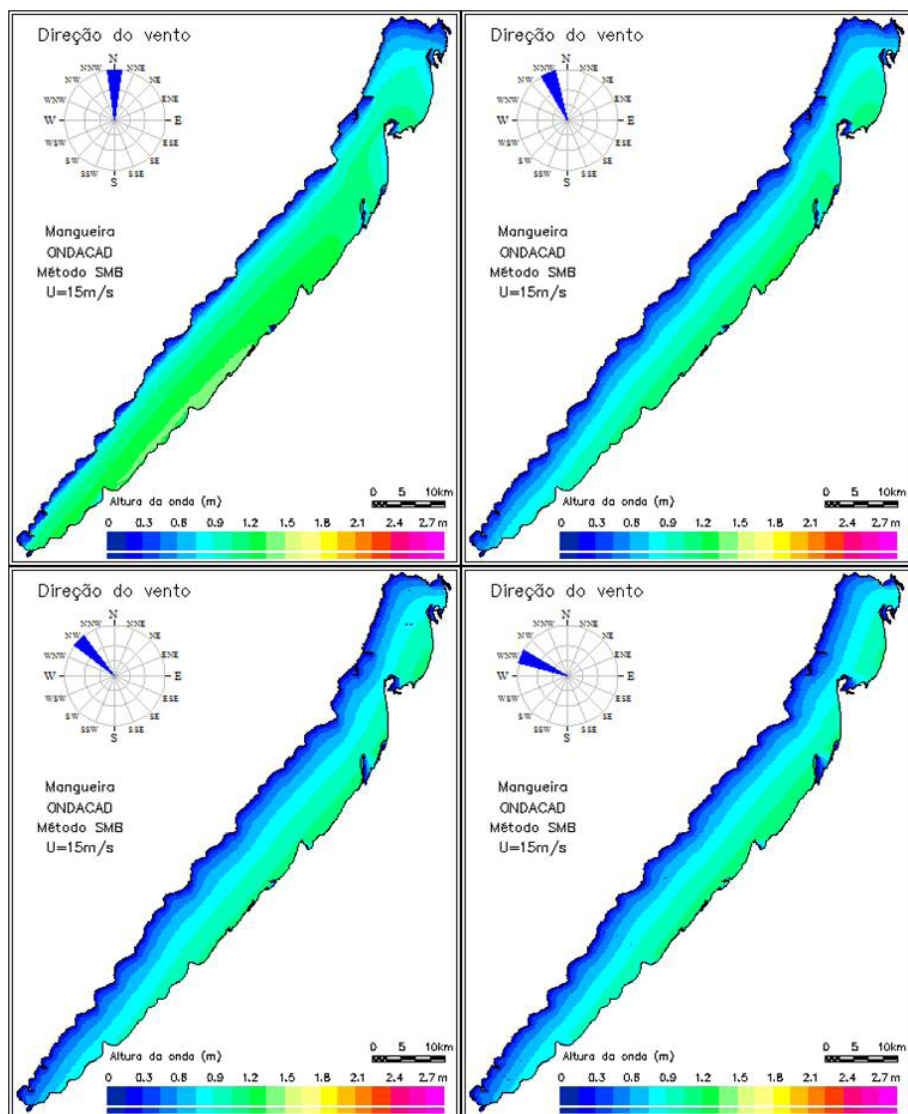


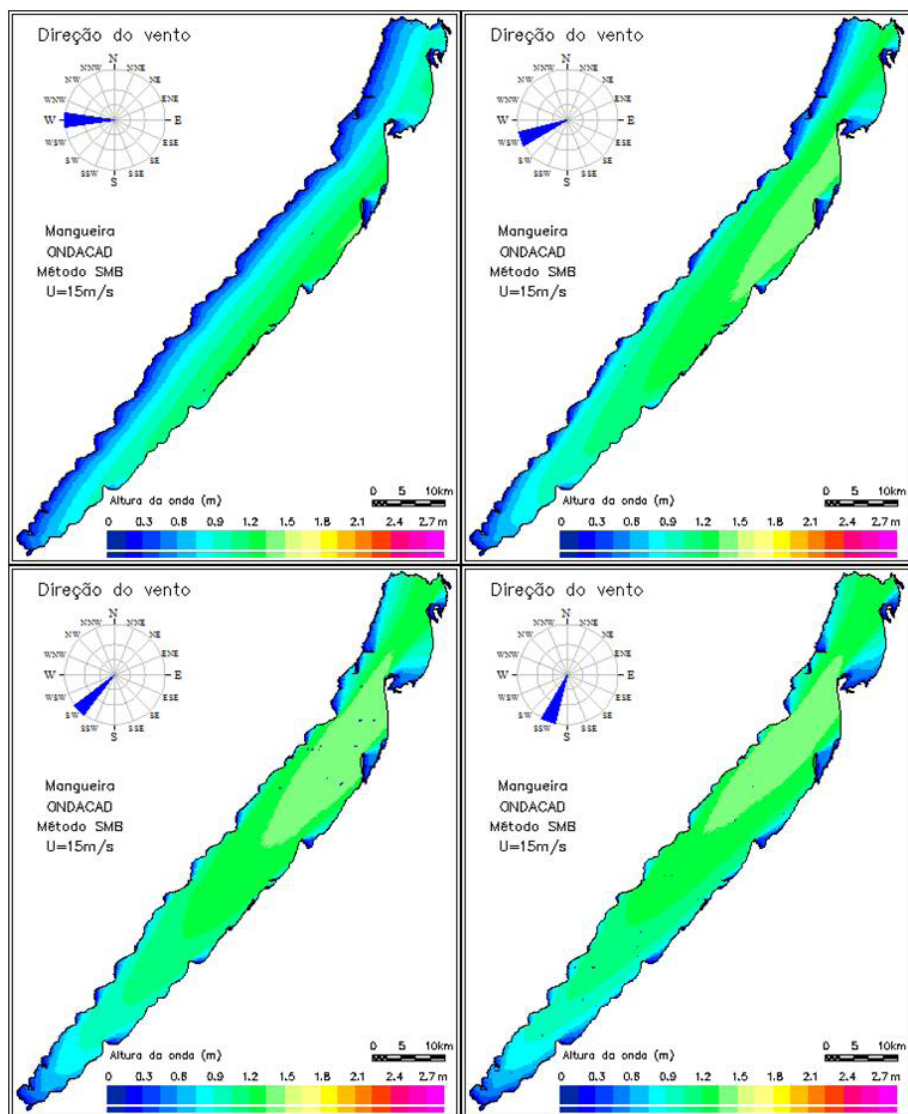


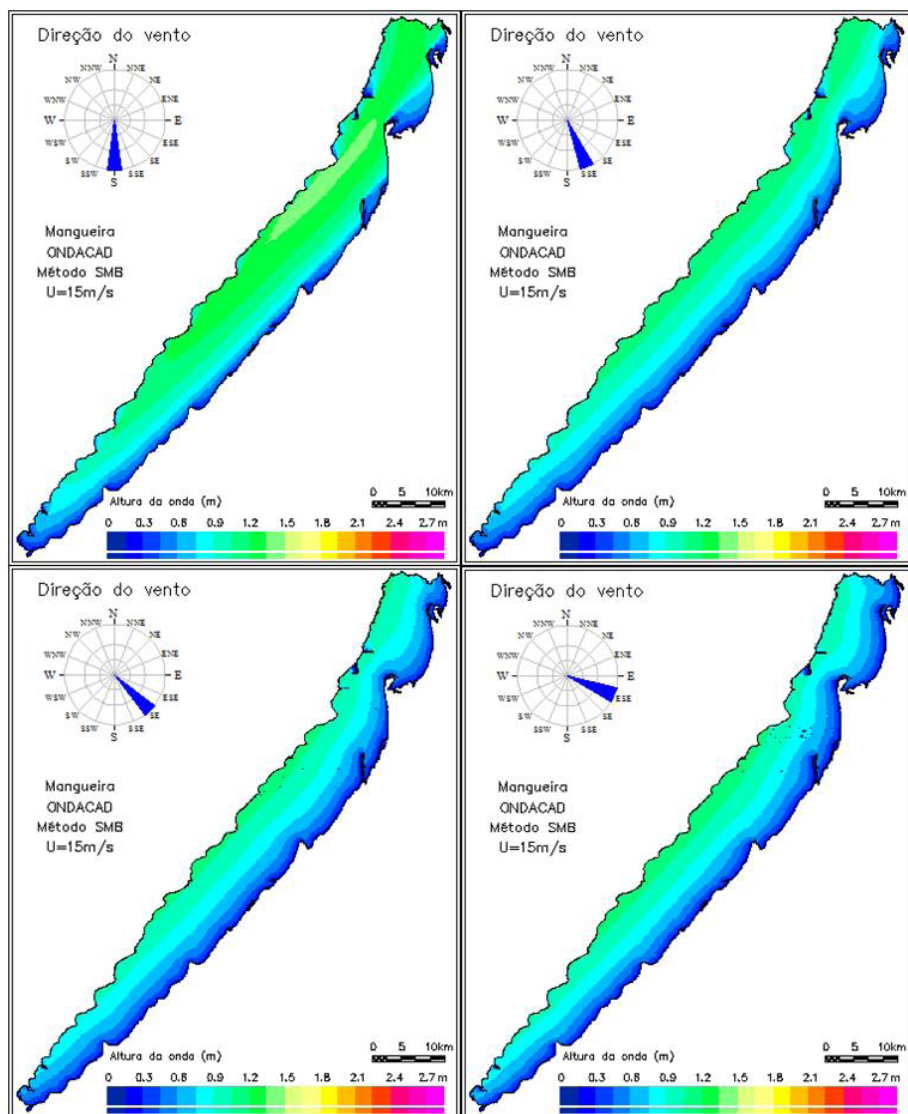


9.2.3 Campos de onda para intensidade do vento de 15ms^{-1}

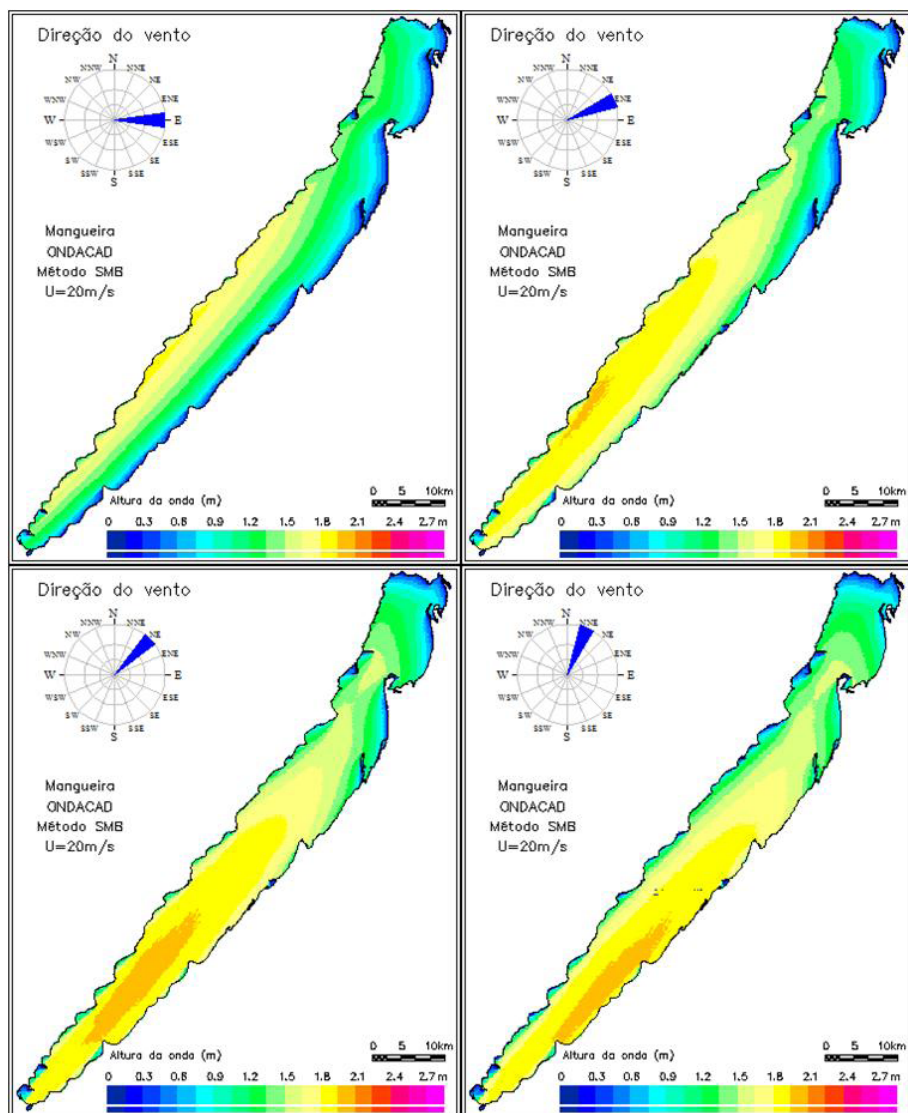


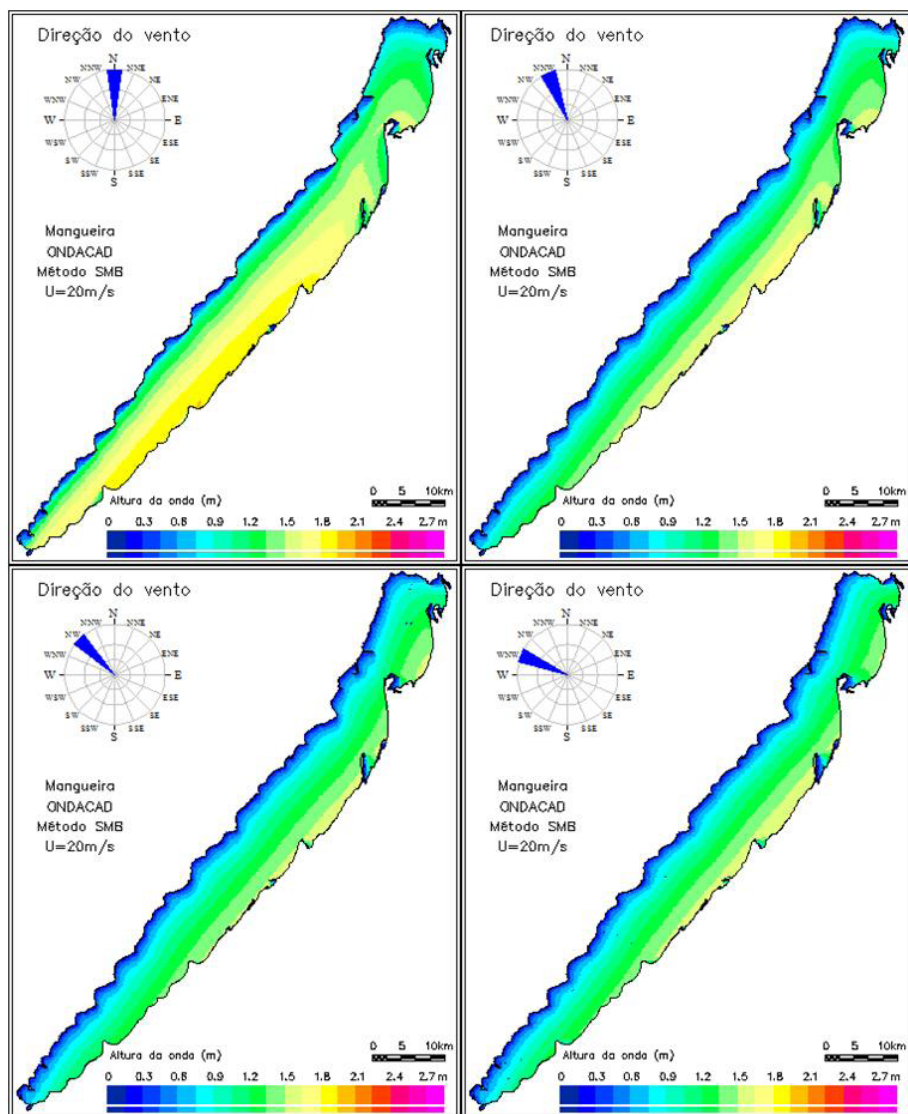


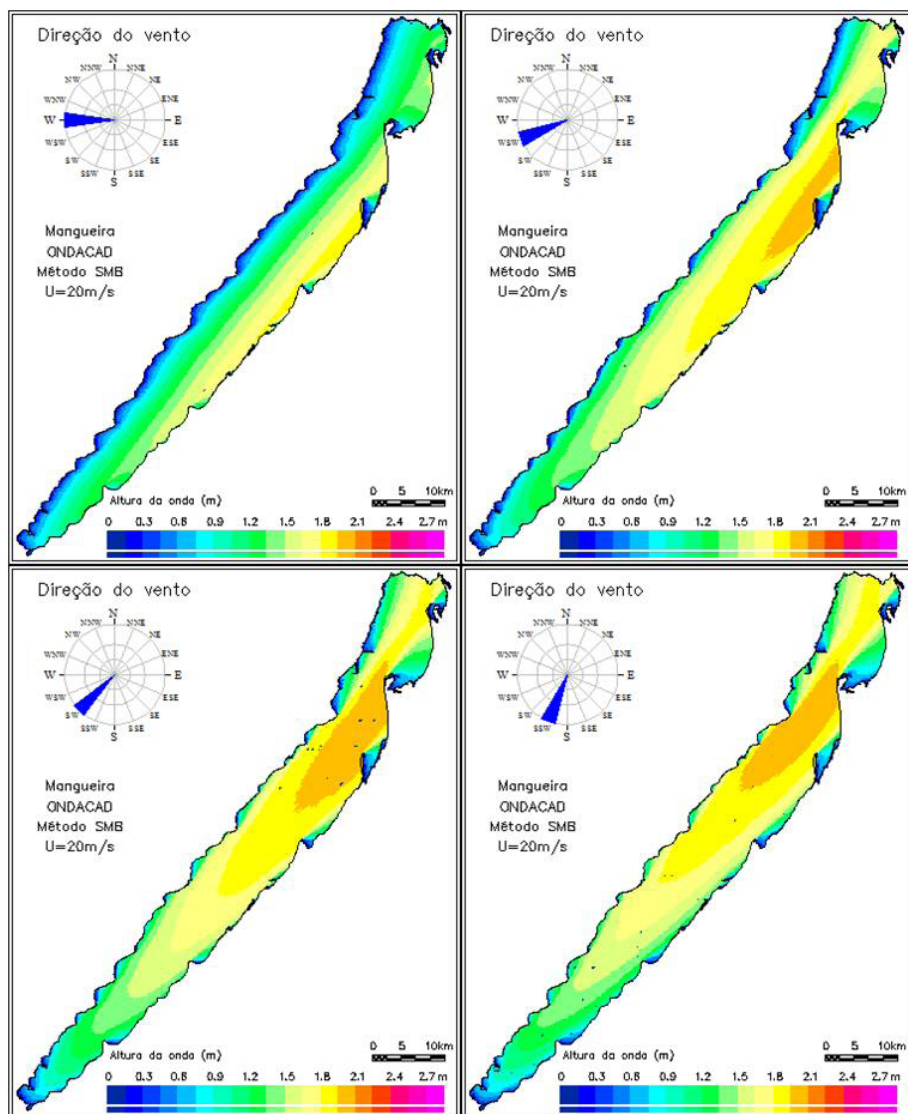


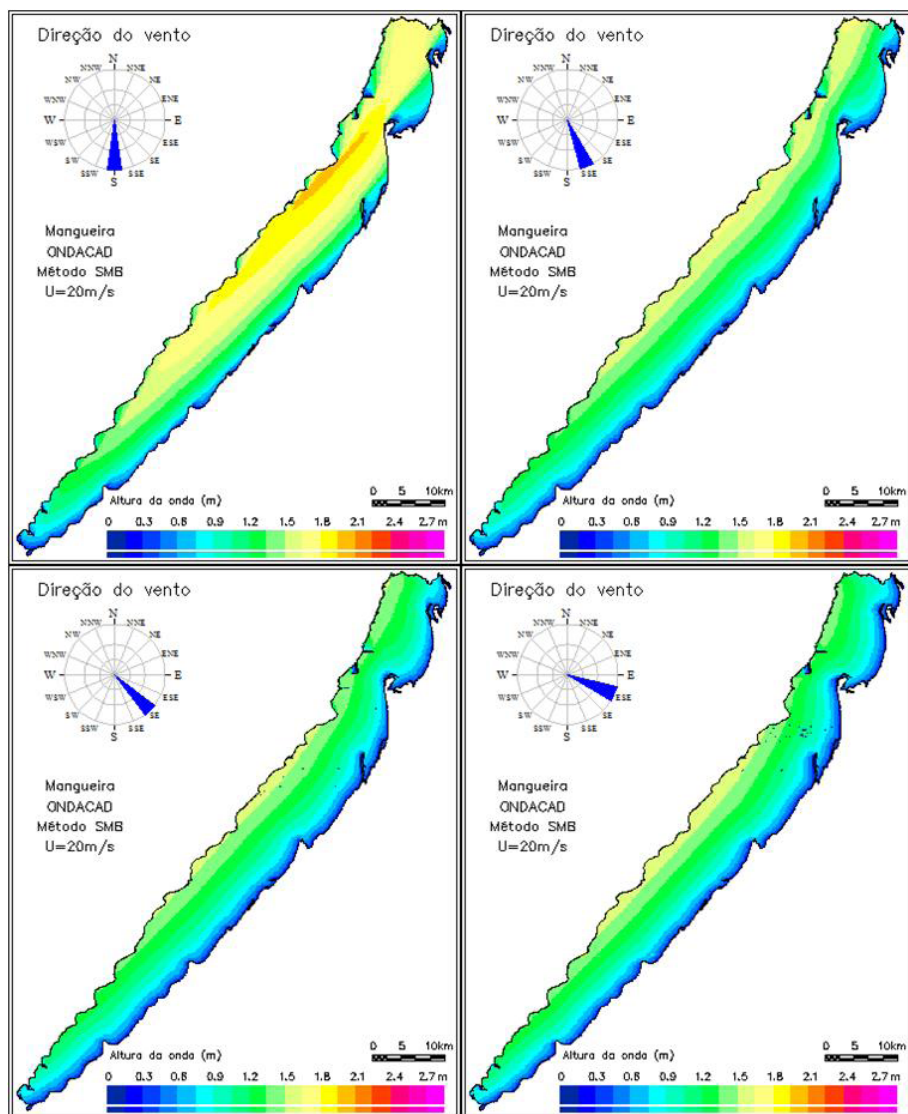


9.2.4 Campos de onda para intensidade do vento de 20ms⁻¹









CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi determinada com êxito a distribuição do fetch e do campo de ondas utilizando o modelo ONDACAD para ventos de 5, 10, 15 e 20 ms⁻¹, totalizando 320 mapas.

Por demandar um reduzido número de elementos e por gerar resultados de modo rápido e confiável, os resultados do presente estudo confirmam que a técnica de modelagem paramétrica bidimensional se apresenta como uma nova alternativa de modelagem de fenômenos provocados pelo vento em águas continentais.

Trabalhos futuros podem ser desenvolvidos a partir dos resultados desse estudo, como uma análise comparativa entre os métodos de determinação do fetch, a análise bidimensional entre diferentes equações paramétricas para a simulação do campo de ondas e a influência de campos de vento variáveis na geração de campos de ondas.

REFERÊNCIAS

Agência da Lagoa Mirim - Alm. (2013). Disponível em: <http://alm.ufpel.edu.br/agencia/bacia-da-lagoa-mirim/>. Acesso em 16/04/2014.

Amarante, O. A. C.; SILVA, F. J. L. (2002). Rio Grande do Sul – Atlas Eólico. Camargo Schubert, Engenharia Eólica, 2002.

Andrade, C. F. F.; Niencheski, L. F. H.; Attisano, K. K.; Milani, M. R.; Santos, I. R.; Milani, I. C. (2011). Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa da Mangueira (Rio Grande do Sul, Brasil). Química Nova, São Paulo.

Artioli, L. G. S.; Vieira, J. P.; Garcia, A. M.; Benvenuti, M. A. (2009). Distribuição, dominância e estrutura de tamanhos da assembleia de peixes da Lagoa da Mangueira, sul do Brasil. Iheringia, Série Zoologia, Porto Alegre, v. 99, n. 4.

Bhowmik, N.G. & Stall, J.B. (1978). Circulation patterns in the Fox chain of lakes in Illinois. Water Resources, 14:633-642.

Booij, N., L. H. Holthuijsen, e R. C. Ris, (1996): The SWAN wave model for shallow water, Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, Orlando, 668-676.

Brasil. Tratado da Lagoa Mirim - Tratado de Cooperação para o Aproveitamento dos Recursos Naturais e o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim "...". Protocolo do Rio Jaguarão, concluídos entre a República Federativa do Brasil e a República Oriental do Uruguai. Decreto Legislativo nº 109, de 1977.

Burrows, R. & Hedges, T.S. (1985). The Influence of Currents on Ocean Wave Climates. Coastal Engineering, 9: 247-260.

Delaney, P. J. V. (1965). Fisiografia e geologia da superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial da Escola de Geologia UFRGS v. 6, n.1, 195p. 1965.

DHI (2002). Ministério dos Transportes. Disponível em: <http://www2.transportes.gov.br/bit/04-hidro/3-rios-terminais/rios/09-RH-I%C3%A2n.htm>.

Acesso em 16/04/2014.

DNAEE. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. (1983). Mecânica de Correntes do Guaíba. Relatório Síntese Ministério das Minas e Energia.

Gorman, R.M., Neilson, C.G.. (1999). Modelling shallow water wave generation and transformation in an intertidal estuary. *Coastal Engineering*, 36: 197-217.

Holthuijsen, L.H. (2000). SWAN - User manual. Delft, USA. Department of Civil Engineering. Delft University of Technology. 124p.

Hsu, T.W., Ou, S.H. & Liao, J.M. (2005). Hindcasting nearshore wind waves using a FEM code for SWAN, *Coastal Engineering*, 52: 177-195.

Innocentini, V. (2001). Modelo de ondas aplicado ao caso 5-8 de maio de 2001. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 16(1): 10-34.

Instituto de Pesquisas Hidráulicas (1998). Estudo para Avaliação e Gerenciamento de Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim. Relatório de Convênio. Volumes I, II e III. Porto Alegre: IPH – UFRGS, 1998.

Jin, K.R. & Ji, Z.G., (2001). Calibration and verification of a spectral wind - wave model for Lake Okeechobee. *Ocean Engineering*, 28: 571-584

Lin, W., Sanford, L.P., Alleva, B.J. & Schwab, D.J. (1998). Surface wind wave modeling in Chesapeake Bay. In: International conference on ocean wave measurement and analysis, 3, 1998, Virginia. Anais... Virginia, v.1, p. 1048-1062.

Lopes, F. F. Monitoramento ambiental da bacia hidrográfica do Lago Guaíba – RS – Brasil, através da utilização de diferentes metodologias aplicadas a taxocenoses de peixes. Tese de doutorado em Biologia Animal. Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006.

Mansur, M. C. D.; Santos, C. P.; Darrigan, G.; Heydrich, I.; Callil, C. T.; Cardoso, F. R. Primeiros dados qualitativos do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. *Revista brasileira de Zoologia*, v. 20, n. 1, p. 75-84, 2003.

Marques, M. (2013). Modelagem paramétrica bidimensional para simulação de ondas em águas continentais. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

Ministério do Meio Ambiente (2006). Biodiversidade: Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazaís de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul. Brasília: MMA / SBF, 388 p.

Nicolodi, J. L., Toldo Jr, E. E., Farina, L. (2010). Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. Pesquisas em Geociências, 37 (1): 25-39, jan./abr. 2010.

Nicolodi, J.L. (2007). O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação. Porto Alegre, 179p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Nunes, P.L. (2002). O modelo SWAN como ferramenta na análise e previsão de ondas. 46p. Monografia de Conclusão. Departamento de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Ou, S.H., Liau, J.M., Hsu, T.W. & Tzang, S.Y., (2002). Simulating typhoon waves by SWAN wave Model in coastal waters of Taiwan. Ocean Engineerin, 29: 947-971.

Piedras, S. R. N; Santos, J. D.; Fernandes, J. M.; Tavares, R. A.; Souza, D. M.; Pouey, J. L. O. F. (2012). Caracterização da atividade pesqueira na Lagoa Mirim, Rio Grande do Sul – Brasil. R. Bras. Agrociência, Pelotas, v.18 n. 2-4, p.107-116 , abr-jun, 2012.

Pires-Silva, A.A., Makarynskyy, O., Monbaliu, J., Ventura-Soares, C. & Coelho, E. (2002). Wam/Swan Simulations in an Open Coast: Comparisons with ADCP Measurements. Littoral, The Changing Coast.EUROCOAST/EUCC, Porto Portugal Ed. EUROCOAST - Portugal.

Ris, R.C., Booij, N. & Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. Part II:Verification. Journal of Geographic Research, 104 (C4): 7667-7682.

Rogers, W.E., Hwang, P.A. & Wang, D.W. (2003). Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional-scale applications. Journal of Physical Oceanography, 33: 366-389.

Rusu, E., Ventura Soares, C., Pires Silva, A. Pinto, J.P. & Makarynskyy, O. (2002). Near Real Time Assessment of the Wave Propagation in the Coastal Environment of Portugal. Littoral 2002, The Changing Coast.

Santos, I. R.; Niencheki, F. Burnett, W.; Peterson, R.; Chanton, J.; Andrade, C.

F. F.; Milani, I. B.; Schmidt, A.; Knoeller, K. (2008). Tracing anthropogenically driven groundwater discharge into a coastal lagoon from southern Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 353, p. 275–293. Fev. 2008.

Shan-Hwei, O., Jian-Ming L., Hsu, T.W. & Shiao-Yih T. (2002). Simulating typhoon waves by SWAN wave model in coastal waters of Taiwan. *Ocean Engineering*, 29: 947-971.

The WAMDI Group, (1988). The WAM model – a third generation ocean wave prediction model. *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810.

Toldo Jr., E.E. (1994). Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepara e zona de surfe do sistema lagoas da Lagoa dos Patos, RS. Porto Alegre. 178 p. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S. & Almeida, L.E.S.B. (2000). Holocene Sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(3): 816-822.

Tolman, H. L., (1991). A third-generation model for wind on slowly varying unsteady and inhomogeneous depths and currents, *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 782-797.

Tolman, H.L. (1997). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA / NWS /NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp.

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

Villaneva, A. O. N. (1997) Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125p.

Smith, N. P., (1994). Water, salt and heat balance of coastal lagoons. In B. Kjerfve (ed.), *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanography Studies, 60:69-101.

Wood, D.J., Muttray, M. & Oumeraci, H., (2001). The SWAN model used to study wave evolution in a flume. *Ocean Engineering*, 28: 805-823.

Zijlema, M. & van der Westhuysen, A.J. (2005). On convergence behaviour and numerical accuracy in stationary SWAN simulations of nearshore wind wave spectra. *Coastal Engineering*, 52: 237-256.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ábaco 1
Ação 9, 13, 15, 26, 26
Adimensionais 23, 24
Águas 13, 15, 16-20, 23, 24, 30, 112, 114
Águas continentais 18, 20
Águas interiores 15, 16, 20
Águas oceânicas 15, 16, 19, 23
Águas profundas 23
Alcance do vento 15
Altura da onda 13, 20, 23
Ambiente 13, 15, 18, 21, 25, 114, 115, 121
Análise 19, 23, 112, 115
Ângulo 16, 17, 20, 21
Ano 14, 19
Aplicações 15
Área 15-17, 20, 23, 28, 29, 31, 116, 121
Atingida 24
Atmosféricas 15
Atrito 13
Avanço 19

B

Barlavento 21
Bidimensional 9, 14, 25, 112, 114

C

Campo 9, 11, 12, 14, 20, 22, 25, 36, 40, 44, 48, 56, 60, 64, 68, 76, 80, 84, 88, 96, 100, 104, 108, 112, 112
Campo de vento 22, 25
Campos de fetch 14
Campos de onda 11, 12, 14, 36,

40, 44, 48, 56, 60, 64, 68, 76, 80, 84, 88, 96, 100, 104, 108

Canais 23, 116
Cartas sinóticas 15
Ciência 15, 121
Classificação 18, 23, 30
Coeficiente 24
Comparação 25
Complexo 9, 11, 14, 26-31
Comprimento 9, 15-17, 21, 23, 27, 28, 30
Computacional 9, 11, 14, 20, 21-25
Computador 13, 20
Conceito 15, 25
Conclusões 12, 112
Conjunto 9, 21, 26, 28
Constante 15
Contato 13, 15, 17, 18, 20
Continentais 9, 13, 15, 17, 18, 20, 112, 114
Controverso 15
Corpo 9, 13-15, 17, 18, 21, 22, 24-26
Corpo hídrico 9, 13
Cosseno 16, 17
Costa 9, 11, 14, 26-31
Costeira 13, 26, 113, 115

D

Dados 21, 25, 114
Definição 15, 25
Dendrítico 15, 20
Determinação 13-16, 20, 112
Dimensão 15, 16
Direção 13, 15-17, 21, 22, 26, 30

- Distância 15, 21
- Divisa 9
- Duração 18, 23-25
- E**
 - Efeito 15, 23, 30
 - Energia 13, 17-20, 114
 - Equação 13, 19, 22-25
 - Escala 19, 25
 - Espacial 13, 25
 - Espelho 13, 20, 30
 - Estado 9, 20, 27, 28, 30, 115
 - Estratificação 13, 26
 - Estrutura 11, 20-22, 113
 - EUA 25
- F**
 - Fenômeno 9, 13, 17, 112
 - Fetch 9, 11, 12, 14-17, 20-25, 32, 52, 72, 92, 112
 - Fetch efetivo 16, 17
 - Figura 16-18, 21, 22, 26-29, 31
 - Física 14, 19, 25
 - Frente 15
 - Frequência 18
 - Fundo 13
- G**
 - Gases 13
 - Geoprocessamento 24, 121
 - Gerada 13, 15, 17, 18, 20, 25
 - Grande 9, 13, 15, 19, 20, 25, 27, 28-30, 113-116, 121
 - Grau 21, 22
 - Guaíba 9, 11, 26-28, 52, 114, 115
 - Guerra mundial 13, 19
- H**
 - Hídrico 9, 13, 114, 121
 - Hidrodinâmica 13
- I**
 - Inferior 20, 23
 - Influência 13, 15, 17, 23, 112, 115
 - Início 15
 - Intensidade 9, 11-13, 15, 18, 23, 36, 40, 44, 48, 56, 60, 64, 68, 76, 80, 84, 88, 96, 100, 104, 108
 - Interiores 16, 20
 - Itaipu 25
- L**
 - Lago guaíba 27, 28, 114, 115
 - Lagoa 9, 11, 12, 22, 26, 27, 29-32, 72, 92, 113-116
 - Lagoa da mangueira 11, 12, 30, 92, 113
 - Lagoa dos patos 11, 27, 29, 32, 116
 - Lagoa mirim 9, 11, 12, 26, 29, 30, 72, 113
 - Laguna 9, 11, 14, 26-31, 114, 116
 - Largura 15, 23, 27-29
 - Liberação 13
 - Limitada 24, 29
 - Limite 21, 24, 25, 29, 30
 - Linear 16, 23
 - Linha 16, 21, 22, 24-26
 - Líquidos 13
 - Livre 13, 15, 17, 21
 - Localizado 9
- M**
 - Mangueira 9, 11, 12, 25, 26, 30, 31, 92, 113
 - Mapa 9, 21, 112
 - Margens 11, 13, 15, 17, 20, 24
 - Método 9, 11, 14, 16-24, 112, 114
 - Mirim 9, 11, 12, 26, 27, 29, 30, 72, 113-115
 - Modelagem 9, 13, 14, 24, 25, 112,

114

Modelo computacional 11, 20-25

Modelo numérico 14, 25

Modelos paramétricos 13

Morfologia 13

MPB 14

N

Naturais 13, 30, 113

Numérica 9, 116

O

Objeto 21, 23, 24

Onda 11, 12-14, 16-20, 23, 24, 36, 40, 44, 48, 56, 60, 64, 68, 76, 80, 84, 88, 96, 100, 104, 108

ONDACAD 9, 11, 20, 21-25, 112

P

Paramétrica 13, 14, 21, 22, 25, 112, 114

Patos 9, 11, 22, 26, 27, 29, 30, 32, 114, 116

Perturbações 13

Presente 9, 18, 25, 112

Previsão 13, 15, 18, 19, 23, 115

Processamento 14, 22, 25

Processos físicos 13

Profundidade 18, 23, 26-28, 30

Progressivas 11, 18, 19

Propaga 13, 23, 115

R

Resultados 9, 11, 14, 16, 25, 32

Rio Grande do Sul 9, 113, 115

S

Saville 15-17, 20-23

Sedimentos 13

Simulação 14, 15, 25, 112, 114, 116

SMB 9, 11, 19, 22-24

Sólido 13

Superfície 13, 15-18, 20-23, 25, 27, 29, 30, 113

Swan 25, 113-116

T

Técnica 9, 14, 25, 112

Tempo 14, 19, 30

Tensões 13

Teoria 20, 23

Termos 19, 23, 24, 29

Trabalho 9, 18-21, 25, 112, 121

Transferência 13, 19, 20

Transporte 13, 113

U

Uniforme 9, 17, 22, 25

Uruguai 9, 29, 113

V

Variabilidade 13

Variáveis 14, 21, 112

Vento 9, 11-13, 15-18, 20-23, 25, 26, 30, 36, 40, 44, 48, 56, 60, 64, 68, 76, 80, 84, 88, 96, 100, 104, 108, 112

SOBRE OS ORGANIZADORES

Marcelo Marques

É Professor da Universidade Estadual de Maringá, doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná e mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela UNESP, campus de Ilha Solteira, realizando o estágio de docência e parte das atividades de mestrado na COPPE-UFRJ. Especialista em hidráulica pela Universidad Internacional de Andalucia (UNIA), Espanha e especialista em Geoprocessamento pela UEM. Graduado em Engenharia Civil pela UEM. Coordena o Núcleo de Pesquisa em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (NUPEHIDRO). Atua nas grandes áreas de Engenharia, Ciências Exatas e da Terra e Multidisciplinar. Conheça mais sobre os trabalhos desenvolvidos acessando: www.marcelomarques.com

Elaine Patricia Arantes

Professora da Universidade Estadual de Maringá (UEM) desde 2012, doutora em Análise Regional e Ambiental pela UEM e mestre em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela UNESP. Graduada em Engenharia Civil pela UEM. Integra o Núcleo de Pesquisa em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (NUPEHIDRO). Atua nas áreas de Engenharia de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental na simulação de fenômenos gerados pelo vento em lagos e reservatórios.



Atlas Hidrodinâmico do Complexo Lagunar Costa Doce

www.bookerfield.com



contato@bookerfield.com



[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield)



Bookerfield Editora





Atlas Hidrodinâmico do Complexo Lagunar Costa Doce

www.bookerfield.com



contato@bookerfield.com



[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield)



Bookerfield Editora



ISBN 978-658992936-9



9

786589

929369