UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL

SAMUEL HORA YANG

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E DA DISPERSÃO DE PLUMAS DE EFLUENTES NA REGIÃO COSTEIRA CENTRO-SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO COM USO DA MODELAGEM NUMÉRICA

SÃO PAULO
2016

SAMUEL HORA YANG

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E DA DISPERSÃO DE PLUMAS DE EFLUENTES NA REGIÃO COSTEIRA CENTRO-SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO COM USO DA MODELAGEM NUMÉRICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joseph Harari
Co-orientadora: Prof.ª Dr.ª Elisabete de Santis Braga

Versão Corrigida
(Versão Original disponível na Biblioteca do Instituto de Energia e Ambiente e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Yang, Samuel Hora.

Análise das condições ambientais e da dispersão de plumas de efluentes na região costeira centro-sul do Estado de São Paulo com uso da modelagem numérica. / Samuel Hora Yang; orientador: Joseph Harari. – São Paulo, 2016.

299f. : il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Poluição do mar. 2. Emissários submarinos. 3. Proteção ambiental. 4. Modelos numéricos de circulação. 5. Qualidade da água. I. Título.

Nome: YANG, Samuel Hora.

Título: Análise das condições ambientais e da dispersão de plumas de efluentes na região costeira centro-sul do Estado de São Paulo com uso da modelagem numérica.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Presidente Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Esta Dissertação é dedicada para toda a minha família, em especial, ao meu avô paterno Yang Chih Cheng (楊志正), e à minha tia Aparecida da Hora, que foram morar no céu em 2014, quando esta pesquisa ainda estava sendo iniciada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por sempre estar ao meu lado me abençoando, me dando saúde e iluminando o meu caminho.

A minha família: ao meu pai, Yang Tze Huei (楊次暉), e à minha mãe Edna da Hora Yang, as pessoas mais maravilhosas do mundo, sempre me dando muito carinho, me apoiando, me encorajando e me incentivando para enfrentar os desafios da minha vida, e principalmente por estarem sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis. Muitíssimo obrigado, do fundo do meu coração, por tudo o que vocês fizeram por mim! Com certeza tudo o que sou hoje eu devo a vocês, e com certeza eu não teria conseguido chegar até aqui sem vocês! Amo vocês dois acima de qualquer coisa neste mundo! E também aos meus demais familiares: meu avô paterno Yang Chih Cheng (楊志正), que foi morar no céu e deixou muitas saudades; meus avós maternos Manoel da Hora e Patrocínia da Hora, pessoas maravilhosas que amo e admiro muito; e também aos meus tios e primos.

Ao meu orientador, Professor Joseph Harari, pela oportunidade de me orientar nesta Dissertação de Mestrado, pelos ensinamentos, pela atenção, pela paciência e por ter acreditado em mim para a realização deste trabalho; e também à minha co-orientadora, Professora Elisabete de Santis Braga, pela atenção e colaboração neste trabalho.

Ao Edward Brambilla Marcellino, engenheiro hidráulico da SABESP, pela atenção e pelo fornecimento de informações e relatórios essenciais para a realização deste trabalho.

Aos professores que estiveram presentes durante as disciplinas realizadas que realizei no Mestrado, que contribuíram muito com seus ensinamentos: Professores Pedro Jacobi, Silvia Helena Zanirato e Paolo Alfredini; e também aos Professores Paulo Sinisgalli, Marcos Tonelli e Rosalinda Montone, pela participação como membros da banca do meu Exame de Qualificação e como membros da banca de minha Defesa, o que contribuiu muito para esta Dissertação.

Aos membros do Laboratório de Simulação e Previsão Hidrodinâmica (LABSIP), local que tem sido a minha segunda casa nestes últimos cinco anos: Fernando Ferreira, Adelite Floriano e Silvana Batista, pela amizade, pela troca de conhecimentos e pelo grande auxílio no aprendizado dos modelos numéricos; para Ana Maria de Souza, Joselene Marques, Giuliana Lukine, Octávio Ambrósio, Celina Honório e Lucas Garcez, pela amizade e pelos bons e divertidos momentos de descontração; e para a secretária do laboratório Vanilde de Oliveira, pela amizade e pelas recepções sempre muito bem humoradas todos os dias, até a sua aposentadoria.

Aos colegas que conheci durante esta longa jornada, pela troca de experiências entre diferentes áreas de atuação, companheirismo e bons momentos: ao mestrando do Instituto de Energia e Ambiente pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM) e meu colega de seminários em grupo, Peter Németh; aos alunos de Pós-Graduação do Instituto Oceanográfico, os mestrandos Caiuá Peres, Carolina Olpe e Bruna Garcia, e as doutorandas Julia Reid e Lilian Seiler; e aos alunos franceses que realizaram período sanduíche na Universidade de São Paulo durante a realização de meu Mestrado, a geógrafa Solen Le Clec'h e o oceanógrafo Mathis Cognat.

Aos funcionários das bibliotecas e das secretarias de pós-graduação do Instituto de Energia e Ambiente e do Instituto Oceanográfico. E também às funcionárias do Laboratório Centro de Calibração, Maria de Lourdes Bastianello e Vera Marques; e para os técnicos de informática, Eder Sanchez e Ricardo Yamagutti.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de uma bolsa financiadora para a realização da minha Dissertação de Mestrado.

Meus sinceros agradecimentos,

Samuel Hora Yang

楊時誠

必勝的信念，成功的慾望，衝動達到你的全部潛力...這些都將開門個人卓越的關鍵。

– 孔子

A vontade de vencer, o desejo de ter sucesso, o desejo de atingir seu pleno potencial... estas são as chaves que irão desbloquear a porta para a excelência pessoal.

– Confúcio

RESUMO

YANG, S. H. **Análise das condições ambientais e da dispersão de plumas de efluentes na região costeira centro-sul do Estado de São Paulo com uso da modelagem numérica**. 2016. 299f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM) – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE USP), São Paulo (SP), 2016.

A região de estudo está localizada no litoral centro do Estado de São Paulo, engloba a área de proteção ambiental do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos, e sofre a influência de três emissários submarinos e de lançamentos de esgotos pelo Rio Itanhaém. O objetivo deste trabalho foi o de analisar as condições ambientais e a dispersão das plumas de efluentes emitidas pelos emissários submarinos de Praia Grande e do Rio Itanhaém, quanto à concentração de potenciais poluentes, por meio de modelagem numérica. Objetivos secundários compreendem o interesse no conhecimento das variabilidades espaço-temporais da hidrodinâmica costeira e dos processos de dispersão das plumas de efluentes, através de simulações numéricas, incluindo a avaliação dos resultados de concentrações de indicadores de qualidade da água diante dos níveis máximos estabelecidos pelas Resoluções N.º 274/2000 e N.º 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Para tanto, foram utilizados os módulos hidrodinâmico e de qualidade da água do modelo *Delft3D*, bem como o modelo *Visual Plumes*. Os resultados das simulações hidrodinâmicas foram concordantes com as feições hidrodinâmicas estabelecidas na literatura e foram validados com alto grau de confiabilidade. A modelagem de campo próximo mostrou a influência das correntes de maré e das correntes geradas pelo vento no transporte e na diluição inicial das plumas de efluentes dos emissários submarinos, onde o transporte por correntes geradas pelo vento permitiu uma diluição mais eficiente. Os resultados da modelagem de campo distante das plumas dos emissários submarinos e do Rio Itanhaém indicaram que estas plumas não afetam a qualidade da água do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos; e que a concentração dos indicadores de qualidade da água selecionados (*Escherichia coli*, amônio, nitrato e fosfato) não ultrapassa os limites máximos estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente ao atingir o litoral. Uma vez que a literatura aponta que as praias locais são frequentemente classificadas com balneabilidade imprópria e com má qualidade da água, os córregos que despejam esgoto bruto e não tratado diretamente nas praias podem ser apontados como os responsáveis pela contaminação ambiental do litoral da região de estudo. O modelo de qualidade da água foi validado, apesar de algumas diferenças nas comparações entre seus resultados e amostragens *in situ*. Foi observado que a região de estudo necessita de mais investimentos em saneamento básico e maior conscientização da população para combater a poluição ambiental local, especialmente o despejo de esgotos em córregos e praias.

Palavras-chave: Poluição marinha, emissário submarino, esgoto, modelagem numérica, qualidade da água, *Delft3D*.

ABSTRACT

YANG, S. H. **Analysis of environmental conditions and the dispersion of effluent plumes in the south-central coastal region of São Paulo State using numerical modeling**. 2016. 299f. Dissertation (Master's Degree in Environmental Science) – Graduate Program in Environmental Science (PROCAM) – Institute of Energy and Environment of University of São Paulo (IEE USP), São Paulo (SP), 2016.

The study region is located in the central coast of São Paulo, encompasses the area of environmental protection of Laje de Santos Marine State Park, and is influenced by three outfalls and sewage releases by Itanhaém River. The objective of this study was to analyze the environmental conditions and the dispersion of effluent plumes emitted by Praia Grande's submarine outfalls and Itanhaém River, concerning the concentration of potential pollutants, through numerical modeling. Secondary objectives are related to interest in the knowledge of the spatial-temporal variability of coastal hydrodynamics and processes of effluent plumes dispersion, through numerical simulations, including the evaluation of water quality indicators' concentrations results as compared to the maximum levels established by the National Environmental Council Resolutions N.º 274/2000 and N.º 357/2005. For that, *Delft3D* model's hydrodynamic and water quality modules were used, as well as the *Visual Plumes* model. Results of hydrodynamic simulations were consistent with the hydrodynamics features established in the literature and have been validated with a high degree of reliability. The near-field modeling showed the influence of tidal currents and wind-driven currents in the transport and initial dilution of effluent plumes from the submarine outfalls, where transport by wind-driven currents allowed a more efficient dilution. The far-field modeling results of the plumes from the submarine outfalls and Itanhaém River showed that those plumes don't affect the water quality of Laje de Santos Marine State Park; and the selected water quality indicators' concentrations (*Escherichia coli*, ammonium, nitrate and phosphate) do not exceed the maximum levels established by the National Environmental Council when reaching the shore. Once the literature indicates that the local beaches are often classified as inappropriate for bathing and with bad water quality, streams that dump raw and untreated sewage directly on the beaches can be identified as the responsible for the environmental contamination of the study area's shore. The water quality model was validated, despite some differences in the comparisons between its results and *in situ* sampling. It was observed that the study area needs more investments in basic sanitation and greater awareness of the population to tackle local environmental pollution, especially the dumping of sewage into streams and beaches.

Keywords: Marine pollution, submarine outfall, sewage, numerical modeling, water quality, *Delft3D*.

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1 – Representação das zonas de mistura de um efluente marinho, e escalas espaço-temporais envolvidas..... 45

Figura 2 – Mapa do litoral do Estado de São Paulo, com destaque para a localização das cidades integrantes da região de estudo..... 47

Figura 3 – Zoneamento da Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro..... 51

Figura 4 – Grade C de Arakawa..... 54

Figura 5 – Localização geográfica da grade computacional na região de estudo..... 55

Figura 6 – Grade computacional criada para as simulações hidrodinâmicas no D3D..... 55

Figura 7 – Batimetria da região de estudo interpolada no D3D (valores em metros)..... 59

Figura 8 – Localização dos pontos de descarga dos emissários PG1, PG2 e PG3.... 63

Figura 9 – Localização do Rio Itanhaém e sua foz..... 64

Figura 10 – Localização das radiais e pontos de monitoramento no D3D-FLOW... 70

Figura 11 – Localização dos pontos do D3D-FLOW e do POM / MASTER, usados para a validação do modelo hidrodinâmico..... 73

Figura 12 – Localização dos pontos de monitoramento no D3D-WAQ..... 84

Figura 13 – Localização dos pontos do D3D-WAQ e da SABESP, usados na validação..... 87

Figura 14 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 89

Figura 15 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 89

Figura 16 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 92

Figura 17 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 92

Página

Figura 18 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 93

Figura 19 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 93

Figura 20 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 95

Figura 21 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 95

Figura 22 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 98

Figura 23 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 98

Figura 24 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 99

Figura 25 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 99

Figura 26 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 101

Figura 27 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 101

Figura 28 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 104

Figura 29 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 104

Página

Figura 30 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 105

Figura 31 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 105

Figura 32 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 107

Figura 33 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 107

Figura 34 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 109

Figura 35 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 109

Figura 36 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 111

Figura 37 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 111

Figura 38 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 114

Figura 39 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 114

Figura 40 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 115

Figura 41 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 115

Página

Figura 42 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 117

Figura 43 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 117

Figura 44 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 119

Figura 45 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 119

Figura 46 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 121

Figura 47 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 121

Figura 48 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 124

Figura 49 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 124

Figura 50 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 125

Figura 51 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 125

Figura 52 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 127

Figura 53 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 127

Página

Figura 54 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 130

Figura 55 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 130

Figura 56 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 131

Figura 57 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 131

Figura 58 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 133

Figura 59 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 133

Figura 60 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 136

Figura 61 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 136

Figura 62 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 137

Figura 63 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 137

Figura 64 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 139

Figura 65 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012..... 139

Página

Figura 66 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 142

Figura 67 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 142

Figura 68 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 143

Figura 69 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 143

Figura 70 – Comparação de séries temporais de elevação das marés entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 2D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em fevereiro de 2012..... 145

Figura 71 – Comparação de séries temporais de elevação das marés entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 2D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em agosto de 2012..... 146

Figura 72 – Comparação de séries temporais de nível do mar entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 3D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em fevereiro de 2012..... 147

Figura 73 – Comparação de séries temporais de nível do mar entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 3D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em agosto de 2012..... 148

Figura 74 – Histogramas angulares de diluição e distância percorrida das plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em fevereiro de 2012..... 150

Figura 75 – Histogramas angulares da concentração de *E. coli* e de amônio nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em fevereiro de 2012..... 151

Figura 76 – Histogramas angulares da concentração de nitrato e fosfato nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em fevereiro de 2012..... 152

Figura 77 – Histogramas angulares de diluição e distância percorrida das plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em agosto de 2012..... 155

Página

Figura 78 – Histogramas angulares da concentração de *E. coli* e de amônio nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em agosto de 2012..... 156

Figura 79 – Histogramas angulares da concentração de nitrato e de fosfato nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em agosto de 2012..... 157

Figura 80 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 160

Figura 81 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 160

Figura 82 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 161

Figura 83 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 161

Figura 84 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 163

Figura 85 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 163

Figura 86 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 165

Figura 87 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 165

Figura 88 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 166

Figura 89 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012..... 166

Figura 90 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 168

Figura 91 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 168

Figura 92 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 170

Figura 93 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 170

Página

Figura 94 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 171

Figura 95 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 171

Figura 96 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012..... 173

Figura 97 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012..... 173

Figura 98 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 175

Figura 99 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 175

Figura 100 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 176

Figura 101 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 176

Figura 102 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012..... 178

Figura 103 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012..... 178

Figura 104 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 180

Figura 105 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 180

Figura 106 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 181

Figura 107 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 181

Figura 108 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 183

Figura 109 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 183

Página

Figura 110 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 185

Figura 111 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 185

Figura 112 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 186

Figura 113 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 186

Figura 114 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 188

Figura 115 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 188

Figura 116 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 190

Figura 117 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 190

Figura 118 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 191

Figura 119 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 191

Figura 120 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.. 193

Figura 121 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.. 193

Figura 122 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 195

Figura 123 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 195

Figura 124 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 196

Figura 125 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 196

Página

Figura 126 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012..... 198

Figura 127 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012..... 198

Figura 128 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 200

Figura 129 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 200

Figura 130 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 201

Figura 131 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 201

Figura 132 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 203

Figura 133 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 203

Figura 134 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 205

Figura 135 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 205

Figura 136 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 206

Figura 137 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 206

Figura 138 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 208

Figura 139 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 208

Figura 140 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 210

Figura 141 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 210

Página

Figura 142 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 211

Figura 143 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 211

Figura 144 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012..... 213

Figura 145 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012..... 213

Figura 146 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 215

Figura 147 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 215

Figura 148 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 216

Figura 149 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 216

Figura 150 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012..... 218

Figura 151 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012..... 218

Figura 152 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 220

Figura 153 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 220

Figura 154 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 221

Figura 155 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 221

Figura 156 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 223

Figura 157 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 223

Página

Figura 158 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 225

Figura 159 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 225

Figura 160 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 226

Figura 161 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012..... 226

Figura 162 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012..... 228

Figura 163 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012..... 228

Figura 164 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 230

Figura 165 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 230

Figura 166 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 231

Figura 167 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 231

Figura 168 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012..... 233

Figura 169 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012..... 233

Figura 170 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 235

Figura 171 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 235

Figura 172 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 236

Figura 173 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012..... 236

Página

Figura 174 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012..... 238

Figura 175 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012..... 238

Figura 176 – Série temporal de *E. coli*, na superfície, no ponto LDS_02, no mês de agosto de 2012..... 260

Figura 177 – Distribuição da pluma de *E. coli*, na superfície, no período do valor máximo no ponto LDS_P02, em agosto de 2012..... 260

Figura 178 – Série temporal de *E. coli*, no fundo, no ponto LDS_02, no mês de agosto de 2012..... 261

Figura 179 – Distribuição das plumas de *E. coli*, no fundo, no período do valor máximo no ponto LDS_P02, em agosto de 2012..... 261

Figura 180 – Séries temporais das taxas de mortalidade máxima (total, por radiação solar, natural, por clorinidade e por temperatura) de *E. coli*, durante os meses de fevereiro e agosto de 2012..... 262

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 – Componentes de maré consideradas pelo DDB, com base no TPXO..... 57

Tabela 2 – Limites da Resolução CONAMA N.º 274/2000 para *Escherichia coli*.. 60

Tabela 3 – Limites da Resolução CONAMA N.º 357/2005 para NH_4^+, NO_3^- e PO_4^{3-}..... 60

Tabela 4 – Valores iniciais usados na caracterização dos efluentes dos emissários submarinos de Praia Grande..... 61

Tabela 5 – Informações técnicas dos emissários submarinos de Praia Grande..... 62

Tabela 6 – Valores iniciais usados na caracterização dos efluentes da foz do Rio Itanhaém..... 64

Tabela 7 – Coordenadas e profundidades dos pontos de monitoramento no D3D-FLOW..... 69

Tabela 8 – Pontos do D3D-FLOW e do POM / MASTER para validação..... 72

Tabela 9 – Classificação da qualidade dos resultados do modelo, segundo os valores de *RMAE*..... 74

Tabela 10 – Taxas sazonais médias do decaimento T_{90} de *E. coli* usadas no UM3, em horas..... 78

Tabela 11 – Taxas de decaimento de NH_4^+, NO_3^- e PO_4^{3-} usadas no UM3, em d^{-1}.. 79

Tabela 12 – Processos e parâmetros considerados na modelagem de campo distante..... 81

Tabela 13 – Coordenadas e profundidades dos pontos de monitoramento do D3D-WAQ..... 83

Tabela 14 – Pontos do D3D-WAQ e da SABESP, usados na validação..... 86

Tabela 15 – Estatísticas de elevação da superfície (m), segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 90

Tabela 16 – Estatísticas das correntes médias na vertical (m/s), segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 91

Tabela 17 – Estatísticas de elevação da superfície (m), segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 96

Tabela 18 – Estatísticas das correntes médias na vertical (m/s), segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 97

Página

Tabela 19 – Estatísticas de elevação da superfície (m), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 102

Tabela 20 – Estatísticas da intensidade de correntes na superfície (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 103

Tabela 21 – Estatísticas da intensidade de correntes no fundo (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 108

Tabela 22 – Estatísticas de elevação da superfície (m), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 112

Tabela 23 – Estatísticas da intensidade de correntes na superfície (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 113

Tabela 24 – Estatísticas da intensidade de correntes no fundo (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 118

Tabela 25 – Estatísticas da temperatura na superfície (ºC), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 122

Tabela 26 – Estatísticas da salinidade na superfície (PSU), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 123

Tabela 27 – Estatísticas da temperatura no fundo (ºC), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 128

Tabela 28 – Estatísticas da salinidade no fundo (PSU), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 129

Tabela 29 – Estatísticas da temperatura na superfície (ºC), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 134

Tabela 30 – Estatísticas da salinidade na superfície (PSU), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 135

Tabela 31 – Estatísticas da temperatura no fundo (ºC), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 140

Tabela 32 – Estatísticas da salinidade no fundo (PSU), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 141

Tabela 33 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 2D, para elevação das marés, em fevereiro de 2012..... 145

Tabela 34 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 2D, para elevação das marés, em agosto de 2012..... 146

Página

Tabela 35 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 3D, para nível do mar, em fevereiro de 2012..... 147

Tabela 36 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 3D, para nível do mar, em agosto de 2012..... 148

Tabela 37 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG1, em fevereiro de 2012..... 153

Tabela 38 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG2, em fevereiro de 2012..... 153

Tabela 39 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG3, em fevereiro de 2012..... 153

Tabela 40 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG1, em agosto de 2012..... 158

Tabela 41 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG2, em agosto de 2012..... 158

Tabela 42 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG3, em agosto de 2012..... 158

Tabela 43 – Estatísticas de *E. coli* na superfície (NMP/100mL), em fevereiro de 2012..... 162

Tabela 44 – Estatísticas de *E. coli* no fundo (NMP/100mL), em fevereiro de 2012..... 167

Tabela 45 – Estatísticas de *E. coli* na superfície (NMP/100mL), em agosto de 2012..... 172

Tabela 46 – Estatísticas de *E. coli* no fundo (NMP/100mL), em agosto de 2012..... 177

Tabela 47 – Estatísticas de amônio na superfície (mg N/L), em fevereiro de 2012..... 182

Tabela 48 – Estatísticas de amônio no fundo (mg N/L), em fevereiro de 2012..... 187

Tabela 49 – Estatísticas de amônio na superfície (mg N/L), em agosto de 2012..... 192

Tabela 50 – Estatísticas de amônio no fundo (mg N/L), em agosto de 2012..... 197

Página

Tabela 51 – Estatísticas de nitrato na superfície (mg N/L), em fevereiro de 2012..... 202

Tabela 52 – Estatísticas de nitrato no fundo (mg N/L), em fevereiro de 2012..... 207

Tabela 53 – Estatísticas de nitrato na superfície (mg N/L), em agosto de 2012..... 212

Tabela 54 – Estatísticas de nitrato no fundo (mg N/L), em agosto de 2012..... 217

Tabela 55 – Estatísticas de fosfato na superfície (mg P/L), em fevereiro de 2012..... 222

Tabela 56 – Estatísticas de fosfato no fundo (mg P/L), em fevereiro de 2012..... 227

Tabela 57 – Estatísticas de fosfato na superfície (mg P/L), em agosto de 2012..... 232

Tabela 58 – Estatísticas de fosfato no fundo (mg P/L), em agosto de 2012..... 237

Tabela 59 – Resultados da validação qualitativa de *E. coli*, em fevereiro de 2012..... 239

Tabela 60 – Resultados da validação qualitativa de *E. coli*, em agosto de 2012..... 239

Tabela 61 – Resultados da validação qualitativa de amônio, em fevereiro de 2012..... 240

Tabela 62 – Resultados da validação qualitativa de amônio, em agosto de 2012..... 240

Tabela 63 – Resultados da validação qualitativa de nitrato, em fevereiro de 2012..... 241

Tabela 64 – Resultados da validação qualitativa de nitrato, em agosto de 2012..... 241

Tabela 65 – Resultados da validação qualitativa de fosfato, em fevereiro de 2012..... 242

Tabela 66 – Resultados da validação qualitativa de fosfato, em agosto de 2012..... 242

Página

Tabela 67 – Porcentagem de tempo de balneabilidade da praia considerada própria quanto à concentração de *Escherichia coli*, segundo resultados do D3D-WAQ e da CETESB, em 2012..... 258

Tabela 68 – Resumo da validação qualitativa do D3D-WAQ, para cada indicador de qualidade da água considerado nas simulações..... 270

Tabela A1 – Valores médios mensais de temperatura (ºC), salinidade (PSU) e vazão (m^3/s) usados para a foz do Rio Itanhaém, nas simulações hidrodinâmicas 3D..... 287

Tabela B1 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 288

Tabela B2 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012..... 289

Tabela B3 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 290

Tabela B4 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012..... 291

Tabela C1 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 292

Tabela C2 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 293

Tabela C3 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 294

Tabela C4 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012..... 295

Tabela C5 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 296

Tabela C6 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 297

Tabela C7 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 298

Tabela C8 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012..... 299

LISTA DE EQUAÇÕES

Página

{1} – Equação do movimento na direção *x*..... 66

{2} – Equação do movimento na direção *y*..... 66

{3} – Equação da relação hidrostática..... 66

{4} – Equação da continuidade..... 66

{5} – Equação de difusão de temperatura..... 66

{6} – Equação de difusão de salinidade..... 66

{7} – Equação do erro absoluto médio relativo..... 74

{8} – Equação do erro estatístico médio absoluto..... 74

{9} – Equação da raiz do erro quadrático médio..... 75

{10} – Equação do *Range* médio observado..... 75

{11} – Equação do coeficiente Skill..... 75

{12} – Equação do índice de concordância..... 76

{13} – Equação da covariância entre as séries comparadas..... 76

{14} – Equação do coeficiente de correlação de Pearson..... 76

{15} – Equação do coeficiente R^2..... 76

{16} – Equação de conservação de massa..... 77

{17} – Equação de conservação de *momentum* horizontal..... 77

{18} – Equação de conservação de energia..... 77

{19} – Equação de conservação de salinidade..... 77

{20} – Equação do decaimento..... 77

{21} – Equação da advecção-difusão-decaimento..... 80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de proteção ambiental
APAMLC	Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORMIX	*Cornell Mixing Zone*
D3D	*Delft3D*
D3D-FLOW	*Delft 3D – Flow Module*
D3D-WAQ	*Delft 3D – Water Quality Module*
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DDB	*Delft DashBoard*
DELTARES	*Nederland Instituut voor Nationale en Internationale Delta Vraagstukken*
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
E. coli	*Escherichia coli*
GMT	*Greenwich Mean Time*
IAGUSP	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOUSP	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
LABSIP	Laboratório de Simulação e Previsão Numérica Hidrodinâmica
MASTER	Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais
MATLAB	*Matrix Laboratory*

NCAR	*National Center for Atmospheric Research*
NCEP	*National Center for Environmental Prediction*
NH_4^+	Amônio
NO_3^-	Nitrato
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration*
PEMLS	Parque Estadual Marinho da Laje de Santos
PG1	Emissário Submarino de Praia Grande – Subsistema 1
PG2	Emissário Submarino de Praia Grande – Subsistema 2
PG3	Emissário Submarino de Praia Grande – Subsistema 3
PO_4^{3-}	Fosfato
POM	*Princeton Ocean Model*
RMA-11	*Resource Modelling Associates – Module 11*
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIG	Sistema de informação geográfica
SUS	Sistema Único de Saúde
TPXO	*Oregon State University TOPEX/Poseidon Global Inverse Solution*
UC	Unidade de conservação
UM3	*Three Dimensional Updated Merge*
UNESCO	*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
VP	*Visual Plumes*
WQMAP	*Water Quality Management and Analysis Package*

LISTA DE SÍMBOLOS

A_V	Coeficiente de viscosidade turbulenta vertical
AMSE	*Absolute Mean Statistic Error* (erro estatístico médio absoluto)
C	Concentração de um poluente ou uma substância qualquer
Cov	Covariância entre as séries temporais comparadas
D_H	Coeficiente de difusão horizontal
f	Parâmetro de Coriolis
F_C	Fontes adicionais do poluente ou da substância modelada
F_S	Fontes adicionais de salinidade
F_T	Fontes adicionais de temperatura
g	Aceleração da gravidade
H	Profundidade
IOA	*Index of Agreement* (índice de concordância)
K_H	Coeficiente de difusão turbulenta horizontal
K_V	Coeficiente de difusão turbulenta vertical
L_J	Comprimento do jato
M_p	Massa de um poluente na pluma de um emissário submarino
M_x	Fontes adicionais de movimento na direção x
M_y	Fontes adicionais de movimento na direção y
$Mod_{(i)}$	Dados das séries temporais modeladas
n	Número de dados
$Obs_{(i)}$	Dados das séries temporais observadas
P	Pressão hidrostática
Pearson	Coeficiente de correlação de Pearson
Q	Fontes de contribuições por unidade de área de descarga fluvial
R^2	Coeficiente R^2
R_J	Raio do jato
Range	*Range* médio dos dados observados
RMAE	*Relative Mean Absolute Error* (erro absoluto médio relativo)
RMSE	*Root Mean Square Error* (raiz do erro quadrático médio)
S	Salinidade

S_A	Salinidade do ambiente local
S_E	Salinidade do efluente na pluma de um emissário submarino
Skill	Coeficiente Skill
t	Tempo
T	Temperatura
T_A	Temperatura do ambiente local
T_E	Temperatura do efluente na pluma de um emissário submarino
T_{90}	Tempo necessário para a eliminação de 90% das bactérias
U	Componente zonal das correntes
V	Componente meridional das correntes
V_C	Velocidade das correntes
V_J	Velocidade do jato
W	Componente vertical das correntes
$X_{Mod(i)}$	Média dos dados de séries temporais modeladas
$X_{Obs(i)}$	Média dos dados de séries temporais observadas
∇F_x	Gradiente de tensão radiativa na direção x
∇F_y	Gradiente de tensão radiativa na direção y
∇P_x	Gradiente de pressão hidrostática na direção x
∇P_y	Gradiente de pressão hidrostática na direção y
β_A	Concentração de um poluente no ambiente local
β_p	Concentração de um poluente na pluma de um emissário submarino
η	Elevação do nível do mar
λ_C	Decaimento do poluente ou da substância modelada
λ_p	Decaimento de um poluente na pluma de um emissário submarino
ρ	Densidade da água
ρ_A	Densidade do ambiente local
ρ_E	Densidade do efluente na pluma de um emissário submarino
σ_{mm}	Número de Prandtl-Schmidt para misturas moleculares
$\sigma_{Mod(i)}$	Desvio padrão dos dados de séries temporais modeladas
$\sigma_{Obs(i)}$	Desvio padrão dos dados de séries temporais observadas

LISTA DE UNIDADES

d	Dia
d^{-1}	Por dia
h	Hora
hab	Habitantes
hPa	Hectopascal
km	Quilômetro
km^2	Quilômetro quadrado
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m^2/s	Metro quadrado por segundo
m^3/s	Metro cúbico por segundo
mg/L	Miligrama por litro
mg N/L	Miligrama de nitrogênio por litro
mg N/L d^{-1}	Miligrama de nitrogênio por litro por dia
mg P/L	Miligrama de fósforo por litro
mL/L	Mililitro por litro
mm	Milímetro
mS/cm	Milisiemen por centímetro
NMP/100mL	Número mais provável de bactérias por 100 mililitros
PSU	*Practical Salinity Unit* (unidade prática de salinidade)
W/m^2	Watt por metro quadrado
ºC	Grau Celsius
%	Por cento
µmol NH_4^+/L	Micromol de amônio por litro
µmol NO_3^-/L	Micromol de nitrato por litro
µmol PO_4^{3-}/L	Micromol de fosfato por litro

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO..... 42

1.1. Zonas costeiras e poluição marinha..... 42

1.2. Modelagem numérica..... 43

1.3. Emissários submarinos..... 44

1.3.1. *Definição*..... 44

1.3.2. *Processos de mistura de efluentes no meio marinho*..... 45

1.3.3. *Modelagem numérica de efluentes no meio marinho*..... 46

1.4. Caracterização da região de estudo..... 47

1.4.1. *Caracterização demográfica*..... 47

1.4.2. *Caracterização meteorológica*..... 48

1.4.3. *Caracterização oceanográfica*..... 48

1.4.4. *Fontes de poluição*..... 49

1.4.5. *Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro*..... 50

2. OBJETIVOS..... 51

3. JUSTIFICATIVA..... 52

4. HIPÓTESES..... 53

5. METODOLOGIA..... 54

5.1. Aquisição dos dados..... 54

5.1.1. *Linha de costa*..... 54

5.1.2. *Grade computacional*..... 54

5.1.3. *Condições de contorno*..... 56

Página

5.1.4. *Forçantes*..... 56

5.1.4.1. Marés..... 57

5.1.4.2. Vento..... 58

5.1.4.3. Nível médio do mar..... 58

5.1.4.4. Temperatura e salinidade..... 58

5.1.5. *Batimetria*..... 59

5.1.6. *Poluentes*..... 59

5.1.7. *Fontes de poluição*..... 60

5.1.7.1. Emissários submarinos de Praia Grande..... 61

5.1.7.2. Rio Itanhaém..... 63

5.2. Tratamento dos dados..... 65

5.2.1. *Modelagem hidrodinâmica*..... 65

5.2.1.1. Simulações 2D..... 67

5.2.1.2. Simulações 3D..... 67

5.2.1.3. Séries temporais e cálculos estatísticos..... 68

5.2.1.4. Mapas temáticos..... 71

5.2.2. *Validação do modelo hidrodinâmico*..... 72

5.2.2.1. Erro absoluto médio relativo..... 74

5.2.2.2. Erro estatístico médio absoluto..... 74

5.2.2.3. Raiz do erro quadrático médio..... 75

5.2.2.4. Coeficiente Skill..... 75

Página

5.2.2.5. Índice de concordância..... 76

5.2.2.6. Coeficiente de correlação de Pearson..... 76

5.2.2.7. Coeficiente R^2..... 76

5.2.3. *Modelagem das plumas (campo próximo e intermediário)*..... 77

5.2.3.1. Cálculos estatísticos..... 79

5.2.3.2. Histogramas angulares..... 79

5.2.4. *Modelagem das plumas (campo distante)*..... 80

5.2.4.1. Séries temporais e cálculos estatísticos..... 82

5.2.4.2. Mapas temáticos..... 85

5.2.5. *Validação do modelo de qualidade da água*..... 86

6. RESULTADOS..... 88

6.1. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 2D)..... 88

6.1.1. *Fevereiro de 2012*..... 88

6.1.2. *Agosto de 2012*..... 94

6.2. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 3D)..... 100

6.2.1. *Nível do mar e correntes*..... 100

6.2.1.1. Fevereiro de 2012..... 100

6.2.1.1.1. Superfície..... 100

6.2.1.1.2. Fundo..... 106

Página

6.2.1.2. Agosto de 2012..... 110

6.2.1.2.1. Superfície..... 110

6.2.1.2.2. Fundo..... 116

6.2.2. *Temperatura e salinidade*..... 120

6.2.2.1. Fevereiro de 2012..... 120

6.2.2.1.1. Superfície..... 120

6.2.2.1.2. Fundo..... 126

6.2.2.2. Agosto de 2012..... 132

6.2.2.2.1. Superfície..... 132

6.2.2.2.2. Fundo..... 138

6.3. Validação do modelo hidrodinâmico..... 144

6.3.1. *Simulações 2D*..... 145

6.3.1.1. Fevereiro de 2012..... 145

6.3.1.2. Agosto de 2012..... 146

6.3.2. *Simulações 3D*..... 147

6.3.2.1. Fevereiro de 2012..... 147

6.3.2.2. Agosto de 2012..... 148

6.4. Modelagem das plumas (campos próximo e intermediário)..... 149

6.4.1. Fevereiro de 2012..... 149

6.4.2. Agosto de 2012..... 154

Página

6.5. Modelagem das plumas (campo distante)..... 159

6.5.1. *Coliformes fecais (E. coli)*..... 159

6.5.1.1. Fevereiro de 2012..... 159

6.5.1.1.1. Superfície..... 159

6.5.1.1.2. Fundo..... 164

6.5.1.2. Agosto de 2012..... 169

6.5.1.2.1. Superfície..... 169

6.5.1.2.2. Fundo..... 174

6.5.2. *Amônio* (NH_4^+)..... 179

6.5.2.1. Fevereiro de 2012..... 179

6.5.2.1.1. Superfície..... 179

6.5.2.1.2. Fundo..... 184

6.5.2.2. Agosto de 2012..... 189

6.5.2.2.1. Superfície..... 189

6.5.2.2.2. Fundo..... 194

6.5.3. *Nitrato* (NO_3^-)..... 199

6.5.3.1. Fevereiro de 2012..... 199

6.5.3.1.1. Superfície..... 199

6.5.3.1.2. Fundo..... 204

6.5.3.2. Agosto de 2012..... 209

6.5.3.2.1. Superfície..... 209

6.5.3.2.2. Fundo..... 214

Página

6.5.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})..... 219

6.5.4.1. Fevereiro de 2012..... 219

6.5.4.1.1. Superfície..... 219

6.5.4.1.2. Fundo..... 224

6.5.4.2. Agosto de 2012..... 229

6.5.4.2.1. Superfície..... 229

6.5.4.2.2. Fundo..... 234

6.6. Validação do modelo de qualidade da água..... 239

6.6.1. *Coliformes fecais (E. coli)*..... 239

6.6.1.1. Fevereiro de 2012..... 239

6.6.1.2. Agosto de 2012..... 239

6.6.2. *Amônio* (NH_4^+)..... 240

6.6.2.1. Fevereiro de 2012..... 240

6.6.2.2. Agosto de 2012..... 240

6.6.3. *Nitrato* (NO_3^-)..... 241

6.6.3.1. Fevereiro de 2012..... 241

6.6.3.2. Agosto de 2012..... 241

6.6.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})..... 242

6.6.4.1. Fevereiro de 2012..... 242

6.6.4.2. Agosto de 2012..... 242

Página

7. DISCUSSÃO DE RESULTADOS..... 243

7.1. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 2D)..... 243

7.2. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 3D)..... 246

7.2.1. *Nível do mar e correntes*..... 246

7.2.2. *Temperatura e salinidade*..... 249

7.3. Validação do modelo hidrodinâmico..... 252

7.3.1. *Simulações 2D*..... 252

7.3.2. *Simulações 3D*..... 253

7.4. Modelagem das plumas (campos próximo e intermediário)..... 254

7.5. Modelagem das plumas (campo distante)..... 256

7.5.1. *Coliformes fecais (E. coli)*..... 257

7.5.2. *Amônio* (NH_4^+)..... 264

7.5.3. *Nitrato* (NO_3^-)..... 266

7.5.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})..... 268

7.6. Validação do modelo de qualidade da água..... 270

7.6.1. *Coliformes fecais (E. coli)*..... 270

7.6.2. *Amônio* (NH_4^+)..... 271

7.6.3. *Nitrato* (NO_3^-)..... 272

7.6.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})..... 272

8. CONCLUSÕES..... 273

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 277

Página

10. ANEXOS..... 287

10.1. Anexo A: Temperatura, salinidade e vazão do Rio Itanhaém..... 287

10.2. Anexo B: Estatísticas das componentes U e V nas simulações 2D..... 288

10.2.1. *Fevereiro de 2012*..... 288

10.2.2. *Agosto de 2012*..... 290

10.3. Anexo C: Estatísticas das componentes U e V nas simulações 3D..... 292

10.3.1. *Fevereiro de 2012*..... 292

10.3.1.1. Superfície..... 292

10.3.1.2. Fundo..... 294

10.3.2. *Agosto de 2012*..... 296

10.3.2.1. Superfície..... 296

10.3.2.2. Fundo..... 298

1. INTRODUÇÃO

1.1. Zonas costeiras e poluição marinha

Em todo o mundo, as zonas costeiras possuem relevante importância econômica, política e social. Estima-se que mais da metade da população mundial está concentrada a menos de 100 km dos oceanos (SMALL & COHEN, 2004). Suas ocupações permitem o desenvolvimento de muitas atividades específicas, como a pesca, turismo, tráfego marítimo, obras costeiras e marítimas, o que gera a criação e aumento de núcleos populacionais e industriais. Entretanto, tais atividades também produzem diversos tipos de impactos negativos, e consequentemente podem afetar a sociedade, como por exemplo, as relacionadas ao lançamento de esgotos nas praias e rios, despejos de efluentes industriais, movimentação portuária e disposição inadequada de resíduos sólidos, entre outras (FERREIRA, 2008; HARARI *et al.*, 2013).

O Brasil possui uma extensão litorânea de 7408 km, que corresponde a 40% das regiões costeiras do Oceano Atlântico (SCHMIEGELOW, 2004), e cerca de 880 km de toda a extensão litorânea brasileira encontra-se no Estado de São Paulo (CETESB, 2016). O litoral brasileiro é uma região atrativa para a prática do turismo de sol e praia (ou turismo balneário) por brasileiros e estrangeiros, principalmente em períodos de férias escolares e de feriados prolongados (BRASIL, 2010).

As atividades desenvolvidas nas zonas costeiras, principalmente através do lançamento de esgotos e de efluentes industriais, causam a poluição das águas, e consequentemente impactos nocivos ao ambiente e ao homem. O lançamento de esgotos domésticos ou industriais diretamente no mar, em estuários ou em outros corpos hídricos, sem qualquer tipo de tratamento, promove a alteração das características físico-químicas da água, além de sua qualidade sanitária (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1995; GEORGIOU *et al.*, 1996). Consequentemente, águas contaminadas e poluídas podem tornar-se ambientes ideais para a procriação de diversos agentes patogênicos, que transmitem diversas doenças e trazem riscos à saúde humana (FENG *et al.*, 2012); e podem também afetar o turismo, que é a principal atividade de movimentação econômica de muitas cidades litorâneas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1995). Dessa forma, estudos de dispersão de material na região costeira e os possíveis impactos provenientes destes despejos com o uso de modelos numéricos de previsão tornam-se muito importantes para a proteção da qualidade ambiental e saúde humana.

1.2. Modelagem numérica

Um modelo numérico é a forma representativa de algum objeto ou sistema em uma linguagem computacional, com a finalidade de entender seu comportamento perante diferentes entradas ou forçantes. Nos campos da Oceanografia e da Limnologia, um modelo numérico visa essencialmente à compreensão do comportamento de um determinado ecossistema aquático, com a finalidade de avaliar os efeitos de diferentes ações da natureza: antrópicas, climáticas e bióticas, bem como suas interações (FRAGOSO JÚNIOR, FERREIRA & MARQUES, 2009).

Os modelos numéricos aplicados a regiões costeiras e oceânicas utilizam medições e teorias sobre o comportamento dessas regiões, para reproduzir e prever processos que neles ocorrem, como por exemplo, sistemas de correntes, transporte de sedimentos e substâncias químicas, comportamento de diversas comunidades biológicas, entre muitos outros (PEREIRA, 2013). Os modelos numéricos hidrodinâmicos são usados para a obtenção de soluções computacionais das equações hidrodinâmicas, com condições iniciais e de contorno adequadas, de acordo com as escalas espaço-temporais consideradas nas áreas de interesse, para fins de entendimento, simulações e previsões da circulação (O'BRIEN, 1985).

Modelos numéricos hidrodinâmicos são classificados como gerais e específicos. Modelos gerais são aqueles que sintetizam diversos processos físicos de forma conjunta e que adotam hipóteses simplificadoras e parametrizações dos processos de menor escala; um exemplo clássico pode ser dado por um modelo de circulação geral dos oceanos, que considera de modo conjunto todas as componentes da circulação oceânica, como ventos, marés e variações de densidade devido a temperatura e salinidade. Já os modelos específicos são caracterizados por estudar fenômenos individualmente, isolando-os de outros processos; um exemplo é um modelo de circulação de maré, que despreza os ventos e a densidade, e considera apenas as marés como componente para circulação dos oceanos (HARARI, 2015).

Um dos focos da modelagem numérica oceânica se encontra na escolha de aproximações e na análise de suas consequências. Nessa escolha de aproximações, consideram-se tanto as aproximações físicas do comportamento do sistema quanto às aproximações envolvidas na conversão de equações contínuas em um conjunto de equações que podem ser integradas numericamente (O'BRIEN, 1985).

1.3. Emissários submarinos

1.3.1. *Definição*

Muitas vezes a definição de emissário submarino é confundida com a definição de estação de tratamento de esgoto, entretanto, são definições totalmente distintas.

Um emissário submarino consiste de uma longa tubulação implantada no fundo do mar, cujo trecho final atinge grandes profundidades, onde os efluentes são lançados ao meio aquático através de diversos orifícios, permitindo assim uma diluição eficaz do mesmo (LAMPARELLI, 2007; HARARI *et al.*, 2013).

Já uma estação de tratamento de esgoto consiste em um sistema complexo composto por diversos equipamentos que são utilizados para tratar o esgoto de modo adequado antes de despejá-lo em aterros sanitários ou no meio ambiente, que ocorre em quatro etapas: 1) Tratamento preliminar, que consiste em aplicar o gradeamento para retenção e remoção de sólidos com maiores dimensões, que é seguido de peneiramento, quando se aplica a técnica de sedimentação para remoção de areia, mantendo os demais materiais em suspensão; 2) Tratamento primário, onde o esgoto flui lentamente por meio de decantadores primários, o que retém parte da matéria orgânica e ao mesmo tempo permite que os materiais em suspensão se depositem no fundo; 3) Tratamento secundário, onde o esgoto entra no tanque de aeração, para que microrganismos aeróbicos, como bactérias, fungos e protozoários, realizem reações bioquímicas, com o objetivo de eliminar a matéria orgânica; em seguida, o esgoto segue para os decantadores secundários, onde os sólidos em suspensão restantes serão removidos, para assim despejar o efluente de modo adequado, já clarificado, no meio ambiente; e 4) Tratamento do lodo, material composto por tudo o que foi decantando nos decantadores primário e secundário, e que irá passar por processos de adensamento, digestão aeróbica, condicionamento químico, desidratação e secagem térmica, para assim ser depositado adequadamente em aterros sanitários (MONTONE & BÍCEGO, 2008).

Em emissários submarinos, normalmente o esgoto passa apenas pela etapa de tratamento preliminar com posterior desinfecção com cloro. Entretanto, alguns despejam esgoto sem tratamento, e o mar realiza a diluição (HARARI *et al.*, 2013).

1.3.2. *Processos de mistura de efluentes no meio marinho*

Após o esgoto ser despejado no ambiente marinho, seja por um emissário submarino ou através de córregos que desaguam no mar, ocorre a mistura dos efluentes. No caso dos emissários submarinos, a mistura se dá em três zonas, com escalas espaço-temporais distintas: campo próximo, campo intermediário e campo distante (GREGORIO, 2009; DELFIM, 2011; SUBTIL, 2012), conforme a Figura 1.

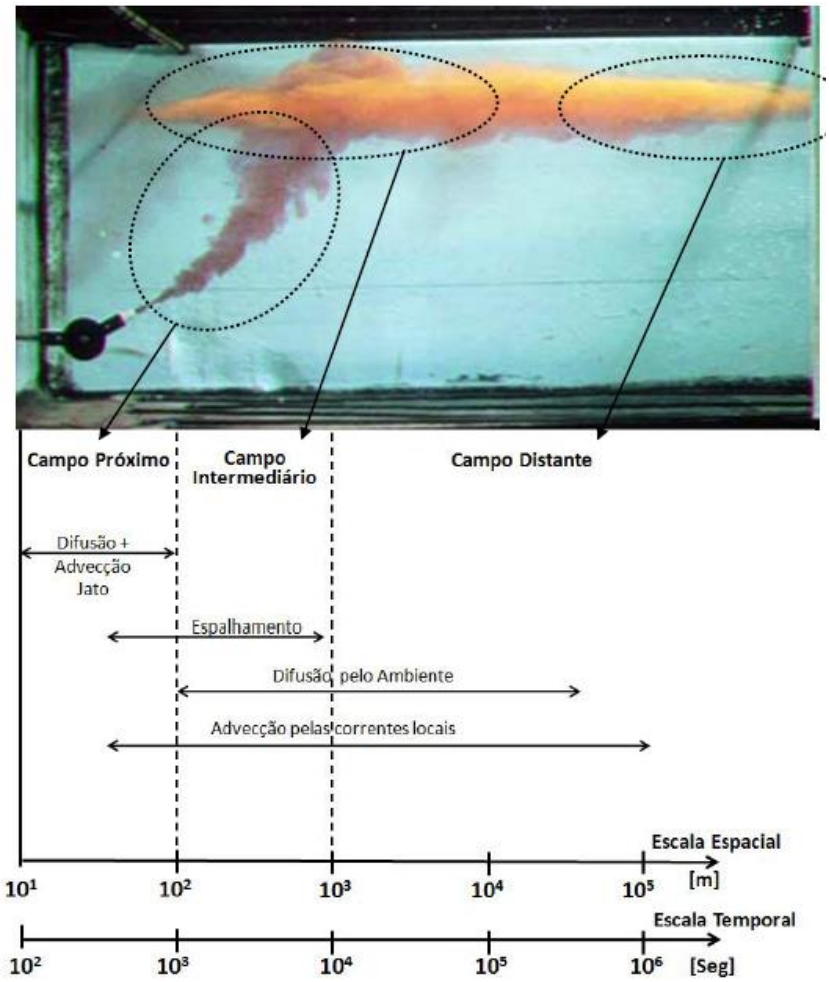

Figura 1 – Representação das zonas de mistura de um efluente marinho, e escalas espaço-temporais envolvidas (Fonte: SUBTIL, 2012).

A região de campo próximo (*near field*) possui interações com a superfície, a região da picnoclina e o fundo, com grande influência de processos físicos e das características da tubulação difusora, que podem afetar significativamente a mistura inicial. No campo próximo, a escala espacial é da ordem de 10 a 100 m, enquanto a escala temporal é da ordem de segundos a minutos (GREGORIO, 2009). A mistura na região de campo

próximo é provocada pelo empuxo positivo do jato, devido à diferença de densidade entre o meio marinho e o efluente, e a diluição dessa mistura tende a ser mais acelerada quando os jatos alcançam a superfície livre do mar, devido à formação de vórtices no interior da mesma (DELFIM, 2011).

A região de campo intermediário é a zona de estabilização entre as regiões de campo próximo e de campo distante, e possui uma dinâmica dependente do *momentum* e da força de empuxo da descarga de esgoto, bem como da intensidade das correntes locais. Suas escalas de espaço e tempo são tipicamente de 100 a 1000 m e de minutos a horas, respectivamente. Conforme o efluente se distancia do ponto de lançamento, o jato passa a se aproximar de um nível de equilíbrio hidrostático, que pode ser a superfície livre ou alguma profundidade intermediária, de acordo com a diferença de densidade entre a água do mar e o esgoto (GREGORIO, 2009).

A partir desse ponto, com o equilíbrio hidrostático alcançado, se caracteriza a presença da região de campo distante (*far field*), onde o efluente passa a se comportar como uma pluma, cuja dispersão é controlada pelos processos de advecção e difusão. No campo distante, a escala espacial é da ordem de 10^3 a 10^5 m, enquanto a escala temporal varia na ordem de horas a dias (GREGORIO, 2009).

1.3.3. *Modelagem numérica de efluentes no meio marinho*

Através de modelagem numérica é possível realizar simulações e prever possíveis impactos ambientais, tanto para a região de campo próximo como a região de campo distante, ou para outras fontes pontuais de poluição costeira. Entretanto, modelos computacionais utilizados para simulações em campo próximo não conseguem realizar simulações em campo distante, e vice-versa. Os modelos de campo próximo são utilizados para simular os processos de mistura na região do lançamento inicial, sendo dependentes de fatores ambientais (como intensidade das correntes, estratificação da coluna d'água e turbulência do corpo receptor), e de características do lançamento (número de orifícios do emissor, suas dimensões, etc.). Por outro lado, modelos de campo distante são utilizados a fim de simular a dispersão de efluentes sem a necessidade de levar em conta a forma de lançamento no meio marinho, sendo usados para simulações em regiões costeiras e em estuários, bem como para simular a dispersão de efluentes a partir de resultados de modelos de campo próximo previamente obtidos (GREGORIO, 2009; DELFIM, 2011).

1.4. Caracterização da região de estudo

A região de estudo do presente trabalho corresponde ao litoral centro-sul do Estado de São Paulo, mais especificamente na Baixada Santista, compreendendo os municípios de Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e Praia Grande, conforme a Figura 2.

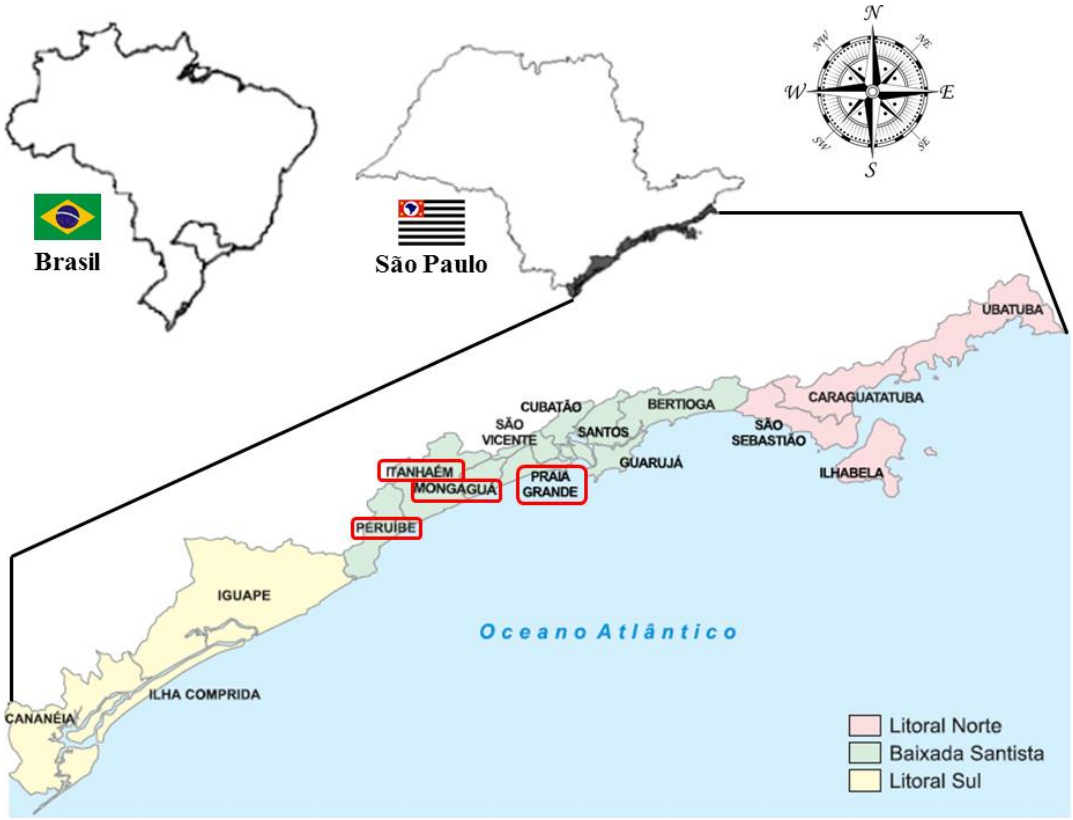

Figura 2 – Mapa do litoral do Estado de São Paulo, com destaque para a localização das cidades integrantes da região de estudo (Fonte: Modificado de CETESB, 2016).

1.4.1. *Caracterização demográfica*

Estatísticas de estimativa populacional realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em julho de 2015, indicam que os municípios de Praia Grande (299.261 hab.), Mongaguá (52.492 hab.), Itanhaém (96.222 hab.) e Peruíbe (65.226 hab.) juntos totalizam uma população fixa de 513.201 habitantes (IBGE, 2016). Durante os períodos de férias escolares e feriados prolongados, principalmente durante o verão, com a presença de população flutuante (turistas), este número chega praticamente a dobrar, o que consequentemente aumenta a poluição por esgotos na região abordada (CETESB, 2014; CETESB, 2015; CETESB, 2016).

1.4.2. *Caracterização meteorológica*

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a região apresenta dois tipos de clima, tropical úmido (Af), onde a temperatura média do mês mais quente encontra-se acima de 18ºC; e temperado úmido com verão quente (Cfa), que apresenta no mês mais quente temperatura média superior a 22ºC (OLIVEIRA *et al.*, 2007). A Baixada Santista apresenta elevados índices de pluviosidade, um dos mais altos índices do Brasil, com alta variabilidade anual. O mês de fevereiro é o mais úmido, com índice pluviométrico de 301 mm, enquanto agosto é o mais seco, com índice pluviométrico de 90,6 mm. Portanto, a região de estudo apresenta verões chuvosos e invernos secos (SABESP, 2006a; SABESP, 2006b).

A circulação atmosférica local é caracterizada pela presença de brisas marítimas locais e de duas massas de ar, a massa tropical atlântica e a massa polar. Em relação às brisas marítimas, existem dois fluxos predominantes nas escarpas da Serra do Mar e em suas regiões adjacentes: os ventos sudeste, predominantes no período diurno, e os ventos nordeste, que têm maior ocorrência durante a noite (OLIVEIRA *et al.*, 2007). A circulação atmosférica na superfície do mar, na região sudeste do Brasil, depende do Centro de Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul e de sua interação com a região de Baixa Pressão Subpolar. Sob influência da Alta Subtropical, prevalecem ventos moderados na superfície do quadrante leste, em geral não ultrapassando 5 m/s, e pressões atmosféricas relativamente altas, da ordem de 1025 hPa. As instabilidades provocam um padrão de condições atmosféricas típico da evolução de sistemas frontais frios, com ventos girando do quadrante leste para o quadrante norte, e depois para o oeste, com queda de pressão atmosférica em aproximadamente 10 hPa, seguido de ventos do quadrante sul, com diminuição de temperatura e elevação de pressão atmosférica. Na sequência, os ventos de sul giram novamente para o leste, com aumento de temperatura e pressão atmosférica, voltando a influência da Alta Subtropical (SELUCHI & MARENGO, 2000).

1.4.3. *Caracterização oceanográfica*

A área de estudo situa-se em uma planície costeira, com litoral praticamente retilíneo e ausente de acidentes geográficos notáveis, numa região de plataforma continental aberta (SABESP, 2006a; SABESP, 2006b).

Em relação às marés, a região da Baixada Santista apresenta maré do tipo semi-diurna, e o regime local é o de micro-maré, com altura máxima de 1,5 m (IBGE, 2011; SILVA, VAZ-DOS-SANTOS & MARACINI, 2012).

A circulação marítima da região em escala local ainda é pouco conhecida. Valente (1998) analisou correntes oceânicas *in situ*, em duas estações próximas da costa de Praia Grande, entre os anos de 1994 e 1995, através de dois fundeios com dois correntógrafos em cada estação, sendo um em superfície (profundidade de 4 m em ambas as estações) e outro no fundo (profundidade de 8 m em uma estação e de 9 m em outra estação); e concluiu que, na maior parte do período de amostragem, as correntes fluem para nordeste, e que essas possuem forte correlação com o vento.

Experimentos numéricos realizados por Harari, França & Camargo (2008) demonstraram que a dinâmica do oceano, especificamente na região de plataforma do presente estudo, é dominada pelas forçantes de maré e de vento, com forte influência batimétrica. As correntes de maré locais são pouco intensas e rotativas no tempo (sentido anti-horário), com eixo maior orientado aproximadamente na direção Noroeste – Sudeste (perpendicular à costa). Entretanto, as correntes geradas pelo vento são mais intensas, paralelas à costa, para Oeste – Sudoeste com os ventos predominantes, tornando-se para Leste – Nordeste, sendo essas em geral mais fortes, sob a influência de frentes frias (HARARI, FRANÇA & MARQUES, 2007).

1.4.4. *Fontes de poluição*

Na região estudo encontram-se instalados três emissários submarinos de esgoto, todos em Praia Grande, denominados Emissário Submarino de Praia Grande – Subsistema 1 (PG1), Subsistema 2 (PG2) e Subsistema 3 (PG3) (SABESP, 2006c; SABESP, 2010).

Por serem considerados fontes potenciais de poluição, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) realiza monitoramentos das áreas que recebem lançamentos de esgoto proveniente desses sistemas, de modo a garantir a eficiência dos empreendimentos e verificar se qualidade das águas é adequada para contato recreativo primário (classe 1), contato recreativo secundário (classe 2) e para navegação (classe 3). Ademais, a CETESB verifica se há ocorrência de impactos ambientais, baseando-se em duas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que indicam qualidade da água (LAMPARELLI, 2007): a N.º 274/2000, em função de coliformes fecais (BRASIL, 2001); e a N.º 357/2005, em função de compostos químicos inorgânicos

e orgânicos (BRASIL, 2005). Entretanto, os municípios de Peruíbe, Itanhaém e Mongaguá não possuem emissários submarinos (ARASAKI & ORTIZ, 2007), e despejam parte de seus efluentes, sem tratamento adequado, diretamente em córregos, estuários e no mar (CETESB, 2016). Um dos principais destinos desses efluentes é o Rio Itanhaém, localizado na bacia hidrográfica de mesmo nome, cuja região estuarina possui vegetação típica de manguezal e sofre grande influência do mar. Devido à proximidade da região urbana do município de Itanhaém, sua região estuarina está submetida a diversos impactos antrópicos, principalmente o recebimento de esgoto sem qualquer tipo de tratamento, e tais efluentes vão diretamente para o mar (SOUZA-PEREIRA & CAMARGO, 2004).

1.4.5. *Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro*

Na região de estudo localiza-se uma unidade de conservação (UC) do tipo uso sustentável, mais especificamente, uma área de proteção ambiental (APA). Por ser uma UC do tipo uso sustentável, é permitida a interferência antrópica de diferentes tipos e intensidades, sendo que a conservação da biodiversidade é um objetivo secundário; e por ser uma APA, possui estância estadual, e disciplina as atividades antrópicas de modo a proporcionar o uso de recursos naturais de modo sustentável, bem como qualidade ambiental para as comunidades locais, através da elaboração de planos de manejo e de zoneamentos (RYLANDS & BRANDON, 2005).

A Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro (APAMLC), criada através do Decreto Estadual N.º 53.526/2008, possui o objetivo de proteger, ordenar, garantir e disciplinar o uso racional dos recursos ambientais da região, inclusive suas águas; além de ordenar o turismo recreativo, as atividades de pesquisa e pesca e de também promover o desenvolvimento sustentável da região. É divida em três setores: Guaíbe, Itaguaçú e Carijó, que juntos totalizam uma área de 4492,60 km^2 (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008). No setor Itaguaçú encontra-se o Parque Estadual Marinho da Laje de Santos (PEMLS), importante ponto de mergulho recreativo do litoral paulista devido à sua altíssima biodiversidade, situado a 41,48 km do continente. Fundado em 1993, seu objetivo é garantir a preservação da fauna e flora (AMADO FILHO *et al.*, 2006) e, em 2008, foi incorporado à APAMLC (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008). A Figura 3 mostra a localização e o zoneamento da APAMLC.

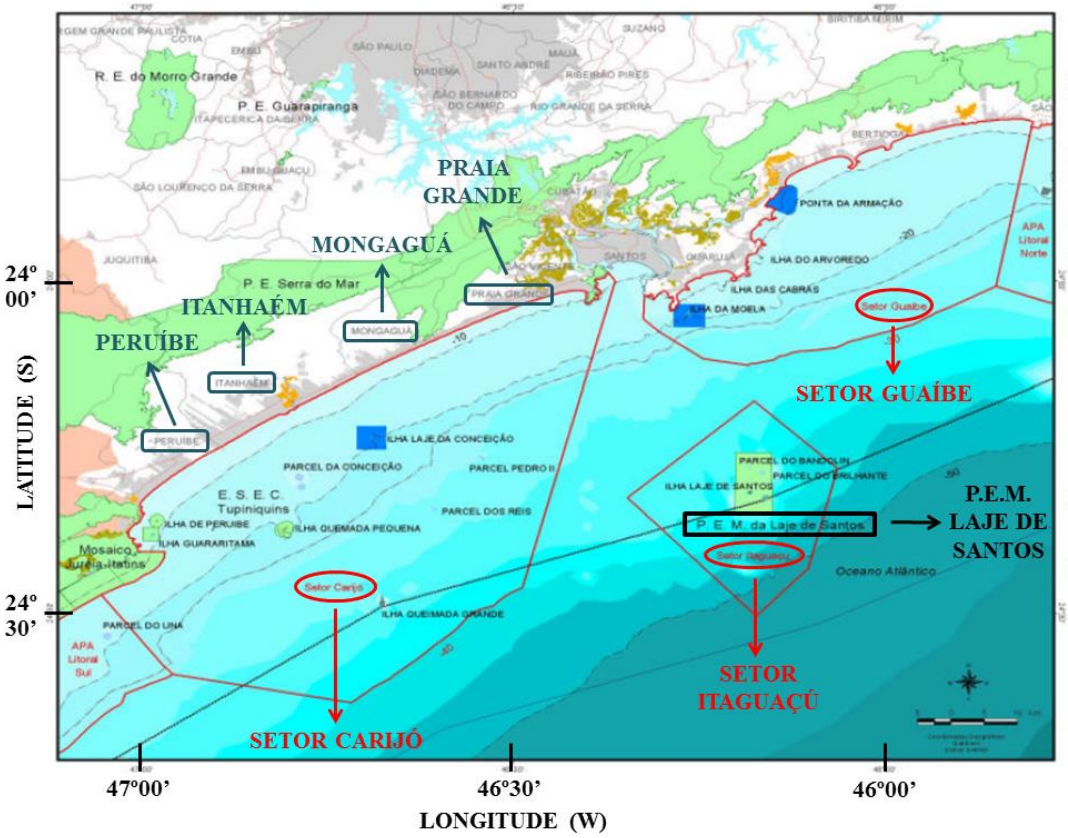

Figura 3 – Zoneamento da Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro (Fonte: Modificado de GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008).

2. OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho foi o de analisar as condições ambientais e a dispersão das plumas de efluentes emitidas pelos emissários submarinos de Praia Grande e pelo Rio Itanhaém, quanto à concentração de potenciais poluentes, no caso, excesso de coliformes fecais e nutrientes, através da modelagem numérica.

Como objetivos específicos, houve interesse no conhecimento das variabilidades espaço-temporais da hidrodinâmica costeira e dos processos de dispersão das plumas de efluentes, através de simulações numéricas, incluindo a avaliação dos resultados de concentrações de indicadores de qualidade da água (coliformes fecais, amônio, nitrato e fosfato) diante dos níveis máximos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA N.º 274/2000 e N.º 357/2005.

3. JUSTIFICATIVA

Com a crescente taxa de urbanização e de desenvolvimento econômico nas cidades litorâneas do Brasil, a produção de esgotos domésticos e industriais aumentou, especialmente em períodos de férias, o que se torna um fator preocupante, uma vez que muitas cidades litorâneas não possuem sistemas de tratamento de esgoto; e, quando possuem, muitas vezes não se encontram em condições adequadas para operação (MONTONE & BÍCEGO, 2008). Isso torna o lançamento de esgoto sanitário uma das formas mais comuns de poluição da zona costeira, por gerar impactos como contaminação microbiológica, eutrofização e deposição de materiais no sedimento marinho, que podem vir a afetar tanto a biota local como a saúde humana (MARTINS *et al.*, 2008).

Braga *et al.* (2000) mostraram a contaminação por aportes de coliformes fecais e nutrientes nos estuários de Santos e São Vicente e na Baía de Santos, sobre o emissário submarino de esgotos como fruto da intensa urbanização, sendo assim, existe muitos motivos em de se acompanhar a dispersão dos materiais nas regiões costeiras, sobretudo essas onde vem ocorrendo intensa ocupação humana nas últimas décadas.

No ano de 2005, os municípios de Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe juntos totalizavam uma população fixa estimada em 434.049 habitantes (CETESB, 2015). Em 2015, este número cresceu para 513.201 (IBGE, 2016), um aumento de 18,25% em uma década, e a tendência é que este número continue aumentando. Como a produção de esgoto aumenta em função do crescimento populacional, os índices de poluição na região tendem a ser cada vez maiores.

Os emissários submarinos, quando bem dimensionados e operados, trazem benefícios para a qualidade das praias (HARARI *et al.*, 2013). A introdução de esgoto no sistema marinho através de emissários tem sido considerada uma opção viável economicamente quando comparada a um sistema de tratamento de esgoto sanitário padrão. Entretanto, os oceanos não possuem poder infinito de dissolução de dejetos de esgoto, principalmente nas regiões abrigadas próximas à costa, que são o destino da maioria do esgoto despejado (MONTONE & BÍCEGO, 2008).

A região possui três emissários submarinos, e a utilização de modelos hidrodinâmicos com a finalidade de analisar e simular numericamente a dispersão de plumas de esgoto provenientes de emissários submarinos teve um grande crescimento nos últimos anos; atualmente, a utilização desses modelos é essencial para a compreensão e reprodução dos processos da pluma (MALHADAS, 2008). Além dos emissários

submarinos, há também a influência de lançamentos de esgotos sem tratamento (CETESB, 2014; CETESB, 2015; CETESB, 2016), assim, um estudo ambiental da região centro-sul do Estado de São Paulo deverá, portanto, levar em conta também estas fontes poluidoras, das quais será considerada como mais importante o Rio Itanhaém.

Com o grande avanço na utilização de computadores, a implantação de diversos modelos numéricos avançados na Oceanografia se tornou um sucesso, fazendo com que os modelos hidrodinâmicos se tornassem uma ferramenta importante e essencial para a compreensão do comportamento dos oceanos, uma vez que os computadores estão cada vez melhores e mais acessíveis e a modelagem numérica possui baixo custo operacional; ademais, os modelos numéricos vêm permitindo que uma grande quantidade de informações seja agregada, o que permite estudos em escalas local, regional e global (MARONE & NOERNBERG, 2003; CIRANO *et al.*, 2006).

No presente estudo, o PEMLS merece especial atenção, por estar dentro de uma APA, por ser região de lazer e de conservação de biodiversidade, por possuir grande diversidade de espécies marinhas (AMADO FILHO *et al.*, 2006), e por estar sujeito a impactos devido à prática de atividades antrópicas nocivas, tais como coleta ilegal de organismos bentônicos para decoração, prática dos mais diversos tipos de atividades pesqueiras ilegais, o descarte de água de lastro proveniente de navios cargueiros com destino ao terminal portuário de Santos, entre outras (JORGE, HARARI & FUJII, 2012).

4. HIPÓTESES

A hipótese principal deste trabalho foi que as plumas de efluentes provenientes dos três emissários de Praia Grande e a pluma advinda do Rio Itanhaém, ao atingirem a região litorânea, apresentam grau de concentração de indicadores de qualidade da água que não excede os limites máximos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA N.º 274/2000 e N.º 357/2005; e que, caso as plumas oriundas dos emissários submarinos venham a atingir o PEMLS, as concentrações de indicadores de qualidade da água têm valores baixos, que não superam os limites máximos do CONAMA.

Ademais, foram adotadas as hipóteses que as variabilidades espaço-temporais da hidrodinâmica local foram corretamente simuladas na modelagem e que os emissários submarinos estão bem dimensionados e operando eficientemente.

5. METODOLOGIA

5.1. Aquisição dos dados

5.1.1. *Linha de costa*

Dados contendo informações da linha de costa da região de estudo foram obtidos no Laboratório de Simulação e Previsão Numérica Hidrodinâmica (LABSIP), pertencente ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP).

5.1.2. *Grade computacional*

Foi estabelecida no modelo *Delft3D* (D3D), Versão 4.01.00.ohmw.rc.03, em coordenadas esféricas (graus), uma grade computacional para cobrir a região de interesse para a modelagem hidrodinâmica. Esta foi configurada como uma grade C de Arakawa (Figura 4), tipo de grade alternada que melhor representa os gradientes de elevação e os divergentes de velocidade (MESINGER & ARAKAWA, 1976; HARARI, 2015). Tal grade computacional contém 227 por 227 células na horizontal, sendo a mesma inclinada 45º no sentido anti-horário, com espaçamento horizontal de 350 m, e espaçamento vertical composto por cinco camadas Sigma. A Figura 5 mostra a localização geográfica da grade, enquanto a Figura 6 mostra sua disposição no D3D.

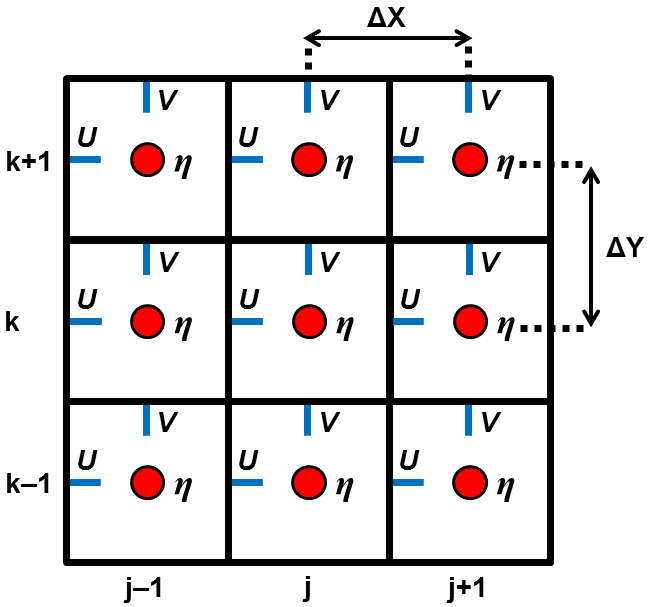

Figura 4 – Grade C de Arakawa (Fonte: Modificado de HARARI, 2015).

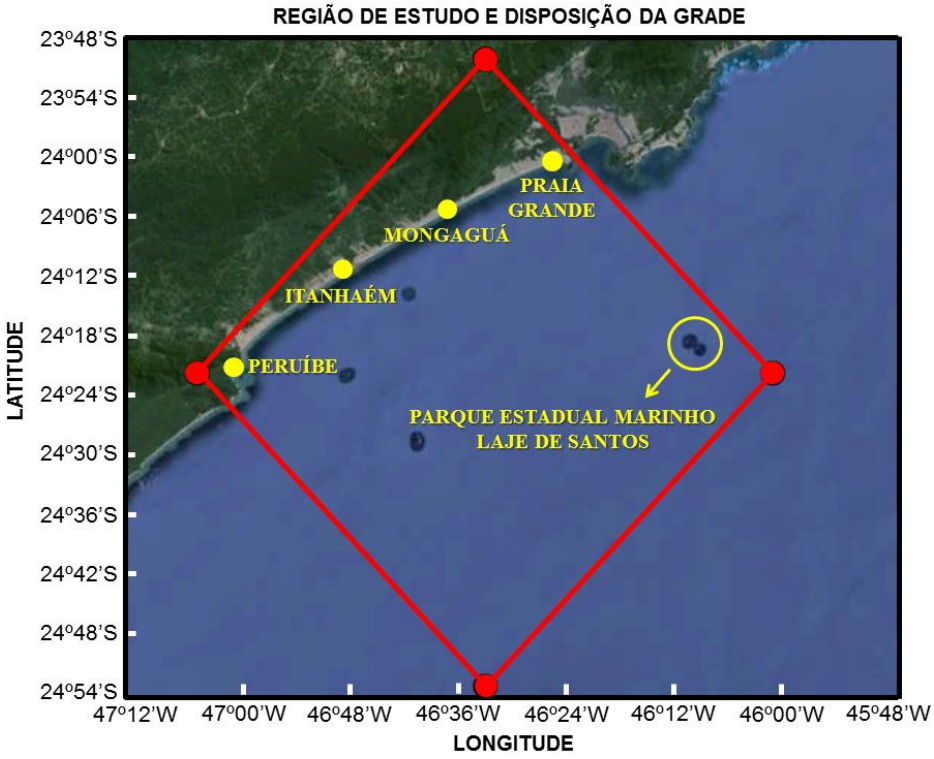

Figura 5 – Localização geográfica da grade computacional na região de estudo (Fonte: Modificado de GOOGLE EARTH, 2015).

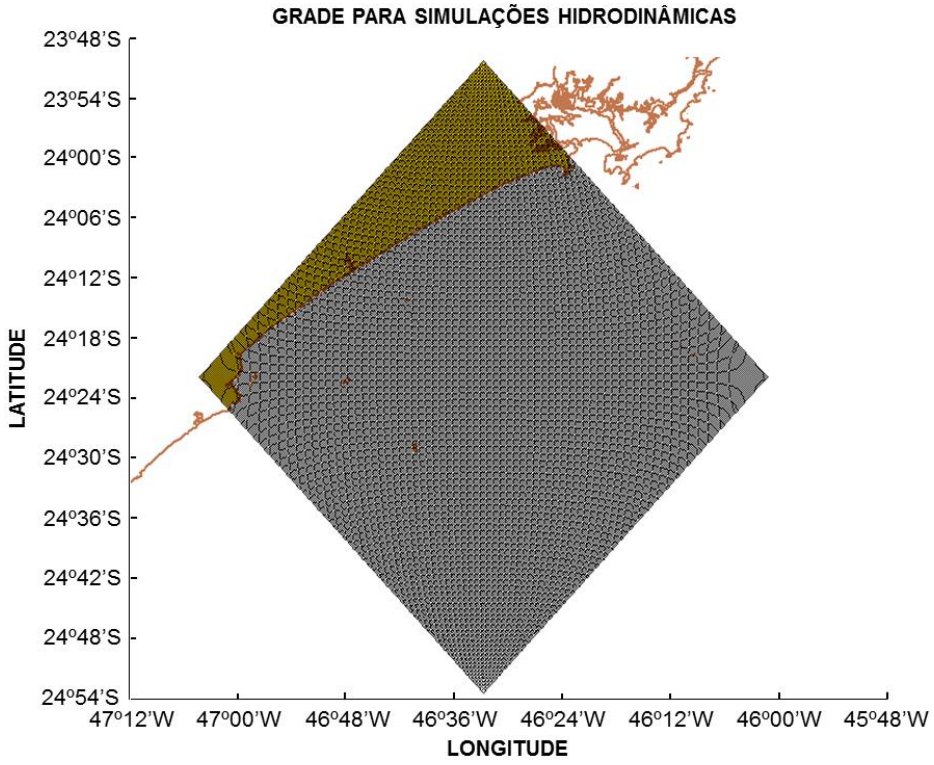

Figura 6 – Grade computacional criada para as simulações hidrodinâmicas no D3D.

Desenvolvido na cidade de Delft, na Holanda, e gerenciado pelo *Nederland Instituut voor Nationale en Internationale Delta Vraagstukken* (DELTARES), o D3D é um modelo de código aberto, mundialmente usado para realizar simulações numéricas, determinando variações espaço-temporais e interações entre fenômenos hidrodinâmicos, sedimentos, ecologia e qualidade da água, principalmente em ambientes naturais, como regiões costeiras, rios e estuários, mas também em ambientes costeiros artificiais, como portos e docas. A fim de atingir esses objetivos, o modelo possui seis módulos: módulo hidrodinâmico; módulo morfológico; módulo de ondas; módulo de qualidade da água; módulo ecológico; e módulo de rastreamento de partículas (DELTARES, 2013a).

5.1.3. *Condições de contorno*

Os contornos para as bordas abertas da grade foram especificados a partir do software *Delft DashBoard* (DDB), Versão 1.01.8218, desenvolvido e gerenciado também por DELTARES. Possui interface de usuário gráfica independente, acoplada à suíte de modelagem do D3D, sendo voltado para a realização de cálculos e análises oceanográficas avançadas (DELTARES, 2014).

O D3D trabalha com condição de contorno computacional do tipo informação independente, associando séries temporais dos parâmetros usados como forçantes (DELTARES, 2013a). Nesta condição de contorno computacional, são associados nas bordas da grade valores de medições *in situ*, de observações por satélite, ou de resultados de outro modelo hidrodinâmico (HARARI, 2015).

5.1.4. *Forçantes*

Em um modelo hidrodinâmico, são necessários parâmetros que atuem como forçantes na superfície da grade e em seus contornos abertos (HARARI, 2015). Para este trabalho, foram usados como forçantes os seguintes parâmetros: marés, campos de elevação do nível médio do mar, e valores de temperatura e de salinidade nos contornos abertos da grade; e também a tensão de cisalhamento do vento na superfície, em toda a grade computacional.

5.1.4.1. Marés

Informações de marés nos contornos também foram obtidas através do DDB, que para esta finalidade, acessa o banco de dados do modelo *Oregon State University TOPEX/Poseidon Global Inverse Solution* (TPXO), Versão 7.2. Nos contornos, as marés são representadas como forçantes astronômicas, de acordo com a amplitude e a fase em relação a Greenwich das componentes de maré consideradas pelo DDB (Tabela 1).

Tabela 1 – Componentes de maré consideradas pelo DDB, com base no TPXO.

Modo de maré	**Componente**	**Descrição**
Semi-diurno	M_2	Lunar principal
	S_2	Solar principal
	N_2	Lunar elíptica
	K_2	Declinação lunar-solar
Diurno	K_1	Declinação luni-solar
	O_1	Lunar principal
	P_1	Solar principal
	Q_1	Lunar elíptica
Longo período	Mf	Lunar quinzenal
	Mm	Lunar mensal
	Ssa	Semianual solar

O TPXO é um modelo oceânico global de marés, no qual resolve a equação laplaciana de marés através da solução de mínimos quadrados, com base na assimilação de dados de altimetria obtidos por meio de observações do satélite TOPEX/Poseidon (EGBERT, BENNETT & FOREMAN, 1994).

5.1.4.2. Vento

Dados de vento para a região de estudo, com resolução temporal de seis horas, foram obtidos no banco de dados do modelo atmosférico global do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) / *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), Versão Reanalysis 1. Administrado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), o modelo atmosférico do NCEP / NCAR assimila dados atmosféricos de estações meteorológicas situadas ao redor do planeta em conjunto com dados obtidos por satélites (KALNAY *et. al*, 1996). Seu banco de dados encontra-se disponível no sítio eletrônico do modelo (NOAA, 2015).

5.1.4.3. Nível médio do mar

Campos de elevação do nível médio do mar para os contornos da grade, com resolução temporal de uma hora, foram adquiridos no banco de dados do Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER), disponível em seu sítio eletrônico (IAGUSP, 2015). Pertencente ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAGUSP), o MASTER utiliza vários modelos atmosféricos e oceânicos, dentre os quais foi considerada uma versão customizada do modelo oceânico global *Princeton Ocean Model* (POM) por professores do IOUSP e do IAGUSP, com seu domínio definido entre as latitudes de 30ºN e 85ºS e entre as longitudes de 70ºW e 25ºE. Este modelo trabalha com: uma grade C de Arakawa, de espaçamento horizontal de 0,5º (55,56 km) em oceano aberto, com aninhamento para uma grade de 1/12º (9,26 km) no litoral sudeste brasileiro; na vertical, são consideradas 36 camadas Sigma; e são consideradas condições de contorno computacionais do tipo radiacional (HARARI *et. al*, 2006; CAMARGO & HARARI, 2014). Nas condições de contorno radiacionais, as variáveis que se encontram próximas ao contorno são transportadas para o contorno através de cálculos advectivos adicionais (HARARI, 2015).

5.1.4.4. Temperatura e salinidade

Valores tridimensionais de temperatura e salinidade, nas cinco camadas Sigma, para os contornos da grade, foram obtidos também no banco de dados do MASTER, novamente do POM customizado, também com resolução temporal de uma hora.

5.1.5. *Batimetria*

A batimetria da região de estudo foi obtida por meio da digitalização da carta náutica N.º 23200 (Int. N.º 2125), correspondente à região de Santos a Paranaguá, disponível no sítio eletrônico da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, em formato raster (DHN, 2004). A digitalização da carta náutica ocorreu por meio do software *Global Mapper* (Versão V13), programa que possui sistema de informação geográfica (SIG) e uma grande variedade de conjuntos de dados espaciais, sendo utilizado principalmente para elaboração de mapas (BLUE MARBLE GEOGRAPHICS, 2015). Após a digitalização, realizou-se a interpolação triangular da batimetria obtida, por meio do D3D. A Figura 7 mostra a batimetria interpolada para a grade criada para as simulações hidrodinâmicas.

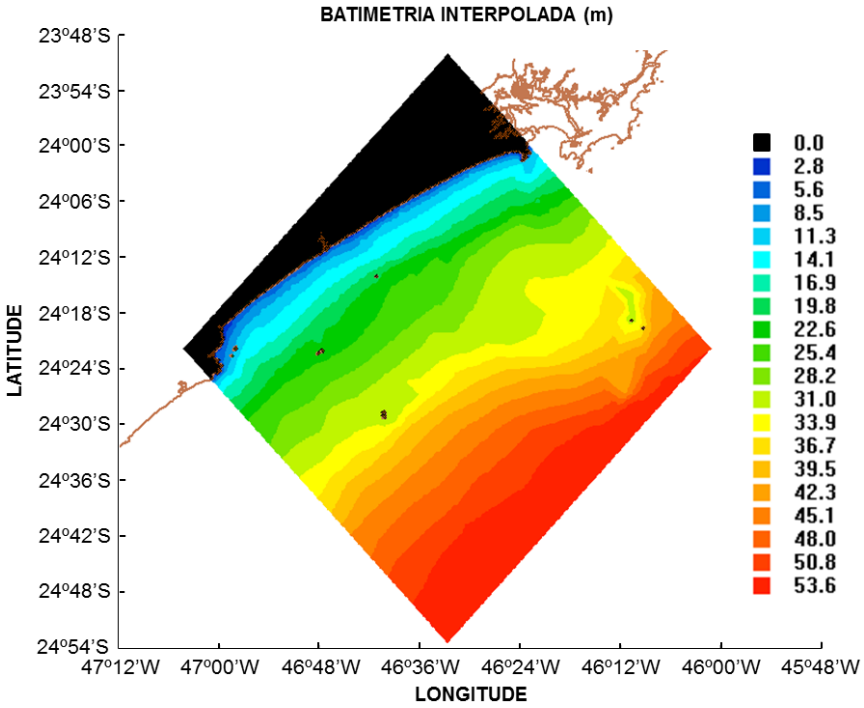

Figura 7 – Batimetria da região de estudo interpolada no D3D (valores em metros).

5.1.6. *Poluentes*

Foram selecionados os seguintes indicadores de qualidade da água: coliforme fecal *Escherichia coli* (*E. coli*); e nutrientes – amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e fosfato (PO_4^{3-}), os quais podem ser potenciais poluentes, pois podem exceder os limites estabelecidos pela legislação ambiental e consequentemente afetar a qualidade da água. Assim, para efeito do tratamento dos dados, esses componentes foram tratados como poluentes neste estudo.

A Resolução CONAMA N.º 274/2000 utiliza um método que classifica a qualidade da água em função da concentração de coliformes fecais, considerando os dados obtidos nas cinco últimas coletas de água. Para uma água salina do tipo Classe 1 (fins de recreação primária: atividades de contato direto e prolongado com a água), o limite máximo para que seja considerada própria, em função dos valores de *E. coli*, é 800 NMP/100mL. Este valor não pode exceder 20% das amostras, ou seja, uma das cinco amostras coletadas; caso contrário, a água será classificada como imprópria (BRASIL, 2001). A Tabela 2 contém os limites estabelecidos para *E. coli* em uma água salina de Classe 1.

Tabela 2 – Limites da Resolução CONAMA N.º 274/2000 para *Escherichia coli*.

Água Salina (Salinidade ≥ 30 PSU) – Classe 1 (recreação de contato primário)		
Coliforme fecal	**Qualidade da água**	**Limite (NMP/100mL)**
Escherichia coli	Própria (Excelente)	200
	Própria (Muito boa)	400
	Própria (Satisfatória)	800

A Resolução CONAMA N.º 357/2005 apenas define valores máximos de concentração de diversos parâmetros orgânicos e inorgânicos, que não podem ser superados para que a água seja considerada como própria. Estes limites variam de acordo com a salinidade e a classe da água (BRASIL, 2005). A Tabela 3 apresenta os limites de amônio, nitrato e fosfato estabelecidos para águas salinas de Classe 1.

Tabela 3 – Limites da Resolução CONAMA N.º 357/2005 para NH_4^+, NO_3^- e PO_4^{3-}.

Água Salina (Salinidade ≥ 30 PSU) – Classe 1 (recreação de contato primário)		
Nutriente	**Qualidade da água**	**Limite**
Amônio (NH_4^+)	Própria (Padrão)	0,40 mg N/L
Nitrato (NO_3^-)	Própria (Padrão)	0,40 mg N/L
Fosfato (PO_4^{3-})	Própria (Padrão)	0,062 mg P/L

5.1.7. *Fontes de poluição*

As fontes de poluição consideradas no presente trabalho foram os três emissários submarinos de Praia Grande (PG1, PG2 e PG3) e o Rio Itanhaém.

5.1.7.1. Emissários submarinos de Praia Grande

Informações das concentrações dos poluentes despejados pelos emissários submarinos PG1 e PG2 foram obtidas em SABESP (2006a), referentes aos períodos de inverno (médias de junho a agosto de 2005) e de verão (médias de fevereiro de 2006), na região de cloração do efluente. Devido à falta de informações sobre o emissário PG3, foi necessária uma estimativa das concentrações médias para este emissário, com base na população atendida no inverno e no verão, sendo considerados os números populacionais dos bairros atendidos pelos emissários (SABESP, 2010) de acordo com o censo demográfico do IBGE de 2010 (IBGE, 2015), para consequente obtenção da média ponderada pelas populações atendidas. Informações de temperatura e condutividade dos efluentes dos emissários PG1 e PG2, no verão e no inverno, também foram obtidas em SABESP (2006a), onde os valores de condutividade (mS/cm) foram convertidos em salinidade (PSU) através da metodologia proposta pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO), disponível em Fofonoff & Millard Junior (1983). Para o emissário PG3, valores de temperatura e salinidade para verão e inverno foram obtidos através das médias dos dados referentes aos emissários PG1 e PG2. Informações sazonais dos valores iniciais de poluentes, temperatura e salinidade dos efluentes dos três emissários submarinos estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores iniciais usados na caracterização dos efluentes dos emissários submarinos de Praia Grande.

Variável	Período	PG1	PG2	PG3
***E. coli* (NMP/100mL)**	Verão	$1{,}30 \times 10^7$	$4{,}15 \times 10^7$	$3{,}14 \times 10^7$
	Inverno	6×10^6	$8{,}96 \times 10^6$	$8{,}63 \times 10^6$
Amônio (mg N/L)	Verão	18,61	21,12	22,94
	Inverno	5,29	5,87	6,44
Nitrato (mg N/L)	Verão	3,15	3,41	3,79
	Inverno	0,93	0,95	1,09
Fosfato (mg P/L)	Verão	5,92	8,28	8,20
	Inverno	0,67	0,55	0,71
Temperatura (ºC)	Verão	25,34	25,45	25,40
	Inverno	22,25	21,25	21,75
Salinidade (PSU)	Verão	0,82	0,73	0,77
	Inverno	0,58	0,45	0,52

Além de informações sobre os poluentes expelidos e de propriedades físico-químicas dos efluentes, é necessário o conhecimento de especificações técnicas dos emissários submarinos para a modelagem das plumas. Tais informações referentes aos emissários PG1 e PG2 foram obtidas em Marcellino (2004) e SABESP (2006c), e quanto ao emissário PG3, adquiridas em SABESP (2006c) e Macedo *et al.* (2009). A Tabela 5 contém as especificações técnicas dos três emissários submarinos de Praia Grande, enquanto a Figura 8 mostra a localização dos pontos de despejo dos três emissários.

Tabela 5 – Informações técnicas dos emissários submarinos de Praia Grande.

Emissário submarino	**PG1 (C. Forte)**	**PG2 (Vl. Tupi)**	**PG3 (Caiçara)**
Vazão máxima (m^3/s)	1,04	1,05	1,40
Comprimento total (m)	3300	3300	4000
Profundidade de descarga (m)	9	9	12
Diâmetro da tubulação (m)	1	1	1
Comprimento do tubo difusor (m)	25	25	420
Número de difusores	5	5	150*
Espaçamento entre difusores (m)	5	5	5,6
Diâmetro dos difusores (m)	0,175	0,175	0,125*
População atendida em 2010 (hab.)	54.878	55.348	63.884
Latitude de descarga	24º 02’ 41,6” S	24º 03’ 10,7” S	24º 05’ 28,0” S
Longitude de descarga	46º 24’ 13,0” W	46º 26’ 20,6” W	46º 31’ 26,0” W
Início da operação	1996	1996	2011
Condição das informações	Atual	Atual	Projeto

* Difusores situados em dupla. Portanto, 75 duplas com dois difusores de 0,0625m cada.

O cenário considerado para as simulações das plumas de todos os poluentes, nos três emissários de Praia Grande, foi de sempre utilizar as vazões máximas dos emissários submarinos, com lançamento contínuo e constante de poluentes a cada hora, tanto no verão como no inverno.

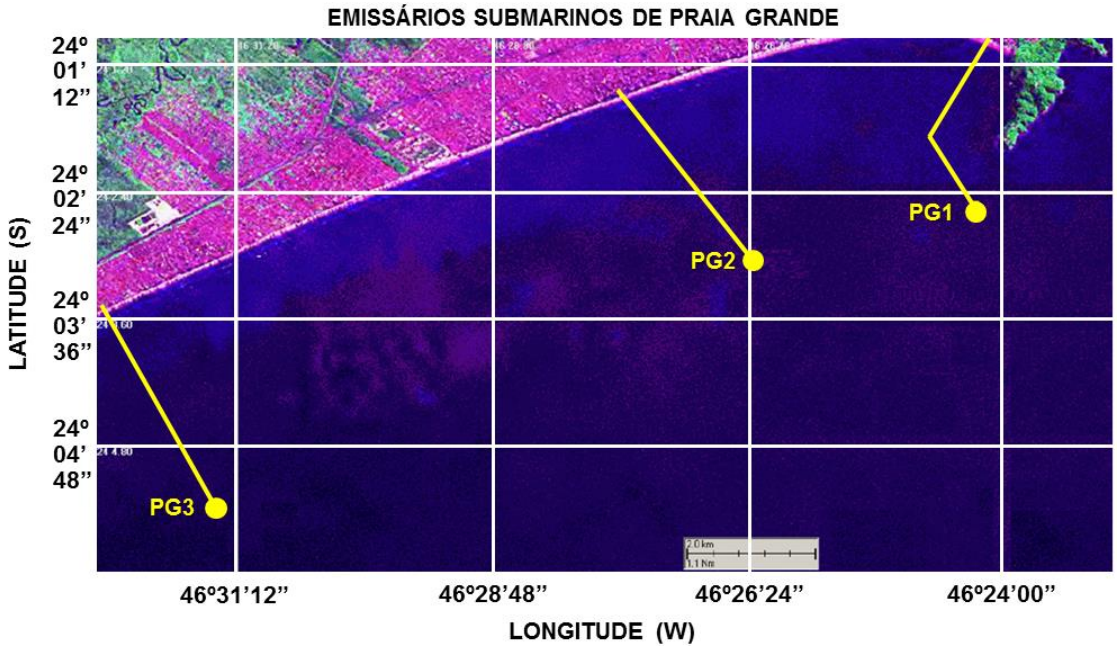

Figura 8 – Localização dos pontos de descarga dos emissários PG1, PG2 e PG3 (Fonte: Modificado de SABESP, 2006c).

5.1.7.2. Rio Itanhaém

Valores das concentrações de poluentes lançados pelo Rio Itanhaém foram obtidos em Quiñones (2000), referentes aos períodos de verão (janeiro e fevereiro) e de inverno (julho e agosto) do ano de 1998. Foi considerada a soma das médias de pontos situados Rio Itanhaém acima, com as médias de pontos nos rios do Poço e Ribeirão Campininha, que desaguam ambos próximo à foz do Rio Itanhaém e são fontes potenciais de poluição devido ao descarte de esgoto sem tratamento (QUIÑONES, 2000). O lançamento de poluentes advindos do rio foi contínuo e constante, a cada hora. Valores de temperatura e salinidade na foz foram obtidos em Souza-Pereira & Camargo (2004).

Por outro lado, valores da vazão média mensal do Rio Itanhaém foram obtidos através de um banco de dados hidrológicos de fluviometria do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), disponível em seu sítio eletrônico (DAEE, 2015). Para a estimativa da vazão média mensal do Rio Itanhaém, foram somadas as vazões médias mensais dos rios Aguapeú (de 1980 a 1986), Branco (de 1980 a 1991) e Capivari (de 1953 a 1973), sendo esses os afluentes que confluem para o estuário do Rio Itanhaém (CTHUSP, 1998). Informações sazonais sobre os valores iniciais de poluentes, temperatura, salinidade e vazão do Rio Itanhaém situam-se na Tabela 6, enquanto que a localização geográfica do Rio Itanhaém e de sua foz encontram-se dispostas na Figura 9.

Tabela 6 – Valores iniciais usados na caracterização dos efluentes da foz do Rio Itanhaém.

Variável	Período	Rio Itanhaém
***E. coli* (NMP/100mL)**	Verão	3167
	Inverno	233
Amônio (mg N/L)	Verão	0,0070
	Inverno	0,0055
Nitrato (mg N/L)	Verão	0,0020
	Inverno	0,0015
Fosfato (mg P/L)	Verão	0,0061
	Inverno	0,0039
Temperatura (ºC) *	Verão	26,29
	Inverno	20,93
Salinidade (PSU) *	Verão	5
	Inverno	25
Vazão (m^3/s) *	Verão	47,90
	Inverno	14,68

* Informações completas da variação mensal dos valores de temperatura, salinidade e vazão utilizados para a foz do Rio Itanhaém estão disponíveis no Anexo A.

Figura 9 – Localização do Rio Itanhaém e sua foz
(Fonte: Modificado de GOOGLE EARTH, 2015).

Obs.: Devido à falta de informações na literatura sobre temperatura, salinidade, vazão e concentração dos poluentes despejados pelos emissários submarinos e pelo Rio Itanhaém no período simulado no D3D (ano de 2012), para realizar o presente trabalho, foi necessária a utilização de informações sazonais destes parâmetros de anos distintos.

5.2. Tratamento dos dados

5.2.1. *Modelagem hidrodinâmica*

Simulações hidrodinâmicas foram realizadas através do módulo hidrodinâmico do D3D, o *Delft 3D – Flow Module* (D3D-FLOW). Este módulo consiste de um programa de simulação hidrodinâmica multidimensional, que calcula fluxos e fenômenos de transporte resultantes da ação de forçantes meteorológicas e de marés, num domínio cuja grade tenha bordas retilíneas ou curvilíneas. Por ser multidimensional, realiza cálculos em 2D ou 3D, sendo que nas simulações numéricas tridimensionais, a grade é determinada por aproximações em coordenadas verticais Sigma (σ). O D3D-FLOW utiliza a grade C de Arakawa para a modelagem hidrodinâmica (DELTARES, 2013b). As equações hidrodinâmicas do escoamento e do transporte de substâncias são resolvidas através do método de diferenças finitas (GREGORIO, 2009), permitindo a simulação de transportes resultantes de marés, de descargas fluviais e de efeitos meteorológicos, incluindo o efeito de diferenças de densidade devido a vazões fluviais e gradientes horizontais dos campos de temperatura e salinidade (LUIJENDIJK, 2001).

O D3D-FLOW resolve as seguintes equações, derivadas a partir das equações de Navier-Stokes: equações do movimento da água do mar nas direções *x* e *y*, para obtenção das componentes zonal e meridional das correntes, conforme mostrado, respectivamente, nas Equações 1 e 2; equação do movimento da água do mar na direção *z*, aproximada para a coordenada vertical σ, que é reduzida para a equação da relação hidrostática, para a obtenção da componente vertical das correntes, ilustrada na Equação 3; equação da continuidade para a obtenção da elevação do nível do mar, esquematizada na Equação 4; e equações de difusão de temperatura (Equação 5) e de salinidade (Equação 6). Mais informações das equações do D3D-FLOW podem ser encontradas em Deltares (2013b).

$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \vec{U}\frac{\partial \vec{U}}{\partial x} + \vec{V}\frac{\partial \vec{U}}{\partial y} + \frac{\vec{W}}{H}\frac{\partial \vec{U}}{\partial \sigma} - f\vec{V} = -\frac{\nabla P_x}{\rho} + \nabla F_x + \frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(A_V \frac{\partial \vec{U}}{\partial \sigma}\right) + M_x \quad \{\mathbf{1}\}$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{U}\frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + \vec{V}\frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + \frac{\vec{W}}{H}\frac{\partial \vec{V}}{\partial \sigma} + f\vec{U} = -\frac{\nabla P_y}{\rho} + \nabla F_y + \frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(A_V \frac{\partial \vec{V}}{\partial \sigma}\right) + M_y \quad \{\mathbf{2}\}$$

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -\vec{g}\rho H \quad \{\mathbf{3}\}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial H\vec{U}}{\partial x} + \frac{\partial H\vec{V}}{\partial y} - Q = 0 \quad \{\mathbf{4}\}$$

$$\frac{\partial HT}{\partial t} + \frac{\partial H\vec{U}T}{\partial x} + \frac{\partial H\vec{V}T}{\partial y} + \frac{\partial \vec{W}T}{\partial \sigma} = H\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{D_H}{\sigma}\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{D_H}{\sigma}\frac{\partial T}{\partial y}\right)\right] + \frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(\frac{A_V}{\sigma_{mm}}\frac{\partial T}{\partial \sigma}\right) + F_T \quad \{\mathbf{5}\}$$

$$\frac{\partial HS}{\partial t} + \frac{\partial H\vec{U}S}{\partial x} + \frac{\partial H\vec{V}S}{\partial y} + \frac{\partial \vec{W}S}{\partial \sigma} = H\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{D_H}{\sigma}\frac{\partial S}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{D_H}{\sigma}\frac{\partial S}{\partial y}\right)\right] + \frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(\frac{A_V}{\sigma_{mm}}\frac{\partial S}{\partial \sigma}\right) + F_S \quad \{\mathbf{6}\}$$

Onde: *U*, *V* e *W* são respectivamente as componentes zonal, meridional e vertical das correntes; *t* é o tempo; *H* é a profundidade; *f* é o parâmetro de Coriolis; ρ é a densidade da água; ∇P_x e ∇P_y são gradientes de pressão hidrostática nas direções *x* e *y*, respectivamente; ∇F_x e ∇F_y são gradientes de tensão radiativa nas direções *x* e *y*, respectivamente; A_V é o coeficiente de viscosidade turbulenta vertical; M_x e M_y são fontes adicionais de movimento nas direções *x* e *y*, respectivamente; *P* é a pressão hidrostática; *g* é a aceleração da gravidade; η é a elevação do nível do mar; *Q* representa fontes de contribuições por unidade de área de descarga fluvial; *T* é a temperatura; *S* é a salinidade; D_H é o coeficiente de difusão horizontal; σ_{mm} é o número de Prandtl-Schmidt para misturas moleculares; e, por fim, F_T e F_S são fontes adicionais de temperatura e salinidade, respectivamente.

Após a obtenção de resultados das simulações hidrodinâmicas, foram gerados gráficos de séries temporais e de mapas temáticos, bem como cálculos estatísticos das variáveis envolvidas, através do software *Matrix Laboratory* (MATLAB), Versão R2012a. O MATLAB é um software usado para a realização de cálculos numéricos e científicos, que possibilita a realização de qualquer operação com dados na forma de matriz, como processamento de sinais, construção de gráficos bidimensionais e tridimensionais, entre outras (MATHWORKS, 2015).

5.2.1.1. Simulações 2D

Nas simulações hidrodinâmicas 2D, foram utilizadas como forçantes apenas as marés nos contornos abertos da grade. Foram selecionadas todas as 11 componentes de maré disponíveis (M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, Mf, Mm e Ssa), para dar maior representatividade deste componente hidrodinâmico da circulação nos cálculos e nos correspondentes resultados.

Foram simulados todos os meses de 2012, considerando o fuso-horário de Greenwich, o *Greenwich Mean Time* (GMT), com passo de tempo de um minuto. Antes da simulação de janeiro de 2012, foi simulado o mês de dezembro de 2011 (com condição inicial de elevação igual a zero em toda a grade), para obter equilíbrio hidrodinâmico do modelo no período de interesse. Os resultados de saída foram: elevação do nível do mar e componentes (U e V) e intensidade (módulo) de correntes, médios na coluna d'água.

5.2.1.2. Simulações 3D

Nas simulações hidrodinâmicas 3D, foram considerados cinco níveis de profundidade equi-espaçados, em coordenadas Sigma. Como forçantes, foram usadas as mesmas onze componentes de maré, juntamente com a elevação do nível médio do mar, e valores de temperatura e salinidade para as cinco camadas Sigma nos contornos; além da tensão de cisalhamento do vento na superfície da grade. Adicionalmente, foram consideradas as influências do Rio Itanhaém, com os correspondentes valores de temperatura, salinidade e vazão em sua foz.

Também foram simulados todos os meses do ano de 2012 nas simulações 3D, novamente considerando o fuso GMT e com passo de tempo igual a um minuto. No primeiro mês de simulação (dezembro de 2011, mês anterior ao período de interesse, para a obtenção do equilíbrio hidrodinâmico), as condições iniciais do modelo foram de elevação igual a zero, temperatura de 20ºC e salinidade de 31 PSU em toda a grade computacional. Os resultados de saída do processamento 3D foram: elevação do nível do mar; além de componentes (U e V) e intensidade de correntes, temperatura e salinidade, nos cinco níveis Sigma de profundidade.

5.2.1.3. Séries temporais e cálculos estatísticos

Resultados contendo as séries temporais dos parâmetros de saída foram salvos a cada 10 minutos nas simulações 2D, e a cada hora nas simulações 3D.

Para a análise estatística de séries temporais das variáveis envolvidas nas simulações hidrodinâmicas, foram selecionados 20 pontos de monitoramento, que se localizam dentro da grade ao longo de quatro radiais, contendo cinco pontos cada.

A localização das radiais foi determinada de modo que fossem distribuídas homogeneamente e que cobrissem toda a região de estudo. As quatro radiais tiveram como referência a localização geográfica dos quatro municípios litorâneos que se encontram dentro da região de estudo: Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe. Cada radial apresenta seu ponto mais costeiro a uma distância de 2,1 km da costa, e um intervalo de 14 km foi estabelecido entre pontos consecutivos, de modo que, assim, fossem gerados resultados significativos e contrastantes entre os pontos mais próximos à região costeira e os pontos mais afastados.

Para cada ponto de monitoramento foram realizados os seguintes cálculos estatísticos: mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão, curtose e assimetria. A apresentação desses parâmetros estatísticos nos 20 pontos de monitoramento foi restrita aos meses de fevereiro e agosto de 2012, de modo a salientar o contraste verão – inverno nos resultados do modelo.

A Tabela 7 mostra as coordenadas geográficas e as profundidades dos pontos de cada uma das quatro radiais, enquanto a Figura 10 mostra a localização das radiais e de seus pontos de monitoramento.

Tabela 7 – Coordenadas e profundidades dos pontos de monitoramento no D3D-FLOW.

Radial	Ponto	Latitude	Longitude	Prof. (m)
Praia Grande	**RAD_PGD_P1**	24º 02’ 38,4’’ S	46º 27’ 43,2’’ W	10,10
	RAD_PGD_P2	24º 08’ 13,2’’ S	46º 21’ 46,8’’ W	23,67
	RAD_PGD_P3	24º 13’ 44,4’’ S	46º 16’ 01,2’’ W	31,92
	RAD_PGD_P4	24º 19’ 12,0’’ S	46º 10’ 15,6’’ W	31,53
	RAD_PGD_P5	24º 24’ 14,4’’ S	46º 04’ 44,4’’ W	50,62
Mongaguá	**RAD_MON_P1**	24º 07’ 44,4’’ S	46º 38’ 42,0’’ W	9,68
	RAD_MON_P2	24º 13’ 12,0’’ S	46º 32’ 42,0’’ W	23,28
	RAD_MON_P3	24º 18’ 39,6’’ S	46º 26’ 45,6’’ W	29,93
	RAD_MON_P4	24º 24’ 03,6’’ S	46º 20’ 52,8’’ W	36,98
	RAD_MON_P5	24º 29’ 20,4’’ S	46º 15’ 00,0’’ W	49,19
Itanhaém	**RAD_ITN_P1**	24º 13’ 19,2’’ S	46º 48’ 57,6’’ W	8,30
	RAD_ITN_P2	24º 18’ 39,6’’ S	46º 43’ 04,8’’ W	21,50
	RAD_ITN_P3	24º 24’ 03,6’’ S	46º 37’ 08,4’’ W	29,76
	RAD_ITN_P4	24º 29’ 31,2’’ S	46º 31’ 12,0’’ W	40,99
	RAD_ITN_P5	24º 34’ 55,2’’ S	46º 25’ 15,6’’ W	49,12
Peruíbe	**RAD_PER_P1**	24º 19’ 51,6’’ S	46º 58’ 40,8’’ W	5,66
	RAD_PER_P2	24º 25’ 04,8’’ S	46º 52’ 58,8’’ W	20,91
	RAD_PER_P3	24º 30’ 32,4’’ S	46º 47’ 13,2’’ W	28,94
	RAD_PER_P4	24º 36’ 00,0’’ S	46º 41’ 24,0’’ W	39,31
	RAD_PER_P5	24º 41’ 34,8’’ S	46º 35’ 27,6’’ W	48,02

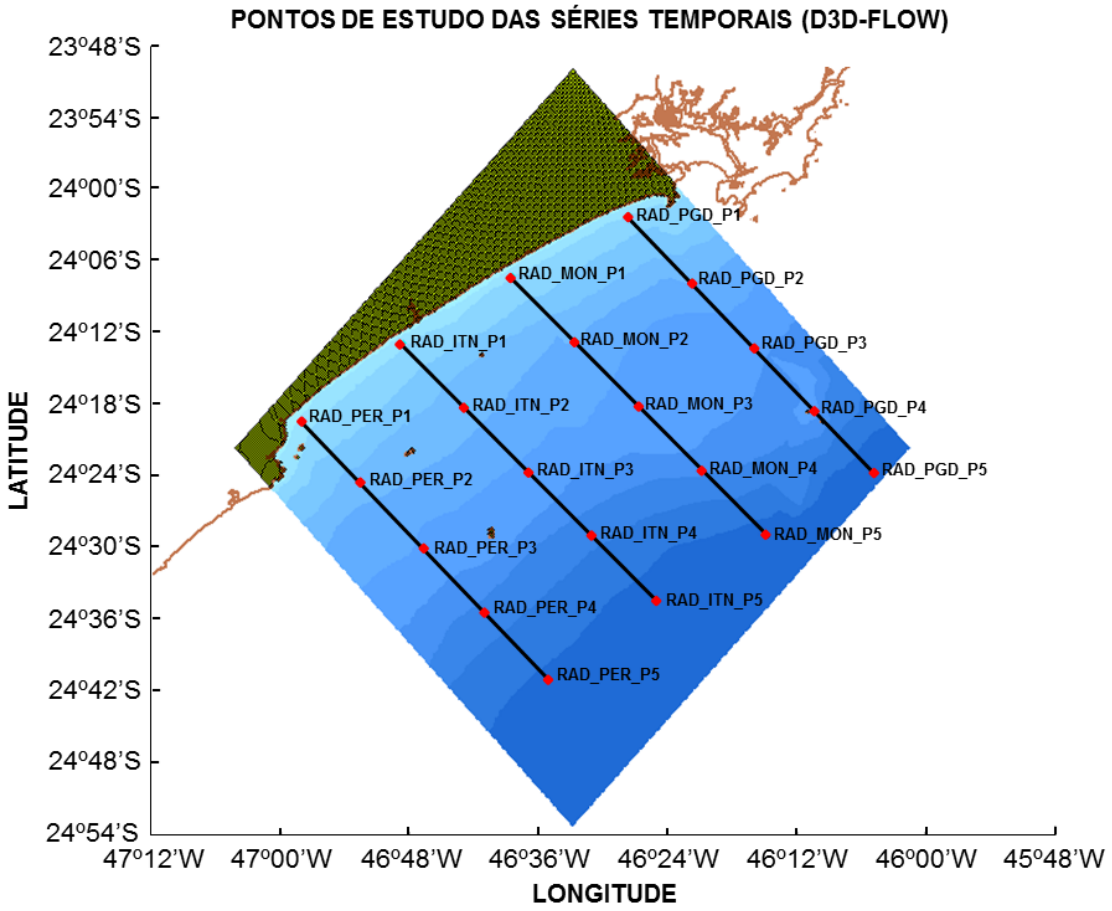

Figura 10 – Localização das radiais e pontos de monitoramento no D3D-FLOW.

Na apresentação gráfica dos resultados do modelo foram selecionadas apenas as séries temporais das radiais de Praia Grande e Itanhaém, com apenas um ponto de cada radial, somente para os meses de fevereiro e agosto de 2012. Os motivos dessas escolhas foram: tais radiais estão relacionadas com as cidades em que se encontram as principais fontes de poluição da região de estudo; para analisar a variação do comportamento dos parâmetros em regiões mais próximas à costa e mais afastadas, foi escolhido o ponto P1 da radial de Itanhaém, situado a poucos quilômetros da foz do Rio Itanhaém, para representar as regiões costeiras, e foi escolhido o ponto P4 da radial de Praia Grande, que está localizado muito próximo ao PEMLS, para representar as regiões mais afastadas; ao escolher os meses de fevereiro e agosto, foi possível abordar os períodos de verão e de inverno, para assim verificar variações sazonais dos resultados do modelo. Nas simulações 2D, as séries temporais são de médias na coluna d'água; e nas simulações 3D, são referentes à primeira e à quinta camadas Sigma (superfície e fundo).

5.2.1.4. Mapas temáticos

Mapas de distribuição dos parâmetros de saída do modelo foram gerados nas simulações 2D e 3D, para os mesmos instantes de processamento do D3D-FLOW.

Quanto às simulações 2D, serão exibidos mapas de elevação do nível do mar e direção e intensidade de correntes (médias nas colunas), nos meses de fevereiro e agosto de 2012, com dois mapas de cada parâmetro por mês, referentes aos instantes (com aproximações para horas exatas) em que foram encontrados os valores mínimos e máximos de cada parâmetro no ponto RAD_PGD_P4, que se encontra bem próximo ao PEMLS. Procurou-se assim representar as distribuições de elevação e correntes, em toda a região de estudo, com base nos valores mínimos e máximos registrados de cada parâmetro em um ponto específico.

Em relação às simulações 3D, foram exibidos mapas de elevação do nível do mar, direção e intensidade de correntes, temperatura e salinidade, também dos meses de fevereiro e agosto de 2012, na primeira e na quinta camadas Sigma. Foram selecionados dois mapas por mês de elevação do nível do mar, direção e intensidade de correntes e temperatura, para os instantes referentes aos mínimos e máximos destes parâmetros no ponto RAD_PGD_P4; foram também selecionados dois mapas por mês de salinidade, porém, estes foram referentes aos instantes em que ocorreram os mínimos e máximos de salinidade no ponto RAD_ITN_P1, o ponto de monitoramento mais próximo da foz do Rio Itanhaém. Evidentemente, a seleção dos instantes para apresentação dos mapas de resultados de modelagem 3D teve a finalidade de salientar os contrastes entre valores mínimos e máximos, bem como as variações sazonais entre verão e inverno, entre a área costeira e a oceânica, e entre as camadas da superfície e do fundo.

5.2.2. *Validação do modelo hidrodinâmico*

O procedimento de validação de um modelo consiste em comparar seus resultados com resultados provenientes de outro conjunto de dados, coletados *in situ* ou produzidos por outro modelo previamente validado, visando inferir a qualidade dos resultados obtidos nas simulações computacionais realizadas (HARARI, 2015).

O D3D-FLOW foi validado com valores de elevação de marés para as simulações 2D, e com valores de elevação do nível do mar para as simulações 3D. Os resultados do D3D usados na validação são de séries temporais desses parâmetros em fevereiro e agosto de 2012, referentes a nove pontos de observação do D3D-FLOW, em relação às séries temporais dos mesmos parâmetros e nos mesmos meses, de nove pontos do modelo de circulação POM do laboratório MASTER, devidamente validados em diversos trabalhos (HARARI *et. al*, 2006; CAMARGO & HARARI, 2014). Como os modelos possuem resoluções espaciais diferentes, a posição dos pontos usados para a validação não é exatamente a mesma, conforme a Tabela 8. A Figura 11 mostra a localização dos pontos do D3D-FLOW e do POM / MASTER usados para a validação.

Tabela 8 – Pontos do D3D-FLOW e do POM / MASTER para validação.

D3D-FLOW	Distância (km)	POM / MASTER	Latitude	Longitude
RAD_PER_P3	← 12,24 →	**SP91**	24º 30’ 00’’ S	46º 40’ 00’’ W
RAD_MON_P3	← 6,01 →	**SP92**	24º 20’ 00’’ S	46º 30’ 00’’ W
RAD_PGD_P2	← 4,46 →	**SP93**	24º 10’ 00’’ S	46º 20’ 00’’ W
RAD_PER_P4	← 7,75 →	**SP94**	24º 40’ 00’’ S	46º 40’ 00’’ W
RAD_ITN_P4	← 2,21 →	**SP95**	24º 30’ 00’’ S	46º 30’ 00’’ W
RAD_MON_P4	← 7,64 →	**SP96**	24º 20’ 00’’ S	46º 20’ 00’’ W
RAD_PER_P5	← 9,66 →	**SP97**	24º 40’ 00’’ S	46º 30’ 00’’ W
RAD_MON_P5	← 8,53 →	**SP98**	24º 30’ 00’’ S	46º 20’ 00’’ W
RAD_PGD_P4	← 1,54 →	**SP99**	24º 20’ 00’’ S	46º 10’ 00’’ W

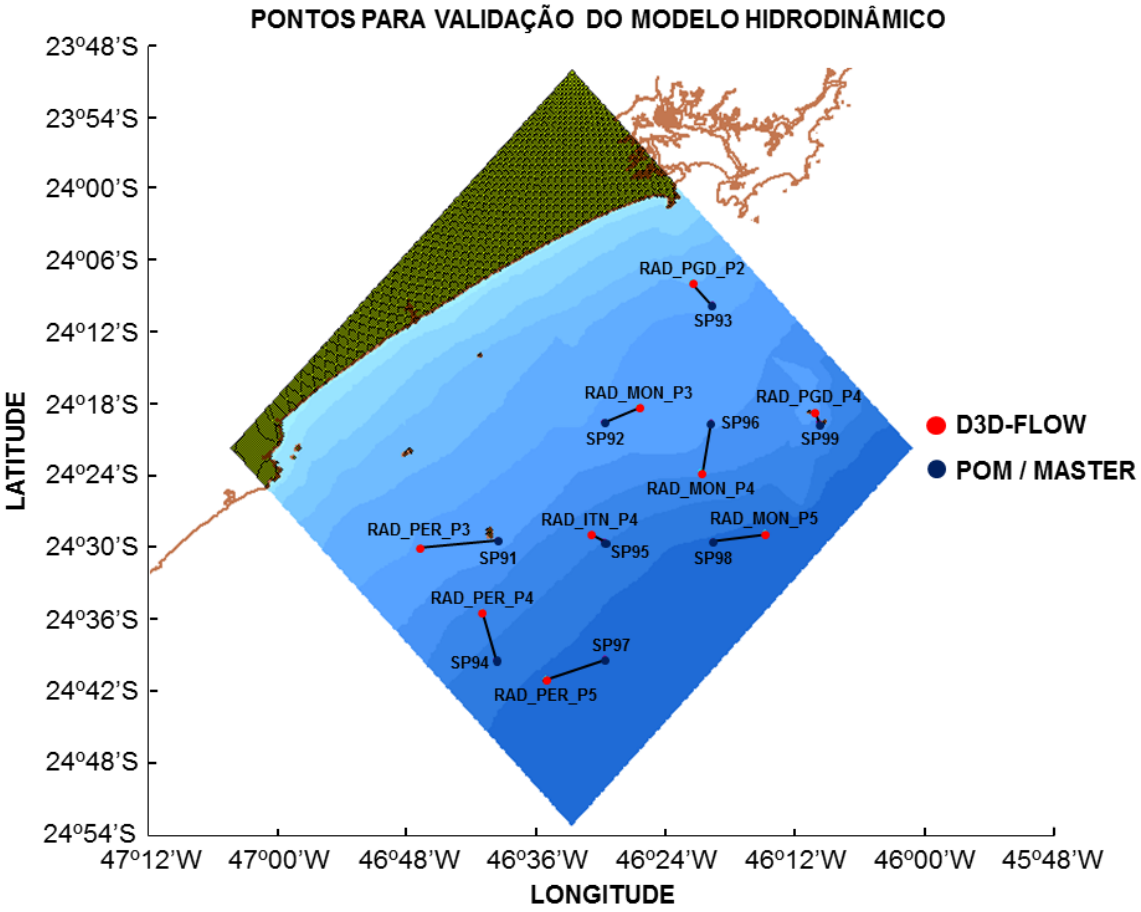

Figura 11 – Localização dos pontos do D3D-FLOW e do POM / MASTER, usados para a validação do modelo hidrodinâmico.

Para a validação do D3D-FLOW em 2D e 3D, foram utilizados sete métodos matemáticos, com as equações descritas a seguir, onde n é o número de dados, $Mod_{(i)}$ representa os dados de séries temporais modeladas no D3D-FLOW (com média $X_{Mod(i)}$ e desvio padrão $\sigma_{Mod(i)}$), enquanto $Obs_{(i)}$ representa os dados das séries temporais observadas no POM / MASTER (com média $X_{Obs(i)}$ e desvio padrão $\sigma_{Obs(i)}$); e, por fim, Cov é a covariância entre as séries temporais comparadas.

Os cálculos para validação do D3D-FLOW foram realizados com programas em MATLAB. Na apresentação dos gráficos de validação, foi mostrada apenas a comparação das séries temporais entre o ponto RAD_PGD_P4 (D3D-FLOW) e o ponto SP99 (POM / MASTER), pois, para as nove comparações realizadas, esta é a que apresenta a menor distância de um ponto a outro, conforme a Tabela 8.

5.2.2.1. Erro absoluto médio relativo

O método *Relative Mean Absolute Error* (*RMAE*), erro absoluto médio relativo, é definido através da Equação 7.

$$RMAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| Obs_{(i)} - Mod_{(i)} \right|}{\sum_{i=1}^{n} \left| Obs_{(i)} \right|} \quad \{7\}$$

O *RMAE* ideal deve corresponder a zero, e a qualidade dos resultados de modelagem possui classificação de acordo com seu valor (WALSTRA *et al.*, 2001), conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Classificação da qualidade dos resultados do modelo, segundo os valores de *RMAE*.

RMAE	**Classificação**
RMAE < 0,20	Excelente
0,20 < *RMAE* < 0,40	Bom
0,40 < *RMAE* < 0,70	Razoável
0,70 < *RMAE* < 1	Ruim
RMAE > 1	Péssimo

5.2.2.2. Erro estatístico médio absoluto

O método *Absolute Mean Statistic Error* (*AMSE*), erro estatístico médio absoluto, é calculado segundo a Equação 8. O *AMSE* possui a mesma unidade da variável estudada, sendo o seu valor ideal nulo (WILLMOTT, 1982).

$$AMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| Obs_{(i)} - Mod_{(i)} \right| \quad \{8\}$$

5.2.2.3. Raiz do erro quadrático médio

O método *Root Mean Square Error* (*RMSE*), raiz do erro quadrático médio, é definido de acordo com a Equação 9. O *RMSE* também possui a mesma unidade da variável estudada, e seu valor ideal também corresponde a zero (WILLMOTT, 1981; WILLMOTT, 1982).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Obs_{(i)} - Mod_{(i)}\right)^2} \quad \{\mathbf{9}\}$$

5.2.2.4. Coeficiente Skill

Para a obtenção deste coeficiente, primeiramente é necessário calcular o valor da raiz do erro quadrático médio, o *RMSE*, visto na Equação 9, bem como o *Range* médio dos dados observados, disposto na Equação 10.

$$Range = \frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Obs_{(i)} - X_{Obs(i)}\right| \quad \{\mathbf{10}\}$$

O coeficiente *Skill* pode ser calculado segundo a Equação 11, e seu valor ideal corresponde a 1 (HESS & BOSLEY, 1991).

$$Skill = 1 - \frac{RMSE}{Range} \quad \{\mathbf{11}\}$$

Obs.: Em muitos trabalhos envolvendo validação de modelos hidrodinâmicos, o *Skill* é determinado através do método de Willmott e Wicks. Porém, no presente trabalho, o coeficiente *Skill* é definido segundo a metodologia de Hess & Bosley (1991), que é totalmente diferente do método de Willmott e Wicks, que no presente trabalho, foi definido como "índice de concordância", disposto a seguir, na Equação 12.

5.2.2.5. Índice de concordância

O método *Index of Agreement* (*IOA*), índice de concordância, ou método de Willmott e Wicks, é definido de acordo com a Equação 12. Caso seja maior que 0,5 indica que a modelagem apresentou uma redução significativa de erros, sendo 1 o seu valor ideal (WILLMOTT, 1981; WILLMOTT, 1982).

$$IOA = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Obs_{(i)} - Mod_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|Mod_{(i)} - X_{Obs(i)}\right| + \left|Obs_{(i)} - X_{Obs(i)}\right|\right)^2}\right] \quad \{\mathbf{12}\}$$

5.2.2.6. Coeficiente de correlação de Pearson

Para determinar este coeficiente, primeiramente é necessária a obtenção da covariância entre as séries comparadas (Equação 13), bem como seus desvios padrão.

$$Cov\left(Mod_{(i)}, Obs_{(i)}\right) = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}\left[\left(Mod_{(i)} - X_{Mod(i)}\right)\left(Obs_{(i)} - X_{Obs(i)}\right)\right] \quad \{\mathbf{13}\}$$

O coeficiente de correlação de *Pearson* é calculado conforme a Equação 14, sendo 1 o seu valor ideal, o que vem a representar uma correlação fortemente positiva (DORIA FILHO, 2003).

$$Pearson = \frac{Cov\left(Mod_{(i)}, Obs_{(i)}\right)}{\sigma_{Mod(i)}\,\sigma_{Obs(i)}} \quad \{\mathbf{14}\}$$

5.2.2.7. Coeficiente R^2

O coeficiente R^2 é definido de acordo com a Equação 15, e possui valor ideal correspondente a 1 (WILLMOTT, 1982).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Obs_{(i)} - Mod_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Obs_{(i)} - X_{Obs(i)}\right)^2} \quad \{\mathbf{15}\}$$

5.2.3. *Modelagem das plumas (campo próximo e intermediário)*

Foi utilizado o software *Visual Plumes* (VP), Versão 1.0, para a modelagem dos campos próximo e intermediário das plumas de esgoto dos três emissários, mais especificamente, o seu módulo *Three Dimensional Updated Merge* (UM3). Os processos de mistura na região inicial do lançamento foram simulados a partir de: informações técnicas dos emissários submarinos; valores de concentração e de decaimento dos poluentes envolvidos; e resultados do D3D-FLOW na caracterização hidrodinâmica do ambiente onde as plumas de esgoto são lançadas.

O VP é um programa de código aberto utilizado para fins de simulação da dispersão de poluentes e os processos físicos de efluentes hídricos, como plumas e jatos, possibilitando o cálculo de diversas variáveis de uma pluma, tais como diluição, ascensão, diâmetro, entre outras. O VP possui várias formulações de diluição inicial e de campo-distante, que simulam plumas submersas individuais e plumas submersas que se fundem em ambientes de fluxo arbitrariamente estratificado (FRICK *et al.*, 2001; FRICK, 2004).

O UM3 é um modelo lagrangeano 3D de diluição inicial da pluma que, através das equações de conservação de massa (Equação 16), de *momentum* horizontal (Equação 17), de energia (Equação 18), e de salinidade (Equação 19); e da equação do decaimento (Equação 20), realiza simulações de campo próximo e intermediário de plumas de emissários submarinos (BAUMGARTNER, FRICK & ROBERTS, 1994). Demais informações das equações do UM3 em Baumgartner, Frick & Roberts (1994).

$$M_p = \rho_E \pi {R_J}^2 L_J \quad \{\mathbf{16}\}$$

$$\frac{\partial M_p \overrightarrow{V_J}}{\partial t} = \overrightarrow{V_C}\frac{\partial M_p}{\partial t} - M_p \frac{\rho_A - \rho_E}{\rho_E}\vec{g} \quad \{\mathbf{17}\}$$

$$\frac{\partial M_p T_E}{\partial t} = T_A \frac{\partial M_p}{\partial t} \quad \{\mathbf{18}\}$$

$$\frac{\partial M_p S_E}{\partial t} = S_A \frac{\partial M_p}{\partial t} \quad \{\mathbf{19}\}$$

$$\frac{\partial M_p \beta_p}{\partial t} = \beta_A \frac{\partial M_p}{\partial t} - \left[\lambda_p M_p \beta_p\right] \quad \{\mathbf{20}\}$$

Onde: M_p é a massa de um poluente na pluma de um emissário submarino; t é o tempo; V_J é a velocidade do jato; V_C é a velocidade das correntes; g é a aceleração da gravidade; R_J é o raio do jato; L_J é o comprimento do jato; ρ_E é a densidade do efluente na pluma de um emissário submarino; ρ_A é a densidade do ambiente local; T_E é a temperatura do efluente na pluma de um emissário submarino; T_A é a temperatura do ambiente local; S_E é a salinidade do efluente na pluma de um emissário submarino; S_A é a salinidade do ambiente local; β_p é a concentração de um poluente na pluma de um emissário submarino; β_A é a concentração do poluente no ambiente local; e λ_p é o decaimento do poluente na pluma de um emissário submarino.

Os poluentes selecionados para a realização do presente trabalho foram tratados de forma não conservativa, ou seja, que decaem com o tempo. Portanto, foi necessária a obtenção de valores de decaimento para cada poluente na modelagem *near field*.

Em relação às taxas de decaimento para *E. coli*, foi utilizado um decaimento bacteriano do tipo T_{90}, correspondente ao tempo necessário para a eliminação de 90% das bactérias (BAUMGARTNER, FRICK & ROBERTS, 1994; YUKSELEN *et al.*, 2003). O cálculo do T_{90} foi feito de acordo com a metodologia disposta em Yukselen *et al.* (2003), conforme as variações de temperatura e salinidade do ambiente de simulação, obtidas em cada camada Sigma nas simulações 3D. A Tabela 10 disponibiliza os valores sazonais médios de T_{90} (em horas), calculados para uso nas cinco camadas Sigma de profundidade na modelagem de campo próximo no UM3.

Tabela 10 – Taxas sazonais médias do decaimento T_{90} de *E. coli* usadas no UM3, em horas.

Camada	**Verão** T_{90} **(h)**	**Inverno** T_{90} **(h)**
Sigma 1	1,01	1,06
Sigma 2	1,49	1,51
Sigma 3	1,49	1,51
Sigma 4	16,29	19,30
Sigma 5	16,31	19,31

Para as taxas de decaimento dos demais poluentes (amônio, nitrato e fosfato), foram considerados decaimentos com valores constantes, iguais para o verão e o inverno, com uso de valores padrão para cada uma das substâncias (em d^{-1}), recomendados pelo módulo de qualidade da água do modelo D3D (DELTARES, 2013c), e também pelo modelo de qualidade da água *Resource Modelling Associates – Module 11* (RMA-11), disponíveis em King (2016). A Tabela 11 apresenta as taxas de decaimento simples utilizadas para a modelagem *near field* de tais poluentes no UM3.

Tabela 11 – Taxas de decaimento de NH_4^+, NO_3^- e PO_4^{3-} usadas no UM3, em d^{-1}.

Poluente	**Decaimento (d^{-1})**
Amônio (NH_4^+)	0,1
Nitrato (NO_3^-)	0,1
Fosfato (PO_4^{3-})	0,03

Os resultados da modelagem do campo próximo dos emissários submarinos de Praia Grande, nos meses de fevereiro e agosto de 2012, foram gravados a cada hora, sendo representados por: diluição, distância percorrida pela pluma e concentração de poluentes (para *Escherichia coli*, amônio, nitrato e fosfato).

5.2.3.1. Cálculos estatísticos

Foi realizada uma análise estatística básica no MATLAB dos resultados obtidos na modelagem *near field* dos emissários submarinos de Praia Grande, nos meses de interesse, similar à realizada nas simulações hidrodinâmicas, com cálculos de mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão, curtose e assimetria.

5.2.3.2. Histogramas angulares

Foram gerados, também no MATLAB, histogramas angulares dos resultados obtidos na modelagem *near field* dos emissários PG1, PG2 e PG3, com o intuito de representar tais variáveis em função do espalhamento inicial da pluma gerada por cada um dos difusores dos mencionados emissários submarinos, até a obtenção de seu equilíbrio hidrostático, para os períodos de verão e de inverno.

5.2.4. *Modelagem das plumas (campo distante)*

Para a modelagem de campo distante a partir de resultados da modelagem hidrodinâmica 3D realizada no D3D-FLOW, os resultados da modelagem de campo próximo das plumas dos três emissários submarinos de Praia Grande, obtidos no UM3, foram inseridos no D3D, em seu módulo de qualidade da água, o *Delft 3D – Water Quality Module* (D3D-WAQ), juntamente com informações da pluma de efluentes do Rio Itanhaém, pluma na qual foi realizada apenas a modelagem *far field*.

O D3D-WAQ é um programa multidimensional que resolve a equação da advecção-difusão-decaimento (Equação 21) a partir dos resultados do D3D-FLOW em uma grade previamente definida, permitindo grande flexibilidade na escolha das substâncias químicas a serem modeladas. Alguns exemplos de substâncias que podem ser usadas nas simulações são: fosfato, nitrato, amônio, silicato, oxigênio dissolvido, carbono inorgânico dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, metais pesados, bactérias, entre muitas outras (DELTARES, 2013c; DELTARES, 2013d).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{U}\frac{\partial C}{\partial x} + \vec{V}\frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\vec{W}}{H}\frac{\partial C}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial x}\left(K_H \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_H \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{1}{H^2}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(K_V \frac{\partial C}{\partial \sigma}\right) - [C\ \lambda_C] + F_C \quad \{\mathbf{21}\}$$

Na equação da advecção-difusão-decaimento, C é a concentração de um poluente ou uma substância qualquer; U, V e W são respectivamente as componentes zonal, meridional e vertical das correntes; t é o tempo; H é a profundidade; K_H e K_V são os coeficientes de difusão turbulenta horizontal e vertical, respectivamente; λ_C é o decaimento do poluente ou da substância modelada; e, por fim, F_C representa fontes adicionais do poluente ou da substância modelada, devido a reações e demais processos físicos.

O D3D-WAQ permite que processos físicos e químicos específicos para cada poluente sejam ativados de forma independente, a fim de possibilitar a criação de cenários que possam representar tanto a dispersão como o decaimento dos poluentes no ambiente de simulação de maneira que se aproximem o máximo possível da realidade (DELTARES, 2013c; DELTARES, 2013d). A Tabela 12 contém os processos ativos considerados para cada poluente na modelagem de campo distante, bem como os valores considerados para seus correspondentes parâmetros, para os períodos de verão e inverno.

Tabela 12 – Processos e parâmetros considerados na modelagem de campo distante.

Processo ativo	Parâmetros	Verão	Inverno
Mortalidade (*E. coli*)	Clorinidade da água do mar (mg/L)	20000	20000
	Coeficiente de mortalidade pela temperatura	1,07	1,07
	Temperatura média mensal (ºC)	25	20
	Radiação solar média mensal (W/m^2)	250	190
	Duração média do dia (d)	0,5367	0,4711
	Fração UV da luz visível	0,12	0,12
Nitrificação (Amônio)	Oxigênio dissolvido na água do mar (mg/L)	6,916	7,045
	Taxa de nitrificação (mg N/L d^{-1})	0,1	0,1
	Valor crítico de oxigênio dissolvido (mg/L)	1	1
	Valor ótimo de oxigênio dissolvido (mg/L)	5	5
Denitrificação (Nitrato)	Oxigênio dissolvido na água do mar (mg/L)	6,916	7,045
	Taxa de denitrificação (mg N/L d^{-1})	0,1	0,1
	Valor crítico de oxigênio dissolvido (mg/L)	5	5
	Valor ótimo de oxigênio dissolvido (mg/L)	1	1
Adsorção (Fosfato)	Fosfato adsorvido (mg P/L)	0	0
	Oxigênio dissolvido na água do mar (mg/L)	6,916	7,045
	Taxa de adsorção (d^{-1})	0,03	0,03
	pH da água do mar	8	8

No geral, para tais parâmetros, foram considerados valores padrão sugeridos pelo D3D-WAQ. As exceções foram: valores de temperatura da água do mar, obtidos no POM / MASTER, referentes às médias de fevereiro e agosto de 2012; de radiação solar, obtidos no NCEP / NCAR, também como médias dos dois meses de interesse; de duração média do dia, obtida para cada mês através do cálculo do parâmetro *Day Length*, disponível em Deltares (2013c); e de oxigênio dissolvido na água do mar, obtidos em Ferreira (2008), das médias extraídas em pontos da plataforma continental adjacente à Baixada Santista no inverno de 2005 e no verão de 2006, com os valores em mL/L convertidos para mg/L, através da metodologia disponível em Aminot & Chaussepied (1983). Quanto ao fosfato adsorvido, seu valor é zero, pois não foi considerada a presença de material em suspensão na modelagem de campo distante. Mais informações dos cálculos realizados em função destes parâmetros (antes da aplicação da equação da advecção-difusão-decaimento pelo D3D-WAQ) encontram-se disponíveis em Deltares (2013c) e Deltares (2013d).

A modelagem *far field* foi realizada para fevereiro e agosto de 2012. Como o intuito do trabalho foi o de monitorar exclusivamente a poluição das plumas dos emissários submarinos de Praia Grande e da pluma do Rio Itanhaém, para todos os poluentes foi utilizado, como condição inicial, valor de concentração zero em toda a grade, nos dois meses de interesse. Foram adotados os mesmos cinco níveis Sigma de profundidade do módulo hidrodinâmico, com passo de tempo de uma hora, o mesmo intervalo de tempo para as saídas dos resultados hidrodinâmicos 3D do D3D-FLOW e dos resultados da modelagem do campo próximo no UM3; e o fuso GMT. Após a obtenção de resultados da modelagem de campo distante, foram gerados gráficos de séries temporais e de mapas temáticos, bem como cálculos estatísticos dos poluentes envolvidos, no MATLAB.

5.2.4.1. Séries temporais e cálculos estatísticos

Resultados das séries temporais dos parâmetros de saída da modelagem de campo distante (para *E. coli*, NH_4^+, NO_3^- e PO_4^{3-}) foram salvos a cada hora.

Para a análise estatística de séries temporais das variáveis envolvidas na modelagem de campo distante, foram selecionados 20 pontos de monitoramento, que se localizam na grade e se encontram agrupados em três grupos: grupo Praia Grande, com 14 pontos; grupo Rio Itanhaém, com quatro pontos; e grupo Laje de Santos, com dois pontos.

A localização dos pontos foi determinada de maneira que fosse possível representar os contrastes entre a região costeira, a região próxima e ao redor dessas fontes, e as regiões mais afastadas do litoral e de tais fontes. Foram distribuídos pontos situados na costa para representar: praias monitoradas pela CETESB; entre tais praias e os emissários submarinos; nas proximidades do local de descarte da pluma dos emissários ou entre dois emissários submarinos; a sudeste dos emissários submarinos de Praia Grande e da foz do Rio Itanhaém; e no PEMLS.

Para cada ponto de estudo foram realizados os seguintes cálculos estatísticos: mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão, curtose e assimetria.

A Tabela 13 contém as coordenadas geográficas e as profundidades de cada um dos 20 pontos de estudo, enquanto a Figura 12 mostra a localização dos mesmos.

Tabela 13 – Coordenadas e profundidades dos pontos de monitoramento do D3D-WAQ.

Grupo	Ponto	Latitude	Longitude	Localização	Prof. (m)
Praia Grande	**PRG_P01**	24º 01’ 08,4’’ S	46º 25’ 58,8’’ W	Praia Aviação	3,75
	PRG_P02	24º 01’ 48,0’’ S	46º 27’ 57,6’’ W	Praia Ocian	4,31
	PRG_P03	24º 04’ 01,2’’ S	46º 33’ 10,8’’ W	Praia Jd. Real	4,14
	PRG_P04	24º 01’ 58,8’’ S	46º 25’ 04,8’’ W	Entre Aviação e PG1	10,60
	PRG_P05	24º 02’ 31,2’’ S	46º 27’ 14,4’’ W	Entre Ocian e PG2	10,15
	PRG_P06	24º 04’ 44,4’’ S	46º 32’ 24,0’’ W	Entre Jd. Real e PG3	9,95
	PRG_P07	24º 02’ 02,4’’ S	46º 23’ 16,8’’ W	Fortaleza de Itaipú	10,08
	PRG_P08	24º 03’ 14,4’’ S	46º 25’ 15,6’’ W	Entre PG1 e PG2	13,56
	PRG_P09	24º 03’ 46,8’’ S	46º 27’ 43,2’’ W	Entre PG2 e PG3	13,12
	PRG_P10	24º 04’ 44,4’’ S	46º 30’ 18,0’’ W	Entre PG2 e PG3	11,97
	PRG_P11	24º 06’ 39,6’’ S	46º 32’ 42,0’’ W	2,8 km SW do PG3	13,18
	PRG_P12	24º 03’ 39,6’’ S	46º 23’ 24,0’’ W	2,1 km SE do PG1	12,79
	PRG_P13	24º 04’ 12,0’’ S	46º 25’ 26,4’’ W	2,1 km SE do PG2	15,77
	PRG_P14	24º 06’ 28,8’’ S	46º 30’ 36,0’’ W	2,1 km SE do PG3	14,86
Rio Itanhaém	**RIT_P01**	24º 10’ 44,4’’ S	46º 45’ 54,0’’ W	Praia Pq. Balneário	4,65
	RIT_P02	24º 12’ 07,2’’ S	46º 48’ 14,4’’ W	Praia Jd. Cibratel	4,25
	RIT_P03	24º 12’ 14,4’’ S	46º 46’ 19,2’’ W	2,1 km SE da foz	9,39
	RIT_P04	24º 13’ 01,2’’ S	46º 45’ 28,8’’ W	4,2 km SE da foz	11,79
Laje de Santos	**LDS_P01**	24º 11’ 27,6’’ S	46º 18’ 28,8’’ W	19,6 km SE do PG2	29,09
	LDS_P02	24º 19’ 12,0’’ S	46º 10’ 15,6’’ W	PEMLS	31,53

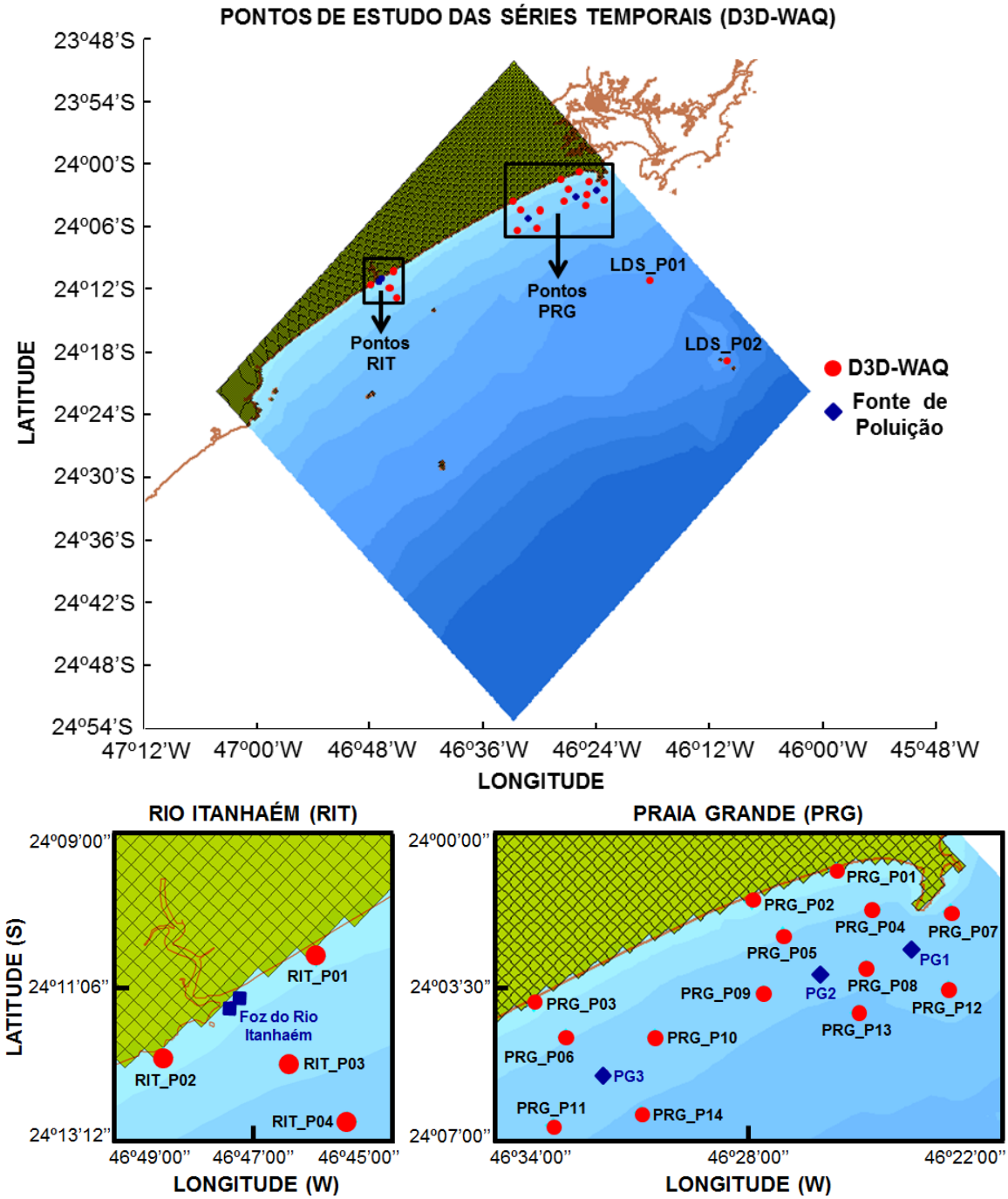

Figura 12 – Localização dos pontos de monitoramento no D3D-WAQ.

Na apresentação dos resultados das séries temporais da modelagem *far field* dos meses de fevereiro e agosto de 2012, foram selecionados 12 pontos, agrupados em quatro trios: PRG_01, PRG_02 e PRG_03; PRG_04, PRG_05 e PRG_06; PRG_08, PRG_09 e PRG_10; e RIT_P01, RIT_P02 e RIT_P03. Para todos os poluentes, as séries temporais são referentes à primeira e quinta camadas Sigma, respectivamente superfície e fundo.

5.2.4.2. Mapas temáticos

Mapas de distribuição dos parâmetros de saída do D3D-WAQ envolvidos na modelagem de campo distante, referentes aos meses simulados de fevereiro e agosto de 2012, foram obtidos a cada hora.

Para os quatro poluentes modelados, foram exibidos dois mapas para cada mês de interesse, na primeira e na quinta camadas Sigma, sendo: um mapa referente ao período em que foi registrado o valor máximo no trio PRG_01, PRG_02 e PRG_03, respectivamente nas praias Aviação, Ocian e Jardim Real, em Praia Grande; e outro mapa com o período em que foi obtido o valor máximo no trio RIT_P01, RIT_P02 e RIT_P03, respectivamente as praias Parque Balneário e Jardim Cibratel do município de Itanhaém, e um ponto de estudo a 2,1 km a sudeste da foz do rio.

Tal critério de apresentação dos mapas com base nos valores máximos registrados de cada poluente em dois trios de pontos que contém praias monitoradas pela CETESB, teve o intuito de incluir na representação dos resultados as variações sazonais entre verão e inverno, os contrastes entre a superfície e o fundo, e ao mesmo tempo mapear as plumas de poluentes de todas as quatro fontes potenciais de poluição em conjunto e, consequentemente, as áreas impactadas na região.

Para melhor visualização das áreas impactadas pelas plumas, foi necessário fixar as escalas de cores dos mapas com determinados valores máximos. No caso dos coliformes fecais *Escherichia coli*, os mapas de verão tiveram como valor máximo 800 NMP/100mL, valor limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 274/2000 para que a água seja considerada como própria; entretanto, no inverno, o valor máximo fixado foi de 200 NMP/100mL, sendo este o valor limite para que uma água própria seja classificada como excelente, a melhor classificação estabelecida na Resolução CONAMA N.º 274/2000 (BRASIL, 2001). Quanto aos mapas dos demais poluentes (amônio, nitrato e fosfato), os valores máximos fixados nas escalas de cores foram escolhidos de acordo com os valores máximos obtidos no verão e no inverno entre os dois trios de pontos de referência no D3D-WAQ. Apesar de esta técnica possibilitar uma melhor visualização do mapeamento das plumas e das áreas impactadas, ela causa uma pequena perda de informações nas regiões onde foram calculados valores maiores que o máximo fixado no mapa. Por outro lado, tais informações podem ser encontradas em detalhes nos gráficos das séries temporais e nas tabelas com suas estatísticas.

5.2.5. *Validação do modelo de qualidade da água*

O D3D-WAQ foi validado para todos os poluentes, na camada de superfície (Sigma 1), em relação a pontos amostrados *in situ* pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), disponíveis em SABESP (2006a).

Quanto a *Escherichia coli*, no verão, a validação envolve as médias de pontos do D3D-WAQ em fevereiro de 2012 e as médias de pontos amostrados pela SABESP em fevereiro de 2006; já no inverno, a comparação é referente aos máximos dos pontos do D3D-WAQ em agosto de 2012 em relação ao valor único mensal amostrado pela SABESP em julho de 2005.

Para os demais poluentes (amônio, nitrato e fosfato), os resultados validados são referentes aos valores máximos de pontos (distintos dos usados para coliformes) do D3D-WAQ, em fevereiro e agosto de 2012, em relação ao valor único mensal amostrado em outros pontos pela SABESP, no inverno de 2005 e no verão de 2006.

Coordenadas dos pontos amostrados *in situ* foram convertidas de UTM para graus através da calculadora geográfica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível em seu sítio eletrônico (INPE, 2016). Como as coordenadas dos pontos da SABESP não são exatamente iguais as dos pontos do D3D-WAQ, foram selecionados pontos com a menor distância possível entre os pontos de grade do modelo e os pontos de coleta *in situ*, totalizando três pontos exclusivos para *E. coli* e seis pontos apenas para os outros poluentes (Tabela 14). A localização dos pontos utilizados do D3D-WAQ e da SABESP, para a validação, encontra-se na Figura 13.

Tabela 14 – Pontos do D3D-WAQ e da SABESP, usados na validação.

Poluente	D3D-WAQ	Dist. (km)	SABESP	Latitude	Longitude
E. coli	**PRG_P01**	← 0,75 →	**SBP_P02**	24º 01’ 10,3’’ S	46º 26’ 25,4’’ W
	PRG_P02	← 0,97 →	**SBP_P03**	24º 01’ 52,8’’ S	46º 28’ 31,6’’ W
	PRG_P03	← 2,16 →	**SBP_P06**	24º 04’ 27,4’’ S	46º 34’ 21,2’’ W
NH_4^+, NO_3^- e PO_4^{3-}	**PRG_P04**	← 0,93 →	**SBP_M13**	24º 02’ 14,3’’ S	46º 24’ 36,4’’ W
	PRG_P05	← 0,63 →	**SBP_M29**	24º 02’ 19,0’’ S	46º 26’ 56,7’’ W
	PRG_P06	← 0,89 →	**SBP_M44**	24º 04’ 21,4’’ S	46º 32’ 05,0’’ W
	PRG_P12	← 1,37 →	**SBP_M11**	24º 02’ 59,5’’ S	46º 23’ 45,5’’ W
	PRG_P13	← 1,47 →	**SBP_M26**	24º 03’ 31,9’’ S	46º 25’ 53,7’’ W
	PRG_P14	← 1,36 →	**SBP_M41**	24º 05’ 49,3’’ S	46º 30’ 59,4’’ W

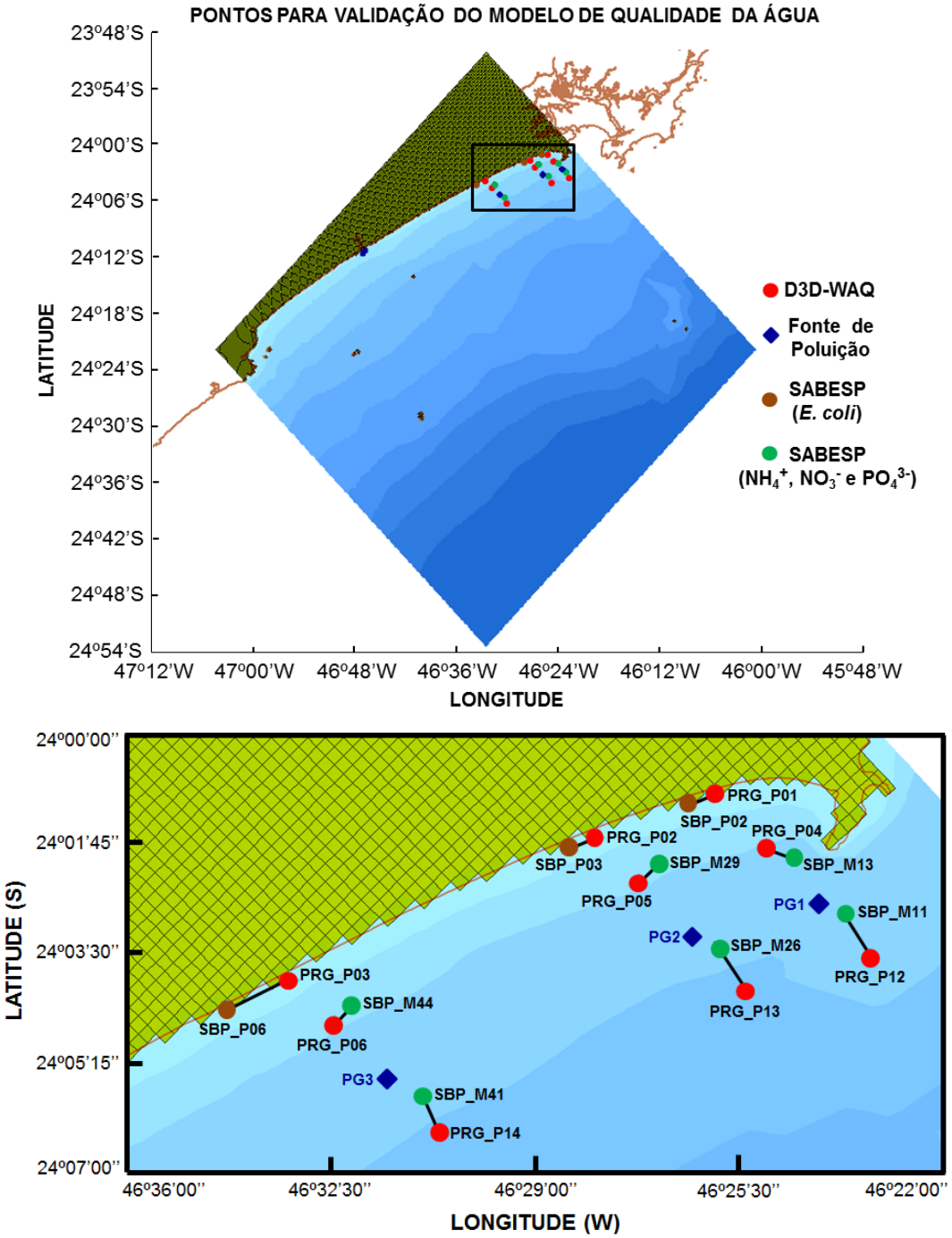

Figura 13 – Localização dos pontos do D3D-WAQ e da SABESP, usados na validação.

Para a validação do D3D-WAQ, não foram utilizados os mesmos métodos usados na validação do D3D-FLOW, pois não foi possível obter séries temporais na literatura para aplicá-los. Portanto, a validação do modelo de qualidade da água é apenas qualitativa, através da comparação das ordens de grandeza dos valores obtidos pelo modelo e pelas amostragens *in situ* de SABESP (2006a). O D3D-WAQ será considerado válido caso a ordem de grandeza coincidir em pelo menos 21 (50%) do total de 42 comparações envolvendo todos os poluentes.

6. RESULTADOS

6.1. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 2D)

Nesta seção será apresentada uma seleção de resultados dos processamentos hidrodinâmicos 2D (circulação de maré), para os dois meses de simulação.

6.1.1. *Fevereiro de 2012*

Quanto aos resultados das simulações 2D para fevereiro de 2012, séries temporais nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande encontram-se, respectivamente, nas Figuras 14 e 15; resultados estatísticos obtidos das análises de elevação do nível do mar e intensidade das correntes médias na coluna d'água, em fevereiro de 2012, são fornecidos nas Tabelas 15 e 16, respectivamente; estatísticas das componentes U e V são apresentadas no Anexo B; por fim, mapas de distribuição de elevação do nível do mar e de intensidade de correntes médias na coluna d'água, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 16 a 19.

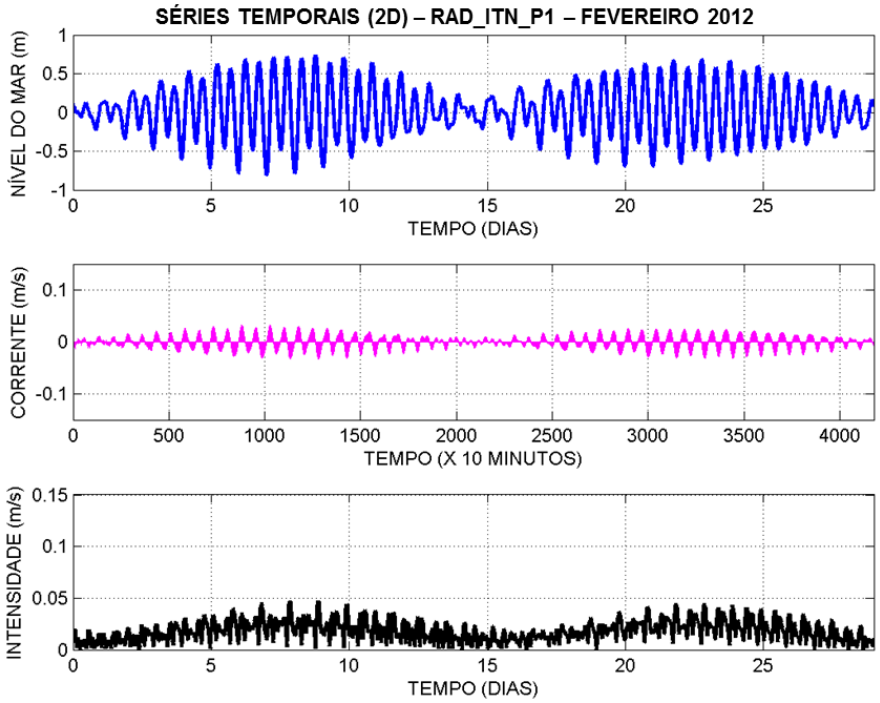

Figura 14 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

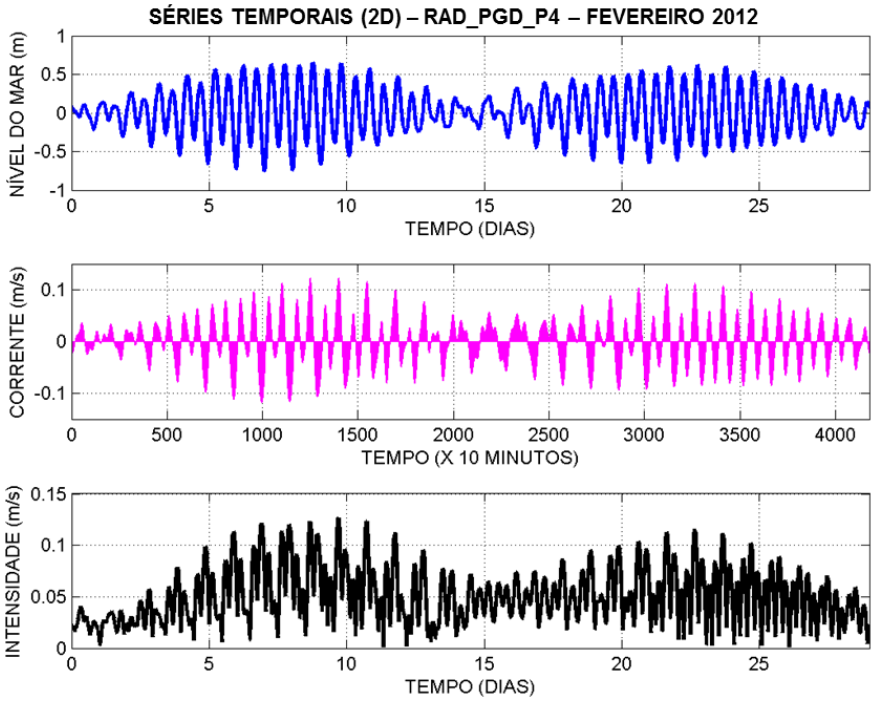

Figura 15 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

Tabela 15 – Estatísticas de elevação da superfície (m), segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m)	Máx. (m)	Média (m)	Mediana (m)	Des. Pad. (m)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,80	0,70	0	-0,01	0,32	2,36	-0,01
RAD_PGD_P2	-0,78	0,69	0	-0,01	0,32	2,36	-0,02
RAD_PGD_P3	-0,77	0,67	0	0	0,31	2,36	-0,02
RAD_PGD_P4	-0,76	0,66	0	0	0,30	2,37	-0,03
RAD_PGD_P5	-0,74	0,64	0	0	0,30	2,37	-0,04
RAD_MON_P1	-0,81	0,72	0	-0,01	0,33	2,35	0,01
RAD_MON_P2	-0,80	0,71	0	-0,01	0,33	2,35	0
RAD_MON_P3	-0,78	0,69	0	-0,01	0,32	2,36	-0,01
RAD_MON_P4	-0,76	0,67	0	0	0,31	2,36	-0,01
RAD_MON_P5	-0,75	0,65	0	0	0,30	2,37	-0,02
RAD_ITN_P1	-0,81	0,74	0	-0,01	0,34	2,34	0,02
RAD_ITN_P2	-0,80	0,72	0	-0,01	0,33	2,35	0,02
RAD_ITN_P3	-0,79	0,70	0	-0,01	0,32	2,35	0,01
RAD_ITN_P4	-0,77	0,68	0	0	0,31	2,36	0
RAD_ITN_P5	-0,75	0,66	0	0	0,31	2,37	-0,01
RAD_PER_P1	-0,81	0,74	0	-0,01	0,34	2,34	0,03
RAD_PER_P2	-0,80	0,73	0	-0,01	0,33	2,35	0,03
RAD_PER_P3	-0,79	0,72	0	-0,01	0,33	2,35	0,02
RAD_PER_P4	-0,77	0,69	0	-0,01	0,32	2,36	0,01
RAD_PER_P5	-0,75	0,67	0	-0,01	0,31	2,36	0

Tabela 16 – Estatísticas das correntes médias na vertical (m/s), segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	0	0,09	0,03	0,03	0,02	2,25	0,50
RAD_PGD_P2	0	0,10	0,04	0,04	0,02	2,45	0,54
RAD_PGD_P3	0	0,08	0,03	0,03	0,02	2,55	0,23
RAD_PGD_P4	0	0,13	0,05	0,05	0,03	2,79	0,63
RAD_PGD_P5	0	0,10	0,04	0,03	0,02	2,46	0,53
RAD_MON_P1	0	0,06	0,02	0,02	0,01	2,48	0,41
RAD_MON_P2	0	0,07	0,03	0,03	0,02	2,32	0,48
RAD_MON_P3	0	0,09	0,04	0,03	0,02	2,37	0,53
RAD_MON_P4	0	0,11	0,04	0,04	0,02	2,46	0,55
RAD_MON_P5	0	0,11	0,04	0,04	0,02	2,47	0,55
RAD_ITN_P1	0	0,05	0,02	0,02	0,01	2,85	0,41
RAD_ITN_P2	0	0,08	0,03	0,03	0,02	2,57	0,54
RAD_ITN_P3	0	0,10	0,04	0,04	0,02	2,47	0,54
RAD_ITN_P4	0	0,11	0,04	0,04	0,03	2,43	0,52
RAD_ITN_P5	0	0,12	0,05	0,04	0,03	2,41	0,49
RAD_PER_P1	0	0,04	0,02	0,02	0,01	2,43	0,22
RAD_PER_P2	0	0,08	0,03	0,03	0,02	2,82	0,46
RAD_PER_P3	0	0,12	0,04	0,04	0,02	2,92	0,56
RAD_PER_P4	0	0,14	0,05	0,05	0,03	2,68	0,55
RAD_PER_P5	0	0,15	0,06	0,05	0,03	2,51	0,49

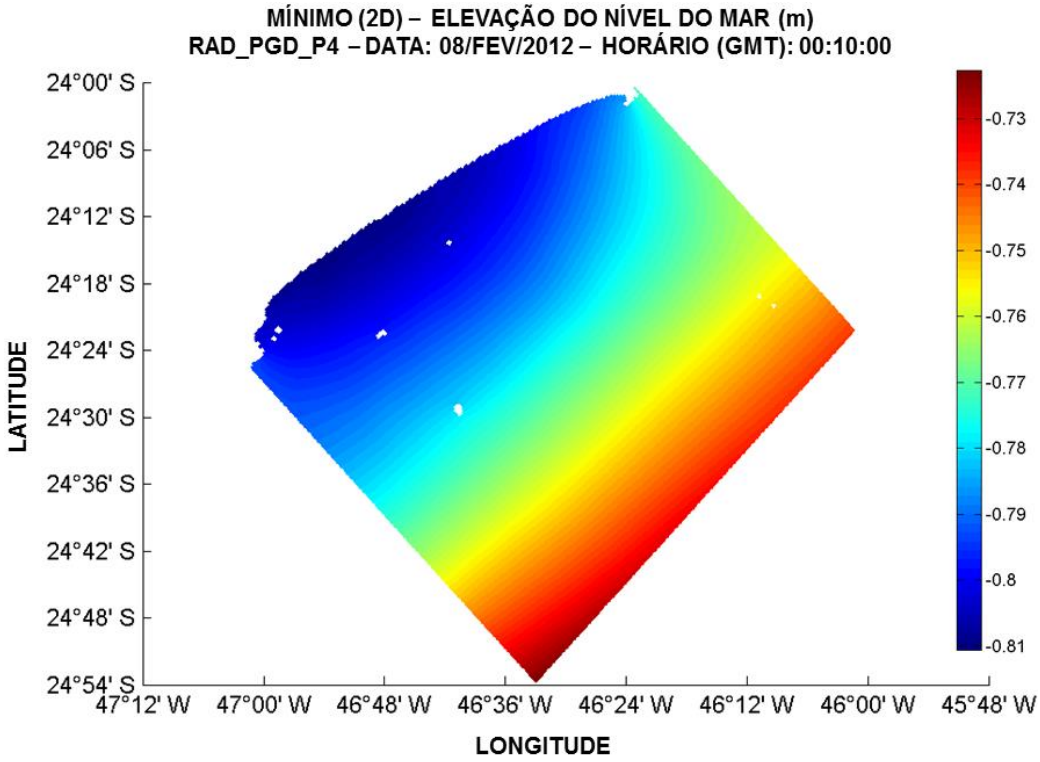

Figura 16 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

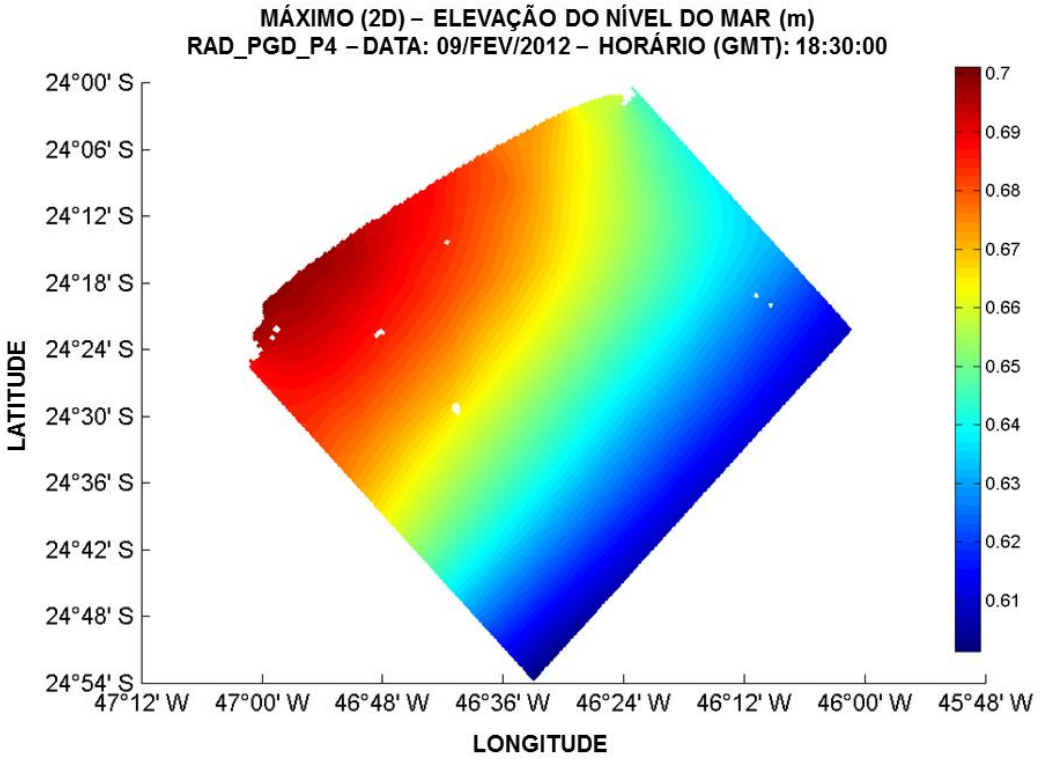

Figura 17 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

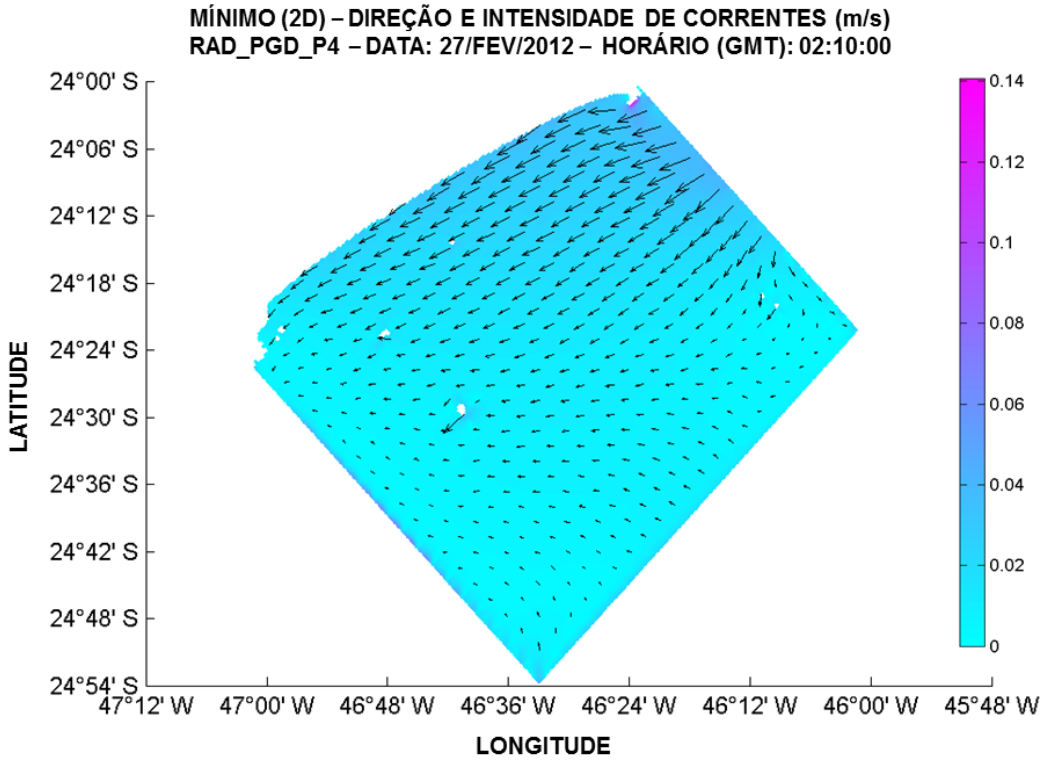

Figura 18 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

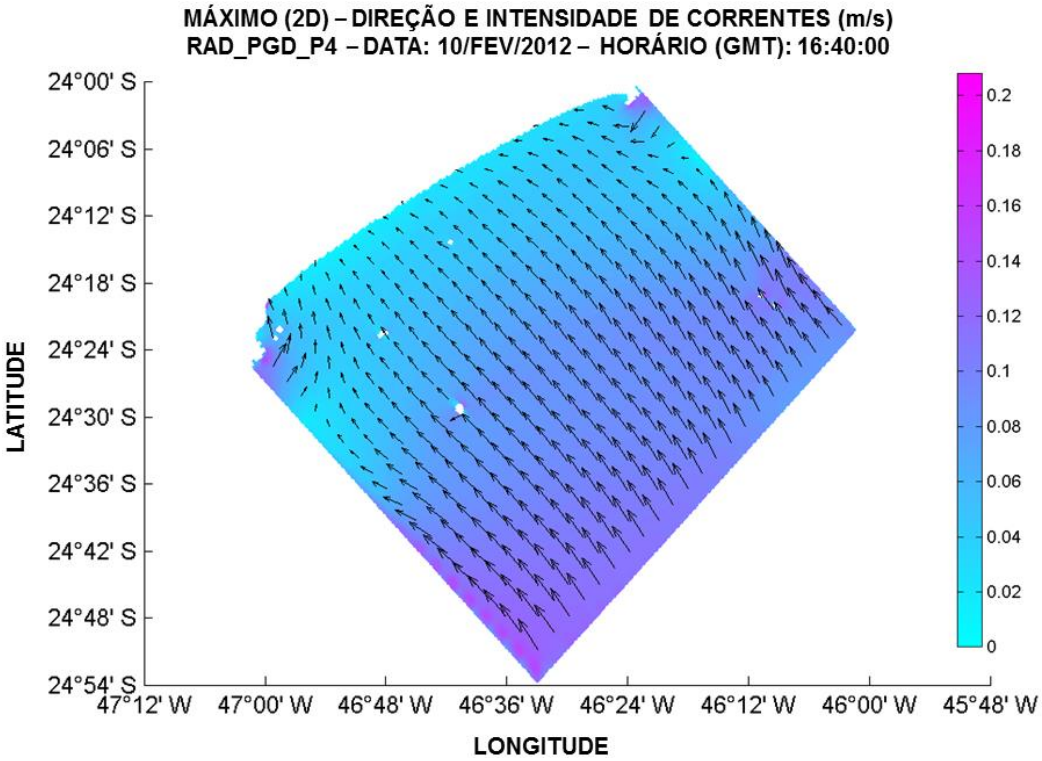

Figura 19 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

6.1.2. *Agosto de 2012*

De forma análoga aos resultados de fevereiro de 2012 para o processamento de marés, o correspondente processamento de agosto de 2012 apresenta: séries temporais nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande encontram-se, respectivamente, nas Figuras 20 e 21; resultados estatísticos obtidos das análises de nível do mar e intensidade das correntes médias na coluna d'água se encontram nas Tabelas 17 e 18, respectivamente; estatísticas das componentes U e V estão no Anexo B; por fim, mapas de distribuição de nível do mar e de intensidade de correntes médias na coluna d'água encontram-se nas Figuras 22 a 25.

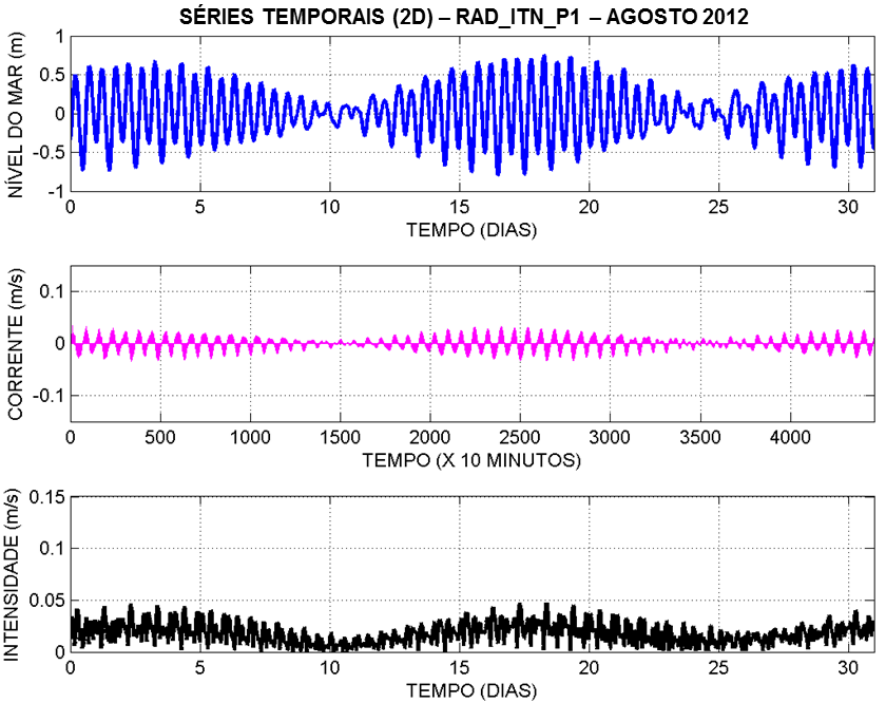

Figura 20 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

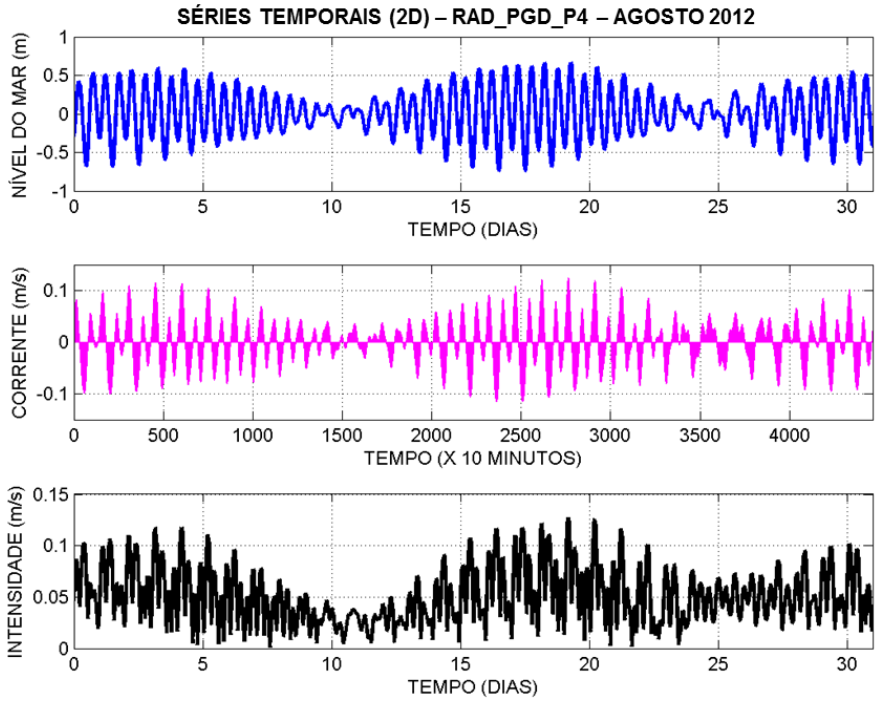

Figura 21 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento de maré, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

Tabela 17 – Estatísticas de elevação da superfície (m), segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m)	Máx. (m)	Média (m)	Mediana (m)	Des. Pad. (m)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,78	0,71	0	0	0,33	2,35	-0,04
RAD_PGD_P2	-0,77	0,70	0	0	0,32	2,35	-0,04
RAD_PGD_P3	-0,75	0,68	0	0	0,31	2,36	-0,05
RAD_PGD_P4	-0,74	0,67	0	0	0,31	2,36	-0,05
RAD_PGD_P5	-0,73	0,65	0	0	0,30	2,37	-0,06
RAD_MON_P1	-0,79	0,73	0	0	0,33	2,34	-0,02
RAD_MON_P2	-0,78	0,72	0	-0,01	0,33	2,35	-0,02
RAD_MON_P3	-0,77	0,70	0	-0,01	0,32	2,35	-0,03
RAD_MON_P4	-0,75	0,68	0	0	0,31	2,36	-0,04
RAD_MON_P5	-0,73	0,66	0	0	0,30	2,36	-0,05
RAD_ITN_P1	-0,80	0,75	0	-0,01	0,34	2,33	0
RAD_ITN_P2	-0,79	0,73	0	-0,01	0,33	2,34	0
RAD_ITN_P3	-0,77	0,72	0	-0,01	0,33	2,34	-0,01
RAD_ITN_P4	-0,76	0,69	0	-0,01	0,32	2,35	-0,02
RAD_ITN_P5	-0,74	0,67	0	0	0,31	2,36	-0,03
RAD_PER_P1	-0,80	0,76	0	-0,01	0,34	2,33	0,01
RAD_PER_P2	-0,79	0,75	0	0	0,34	2,33	0,01
RAD_PER_P3	-0,78	0,73	0	0	0,33	2,34	0
RAD_PER_P4	-0,76	0,71	0	0	0,32	2,35	-0,01
RAD_PER_P5	-0,74	0,68	0	0	0,31	2,36	-0,02

Tabela 18 – Estatísticas das correntes médias na vertical (m/s), segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	0	0,09	0,03	0,03	0,02	2,26	0,50
RAD_PGD_P2	0	0,10	0,04	0,04	0,02	2,39	0,51
RAD_PGD_P3	0	0,08	0,03	0,03	0,02	2,41	0,22
RAD_PGD_P4	0	0,13	0,05	0,05	0,03	2,79	0,65
RAD_PGD_P5	0	0,10	0,04	0,04	0,02	2,46	0,55
RAD_MON_P1	0	0,06	0,02	0,02	0,01	2,49	0,38
RAD_MON_P2	0	0,08	0,03	0,03	0,02	2,31	0,46
RAD_MON_P3	0	0,09	0,04	0,03	0,02	2,35	0,53
RAD_MON_P4	0	0,11	0,04	0,04	0,02	2,42	0,55
RAD_MON_P5	0	0,11	0,04	0,04	0,02	2,43	0,54
RAD_ITN_P1	0	0,05	0,02	0,02	0,01	2,82	0,37
RAD_ITN_P2	0	0,08	0,03	0,03	0,02	2,58	0,53
RAD_ITN_P3	0	0,10	0,04	0,04	0,02	2,43	0,53
RAD_ITN_P4	0	0,11	0,04	0,04	0,03	2,38	0,50
RAD_ITN_P5	0	0,12	0,05	0,04	0,03	2,38	0,50
RAD_PER_P1	0	0,04	0,02	0,02	0,01	2,44	0,21
RAD_PER_P2	0	0,08	0,03	0,03	0,02	2,76	0,42
RAD_PER_P3	0	0,11	0,04	0,04	0,02	2,88	0,53
RAD_PER_P4	0	0,13	0,05	0,05	0,03	2,65	0,56
RAD_PER_P5	0	0,14	0,06	0,05	0,03	2,43	0,47

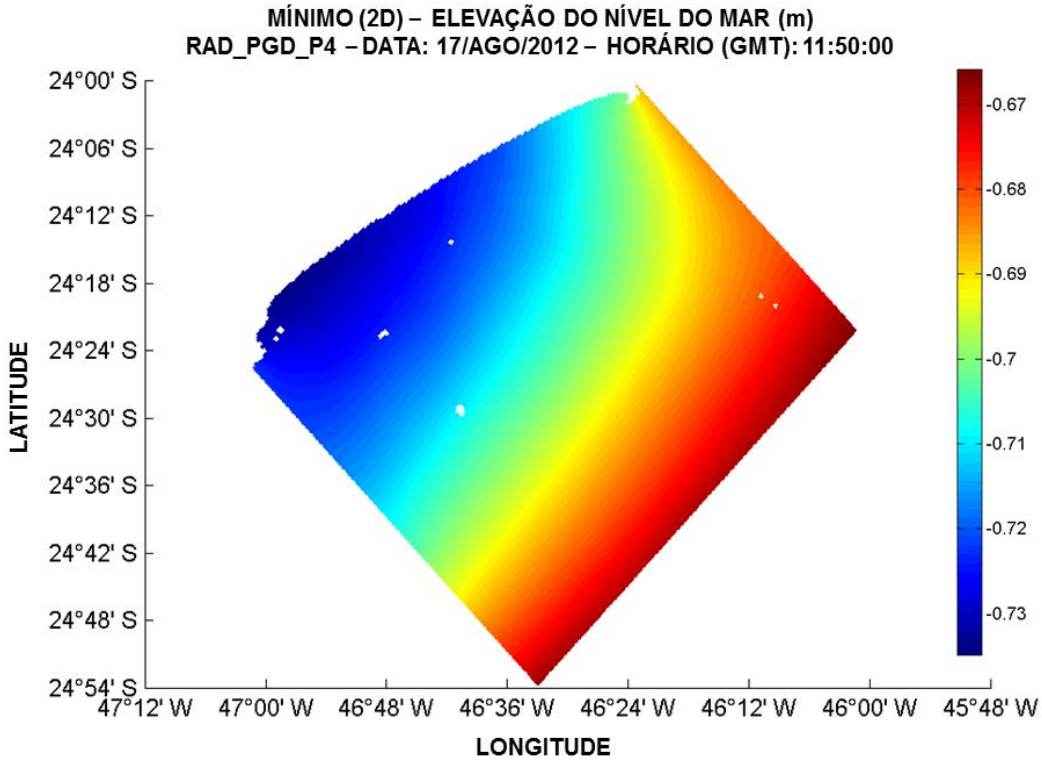

Figura 22 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

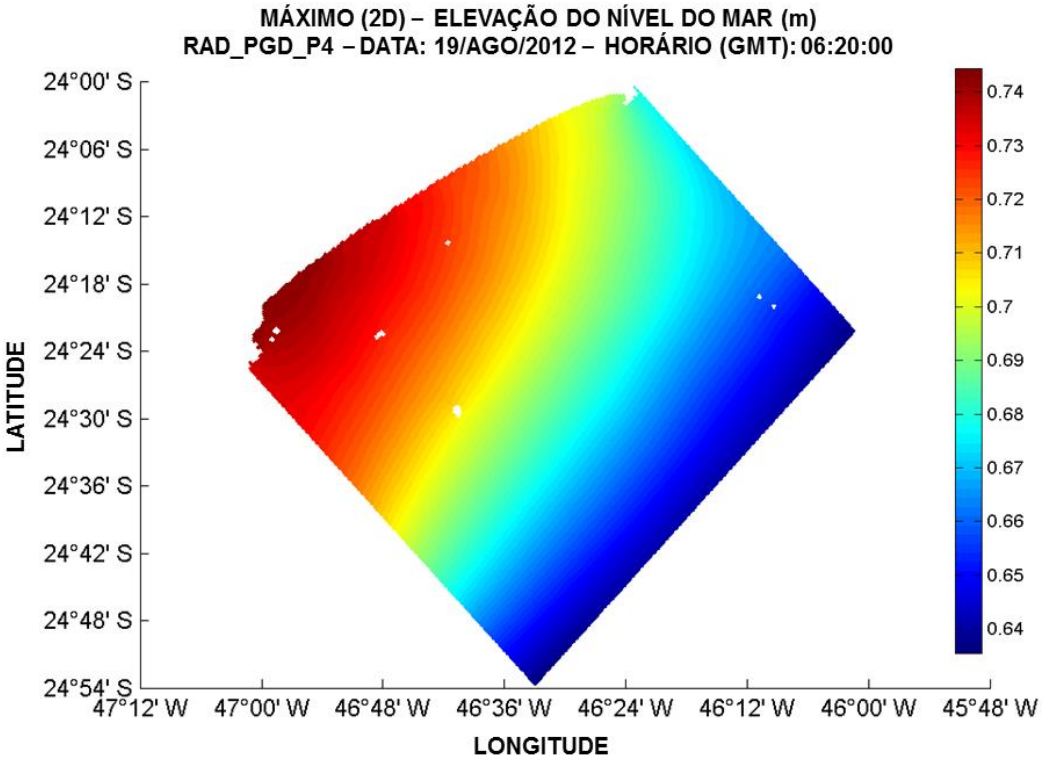

Figura 23 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

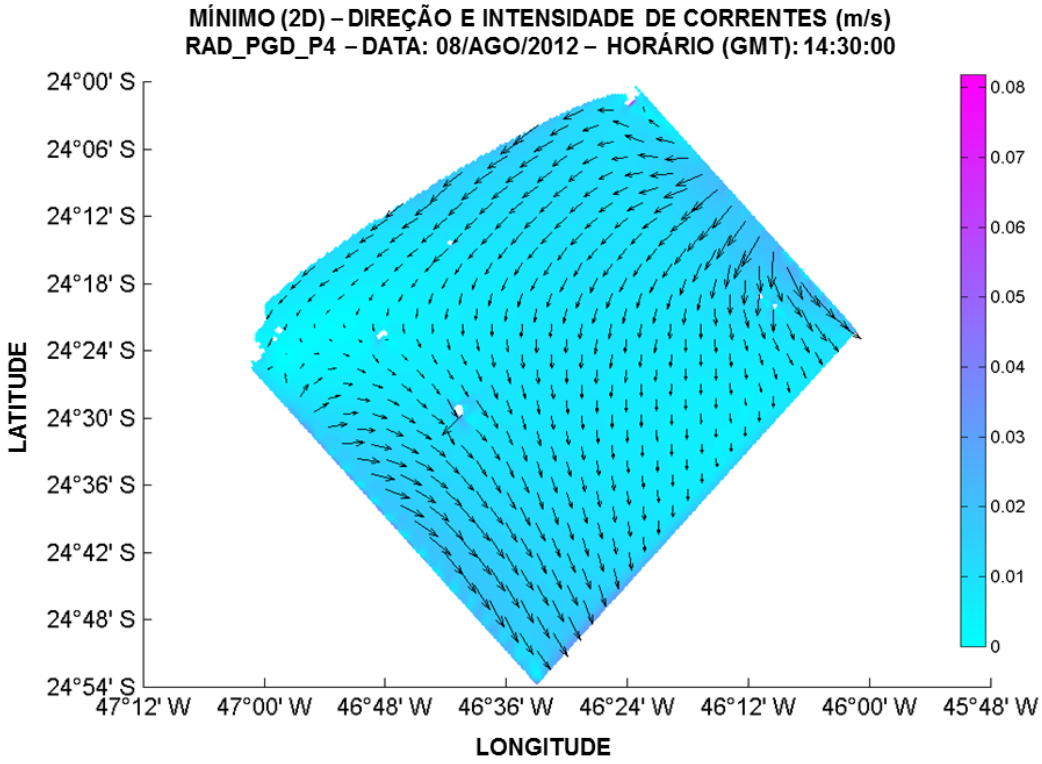

Figura 24 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

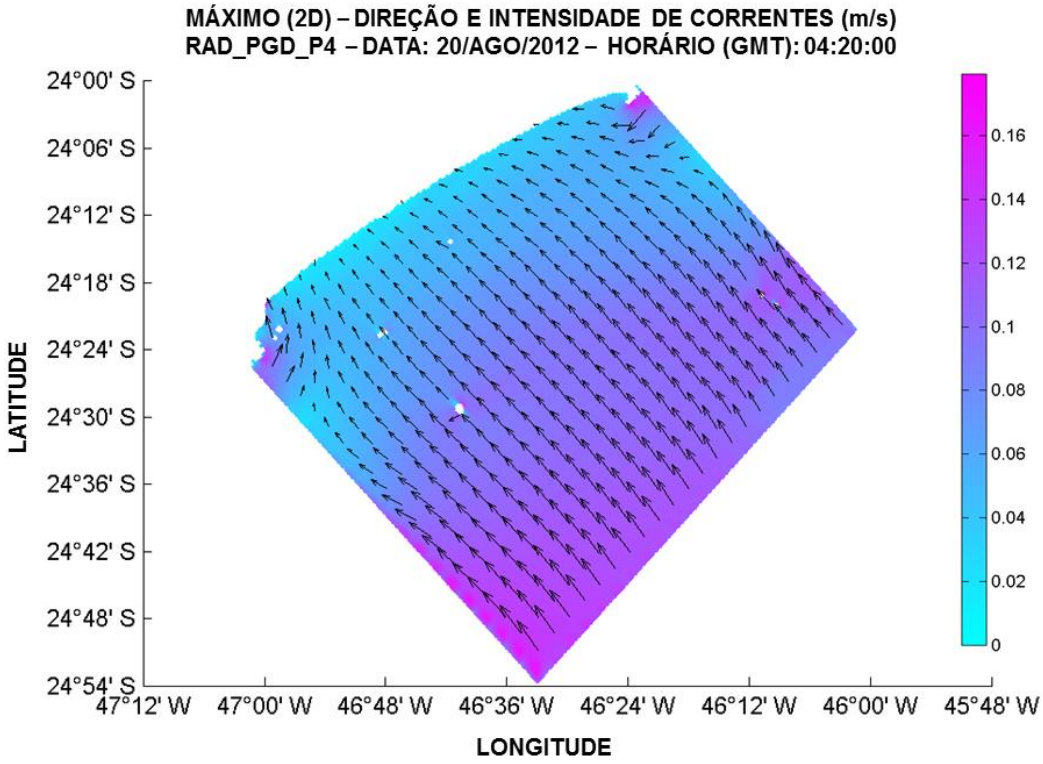

Figura 25 – Distribuição da corrente média na vertical, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

6.2. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 3D)

Nesta seção será apresentada uma seleção de resultados dos processamentos hidrodinâmicos 3D (circulação total), para os dois meses de simulação.

6.2.1. *Nível do mar e correntes*

6.2.1.1. Fevereiro de 2012

6.2.1.1.1. Superfície

A seleção de resultados do processamento do modelo 3D com todas as forçantes, em fevereiro de 2012, contém: séries temporais de elevação do nível do mar e intensidade de correntes nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, na superfície, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 26 e 27; resultados estatísticos obtidos das análises de elevação do nível do mar e intensidade de correntes na camada de superfície se encontram nas Tabelas 19 e 20, respectivamente; estatísticas das componentes U e V estão no Anexo C; finalmente, mapas de distribuição de elevação do nível do mar e intensidade de correntes na primeira camada Sigma, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 28 a 31.

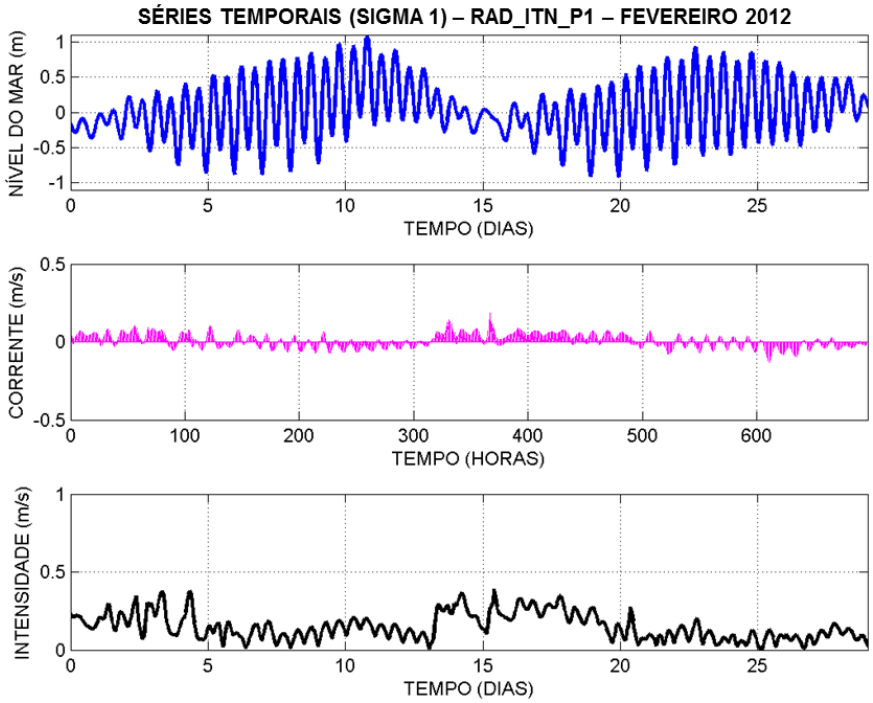

Figura 26 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

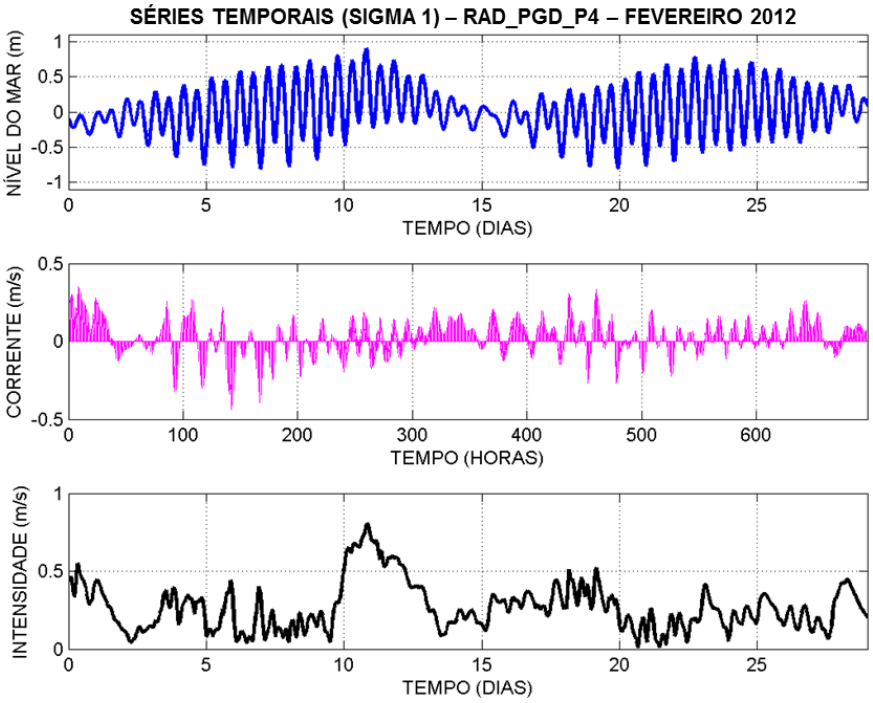

Figura 27 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

Tabela 19 – Estatísticas de elevação da superfície (m),
segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m)	Máx. (m)	Média (m)	Mediana (m)	Des. Pad. (m)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,90	1,08	0,02	-0,02	0,40	2,53	0,16
RAD_PGD_P2	-0,87	1,04	0,02	-0,02	0,38	2,52	0,15
RAD_PGD_P3	-0,84	0,98	0,01	-0,02	0,37	2,50	0,12
RAD_PGD_P4	-0,81	0,90	0,01	-0,02	0,35	2,49	0,09
RAD_PGD_P5	-0,78	0,85	0,01	-0,01	0,34	2,48	0,06
RAD_MON_P1	-0,91	1,12	0,02	-0,02	0,42	2,51	0,20
RAD_MON_P2	-0,85	1,03	0,01	-0,02	0,38	2,52	0,15
RAD_MON_P3	-0,82	0,98	0,01	-0,02	0,36	2,52	0,13
RAD_MON_P4	-0,81	0,93	0,01	-0,02	0,36	2,51	0,09
RAD_MON_P5	-0,79	0,87	0,01	-0,01	0,34	2,49	0,06
RAD_ITN_P1	-0,91	1,11	0,02	-0,02	0,41	2,51	0,17
RAD_ITN_P2	-0,86	1,06	0,02	-0,02	0,39	2,51	0,17
RAD_ITN_P3	-0,82	0,99	0,01	-0,02	0,37	2,54	0,14
RAD_ITN_P4	-0,83	0,94	0,01	-0,02	0,36	2,51	0,11
RAD_ITN_P5	-0,80	0,89	0,01	-0,01	0,35	2,51	0,09
RAD_PER_P1	-0,88	1,08	0,02	-0,01	0,40	2,54	0,15
RAD_PER_P2	-0,87	1,07	0,02	-0,01	0,39	2,53	0,16
RAD_PER_P3	-0,85	1,02	0,02	-0,02	0,38	2,51	0,15
RAD_PER_P4	-0,84	0,96	0,02	-0,01	0,37	2,49	0,12
RAD_PER_P5	-0,80	0,91	0,01	-0,01	0,35	2,51	0,10

Tabela 20 – Estatísticas da intensidade de correntes na superfície (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	0	0,32	0,11	0,11	0,07	2,96	0,62
RAD_PGD_P2	0,03	0,72	0,27	0,23	0,15	2,92	0,90
RAD_PGD_P3	0,02	0,72	0,25	0,22	0,15	4,17	1,23
RAD_PGD_P4	0,01	0,80	0,27	0,25	0,15	3,87	0,98
RAD_PGD_P5	0,01	1,01	0,30	0,25	0,21	3,75	1,07
RAD_MON_P1	0	0,44	0,14	0,12	0,09	2,89	0,67
RAD_MON_P2	0,01	0,48	0,16	0,15	0,08	4,01	0,88
RAD_MON_P3	0,01	0,38	0,16	0,16	0,08	2,89	0,39
RAD_MON_P4	0,01	0,57	0,21	0,19	0,12	3,42	0,85
RAD_MON_P5	0,02	0,70	0,30	0,30	0,15	2,13	0,16
RAD_ITN_P1	0,01	0,39	0,15	0,13	0,08	2,60	0,62
RAD_ITN_P2	0,01	0,51	0,16	0,15	0,08	5,76	1,27
RAD_ITN_P3	0	0,56	0,16	0,15	0,09	6,71	1,46
RAD_ITN_P4	0	0,52	0,17	0,16	0,08	5,03	1,13
RAD_ITN_P5	0,01	0,68	0,21	0,18	0,12	3,53	0,87
RAD_PER_P1	0	0,12	0,05	0,05	0,02	2,54	0,38
RAD_PER_P2	0,01	0,66	0,17	0,14	0,12	7,39	1,97
RAD_PER_P3	0,01	0,61	0,20	0,18	0,12	4,53	1,24
RAD_PER_P4	0,01	0,73	0,22	0,20	0,12	5,51	1,41
RAD_PER_P5	0	1,07	0,27	0,22	0,18	5,78	1,57

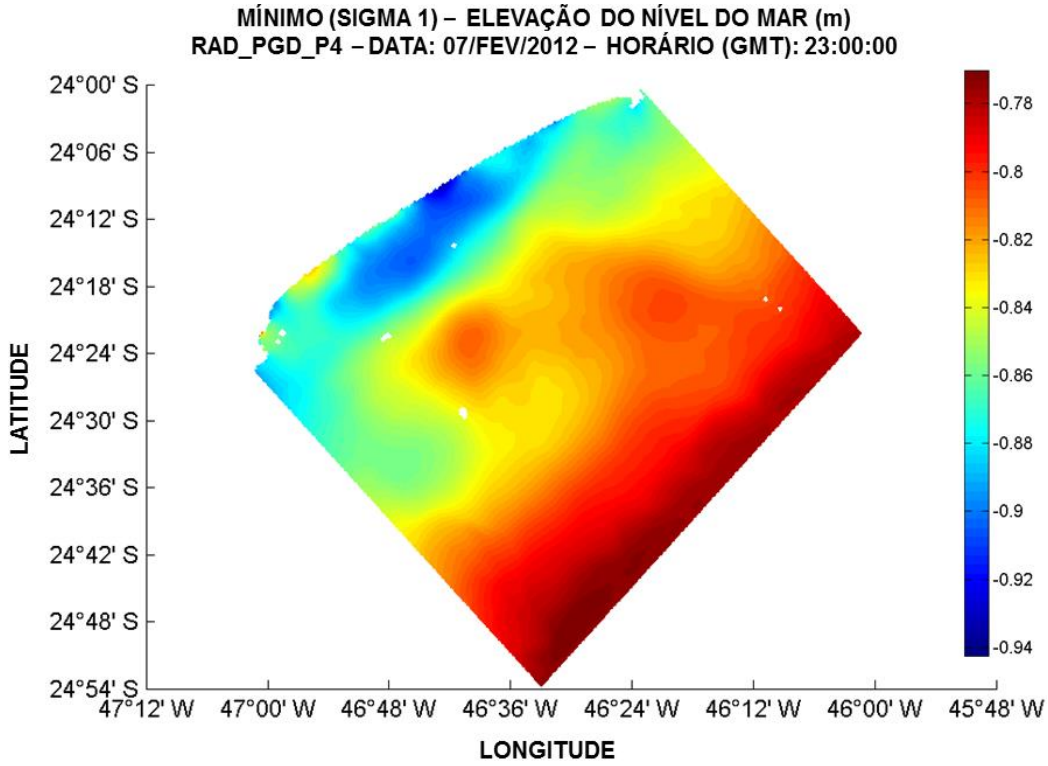

Figura 28 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

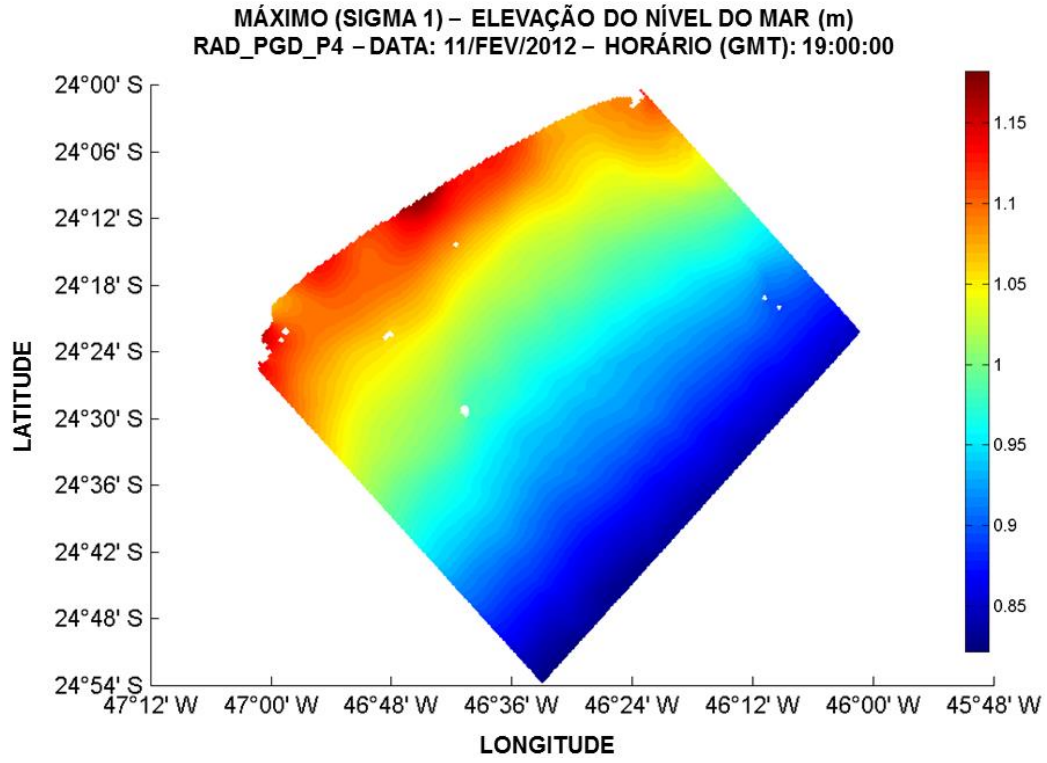

Figura 29 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

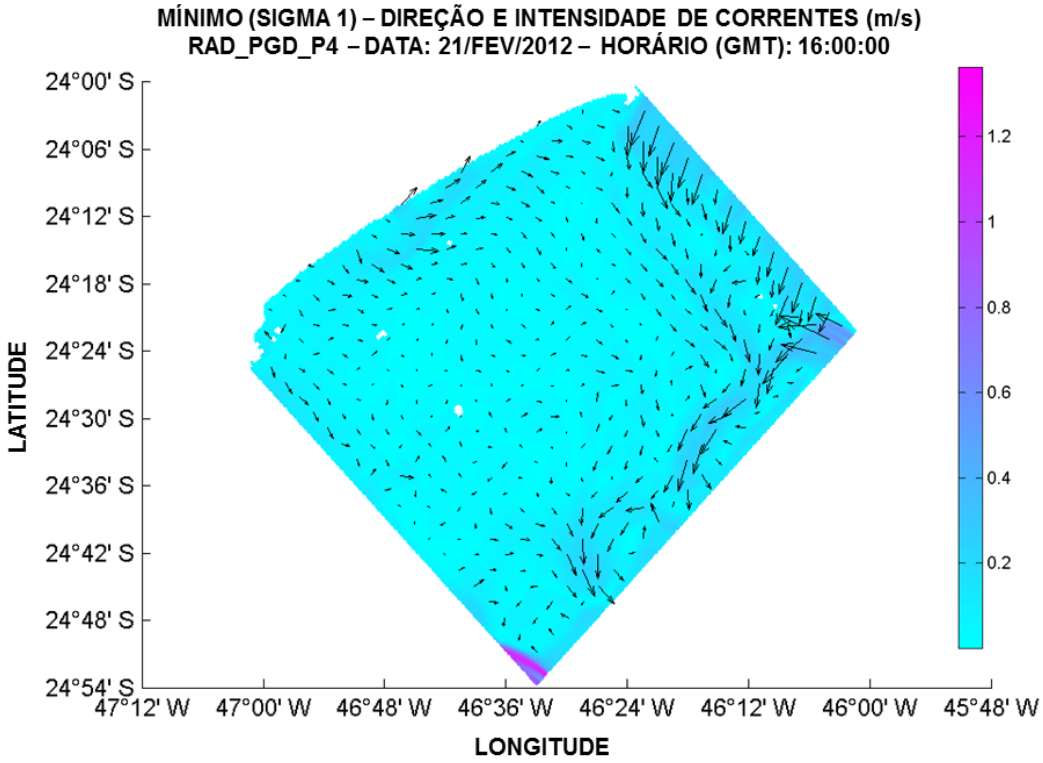

Figura 30 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

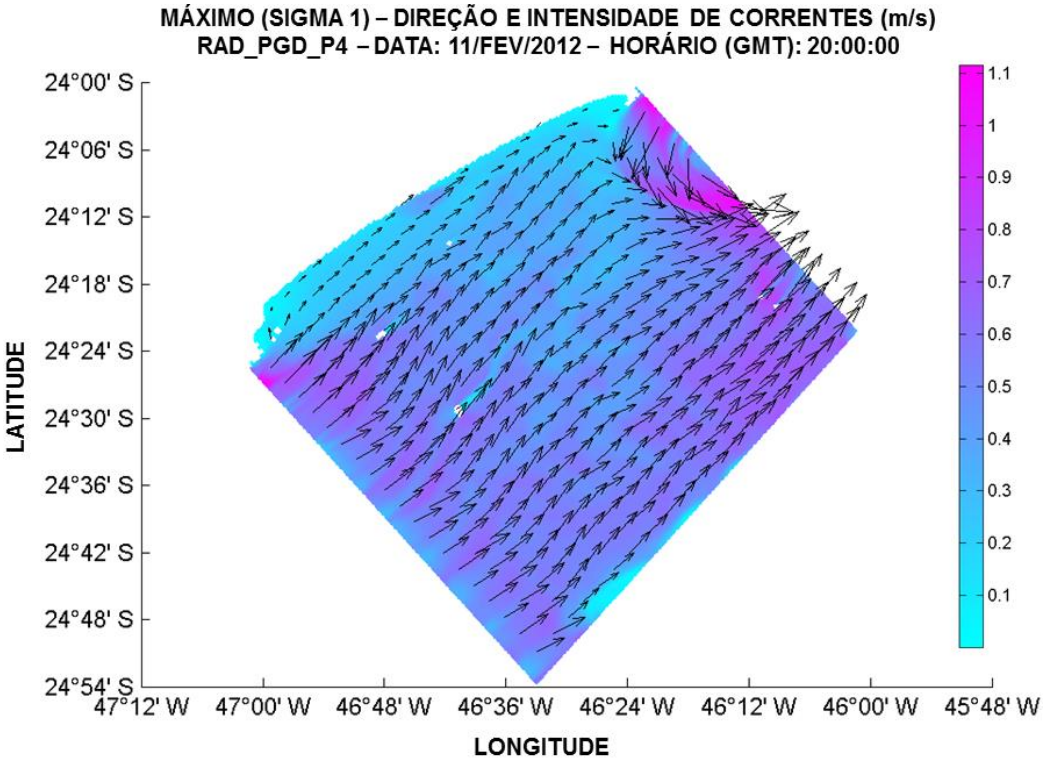

Figura 31 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

6.2.1.1.2. Fundo

Complementando a seleção de resultados do processamento da circulação total, em fevereiro de 2012, séries temporais das correntes no fundo, nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 32 e 33; resultados estatísticos obtidos da análise de intensidade de correntes na camada de fundo encontram-se na Tabela 21; estatísticas das componentes U e V estão no Anexo C; por fim, mapas da distribuição de intensidade de correntes na quinta camada Sigma, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 34 e 35.

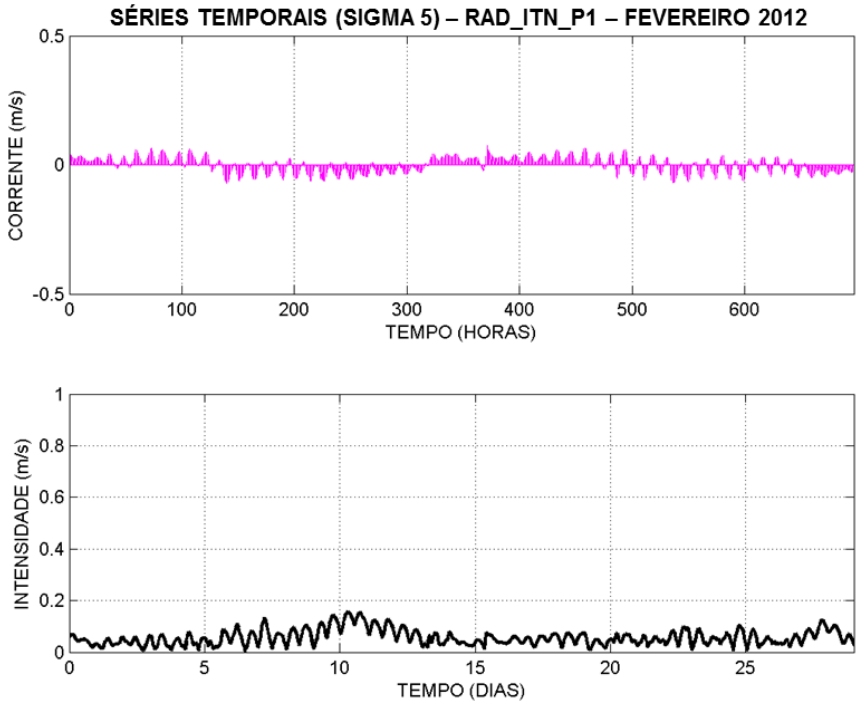

Figura 32 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

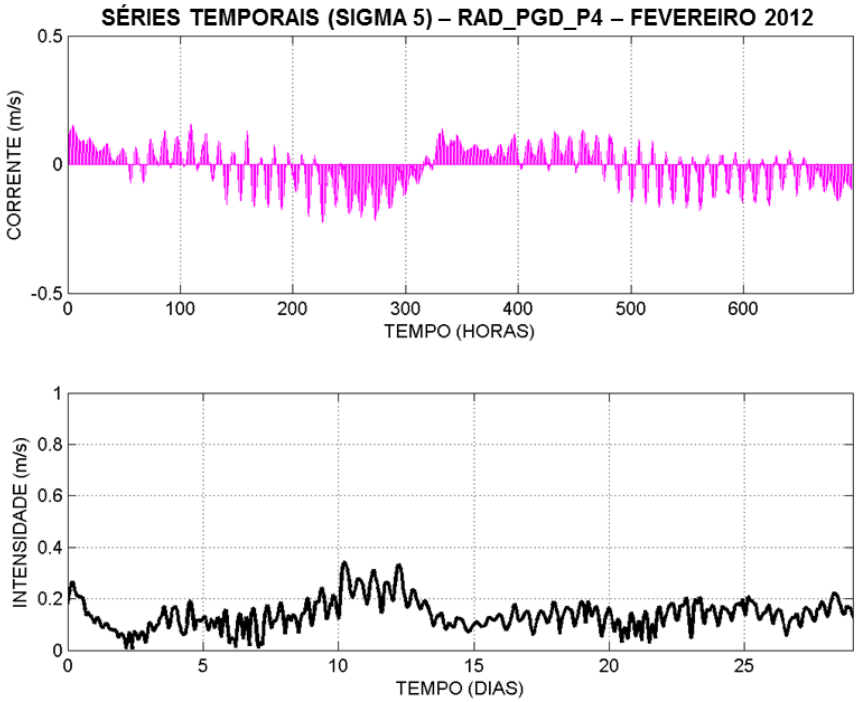

Figura 33 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

Tabela 21 – Estatísticas da intensidade de correntes no fundo (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	0	0,16	0,05	0,05	0,03	3,59	0,91
RAD_PGD_P2	0,01	0,44	0,13	0,11	0,08	5,72	1,67
RAD_PGD_P3	0	0,51	0,15	0,12	0,10	5,61	1,63
RAD_PGD_P4	0	0,34	0,14	0,13	0,06	3,91	0,67
RAD_PGD_P5	0	0,46	0,15	0,13	0,09	3,88	1,09
RAD_MON_P1	0	0,23	0,06	0,05	0,03	7,22	1,61
RAD_MON_P2	0	0,28	0,10	0,10	0,05	3,49	0,65
RAD_MON_P3	0,01	0,30	0,11	0,11	0,05	3,81	0,77
RAD_MON_P4	0,01	0,40	0,14	0,12	0,07	4,21	1,10
RAD_MON_P5	0,01	0,48	0,16	0,15	0,08	4,06	0,95
RAD_ITN_P1	0	0,15	0,06	0,05	0,03	3,60	0,92
RAD_ITN_P2	0,01	0,27	0,10	0,09	0,05	4,25	0,97
RAD_ITN_P3	0	0,31	0,11	0,11	0,06	4,07	0,97
RAD_ITN_P4	0,01	0,37	0,13	0,11	0,06	4,50	1,17
RAD_ITN_P5	0,01	0,41	0,14	0,13	0,08	3,74	0,90
RAD_PER_P1	0	0,09	0,03	0,03	0,02	3,12	0,60
RAD_PER_P2	0,01	0,32	0,10	0,09	0,06	5,12	1,27
RAD_PER_P3	0,01	0,31	0,12	0,11	0,06	3,82	0,91
RAD_PER_P4	0,01	0,34	0,13	0,12	0,07	3,95	0,94
RAD_PER_P5	0,01	0,52	0,16	0,14	0,09	5,62	1,44

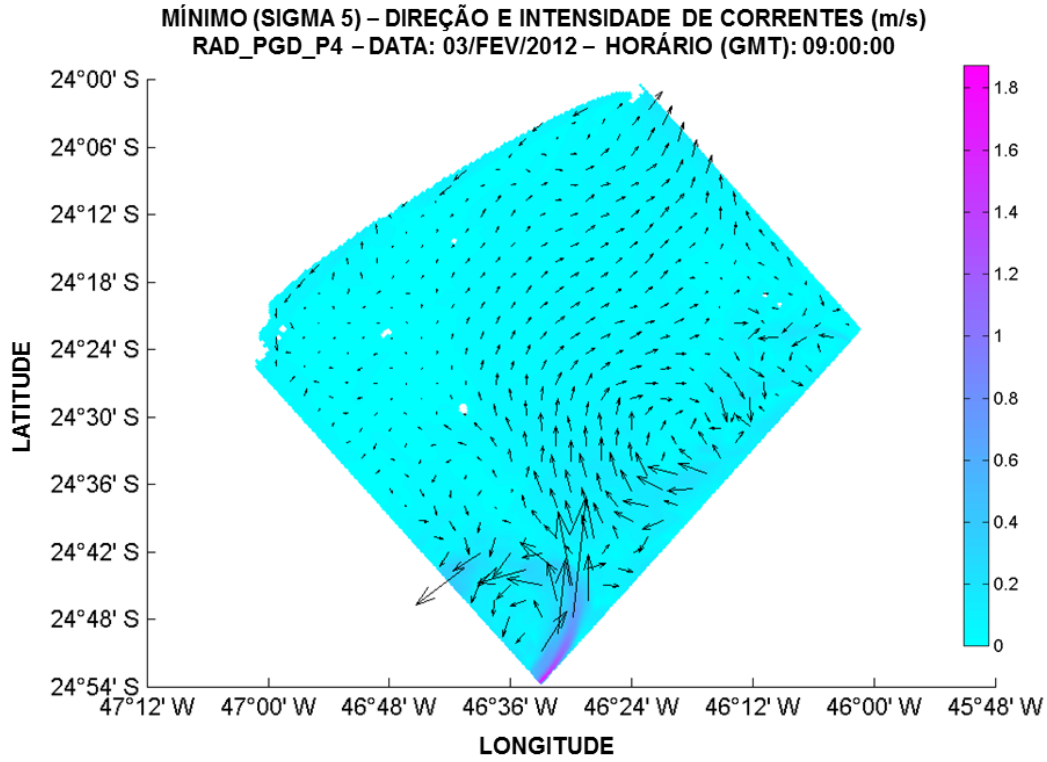

Figura 34 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

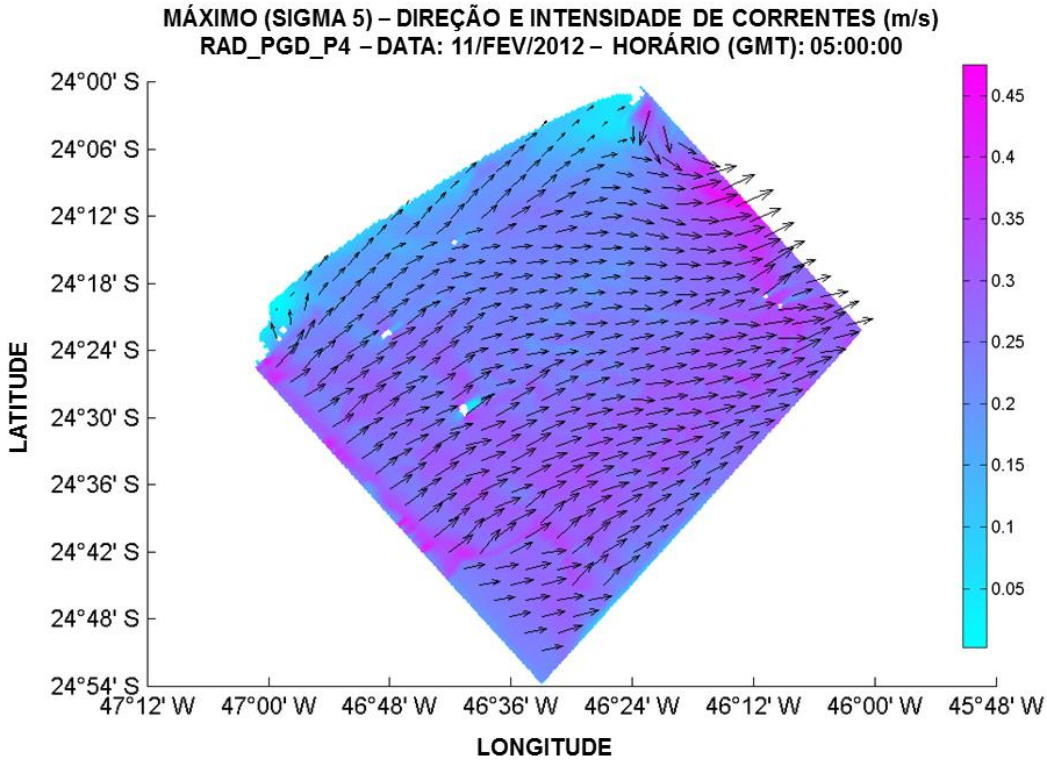

Figura 35 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

6.2.1.2. Agosto de 2012

6.2.1.2.1. Superfície

A seleção de resultados do processamento do modelo 3D com todas as forçantes, em agosto de 2012, contém: séries temporais de elevação do nível do mar e intensidade de correntes nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, na superfície, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 36 e 37; resultados estatísticos obtidos das análises de elevação do nível do mar e intensidade de correntes na camada de superfície se encontram nas Tabelas 22 e 23, respectivamente; estatísticas das componentes U e V estão no Anexo C; finalmente, mapas de distribuição de elevação do nível do mar e intensidade de correntes na primeira camada Sigma, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 38 a 41.

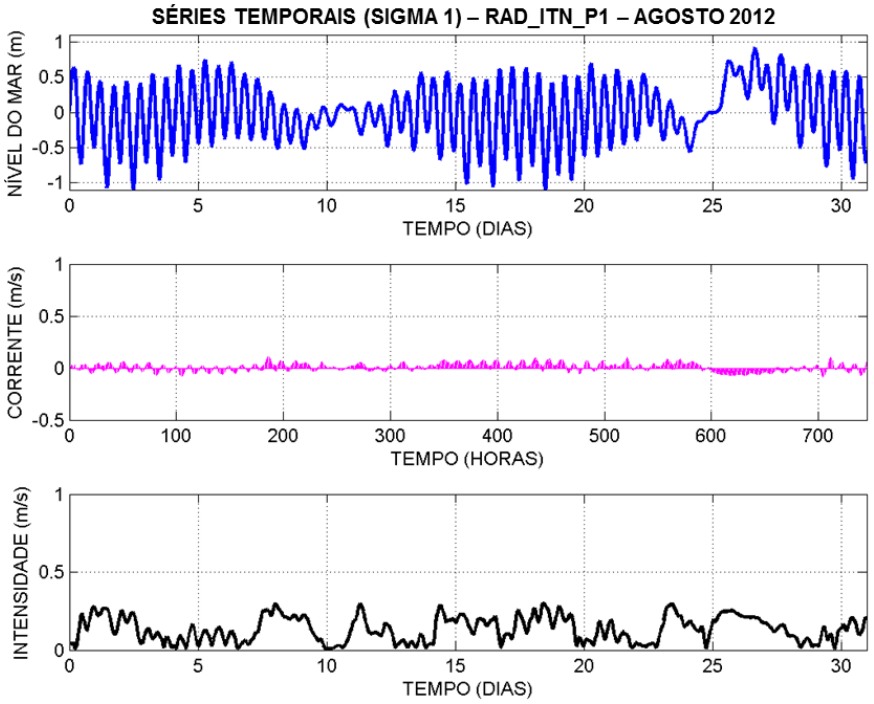

Figura 36 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

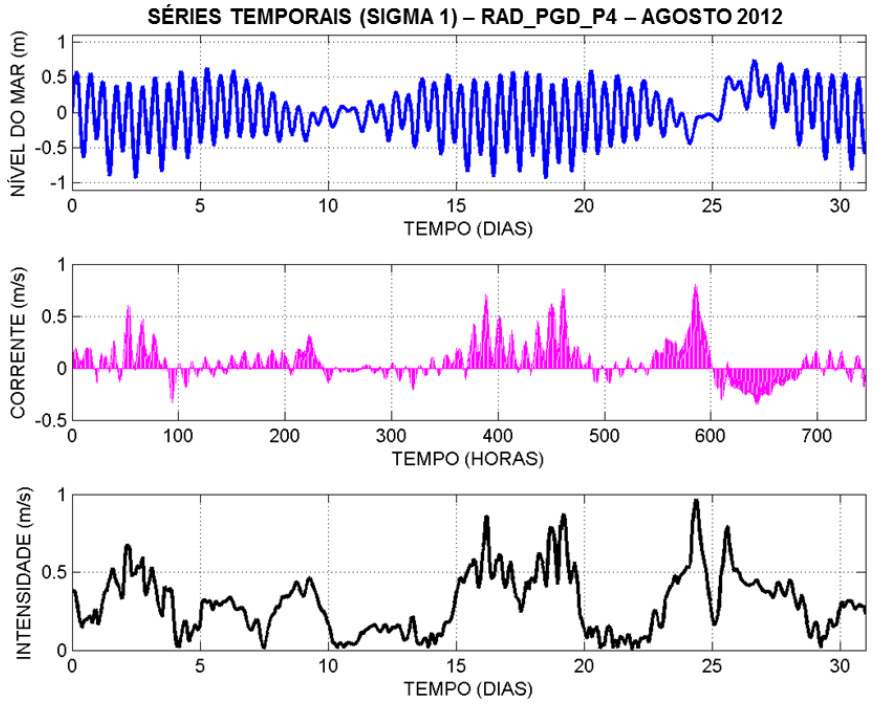

Figura 37 – Séries temporais de elevação da superfície, vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

Tabela 22 – Estatísticas de elevação da superfície (m),
segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m)	Máx. (m)	Média (m)	Mediana (m)	Des. Pad. (m)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-1,07	0,89	-0,03	-0,03	0,41	2,42	-0,21
RAD_PGD_P2	-1,04	0,88	-0,02	-0,03	0,40	2,42	-0,20
RAD_PGD_P3	-0,99	0,82	-0,02	-0,02	0,38	2,40	-0,22
RAD_PGD_P4	-0,93	0,73	-0,02	-0,02	0,36	2,38	-0,23
RAD_PGD_P5	-0,89	0,67	-0,01	-0,01	0,34	2,37	-0,24
RAD_MON_P1	-1,11	0,90	-0,02	-0,03	0,43	2,37	-0,18
RAD_MON_P2	-1,03	0,86	-0,02	-0,02	0,39	2,42	-0,21
RAD_MON_P3	-0,98	0,82	-0,02	-0,03	0,37	2,42	-0,22
RAD_MON_P4	-0,95	0,76	-0,02	-0,02	0,36	2,40	-0,24
RAD_MON_P5	-0,90	0,69	-0,01	-0,01	0,35	2,37	-0,24
RAD_ITN_P1	-1,13	0,91	-0,03	-0,02	0,43	2,39	-0,20
RAD_ITN_P2	-1,06	0,87	-0,02	-0,02	0,40	2,40	-0,20
RAD_ITN_P3	-0,99	0,81	-0,02	-0,02	0,38	2,42	-0,22
RAD_ITN_P4	-0,97	0,76	-0,02	-0,02	0,37	2,38	-0,23
RAD_ITN_P5	-0,92	0,70	-0,02	-0,02	0,35	2,38	-0,23
RAD_PER_P1	-1,10	0,91	-0,03	-0,02	0,41	2,43	-0,21
RAD_PER_P2	-1,08	0,89	-0,03	-0,01	0,41	2,42	-0,21
RAD_PER_P3	-1,04	0,83	-0,03	-0,01	0,39	2,39	-0,21
RAD_PER_P4	-1,00	0,78	-0,02	-0,02	0,38	2,37	-0,23
RAD_PER_P5	-0,93	0,71	-0,02	-0,02	0,36	2,39	-0,23

Tabela 23 – Estatísticas da intensidade de correntes na superfície (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	0,01	0,28	0,09	0,08	0,06	3,12	0,87
RAD_PGD_P2	0,01	0,69	0,28	0,26	0,14	2,97	0,64
RAD_PGD_P3	0,01	0,87	0,28	0,25	0,18	3,94	1,05
RAD_PGD_P4	0	0,97	0,30	0,29	0,19	3,05	0,62
RAD_PGD_P5	0,01	1,18	0,36	0,27	0,26	2,78	0,87
RAD_MON_P1	0	0,25	0,09	0,09	0,05	2,55	0,38
RAD_MON_P2	0	0,54	0,20	0,17	0,12	2,41	0,57
RAD_MON_P3	0,01	0,58	0,22	0,18	0,14	2,06	0,48
RAD_MON_P4	0,01	0,93	0,28	0,23	0,18	2,90	0,78
RAD_MON_P5	0,01	0,87	0,32	0,28	0,19	2,50	0,57
RAD_ITN_P1	0	0,30	0,13	0,13	0,08	1,85	0,15
RAD_ITN_P2	0,01	0,55	0,17	0,15	0,12	3,38	0,93
RAD_ITN_P3	0,01	0,60	0,20	0,16	0,14	2,61	0,71
RAD_ITN_P4	0,01	0,73	0,21	0,18	0,15	3,73	1,03
RAD_ITN_P5	0	0,81	0,25	0,19	0,20	3,49	1,16
RAD_PER_P1	0	0,16	0,06	0,06	0,03	2,47	0,42
RAD_PER_P2	0	0,75	0,18	0,14	0,14	5,20	1,44
RAD_PER_P3	0	0,82	0,23	0,18	0,17	4,30	1,28
RAD_PER_P4	0	0,99	0,24	0,19	0,19	5,17	1,41
RAD_PER_P5	0,01	0,95	0,24	0,20	0,18	6,11	1,54

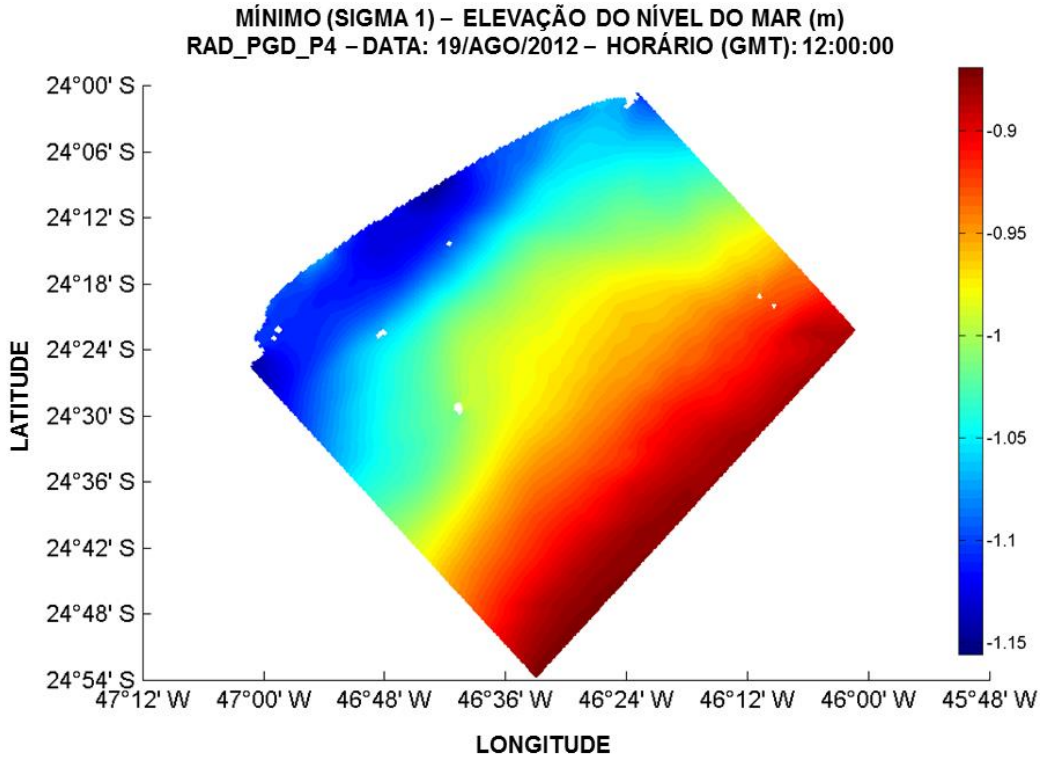

Figura 38 – Distribuição do nível do mar, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

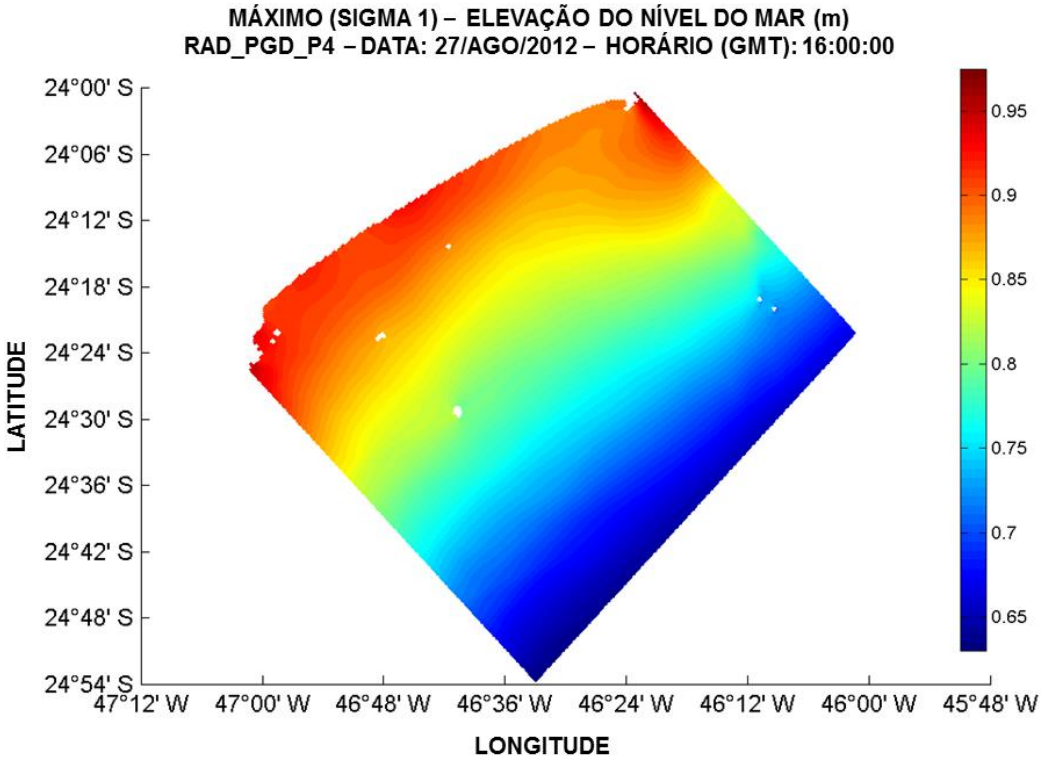

Figura 39 – Distribuição do nível do mar, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

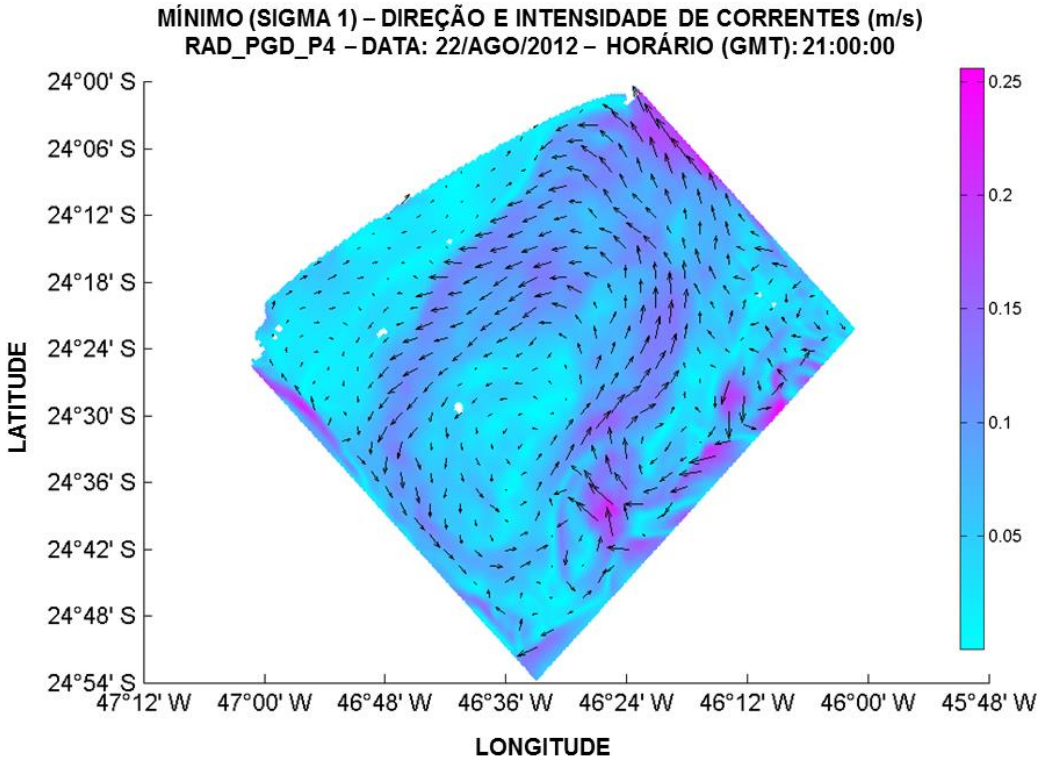

Figura 40 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

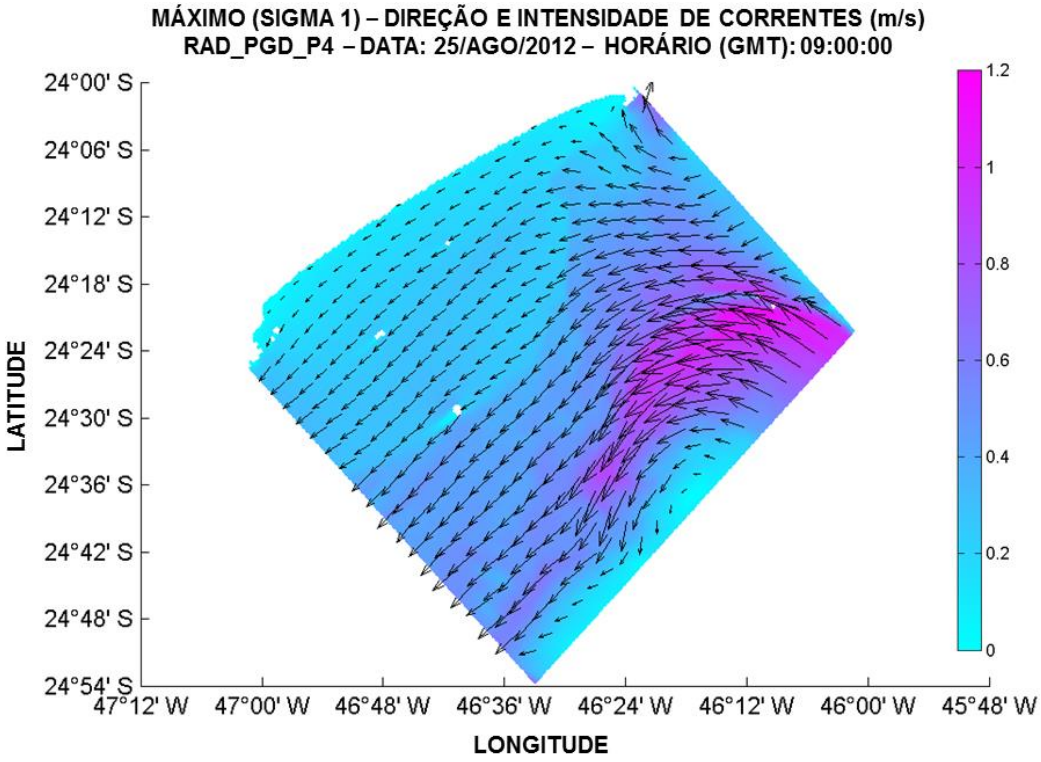

Figura 41 – Distribuição da corrente na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

6.2.1.2.2. Fundo

Complementando a seleção de resultados do processamento da circulação total, em agosto de 2012, séries temporais das correntes no fundo, nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 42 e 43; resultados estatísticos obtidos da análise de intensidade de correntes na camada de fundo encontram-se na Tabela 24; estatísticas das componentes U e V estão no Anexo C; por fim, mapas da distribuição de intensidade de correntes na quinta camada Sigma, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 44 e 45.

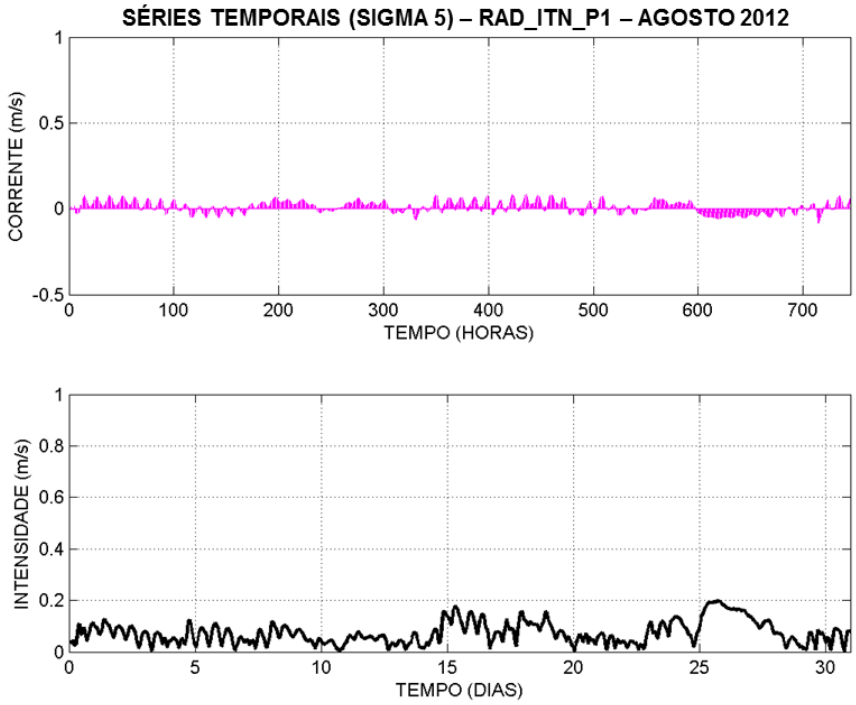

Figura 42 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

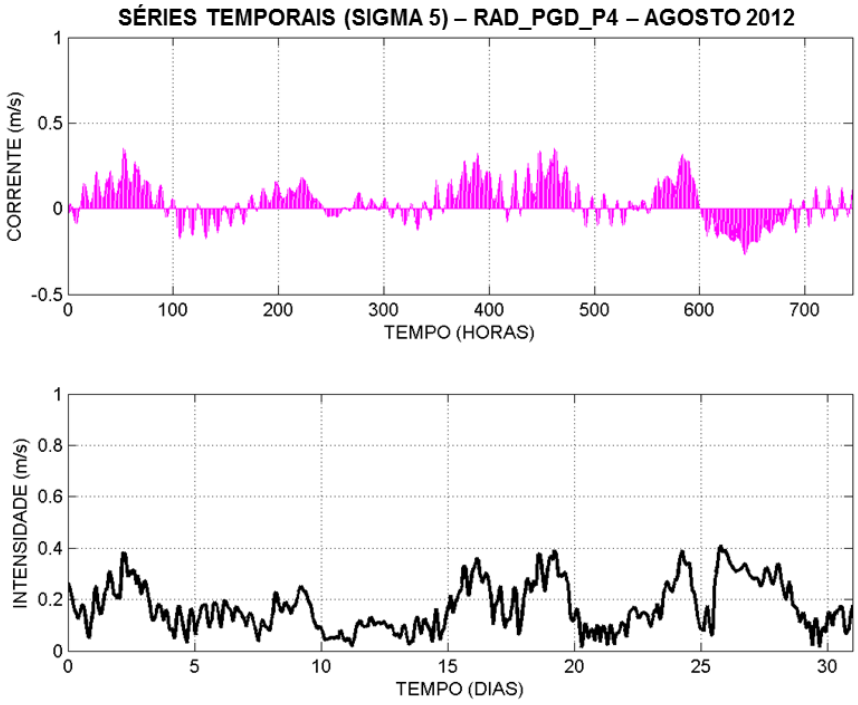

Figura 43 – Séries temporais do vetor velocidade de correntes e intensidade de correntes no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

Tabela 24 – Estatísticas da intensidade de correntes no fundo (m/s), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	0	0,18	0,06	0,05	0,03	3,88	1,07
RAD_PGD_P2	0	0,53	0,16	0,13	0,11	5,11	1,58
RAD_PGD_P3	0,01	0,67	0,18	0,15	0,13	6,20	1,76
RAD_PGD_P4	0,01	0,41	0,17	0,15	0,09	2,33	0,55
RAD_PGD_P5	0,01	0,63	0,16	0,12	0,13	6,52	1,91
RAD_MON_P1	0	0,19	0,07	0,07	0,04	2,52	0,38
RAD_MON_P2	0	0,35	0,11	0,10	0,07	4,05	0,94
RAD_MON_P3	0	0,38	0,13	0,11	0,08	4,04	1,07
RAD_MON_P4	0,01	0,50	0,17	0,15	0,11	3,74	1,08
RAD_MON_P5	0,01	0,57	0,16	0,14	0,11	6,61	1,83
RAD_ITN_P1	0	0,20	0,07	0,07	0,04	3,15	0,80
RAD_ITN_P2	0	0,35	0,12	0,10	0,07	3,52	0,93
RAD_ITN_P3	0,01	0,42	0,13	0,11	0,09	4,57	1,25
RAD_ITN_P4	0	0,48	0,14	0,12	0,09	4,69	1,29
RAD_ITN_P5	0,01	0,52	0,16	0,14	0,10	4,70	1,29
RAD_PER_P1	0	0,13	0,05	0,04	0,03	2,55	0,50
RAD_PER_P2	0	0,43	0,12	0,10	0,08	5,72	1,50
RAD_PER_P3	0,01	0,41	0,13	0,11	0,08	3,91	1,01
RAD_PER_P4	0	0,46	0,15	0,12	0,09	4,21	1,14
RAD_PER_P5	0,01	0,48	0,15	0,13	0,09	4,58	1,24

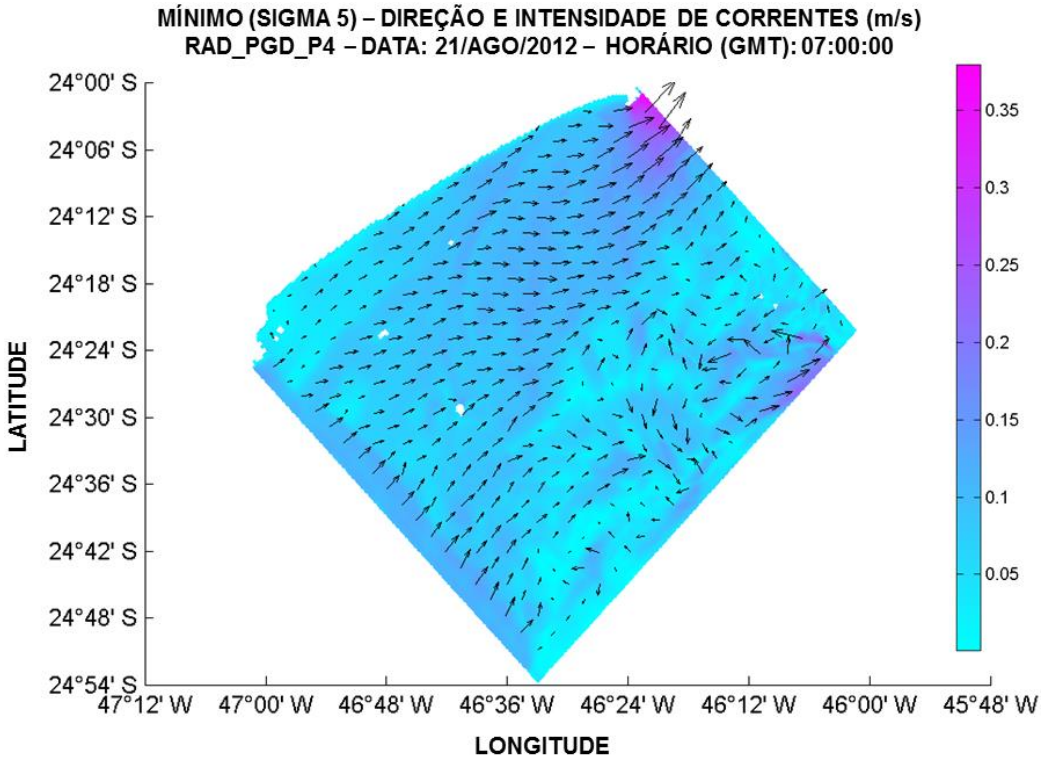

Figura 44 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

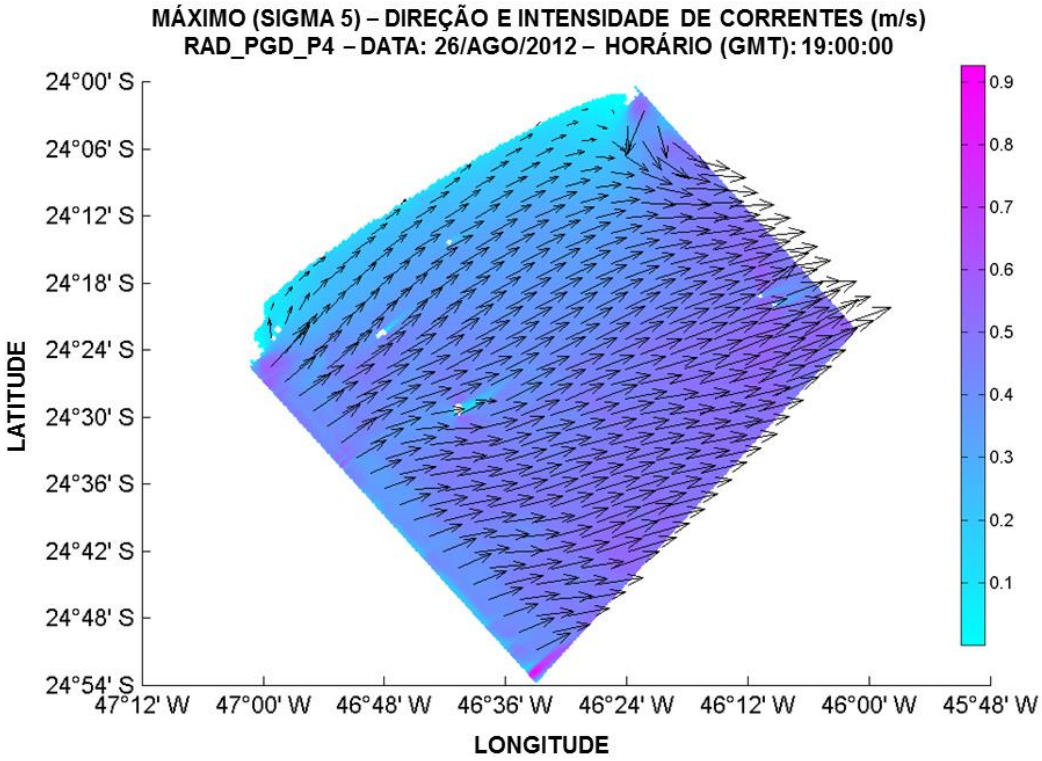

Figura 45 – Distribuição da corrente no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

6.2.2. *Temperatura e salinidade*

6.2.2.1. Fevereiro de 2012

6.2.2.1.1. Superfície

Complementando os resultados obtidos no processamento 3D do modelo hidrodinâmico, são a seguir apresentados resultados referentes a temperatura e salinidade, em fevereiro de 2012: séries temporais desses parâmetros nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, na superfície, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 46 e 47; resultados estatísticos obtidos das análises de temperatura e salinidade na camada de superfície se encontram nas Tabelas 25 e 26, respectivamente; por fim, mapas de distribuição de temperatura e salinidade na primeira camada Sigma, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 48 a 51.

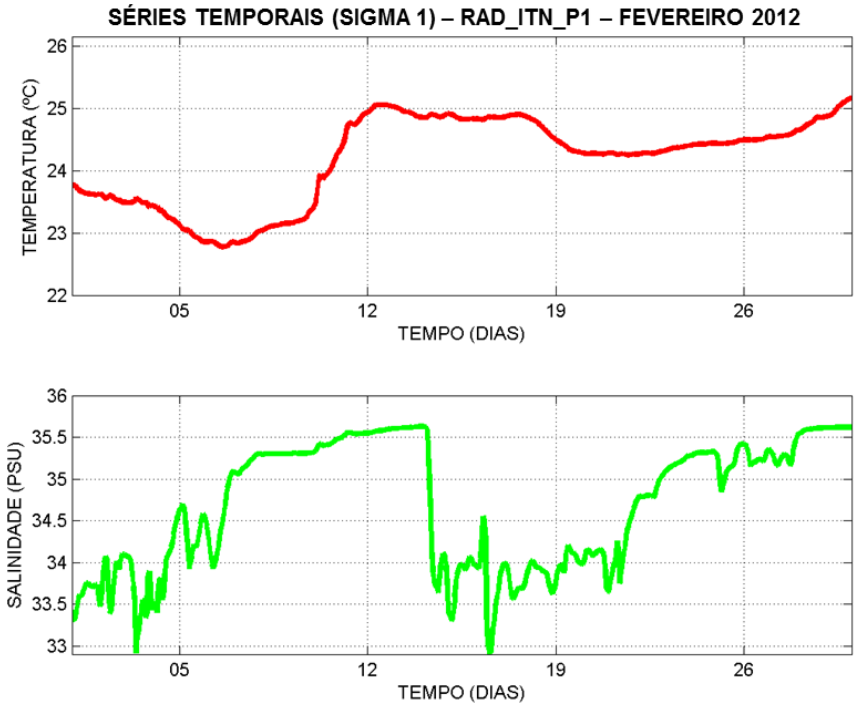

Figura 46 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

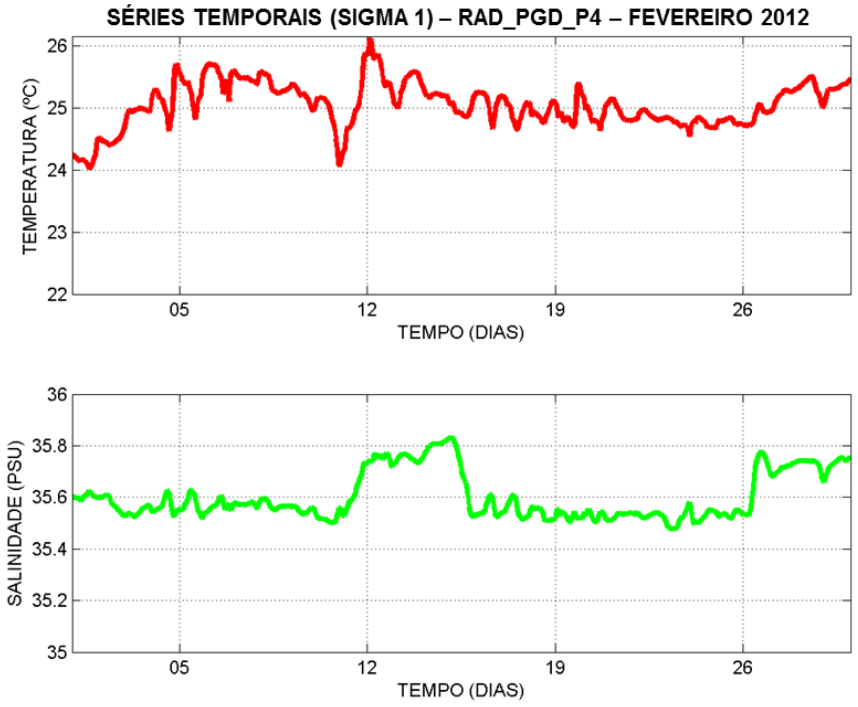

Figura 47 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

Tabela 25 – Estatísticas da temperatura na superfície (ºC), segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (ºC)	Máx. (ºC)	Média (ºC)	Mediana (ºC)	Des. Pad. (ºC)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	22,15	24,52	23,61	23,78	0,62	1,90	-0,51
RAD_PGD_P2	23,69	25,82	24,63	24,60	0,37	3,24	0,27
RAD_PGD_P3	23,79	25,42	24,78	24,75	0,29	4,09	-0,62
RAD_PGD_P4	24,03	26,12	25,04	25,03	0,36	3,21	-0,20
RAD_PGD_P5	24,30	27,25	25,39	25,30	0,53	3,56	0,83
RAD_MON_P1	22,38	24,98	23,82	24,10	0,79	1,85	-0,45
RAD_MON_P2	23,32	25,71	24,43	24,47	0,52	3,07	-0,53
RAD_MON_P3	23,53	25,72	24,60	24,65	0,46	3,23	-0,63
RAD_MON_P4	23,75	25,92	24,85	24,88	0,41	3,07	-0,30
RAD_MON_P5	24,33	26,46	25,08	25,04	0,36	3,69	0,57
RAD_ITN_P1	22,77	25,17	24,17	24,39	0,70	2,00	-0,61
RAD_ITN_P2	22,82	25,79	24,28	24,50	0,73	2,09	-0,25
RAD_ITN_P3	23,40	25,91	24,44	24,54	0,63	2,21	-0,07
RAD_ITN_P4	23,54	26,00	24,67	24,73	0,60	2,30	-0,14
RAD_ITN_P5	23,78	26,25	24,91	24,88	0,53	2,79	-0,21
RAD_PER_P1	23,38	25,31	24,51	24,70	0,54	2,62	-0,91
RAD_PER_P2	23,12	25,71	24,51	24,60	0,76	2,05	-0,43
RAD_PER_P3	23,37	26,04	24,59	24,57	0,76	2,04	0,08
RAD_PER_P4	23,48	26,16	24,79	24,75	0,73	2,20	-0,20
RAD_PER_P5	23,60	26,29	25,06	25,06	0,58	3,06	-0,17

Tabela 26 – Estatísticas da salinidade na superfície (PSU),
segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (PSU)	Máx. (PSU)	Média (PSU)	Mediana (PSU)	Des. Pad. (PSU)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	34,70	35,77	35,26	35,44	0,35	1,37	-0,25
RAD_PGD_P2	35,33	35,68	35,51	35,50	0,06	2,98	0,68
RAD_PGD_P3	35,46	35,76	35,54	35,52	0,07	4,31	1,43
RAD_PGD_P4	35,48	35,83	35,60	35,56	0,09	2,48	0,95
RAD_PGD_P5	35,55	35,83	35,63	35,61	0,06	5,23	1,59
RAD_MON_P1	33,79	35,71	34,97	34,96	0,50	2,12	-0,29
RAD_MON_P2	35,45	35,69	35,56	35,53	0,08	1,71	0,50
RAD_MON_P3	35,46	35,76	35,57	35,54	0,09	2,14	0,83
RAD_MON_P4	35,47	35,81	35,61	35,57	0,10	1,77	0,60
RAD_MON_P5	35,55	35,81	35,65	35,63	0,08	1,95	0,64
RAD_ITN_P1	32,90	35,63	34,68	34,97	0,77	1,60	-0,30
RAD_ITN_P2	35,49	35,74	35,60	35,61	0,07	1,82	0,04
RAD_ITN_P3	35,45	35,77	35,61	35,57	0,09	1,76	0,11
RAD_ITN_P4	35,51	35,79	35,64	35,62	0,09	1,48	0,22
RAD_ITN_P5	35,52	35,83	35,67	35,65	0,09	1,42	0,12
RAD_PER_P1	35,06	35,64	35,47	35,58	0,20	2,16	-0,91
RAD_PER_P2	35,01	35,72	35,55	35,59	0,11	6,87	-1,56
RAD_PER_P3	35,46	35,77	35,62	35,64	0,08	1,85	-0,12
RAD_PER_P4	35,53	35,81	35,69	35,70	0,07	2,33	-0,58
RAD_PER_P5	35,58	35,86	35,72	35,73	0,07	2,32	-0,42

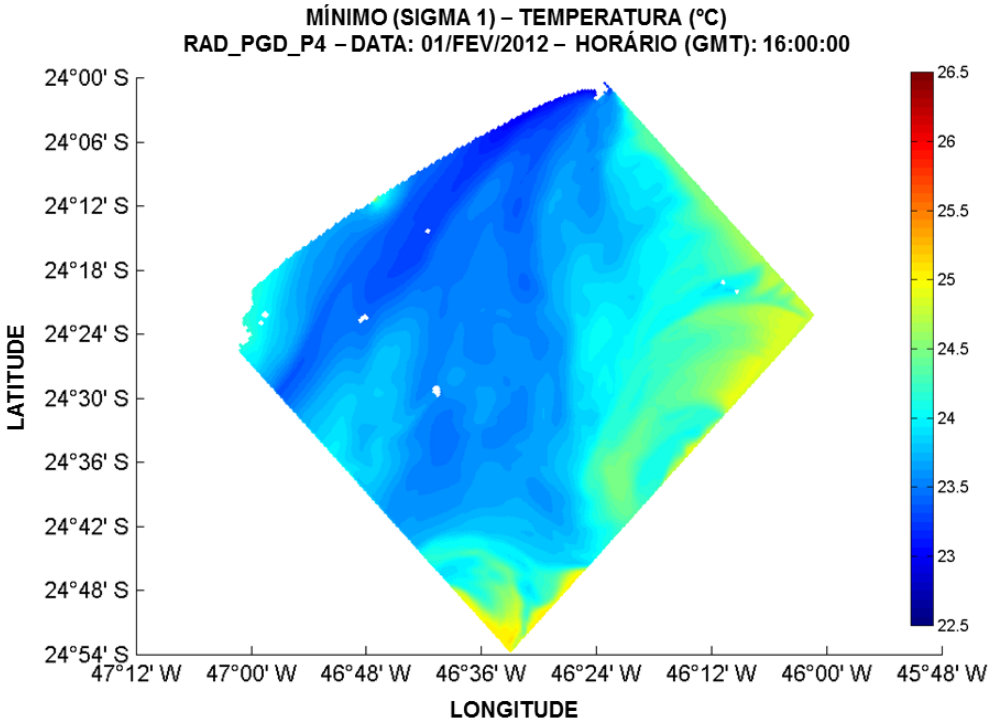

Figura 48 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

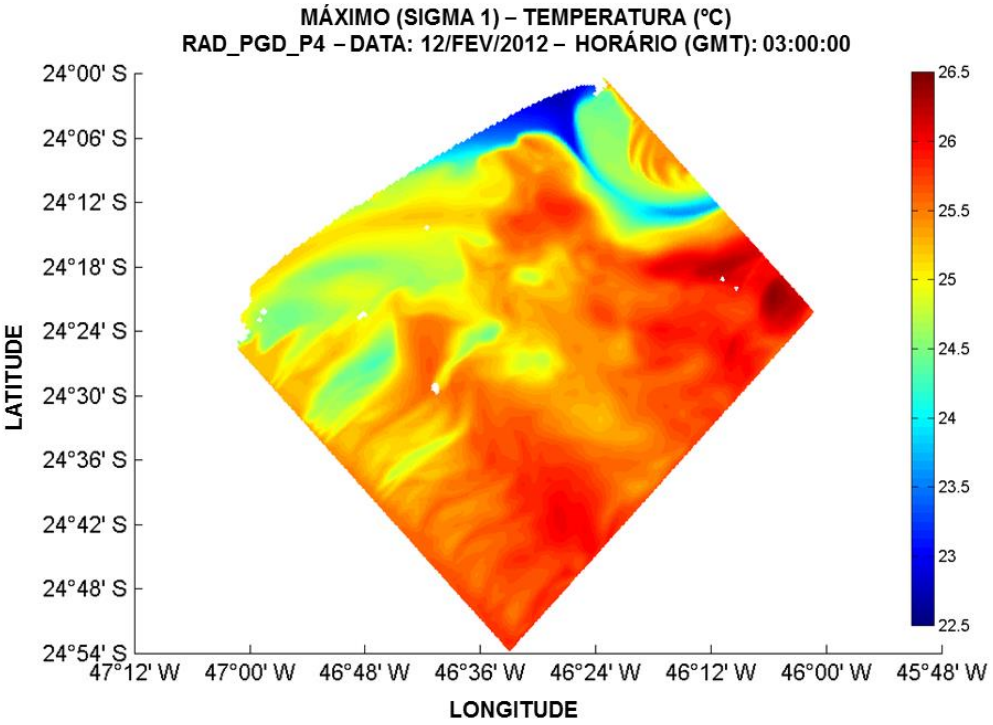

Figura 49 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

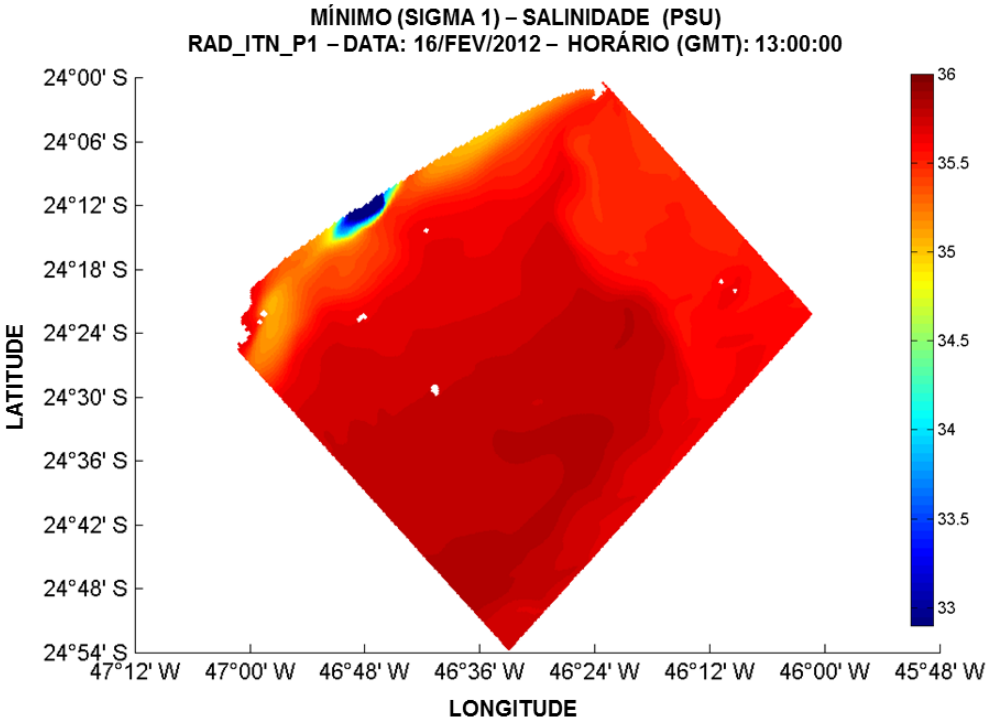

Figura 50 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

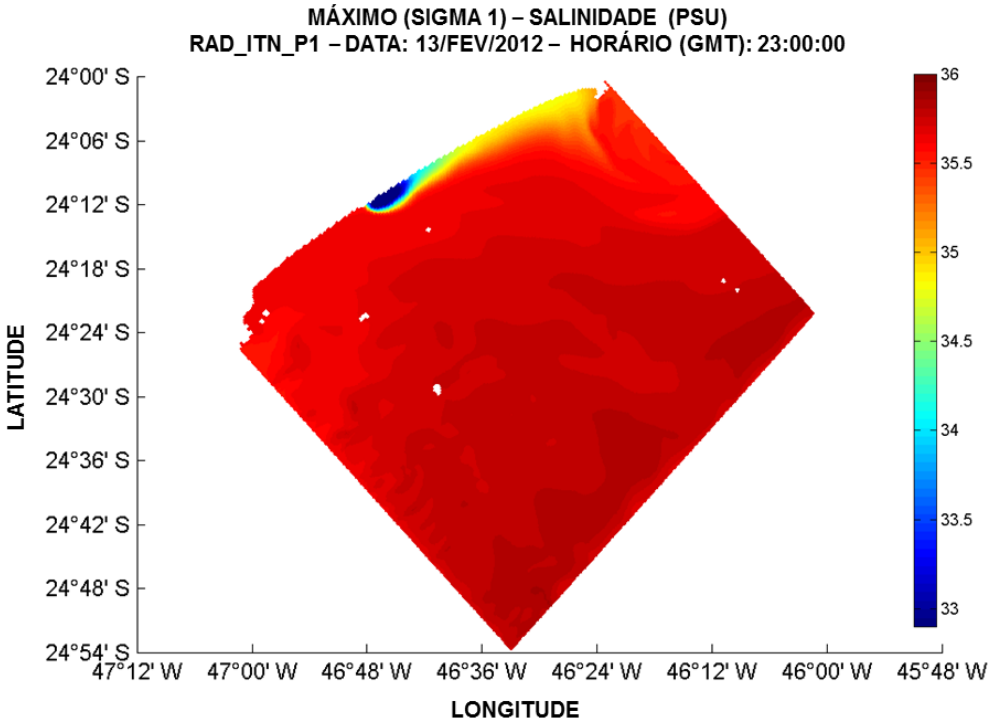

Figura 51 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

6.2.2.1.2. Fundo

Complementando a seleção de resultados do processamento da circulação total, em fevereiro de 2012, séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 52 e 53; resultados obtidos da análise estatística dessas propriedades, na camada de fundo, encontram-se nas Tabelas 27 e 28; por fim, mapas de distribuição de temperatura e salinidade na quinta camada Sigma, cobrindo toda a grade, encontram-se nas Figuras 54 a 57.

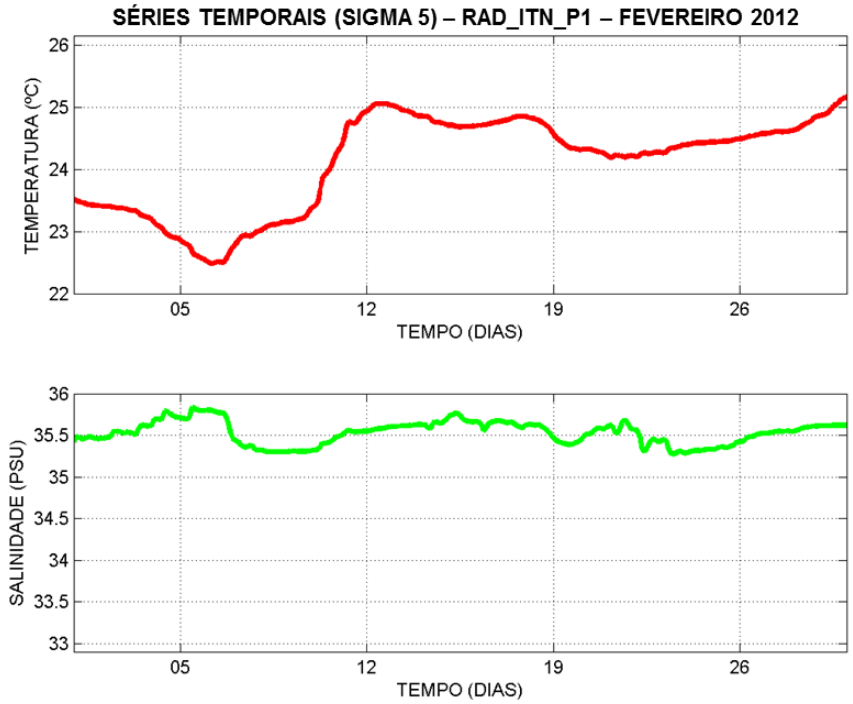

Figura 52 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

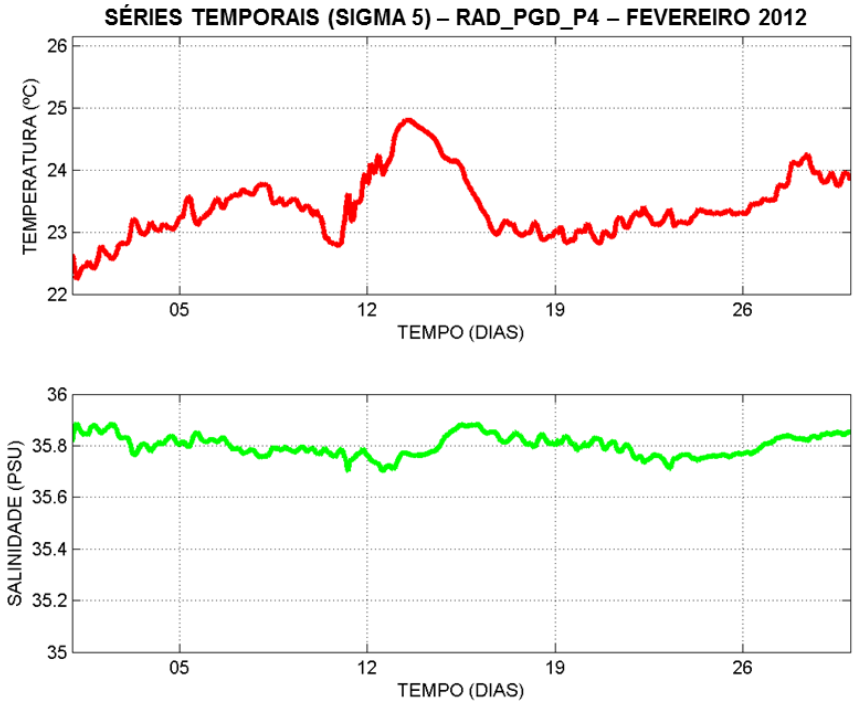

Figura 53 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

Tabela 27 – Estatísticas da temperatura no fundo (ºC),
segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (ºC)	Máx. (ºC)	Média (ºC)	Mediana (ºC)	Des. Pad. (ºC)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	21,92	24,50	23,21	23,05	0,80	1,61	-0,04
RAD_PGD_P2	21,96	24,76	23,18	22,83	0,82	1,81	0,50
RAD_PGD_P3	22,04	24,86	23,07	22,91	0,66	3,66	1,17
RAD_PGD_P4	22,24	24,80	23,40	23,31	0,52	3,29	0,68
RAD_PGD_P5	22,10	24,42	23,19	23,16	0,48	3,20	0,54
RAD_MON_P1	22,35	24,96	23,71	23,97	0,82	1,74	-0,29
RAD_MON_P2	22,06	25,08	23,23	22,88	0,98	1,59	0,34
RAD_MON_P3	22,25	24,71	23,19	23,05	0,72	2,05	0,47
RAD_MON_P4	22,56	24,55	23,27	23,20	0,50	2,61	0,47
RAD_MON_P5	22,55	24,54	23,35	23,33	0,38	3,35	0,32
RAD_ITN_P1	22,48	25,15	24,11	24,39	0,76	2,04	-0,67
RAD_ITN_P2	22,28	24,83	23,46	23,71	0,82	1,54	-0,15
RAD_ITN_P3	22,55	24,33	23,33	23,36	0,51	1,78	0,01
RAD_ITN_P4	22,89	24,30	23,34	23,26	0,35	2,59	0,72
RAD_ITN_P5	22,71	24,22	23,34	23,21	0,33	2,75	0,77
RAD_PER_P1	23,38	25,25	24,43	24,62	0,52	2,42	-0,86
RAD_PER_P2	22,49	24,29	23,53	23,67	0,50	2,43	-0,71
RAD_PER_P3	22,85	24,12	23,39	23,42	0,38	1,67	0
RAD_PER_P4	22,50	24,07	23,33	23,30	0,40	2,28	-0,11
RAD_PER_P5	22,45	25,82	23,48	23,44	0,52	5,37	0,84

Tabela 28 – Estatísticas da salinidade no fundo (PSU),
segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (PSU)	Máx. (PSU)	Média (PSU)	Mediana (PSU)	Des. Pad. (PSU)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	34,72	35,80	35,35	35,48	0,38	1,36	-0,26
RAD_PGD_P2	35,40	35,82	35,69	35,75	0,10	2,15	-0,67
RAD_PGD_P3	35,54	35,85	35,78	35,80	0,06	6,61	-1,95
RAD_PGD_P4	35,70	35,89	35,80	35,80	0,04	2,35	0,05
RAD_PGD_P5	35,77	35,96	35,87	35,87	0,04	2,10	-0,18
RAD_MON_P1	34,54	35,71	35,25	35,19	0,28	1,96	0,09
RAD_MON_P2	35,60	35,81	35,75	35,75	0,04	3,77	-0,97
RAD_MON_P3	35,69	35,84	35,79	35,79	0,03	2,71	-0,33
RAD_MON_P4	35,75	35,92	35,82	35,81	0,04	2,37	0,63
RAD_MON_P5	35,70	35,97	35,86	35,85	0,05	2,32	0,19
RAD_ITN_P1	35,27	35,84	35,53	35,55	0,14	2,16	-0,10
RAD_ITN_P2	35,58	35,80	35,74	35,75	0,04	4,76	-1,25
RAD_ITN_P3	35,73	35,91	35,81	35,80	0,04	1,79	0,29
RAD_ITN_P4	35,73	35,96	35,86	35,86	0,05	1,98	-0,09
RAD_ITN_P5	35,76	36,01	35,90	35,89	0,06	2,04	0
RAD_PER_P1	35,06	35,66	35,47	35,61	0,20	2,15	-0,86
RAD_PER_P2	35,47	35,88	35,76	35,79	0,09	4,47	-1,39
RAD_PER_P3	35,69	35,94	35,84	35,86	0,06	2,07	-0,66
RAD_PER_P4	35,77	35,98	35,91	35,93	0,05	3,13	-1,03
RAD_PER_P5	35,75	36,02	35,94	35,95	0,06	3,10	-0,95

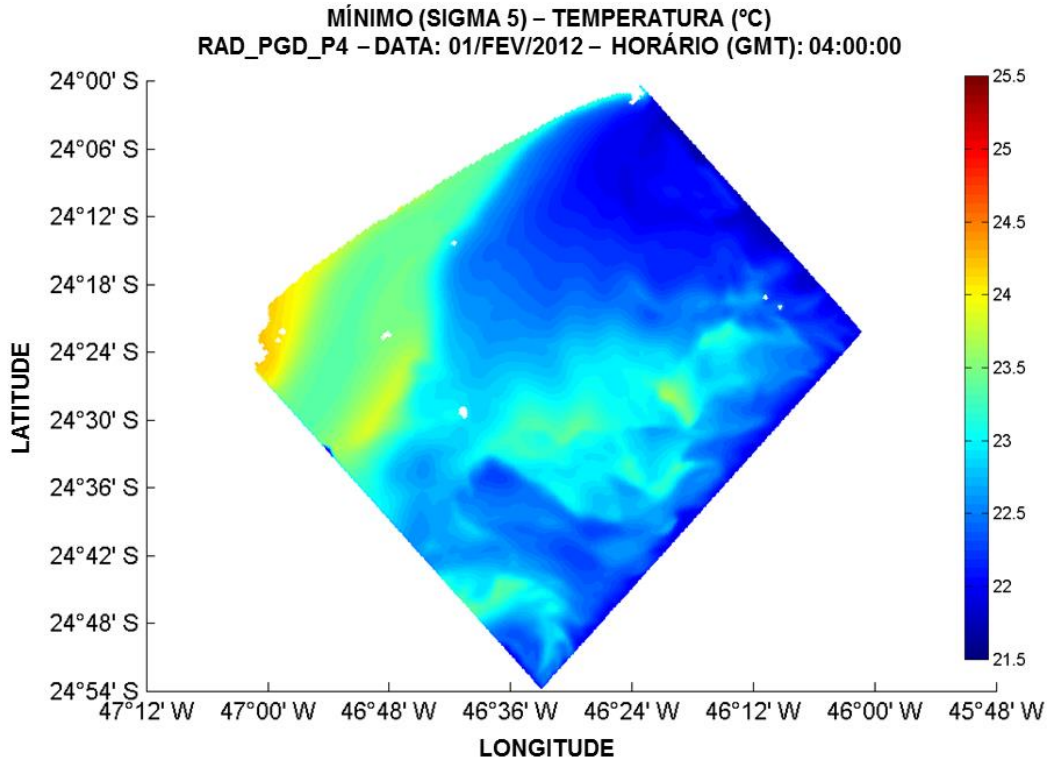

Figura 54 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

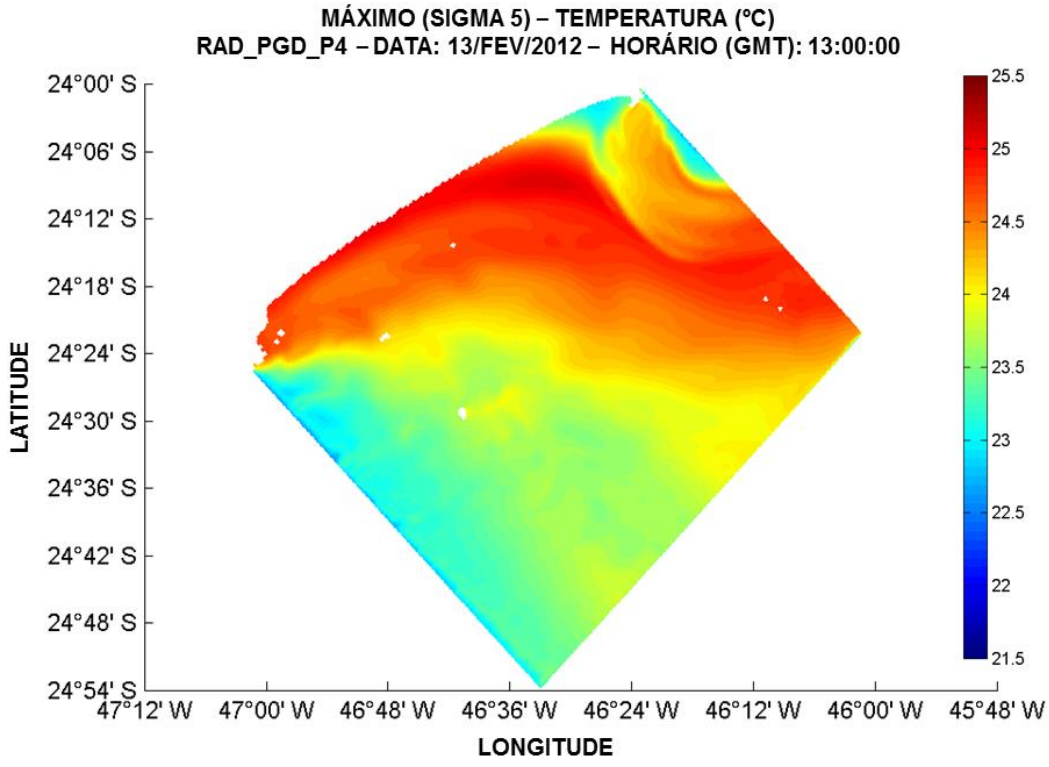

Figura 55 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

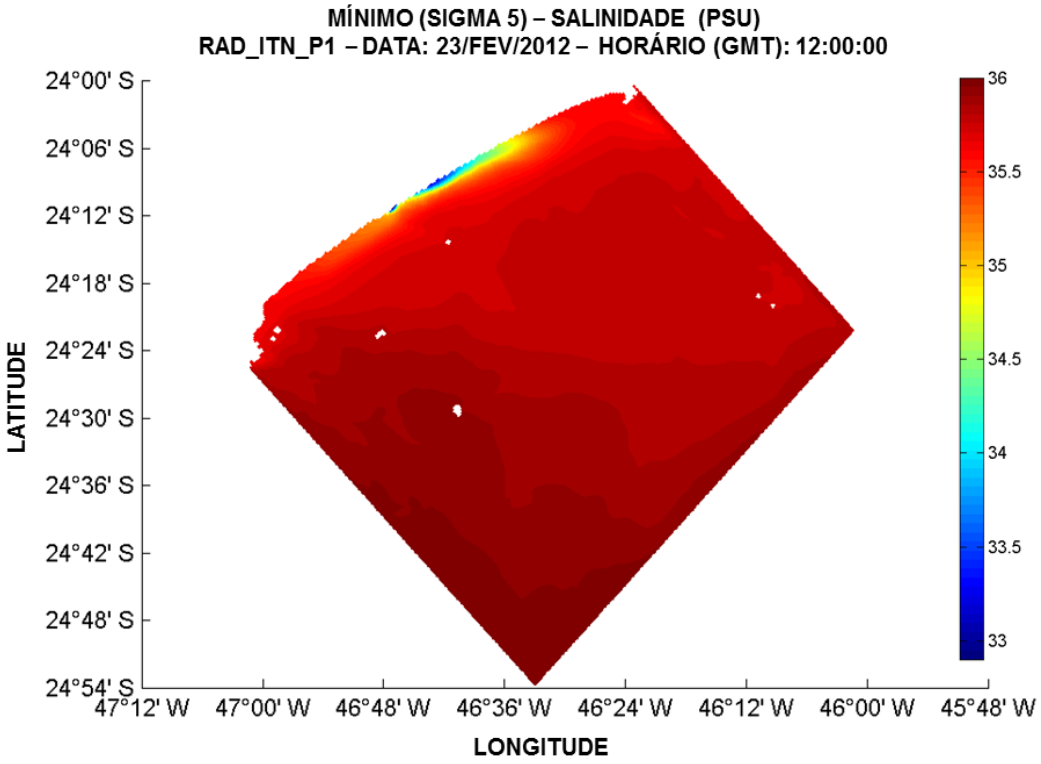

Figura 56 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

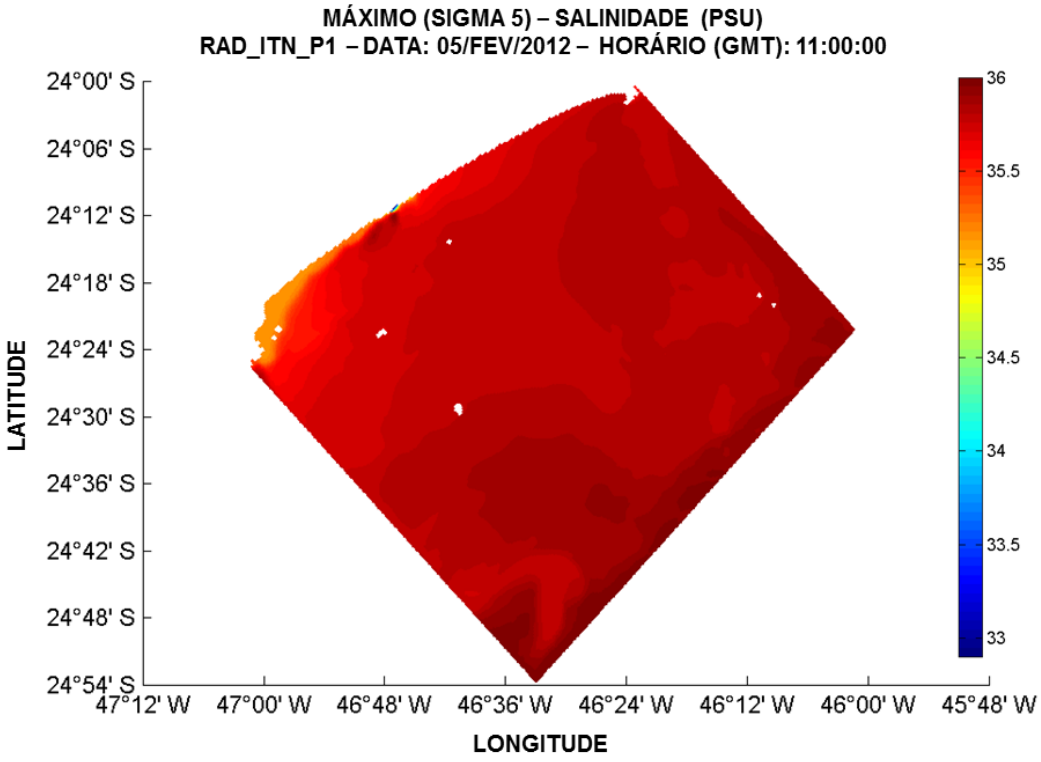

Figura 57 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

6.2.2.2. Agosto de 2012

6.2.2.2.1. Superfície

Complementando os resultados obtidos no processamento 3D do modelo hidrodinâmico, são a seguir apresentados resultados referentes a temperatura e salinidade, em agosto de 2012: séries temporais desses parâmetros nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, na superfície, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 58 e 59; resultados estatísticos obtidos das análises de temperatura e salinidade na camada de superfície se encontram nas Tabelas 29 e 30, respectivamente; por fim, mapas de distribuição de temperatura e salinidade na primeira camada Sigma, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 60 a 63.

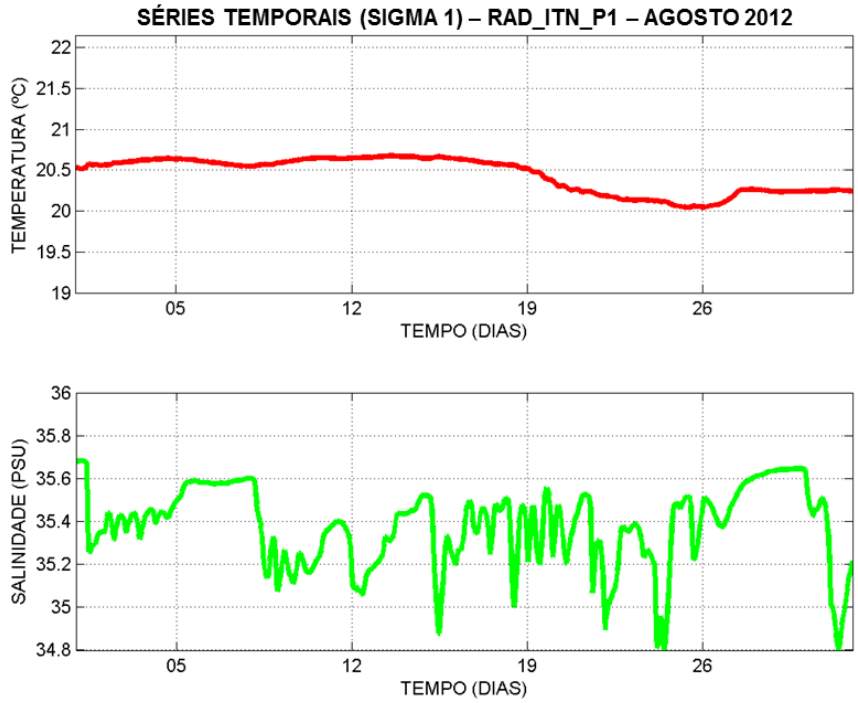

Figura 58 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

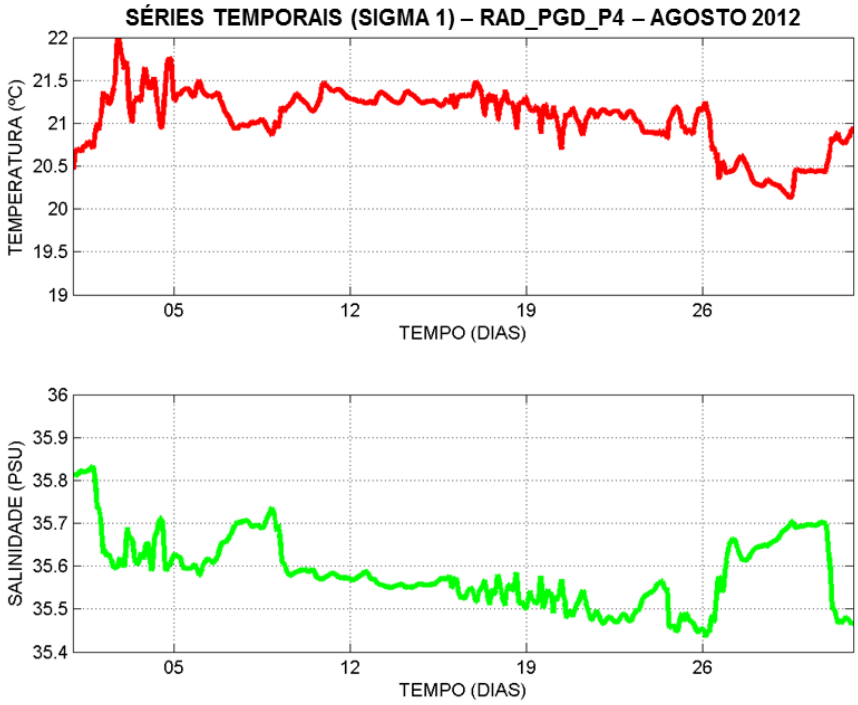

Figura 59 – Séries temporais de temperatura e salinidade na superfície, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

Tabela 29 – Estatísticas da temperatura na superfície (ºC), segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (ºC)	Máx. (ºC)	Média (ºC)	Mediana (ºC)	Des. Pad. (ºC)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	19,84	20,90	20,47	20,50	0,20	2,77	-0,39
RAD_PGD_P2	20,15	21,68	20,85	20,87	0,34	2,43	-0,42
RAD_PGD_P3	20,12	21,90	21,03	21,15	0,37	2,95	-0,90
RAD_PGD_P4	20,13	22,02	21,05	21,14	0,34	3,23	-0,77
RAD_PGD_P5	20,35	22,30	21,13	21,18	0,30	4,38	-0,37
RAD_MON_P1	20,01	20,78	20,42	20,56	0,27	1,37	-0,26
RAD_MON_P2	19,93	21,22	20,64	20,67	0,31	2,58	-0,55
RAD_MON_P3	19,92	21,46	20,83	20,98	0,37	3,03	-0,94
RAD_MON_P4	20,09	21,75	20,87	20,95	0,32	2,38	-0,26
RAD_MON_P5	20,37	21,81	20,98	20,99	0,25	2,99	0,02
RAD_ITN_P1	20,04	20,67	20,44	20,56	0,21	1,62	-0,52
RAD_ITN_P2	19,80	20,87	20,33	20,40	0,25	2,39	-0,56
RAD_ITN_P3	19,95	21,22	20,66	20,67	0,32	2,16	-0,42
RAD_ITN_P4	20,18	21,37	20,82	20,83	0,25	2,69	-0,13
RAD_ITN_P5	20,28	21,39	20,86	20,83	0,20	3,10	0,30
RAD_PER_P1	20,22	20,90	20,51	20,51	0,15	2,92	0,09
RAD_PER_P2	19,83	21,04	20,36	20,40	0,29	2,78	0,45
RAD_PER_P3	19,95	21,08	20,51	20,51	0,26	2,25	-0,04
RAD_PER_P4	20,28	21,17	20,74	20,78	0,22	1,98	-0,30
RAD_PER_P5	20,52	21,25	20,86	20,89	0,16	2,45	-0,18

Tabela 30 – Estatísticas da salinidade na superfície (PSU),
segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (PSU)	Máx. (PSU)	Média (PSU)	Mediana (PSU)	Des. Pad. (PSU)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	35,53	35,74	35,63	35,63	0,03	3,27	-0,15
RAD_PGD_P2	35,39	35,66	35,54	35,53	0,05	2,73	0,09
RAD_PGD_P3	35,41	35,79	35,54	35,54	0,07	4,73	1,07
RAD_PGD_P4	35,43	35,83	35,59	35,57	0,08	3,22	0,62
RAD_PGD_P5	35,45	35,77	35,60	35,61	0,08	1,90	-0,09
RAD_MON_P1	35,32	35,71	35,59	35,63	0,10	2,84	-0,98
RAD_MON_P2	35,48	35,73	35,61	35,61	0,06	2,15	0,36
RAD_MON_P3	35,45	35,78	35,60	35,58	0,08	2,64	0,59
RAD_MON_P4	35,48	35,82	35,63	35,61	0,07	3,92	0,87
RAD_MON_P5	35,47	35,83	35,64	35,65	0,08	2,22	-0,01
RAD_ITN_P1	34,80	35,68	35,37	35,40	0,19	3,19	-0,71
RAD_ITN_P2	35,59	35,78	35,69	35,70	0,04	2,40	-0,35
RAD_ITN_P3	35,47	35,80	35,64	35,64	0,09	1,87	-0,08
RAD_ITN_P4	35,50	35,81	35,65	35,65	0,07	2,17	0,13
RAD_ITN_P5	35,45	35,82	35,67	35,68	0,07	2,75	-0,24
RAD_PER_P1	35,38	35,69	35,57	35,59	0,08	1,96	-0,32
RAD_PER_P2	35,53	35,77	35,70	35,71	0,04	3,74	-0,95
RAD_PER_P3	35,54	35,83	35,68	35,67	0,07	2,47	0,32
RAD_PER_P4	35,53	35,80	35,67	35,69	0,08	1,90	-0,16
RAD_PER_P5	35,54	35,83	35,68	35,69	0,07	2,01	0

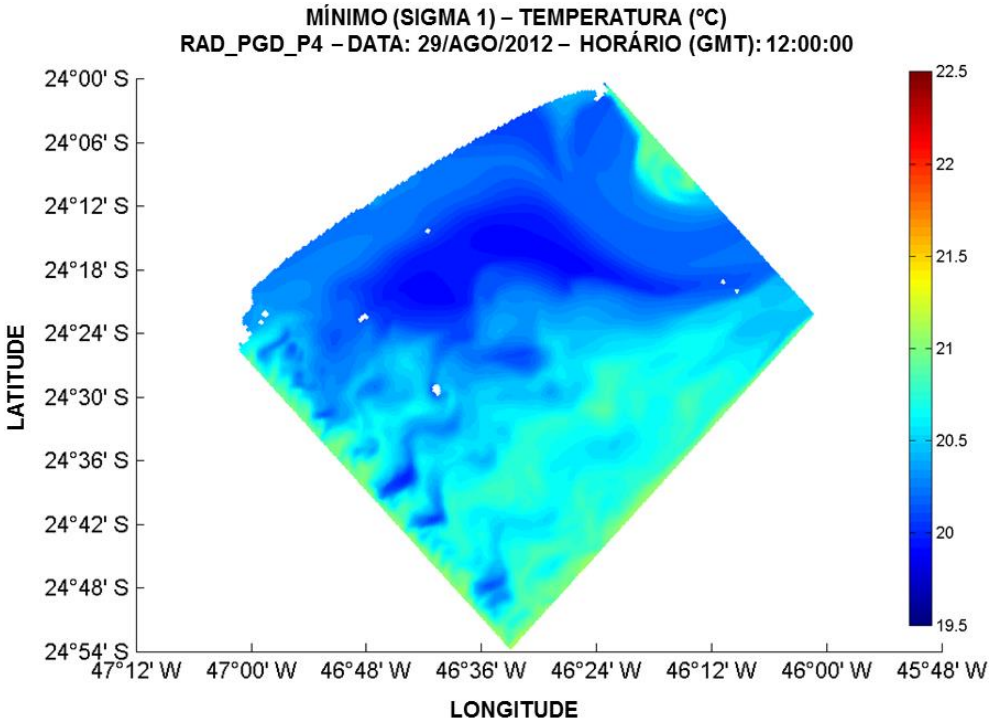

Figura 60 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

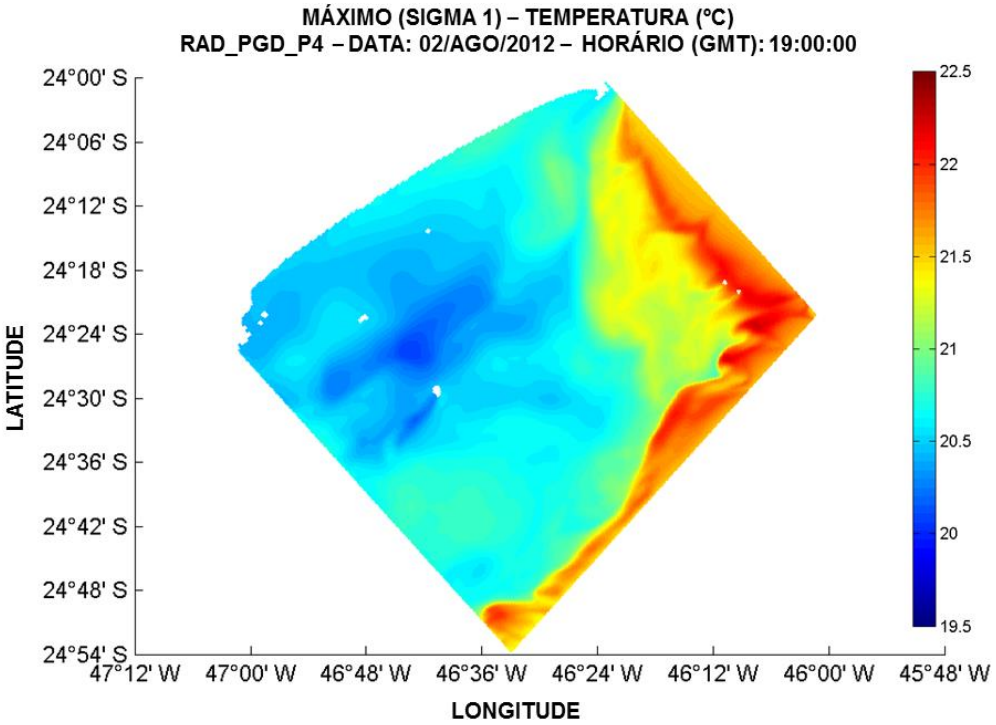

Figura 61 – Distribuição de temperatura na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

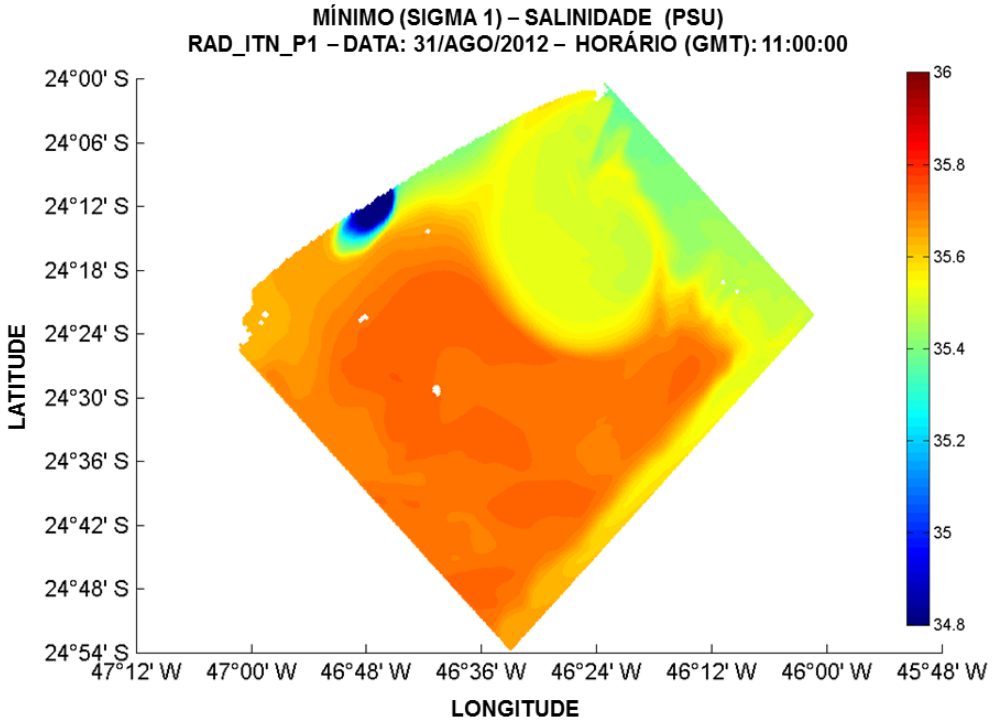

Figura 62 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

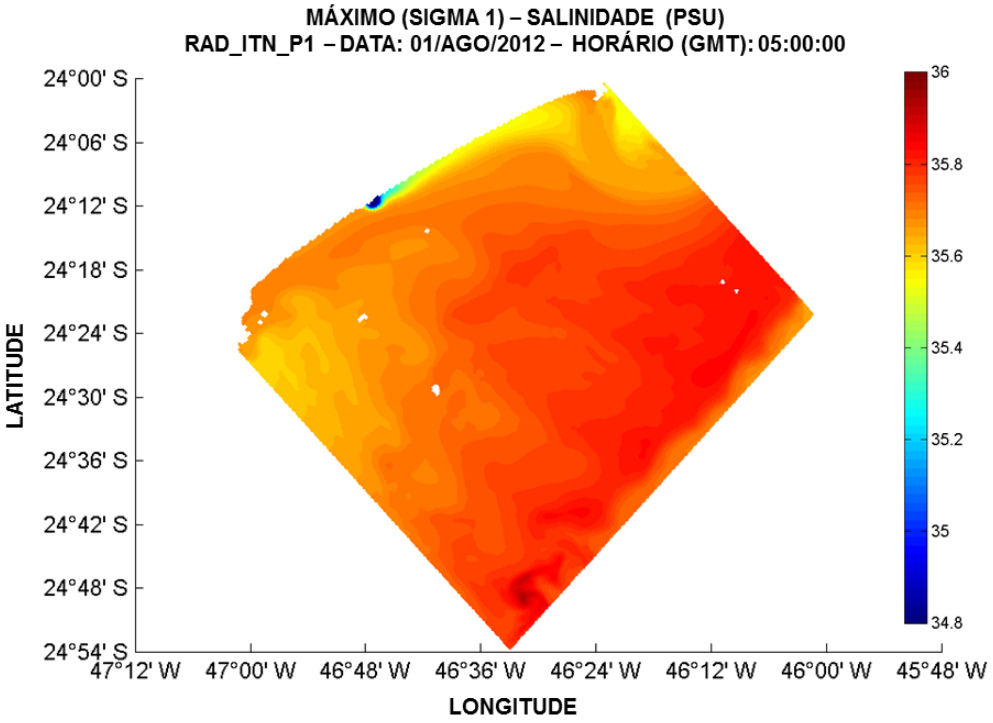

Figura 63 – Distribuição de salinidade na superfície, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

6.2.2.2.2. Fundo

Complementando a seleção de resultados do processamento da circulação total, em fevereiro de 2012, séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, nos pontos P1 da radial de Itanhaém e P4 da radial de Praia Grande, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 64 e 65; resultados obtidos da análise estatística dessas propriedades, na camada de fundo, encontram-se nas Tabelas 31 e 32; por fim, mapas de distribuição de temperatura e salinidade na quinta camada Sigma, cobrindo toda a grade, encontram-se nas Figuras 66 a 69.

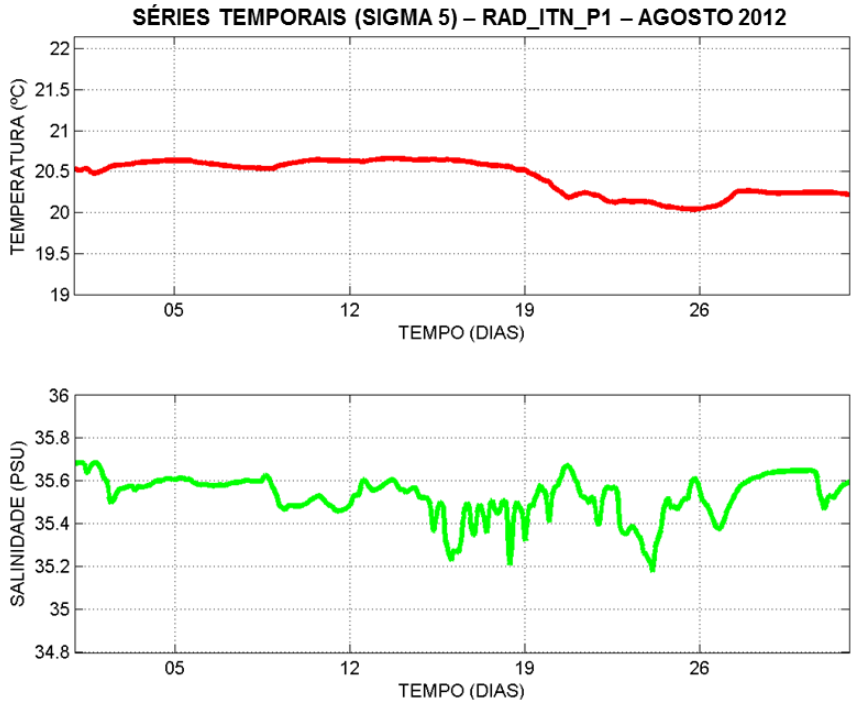

Figura 64 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

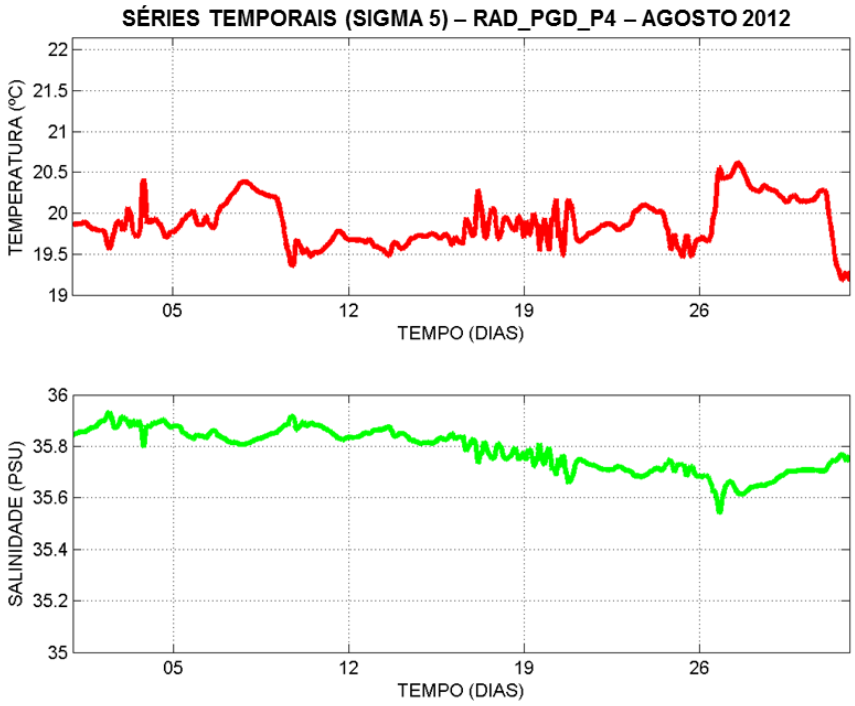

Figura 65 – Séries temporais de temperatura e salinidade no fundo, no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento da circulação total, correspondentes ao mês de agosto de 2012.

Tabela 31 – Estatísticas da temperatura no fundo (ºC),
segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (ºC)	Máx. (ºC)	Média (ºC)	Mediana (ºC)	Des. Pad. (ºC)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	19,73	20,80	20,37	20,42	0,25	3,02	-0,85
RAD_PGD_P2	19,26	20,78	19,89	19,77	0,39	2,28	0,64
RAD_PGD_P3	19,21	20,66	19,78	19,68	0,36	2,08	0,53
RAD_PGD_P4	19,17	20,62	19,88	19,83	0,28	2,74	0,40
RAD_PGD_P5	18,89	20,74	19,59	19,54	0,37	4,21	1,09
RAD_MON_P1	20,01	20,78	20,42	20,56	0,27	1,37	-0,26
RAD_MON_P2	19,55	20,64	20,08	20	0,26	2,02	0,29
RAD_MON_P3	19,68	20,69	20,12	20,10	0,23	2,73	0,39
RAD_MON_P4	19,65	21,03	20,15	20,14	0,31	2,42	0,39
RAD_MON_P5	19,39	20,51	19,79	19,79	0,25	3,25	0,75
RAD_ITN_P1	20,04	20,66	20,43	20,54	0,21	1,60	-0,50
RAD_ITN_P2	19,70	20,55	20,22	20,27	0,20	2,59	-0,64
RAD_ITN_P3	19,68	20,70	20,10	20,06	0,23	3,32	0,79
RAD_ITN_P4	19,50	20,71	19,97	19,85	0,31	2,30	0,66
RAD_ITN_P5	19,41	20,31	19,76	19,73	0,24	1,73	0,20
RAD_PER_P1	20,22	20,85	20,50	20,51	0,14	2,83	-0,08
RAD_PER_P2	19,52	20,61	20,07	20,15	0,28	1,91	-0,23
RAD_PER_P3	19,28	20,59	19,84	19,86	0,35	2,41	0,25
RAD_PER_P4	19,22	20,36	19,62	19,58	0,25	3,49	0,94
RAD_PER_P5	19,10	20,20	19,55	19,54	0,21	3,16	0,46

Tabela 32 – Estatísticas da salinidade no fundo (PSU),
segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (PSU)	Máx. (PSU)	Média (PSU)	Mediana (PSU)	Des. Pad. (PSU)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	35,53	35,76	35,65	35,65	0,05	2,49	0,23
RAD_PGD_P2	35,49	35,87	35,72	35,74	0,10	2,27	-0,59
RAD_PGD_P3	35,51	35,90	35,76	35,80	0,11	3,00	-1,04
RAD_PGD_P4	35,54	35,93	35,78	35,81	0,08	2,11	-0,37
RAD_PGD_P5	35,59	35,99	35,85	35,87	0,09	2,98	-0,76
RAD_MON_P1	35,32	35,71	35,59	35,63	0,10	2,90	-0,99
RAD_MON_P2	35,51	35,83	35,75	35,75	0,06	3,62	-0,87
RAD_MON_P3	35,53	35,85	35,75	35,79	0,08	1,76	-0,51
RAD_MON_P4	35,56	35,90	35,76	35,82	0,10	1,64	-0,31
RAD_MON_P5	35,63	35,98	35,84	35,87	0,08	2,33	-0,55
RAD_ITN_P1	35,18	35,68	35,53	35,55	0,10	3,95	-1,04
RAD_ITN_P2	35,63	35,80	35,73	35,73	0,04	2,84	-0,46
RAD_ITN_P3	35,60	35,86	35,77	35,81	0,08	2,26	-0,81
RAD_ITN_P4	35,60	35,92	35,82	35,86	0,10	2,14	-0,74
RAD_ITN_P5	35,70	35,98	35,87	35,88	0,08	1,77	-0,28
RAD_PER_P1	35,38	35,69	35,57	35,59	0,08	1,94	-0,33
RAD_PER_P2	35,66	35,84	35,75	35,75	0,04	2,96	0,02
RAD_PER_P3	35,61	35,91	35,82	35,84	0,07	4,03	-1,28
RAD_PER_P4	35,72	35,96	35,89	35,92	0,07	2,48	-0,82
RAD_PER_P5	35,75	36,01	35,92	35,93	0,06	2,57	-0,51

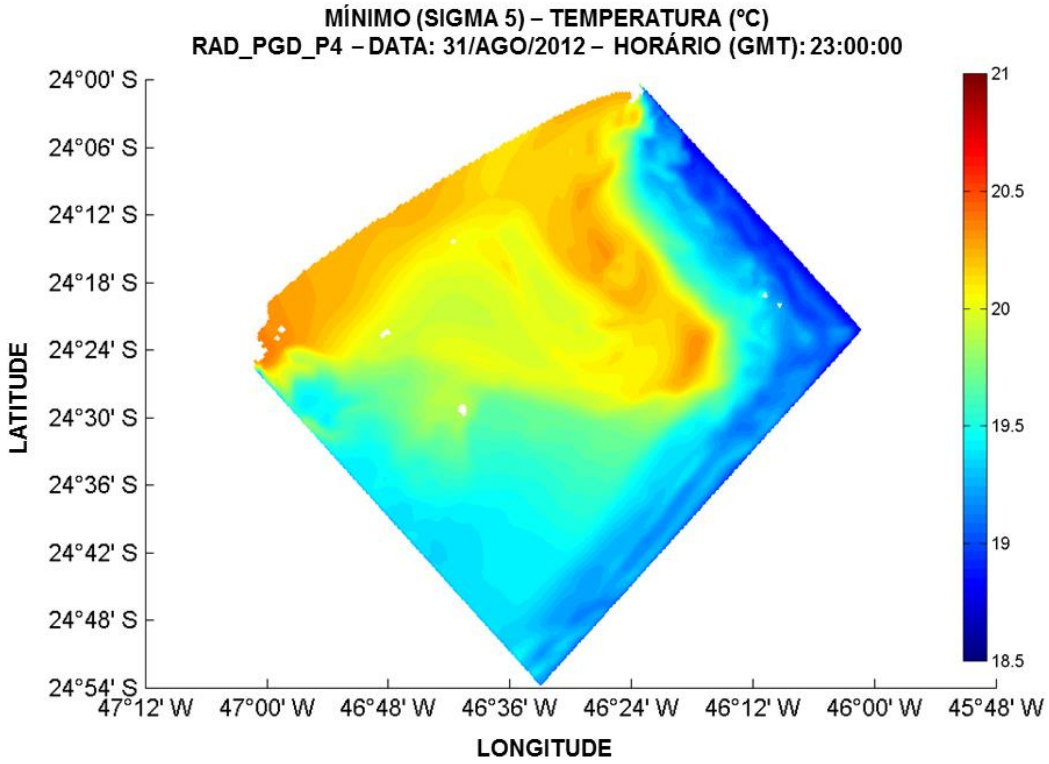

Figura 66 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

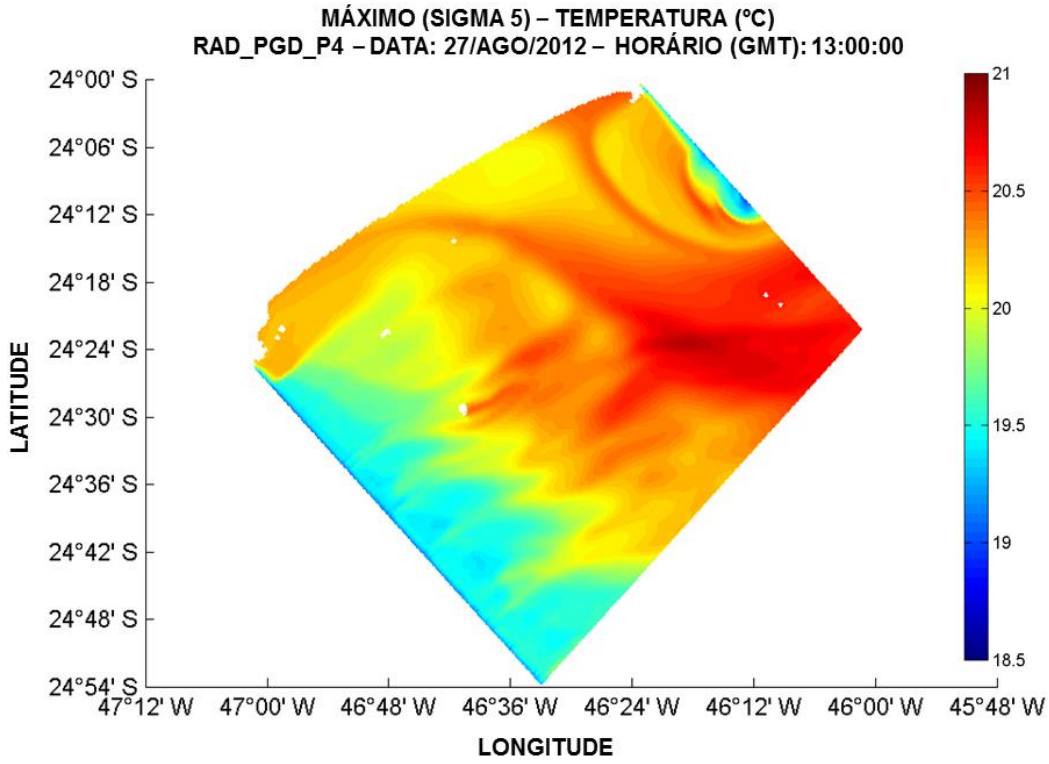

Figura 67 – Distribuição de temperatura no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_PGD_P4, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

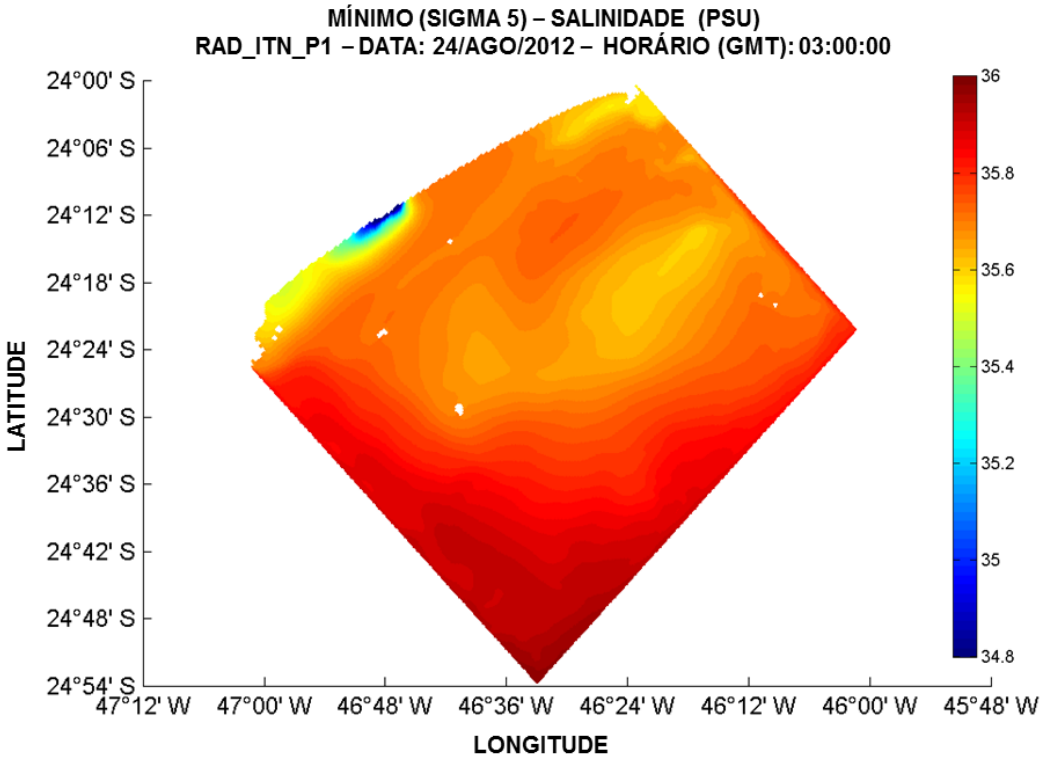

Figura 68 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor mínimo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

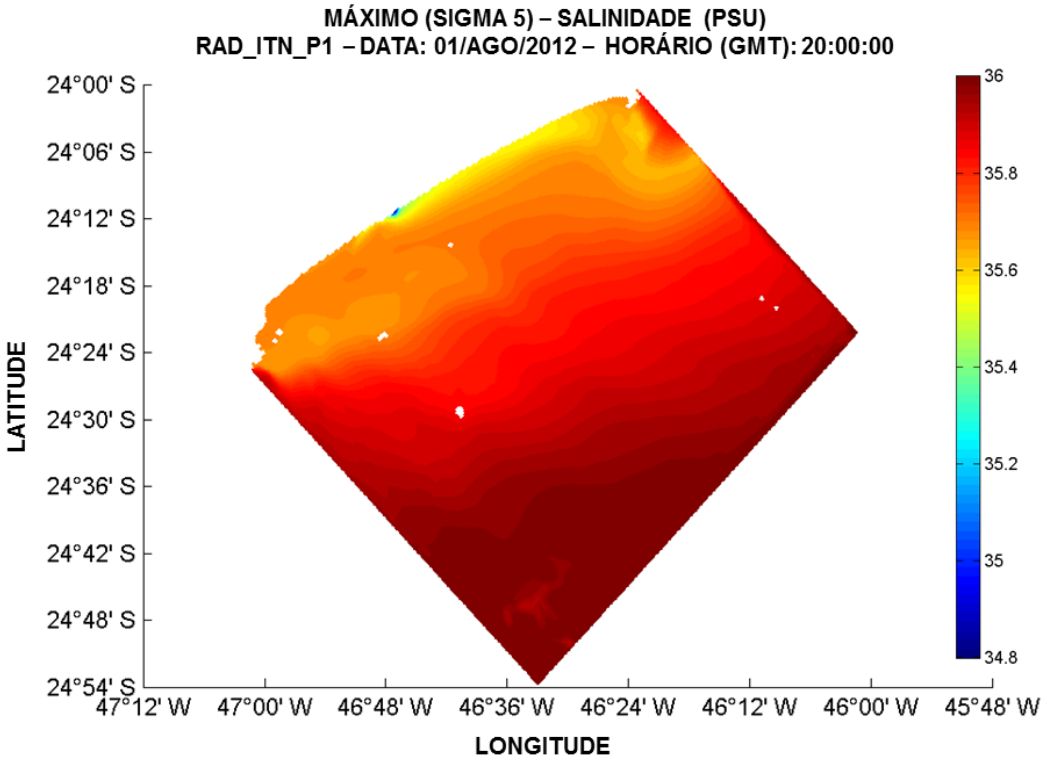

Figura 69 – Distribuição de salinidade no fundo, no período do valor máximo no ponto RAD_ITN_P1, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

6.3. Validação do modelo hidrodinâmico

A seguir serão apresentadas comparações dos resultados dos modelos D3D-FLOW e POM / MASTER, no processo de validação da modelagem hidrodinâmica da área costeira centro-sul de São Paulo, tanto para as simulações 2D como para as simulações 3D, para os meses de fevereiro e agosto de 2012.

6.3.1. *Simulações 2D*

6.3.1.1. Fevereiro de 2012

Variações temporais das marés nos pontos RAD_PGD_P4 e SP99 estão dispostas na Figura 70, e resultados dos cálculos dos parâmetros estatísticos de todos os pontos de comparação entre as séries obtidas pelos modelos D3D-FLOW e POM / MASTER encontram-se na Tabela 33, sendo referentes a fevereiro de 2012.

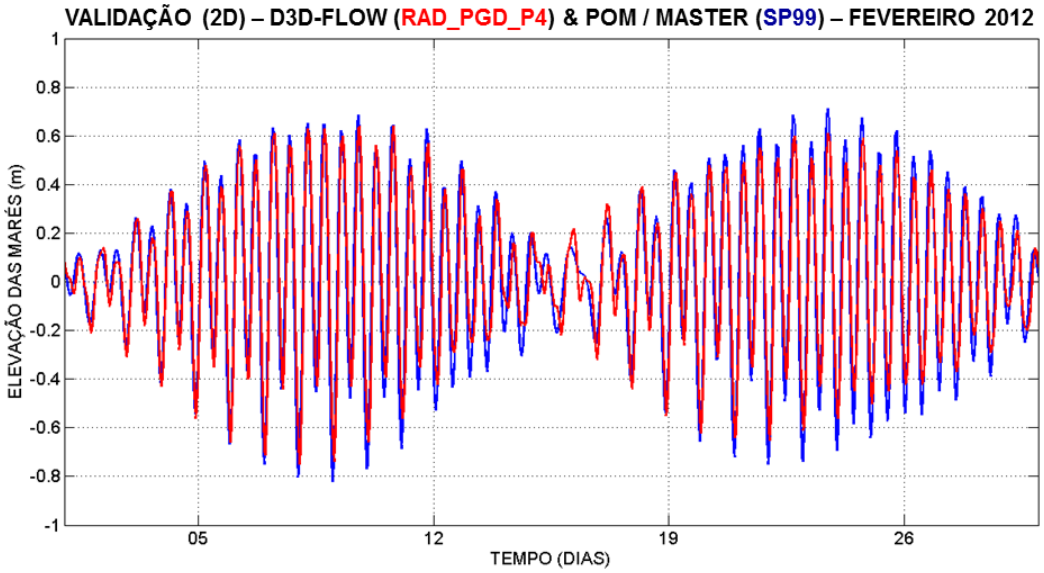

Figura 70 – Comparação de séries temporais de elevação das marés entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 2D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em fevereiro de 2012.

Tabela 33 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 2D, para elevação das marés, em fevereiro de 2012.

D3D-FLOW	**POM / MASTER**	***RMAE***	***AMSE* (m)**	***RMSE* (m)**	***Skill***	***IOA***	***Pearson***	R^2
RAD_PER_P3	**SP91**	0,37	0,11	0,13	0,78	0,96	0,94	0,87
RAD_MON_P3	**SP92**	0,36	0,11	0,13	0,79	0,96	0,94	0,88
RAD_PGD_P2	**SP93**	0,35	0,11	0,13	0,79	0,97	0,94	0,88
RAD_PER_P4	**SP94**	0,38	0,11	0,13	0,78	0,96	0,93	0,87
RAD_ITN_P4	**SP95**	0,36	0,10	0,12	0,79	0,96	0,94	0,88
RAD_MON_P4	**SP96**	0,35	0,10	0,12	0,79	0,97	0,94	0,89
RAD_PER_P5	**SP97**	0,38	0,10	0,12	0,78	0,96	0,93	0,87
RAD_MON_P5	**SP98**	0,37	0,10	0,12	0,78	0,96	0,93	0,87
RAD_PGD_P4	**SP99**	0,36	0,10	0,12	0,79	0,97	0,94	0,88

6.3.1.2. Agosto de 2012

Variações temporais das marés nos pontos RAD_PGD_P4 e SP99 estão dispostas na Figura 71, e resultados dos cálculos dos parâmetros estatísticos de todos os pontos de comparação entre as séries obtidas pelos modelos D3D-FLOW e POM / MASTER encontram-se na Tabela 34, sendo referentes a agosto de 2012.

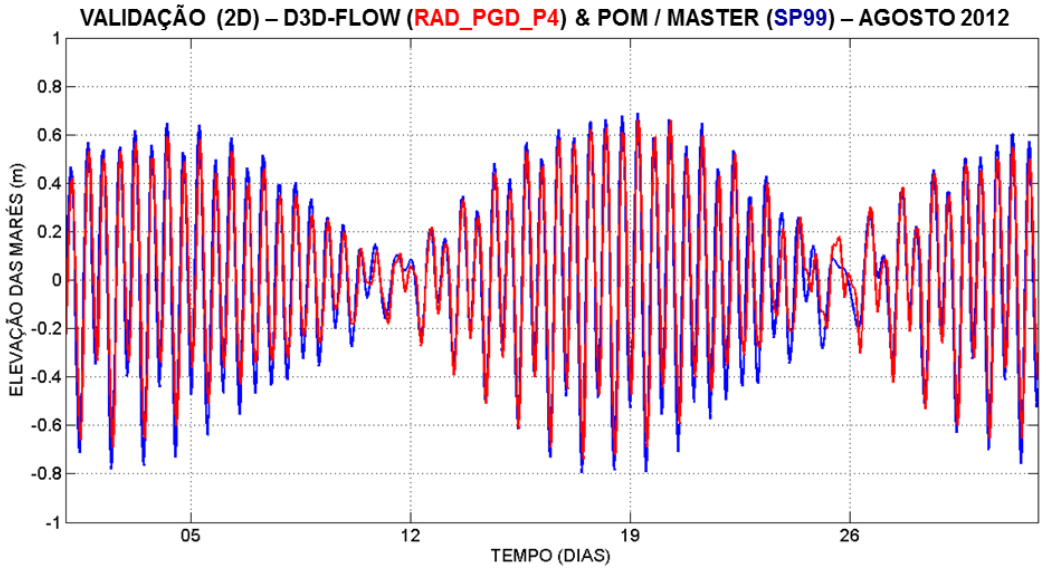

Figura 71 – Comparação de séries temporais de elevação das marés entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 2D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em agosto de 2012.

Tabela 34 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 2D, para elevação das marés, em agosto de 2012.

D3D-FLOW	**POM / MASTER**	***RMAE***	***AMSE* (m)**	***RMSE* (m)**	***Skill***	***IOA***	***Pearson***	R^2
RAD_PER_P3	**SP91**	0,36	0,11	0,13	0,78	0,96	0,94	0,87
RAD_MON_P3	**SP92**	0,35	0,11	0,13	0,79	0,96	0,94	0,88
RAD_PGD_P2	**SP93**	0,34	0,10	0,13	0,79	0,97	0,94	0,88
RAD_PER_P4	**SP94**	0,38	0,11	0,13	0,78	0,96	0,93	0,87
RAD_ITN_P4	**SP95**	0,36	0,10	0,12	0,79	0,96	0,94	0,88
RAD_MON_P4	**SP96**	0,34	0,10	0,12	0,80	0,97	0,94	0,89
RAD_PER_P5	**SP97**	0,37	0,10	0,12	0,78	0,96	0,93	0,87
RAD_MON_P5	**SP98**	0,37	0,10	0,12	0,78	0,96	0,93	0,87
RAD_PGD_P4	**SP99**	0,35	0,10	0,12	0,79	0,97	0,94	0,88

6.3.2. *Simulações 3D*

6.3.2.1. Fevereiro de 2012

Variações temporais do nível do mar nos pontos RAD_PGD_P4 e SP99 estão dispostas na Figura 72, e resultados dos cálculos dos parâmetros estatísticos de todos os pontos de comparação entre as séries obtidas pelos modelos D3D-FLOW e POM / MASTER encontram-se na Tabela 35, sendo referentes a fevereiro de 2012.

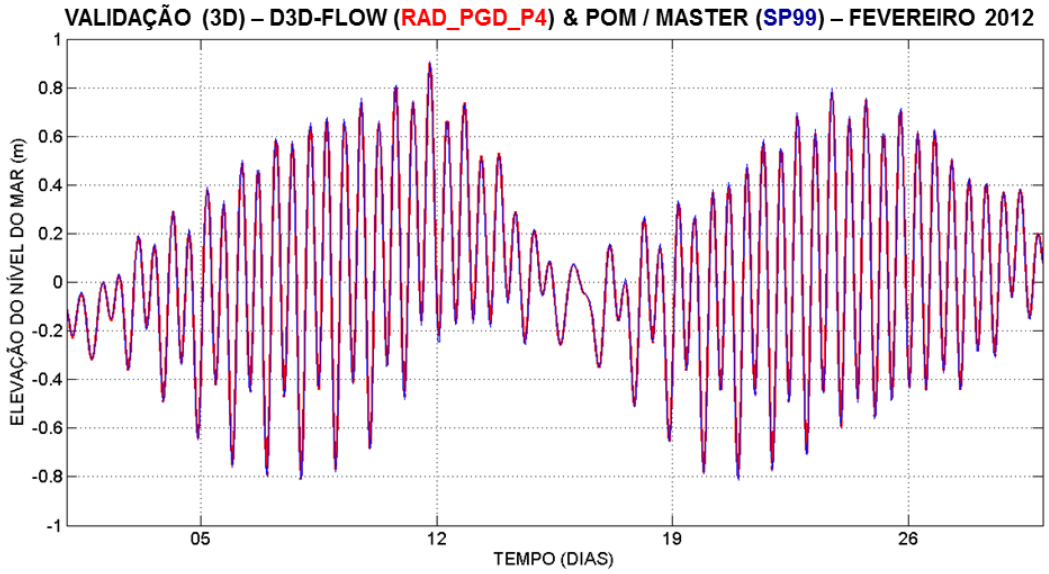

Figura 72 – Comparação de séries temporais de nível do mar entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 3D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em fevereiro de 2012.

Tabela 35 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 3D, para nível do mar, em fevereiro de 2012.

D3D-FLOW	**POM / MASTER**	***RMAE***	***AMSE* (m)**	***RMSE* (m)**	***Skill***	***IOA***	***Pearson***	R^2
RAD_PER_P3	**SP91**	0,05	0,01	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_MON_P3	**SP92**	0,09	0,03	0,04	0,94	1,00	1,00	0,99
RAD_PGD_P2	**SP93**	0,05	0,02	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_PER_P4	**SP94**	0,02	0,01	0,01	0,99	1,00	1,00	1,00
RAD_ITN_P4	**SP95**	0,05	0,01	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_MON_P4	**SP96**	0,08	0,02	0,03	0,95	1,00	1,00	0,99
RAD_PER_P5	**SP97**	0,03	0,01	0,01	0,98	1,00	1,00	1,00
RAD_MON_P5	**SP98**	0,04	0,01	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_PGD_P4	**SP99**	0,02	0,01	0,01	0,98	1,00	1,00	1,00

6.3.2.2. Agosto de 2012

Variações temporais do nível do mar nos pontos RAD_PGD_P4 e SP99 estão dispostas na Figura 73, e resultados dos cálculos dos parâmetros estatísticos de todos os pontos de comparação entre as séries obtidas pelos modelos D3D-FLOW e POM / MASTER encontram-se na Tabela 36, sendo referentes a agosto de 2012.

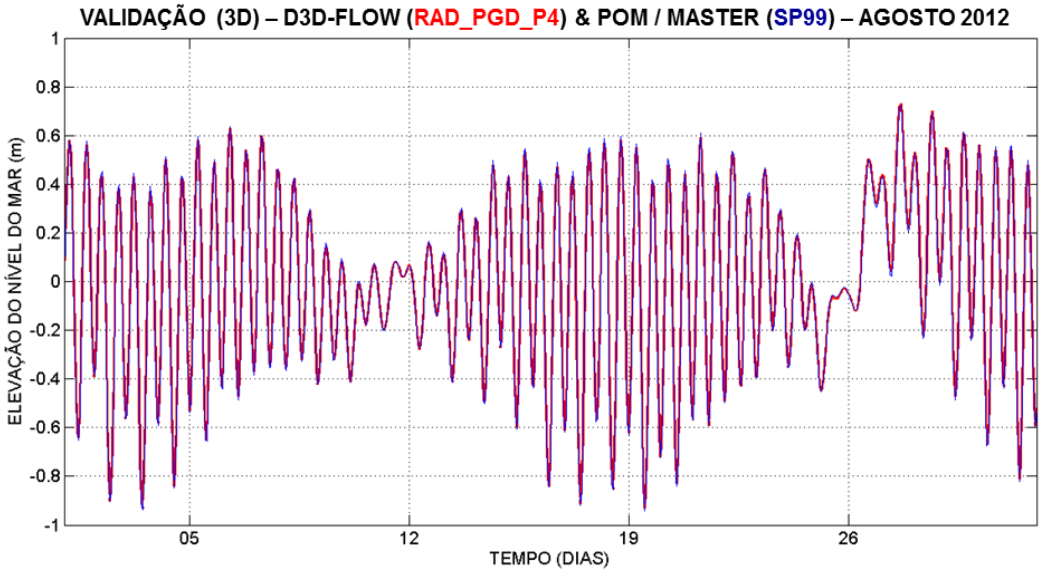

Figura 73 – Comparação de séries temporais de nível do mar entre os pontos RAD_PGD_P4 (vermelho, resultante da simulação 3D do D3D-FLOW) e SP99 (azul, produzida pelo POM / MASTER), em agosto de 2012.

Tabela 36 – Parâmetros estatísticos comparativos na validação da modelagem 3D, para nível do mar, em agosto de 2012.

D3D-FLOW	**POM / MASTER**	***RMAE***	***AMSE* (m)**	***RMSE* (m)**	***Skill***	***IOA***	***Pearson***	R^2
RAD_PER_P3	**SP91**	0,05	0,02	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_MON_P3	**SP92**	0,09	0,03	0,04	0,95	1,00	1,00	0,99
RAD_PGD_P2	**SP93**	0,05	0,02	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_PER_P4	**SP94**	0,02	0,01	0,01	0,99	1,00	1,00	1,00
RAD_ITN_P4	**SP95**	0,04	0,01	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_MON_P4	**SP96**	0,07	0,02	0,03	0,96	1,00	1,00	0,99
RAD_PER_P5	**SP97**	0,03	0,01	0,01	0,98	1,00	1,00	1,00
RAD_MON_P5	**SP98**	0,04	0,01	0,02	0,97	1,00	1,00	1,00
RAD_PGD_P4	**SP99**	0,02	0,01	0,01	0,98	1,00	1,00	1,00

6.4. Modelagem das plumas (campos próximo e intermediário)

Nesta seção será apresentada uma seleção de resultados de modelagem das plumas, referentes aos campos próximo e intermediário, para fevereiro e agosto de 2012.

6.4.1. *Fevereiro de 2012*

Como resultados do processamento do módulo UM3 do VP, relativo ao mês de fevereiro de 2012, histogramas angulares de diluição, distância percorrida e concentração de *Escherichia coli*, amônio, nitrato e fosfato, referentes a cada difusor dos emissários, encontram-se nas Figuras 74 a 76. Estatísticas da modelagem de campo próximo das plumas dos emissários, correspondentes ao processamento de fevereiro de 2012, são fornecidas nas Tabelas 37 a 39.

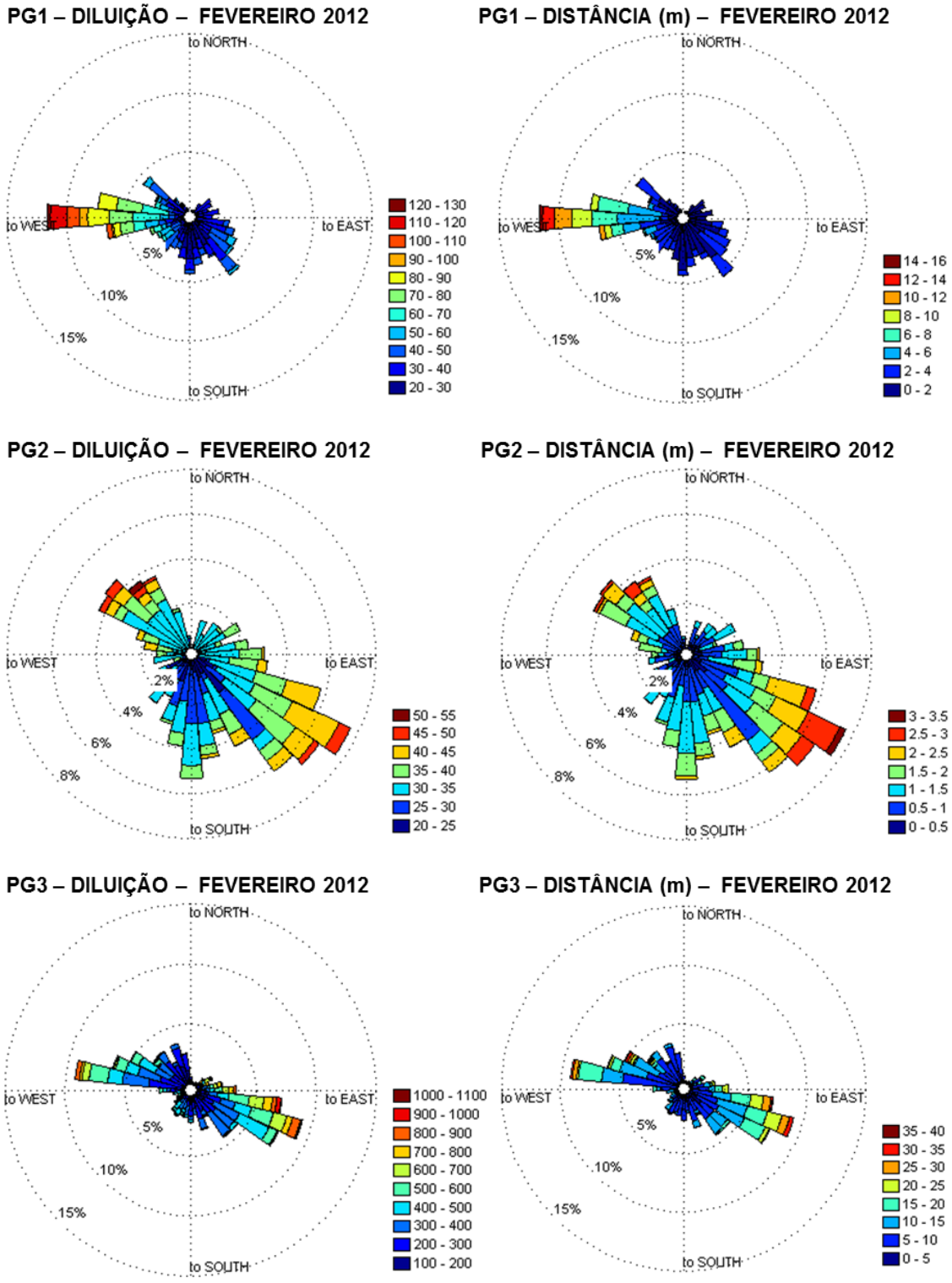

Figura 74 – Histogramas angulares de diluição e distância percorrida das plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em fevereiro de 2012.

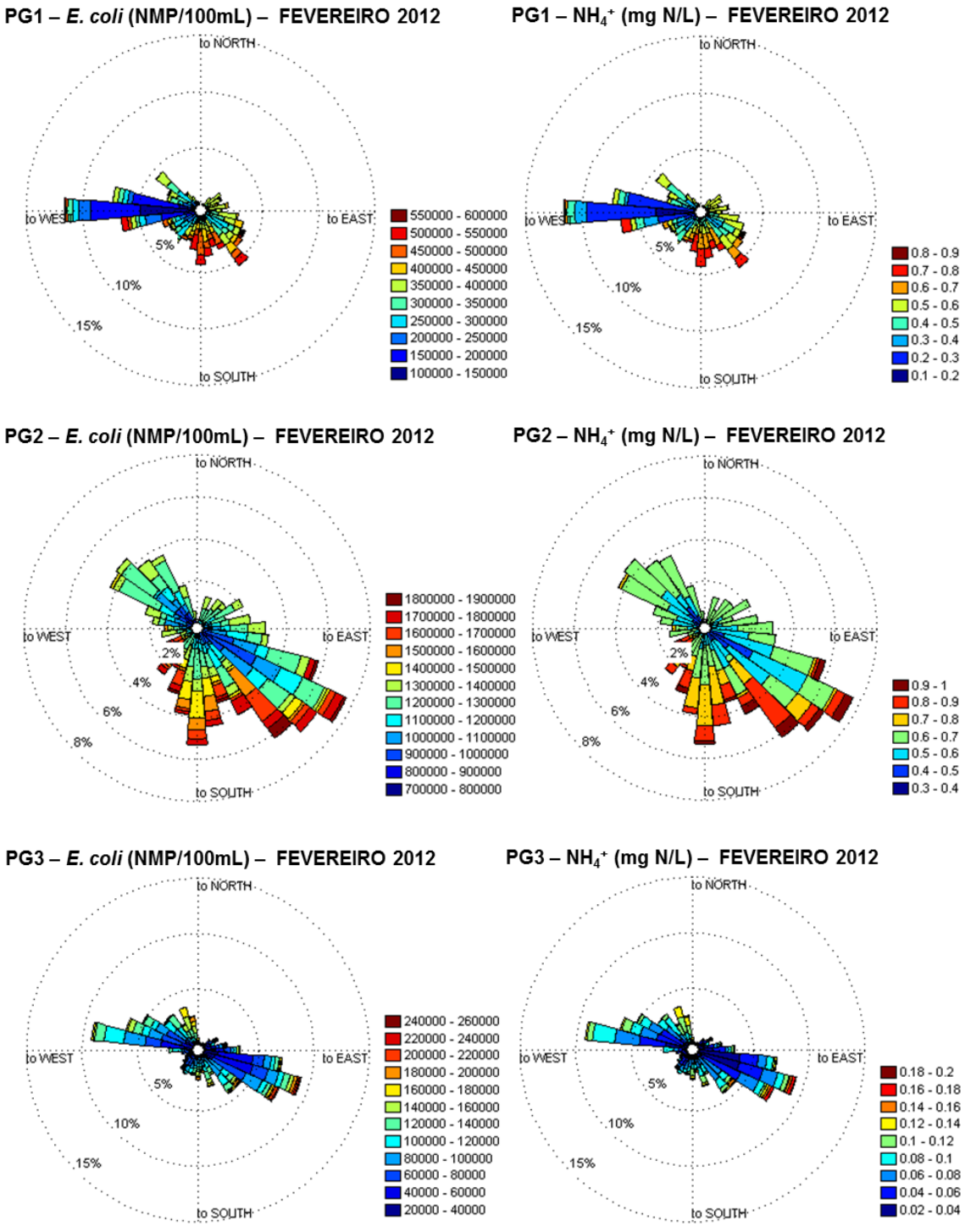

Figura 75 – Histogramas angulares da concentração de *E. coli* e de amônio nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em fevereiro de 2012.

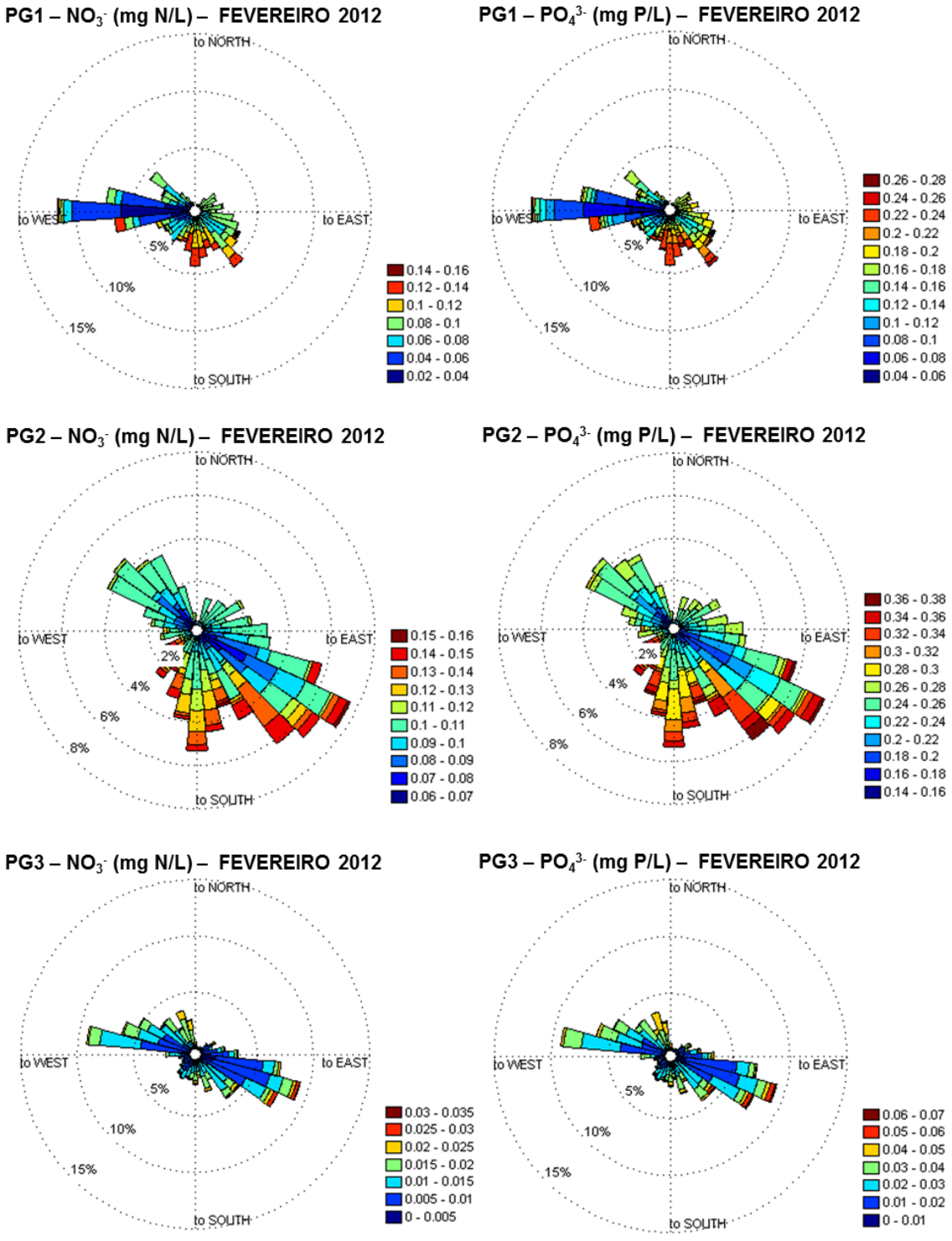

Figura 76 – Histogramas angulares da concentração de nitrato e fosfato nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em fevereiro de 2012.

Tabela 37 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG1, em fevereiro de 2012.

	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Des. Pad.	Curtose	Assimetria
Diluição	21,84	124,10	46,06	38,78	20,46	4,80	1,46
Distância (m)	0,09	14,28	2,85	1,94	2,58	6,69	1,87
***E. coli* (NMP/100mL)**	$1,01x10^5$	$5,76x10^5$	$3,17x10^5$	$3,24x10^5$	$1,09x10^5$	2,19	0
NH_4^+ (mg N/L)	0,146	0,831	0,458	0,468	0,157	2,19	0
NO_3^- (mg N/L)	0,025	0,141	0,077	0,079	0,027	2,18	0
PO_4^{3-} (mg P/L)	0,047	0,264	0,146	0,149	0,050	2,18	0

Tabela 38 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG2, em fevereiro de 2012.

	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Des. Pad.	Curtose	Assimetria
Diluição	21,42	51,93	32,73	31,82	5,56	3,15	0,42
Distância (m)	0,15	3,19	1,20	1,09	0,60	3,12	0,75
***E. coli* (NMP/100mL)**	$7,73x10^5$	$1,88x10^6$	$1,26x10^6$	$1,26x10^6$	$2,17x10^5$	3,06	0,52
NH_4^+ (mg N/L)	0,396	0,962	0,647	0,647	0,111	3,06	0,52
NO_3^- (mg N/L)	0,064	0,155	0,105	0,104	0,018	3,04	0,52
PO_4^{3-} (mg P/L)	0,155	0,377	0,254	0,254	0,044	3,05	0,52

Tabela 39 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG3, em fevereiro de 2012.

	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Des. Pad.	Curtose	Assimetria
Diluição	115,50	1058	379,69	341,95	170,18	3,61	0,99
Distância (m)	0,22	39,69	10,56	9,02	6,02	5,22	1,36
***E. coli* (NMP/100mL)**	$2,76x10^4$	$2,56x10^5$	$9,40x10^4$	$8,70x10^4$	$4,05x10^4$	3,45	0,80
NH_4^+ (mg N/L)	0,021	0,193	0,071	0,065	0,030	3,49	0,82
NO_3^- (mg N/L)	0,004	0,032	0,012	0,011	0,005	3,49	0,82
PO_4^{3-} (mg P/L)	0,008	0,069	0,025	0,023	0,011	3,49	0,82

6.4.2. *Agosto de 2012*

Como resultados do processamento do módulo UM3 do VP, relativo ao mês de agosto de 2012, histogramas angulares de diluição, distância percorrida e concentração de *Escherichia coli*, amônio, nitrato e fosfato, referentes a cada difusor dos emissários, encontram-se nas Figuras 77 a 79. Estatísticas da modelagem de campo próximo das plumas dos emissários, correspondentes ao processamento de agosto de 2012, são fornecidas nas Tabelas 40 a 42.

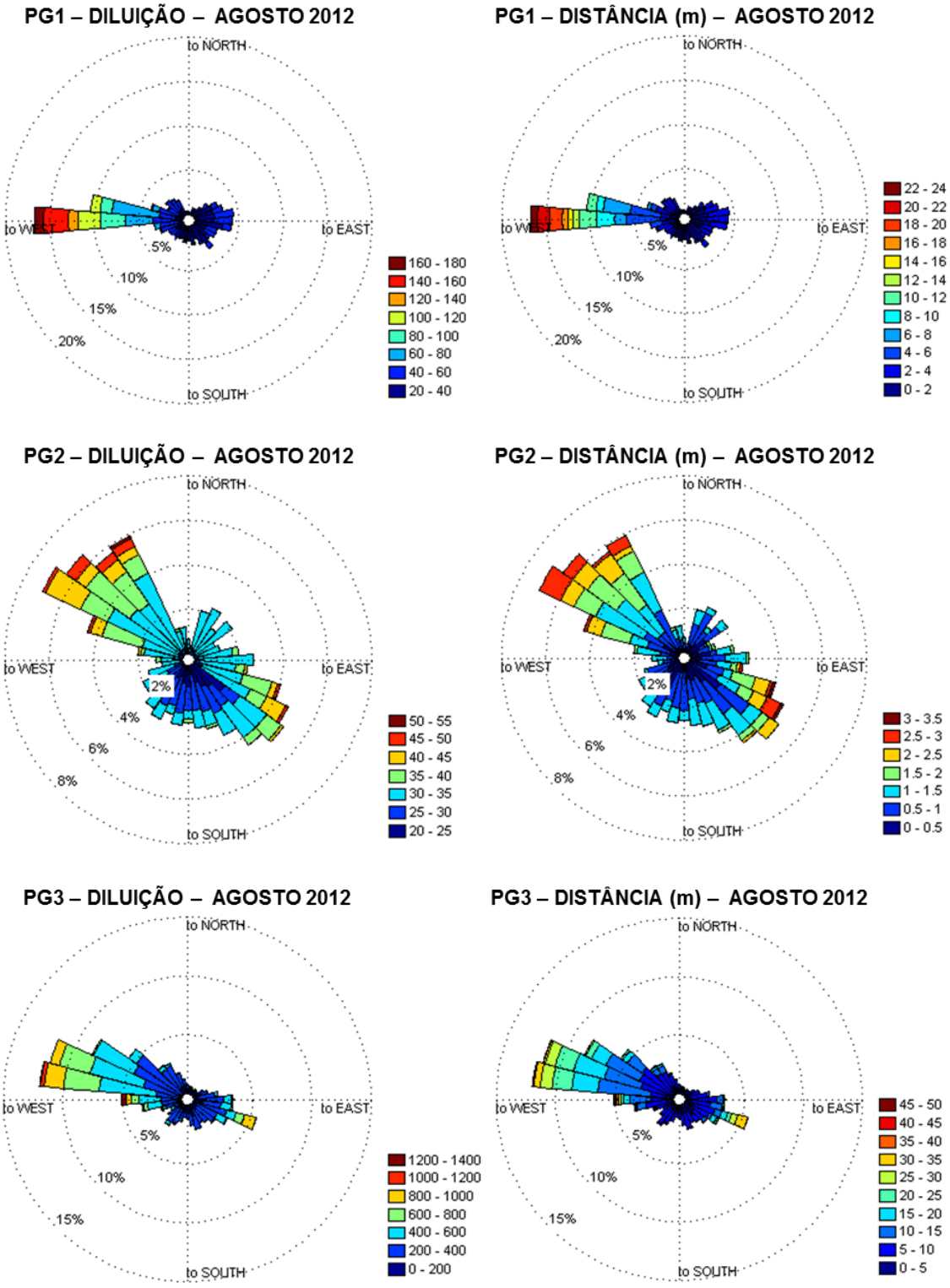

Figura 77 – Histogramas angulares de diluição e distância percorrida das plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em agosto de 2012.

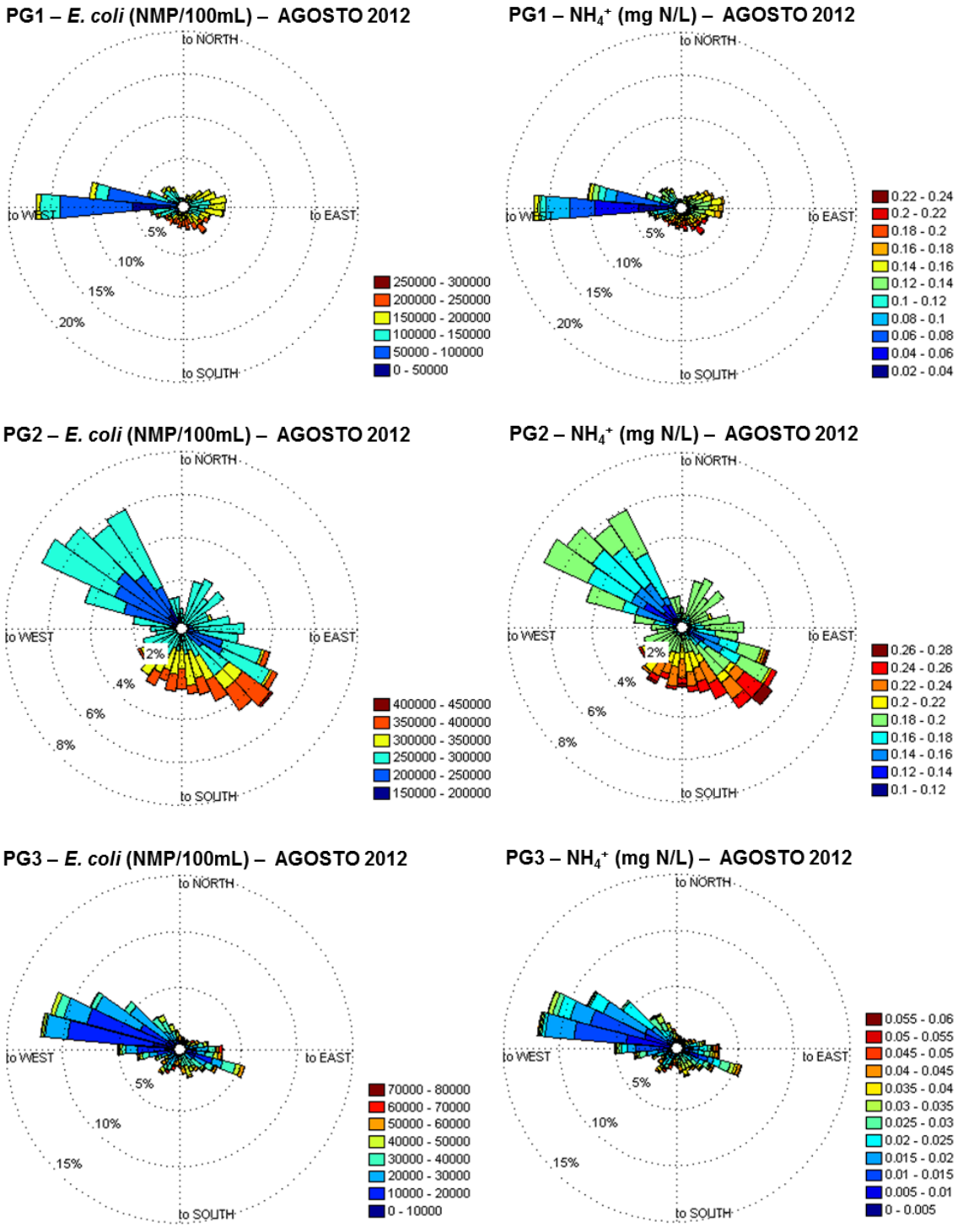

Figura 78 – Histogramas angulares da concentração de *E. coli* e de amônio nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em agosto de 2012.

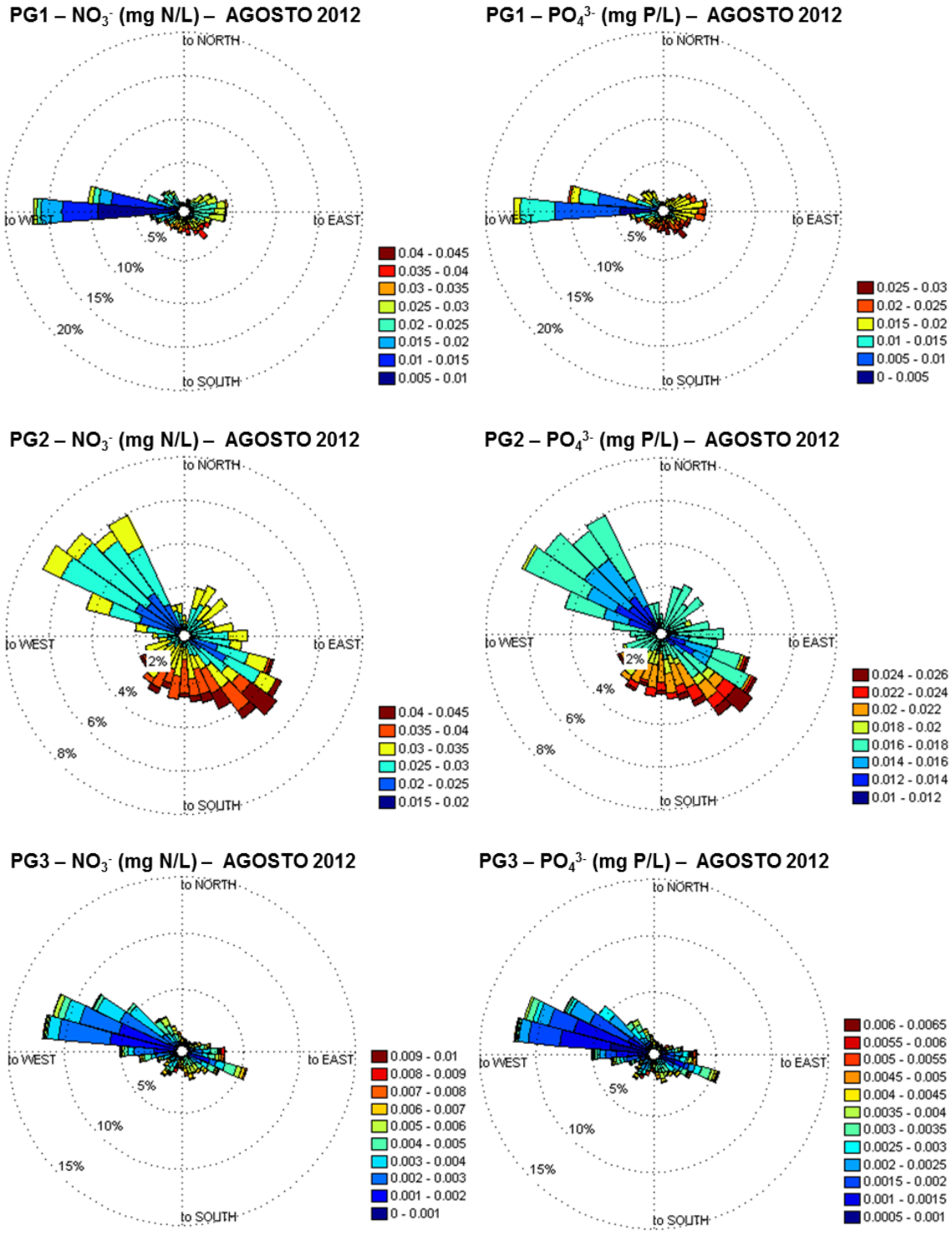

Figura 79 – Histogramas angulares da concentração de nitrato e de fosfato nas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, para cada um de seus difusores, em agosto de 2012.

Tabela 40 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG1, em agosto de 2012.

	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Des. Pad.	Curtose	Assimetria
Diluição	22,27	169,90	52,13	41,95	29,64	7,09	2,06
Distância (m)	0,16	23,95	3,84	2,38	4,39	9,81	2,58
***E. coli* (NMP/100mL)**	$3,40x10^4$	$2,61x10^5$	$1,36x10^5$	$1,38x10^5$	$5,05x10^4$	2,50	-0,03
NH_4^+ (mg N/L)	0,030	0,232	0,121	0,123	0,045	2,50	-0,03
NO_3^- (mg N/L)	0,005	0,041	0,021	0,022	0,008	2,50	-0,03
PO_4^{3-} (mg P/L)	0,004	0,029	0,015	0,016	0,006	2,50	-0,04

Tabela 41 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG2, em agosto de 2012.

	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Des. Pad.	Curtose	Assimetria
Diluição	21,41	50,90	31,78	31,18	5,06	4,04	0,67
Distância (m)	0,03	3,17	1,07	0,97	0,60	3,61	0,93
***E. coli* (NMP/100mL)**	$1,70x10^5$	$4,06x10^5$	$2,80x10^5$	$2,78x10^5$	$4,40x10^4$	3,50	0,47
NH_4^+ (mg N/L)	0,112	0,267	0,185	0,183	0,029	3,51	0,48
NO_3^- (mg N/L)	0,018	0,043	0,030	0,030	0,005	3,50	0,47
PO_4^{3-} (mg P/L)	0,011	0,025	0,017	0,017	0,003	3,53	0,48

Tabela 42 – Estatísticas da modelagem de campo próximo do emissário PG3, em agosto de 2012.

	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Des. Pad.	Curtose	Assimetria
Diluição	115,10	1341,30	374,98	328,05	200,21	5,18	1,36
Distância (m)	0,06	47,90	10,35	8,45	6,98	5,94	1,55
***E. coli* (NMP/100mL)**	5927	$7,10x10^4$	$2,78x10^4$	$2,49x10^4$	$1,34x10^4$	2,87	0,73
NH_4^+ (mg N/L)	0,005	0,056	0,022	0,020	0,011	2,86	0,73
NO_3^- (mg N/L)	0,001	0,009	0,004	0,003	0,002	2,87	0,73
PO_4^{3-} (mg P/L)	0,001	0,006	0,002	0,002	0,001	2,86	0,73

6.5. Modelagem das plumas (campo distante)

A seguir, será apresentada uma seleção de resultados de modelagem das plumas, referentes ao campo distante, para fevereiro e agosto de 2012.

6.5.1. *Coliformes fecais (E. coli)*

6.5.1.1. Fevereiro de 2012

6.5.1.1.1. Superfície

Séries temporais de coliformes fecais (*E. coli*) nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 80 a 83. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de *Escherichia coli*, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 43. Por fim, mapas de distribuição das plumas de *Escherichia coli* na superfície, no mês de verão considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 84 e 85.

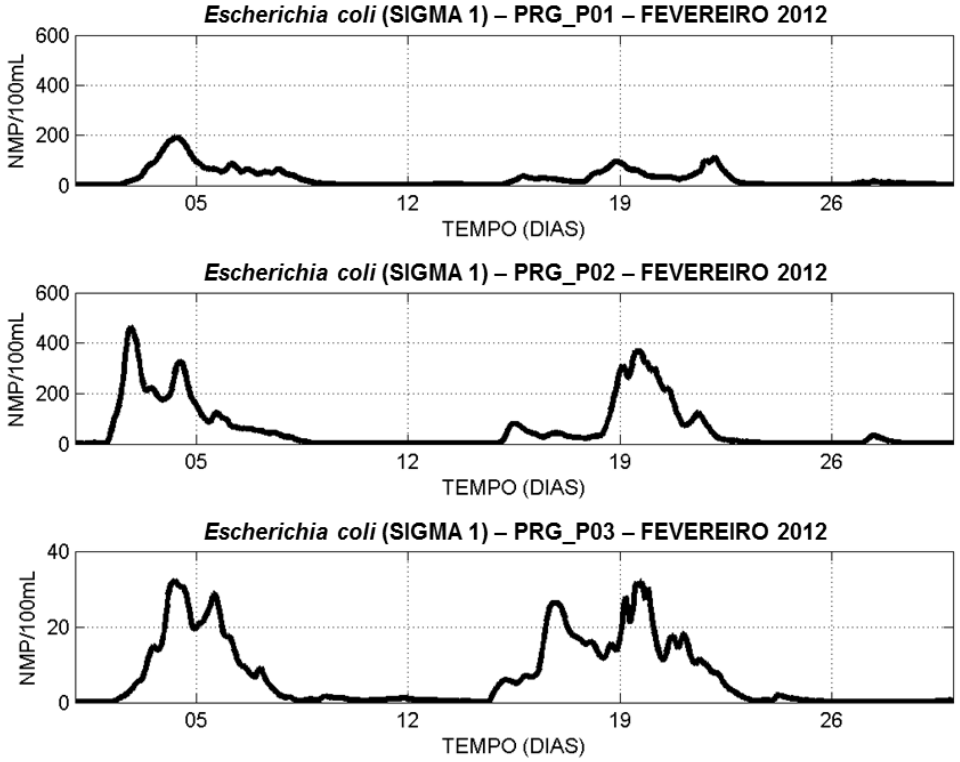

Figura 80 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

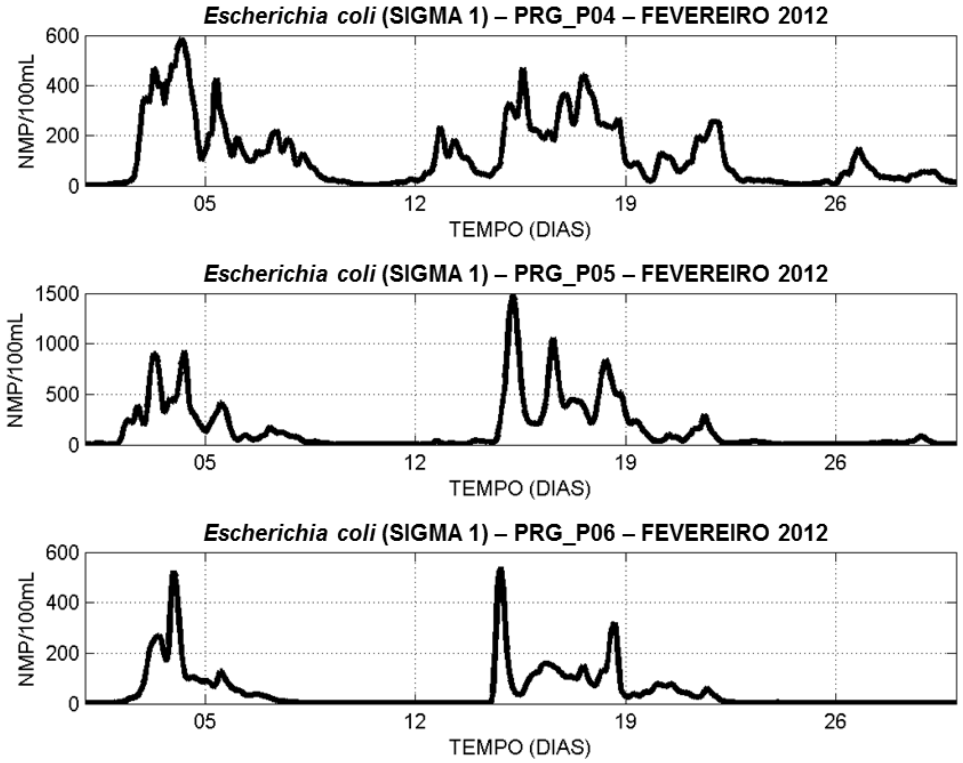

Figura 81 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

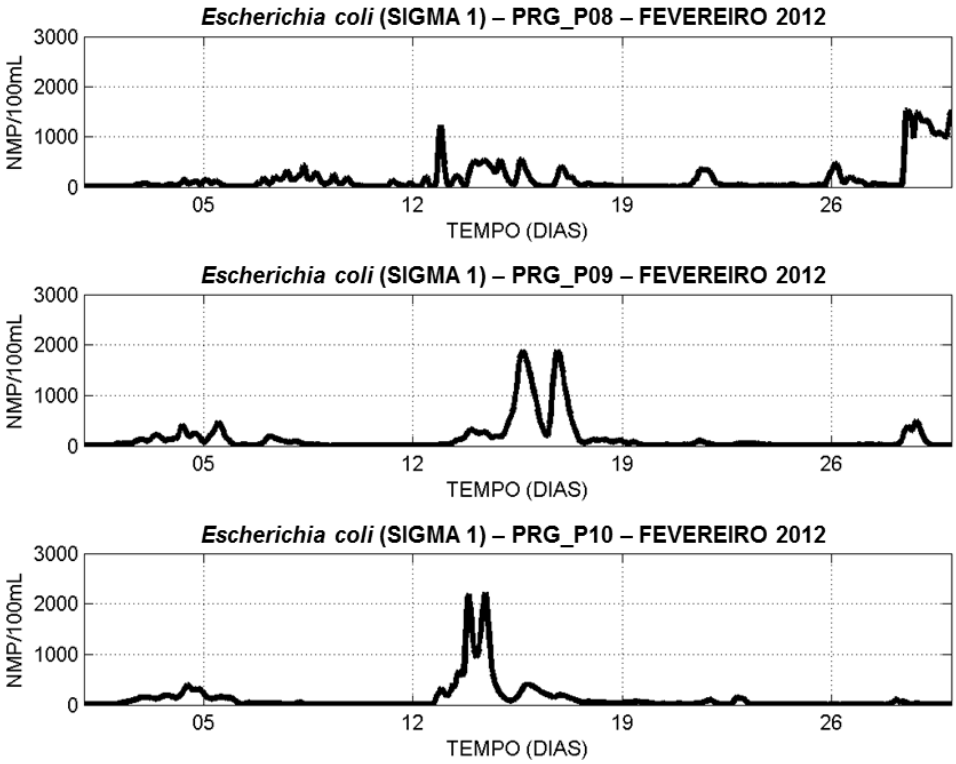

Figura 82 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

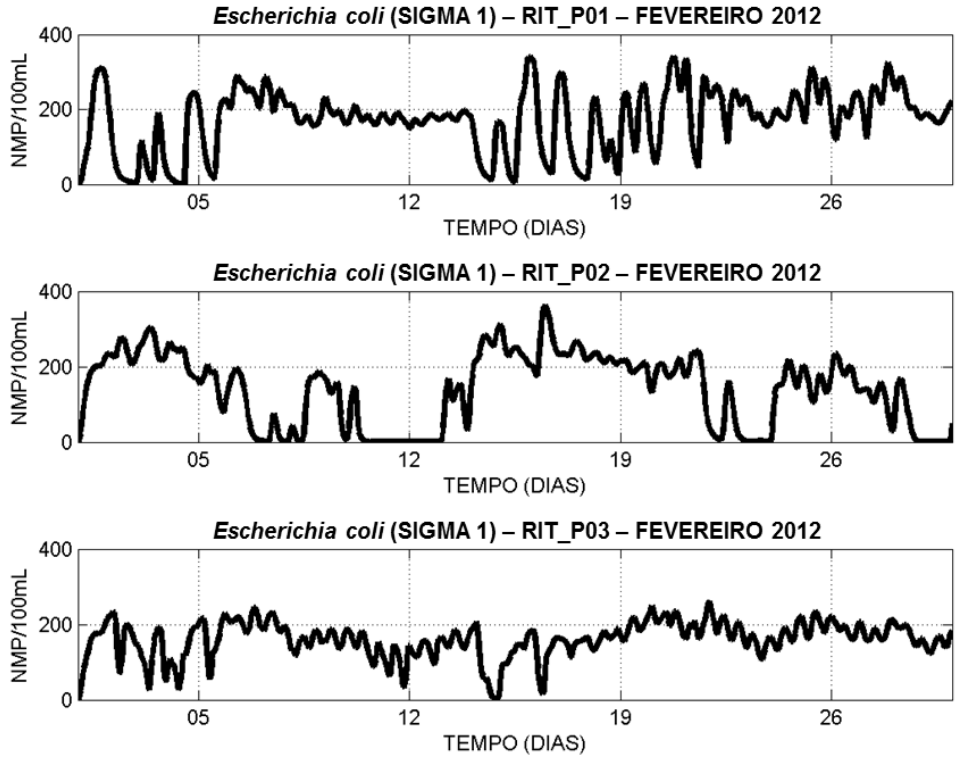

Figura 83 – Séries temporais de *E. coli*, na superfície, nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

Tabela 43 – Estatísticas de *E. coli* na superfície (NMP/100mL), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	193	29	11	39	7,22	1,97
PRG_P02	0	463	63	13	99	5,90	1,91
PRG_P03	0	32	7	1	9	3,31	1,23
PRG_P04	0	584	123	72	130	4,03	1,30
PRG_P05	0	1479	156	35	248	9,37	2,38
PRG_P06	0	540	48	4	85	13,80	2,99
PRG_P07	0	821	62	5	135	14,23	3,22
PRG_P08	0	1536	164	47	297	11,61	2,97
PRG_P09	0	1884	146	34	313	18,13	3,80
PRG_P10	0	2214	117	26	285	30,46	4,94
PRG_P11	0	1799	98	2	276	20,12	4,05
PRG_P12	0	713	39	0	113	17,29	3,75
PRG_P13	0	1277	61	15	112	35,84	4,45
PRG_P14	0	80	7	1	13	10,99	2,65
RIT_P01	0	341	172	182	83	2,54	-0,47
RIT_P02	0	362	138	161	96	1,77	-0,21
RIT_P03	0	261	159	164	48	4,07	-0,96
RIT_P04	0	84	18	12	19	3,24	1,03
LDS_P01	0	25	2	0	4	13,04	3,09
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* NMP/100mL

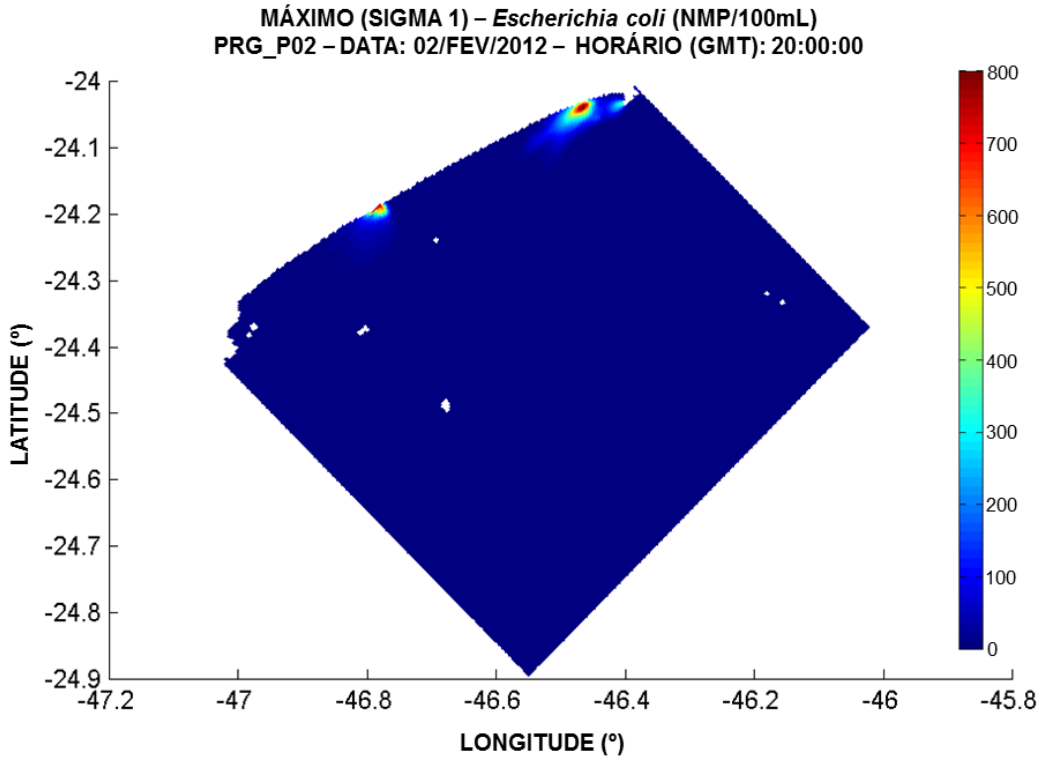

Figura 84 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

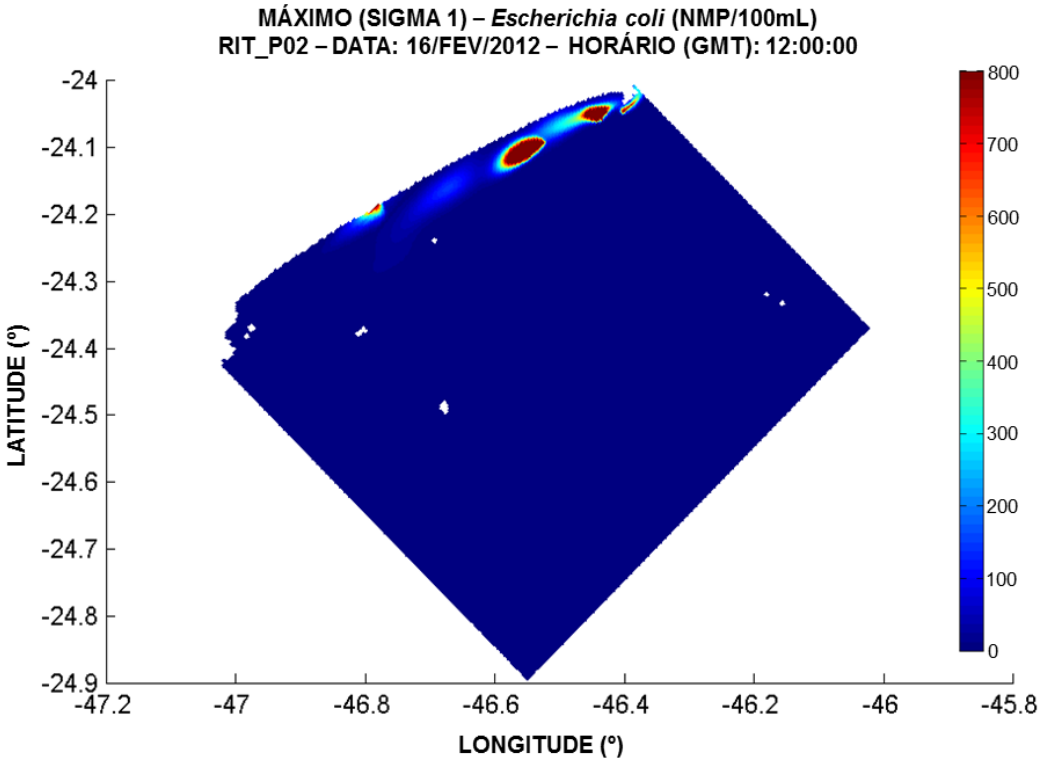

Figura 85 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.1.1.2. Fundo

Séries temporais de *Escherichia coli* nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 86 a 89. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 44. Por fim, mapas de distribuição das plumas de *Escherichia coli* no fundo, em toda a grade, no mês de verão considerado, encontram-se nas Figuras 90 e 91.

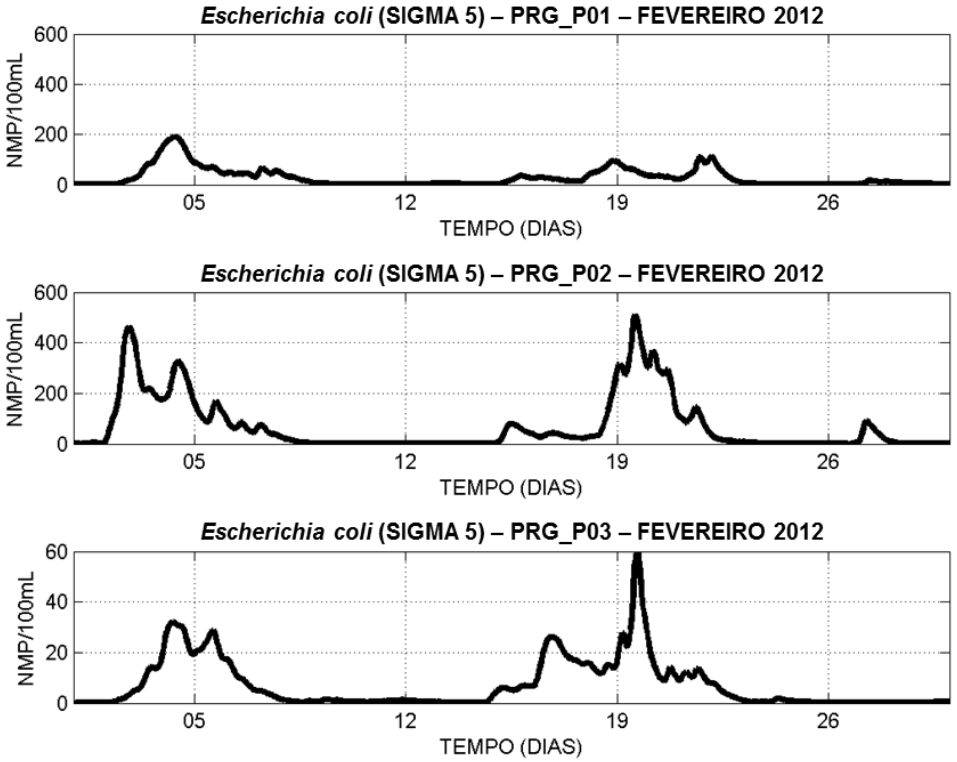

Figura 86 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

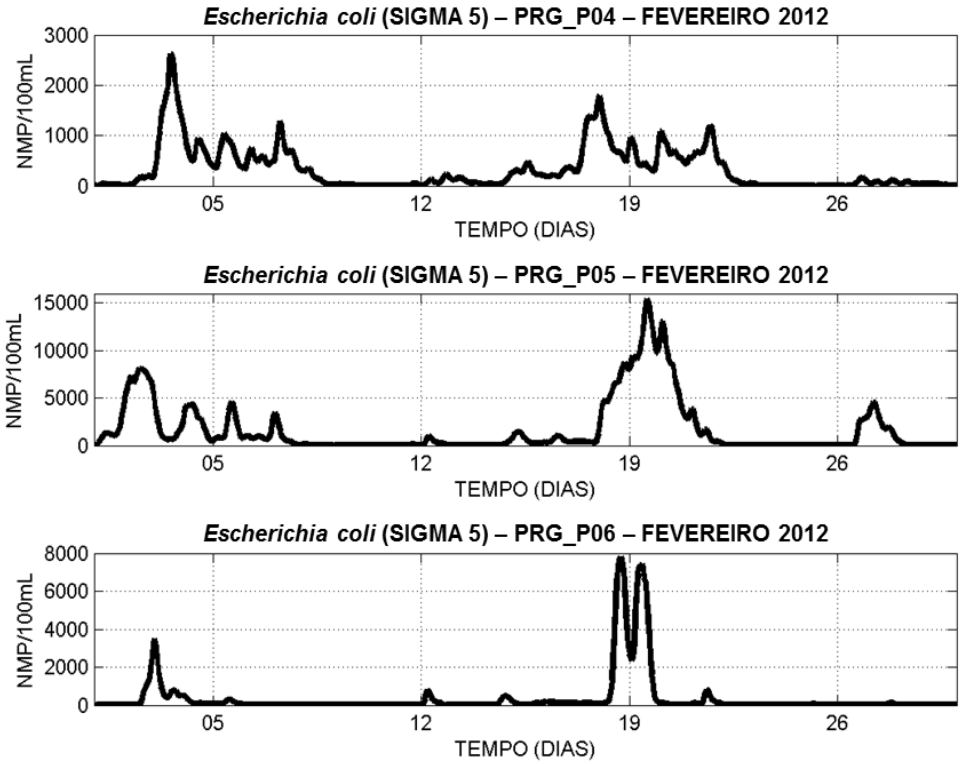

Figura 87 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

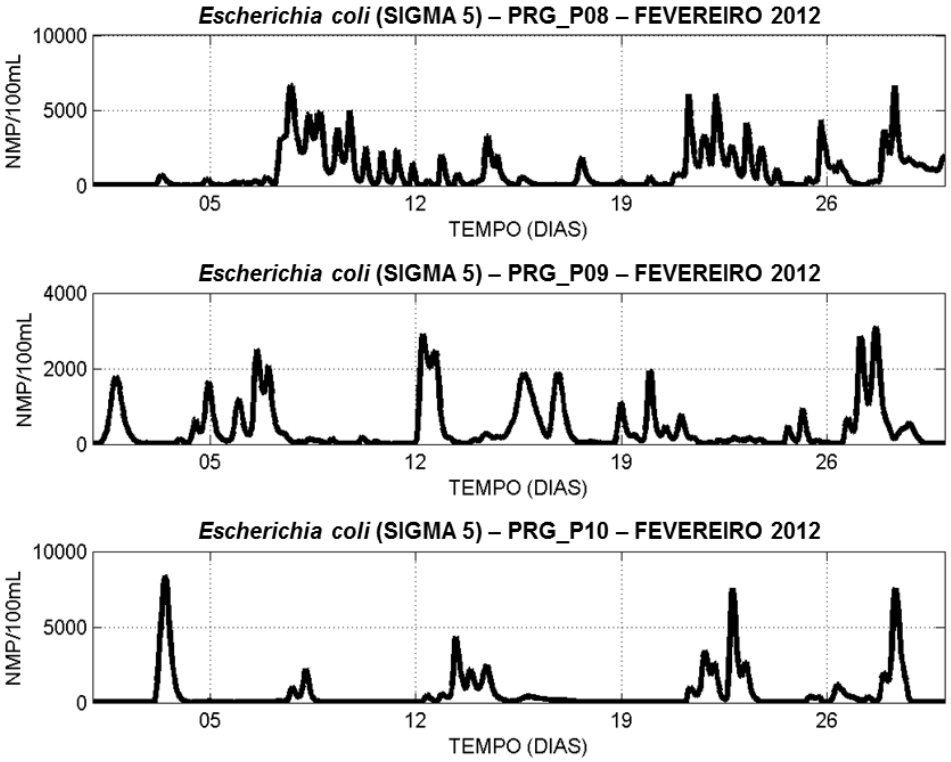

Figura 88 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

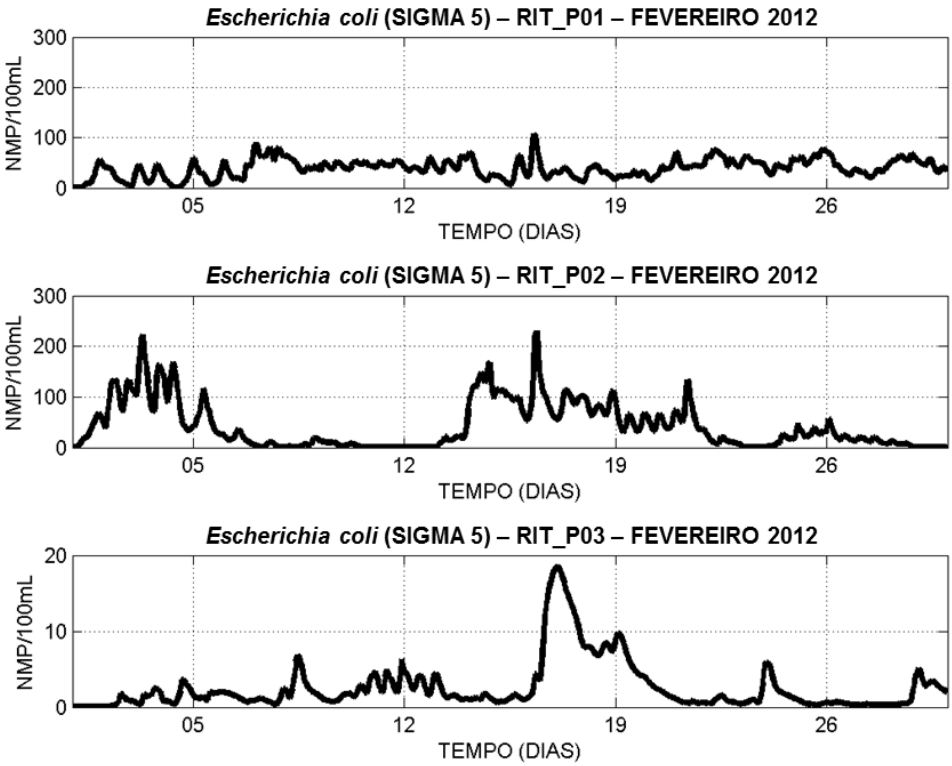

Figura 89 – Séries temporais de *E. coli*, no fundo, nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao mês de fevereiro de 2012.

Tabela 44 – Estatísticas de *E. coli* no fundo (NMP/100mL), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	192	28	11	38	7,77	2,08
PRG_P02	0	511	69	14	109	5,96	1,92
PRG_P03	0	60	7	1	10	7,53	1,92
PRG_P04	0	2619	325	124	430	8,07	2,04
PRG_P05	0	15400	1671	367	2905	8,04	2,30
PRG_P06	0	7784	347	9	1186	25,43	4,70
PRG_P07	0	3169	465	48	697	4,75	1,60
PRG_P08	0	6686	930	288	1296	6,60	1,91
PRG_P09	0	3107	417	134	624	6,63	2,05
PRG_P10	0	8388	554	48	1246	18,09	3,66
PRG_P11	0	2363	131	2	326	15,88	3,44
PRG_P12	0	1212	107	1	231	8,35	2,43
PRG_P13	0	7674	676	64	1167	11,23	2,58
PRG_P14	0	5612	213	1	705	29,63	4,92
RIT_P01	0	108	39	40	18	3,00	0,11
RIT_P02	0	230	42	22	46	3,98	1,24
RIT_P03	0	18	3	1	3	11,18	2,73
RIT_P04	0	32	2	0	5	21,48	4,11
LDS_P01	0	20	2	0	4	10,43	2,71
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* NMP/100mL

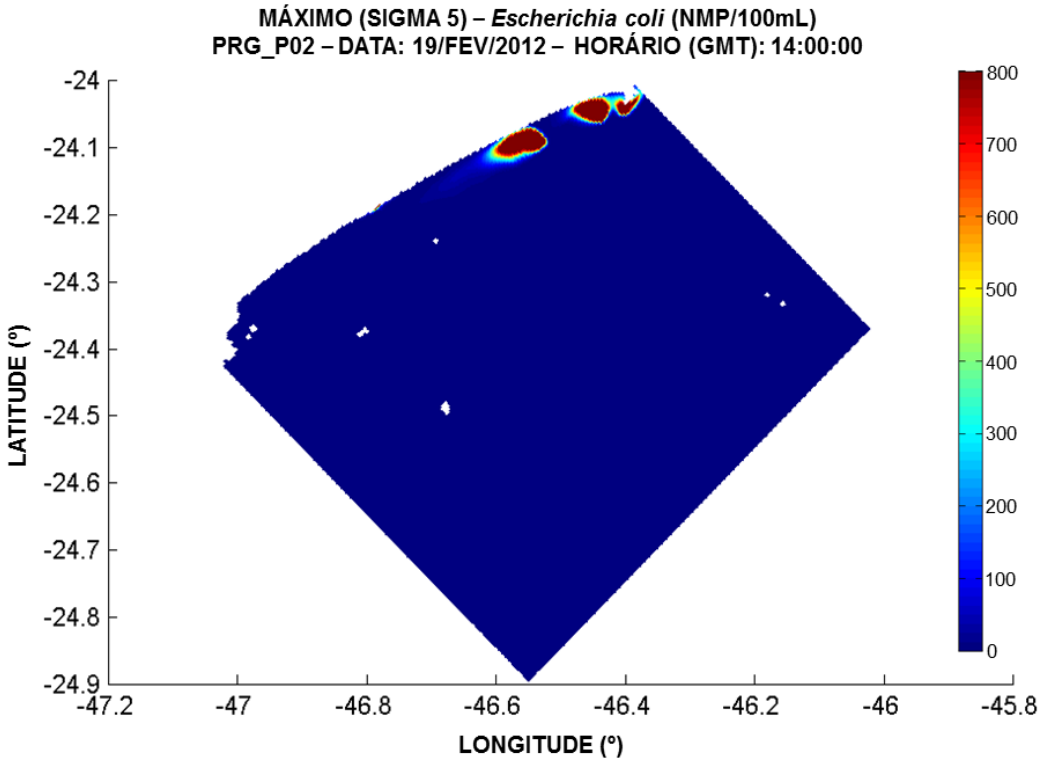

Figura 90 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

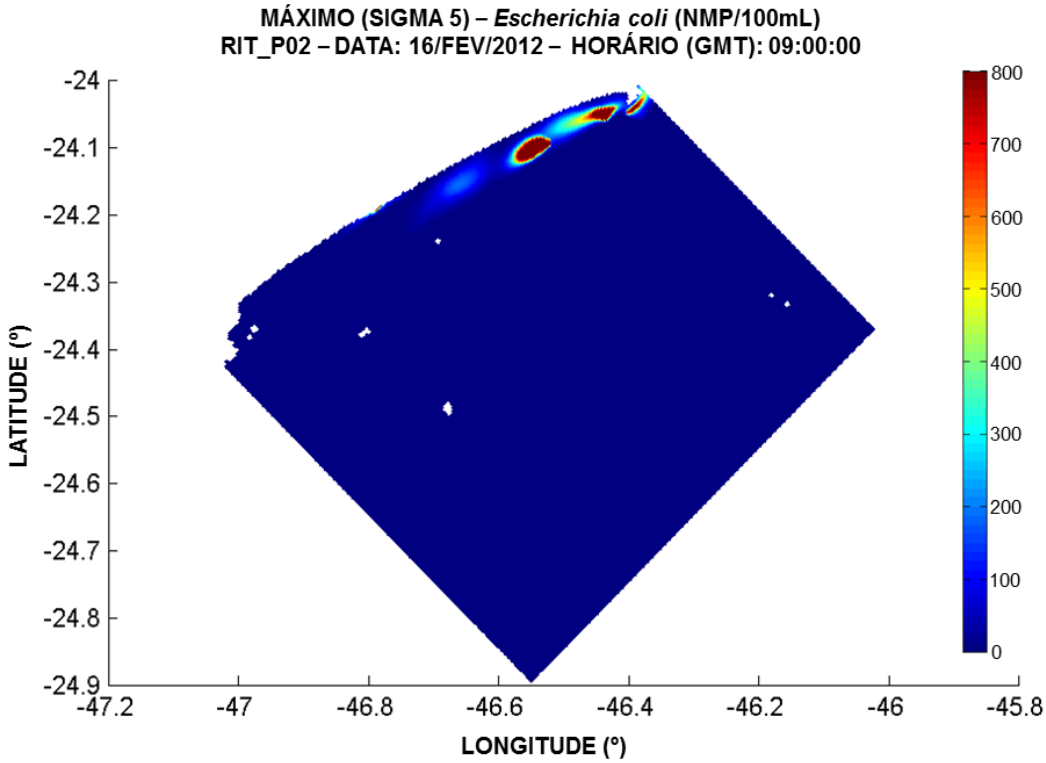

Figura 91 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo, no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.1.2. Agosto de 2012

6.5.1.2.1. Superfície

Séries temporais de coliformes fecais (*E. coli*) nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 92 a 95. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de *Escherichia coli*, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 45. Por fim, mapas de distribuição das plumas de *Escherichia coli* na superfície, no mês de inverno considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 96 e 97.

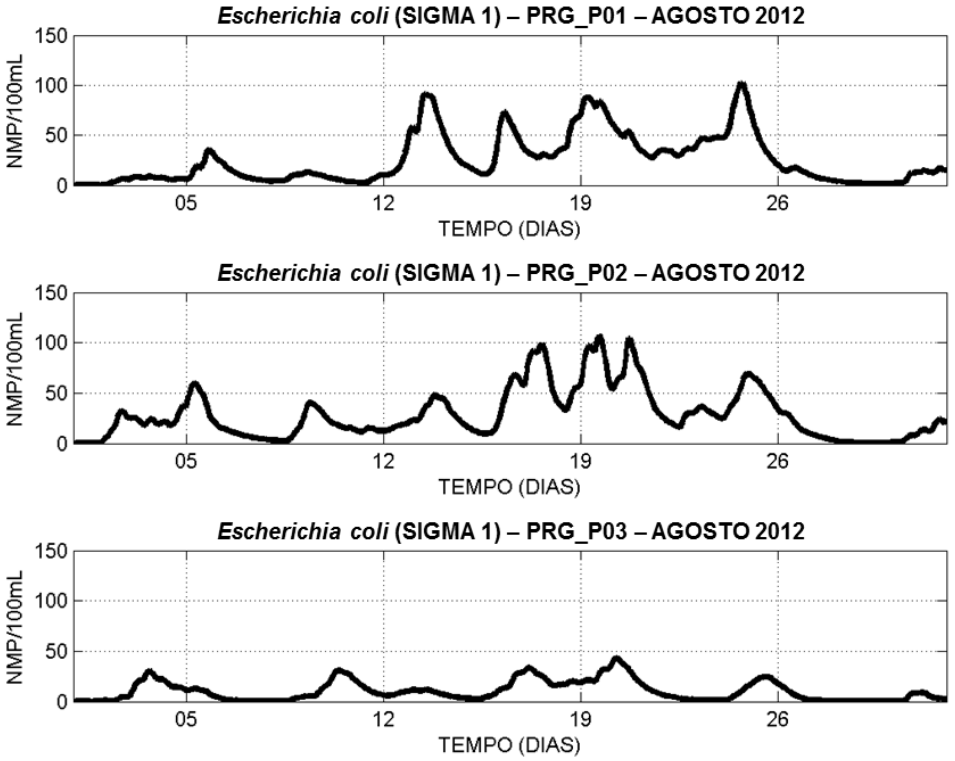

Figura 92 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

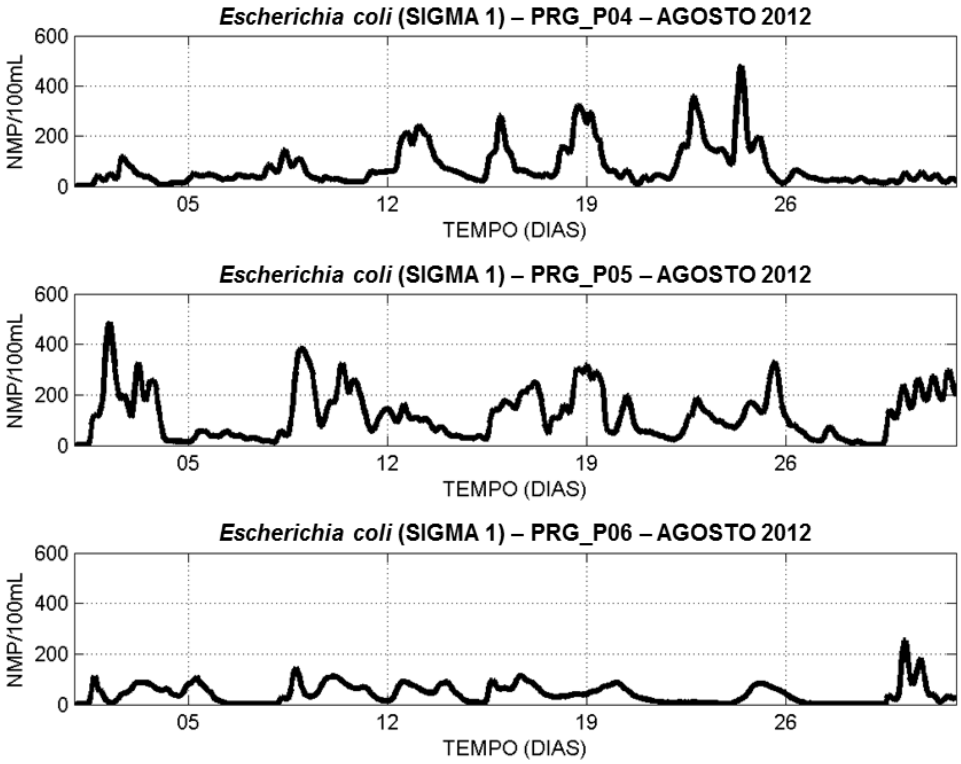

Figura 93 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

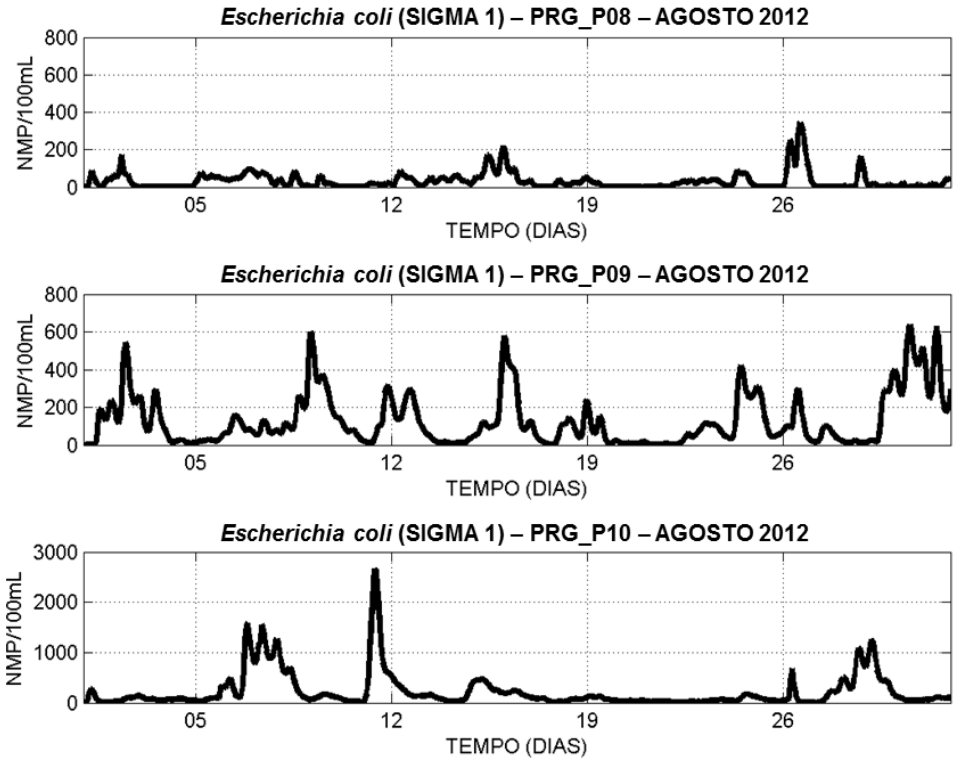

Figura 94 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

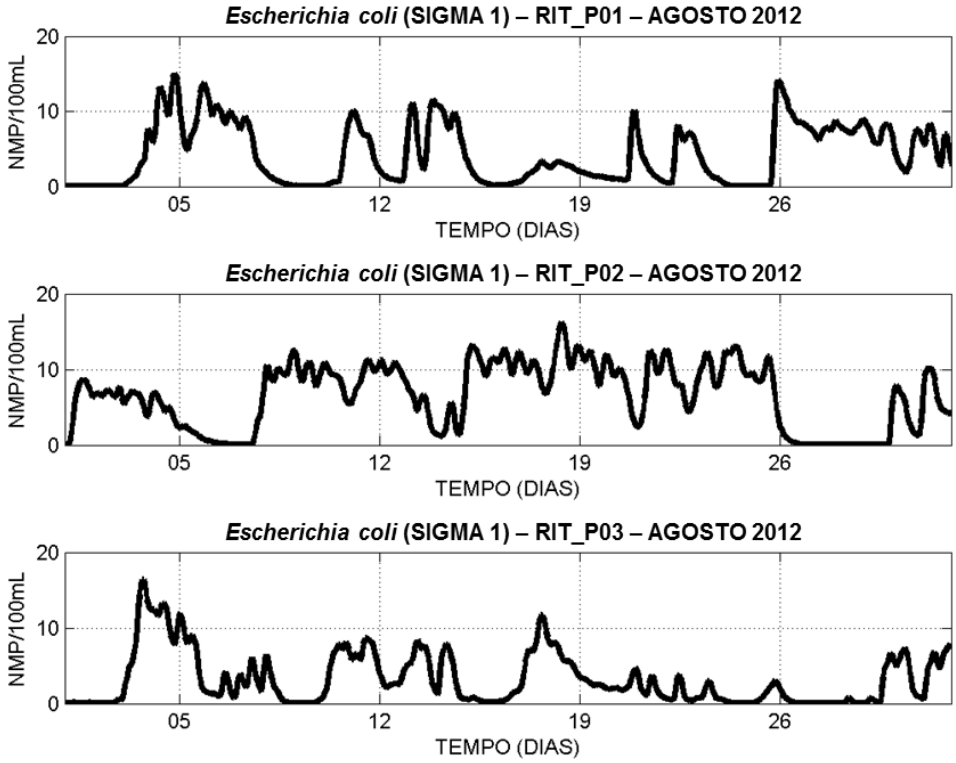

Figura 95 – Séries temporais de *E. coli* na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 45 – Estatísticas de *E. coli* na superfície (NMP/100mL), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	102	25	15	25	3,46	1,17
PRG_P02	0	107	29	22	25	3,69	1,14
PRG_P03	0	43	10	7	10	3,14	1,00
PRG_P04	0	479	75	44	78	7,50	2,04
PRG_P05	0	486	119	102	96	3,36	0,92
PRG_P06	0	252	42	36	38	6,11	1,26
PRG_P07	0	431	46	6	76	8,65	2,29
PRG_P08	0	344	32	17	46	15,94	3,06
PRG_P09	0	636	128	81	136	4,74	1,49
PRG_P10	0	2666	219	85	347	16,37	3,25
PRG_P11	0	1999	165	36	307	12,20	2,91
PRG_P12	0	363	6	0	26	100,45	8,66
PRG_P13	0	388	15	1	38	40,56	5,29
PRG_P14	0	427	43	12	79	9,97	2,68
RIT_P01	0	15	4	3	4	2,14	0,59
RIT_P02	0	16	7	7	4	1,80	-0,23
RIT_P03	0	16	3	2	3	4,01	1,23
RIT_P04	0	35	4	1	7	7,71	2,27
LDS_P01	0	16	0	0	1	146,11	11,40
LDS_P02	0	1	0	0	0	38,26	5,90

* NMP/100mL

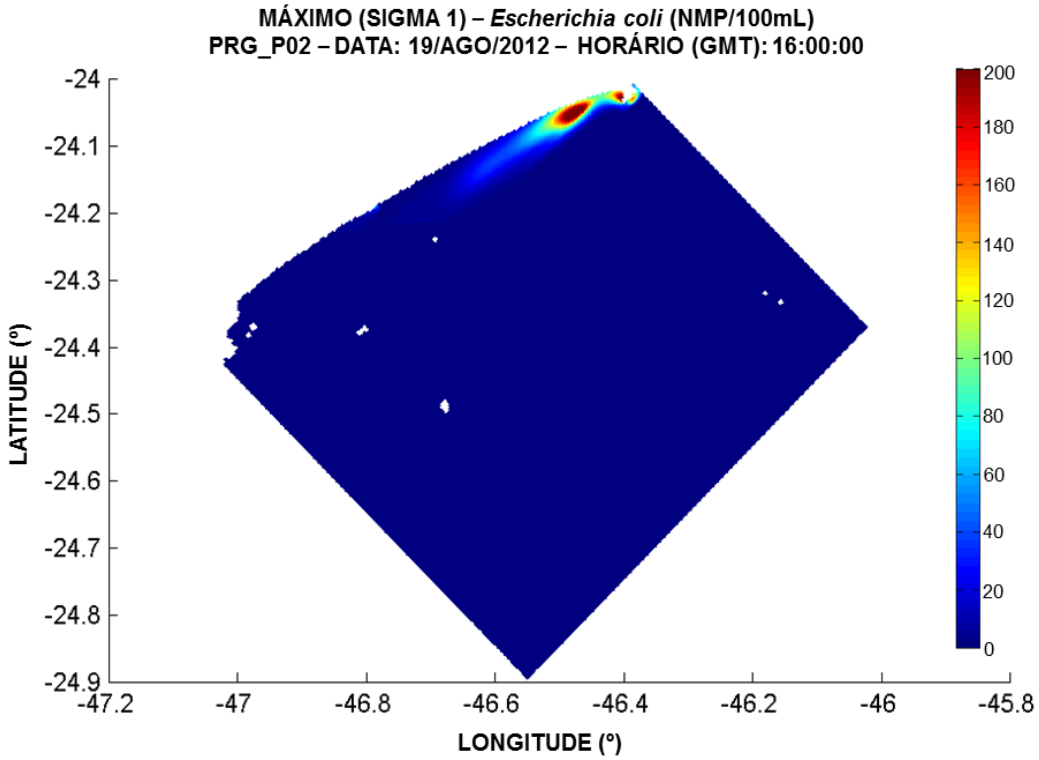

Figura 96 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

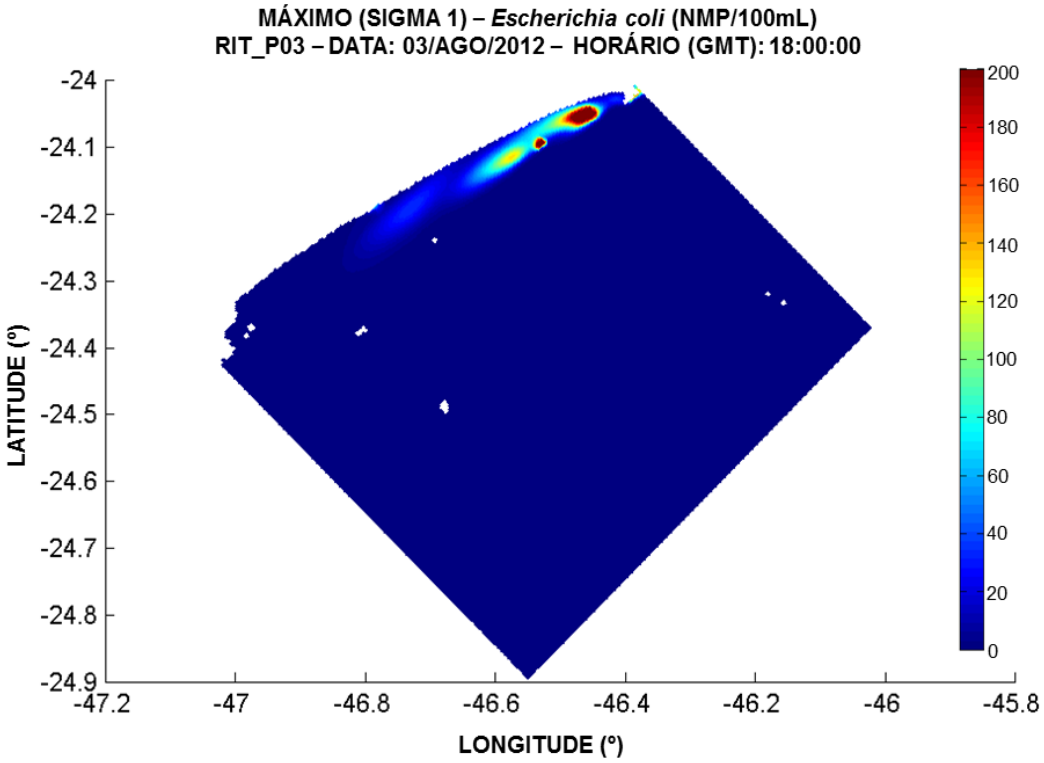

Figura 97 – Distribuição das plumas de *E. coli* na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.5.1.2.2. Fundo

Séries temporais de *Escherichia coli* nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 98 a 101. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 46. Por fim, mapas de distribuição das plumas de *Escherichia coli* no fundo, em toda a grade, no mês de inverno considerado, encontram-se nas Figuras 102 e 103.

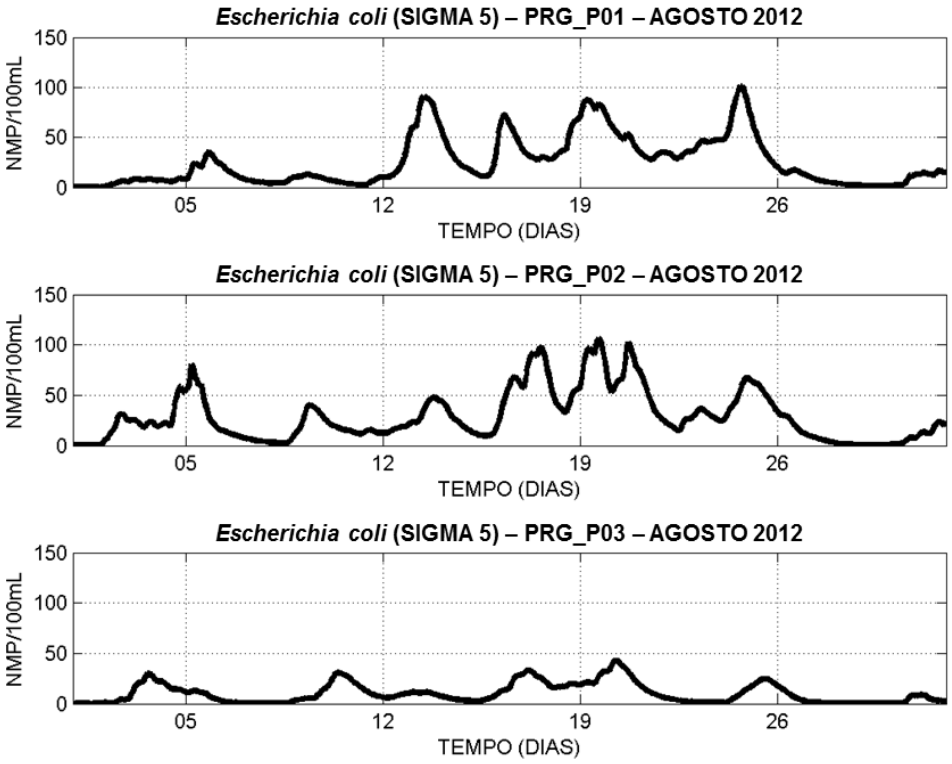

Figura 98 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

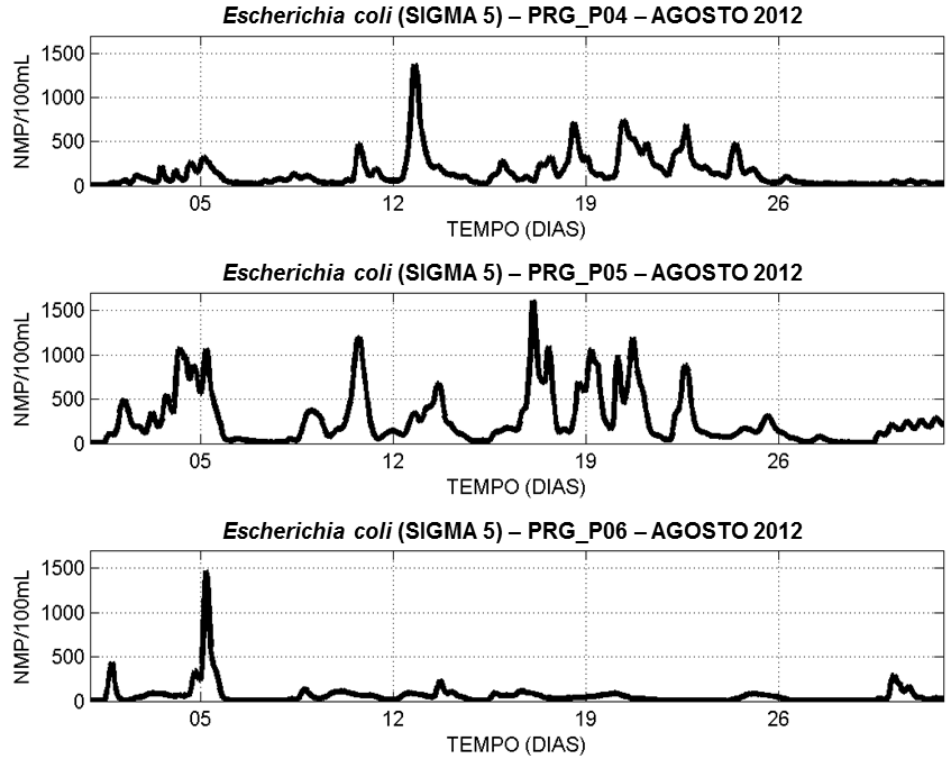

Figura 99 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

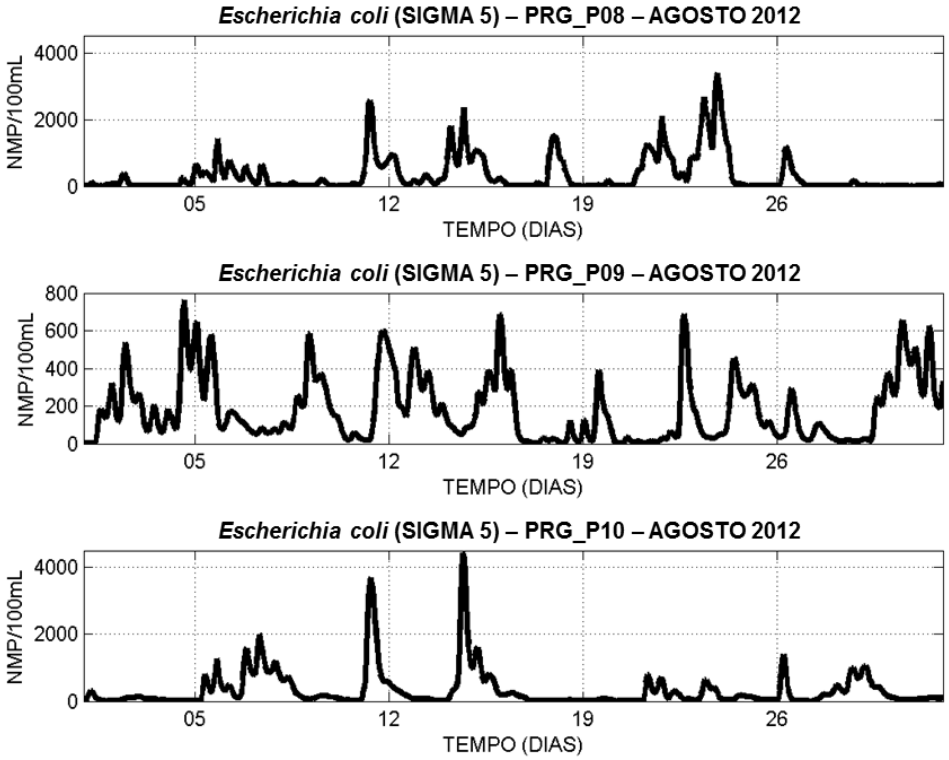

Figura 100 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

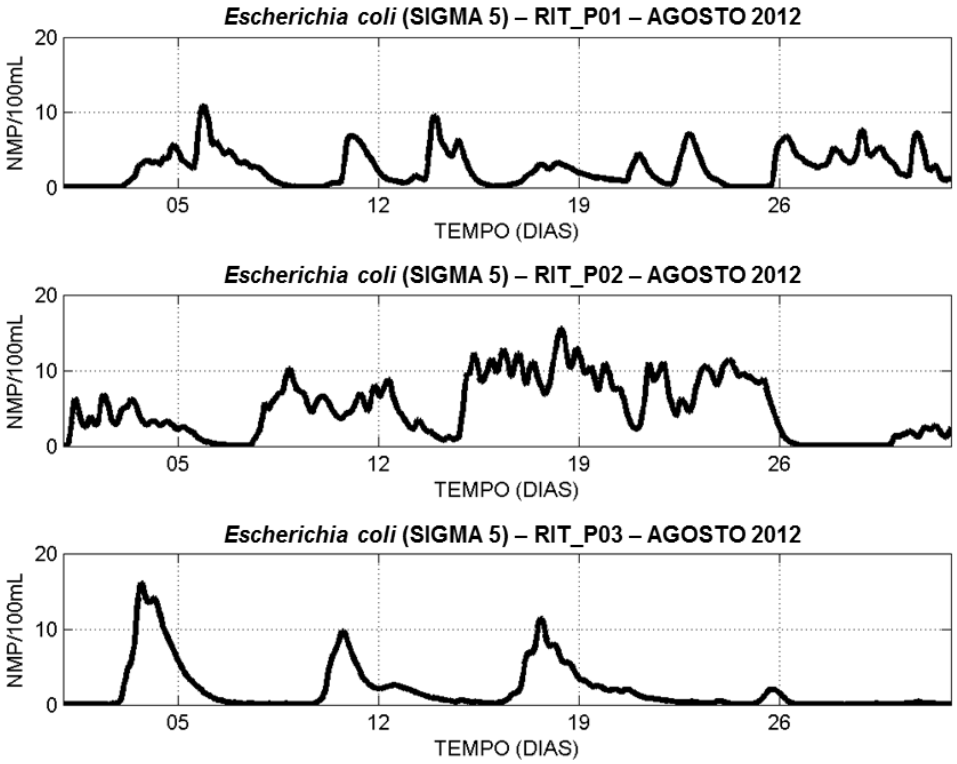

Figura 101 – Séries temporais de *E. coli* no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 46 – Estatísticas de *E. coli* no fundo (NMP/100mL), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	101	25	15	25	3,44	1,16
PRG_P02	0	107	29	22	25	3,43	1,07
PRG_P03	0	43	10	7	10	3,16	1,00
PRG_P04	0	1373	149	87	180	15,14	2,93
PRG_P05	0	1611	269	161	293	5,14	1,61
PRG_P06	0	1470	62	36	124	67,96	7,15
PRG_P07	0	1773	192	63	263	7,92	1,93
PRG_P08	0	3382	328	66	543	9,81	2,44
PRG_P09	0	764	177	116	170	3,35	1,09
PRG_P10	0	4437	314	102	542	21,82	3,79
PRG_P11	0	1732	156	26	288	10,19	2,69
PRG_P12	0	748	33	0	96	21,84	4,08
PRG_P13	0	1583	97	3	232	17,94	3,66
PRG_P14	0	4695	175	10	478	40,24	5,47
RIT_P01	0	11	3	2	2	3,42	0,90
RIT_P02	0	16	5	4	4	1,99	0,37
RIT_P03	0	16	2	0	3	7,79	2,24
RIT_P04	0	35	4	1	7	7,79	2,30
LDS_P01	0	16	0	0	1	143,23	11,29
LDS_P02	0	1	0	0	0	37,92	5,87

* NMP/100mL

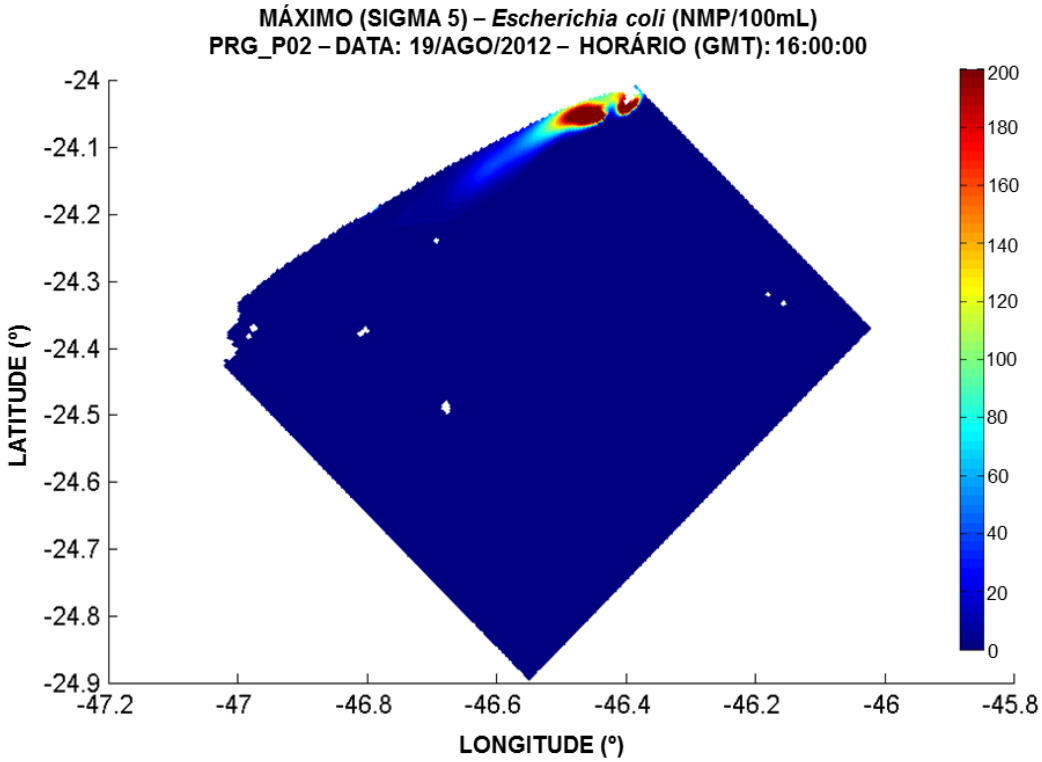

Figura 102 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

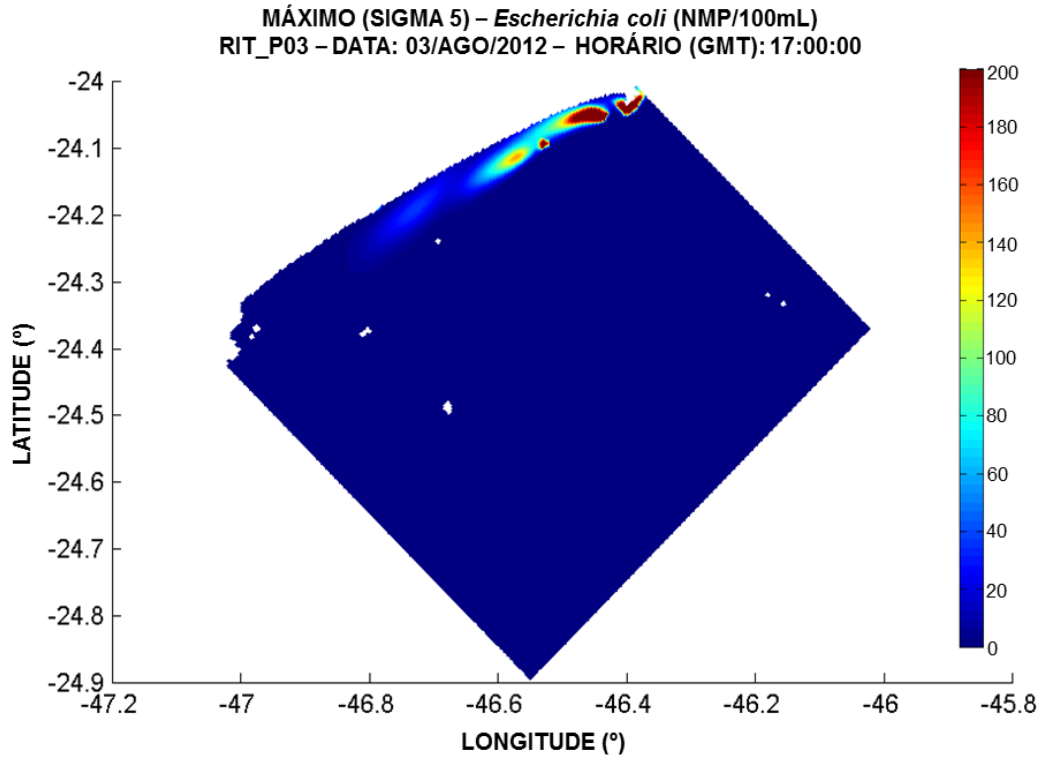

Figura 103 – Distribuição das plumas de *E. coli* no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.5.2. *Amônio* (NH_4^+)

6.5.2.1. Fevereiro de 2012

6.5.2.1.1. Superfície

Séries temporais de amônio nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 104 a 107. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de amônio, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 47. Por fim, mapas de distribuição das plumas de amônio na superfície, no mês de verão considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 108 e 109.

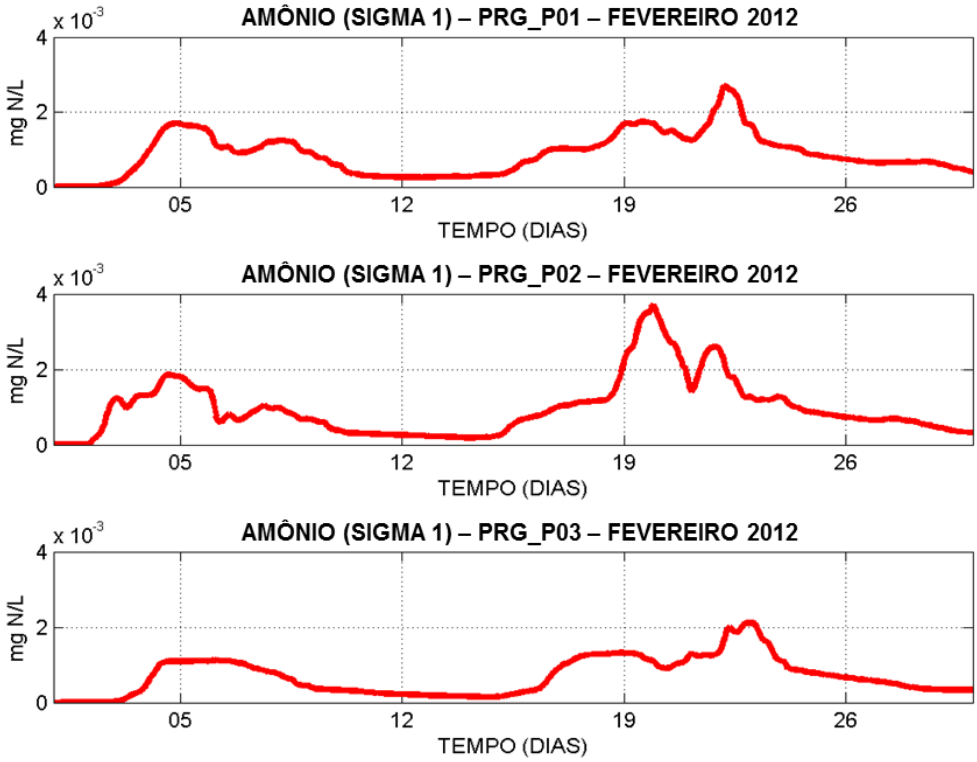

Figura 104 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

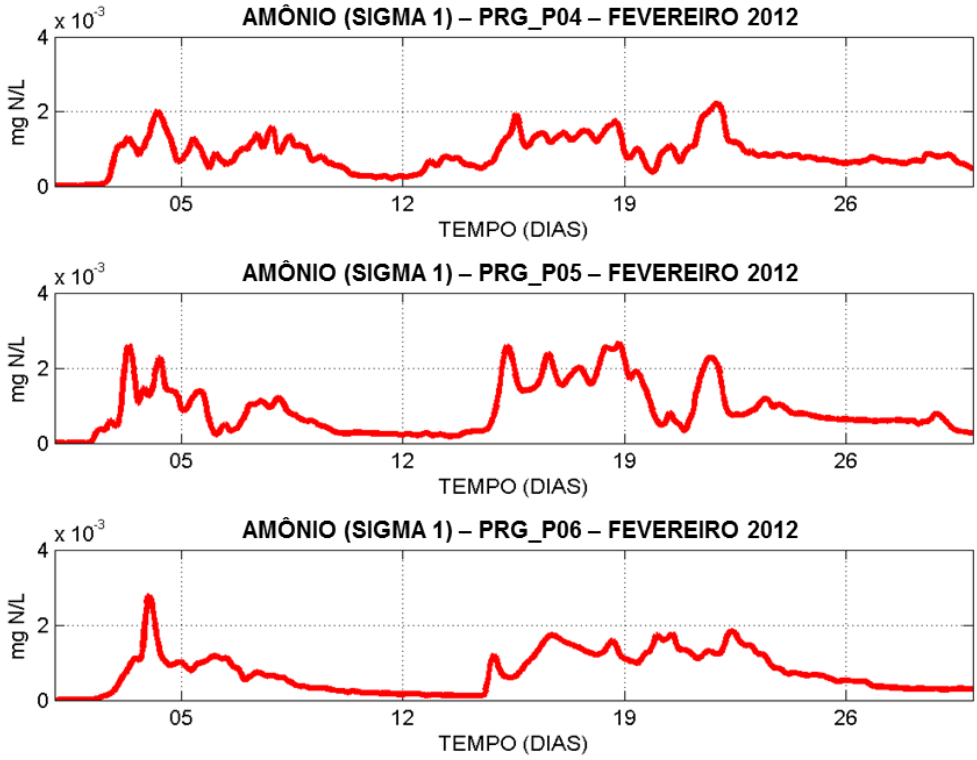

Figura 105 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

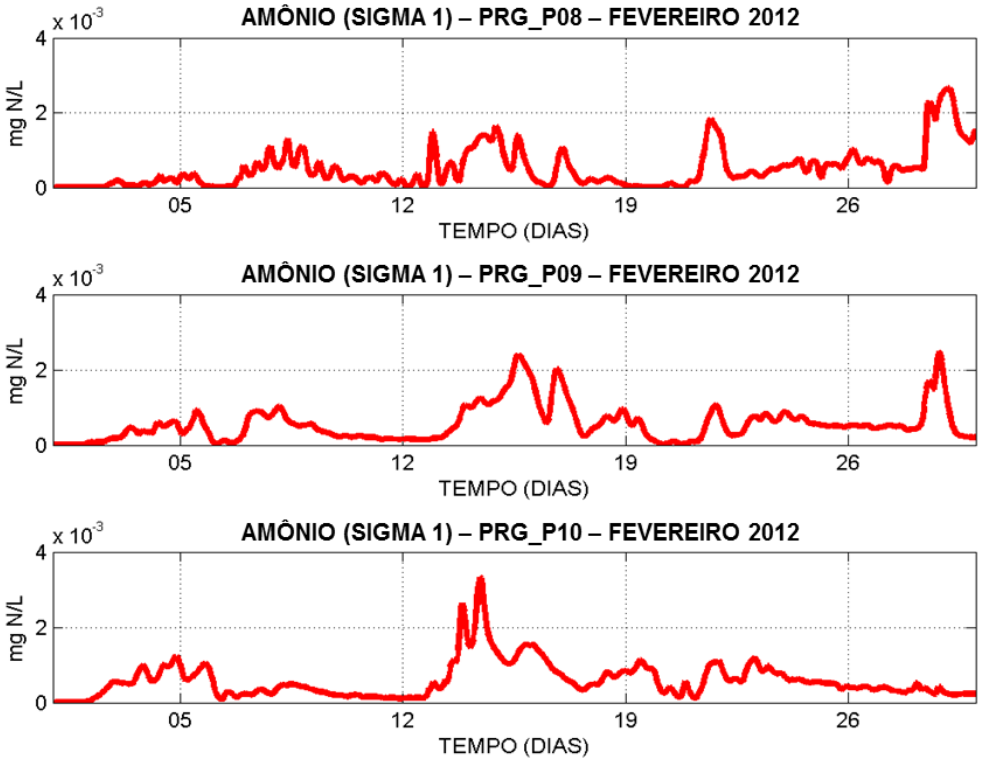

Figura 106 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

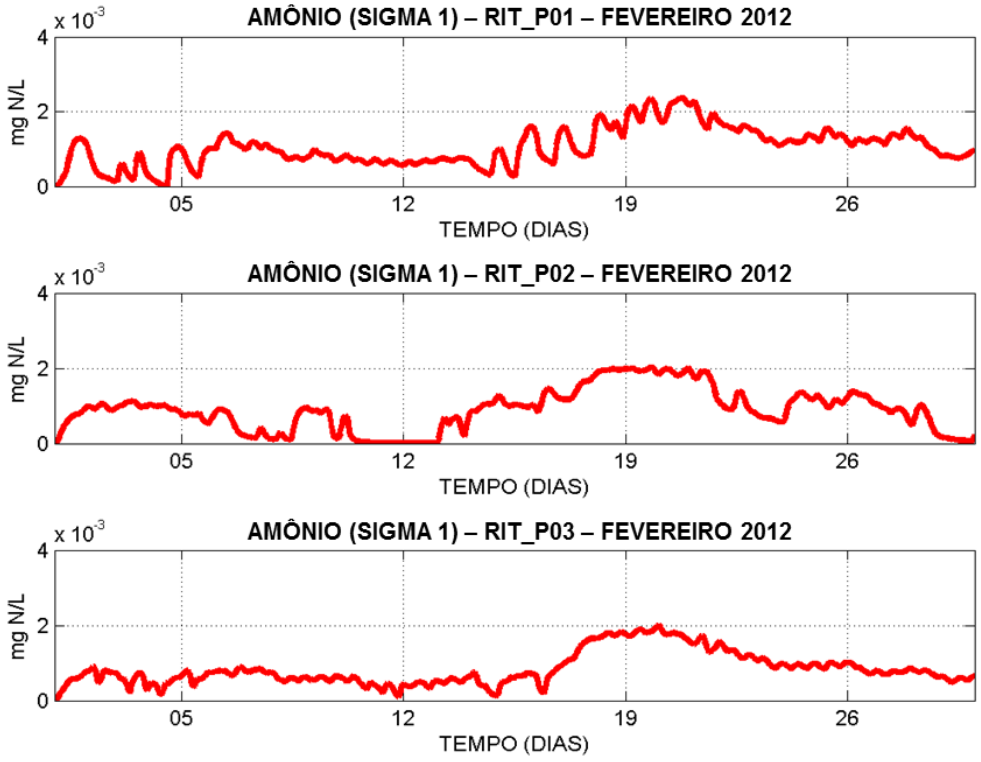

Figura 107 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

Tabela 47 – Estatísticas de amônio na superfície (mg N/L), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0027	0,0009	0,0008	0,0006	3,19	0,63
PRG_P02	0	0,0037	0,0010	0,0008	0,0008	4,89	1,39
PRG_P03	0	0,0021	0,0007	0,0006	0,0005	2,78	0,64
PRG_P04	0	0,0022	0,0009	0,0008	0,0004	3,27	0,44
PRG_P05	0	0,0027	0,0009	0,0007	0,0007	2,92	0,92
PRG_P06	0	0,0028	0,0007	0,0006	0,0005	2,87	0,64
PRG_P07	0	0,0023	0,0003	0	0,0005	6,25	1,99
PRG_P08	0	0,0027	0,0005	0,0003	0,0005	6,39	1,77
PRG_P09	0	0,0025	0,0006	0,0005	0,0005	5,74	1,58
PRG_P10	0	0,0033	0,0006	0,0005	0,0005	9,53	2,05
PRG_P11	0	0,0026	0,0004	0,0003	0,0005	8,84	2,21
PRG_P12	0	0,0020	0,0002	0	0,0004	10,90	2,91
PRG_P13	0	0,0018	0,0003	0,0002	0,0003	5,09	1,38
PRG_P14	0	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	3,37	1,08
RIT_P01	0	0,0024	0,0010	0,0010	0,0005	2,88	0,41
RIT_P02	0	0,0020	0,0009	0,0009	0,0006	2,40	0,22
RIT_P03	0	0,0020	0,0008	0,0007	0,0004	3,17	0,99
RIT_P04	0	0,0018	0,0004	0,0002	0,0005	3,07	1,16
LDS_P01	0	0,0003	0	0	0	13,64	3,04
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

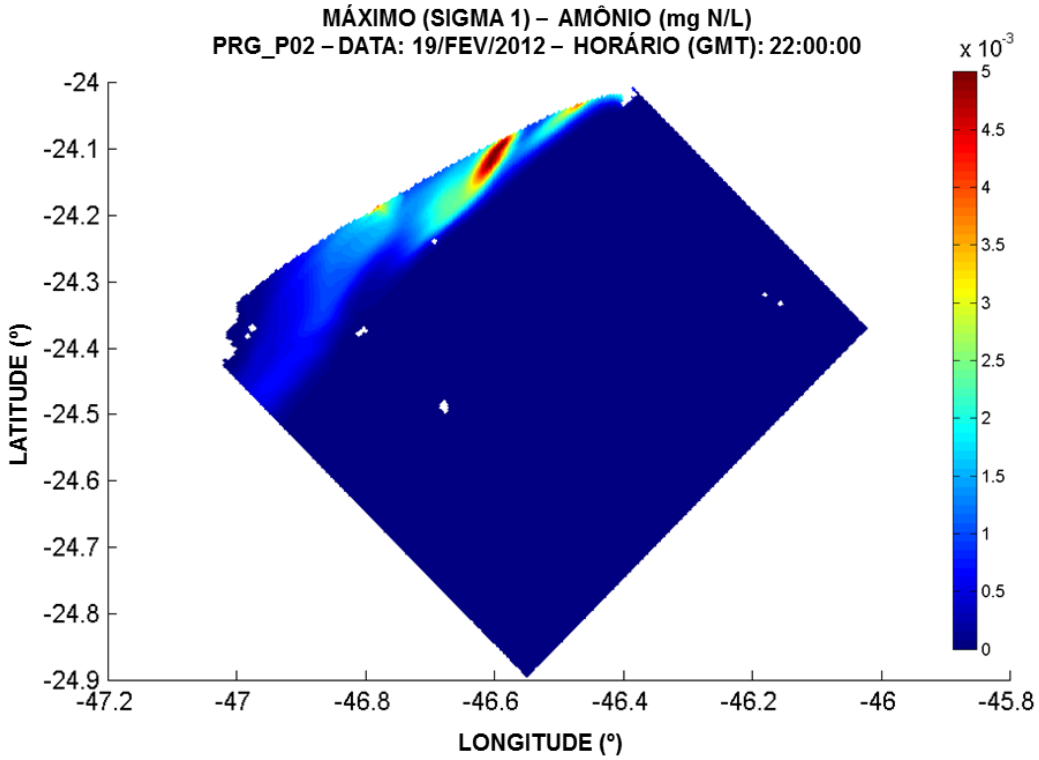

Figura 108 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

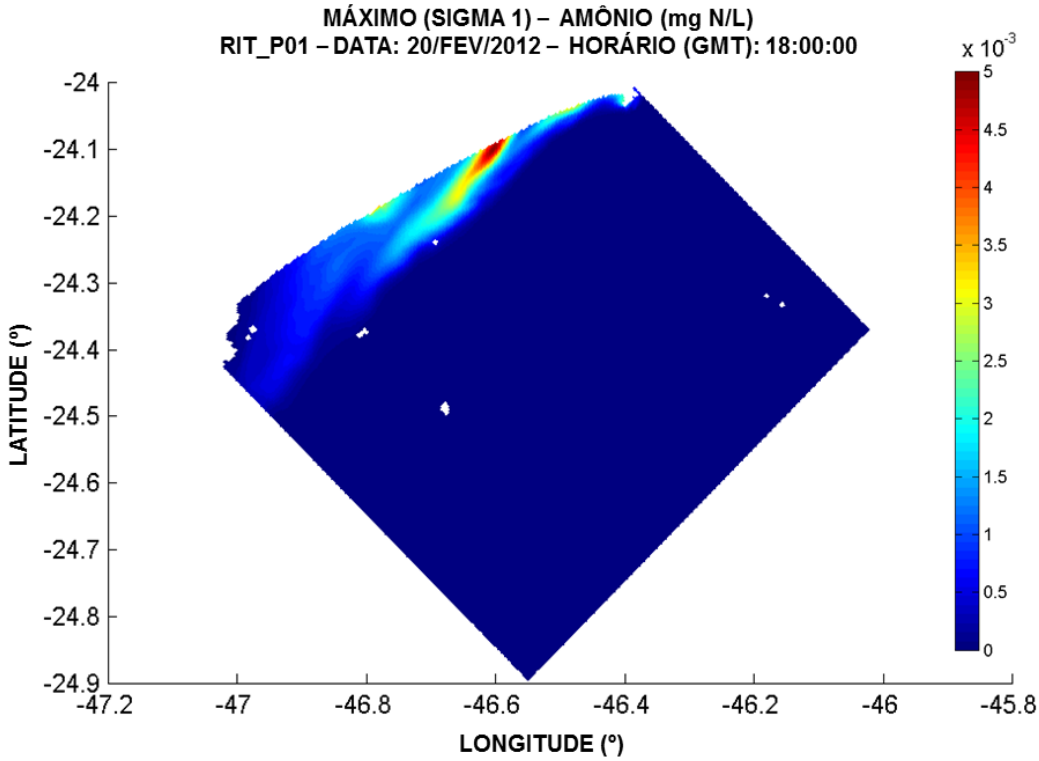

Figura 109 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.2.1.2. Fundo

Séries temporais de amônio nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 110 a 113. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 48. Por fim, mapas de distribuição das plumas de amônio no fundo, em toda a grade, no mês de verão considerado, encontram-se nas Figuras 114 e 115.

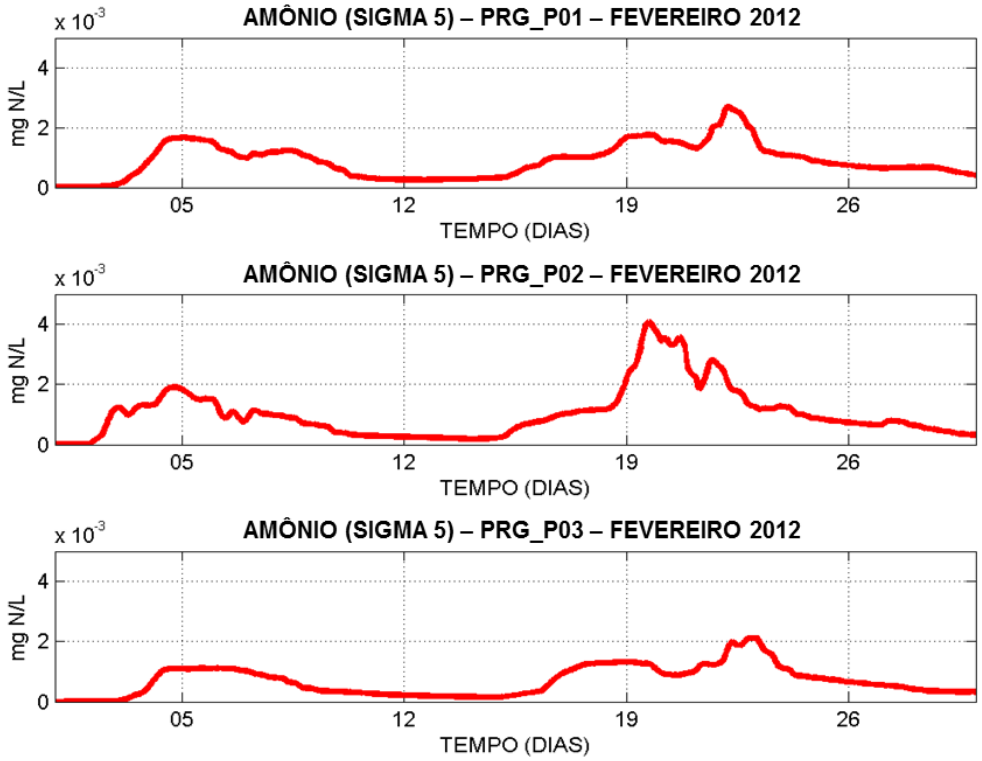

Figura 110 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

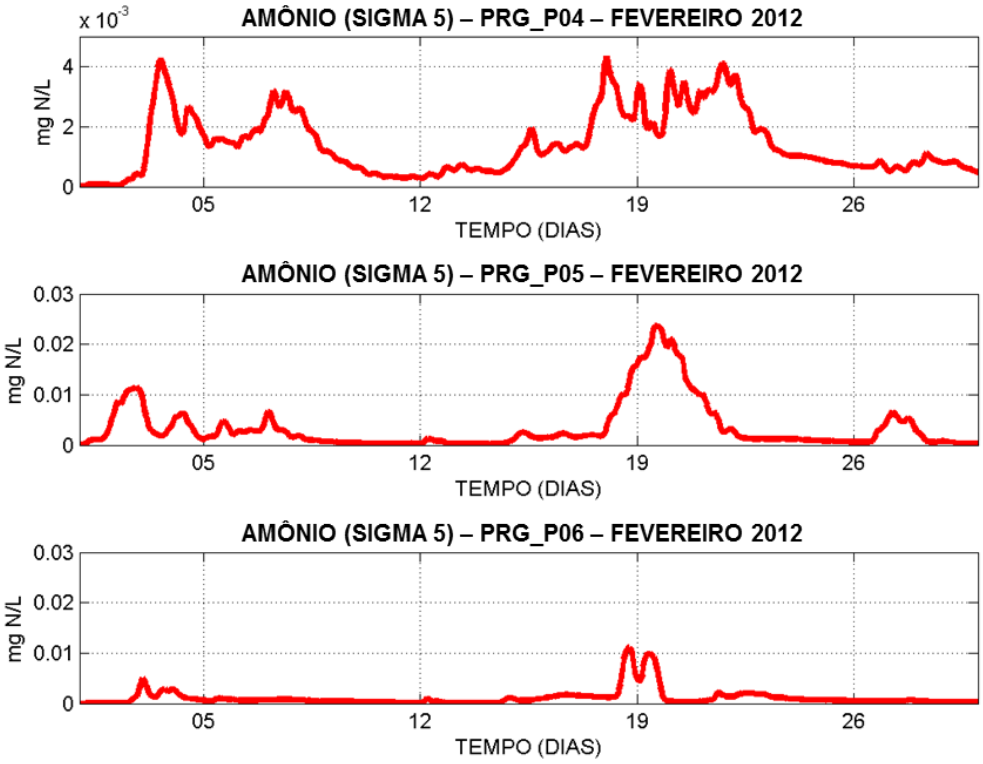

Figura 111 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

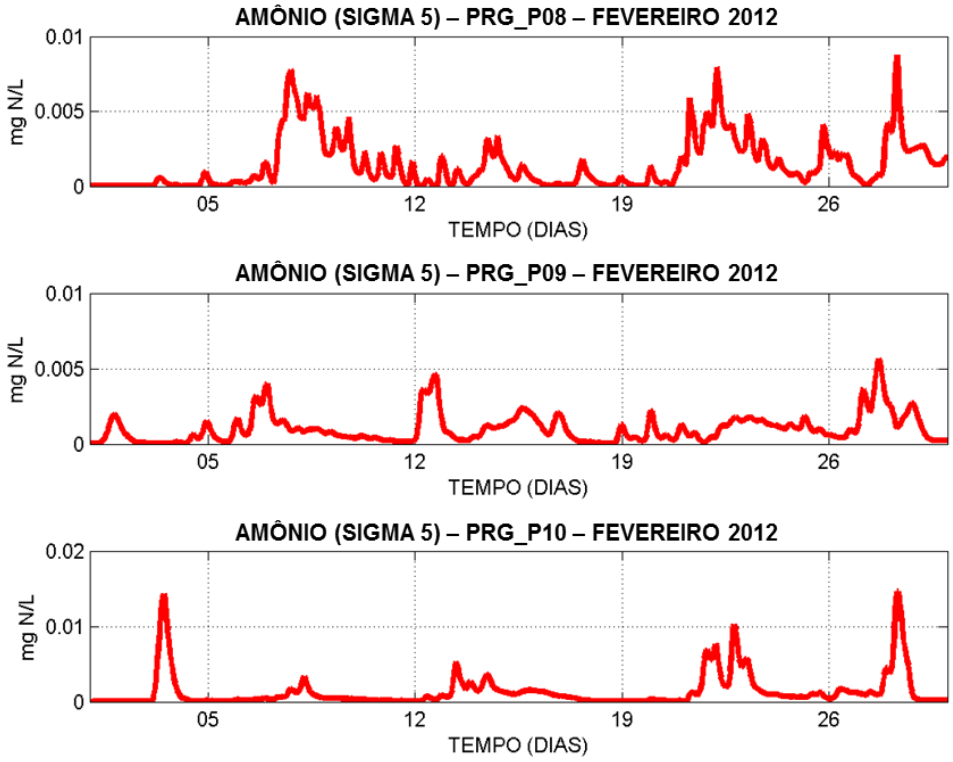

Figura 112 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

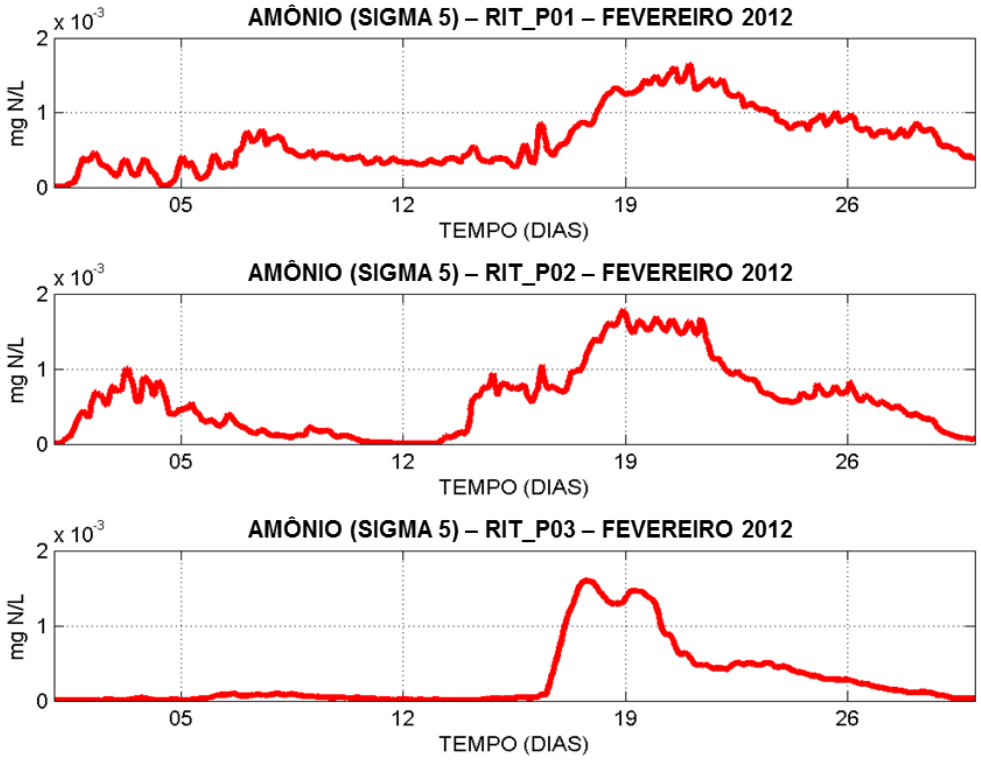

Figura 113 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

Tabela 48 – Estatísticas de amônio no fundo (mg N/L), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0027	0,0009	0,0008	0,0006	3,07	0,61
PRG_P02	0	0,0041	0,0010	0,0008	0,0008	5,34	1,55
PRG_P03	0	0,0021	0,0007	0,0006	0,0005	2,84	0,65
PRG_P04	0	0,0043	0,0014	0,0011	0,0010	2,64	0,81
PRG_P05	0	0,0236	0,0034	0,0015	0,0048	8,19	2,35
PRG_P06	0	0,0111	0,0011	0,0006	0,0017	19,92	3,94
PRG_P07	0	0,0085	0,0014	0,0003	0,0018	4,02	1,35
PRG_P08	0	0,0087	0,0014	0,0008	0,0017	5,19	1,57
PRG_P09	0	0,0056	0,0010	0,0008	0,0010	6,71	1,75
PRG_P10	0	0,0146	0,0013	0,0005	0,0022	15,45	3,30
PRG_P11	0	0,0028	0,0004	0,0003	0,0005	6,61	1,81
PRG_P12	0	0,0032	0,0004	0	0,0007	6,32	2,12
PRG_P13	0	0,0101	0,0011	0,0003	0,0015	9,26	2,13
PRG_P14	0	0,0085	0,0005	0,0001	0,0012	23,36	4,27
RIT_P01	0	0,0016	0,0006	0,0005	0,0004	2,50	0,67
RIT_P02	0	0,0018	0,0006	0,0006	0,0005	2,75	0,77
RIT_P03	0	0,0016	0,0003	0,0001	0,0004	5,28	1,84
RIT_P04	0	0,0014	0,0002	0,0001	0,0003	7,57	2,26
LDS_P01	0	0,0006	0	0	0,0001	15,22	3,35
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

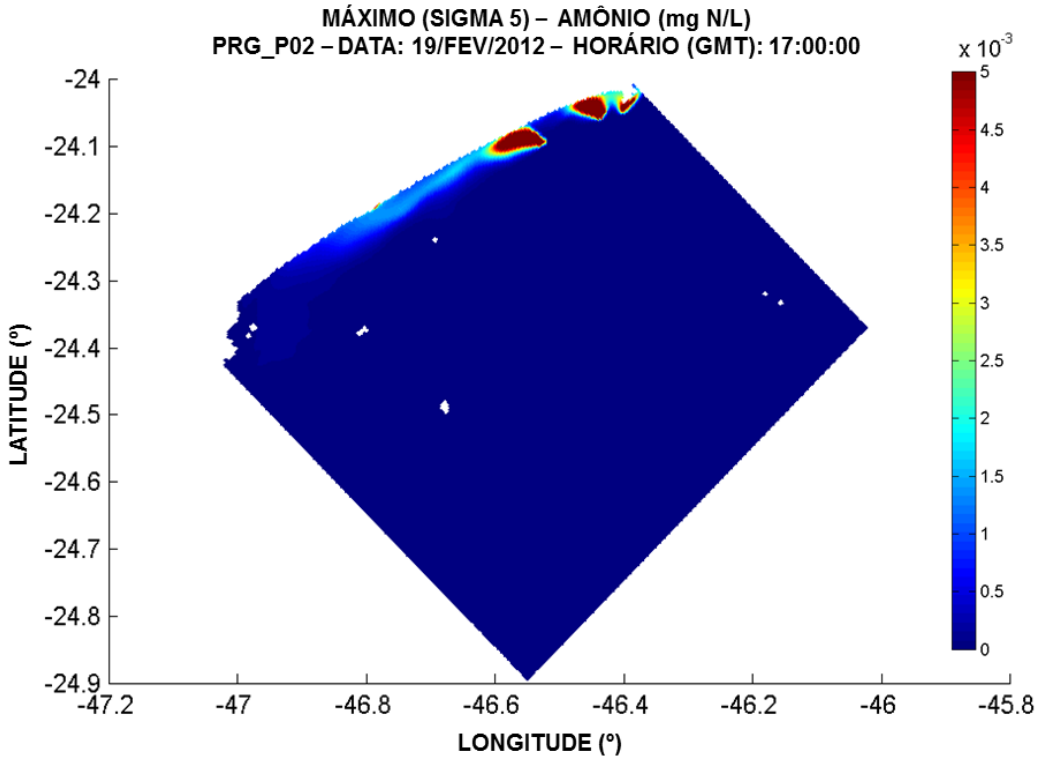

Figura 114 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

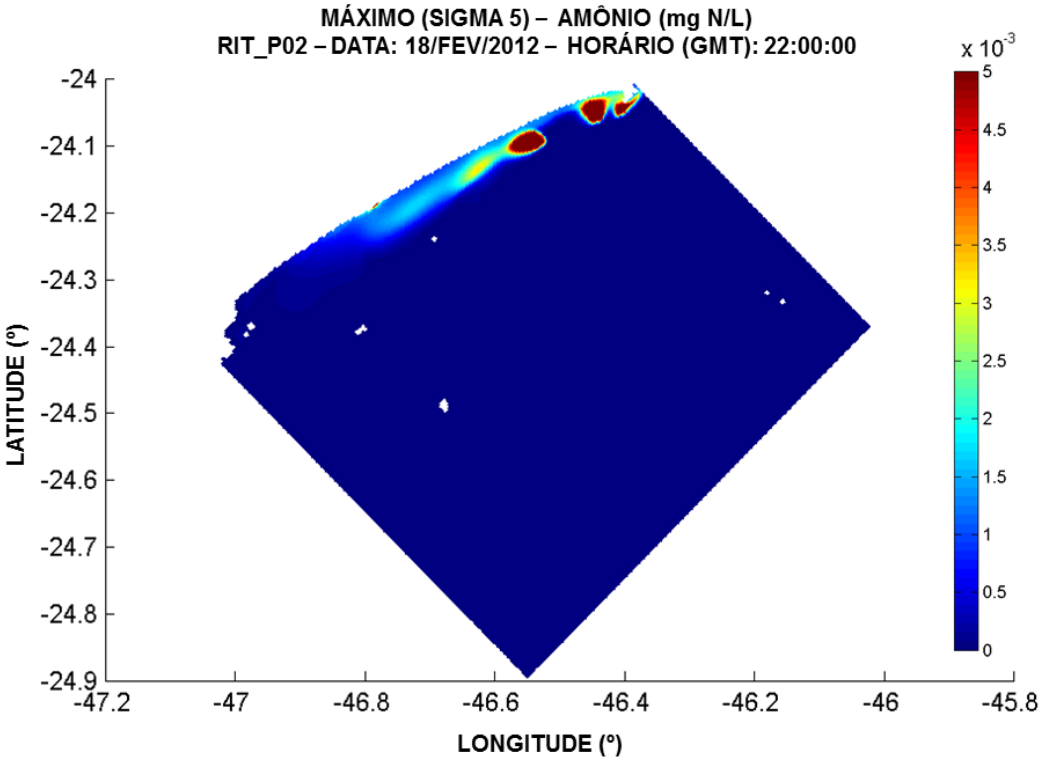

Figura 115 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.2.2. Agosto de 2012

6.5.2.2.1. Superfície

Séries temporais de amônio nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 116 a 119. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de amônio, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 49. Por fim, mapas de distribuição das plumas de amônio na superfície, no mês de inverno considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 120 e 121.

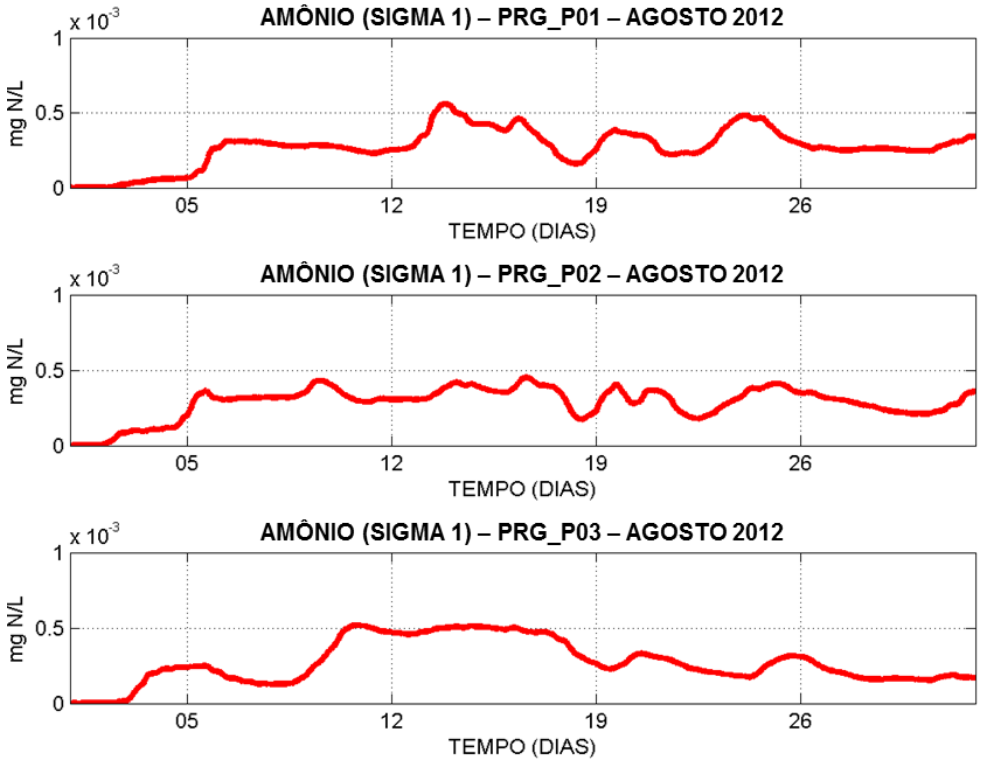

Figura 116 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

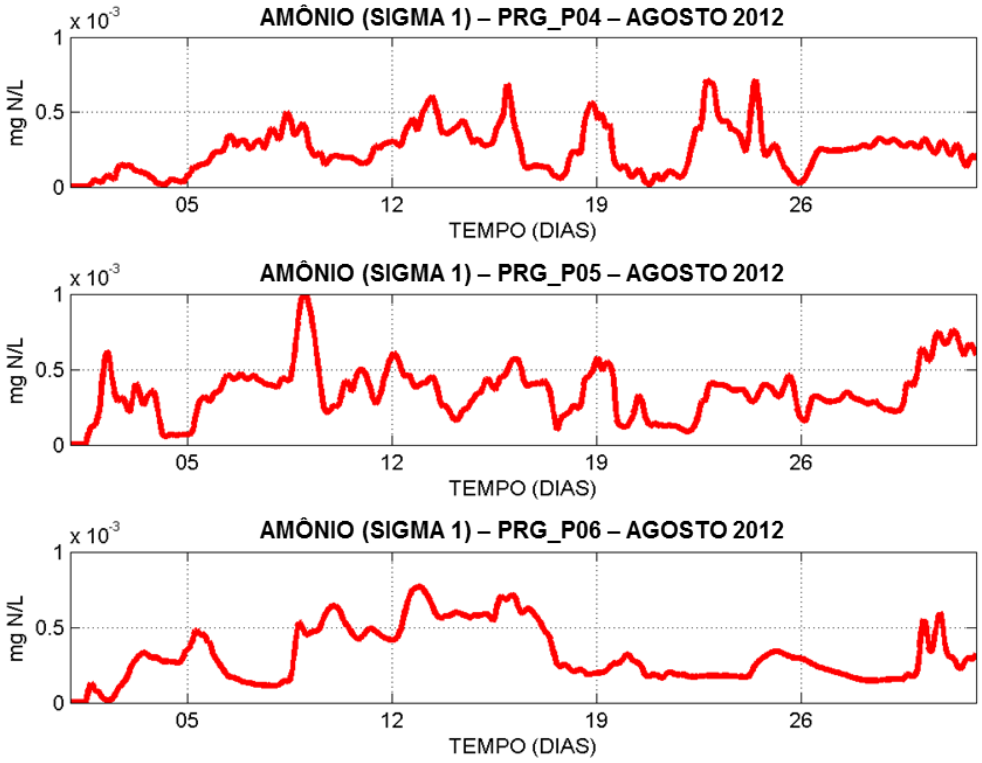

Figura 117 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

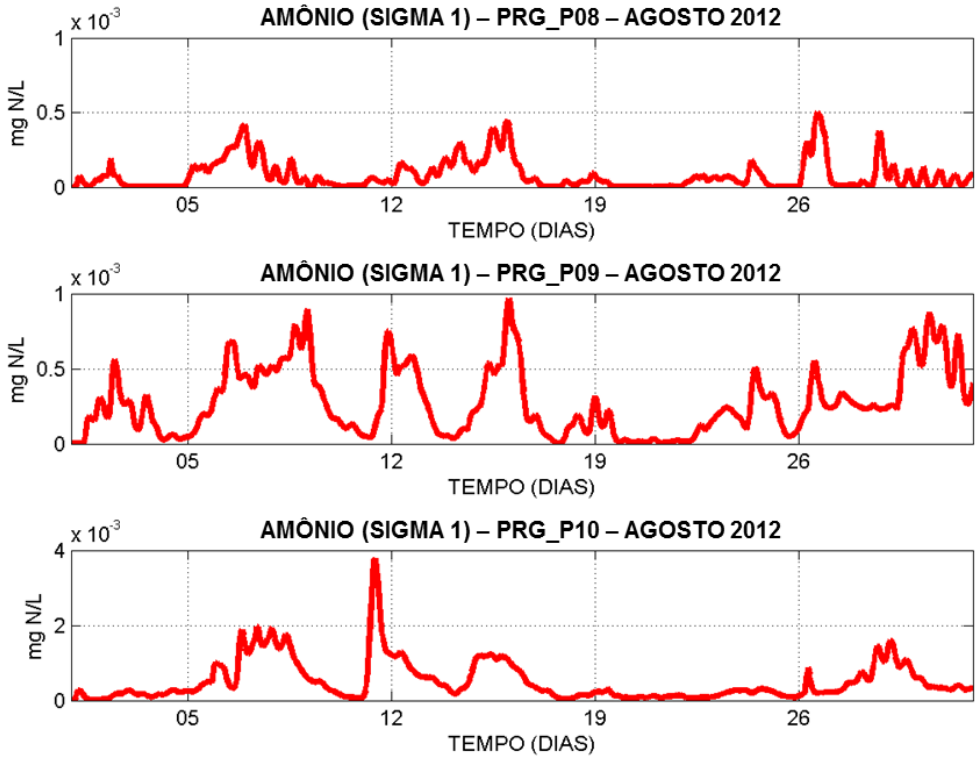

Figura 118 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

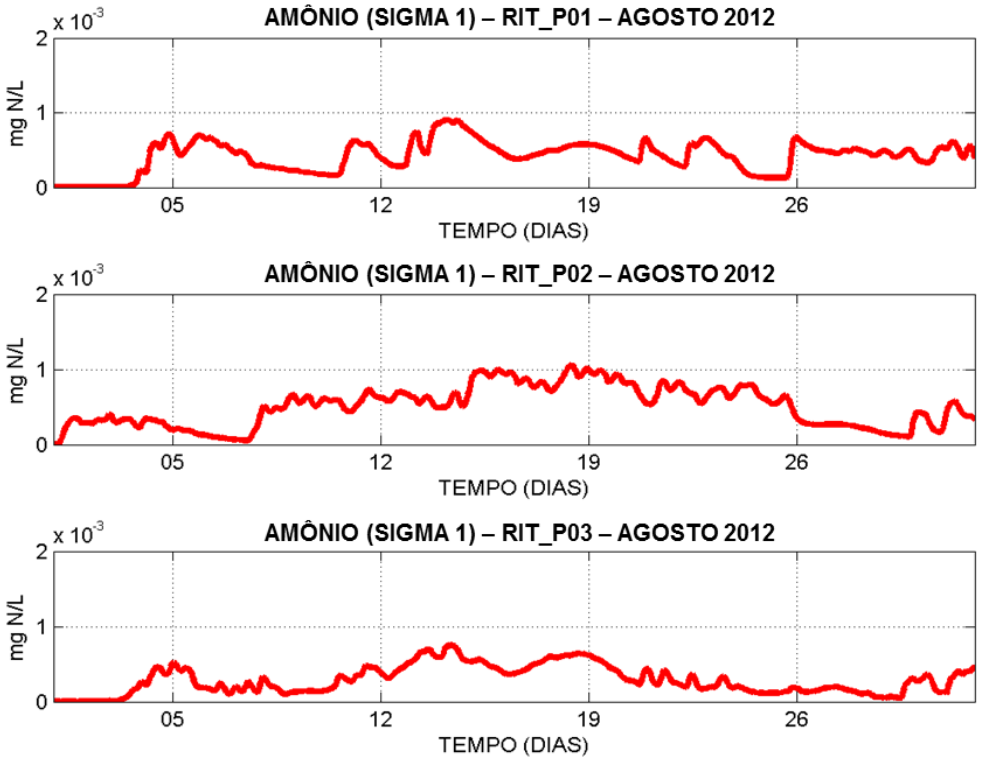

Figura 119 – Séries temporais de amônio na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 49 – Estatísticas de amônio na superfície (mg N/L), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0006	0,0003	0,0003	0,0001	3,12	-0,39
PRG_P02	0	0,0005	0,0003	0,0003	0,0001	3,67	-1,08
PRG_P03	0	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	2,17	0,27
PRG_P04	0	0,0007	0,0002	0,0002	0,0002	3,18	0,58
PRG_P05	0	0,0010	0,0004	0,0003	0,0002	4,00	0,60
PRG_P06	0	0,0008	0,0003	0,0003	0,0002	2,37	0,61
PRG_P07	0	0,0005	0,0001	0	0,0001	6,07	1,91
PRG_P08	0	0,0005	0,0001	0	0,0001	6,13	1,83
PRG_P09	0	0,0010	0,0003	0,0002	0,0002	2,78	0,81
PRG_P10	0	0,0038	0,0005	0,0003	0,0005	9,44	2,11
PRG_P11	0	0,0041	0,0004	0,0002	0,0006	14,67	3,11
PRG_P12	0	0,0005	0	0	0,0001	32,22	5,01
PRG_P13	0	0,0006	0	0	0,0001	15,95	3,22
PRG_P14	0	0,0010	0,0001	0,0001	0,0002	9,45	2,37
RIT_P01	0	0,0009	0,0004	0,0005	0,0002	2,76	-0,31
RIT_P02	0	0,0011	0,0005	0,0005	0,0003	1,94	0,06
RIT_P03	0	0,0008	0,0003	0,0002	0,0002	2,26	0,46
RIT_P04	0	0,0007	0,0002	0,0001	0,0002	2,48	0,89
LDS_P01	0	0,0001	0	0	0	72,07	7,50
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

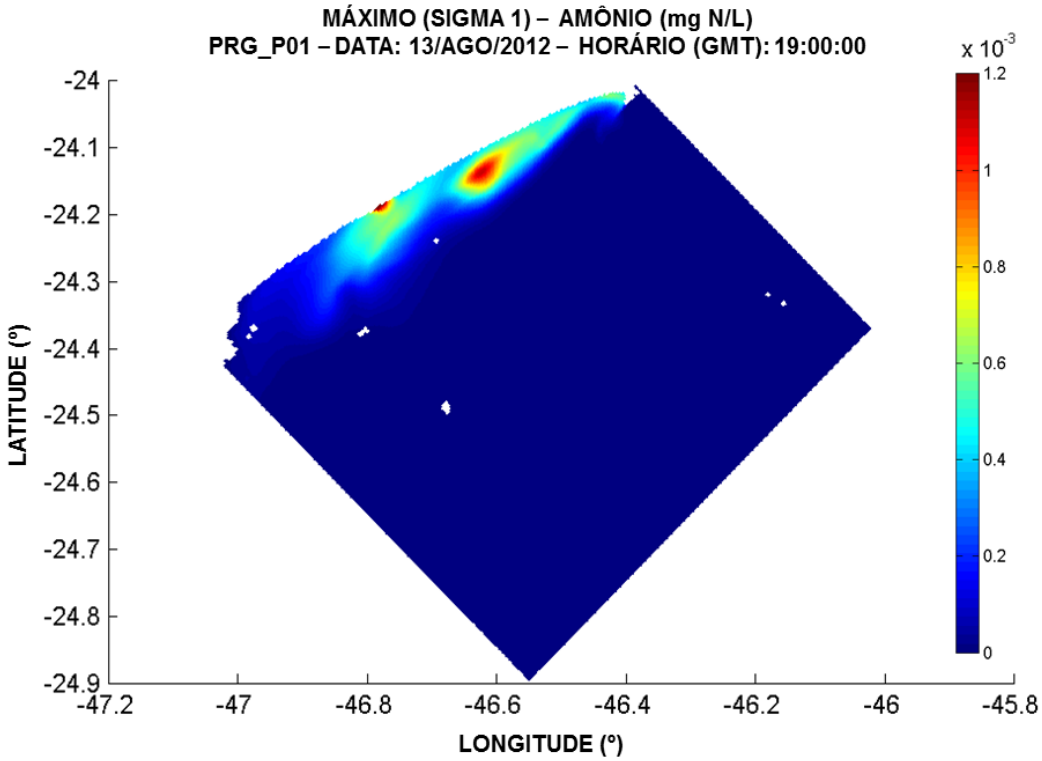

Figura 120 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

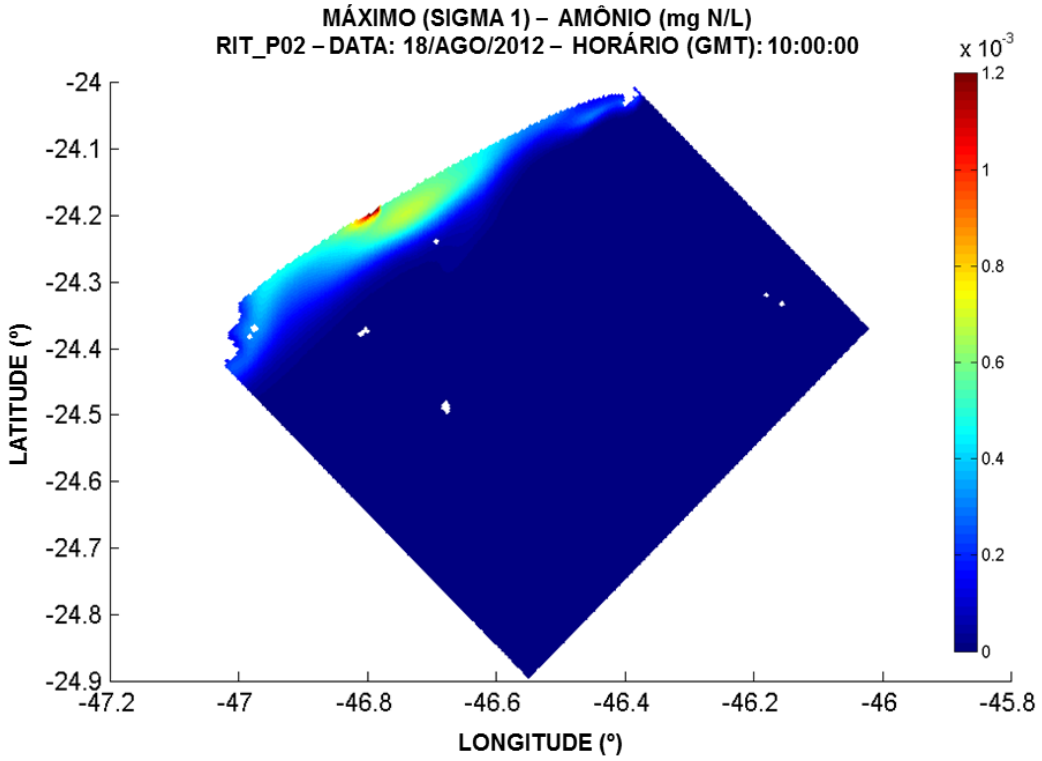

Figura 121 – Distribuição das plumas de amônio na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.5.2.2.2. Fundo

Séries temporais de amônio nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 122 a 125. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 50. Por fim, mapas de distribuição das plumas de amônio no fundo, em toda a grade, no mês de inverno considerado, encontram-se nas Figuras 126 e 127.

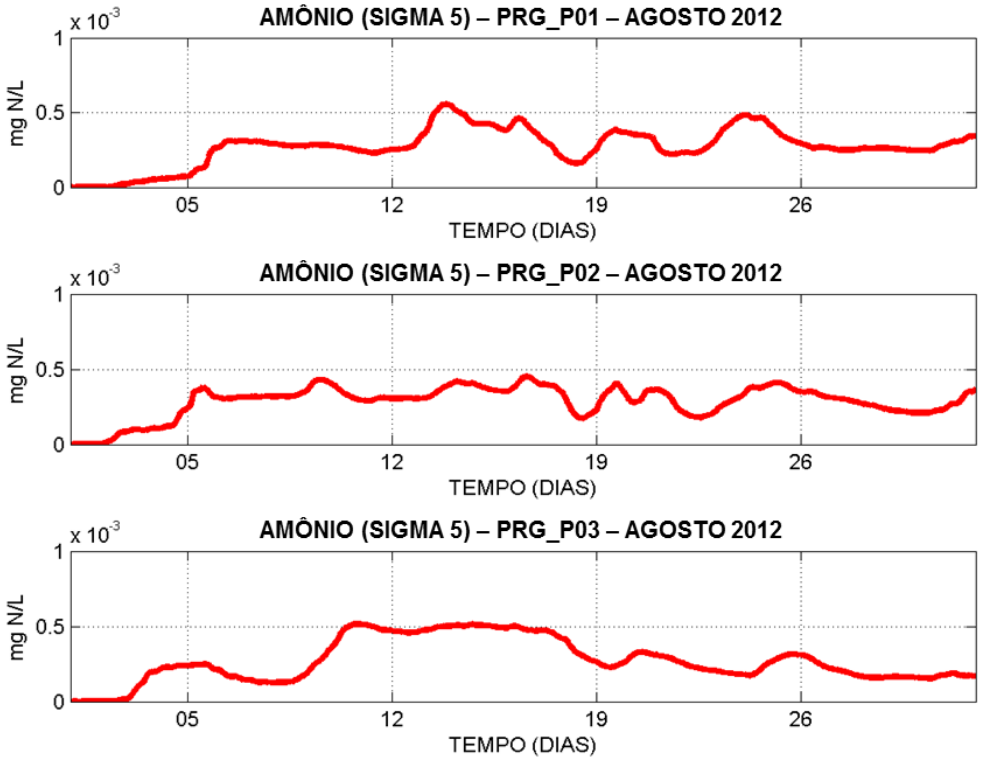

Figura 122 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

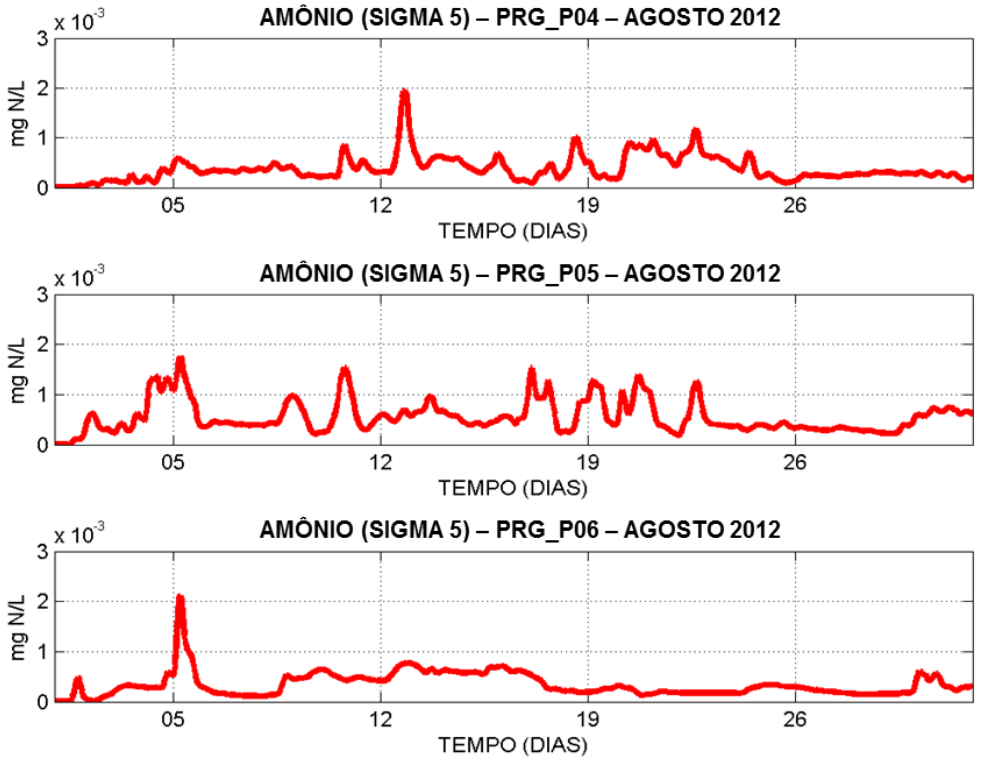

Figura 123 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

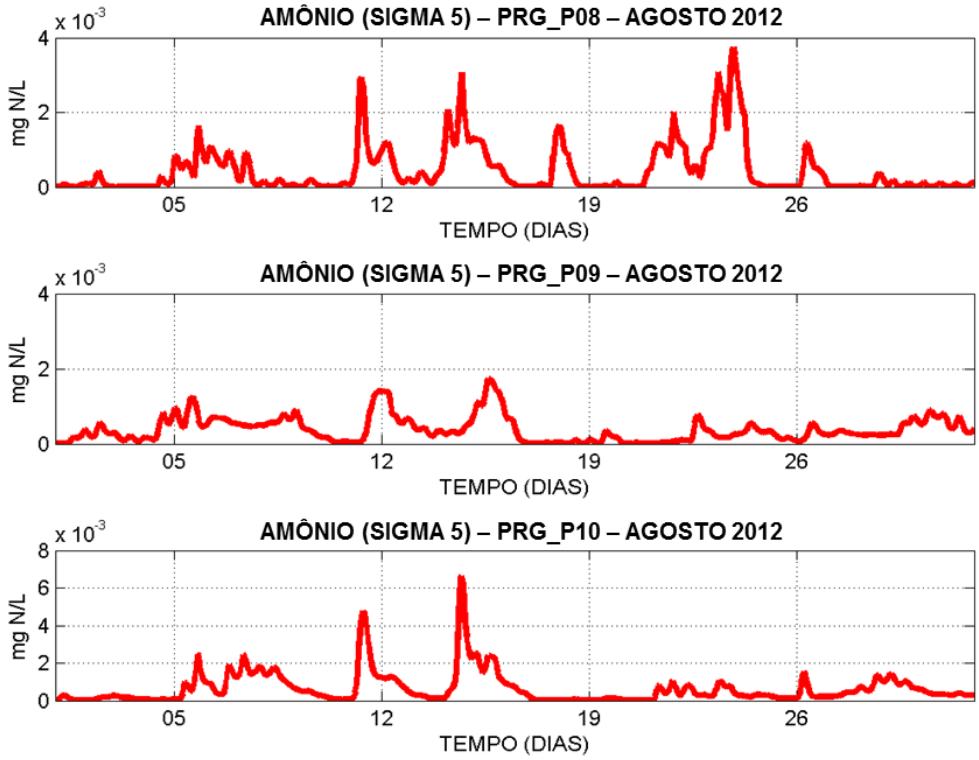

Figura 124 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

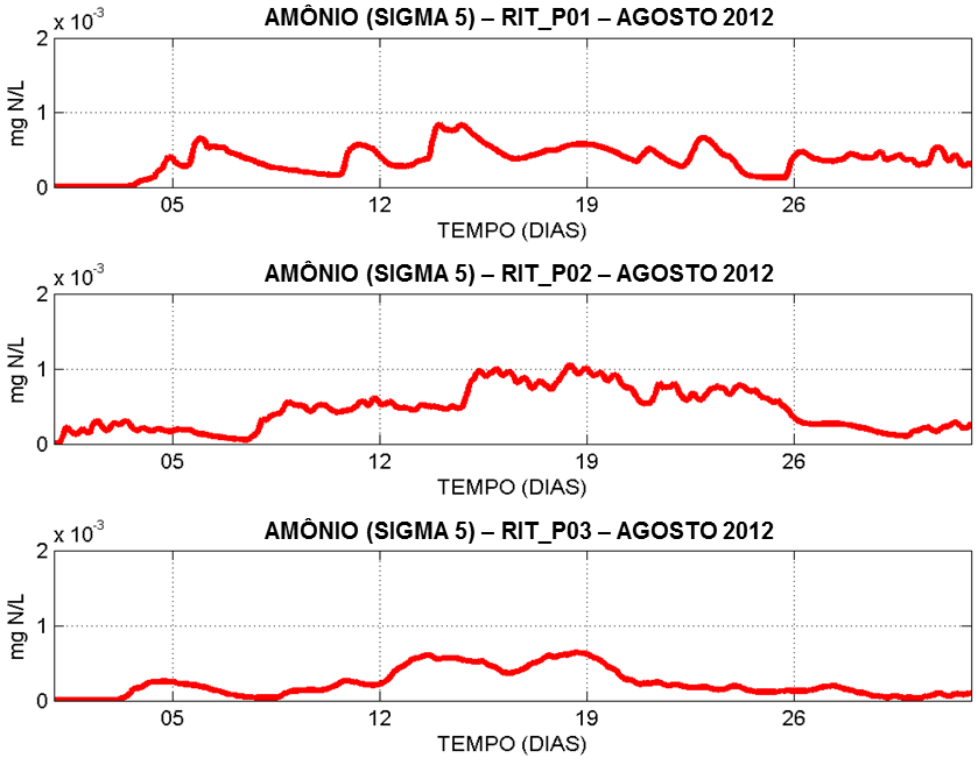

Figura 125 – Séries temporais de amônio no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 50 – Estatísticas de amônio no fundo (mg N/L), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0006	0,0003	0,0003	0,0001	3,12	-0,39
PRG_P02	0	0,0005	0,0003	0,0003	0,0001	3,76	-1,10
PRG_P03	0	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	2,17	0,27
PRG_P04	0	0,0019	0,0004	0,0003	0,0003	10,43	2,01
PRG_P05	0	0,0018	0,0006	0,0004	0,0003	4,04	1,19
PRG_P06	0	0,0021	0,0003	0,0003	0,0002	15,26	2,44
PRG_P07	0	0,0020	0,0003	0,0001	0,0004	6,33	1,67
PRG_P08	0	0,0037	0,0004	0,0001	0,0006	8,37	2,20
PRG_P09	0	0,0017	0,0004	0,0003	0,0003	5,21	1,40
PRG_P10	0	0,0066	0,0006	0,0003	0,0008	17,14	3,12
PRG_P11	0	0,0028	0,0004	0,0002	0,0005	10,24	2,69
PRG_P12	0	0,0011	0,0001	0	0,0002	15,67	3,51
PRG_P13	0	0,0020	0,0002	0	0,0003	13,36	3,05
PRG_P14	0	0,0064	0,0004	0,0001	0,0008	26,07	4,30
RIT_P01	0	0,0008	0,0004	0,0004	0,0002	2,86	-0,11
RIT_P02	0	0,0011	0,0005	0,0005	0,0003	1,91	0,33
RIT_P03	0	0,0006	0,0002	0,0002	0,0002	2,48	0,84
RIT_P04	0	0,0007	0,0002	0,0001	0,0002	2,60	0,95
LDS_P01	0	0,0001	0	0	0	40,10	5,72
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

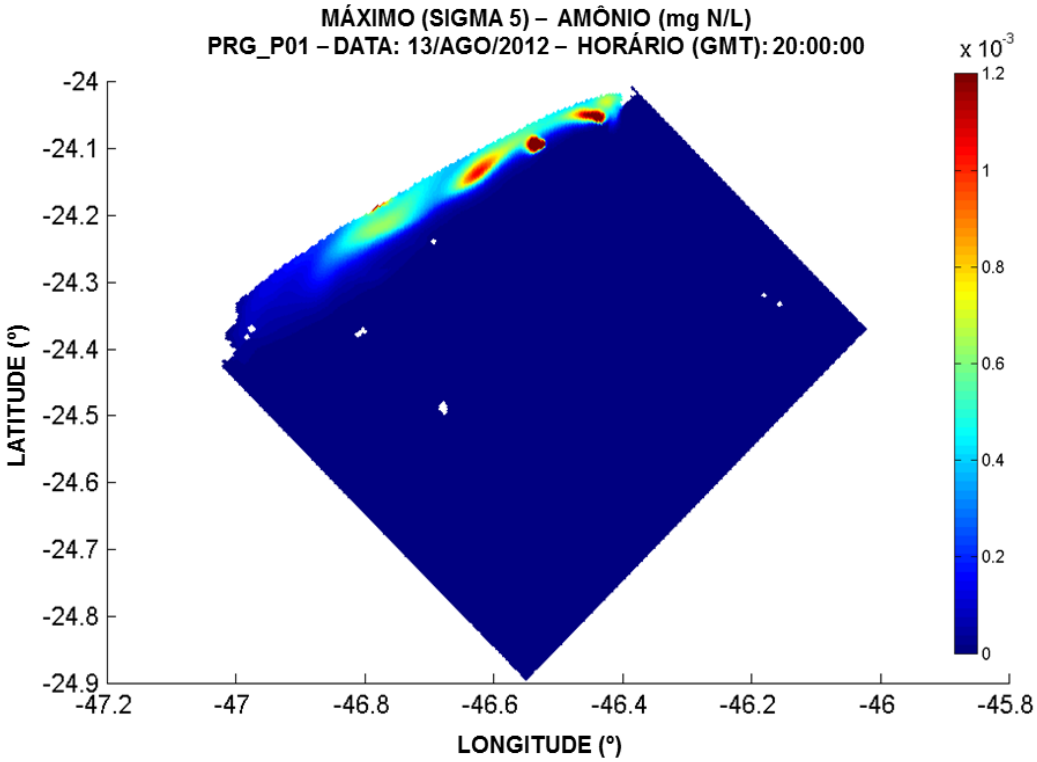

Figura 126 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

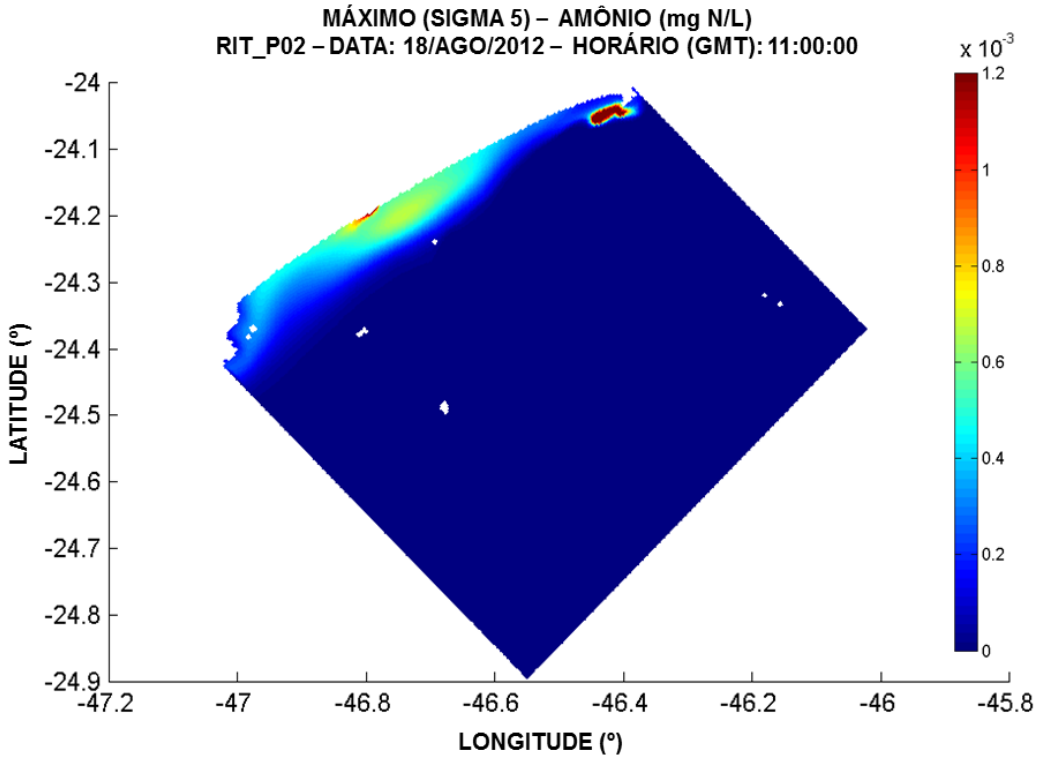

Figura 127 – Distribuição das plumas de amônio no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.5.3. *Nitrato* (NO_3^-)

6.5.3.1. Fevereiro de 2012

6.5.3.1.1. Superfície

Séries temporais de nitrato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 128 a 131. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de nitrato, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 51. Por fim, mapas de distribuição das plumas de nitrato na superfície, no mês de verão considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 132 e 133.

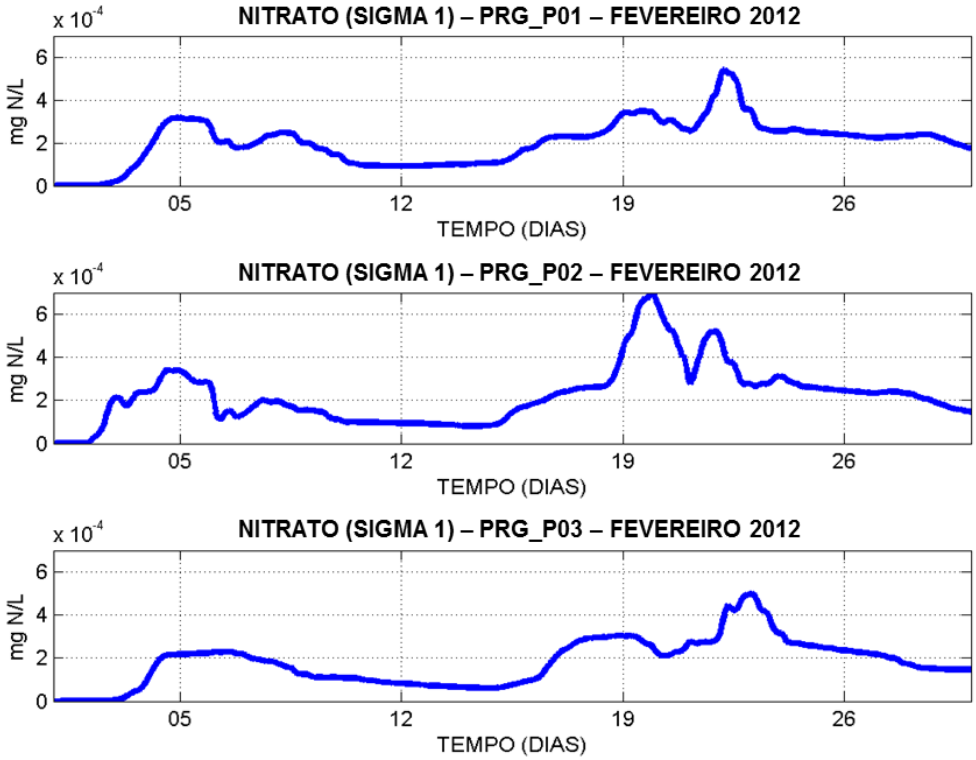

Figura 128 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

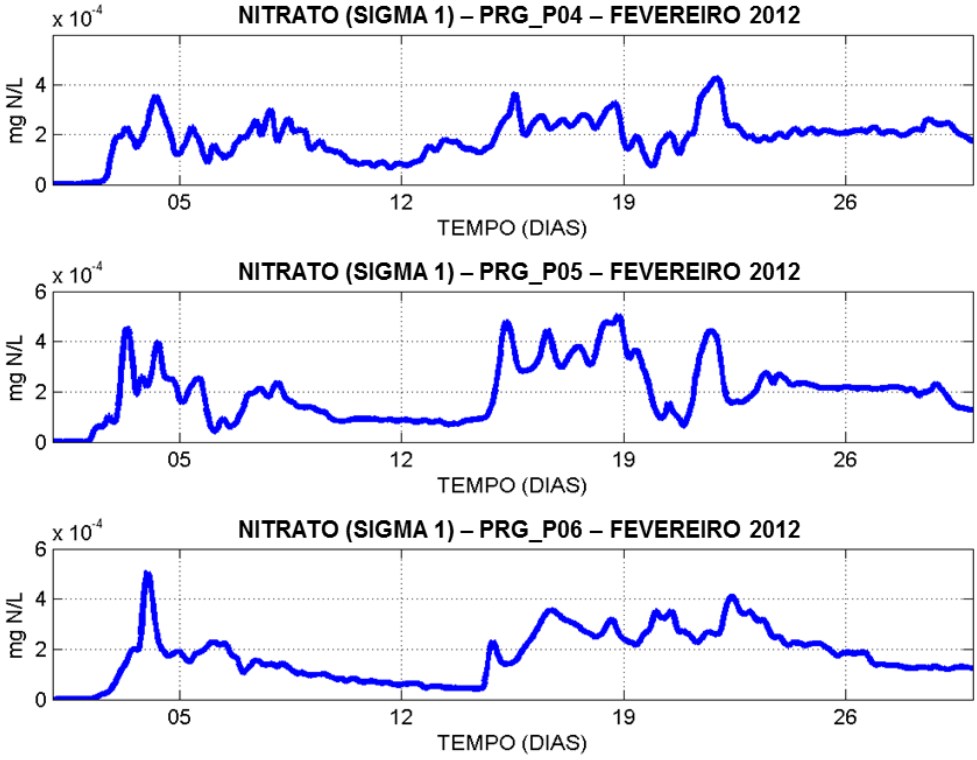

Figura 129 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

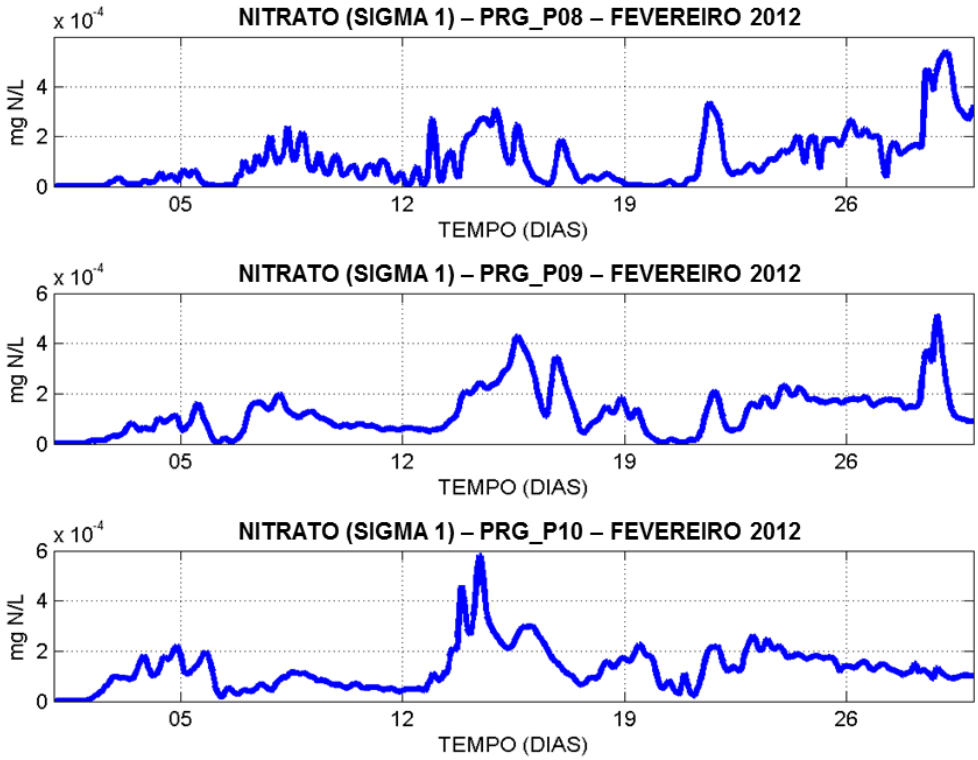

Figura 130 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

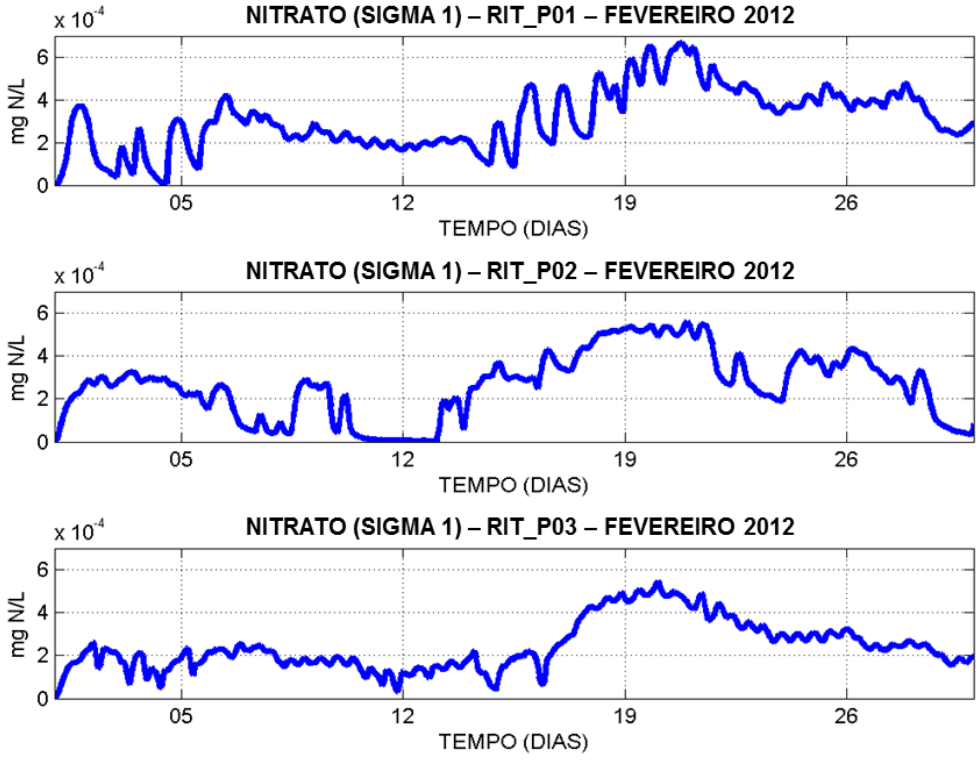

Figura 131 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

Tabela 51 – Estatísticas de nitrato na superfície (mg N/L), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	3,50	0,20
PRG_P02	0	0,0007	0,0002	0,0002	0,0001	4,77	1,17
PRG_P03	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	3,12	0,47
PRG_P04	0	0,0004	0,0002	0,0002	0,0001	3,60	-0,12
PRG_P05	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	2,79	0,58
PRG_P06	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	2,57	0,34
PRG_P07	0	0,0004	0,0001	0	0,0001	5,33	1,86
PRG_P08	0	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	5,62	1,54
PRG_P09	0	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	4,63	1,11
PRG_P10	0	0,0006	0,0001	0,0001	0,0001	7,11	1,46
PRG_P11	0	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	7,19	1,79
PRG_P12	0	0,0004	0	0	0,0001	10,08	2,81
PRG_P13	0	0,0004	0,0001	0	0,0001	3,81	1,10
PRG_P14	0	0,0001	0	0	0	2,89	0,85
RIT_P01	0	0,0007	0,0003	0,0003	0,0001	2,65	0,23
RIT_P02	0	0,0006	0,0003	0,0003	0,0002	2,19	-0,02
RIT_P03	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	2,83	0,74
RIT_P04	0	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	2,34	0,84
LDS_P01	0	0,0001	0	0	0	14,09	3,09
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

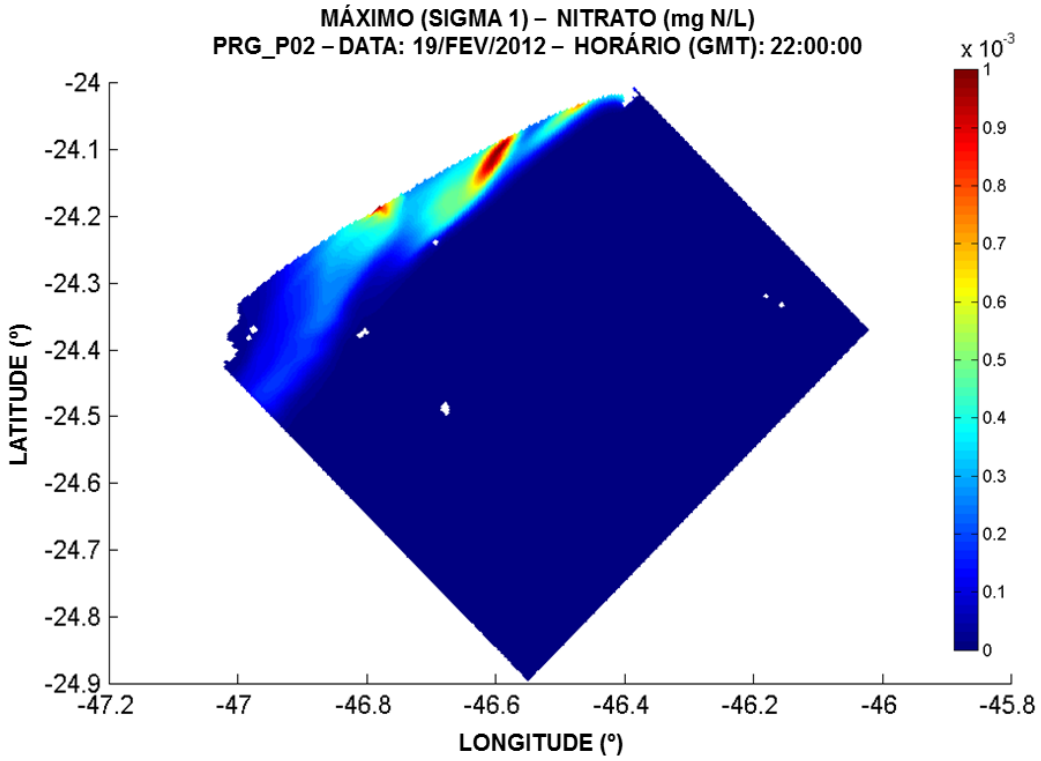

Figura 132 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

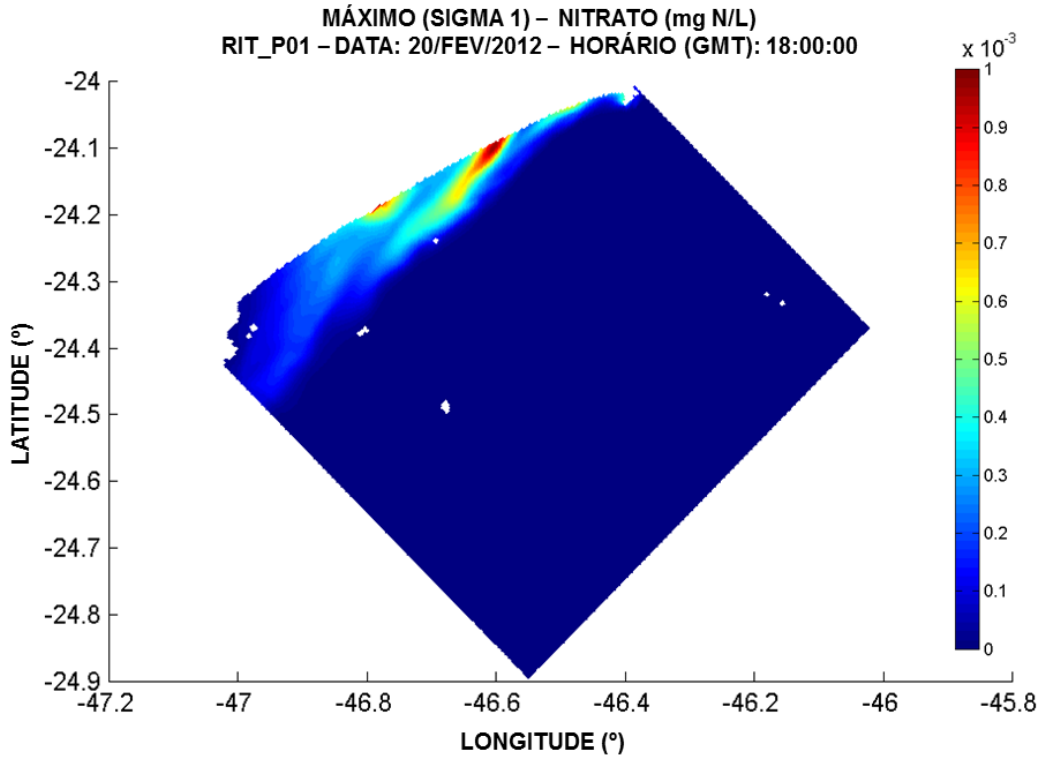

Figura 133 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.3.1.2. Fundo

Séries temporais de nitrato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 134 a 137. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 52. Por fim, mapas de distribuição das plumas de nitrato no fundo, em toda a grade, no mês de verão considerado, encontram-se nas Figuras 138 e 139.

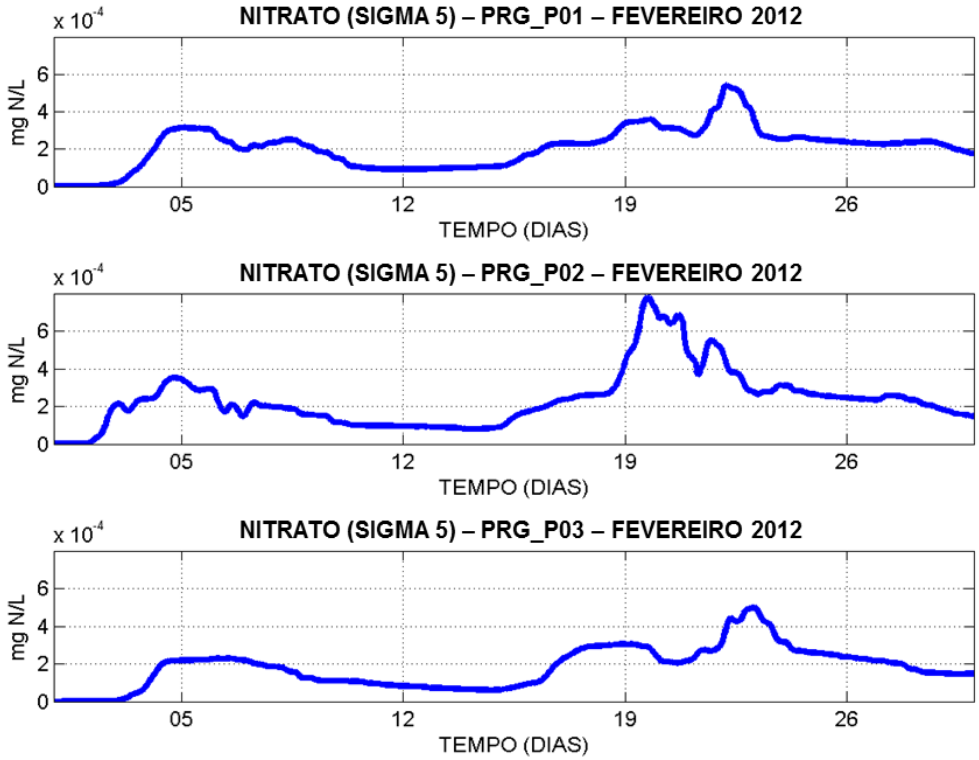

Figura 134 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

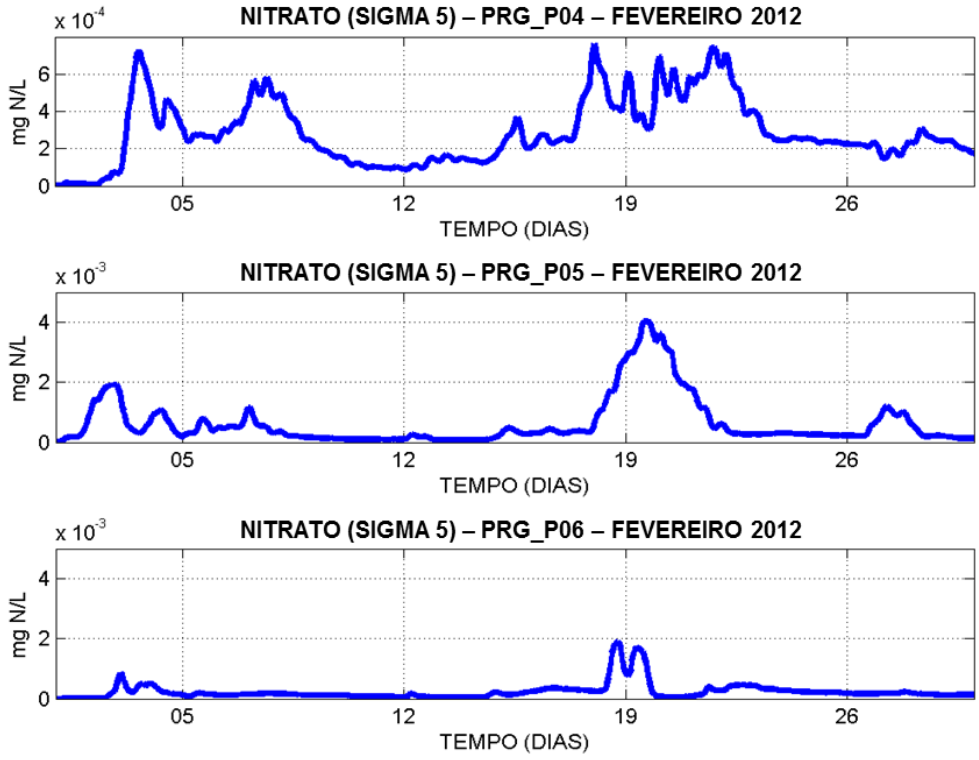

Figura 135 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

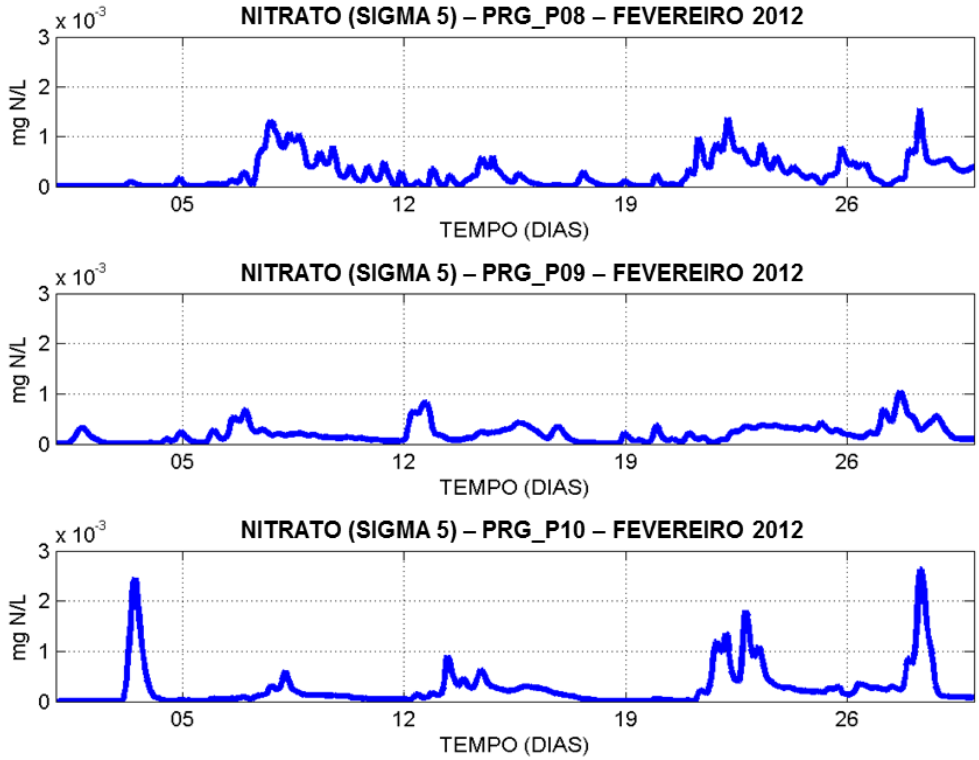

Figura 136 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

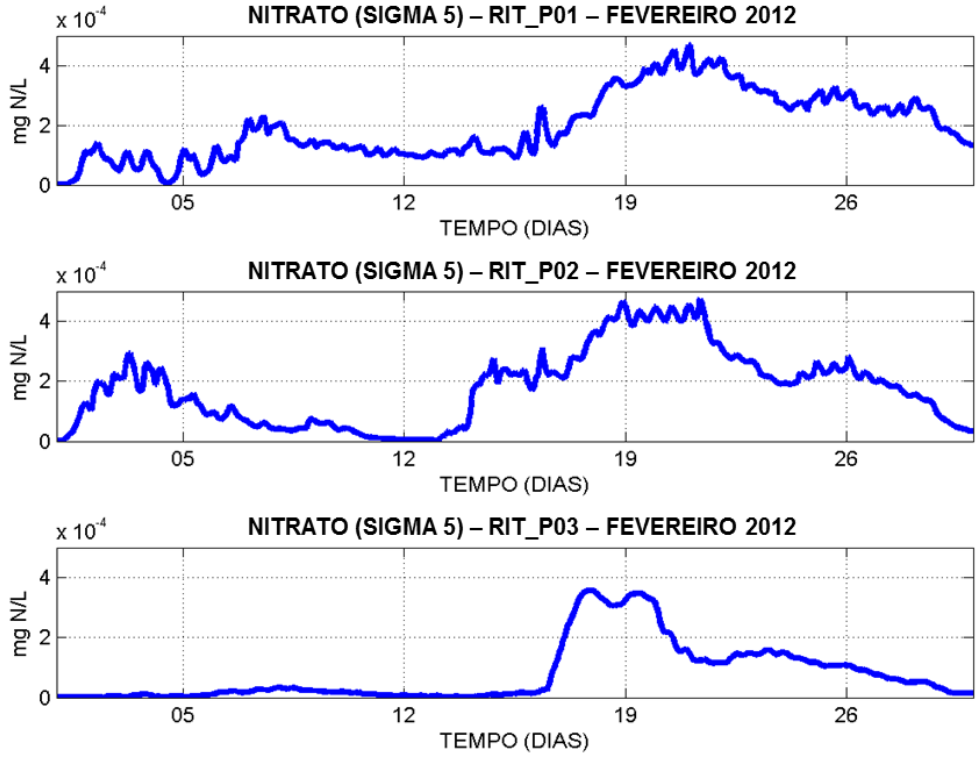

Figura 137 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

Tabela 52 – Estatísticas de nitrato no fundo (mg N/L), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	3,44	0,21
PRG_P02	0	0,0008	0,0002	0,0002	0,0002	5,26	1,38
PRG_P03	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	3,14	0,47
PRG_P04	0	0,0008	0,0003	0,0002	0,0002	2,78	0,68
PRG_P05	0	0,0040	0,0006	0,0003	0,0008	8,31	2,38
PRG_P06	0	0,0019	0,0002	0,0002	0,0003	18,74	3,72
PRG_P07	0	0,0015	0,0002	0,0001	0,0003	3,88	1,29
PRG_P08	0	0,0016	0,0003	0,0002	0,0003	4,61	1,39
PRG_P09	0	0,0010	0,0002	0,0002	0,0002	5,88	1,50
PRG_P10	0	0,0026	0,0003	0,0001	0,0004	14,66	3,16
PRG_P11	0	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	4,54	1,31
PRG_P12	0	0,0006	0,0001	0	0,0001	5,62	2,01
PRG_P13	0	0,0018	0,0002	0,0001	0,0003	8,19	1,94
PRG_P14	0	0,0015	0,0001	0	0,0002	21,24	3,99
RIT_P01	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	2,16	0,43
RIT_P02	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	2,33	0,45
RIT_P03	0	0,0004	0,0001	0	0,0001	4,36	1,53
RIT_P04	0	0,0003	0,0001	0	0,0001	6,27	1,91
LDS_P01	0	0,0001	0	0	0	14,23	3,19
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

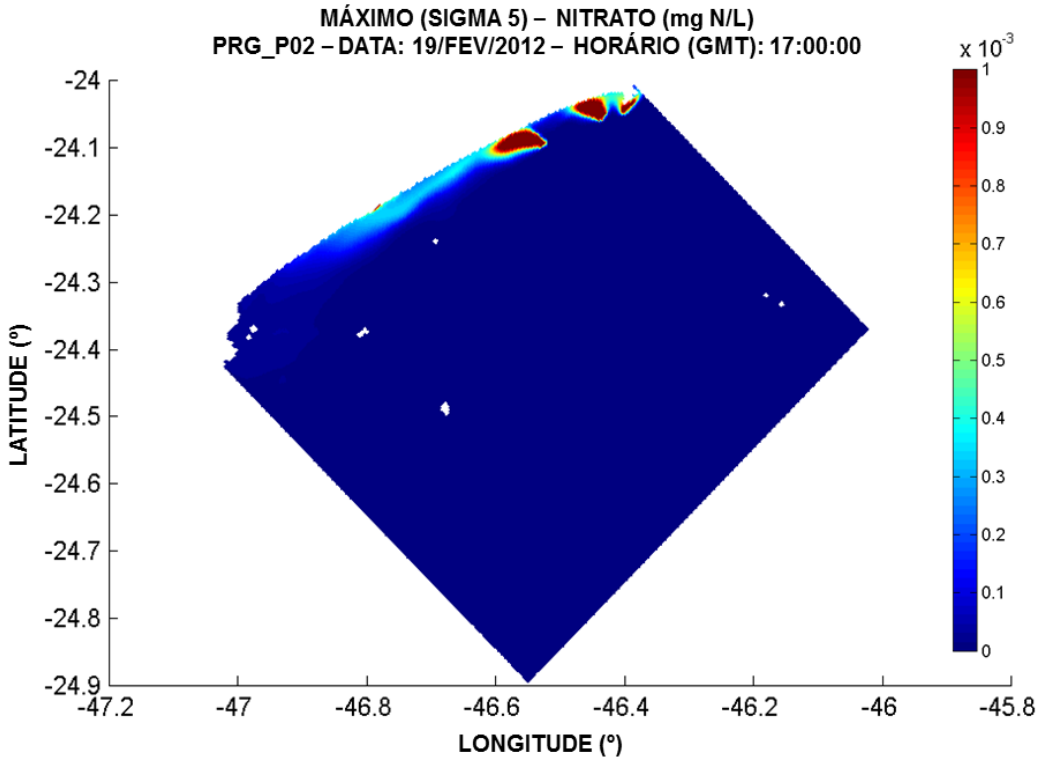

Figura 138 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

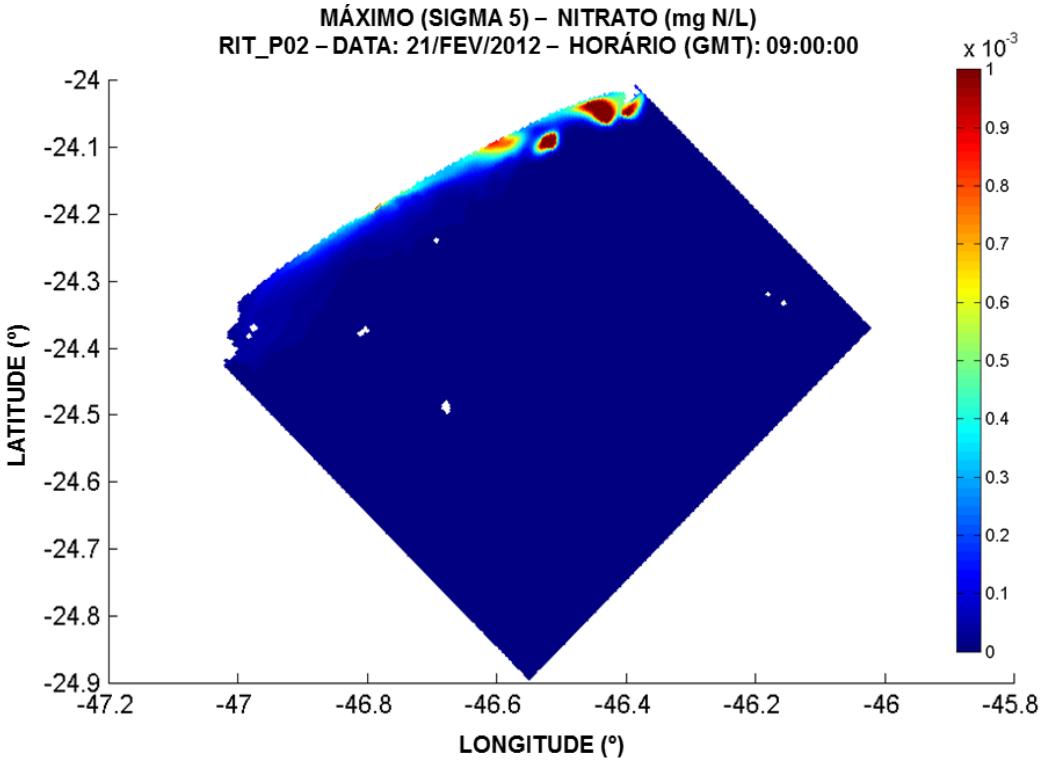

Figura 139 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.3.2. Agosto de 2012

6.5.3.2.1. Superfície

Séries temporais de nitrato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 140 a 143. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de nitrato, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 53. Por fim, mapas de distribuição das plumas de nitrato na superfície, no mês de inverno considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 144 e 145.

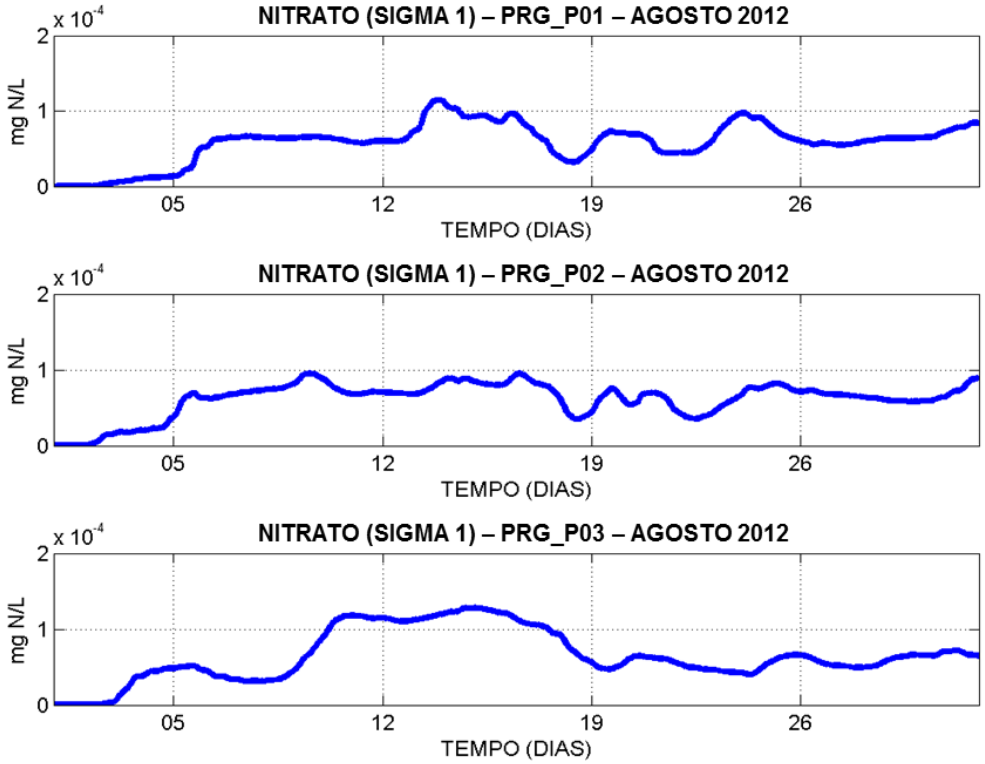

Figura 140 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

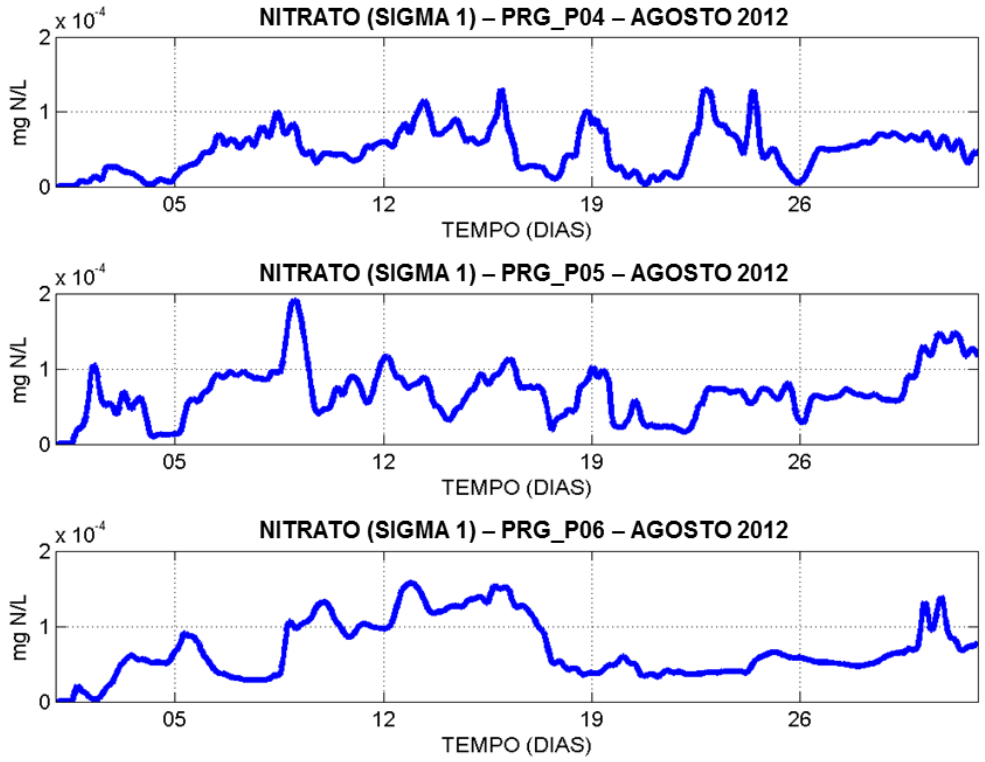

Figura 141 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

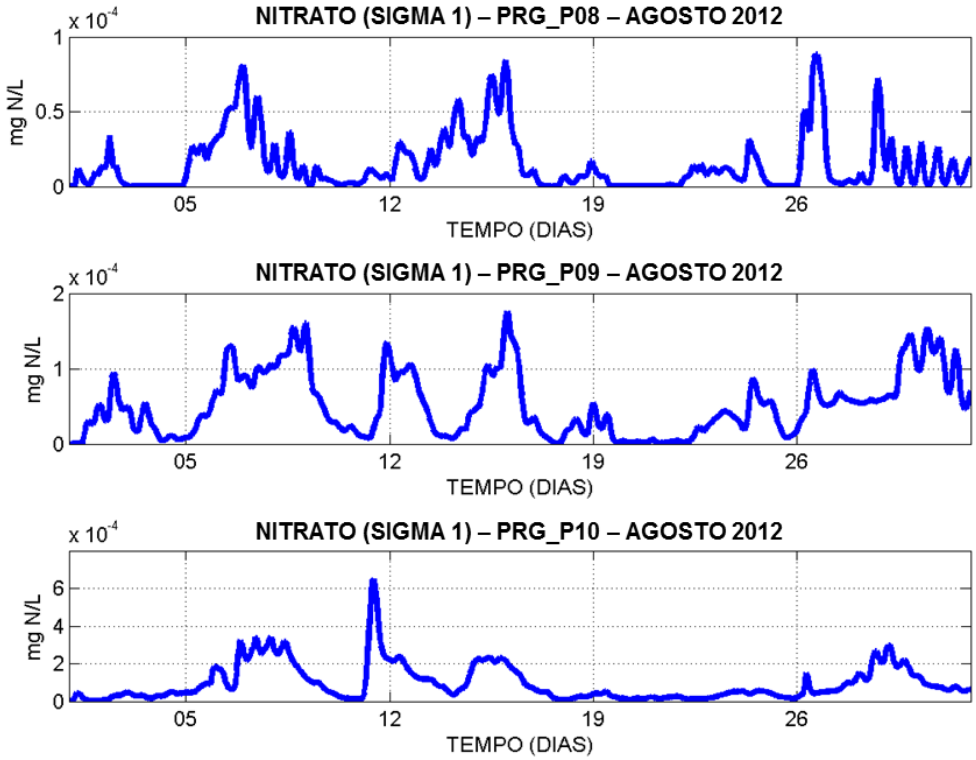

Figura 142 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

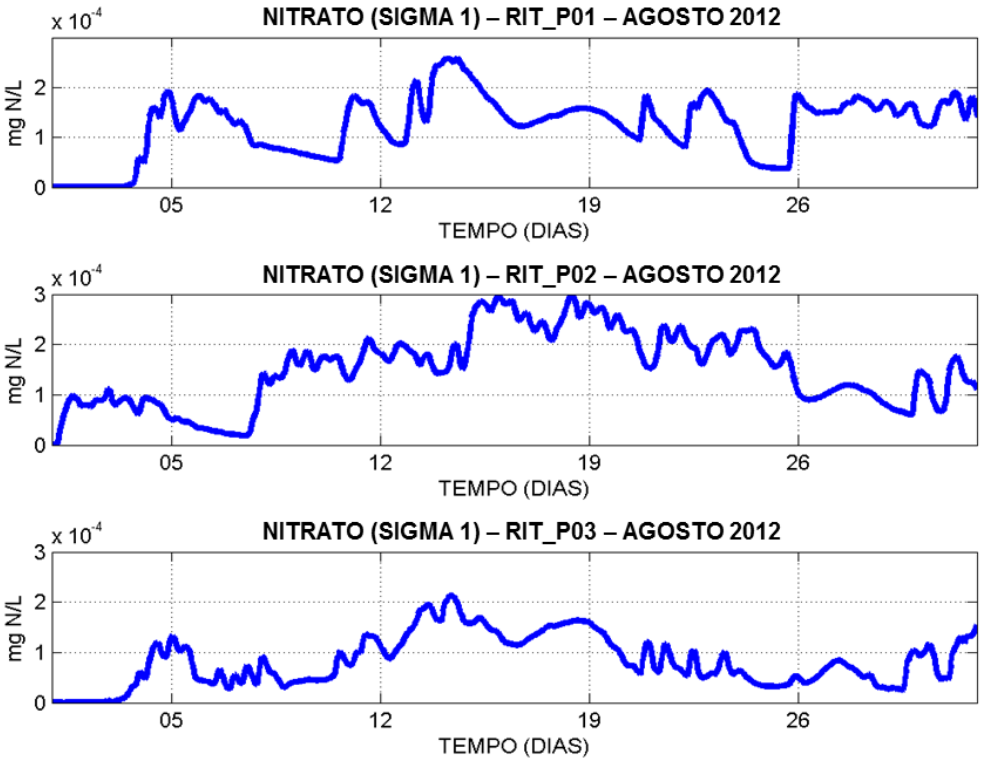

Figura 143 – Séries temporais de nitrato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 53 – Estatísticas de nitrato na superfície (mg N/L), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0001	0,0001	0,0001	0	3,11	-0,64
PRG_P02	0	0,0001	0,0001	0,0001	0	3,78	-1,19
PRG_P03	0	0,0001	0,0001	0,0001	0	2,39	0,26
PRG_P04	0	0,0001	0	0,0001	0	2,67	0,31
PRG_P05	0	0,0002	0,0001	0,0001	0	3,80	0,55
PRG_P06	0	0,0002	0,0001	0,0001	0	2,33	0,56
PRG_P07	0	0,0001	0	0	0	6,37	1,97
PRG_P08	0	0,0001	0	0	0	5,76	1,77
PRG_P09	0	0,0002	0,0001	0	0	2,59	0,75
PRG_P10	0	0,0006	0,0001	0,0001	0,0001	7,73	1,82
PRG_P11	0	0,0008	0,0001	0	0,0001	14,95	3,14
PRG_P12	0	0,0001	0	0	0	28,97	4,80
PRG_P13	0	0,0001	0	0	0	14,17	3,05
PRG_P14	0	0,0002	0	0	0	9,69	2,38
RIT_P01	0	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	2,78	-0,47
RIT_P02	0	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	2,10	0,03
RIT_P03	0	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	2,32	0,38
RIT_P04	0	0,0002	0,0001	0	0,0001	2,51	0,90
LDS_P01	0	0	0	0	0	-	-
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

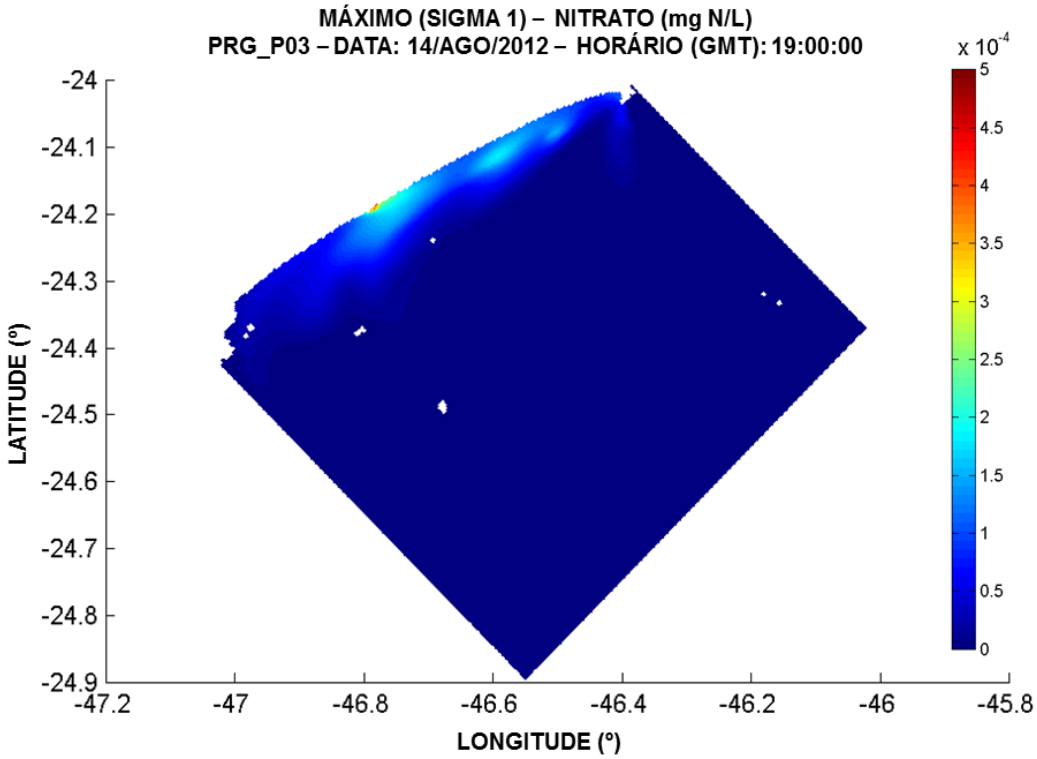

Figura 144 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

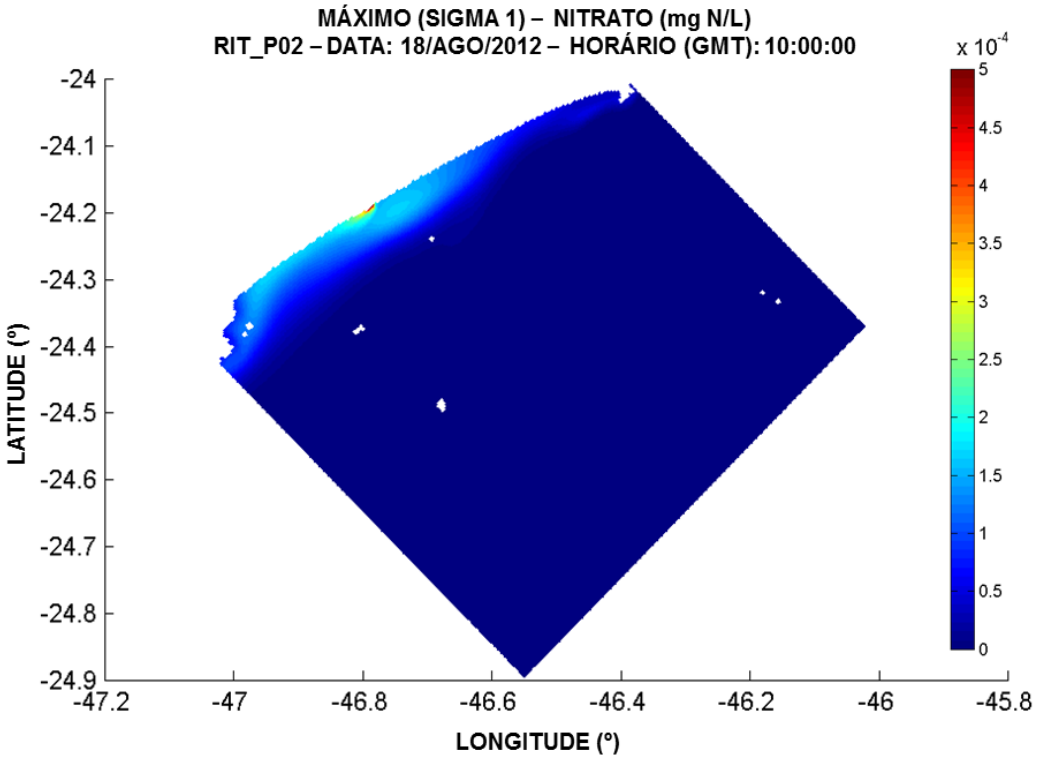

Figura 145 – Distribuição das plumas de nitrato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.5.3.2.2. Fundo

Séries temporais de nitrato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 146 a 149. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 54. Por fim, mapas de distribuição das plumas de nitrato no fundo, em toda a grade, no mês de inverno considerado, encontram-se nas Figuras 150 e 151.

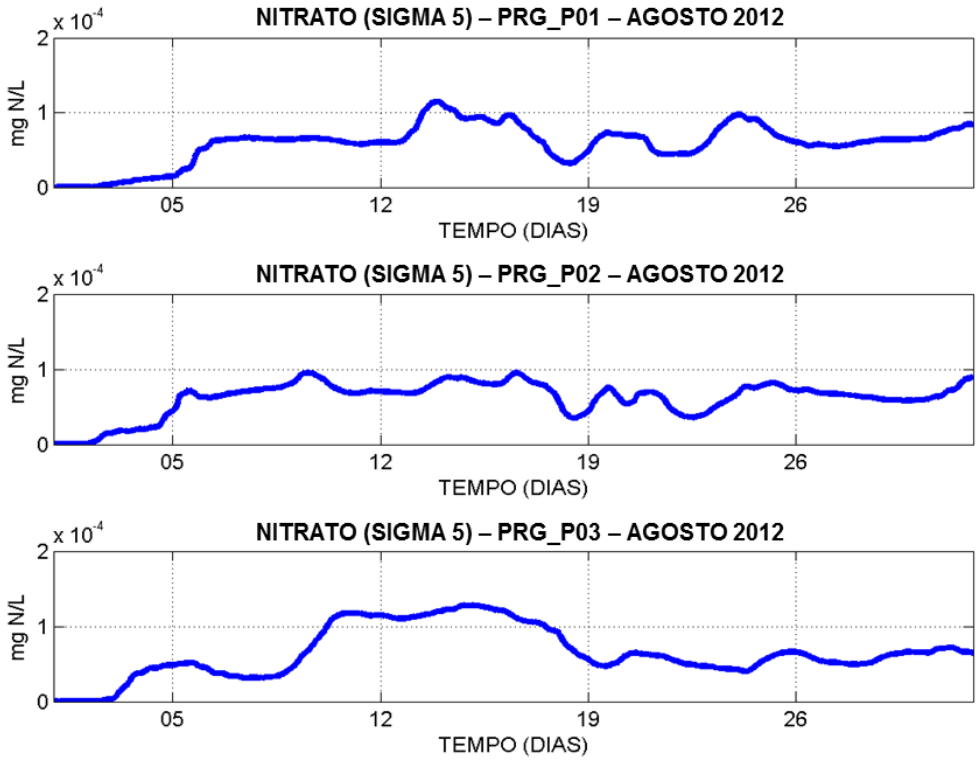

Figura 146 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

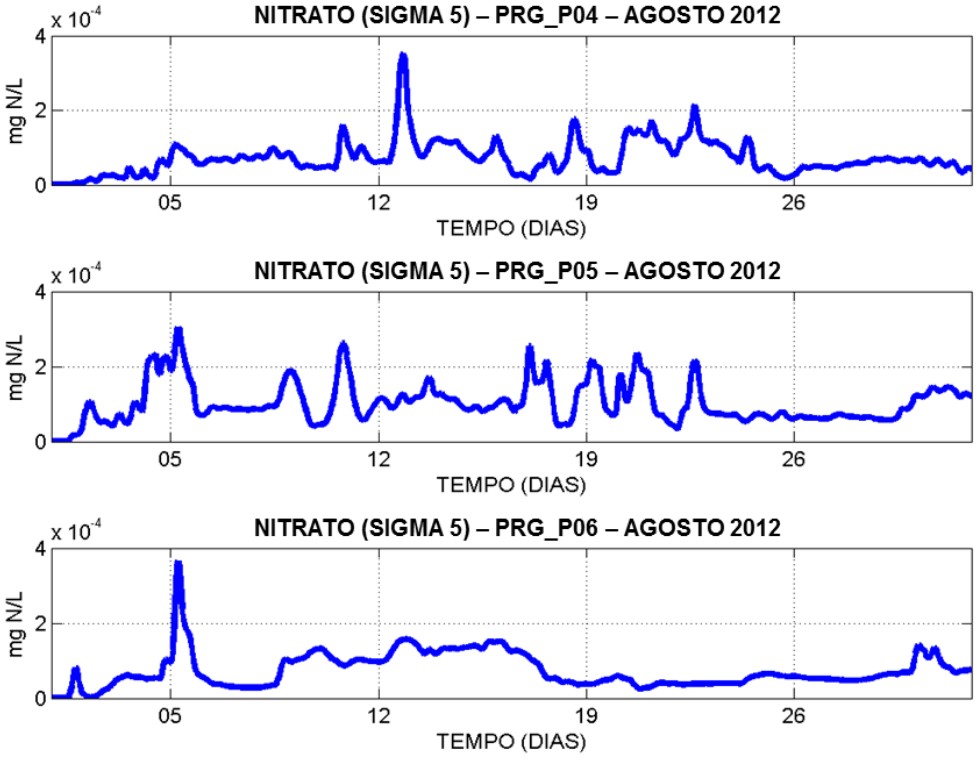

Figura 147 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

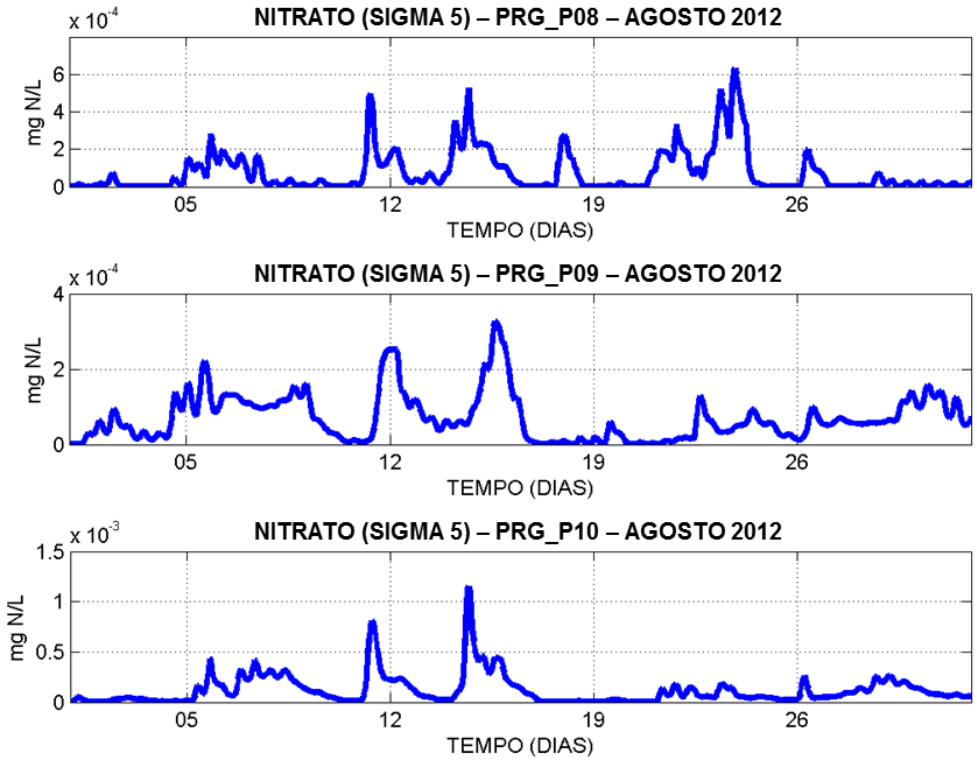

Figura 148 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

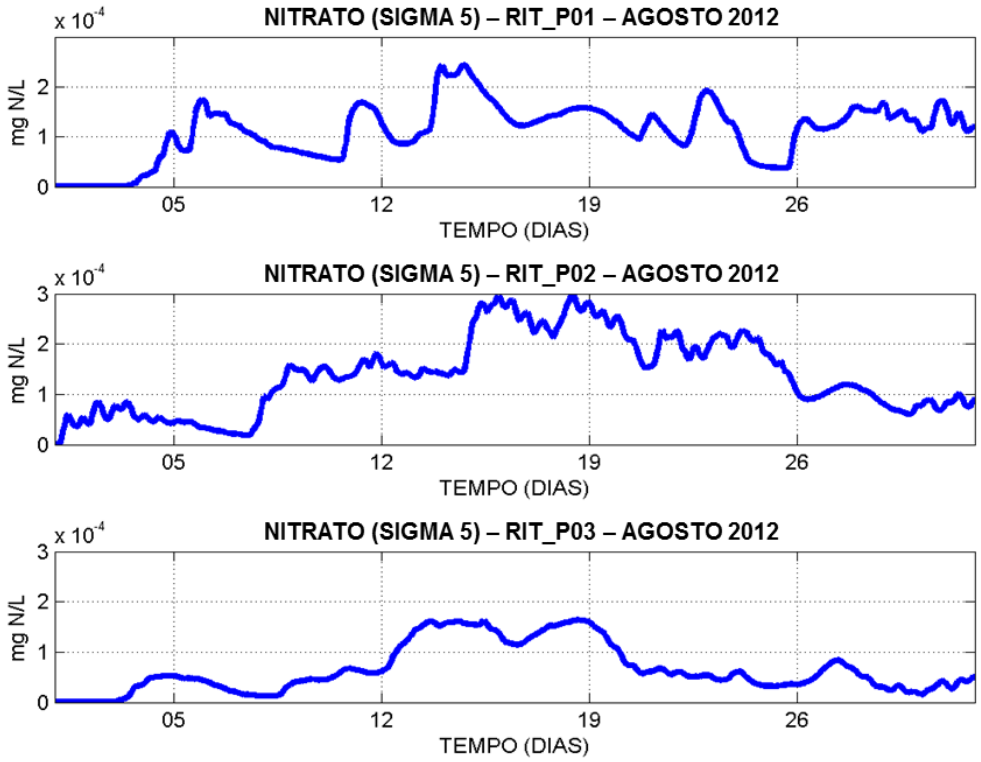

Figura 149 – Séries temporais de nitrato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 54 – Estatísticas de nitrato no fundo (mg N/L), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0001	0,0001	0,0001	0	3,12	-0,63
PRG_P02	0	0,0001	0,0001	0,0001	0	3,88	-1,21
PRG_P03	0	0,0001	0,0001	0,0001	0	2,39	0,26
PRG_P04	0	0,0004	0,0001	0,0001	0	10,28	1,85
PRG_P05	0	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	3,84	0,99
PRG_P06	0	0,0004	0,0001	0,0001	0	8,82	1,62
PRG_P07	0	0,0004	0	0	0,0001	6,29	1,67
PRG_P08	0	0,0006	0,0001	0	0,0001	8,05	2,14
PRG_P09	0	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	5,29	1,38
PRG_P10	0	0,0011	0,0001	0,0001	0,0001	15,64	2,92
PRG_P11	0	0,0005	0,0001	0	0,0001	10,36	2,69
PRG_P12	0	0,0002	0	0	0	15,71	3,51
PRG_P13	0	0,0004	0	0	0,0001	12,58	2,95
PRG_P14	0	0,0011	0,0001	0	0,0001	24,33	4,11
RIT_P01	0	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	2,81	-0,28
RIT_P02	0	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	2,04	0,27
RIT_P03	0	0,0002	0,0001	0,0001	0	2,41	0,79
RIT_P04	0	0,0002	0,0001	0	0	2,58	0,96
LDS_P01	0	0	0	0	0	-	-
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg N/L

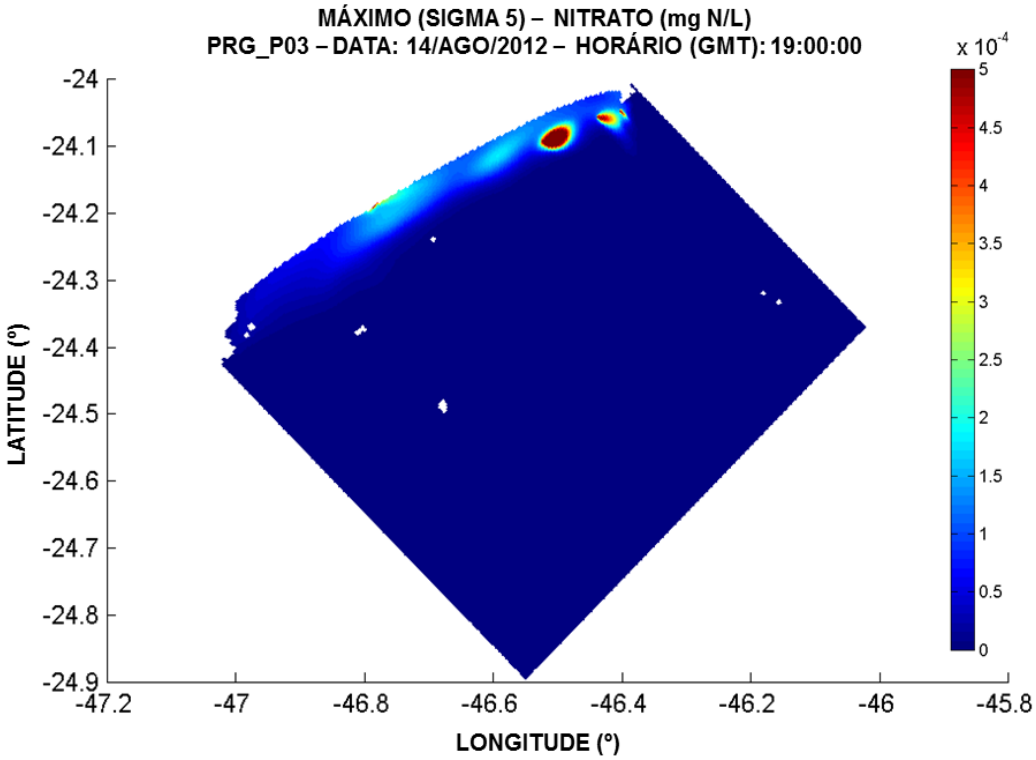

Figura 150 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

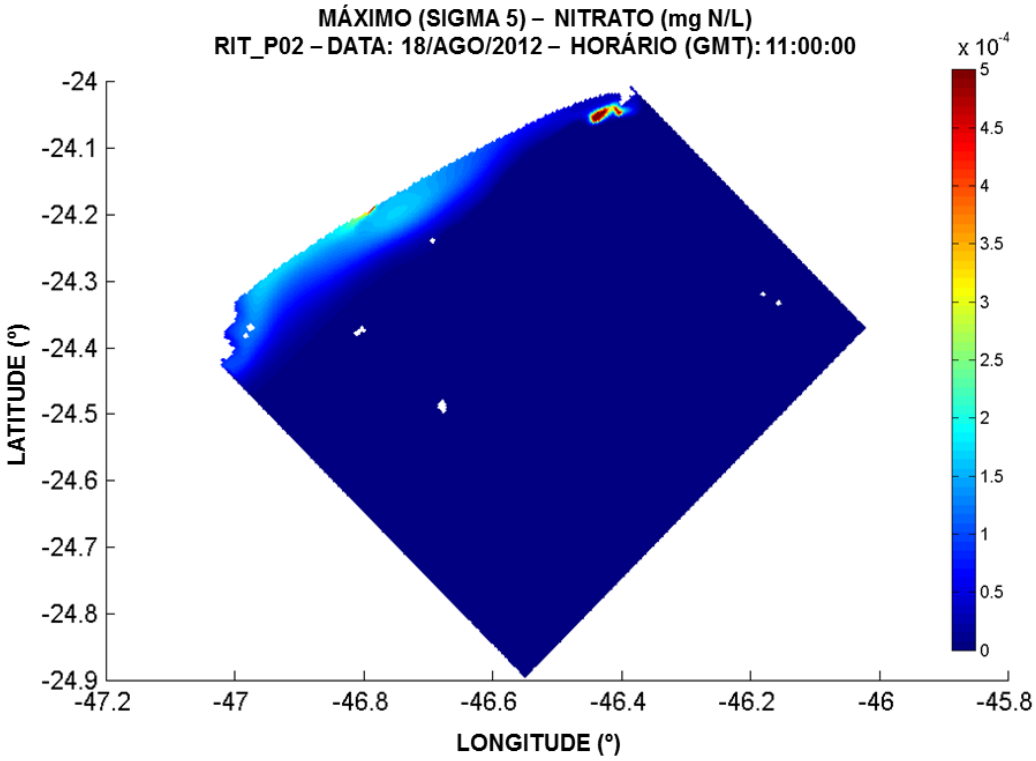

Figura 151 – Distribuição das plumas de nitrato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.5.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})

6.5.4.1. Fevereiro de 2012

6.5.4.1.1. Superfície

Séries temporais de fosfato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 152 a 155. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de fosfato, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 55. Por fim, mapas de distribuição das plumas de fosfato na superfície, no mês de verão considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 156 e 157.

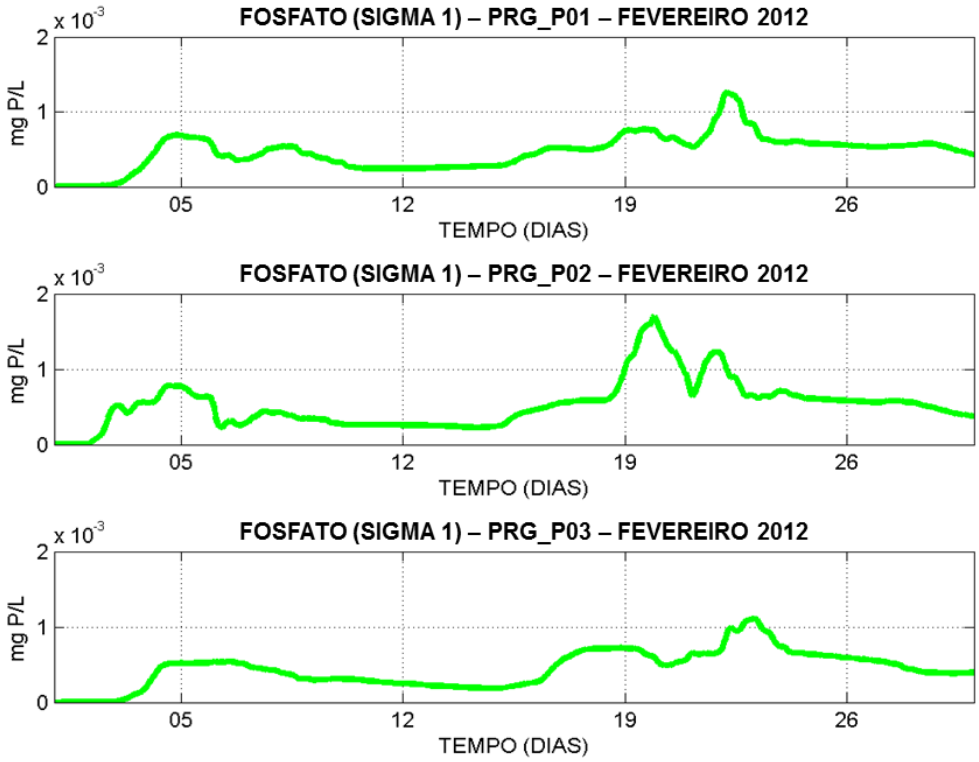

Figura 152 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

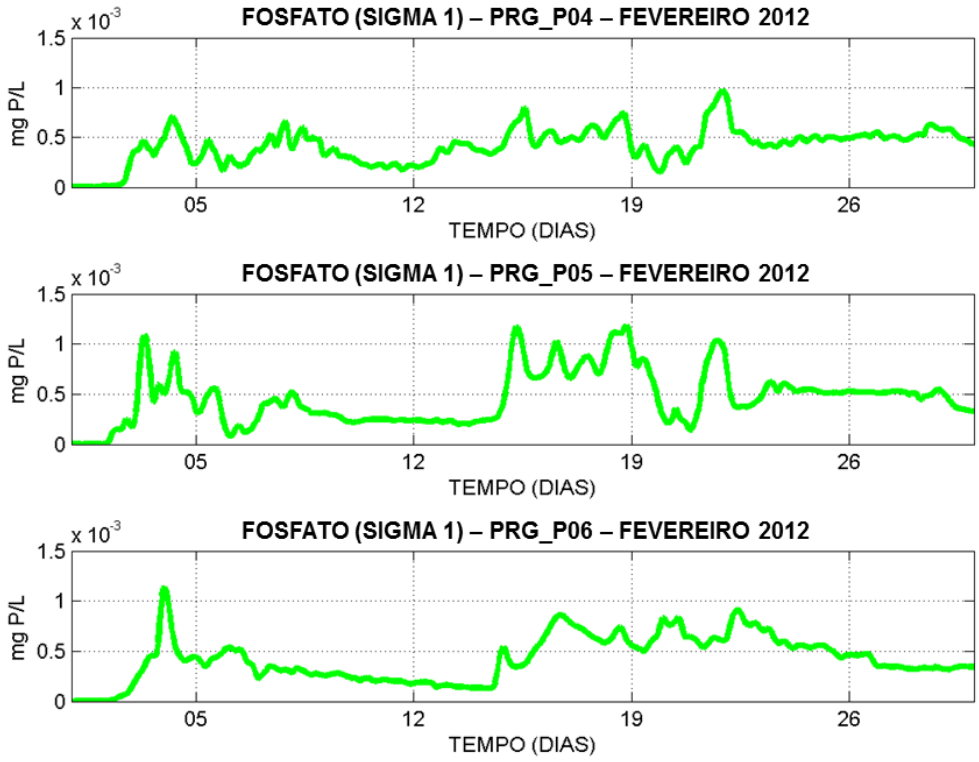

Figura 153 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

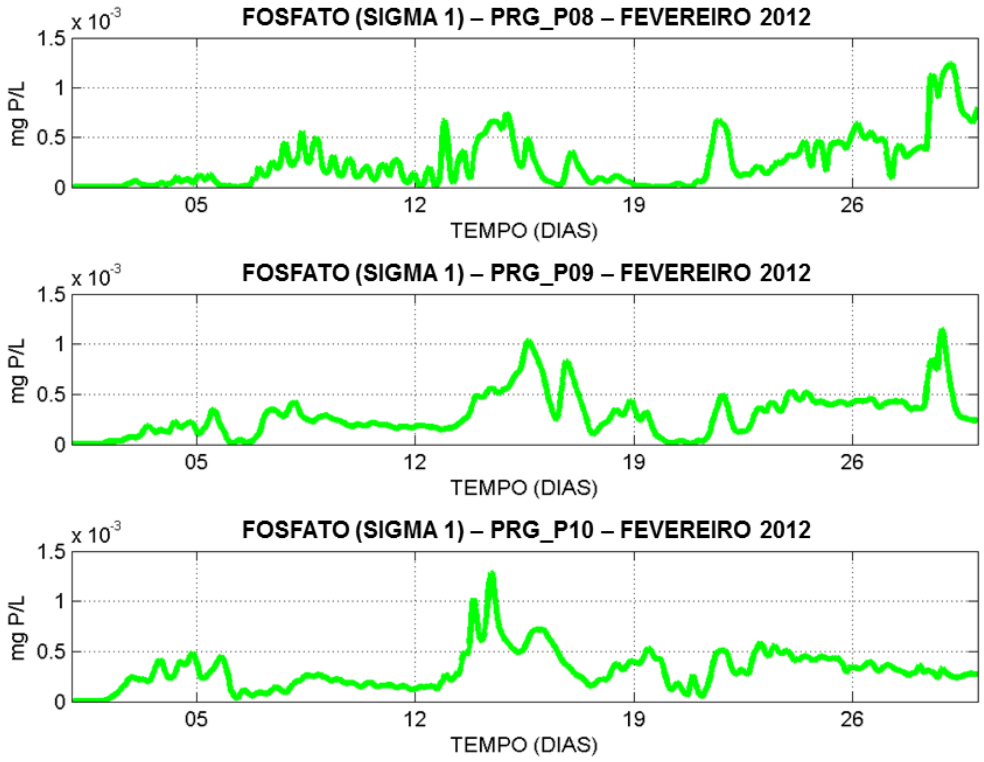

Figura 154 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

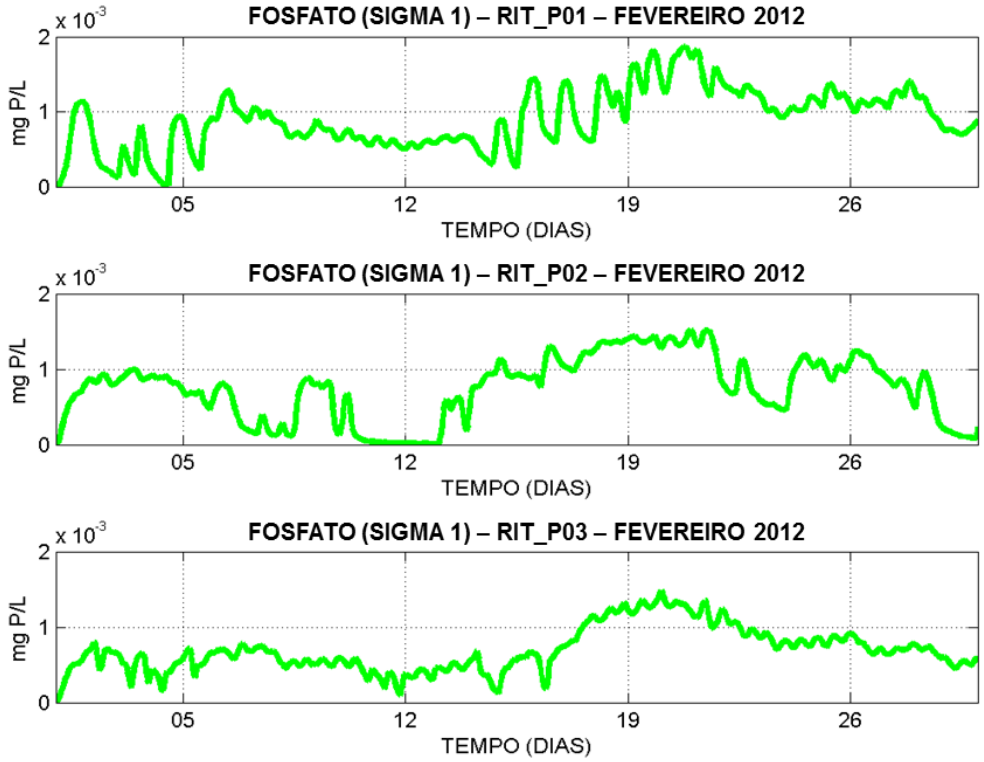

Figura 155 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

Tabela 55 – Estatísticas de fosfato na superfície (mg P/L), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0013	0,0005	0,0005	0,0002	4,15	0,29
PRG_P02	0	0,0017	0,0005	0,0005	0,0003	5,15	1,27
PRG_P03	0	0,0011	0,0004	0,0004	0,0002	2,94	0,24
PRG_P04	0	0,0010	0,0004	0,0004	0,0002	3,62	-0,17
PRG_P05	0	0,0012	0,0005	0,0004	0,0003	2,99	0,65
PRG_P06	0	0,0011	0,0004	0,0004	0,0002	2,55	0,26
PRG_P07	0	0,0009	0,0001	0	0,0002	5,53	1,92
PRG_P08	0	0,0012	0,0002	0,0002	0,0003	5,55	1,54
PRG_P09	0	0,0012	0,0003	0,0003	0,0002	4,55	1,10
PRG_P10	0	0,0013	0,0003	0,0003	0,0002	6,37	1,29
PRG_P11	0	0,0010	0,0002	0,0002	0,0002	6,91	1,70
PRG_P12	0	0,0010	0,0001	0	0,0002	10,18	2,84
PRG_P13	0	0,0008	0,0002	0,0001	0,0002	3,45	1,05
PRG_P14	0	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	2,67	0,78
RIT_P01	0	0,0019	0,0009	0,0009	0,0004	2,67	0,09
RIT_P02	0	0,0015	0,0007	0,0008	0,0004	2,08	-0,24
RIT_P03	0	0,0015	0,0007	0,0007	0,0003	2,85	0,57
RIT_P04	0	0,0009	0,0003	0,0002	0,0003	2,16	0,70
LDS_P01	0	0,0002	0	0	0	13,31	3,00
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg P/L

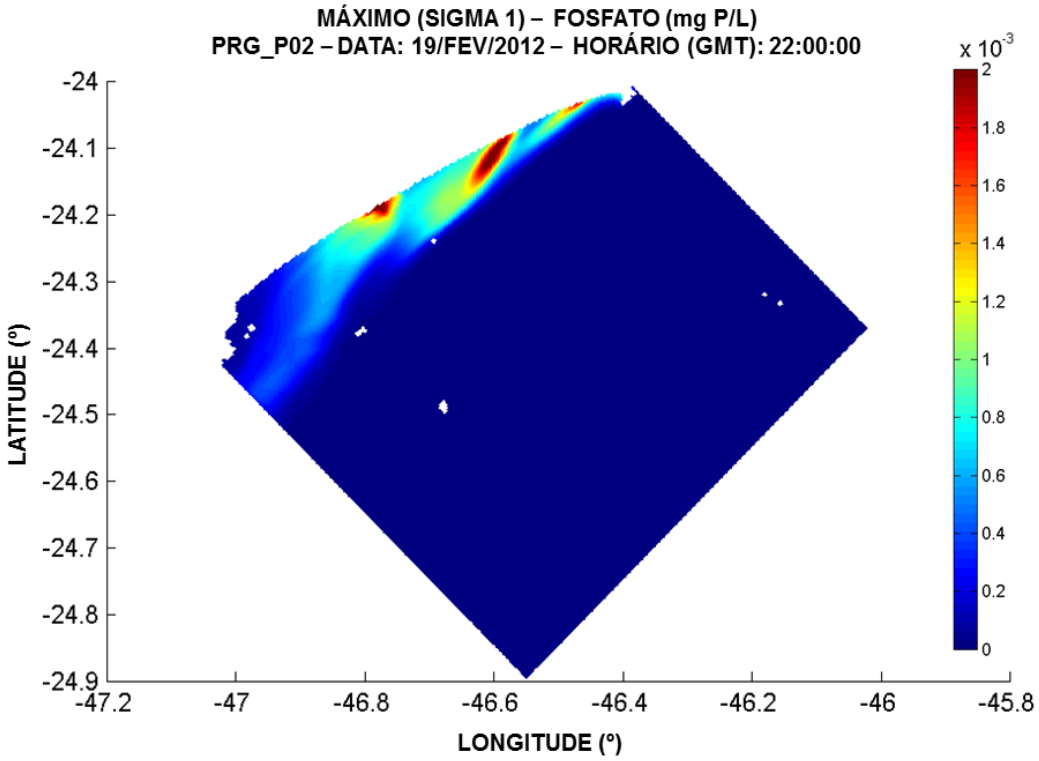

Figura 156 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

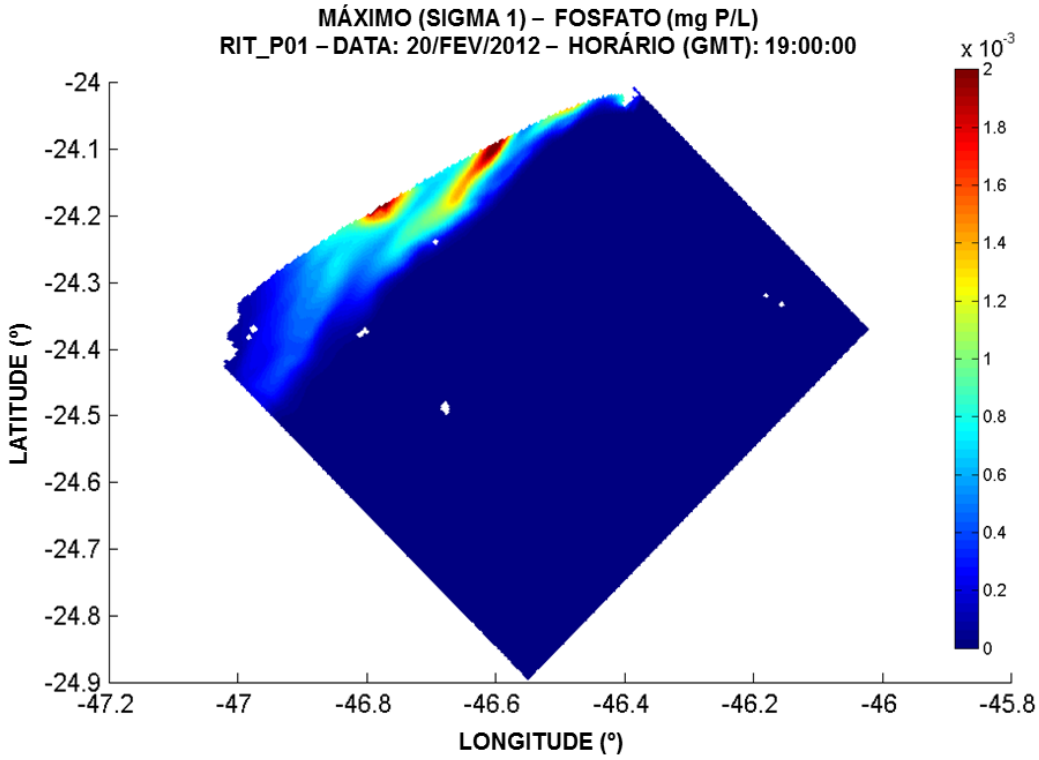

Figura 157 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.4.1.2. Fundo

Séries temporais de fosfato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em fevereiro de 2012, estão dispostas nas Figuras 158 a 161. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em fevereiro de 2012, encontram-se na Tabela 56. Por fim, mapas de distribuição das plumas de fosfato no fundo, em toda a grade, no mês de verão considerado, encontram-se nas Figuras 162 e 163.

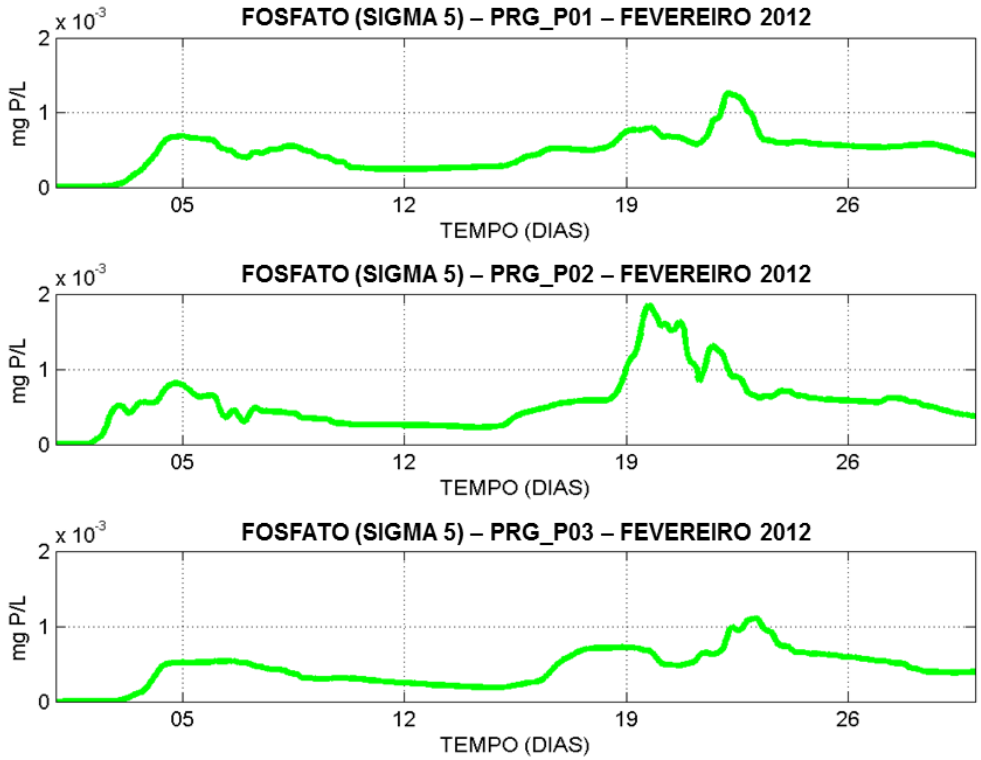

Figura 158 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

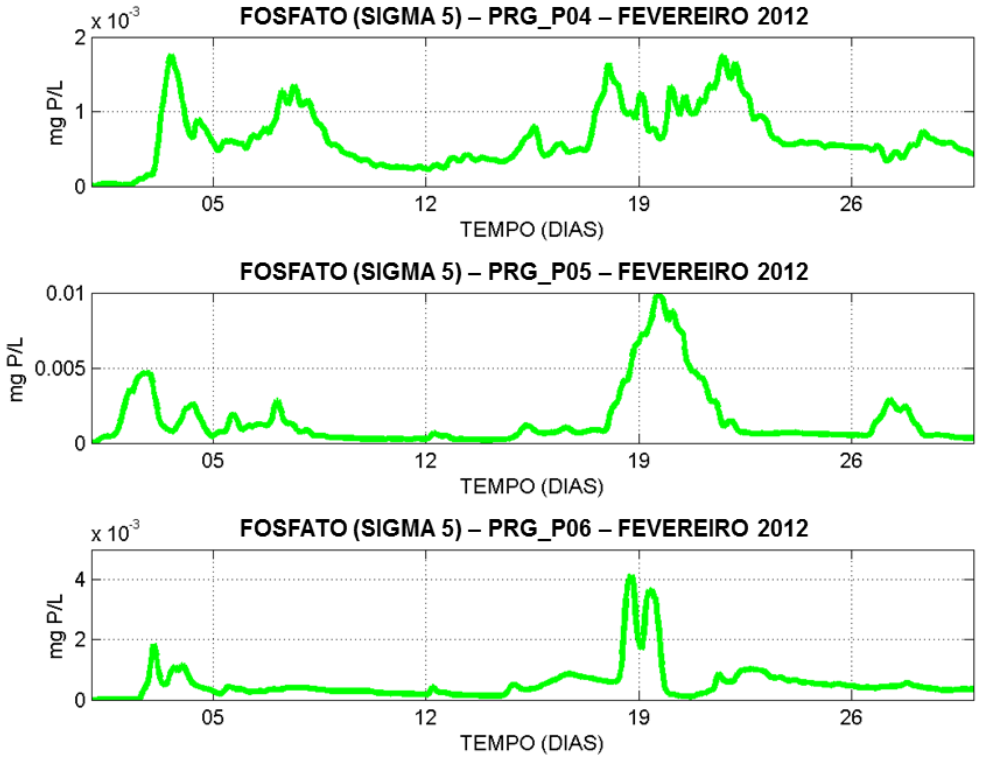

Figura 159 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

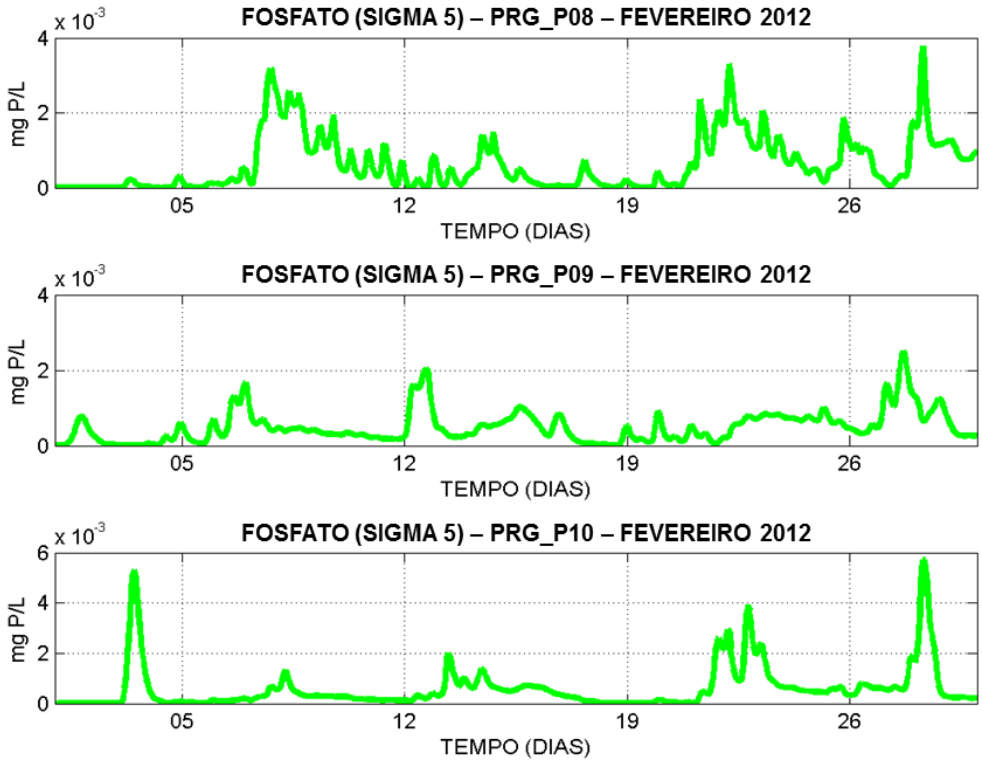

Figura 160 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

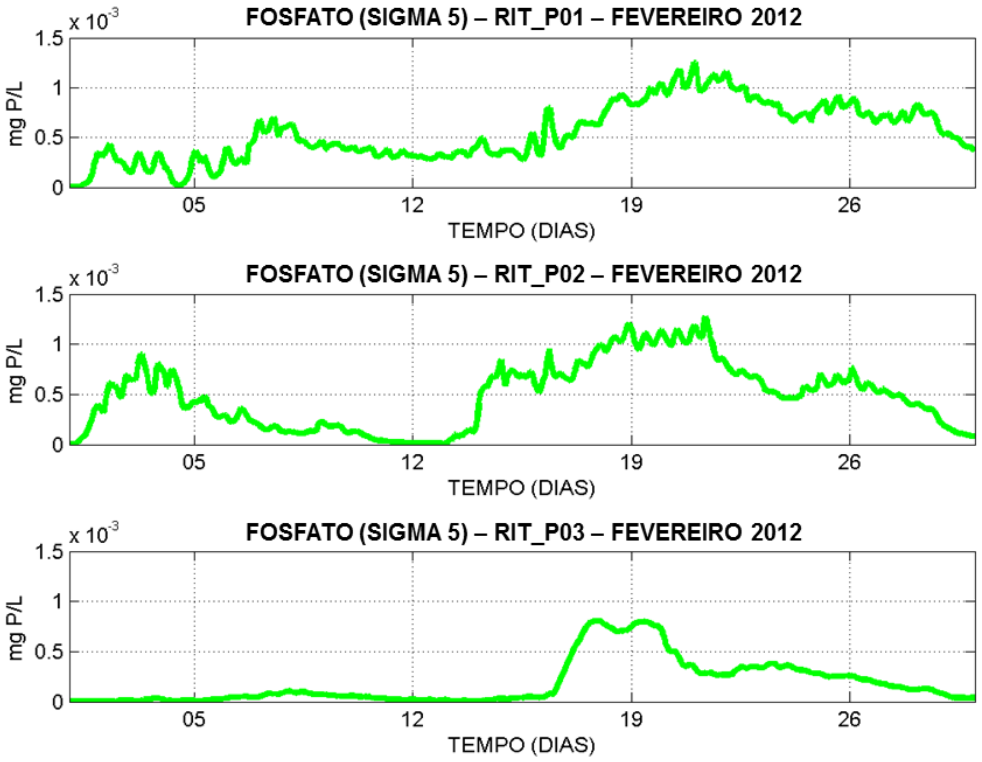

Figura 161 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de fevereiro de 2012.

Tabela 56 – Estatísticas de fosfato no fundo (mg P/L), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0013	0,0005	0,0005	0,0002	4,11	0,31
PRG_P02	0	0,0019	0,0006	0,0005	0,0004	5,67	1,50
PRG_P03	0	0,0011	0,0004	0,0004	0,0002	2,96	0,25
PRG_P04	0	0,0018	0,0006	0,0006	0,0004	3,12	0,76
PRG_P05	0	0,0098	0,0015	0,0007	0,0020	8,34	2,39
PRG_P06	0	0,0041	0,0005	0,0004	0,0006	18,55	3,67
PRG_P07	0	0,0028	0,0005	0,0001	0,0006	3,66	1,21
PRG_P08	0	0,0038	0,0006	0,0003	0,0007	4,72	1,43
PRG_P09	0	0,0025	0,0005	0,0004	0,0004	6,35	1,60
PRG_P10	0	0,0057	0,0006	0,0003	0,0009	14,50	3,13
PRG_P11	0	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	4,42	1,26
PRG_P12	0	0,0013	0,0002	0	0,0003	5,73	2,03
PRG_P13	0	0,0043	0,0005	0,0001	0,0007	8,54	1,99
PRG_P14	0	0,0033	0,0002	0,0001	0,0004	20,99	3,95
RIT_P01	0	0,0013	0,0005	0,0005	0,0003	2,18	0,26
RIT_P02	0	0,0013	0,0005	0,0005	0,0003	2,07	0,27
RIT_P03	0	0,0008	0,0002	0,0001	0,0002	4,25	1,49
RIT_P04	0	0,0007	0,0001	0,0001	0,0002	6,19	1,87
LDS_P01	0	0,0003	0	0	0	13,67	3,10
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg P/L

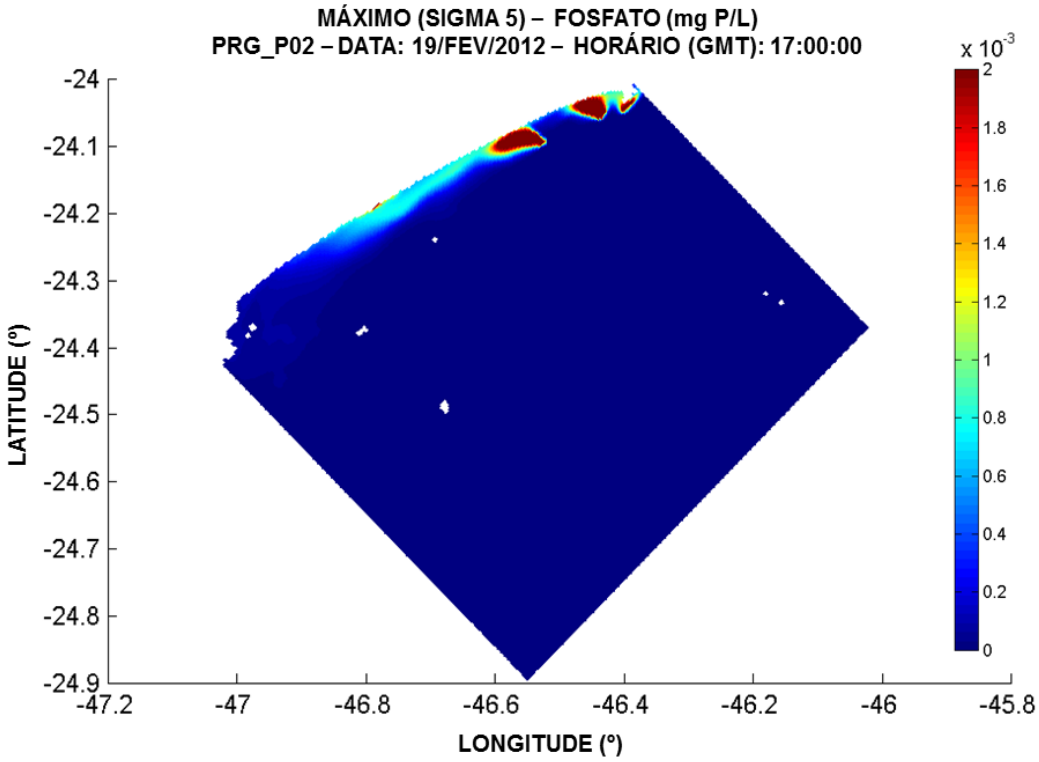

Figura 162 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em fevereiro de 2012.

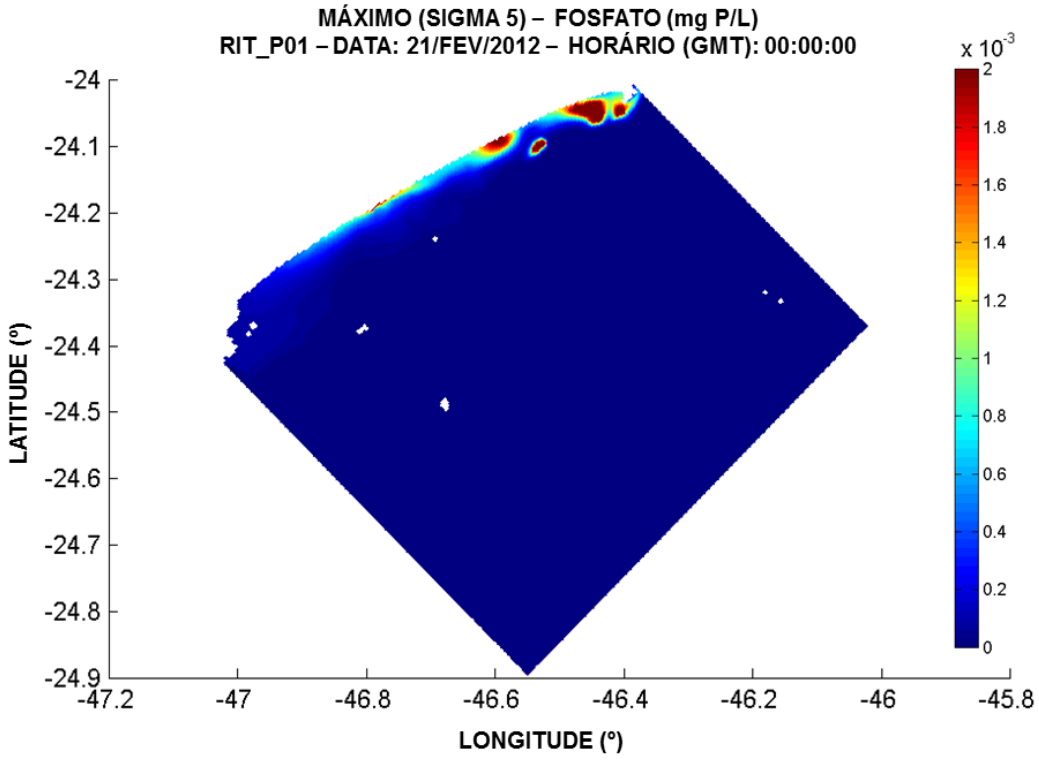

Figura 163 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em fevereiro de 2012.

6.5.4.2. Agosto de 2012

6.5.4.2.1. Superfície

Séries temporais de fosfato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na primeira camada Sigma, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 164 a 167. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas de fosfato, em todos os pontos de monitoramento da poluição, na camada de superfície, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 57. Por fim, mapas de distribuição das plumas de fosfato na superfície, no mês de inverno considerado, em toda a grade, encontram-se nas Figuras 168 e 169.

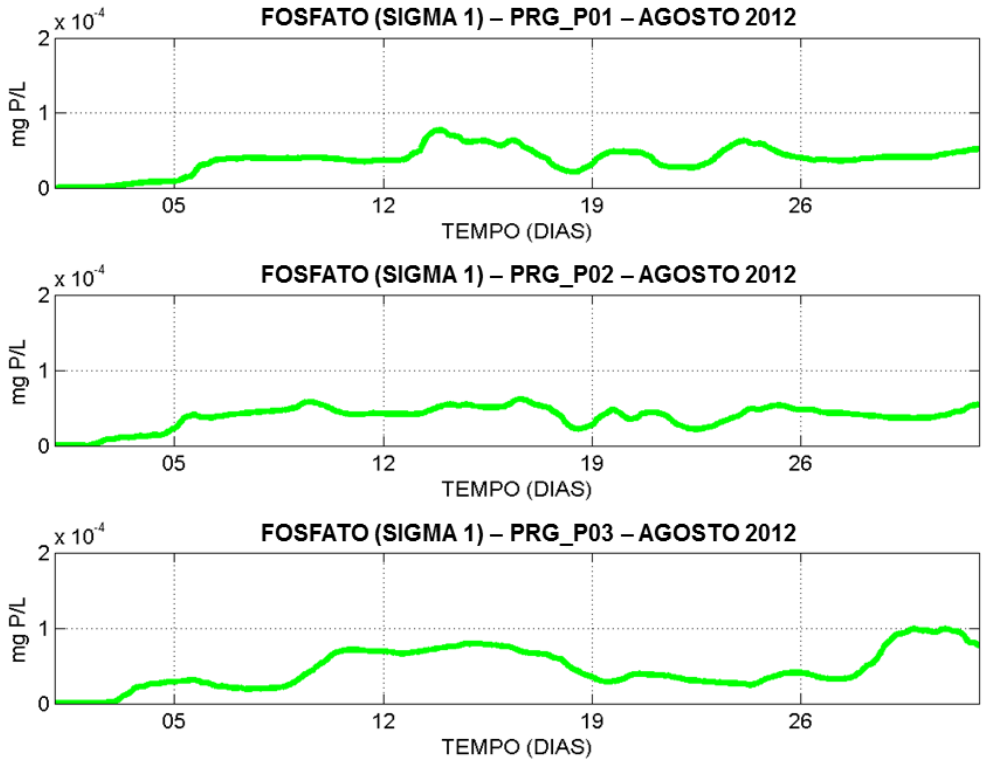

Figura 164 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

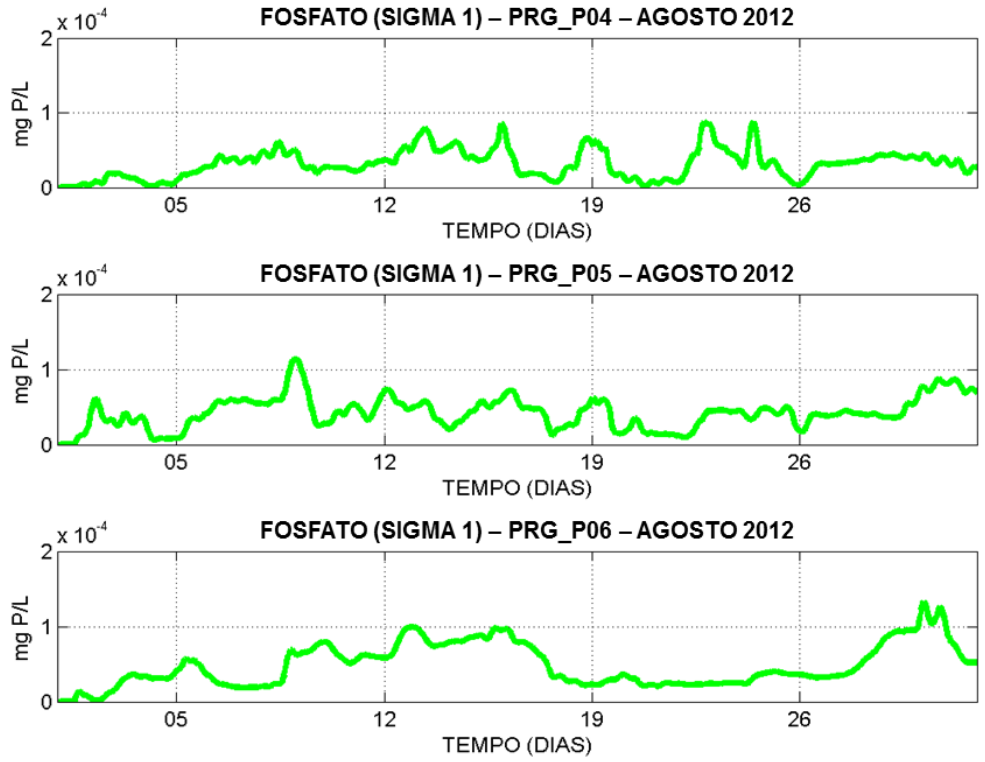

Figura 165 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

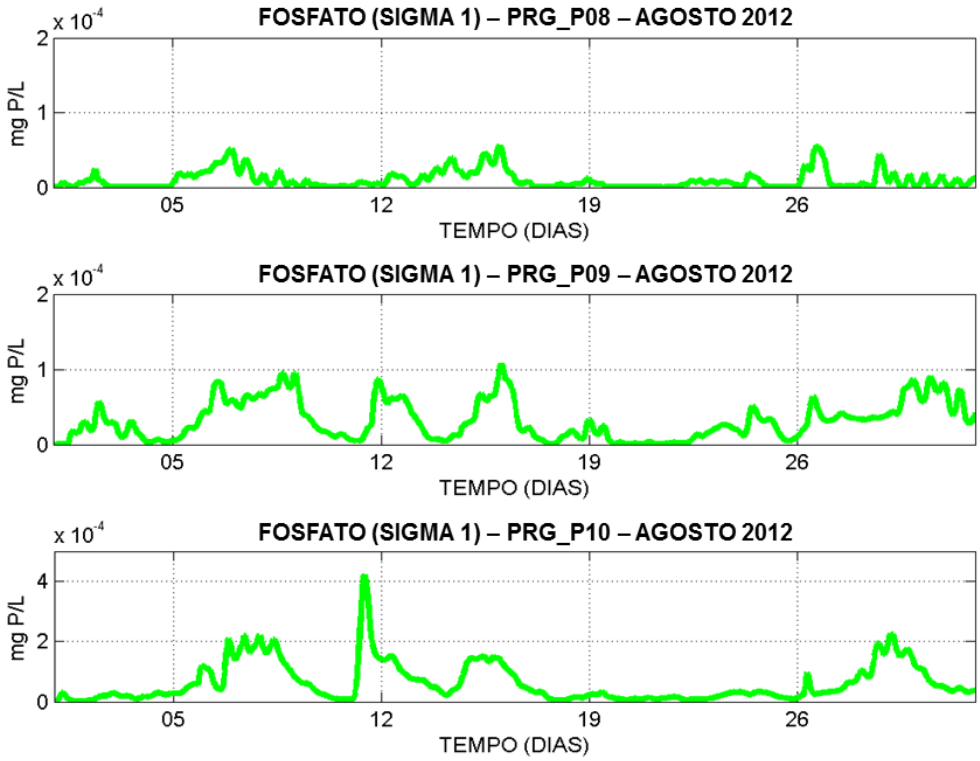

Figura 166 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

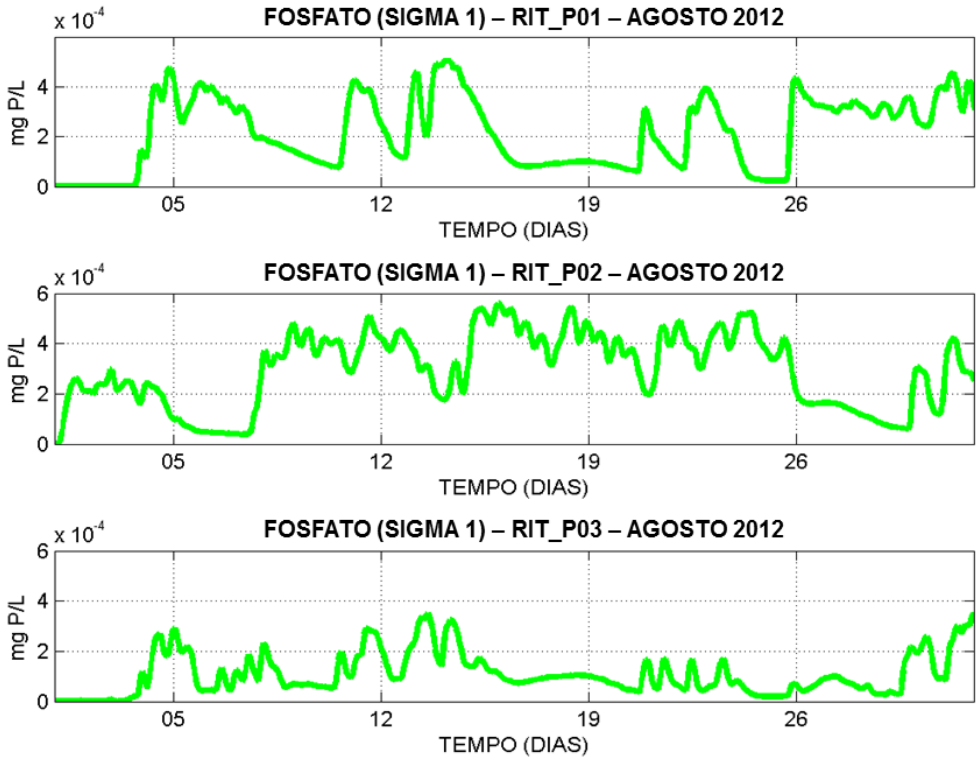

Figura 167 – Séries temporais de fosfato na superfície nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 57 – Estatísticas de fosfato na superfície (mg P/L), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0001	0	0	0	3,11	-0,46
PRG_P02	0	0,0001	0	0	0	3,70	-1,15
PRG_P03	0	0,0001	0	0	0	2,12	0,28
PRG_P04	0	0,0001	0	0	0	2,96	0,48
PRG_P05	0	0,0001	0	0	0	3,51	0,41
PRG_P06	0	0,0001	0	0	0	2,41	0,58
PRG_P07	0	0,0001	0	0	0	6,08	1,91
PRG_P08	0	0,0001	0	0	0	5,53	1,71
PRG_P09	0	0,0001	0	0	0	2,46	0,71
PRG_P10	0	0,0004	0,0001	0	0,0001	6,86	1,72
PRG_P11	0	0,0005	0,0001	0	0,0001	15,84	3,23
PRG_P12	0	0,0001	0	0	0	28,76	4,76
PRG_P13	0	0,0001	0	0	0	13,22	2,94
PRG_P14	0	0,0002	0	0	0	10,72	2,55
RIT_P01	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	1,75	0,07
RIT_P02	0	0,0006	0,0003	0,0003	0,0001	1,90	-0,23
RIT_P03	0	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	3,31	1,00
RIT_P04	0	0,0002	0	0	0	2,50	0,78
LDS_P01	0	0	0	0	0	-	-
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg P/L

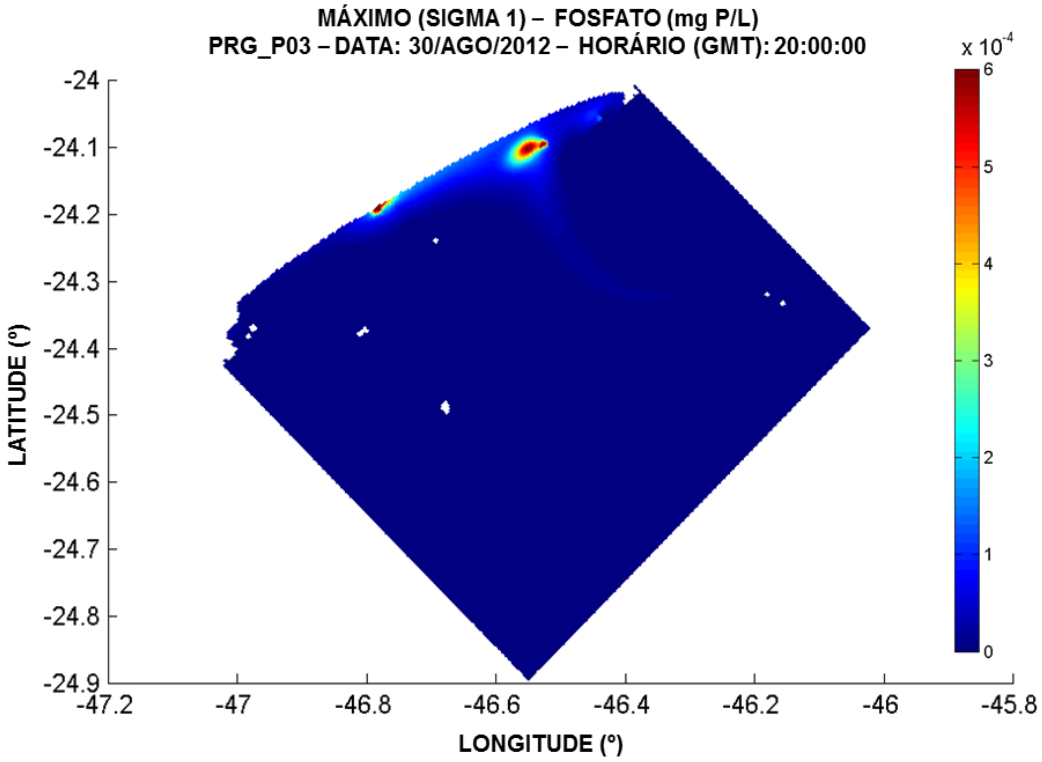

Figura 168 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

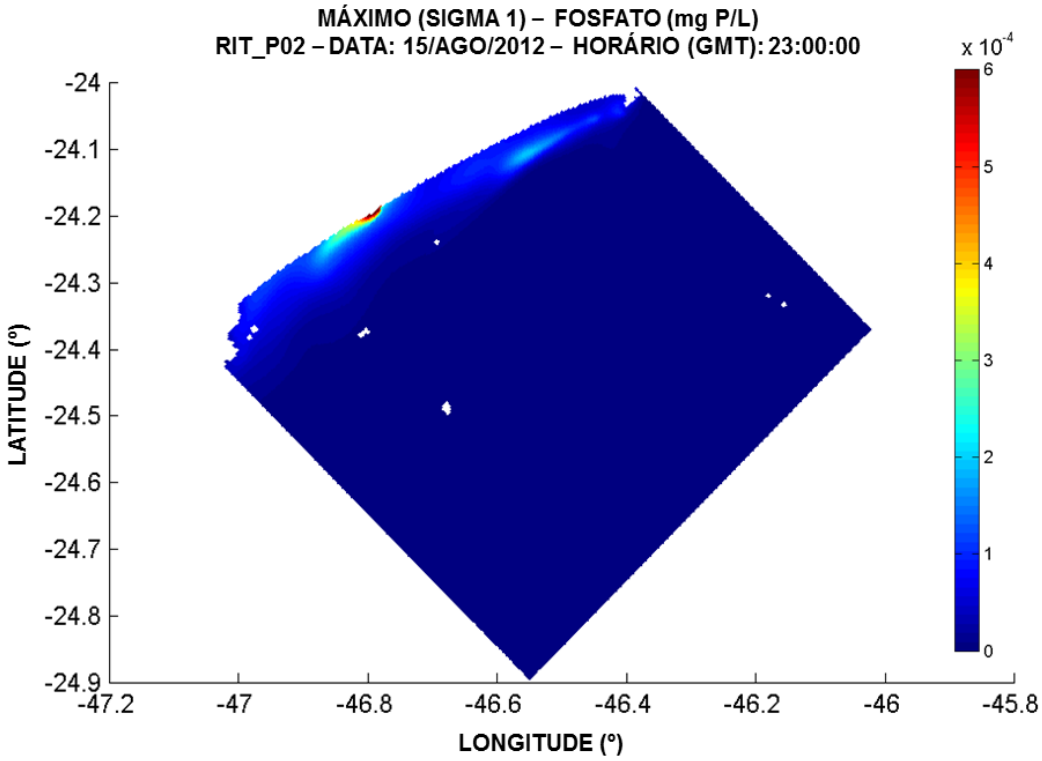

Figura 169 – Distribuição das plumas de fosfato na superfície no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.5.4.2.2. Fundo

Séries temporais de fosfato nos trios referentes aos pontos do grupo Praia Grande (P01, P02 e P03; P04, P05 e P06; e P08, P09 e P10) e aos pontos do grupo Rio Itanhaém (P01, P02 e P03), na camada do fundo, em agosto de 2012, estão dispostas nas Figuras 170 a 173. Resultados das estatísticas da modelagem de campo distante das plumas deste poluente, na quinta camada Sigma, em agosto de 2012, encontram-se na Tabela 58. Por fim, mapas de distribuição das plumas de fosfato no fundo, em toda a grade, no mês de inverno considerado, encontram-se nas Figuras 174 e 175.

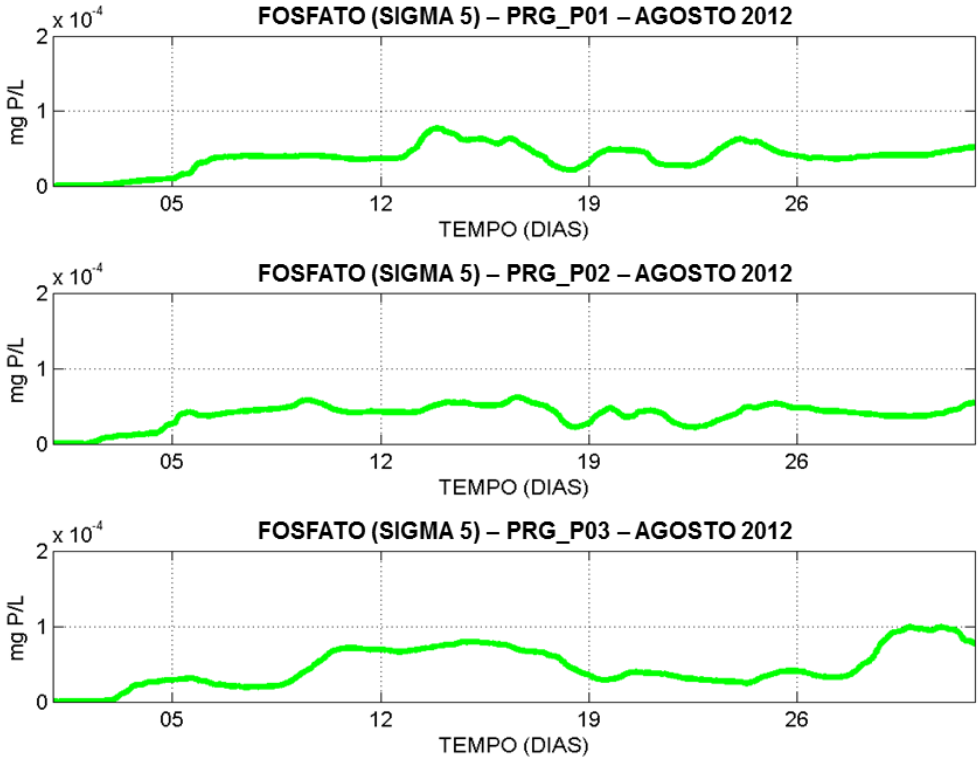

Figura 170 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_01, PRG_02 e PRG_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

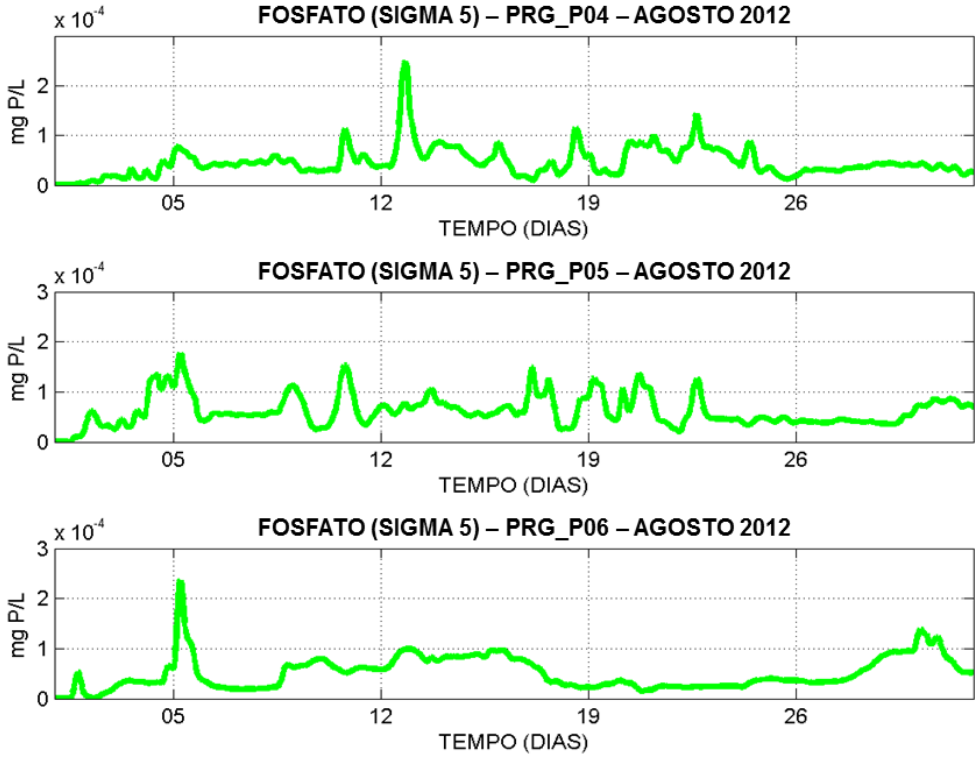

Figura 171 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_04, PRG_05 e PRG_06, correspondentes ao período de agosto de 2012.

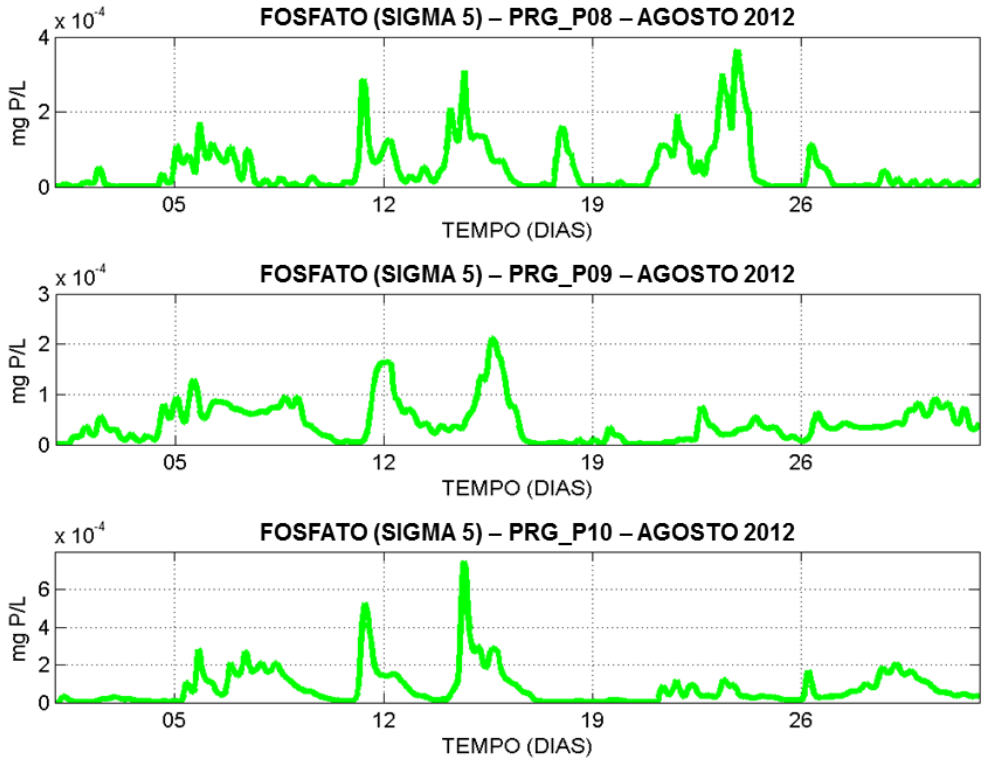

Figura 172 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos PRG_08, PRG_09 e PRG_10, correspondentes ao período de agosto de 2012.

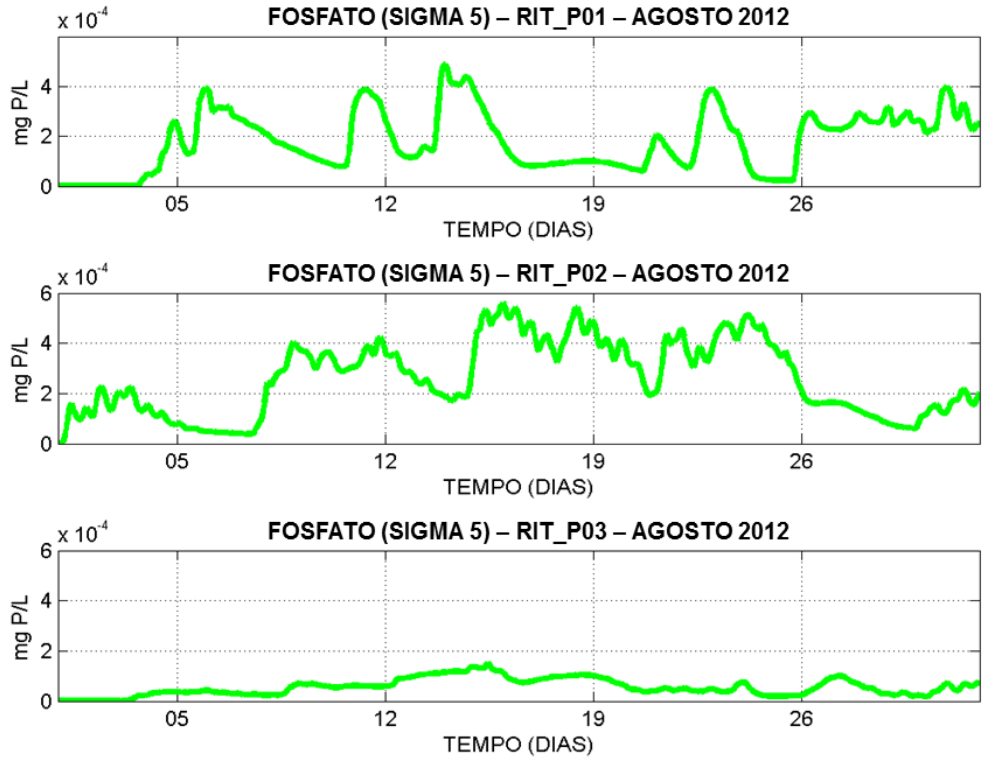

Figura 173 – Séries temporais de fosfato no fundo nos pontos RIT_01, RIT_02 e RIT_03, correspondentes ao período de agosto de 2012.

Tabela 58 – Estatísticas de fosfato no fundo (mg P/L), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (*)	Máx. (*)	Média (*)	Mediana (*)	Des. Pad. (*)	Curtose	Assimetria
PRG_P01	0	0,0001	0	0	0	3,12	-0,46
PRG_P02	0	0,0001	0	0	0	3,80	-1,17
PRG_P03	0	0,0001	0	0	0	2,12	0,28
PRG_P04	0	0,0002	0	0	0	13,24	2,26
PRG_P05	0	0,0002	0,0001	0,0001	0	3,76	0,89
PRG_P06	0	0,0002	0,0001	0	0	6,37	1,28
PRG_P07	0	0,0003	0	0	0	6,47	1,71
PRG_P08	0	0,0004	0	0	0,0001	7,69	2,05
PRG_P09	0	0,0002	0	0	0	5,92	1,52
PRG_P10	0	0,0007	0,0001	0	0,0001	14,76	2,79
PRG_P11	0	0,0004	0	0	0,0001	10,65	2,71
PRG_P12	0	0,0001	0	0	0	17,39	3,66
PRG_P13	0	0,0002	0	0	0	11,83	2,85
PRG_P14	0	0,0007	0	0	0,0001	23,40	3,99
RIT_P01	0	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	2,15	0,29
RIT_P02	0	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	1,79	0,14
RIT_P03	0	0,0002	0,0001	0	0	2,49	0,45
RIT_P04	0	0,0001	0	0	0	2,54	0,89
LDS_P01	0	0	0	0	0	-	-
LDS_P02	0	0	0	0	0	-	-

* mg P/L

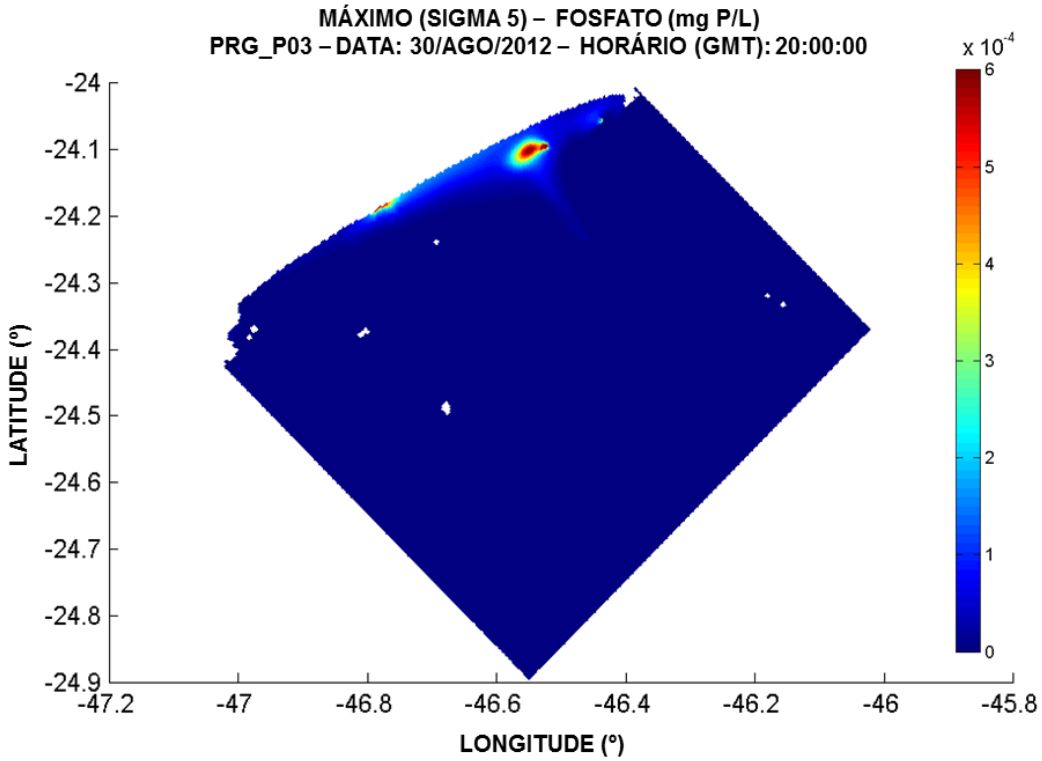

Figura 174 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Praia Grande, em agosto de 2012.

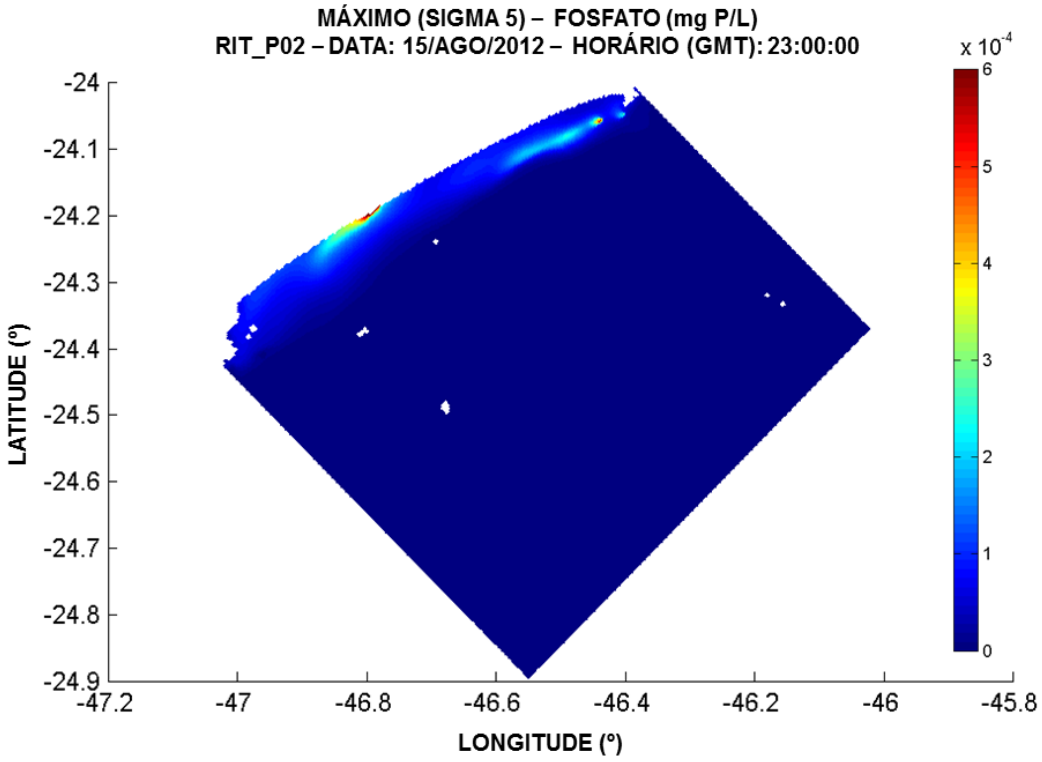

Figura 175 – Distribuição das plumas de fosfato no fundo no período do valor máximo no trio P01, P02 e P03 do grupo Rio Itanhaém, em agosto de 2012.

6.6. Validação do modelo de qualidade da água

Nesta seção serão apresentados os resultados do processo de validação do modelo de qualidade da água, para todos os poluentes considerados, para os dois meses de simulação.

6.6.1. *Coliformes fecais (E. coli)*

6.6.1.1. Fevereiro de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de *Escherichia coli* no D3D-WAQ, em fevereiro de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em fevereiro de 2006, encontram-se na Tabela 59.

Tabela 59 – Resultados da validação qualitativa de *E. coli*, em fevereiro de 2012.

FEV 2012	**FEV 2006**	**Médias (NMP/100mL)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	***E. coli***
PRG_P01	**SBP_P02**	29	30	10^1	10^1	**SIM**
PRG_P02	**SBP_P03**	63	87	10^1	10^1	**SIM**
PRG_P03	**SBP_P04**	7	222	10^0	10^2	**NÃO**

6.6.1.2. Agosto de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de *Escherichia coli* no D3D-WAQ, em agosto de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em julho de 2005, encontram-se na Tabela 60.

Tabela 60 – Resultados da validação qualitativa de *E. coli*, em agosto de 2012.

AGO 2012	**JUL 2005**	**Máximos (NMP/100mL)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	***E. coli***
PRG_P01	**SBP_P02**	102	160	10^2	10^2	**SIM**
PRG_P02	**SBP_P03**	107	57	10^2	10^1	**NÃO**
PRG_P03	**SBP_P04**	43	93	10^1	10^1	**SIM**

6.6.2. *Amônio* (NH_4^+)

6.6.2.1. Fevereiro de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de amônio no D3D-WAQ, em fevereiro de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em fevereiro de 2006, encontram-se na Tabela 61.

Tabela 61 – Resultados da validação qualitativa de amônio, em fevereiro de 2012.

FEV 2012	**FEV 2006**	**Máximos (mg N/L)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**NH_4^+**
PRG_P04	**SBP_M13**	0,0022	< 0,01	10^{-3}	$< 10^{-2}$	**SIM**
PRG_P05	**SBP_M29**	0,0027	< 0,01	10^{-3}	$< 10^{-2}$	**SIM**
PRG_P06	**SBP_M44**	0,0028	0,06	10^{-3}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P12	**SBP_M11**	0,0020	< 0,01	10^{-3}	$< 10^{-2}$	**SIM**
PRG_P13	**SBP_M26**	0,0018	< 0,01	10^{-3}	$< 10^{-2}$	**SIM**
PRG_P14	**SBP_M41**	0,0005	0,06	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**

6.6.2.2. Agosto de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de amônio no D3D-WAQ, em agosto de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em julho de 2005, encontram-se na Tabela 62.

Tabela 62 – Resultados da validação qualitativa de amônio, em agosto de 2012.

AGO 2012	**JUL 2005**	**Máximos (mg N/L)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**NH_4^+**
PRG_P04	**SBP_M13**	0,0007	0,04	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P05	**SBP_M29**	0,0010	< 0,01	10^{-3}	$< 10^{-2}$	**SIM**
PRG_P06	**SBP_M44**	0,0008	< 0,01	10^{-4}	$< 10^{-2}$	**SIM**
PRG_P12	**SBP_M11**	0,0005	0,04	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P13	**SBP_M26**	0,0006	0,05	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P14	**SBP_M41**	0,0010	< 0,01	10^{-3}	$< 10^{-2}$	**SIM**

6.6.3. *Nitrato* (NO_3^-)

6.6.3.1. Fevereiro de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de nitrato no D3D-WAQ, em fevereiro de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em fevereiro de 2006, encontram-se na Tabela 63.

Tabela 63 – Resultados da validação qualitativa de nitrato, em fevereiro de 2012.

FEV 2012	**FEV 2006**	**Máximos (mg N/L)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**NO_3^-**
PRG_P04	**SBP_M13**	0,0004	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**
PRG_P05	**SBP_M29**	0,0005	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**
PRG_P06	**SBP_M44**	0,0005	0,20	10^{-4}	10^{-1}	**NÃO**
PRG_P12	**SBP_M11**	0,0004	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**
PRG_P13	**SBP_M26**	0,0004	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**
PRG_P14	**SBP_M41**	0,0001	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**

6.6.3.2. Agosto de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de nitrato no D3D-WAQ, em agosto de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em julho de 2005, encontram-se na Tabela 64.

Tabela 64 – Resultados da validação qualitativa de nitrato, em agosto de 2012.

AGO 2012	**JUL 2005**	**Máximos (mg N/L)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**NO_3^-**
PRG_P04	**SBP_M13**	0,0001	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**
PRG_P05	**SBP_M29**	0,0002	0,181	10^{-4}	10^{-1}	**NÃO**
PRG_P06	**SBP_M44**	0,0002	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**
PRG_P12	**SBP_M11**	0,0001	0,068	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P13	**SBP_M26**	0,0001	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**
PRG_P14	**SBP_M41**	0,0002	< 0,40	10^{-4}	< 10^{-1}	**SIM**

6.6.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})

6.6.4.1. Fevereiro de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de fosfato no D3D-WAQ, em fevereiro de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em fevereiro de 2006, encontram-se na Tabela 65.

Tabela 65 – Resultados da validação qualitativa de fosfato, em fevereiro de 2012.

FEV 2012	**FEV 2006**	**Máximos (mg P/L)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**PO_4^{3-}**
PRG_P04	**SBP_M13**	0,0010	0,043	10^{-3}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P05	**SBP_M29**	0,0012	0,046	10^{-3}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P06	**SBP_M44**	0,0011	0,340	10^{-3}	10^{-1}	**NÃO**
PRG_P12	**SBP_M11**	0,0010	0,096	10^{-3}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P13	**SBP_M26**	0,0008	< 0,001	10^{-4}	$< 10^{-3}$	**SIM**
PRG_P14	**SBP_M41**	0,0003	0,058	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**

6.6.4.2. Agosto de 2012

Resultados da validação qualitativa entre a modelagem de campo distante de fosfato no D3D-WAQ, em agosto de 2012, e a amostragem *in situ* realizada pela SABESP, em julho de 2005, encontram-se na Tabela 66.

Tabela 66 – Resultados da validação qualitativa de fosfato, em agosto de 2012.

AGO 2012	**JUL 2005**	**Máximos (mg P/L)**		**Ordem de grandeza**		**Validação**
D3D-WAQ	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**D3D-WAQ**	**SABESP**	**PO_4^{3-}**
PRG_P04	**SBP_M13**	0,0001	0,070	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P05	**SBP_M29**	0,0001	0,030	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P06	**SBP_M44**	0,0001	0,007	10^{-4}	10^{-3}	**NÃO**
PRG_P12	**SBP_M11**	0,0001	0,070	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P13	**SBP_M26**	0,0001	0,060	10^{-4}	10^{-2}	**NÃO**
PRG_P14	**SBP_M41**	0,0002	0,002	10^{-4}	10^{-3}	**NÃO**

7. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

7.1. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 2D)

Inicialmente, serão discutidos os resultados da modelagem hidrodinâmica no padrão 2D (verticalmente integrado, para a reprodução da circulação de maré). Quanto aos cálculos estatísticos, serão inicialmente discutidos os resultados referentes à curtose e assimetria. A curtose é definida como o grau de achatamento da distribuição dos elementos, podendo ser calculada a partir de um coeficiente que, quando igual a três, terá sua distribuição classificada como mesocúrtica, que se aproxima da distribuição normal. Já a assimetria é um coeficiente caracterizado por reproduzir o grau de simetria da distribuição de elementos de uma determinada amostra, sendo que, quando equivalente a zero, se torna uma distribuição simétrica, mais próximo de uma distribuição normal, com a média melhor representando a população da amostra; e quando diferente de zero, torna-se uma distribuição assimétrica, nesse caso com a mediana melhor representando a população amostral (DORIA FILHO, 2003; BUSSAB & MORETTIN, 2009).

Na reprodução da circulação de maré, para todos os parâmetros, em ambos os meses representantes dos períodos de inverno e verão estudados, a grande maioria dos pontos de monitoramento se aproximou de uma distribuição mesocúrtica e simétrica, com seus valores se afastando muito pouco de três para a curtose, e muito pouco do zero no caso da assimetria (ver Tabelas 15 a 18). Assim, nos resultados 2D, em geral, as séries temporais se aproximaram de uma distribuição normal e a média representou melhor a população amostral em relação à mediana.

Nos resultados de elevação do nível do mar devido às marés, para os dois meses estudados, diferenças sazonais foram mínimas, com os valores de inverno ligeiramente maiores que os valores de verão, da ordem de poucos centímetros (Figuras 14, 15, 20 e 21). Nas séries temporais de elevação do nível do mar dos dois pontos selecionados, foi possível notar que o padrão de variação do nível do mar com o tempo é similar para ambos, se comportando como típicas séries temporais de marés, com variações de poucos centímetros de um ponto para outro; de fato, variações significativas das características das marés só ocorrem em grandes distâncias, na ordem de centenas de quilômetros, ou em regiões costeiras com grande variação de batimetria e linha da costa, o que não ocorre na região modelada neste trabalho. Os valores de elevação de maré oscilaram na faixa de -0,81 a 0,76 m, valores típicos de um regime de micro-maré, caracterizado por apresentar

range menor que 2 m (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999; SCHMIEGELOW, 2004). Além disso, o padrão de variação de marés que foi encontrado nas séries temporais corresponde ao de maré semi-diurna, que é caracterizada por apresentar dois picos de maré alta e dois cavados de maré baixa, diariamente, com aproximadamente o mesmo nível (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999; GARISSON, 2016).

Tais resultados eram esperados e são concordantes com a literatura, onde se encontra que na região estudada ocorre o regime de micro-maré, que a altura máxima das marés corresponde a 1,5 m e, por fim, que a classificação é de maré semi-diurna (IBGE, 2011; SILVA, VAZ-DOS-SANTOS & MARACINI, 2012).

Nos mapas de elevação do nível do mar devido às marés (Figuras 16, 17, 22 e 23), foi possível confirmar os resultados encontrados nos cálculos estatísticos e nas séries temporais de fevereiro e agosto de 2012, onde os mapas de mínimos apresentaram os menores valores próximos à costa, que aumentam gradativamente em direção às áreas mais afastadas; e os mapas de máximos apresentaram os maiores valores próximos à costa, que decrescem conforme se avança para as regiões de oceano aberto. Marés são ondas que possuem grande comprimento (de aproximadamente metade da circunferência da Terra) e, conforme uma onda se propaga no oceano em direção à região litorânea, gradativamente sua velocidade de propagação diminui e a sua altura aumenta (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999; TALLEY *et al.*, 2011; GARISSON, 2016); isto explica as diferenças na elevação das marés entre as regiões costeira e oceânica obtida nos mapas e nas estatísticas. Variações sazonais encontradas nas séries temporais e nas estatísticas, embora muito reduzidas, foram representadas nos mapas de mínimos e de máximos. Por fim, foi possível observar também que, no verão e no inverno, os valores mínimos e máximos ocorreram durante a maré de sizígia, o que era esperado, pois é justamente neste período que ocorrem as menores baixa-mares e também as maiores preamares (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999; ALFREDINI & ARASAKI, 2014).

Quanto aos resultados de correntes de marés, nota-se um pequeno aumento nos valores de inverno, de poucos centímetros por segundo, em relação aos valores registrados durante o verão (Figuras 14, 15, 20 e 21). Séries temporais de vetor velocidade (*stickplots*) das correntes de cada mês apresentaram mudança de intensidade e direção de vetores de maneira cíclica, sempre acompanhando as séries temporais de elevação das marés, com os vetores apresentando maior intensidade nos períodos de maré de sizígia, e registrando o oposto durante os períodos de maré de quadratura. A maré de sizígia é caracterizada por

apresentar as maiores preamares e as menores baixa-mares, ocorrendo apenas em fases de lua nova e de lua cheia, quando a Terra, a Lua e o Sol estão alinhados; enquanto que a maré de quadratura possui preamares não muito altas e baixa-mares não muito baixas, ocorrendo nas fases de lua crescente e lua minguante, quando a Lua e o Sol se posicionam de modo que formem um ângulo de aproximadamente 90º com a Terra (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999; TALLEY *et. al*, 2011; GARISSON, 2016).

Nas séries temporais da intensidade das correntes de maré (Figuras 14, 15, 20 e 21), os maiores valores ocorreram durante as marés de sizígia, com máximos em torno de 0,10 m/s, prevalecendo em toda a região as correntes com caráter rotativo e de pequena magnitude (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999; ALFREDINI & ARASAKI, 2014).

Os mapas de correntes de maré (Figuras 18, 19, 24 e 25) confirmam as estatísticas e as características das séries temporais obtidas nos dois meses analisados, com as menores magnitudes nas proximidades da região costeira, e as maiores nas regiões de oceano aberto, pois a intensidade das correntes de maré é diretamente proporcional à velocidade de propagação da onda de maré, que diminui gradativamente em direção ao litoral (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999). Variações sazonais encontradas nas séries temporais e nos cálculos estatísticos, ainda que mínimas, foram representadas nos mapas: nos mapas de mínimos, nota-se que os vetores estão fluindo da costa para o oceano, enquanto que nos mapas de máximos os vetores fluem no sentido oposto, do oceano para o litoral, ou seja, os vetores nos mapas de mínimos indicam correntes de maré vazante, enquanto que nos mapas de máximos, os vetores representam correntes de maré enchente.

Estudos realizados por Carlos (2015) e Batista (2016), ambos com uso do modelo D3D-FLOW, respectivamente nas regiões de Cananéia (litoral sul de São Paulo) e Ubatuba (litoral norte de São Paulo), obtiveram padrão de variação temporal de direção e intensidade de correntes de maré próximos aos do presente trabalho, nas marés de sizígia e de quadratura, tanto no verão como no inverno.

7.2. Modelagem hidrodinâmica (Simulações 3D)

Nos resultados do processamento 3D, quanto aos cálculos estatísticos, para todos os parâmetros, nos dois meses de interesse, em ambas as camadas sigma analisadas, para a grande maioria dos pontos de estudo, resultaram distribuições mesocúrticas e simétricas, similar ao observado nos resultados das simulações 2D, com os valores se afastando muito pouco de três para a curtose, e muito pouco de zero para a assimetria, com poucas exceções (ver Tabelas 19 a 32). Portanto, nos resultados das simulações 3D, em geral, novamente as séries temporais se aproximaram de uma distribuição normal e a população amostral foi mais bem representada pela média, em relação à mediana.

7.2.1. *Nível do mar e correntes*

Nos resultados de nível do mar das simulações 3D, para os dois meses estudados, diferenças sazonais mostraram que, em geral, os valores de inverno foram alguns centímetros maiores que os valores de verão (Tabelas 19 e 22). Séries temporais de elevação do nível do mar nas simulações 3D (Figuras 26, 27, 36 e 37) também apresentaram variação temporal similar para os dois pontos analisados, porém, dessa vez, se comportando como típicas séries de elevação do nível total do mar, resultantes da soma da elevação das marés com a elevação do nível médio do mar. A elevação do nível total do mar é influenciada não apenas pelas marés, mas também pelos ventos, pelas distribuições de temperatura e salinidade, e até mesmo por gradientes de pressão atmosférica e por movimentos verticais da crosta terrestre (SCHMIEGELOW, 2004; STEWART, 2008; TALLEY *et al.*, 2011), embora esses dois últimos efeitos não tenham sido considerados no presente trabalho.

Os valores de elevação obtidos pelo modelo 3D variaram de aproximadamente -1,15 a 1,15 m. Nos mapas de elevação do nível do mar (Figuras 28, 29, 38 e 39), foi possível confirmar os resultados encontrados nas estatísticas e nas séries temporais de fevereiro e agosto, no quais, assim como nas simulações 2D, os mapas de mínimos apresentaram os menores valores próximo à costa, que aumentam gradativamente em direção às áreas mais afastadas; e os mapas de máximos apresentaram os maiores valores próximo à costa, que decrescem conforme se avança para as regiões de oceano aberto. A região estudada é fortemente influenciada pelo vento (HARARI, FRANÇA & CAMARGO, 2008), que por sua vez, representa um fator determinante na variação do nível total do mar (SCHMIEGELOW, 2004; STEWART, 2008; TALLEY *et al.*, 2011). De acordo com as

distribuições de elevação encontradas, é possível afirmar que ventos incidentes de leste e sudeste foram mais atuantes para gerar tal distribuição, sendo estes representados respectivamente pelos ventos de leste originados da alta subtropical do Atlântico Sul (SELUCHI & MARENGO, 2000), e pelas brisas marítimas locais de sudeste (OLIVEIRA *et al.*, 2007), que atuam na circulação atmosférica da região.

Variações sazonais encontradas nas séries temporais e nas estatísticas de elevação do nível total do mar foram representadas nos mapas de mínimos e de máximos (Figuras 28, 29, 38 e 39), onde tais diferenças estão relacionadas com a sazonalidade dos ventos e também com a sazonalidade da passagem de frentes frias na região de estudo. Apesar da importância do vento, foi possível observar também que, tanto no verão como no inverno, novamente os valores mínimos e máximos foram registrados durante os períodos de maré de sizígia.

Os resultados obtidos nas simulações 3D foram concordantes com a literatura: estudos realizados também através de modelagem em regiões próximas, por Harari, França & Marques (2007) e por Ferreira (2015), respectivamente na Baía de Santos (com o POM) e em Guarujá (com o D3D-FLOW), obtiveram padrão de variação e valores de elevação do nível do mar próximos do presente trabalho, no verão e no inverno.

Quanto aos resultados de correntes das simulações 3D, novamente nota-se, em geral, um aumento de alguns centímetros por segundo no período de inverno em relação aos valores registrados no verão (Tabelas 20, 21, 23 e 24). Séries temporais do vetor velocidade das correntes não apresentaram o ciclo de mudança de direção de acordo com as marés observado anteriormente no modelo 2D, pois nas simulações 3D, as correntes são fortemente influenciadas pelo vento, além de haver significativas variações na vertical, por exemplo, direções diferentes na camada de superfície e na camada de fundo (Figuras 26, 27, 32, 33, 36, 37, 42 e 43). Correntes geradas pelo vento na superfície possuem direção aproximadamente perpendicular à direção do vento, devido à influência da força de Coriolis, para a esquerda do movimento no hemisfério sul, e para a direita no hemisfério norte. A fricção entre camadas impulsiona as camadas inferiores à superfície e, assim, sua velocidade diminui progressivamente em função do aumento da profundidade da coluna d'água (SCHMIEGELOW, 2004; TALLEY *et al.*, 2011; GARISSON, 2016). De fato, o modelo conseguiu representar o padrão descrito: correntes muito influenciadas pelo vento fluindo na superfície e correntes de retorno agindo no fundo.

Nas séries temporais de intensidade das correntes, as intensidades das correntes totais geradas nas simulações 3D foram maiores do que as intensidades das correntes de maré geradas no modelo 2D; e, quanto à distribuição vertical, a camada de superfície apresentou magnitudes maiores em relação à camada de fundo: na camada de superfície os valores máximos amostrados ficaram em torno de 1,20 m/s, enquanto no fundo os valores máximos foram de aproximadamente 0,70 m/s. Correntes geradas pelo vento são mais intensas e costumam ter aproximadamente 2% da velocidade do vento que as originou; a intensidade dessas correntes geradas pelo vento diminui com o aumento da profundidade, e consequentemente as correntes de retorno no fundo possuem menor velocidade (SCHMIEGELOW, 2004; TALLEY *et al.*, 2011; GARISSON, 2016).

Os mapas de correntes calculadas nas simulações 3D (Figuras 30, 31, 34, 35, 40, 41, 44 e 45) confirmam o que foi encontrado nas estatísticas e séries temporais, com os menores valores nas proximidades da região costeira e os maiores valores nas regiões mais afastadas. Isso é devido ao fato das correntes geradas pelo vento serem mais intensas em regiões mais profundas, pois, em águas rasas, o atrito com o fundo diminui sua intensidade; consequentemente, as correntes de maré, tornam-se predominantes nas águas rasas (STEWART, 2008; TALLEY *et al.*, 2011). Foi possível observar nos mapas de correntes que as direções predominantes das correntes foram para sudoeste e nordeste, paralelas à linha de costa, respectivamente sob a influência dos ventos predominantes e da passagem de sistemas frontais frios, o que coincide com o padrão local, descrito em Harari, França & Marques (2007).

Quanto à distribuição vertical das correntes geradas por todas as forçantes conjuntamente, os mapas apresentaram correntes mais intensas na superfície e menos intensas no fundo, com variações de direções significativas entre tais camadas; por exemplo, enquanto as correntes superficiais fluíam para sudoeste ou nordeste, as correntes de retorno fluíam sempre para nordeste. Variações sazonais encontradas nas séries temporais e nas estatísticas foram representadas nos mapas de mínimos e de máximos, onde as diferenças de verão e inverno estão diretamente relacionadas com a sazonalidade dos ventos e das passagens de frentes frias.

Por fim, é importante frisar que os resultados obtidos nas simulações 3D foram concordantes com as feições descritas na literatura científica, como nos estudos realizados através de modelos hidrodinâmicos por Harari *et al.* (2006) no litoral do Estado de São Paulo (com o POM / MASTER), por SABESP (2006b) na região da Baixada Santista (com uma adaptação do POM) e por Harari, França & Marques (2007) na Baía de Santos (com o POM), os quais obtiveram padrões de variações sazonais, temporais, na vertical e de acordo com a distância à costa, em geral muito similares aos deste estudo.

7.2.2. *Temperatura e salinidade*

Nos resultados de temperatura gerados pela simulação 3D, a diferença sazonal foi nítida, com os valores registrados no verão sendo significativamente maiores que os valores de inverno (Tabelas 25, 27, 29 e 31), característica especialmente nítida nas séries temporais. A radiação ultravioleta emitida pelo Sol é responsável por aquecer os oceanos, e três fatores influenciam na quantidade de radiação solar incidente na Terra: as estações do ano, pois, devido à inclinação de 23,5º do eixo da Terra, à medida que o planeta realiza seu movimento de translação, a inclinação constante de seu eixo faz com que o hemisfério sul se incline em direção ao sol em dezembro (periélio), e no mês de junho se incline para longe do sol (afélio), e assim, as latitudes médias do hemisfério sul recebem cerca de três vezes mais energia solar no verão que no inverno (no hemisfério norte, os meses de periélio e afélio são invertidos); a duração do dia, pois, devido à inclinação do eixo da Terra, os dias são mais longos no verão e mais curtos no inverno, consequentemente, dias mais longos permitem que o Sol esquente a superfície oceânica por mais tempo; e a latitude, pois, em regiões polares a luz solar se aproxima da superfície com um ângulo menor e se espalha por uma área maior, o que favorece a reflexão, enquanto que, nos trópicos, a luz solar se aproxima com um ângulo praticamente reto, o que permite que a mesma quantidade de luz seja distribuída por uma área menor. Esses três fatores também explicam o fato das regiões tropicais serem mais quentes que as regiões polares (SCHMIEGELOW, 2004; TALLEY *et al.*, 2011; GARISSON, 2016).

Variações verticais de temperatura entre superfície e fundo também foram muito bem representadas nas séries temporais, onde tal diferença vertical é devido à atenuação exponencial da luz solar em função da profundidade (JOHNSEN & SOSIK, 2004; STEWART, 2008; TALLEY *et al.*, 2011) – ver Figuras 46, 47, 52, 53, 58, 59, 64 e 65. No verão, a temperatura oscilou de 22,15ºC a 27,25ºC na superfície, e de 21,92ºC a 25,82ºC

no fundo; no inverno, a variação foi de 19,80ºC a 22,30ºC na superfície, e de 18,89ºC a 21,03ºC no fundo, valores que constituem padrões típicos de uma região subtropical.

Mapas de temperatura (Figuras 48, 49, 54, 55, 60, 61, 66 e 67) corroboram com o que foi obtido nos cálculos estatísticos e nas séries temporais, nos meses de fevereiro e agosto de 2012, com o período de verão apresentando valores superiores aos de inverno, e com a camada de superfície tendo valores superiores em relação ao fundo. O padrão de distribuição encontrado foi o de menores valores próximo ao litoral, e maiores valores nas regiões mais afastadas, na camada de superfície, porém, na camada de fundo, este padrão é invertido. Esta inversão ocorre porque as regiões costeiras têm menores profundidades que as regiões oceânicas, e devido à atenuação exponencial da luz solar com a profundidade, locais rasos absorvem maior quantidade de radiação solar ao longo da coluna d'água (por volume), em relação a locais que apresentam maior profundidade (JOHNSEN & SOSIK, 2004; STEWART, 2008; TALLEY *et al.*, 2011).

Estudos realizados por meio do D3D-FLOW, por Carlos (2015) em Cananéia, e por Batista (2016) em Ubatuba, também registraram padrões de variação temporal de temperatura na camada superficial similares aos obtidos em superfície no presente trabalho, no verão e no inverno. Apesar de não terem sido registrados os padrões de variação temporal de temperatura na camada de fundo nos estudos citados, de acordo com a similaridade apresentada para a superfície, muito possivelmente suas simulações apresentaram um padrão de variação temporal da temperatura no fundo similar ao do presente estudo.

Quanto aos resultados de salinidade da simulação 3D, foi observado um ciclo sazonal nas séries temporais, onde os valores de verão foram maiores que os valores de inverno (Tabelas 26, 28, 30 e 32). A salinidade da água do mar geralmente corresponde a 35 PSU, porém, três fatores influenciam na variação da salinidade dos oceanos: a evaporação, causada pelo aquecimento devido à incidência de radiação solar, o que aumenta a concentração de sais na água; a precipitação e o aporte de água doce continental (principalmente através de rios que deságuam no mar), sendo que ambos contribuem com a entrada de água doce no meio marinho, diminuindo a salinidade da água do mar (SCHMIEGELOW, 2004; TALLEY *et al.*, 2011; GARISSON, 2016).

Variações verticais de salinidade entre as camadas de superfície e de fundo (Figuras 46, 47, 52, 53, 58, 59, 64 e 65), ainda que mínimas e pouco significativas, foram representadas nas séries temporais, onde os valores de fundo tiveram um aumento de pouquíssimos décimos em relação aos valores superficiais; estas pequenas diferenças são devidas ao fato dos fatores responsáveis pela variação da salinidade da água do mar mencionados anteriormente terem influência apenas na superfície dos oceanos, e não em profundidades maiores (STEWART, 2008; TALLEY *et al.*, 2011). Os valores de salinidade obtidos são típicos de uma região subtropical, com verões quentes e chuvosos, e com invernos frios e secos.

A única exceção foi o ponto RAD_ITN_P1, localizado a alguns poucos quilômetros da foz do Rio Itanhaém, pois como a água doce (de menor salinidade), é menos densa que a água do mar (mais salina), este aporte de água continental no oceano influenciou apenas a superfície e não conseguiu influenciar a camada de fundo distante da desembocadura; consequentemente, resultaram diferenças mais significativas entre superfície e fundo (Figuras 46, 52, 58 e 64). No verão, a salinidade oscilou neste ponto de 32,90 PSU a 35,86 PSU na superfície, e de 34,54 PSU a 36,02 PSU no fundo; no inverno, a variação salina foi de 34,80 PSU a 35,83 PSU na superfície, e de 35,18 PSU a 36,01 PSU no fundo, sendo também esses valores típicos de região com verões quentes e chuvosos, invernos frios e secos, juntamente com a influência de aporte fluvial no mar.

Mapas de salinidade resultantes da simulação 3D (Figuras 50, 51, 56, 57, 62, 63, 68 e 69) coincidem com o que foi obtido nas séries temporais e nas estatísticas dos meses de interesse, com o período de verão apresentando valores superiores aos de inverno, e com a camada de superfície registrando valores ligeiramente inferiores em relação ao fundo. O padrão de distribuição encontrado na camada de superfície foi de menores valores próximos ao litoral, e maiores valores nas regiões mais afastadas, devido à influência do Rio Itanhaém na região costeira. Na camada de fundo, a salinidade apresentou pouquíssimas variações entre litoral e oceano, com o aporte fluvial influenciando apenas localmente a região da foz do rio. Por fim, foi possível observar que o aporte de água doce proveniente do Rio Itanhaém foi mais significativo no verão, período no qual sua vazão é significativamente maior (CTHUSP, 1998). Informações completas da variação mensal da vazão do Rio Itanhaém encontram-se disponíveis no Anexo A.

Estudos realizados por Carlos (2015) e por Batista (2016), ambos através do modelo D3D-FLOW, respectivamente em Cananéia e em Ubatuba, registraram padrões de variação temporal de salinidade na superfície muito próximos aos padrões salinos superficiais registrados no presente trabalho, nos períodos de verão e de inverno. Assim como no caso da temperatura, esses trabalhos não registraram os padrões de variação de salinidade na camada de fundo, entretanto, por similaridade, é de se esperar que as simulações dos autores citados tenham obtidos variações de salinidade no fundo próximas às calculadas neste trabalho.

7.3. Validação do modelo hidrodinâmico

7.3.1. *Simulações 2D*

A validação do modelo D3D-FLOW em 2D apresentou resultados muito bons para os nove pontos selecionados, nos meses de fevereiro e agosto de 2012, conforme as Tabelas 33 e 34.

No caso do *RMAE*, cujo valor ideal é zero, variou de 0,34 a 0,38 e foi classificado como bom nos meses abordados, nos nove pontos. Os métodos *AMSE* (variando de 0,10 a 0,11) e *RMSE* (variando de 0,12 a 0,13) também apresentaram valores próximos ao ideal de zero em todos os pontos nos dois meses estudados, o que indica baixos índices de erros nos resultados em 2D.

Já os métodos *Skill* (variando de 0,78 a 0,80), *IOA* (variando de 0,96 a 0,97), *Pearson* (variando de 0,93 a 0,94) e R^2 (variando de 0,87 a 0,89) apresentaram valores próximos ao ideal correspondente a um, em todos os pontos, nos meses de fevereiro e agosto, o que indica uma boa qualidade e uma redução significativa de erros nos resultados obtidos nas simulações 2D.

Destes sete métodos, o *IOA*, também conhecido como método do Índice de Concordância (ou método de Willmott e Wicks) costuma ser o mais utilizado para a validação de modelos hidrodinâmicos. Estudos realizados por Gregorio (2009), Ferreira (2015) e Batista (2016), respectivamente em Santos, Guarujá e Ubatuba, também validaram o D3D-FLOW através deste método, comparando seus resultados de modelagem 2D com séries temporais de marégrafos disponíveis em suas regiões, e todos apresentaram valores de *IOA* próximos aos deste trabalho.

Portanto, os sete métodos de validação utilizados confirmam que as simulações 2D representaram muito bem as marés, com boa e significativa redução de erros, e assim, o D3D-FLOW pôde ser considerado como validado quanto à elevação das marés, e consequentemente, quanto à hidrodinâmica das correntes de marés na região simulada no presente trabalho.

7.3.2. *Simulações 3D*

A validação do modelo D3D-FLOW em 3D também apresentou excelentes resultados para os nove pontos selecionados, nos meses de fevereiro e agosto de 2012 (Tabelas 35 e 36).

Para o nível total do mar, no caso do *RMAE*, cujo valor ideal é zero, variou de 0,02 a 0,09 e foi classificado como excelente nos meses abordados, nos nove pontos. Os métodos *AMSE* e *RMSE* variaram ambos de 0,01 a 0,04 e, consequentemente, também apresentaram valores muito próximos ao ideal de zero em todos os pontos durante os meses de fevereiro e agosto, o que indica índices de erros quase nulos nas simulações 3D.

Por outro lado, os demais métodos apresentaram valores muito próximos ao ideal correspondente a um para o nível total do mar, e em alguns casos chegou a atingir o valor ideal, com o *Skill* variando de 0,94 a 0,99; *IOA* e *Pearson* correspondendo ambos igual a 1 em todos os casos; e o R^2 variando de 0,99 a 1, o que indica excelente qualidade da simulação e erros quase inexistentes nos resultados das simulações 3D.

Fiedler (2015) validou o D3D-FLOW na região do estuário de Santos através da aplicação de todos os métodos de validação aqui utilizados, com exceção do método *Pearson*, comparando seus resultados de modelagem 3D com dados medidos *in situ* por meio de instrumentos oceanográficos, onde todos os métodos abordados apresentaram resultados de boa qualidade para a elevação do nível total do mar em sua região de estudo, assim como visto nos resultados do presente trabalho.

Portanto, os sete métodos de validação utilizados confirmam que as simulações 3D conseguiram representar muito bem o nível do mar, com erros praticamente insignificantes, e assim, o D3D-FLOW também pôde ser considerado como validado também quanto à elevação do nível total do mar, e consequentemente, quanto à hidrodinâmica da região simulada neste trabalho.

7.4. Modelagem das plumas (campos próximo e intermediário)

Nos resultados dos cálculos estatísticos da modelagem *near field*, para todos os parâmetros, em todos os meses abordados, no geral, em todos os emissários, foram registrados valores distantes de três para a curtose, mas próximos a zero para a assimetria (ver Tabelas 37 a 42), o que representa uma distribuição não mesocúrtica, porém, simétrica. Tais casos foram mais frequentes que os registrados nas estatísticas dos parâmetros de saída da modelagem hidrodinâmica 2D e 3D. Assim, os resultados da modelagem de campo próximo não se aproximaram de uma distribuição normal, porém, a população amostral foi mais bem representada pela média, em relação à mediana, assim como visto nas etapas anteriores.

Nos histogramas angulares obtidos na modelagem *near field*, em geral, direções predominantes na dispersão inicial das plumas foram a direção oeste no emissário PG1, enquanto as direções noroeste e sudeste prevaleceram nos emissários PG2 e PG3 (ver Figuras 74 a 79). Uma vez que o sentido predominante das correntes locais é para oeste-sudoeste e para leste-nordeste, fluindo paralelamente à região costeira (HARARI, FRANÇA & MARQUES, 2007), é possível afirmar que as correntes geradas pelo vento foram mais influentes na dispersão de campo próximo das plumas do emissário PG1; e como as direções predominantes nos demais emissários foram noroeste e sudeste, perpendiculares à costa, é possível afirmar que, na dispersão inicial das plumas dos emissários PG2 e PG3, houve uma maior influência de correntes de maré, rotativas no tempo e com magnitudes pouco intensas (WRIGHT, COLLING & PARK, 1999; ALFREDINI & ARASAKI, 2014) – isto porque, pois conforme foi observado na modelagem 2D, as correntes de maré na região de estudo fluem para noroeste na maré enchente, e para sudeste na maré vazante (ver Figuras 18, 19, 24 e 25).

Ferreira (2015) realizou a modelagem de campo próximo das plumas do emissário submarino do Guarujá com o UM3. O local de descarte deste emissário possui o mesmo padrão de direção predominante das correntes geradas pelo vento da região de estudo deste trabalho e, em sua análise, foi registrado o predomínio das direções oeste e sudoeste na dispersão inicial de suas plumas. Esta diferença entre os emissários de Praia Grande pode ser devido ao descarte do PG1 ocorrer mais próximo à Baía de Santos, que pode ter influenciado na hidrodinâmica de sua região, enquanto as marés foram mais atuantes nas regiões do PG2 e do PG3.

Foi possível notar nos histogramas angulares, em geral, que quanto maior a distância percorrida pela pluma até o alcance do equilíbrio hidrostático, maior a diluição, e consequentemente, menor a concentração dos poluentes. Os sentidos das correntes geradas pelo vento, para oeste-sudoeste e leste-nordeste, permitiram uma boa diluição das plumas, e a pior situação ocorreu com a influência das correntes de maré, de sentido noroeste e sudeste, o que somou as concentrações dos poluentes expelidos pelos difusores, devido à orientação noroeste-sudeste dos emissários, perpendiculares à costa (ver Figura 8). O PG3 foi o emissário que apresentou os maiores valores de diluição inicial e distância percorrida até o equilíbrio hidrostático (final do campo próximo), e as menores concentrações de poluentes, muito possivelmente por possuir vazão levemente mais elevada, difusores em dupla e em maior quantidade que os emissários PG1 e PG2 (ver Tabela 5).

Quanto às variações sazonais, é notável a maior concentração de todos os poluentes durante o verão (ver Figuras 74 a 79), devido ao aumento temporário populacional e o consequente aumento da poluição por esgotos nesta época do ano (CETESB, 2016). Foi possível notar também que, tanto no verão como no inverno, no final do campo próximo, as plumas de amônio, nitrato e fosfato contém concentrações já abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N.º 357/2005, quando apresentaram altos valores de diluição e de distância percorrida. Porém, no caso dos coliformes *E. coli*, mesmo com as maiores diluições e distâncias registradas, suas concentrações sempre ficaram acima do limite da Resolução CONAMA N.º 274/2000, devido aos altos valores iniciais utilizados, tanto no verão como no inverno (ver Tabela 4).

Baptistelli (2008) e Gregorio (2009) realizaram a modelagem de campo próximo das plumas de coliformes termotolerantes do emissário submarino de Santos, respectivamente através dos modelos *Cornell Mixing Zone* (CORMIX) e UM3; enquanto Ferreira (2015) realizou a modelagem *near field* da pluma de coliformes do gênero *Enterococcus* do emissário submarino de Guarujá com o UM3. Nos três estudos citados ocorreram situações similares às registradas no final do campo próximo do presente trabalho: maior concentração de coliformes nas plumas no verão; concentrações acima dos limites da Resolução CONAMA N.º 274/2000 mesmo durante as maiores diluições registradas, no verão e no inverno; e diferenças nos valores de diluição e de distância percorrida devido às diferentes especificações técnicas de cada emissário simulado (vazão, número e diâmetro de difusores, etc.).

7.5. Modelagem das plumas (campo distante)

Nos cálculos estatísticos, os resultados da modelagem *far field* em geral registraram valores distantes de três para a curtose, e distantes de zero para a assimetria, para todos os poluentes, em todos os pontos, nos dois meses de estudo, com poucas exceções. Portanto, em geral, a mediana representou melhor a população amostral em relação à média. Este padrão de curtose e assimetria do campo distante foi, portanto, muito diferente do observado nas etapas de modelagem hidrodinâmica 2D e 3D, além da modelagem de campo próximo. Isto pode ser explicado pela grande dinâmica do processo de depuração de esgoto no ambiente.

Para todos os poluentes, nos dois meses estudados, diferenças sazonais mostraram que as concentrações no verão foram maiores que os valores no inverno, reflexo do aumento populacional temporário devido ao deslocamento de turistas ao litoral durante o verão (BRASIL, 2010; CETESB, 2016) – ver Tabelas 43 a 58. Os maiores valores ocorreram nos pontos entre os emissários submarinos (PRG_P08, PRG_P09 e PRG_P10) e também nos pontos situados a poucos quilômetros dos emissários (PRG_P04, PRG_P05, PRG_P06, PRG_P11, PRG_P12 e PRG_P13).

Variações verticais das concentrações dos poluentes entre superfície e fundo foram representadas nas séries temporais e nos mapas (Figuras 80 a 173), onde os valores de fundo foram sempre superiores aos de superfície. Tal diferença é devida ao fato das plumas dos emissários submarinos entrarem em equilíbrio hidrostático (final da modelagem *near field*) ainda nas camadas mais profundas antes de atingir a superfície (Sigma 3, Sigma 4 e Sigma 5); além disso, se tem uma relativamente baixa difusão vertical dos poluentes, de $1x10^{-7}$ m^2/s, valor padrão considerado pelo D3D-WAQ (DELTARES, 2013c). No caso dos pontos do grupo Rio Itanhaém (RIT), este padrão de diferença vertical não foi registrado, uma vez que a pluma de efluentes proveniente da foz do rio entra no ambiente de simulação em uma região de profundidade muito pequena.

Os mapas de distribuição das plumas dos poluentes demonstram que toda a faixa litorânea, até aproximadamente as isolinhas de 25 e 30 m de profundidade, está sujeita aos impactos das plumas de efluentes oriundas dos emissários de Praia Grande e da foz do Rio Itanhaém, na camada de superfície e na camada de fundo.

7.5.1. *Coliformes fecais (E. coli)*

Conforme as séries temporais e os cálculos estatísticos, foram registradas concentrações de *Escherichia coli* acima do limite de 800 NMP/100mL estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 274/2000 para uma água salina de Classe 1 ser considerada como própria (BRASIL, 2001), na maioria dos casos, principalmente no verão, em grande parte do tempo simulado, nos pontos situados entre os emissários submarinos (PRG_P08, PRG_P09 e PRG_P10), bem como nos pontos localizados em suas proximidades (PRG_P04, PRG_P05, PRG_P06, PRG_P11, PRG_P12 e PRG_P13) – ver Figuras 80 a 83, 86 a 89, 92 a 95, e 98 a 101; e Tabelas 43 a 46.

Nos pontos localizados nas praias dos municípios de Praia Grande (PRG_P01, PRG_P02 e PRG_P03) e de Itanhaém (RIT_P01 e RIT_P02), tanto no verão como no inverno, em nenhum instante ocorreram valores que ultrapassassem o limite de *E. coli* de uma água salina de Classe 1 considerada como própria (segundo a Resolução CONAMA N.º 274/2000). Isso se deve ao fato da concentração de um poluente diminuir conforme a dispersão das plumas no meio aquático, portanto, a tendência é que ocorra uma diminuição gradativa da concentração de coliformes de acordo com a distância percorrida pelas plumas; de fato, há um elevado dinamismo do processo de depuração de esgoto (FERREIRA, 2015), que no caso de coliformes fecais ocorre em função da radiação solar incidente, da clorinidade (salinidade) e da temperatura da água do mar. Quanto aos pontos RIT_P01 e RIT_P02, além das plumas dos emissários de Praia Grande já estarem com concentrações de coliformes significativamente reduzidas ao atingirem esta região, a pluma do Rio Itanhaém, que começa a se dispersar muito próximo destes pontos, possui menor potencial de poluição que as plumas dos três emissários submarinos, em função dos valores iniciais de *E. coli* considerados, tanto no verão como no inverno (Tabelas 4 e 6).

Resultados das séries temporais de *E. coli* obtidos através do D3D-WAQ nos pontos que representam as praias selecionadas de Praia Grande (PRG_P01, PRG_P02 e PRG_P03) e de Itanhaém (RIT_P01 e RIT_P02), nos meses de fevereiro e agosto de 2012, foram comparados com os resultados dos monitoramentos semanais das amostragens *in situ* realizadas pela CETESB, nas mesmas praias e nos mesmos períodos simulados (CETESB, 2013), quanto à porcentagem de tempo em que as praias permaneceram com balneabilidade considerada própria (Tabela 67).

Tabela 67 – Porcentagem de tempo de balneabilidade da praia considerada própria quanto à concentração de *Escherichia coli*, segundo resultados do D3D-WAQ e da CETESB, em 2012.

Balneabilidade Própria (%)		**Fevereiro 2012**		**Agosto 2012**	
Ponto	**Praia**	**D3D-WAQ**	**CETESB**	**D3D-WAQ**	**CETESB**
PRG_P01	**Aviação**	100%	100%	100%	100%
PRG_P02	**Ocian**	100%	0%	100%	100%
PRG_P03	**Jd. Real**	100%	0%	100%	75%
RIT_P01	**Pq. Balneário**	100%	100%	100%	100%
RIT_P02	**Jd. Cibratel**	100%	100%	100%	100%

É possível observar nas praias do município de Itanhaém, Parque Balneário e Jardim Cibratel, que o D3D-WAQ e os monitoramentos *in situ* realizados pela CETESB apresentaram a mesma porcentagem de tempo com balneabilidade própria. Entretanto, os resultados do modelo e da amostragem *in situ* não registraram as mesmas porcentagens de tempo com balneabilidade própria nas praias do município de Praia Grande (Aviação, Ocian e Jardim Real). Uma possível explicação para esta discrepância é que as simulações feitas no modelo D3D-WAQ consideraram como fontes poluidoras exclusivamente os três emissários submarinos de Praia Grande e o Rio Itanhaém, enquanto que na amostragem *in situ* da CETESB existe a influência adicional de outras fontes de poluição na região costeira, como por exemplo, córregos que despejam esgoto bruto diretamente no litoral de Praia Grande (SABESP, 2006a); quando a poluição desses córregos se junta com as plumas dos emissários, resulta no aumento da concentração de coliformes, podendo extrapolar o limite da Resolução CONAMA N.º 274/2000 e, consequentemente, tornar a balneabilidade da praia como imprópria.

Entretanto, conforme ressaltado por Ferreira (2015), o método da Resolução CONAMA N.º 274/2000 considera apenas as cinco últimas coletas para classificar a água e, consequentemente, a balneabilidade das praias (BRASIL, 2001). Como a CETESB realiza análises semanais, sempre aos domingos (CETESB, 2013), a classificação das águas pode estar deturpada, não representando a balneabilidade real instantânea; ou seja, uma praia pode ter balneabilidade classificada como própria quando na verdade está imprópria, o que pode trazer riscos à saúde dos banhistas; ou também o oposto, uma praia pode ser classificada como imprópria, quando na verdade sua balneabilidade está própria, o que pode afastar os banhistas e afetar o turismo local.

SABESP (2006c) realizou a modelagem *far field* de coliformes dos emissários PG1, PG2 e PG3, para o inverno de 2005 e o verão de 2006, também através de um modelo de qualidade da água, o *Water Quality Management and Analysis Package* (WQMAP). Seus resultados apresentaram concentrações menores que as deste trabalho, muito provavelmente devido ao uso de valores iniciais de 1999, ano em que havia menor população que nos anos de 2005 e 2006. Tal como no presente trabalho, a modelagem da SABESP (2006c) também apresentou maiores concentrações de *E. coli* no verão e também maiores concentrações no entorno dos emissários; entretanto, seus resultados sempre estiveram dentro do limite da Resolução CONAMA N.º 274/2000.

Em relação ao ponto LDS_P02, situado no PEMLS, foi possível observar nos cálculos estatísticos que, durante todo o mês de fevereiro de 2012, não foi registrada a presença de *E. coli*; entretanto, no mês de agosto de 2012, houve a ocorrência de coliformes fecais, porém, com uma concentração baixa e praticamente desprezível (ver Tabelas 45 e 46), permanecendo por um período relativamente curto na área de proteção ambiental (11 horas). Para que as plumas oriundas dos emissários de Praia Grande tenham alcançado o PEMLS, foi necessário um transporte para sudeste pelas correntes geradas pelo vento. Uma vez que o padrão de direção das correntes, na região estudada, é para oeste-sudoeste com a incidência dos ventos predominantes, e para leste-nordeste sob a influência da passagem de frentes frias (HARARI, FRANÇA & MARQUES, 2007), o transporte das plumas da região dos emissários para o PEMLS ocorreu durante a passagem de um sistema frontal frio na região, com o giro dos ventos (SELUCHI & MARENGO, 2000). Entretanto, vale ressaltar que não foi considerada a influência do descarte de água de lastro e outros tipos de efluentes por navios na região do PEMLS, na modelagem de campo distante.

Séries temporais de *Escherichia coli* e mapas de distribuição das plumas no instante do valor máximo registrado no ponto LDS_P02, na superfície e no fundo, encontram-se nas Figuras 176 a 179. Para melhor visualização das plumas chegando ao PEMLS, a barra de cores dos mapas foi fixada com máximo de 20 NMP/100mL.

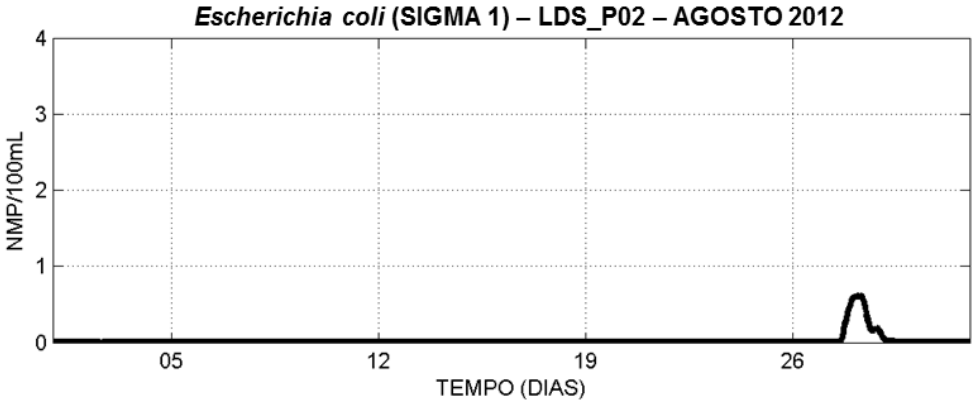

Figura 176 – Série temporal de *E. coli*, na superfície, no ponto LDS_02, no mês de agosto de 2012.

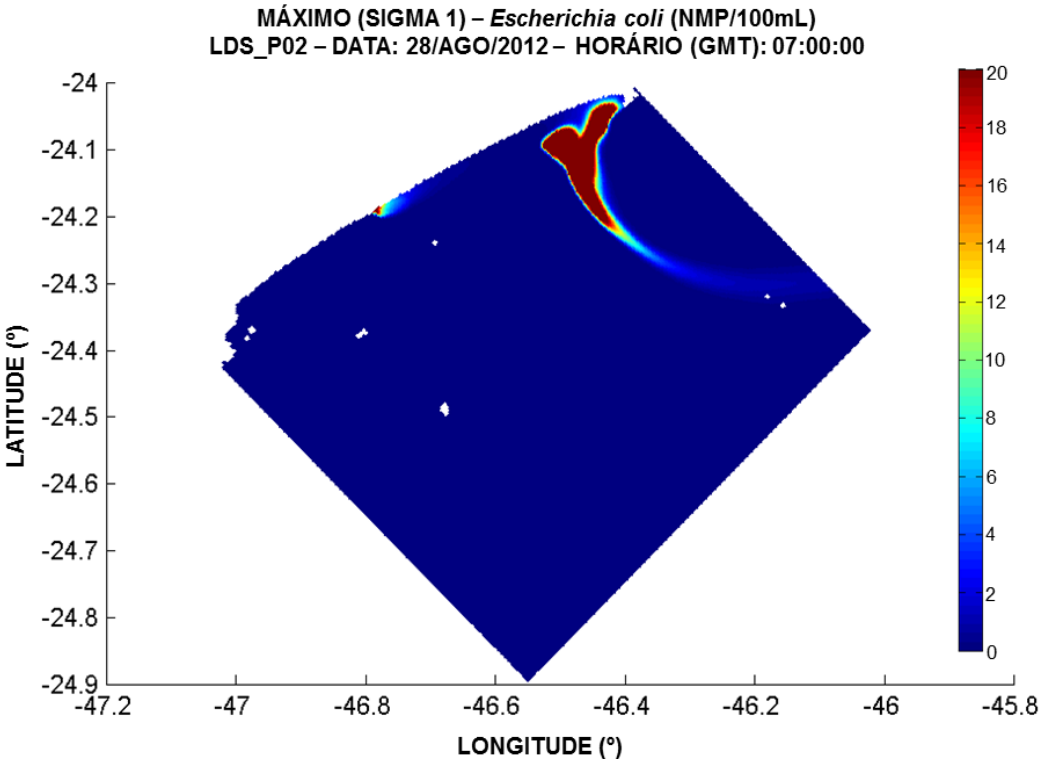

Figura 177 – Distribuição da pluma de *E. coli*, na superfície, no período do valor máximo no ponto LDS_P02, em agosto de 2012.

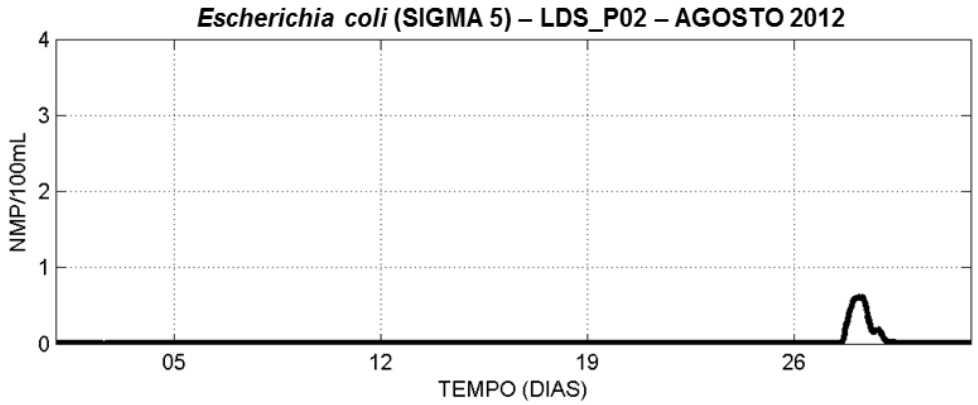

Figura 178 – Série temporal de *E. coli*, no fundo, no ponto LDS_02, no mês de agosto de 2012.

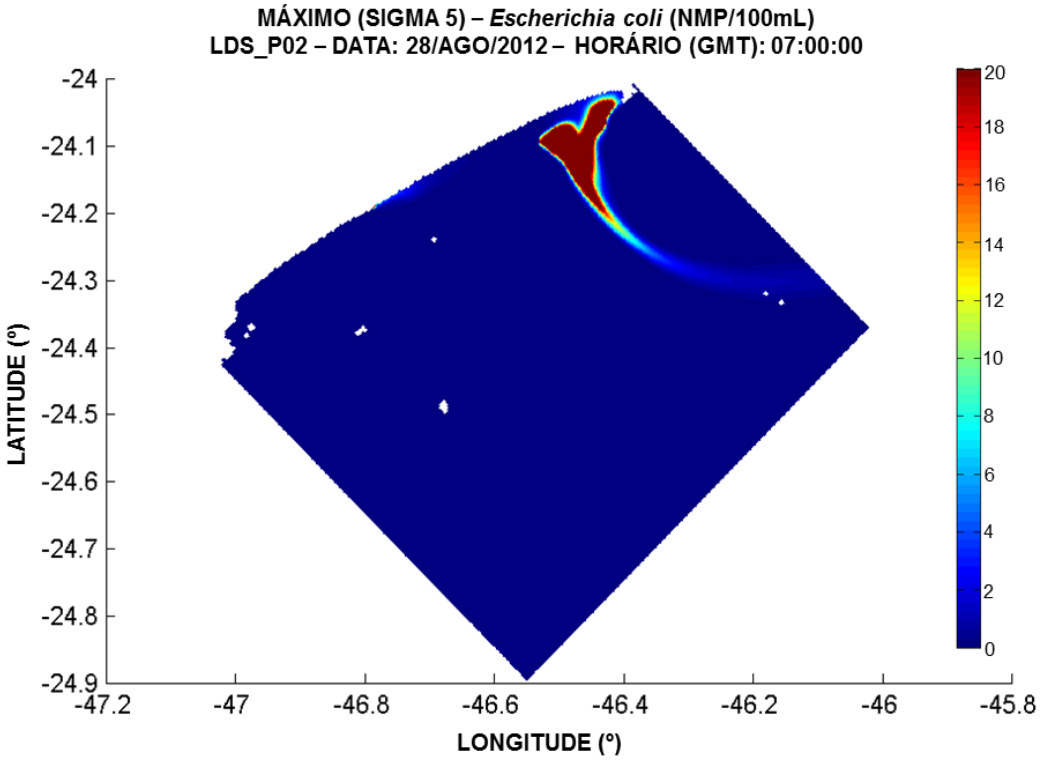

Figura 179 – Distribuição das plumas de *E. coli*, no fundo, no período do valor máximo no ponto LDS_P02, em agosto de 2012.

O módulo D3D-WAQ calcula a taxa de mortalidade total de qualquer tipo de coliforme fecal, através de uma relação empírica que envolve a taxa de mortalidade natural em conjunto com as taxas de mortalidade por clorinidade, por temperatura e por radiação solar (DELTARES, 2013c).

Dentre as taxas de mortalidade mencionadas, a mais influente no decaimento de coliformes fecais é a mortalidade em função da radiação solar (MANCINI, 1978; YUKSELEN *et al.*, 2003). Para confirmar a maior influência da radiação solar na eliminação dos coliformes fecais, foram calculadas séries temporais com as taxas máximas de mortalidade de *E. coli* registradas durante os dois meses modelados na região, apresentadas na Figura 180, em d^{-1}.

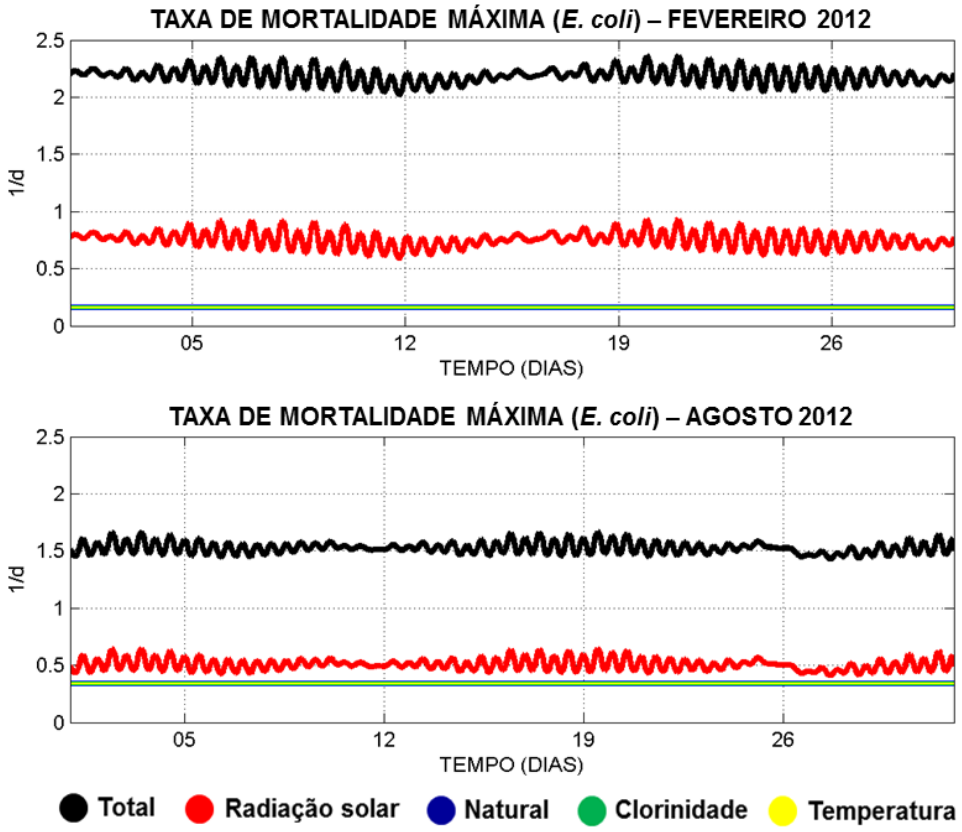

Figura 180 – Séries temporais das taxas de mortalidade máxima (total, por radiação solar, natural, por clorinidade e por temperatura) de *E. coli*, durante os meses de fevereiro e agosto de 2012.

As séries temporais das taxas máximas de mortalidade de *E. coli* registradas na região indicaram que as taxas de mortalidade natural, por clorinidade e por temperatura foram praticamente constantes, com aproximadamente o mesmo valor, porém levemente maiores no inverno; por outro lado, a taxa de mortalidade por radiação solar foi variável no tempo, porém sempre com valores mais elevados em relação às demais taxas, e com maiores valores no verão. Por fim, a taxa de mortalidade total dos coliformes fecais foi significativamente maior no verão (Figura 180).

As séries temporais de mortalidade obtidas indicam maior influência da radiação solar na eliminação dos coliformes e confirmam o que foi observado nos trabalhos de Mancini (1978) e Yukselen *et al.* (2003), além de explicar o fato de ocorrer registros de *E. coli* no PEMLS apenas no inverno, devido às diferenças sazonais da radiação solar média incidente combinado com as diferenças da duração média do dia na latitude da região (24ºS), conforme a Tabela 12. Por mais que as plumas possam ter alcançado o PEMLS no verão, durante uma eventual passagem de frente fria, ao chegar na Laje, os coliformes já terão sido totalmente eliminados, devido à maior quantidade de radiação solar e da maior duração média do dia. Porém, com menos radiação solar e dias mais curtos no inverno, ao alcançarem o PEMLS, as plumas ainda continham uma concentração baixa e quase desprezível de *E. coli*, o que não afetou a qualidade da água na área de proteção ambiental da Laje de Santos, pois o valor máximo não chegou sequer à ordem de dezenas por 100mL, sendo que o limite para águas de boa qualidade é de 800 NMP/100mL (BRASIL, 2001).

Ferreira (2015) e Batista (2016) também realizaram a modelagem *far field* de bactérias através do D3D-WAQ, sendo que o primeiro realizou a modelagem de coliformes do gênero *Enterococcus* advindos do emissário submarino de Guarujá, e o segundo realizou a modelagem de coliformes termotolerantes na região de Ubatuba. Ambos os autores registraram a maior influência da radiação solar no decaimento das bactérias, com maior significância durante o verão, assim como o presente trabalho.

7.5.2. *Amônio* (NH_4^+)

Na modelagem de amônio, conforme as séries temporais e as estatísticas, tanto no verão como no inverno, em nenhum momento ocorreram valores acima de 0,40 mg N/L, limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005 para que uma água salina de Classe 1 seja considerada como própria em função da concentração de amônio (BRASIL, 2005), nos pontos próximos e entre os emissários submarinos abordados (Figuras 104 a 107, 110 a 113, 116 a 119, e 122 a 125; e Tabelas 47 a 50).

Também no caso das praias de Praia Grande (PRG_01, PRG_02, PRG_03) e de Itanhaém (RIT_P01 e RIT_P02), não foram registradas concentrações acima do limite para amônio, no verão e no inverno. Novamente entra a questão das plumas dos emissários já estarem com concentrações de amônio muito reduzidas ao atingirem esta região, combinada com o baixo potencial de poluição da pluma do Rio Itanhaém em relação às plumas dos emissários, conforme os valores iniciais de verão e de inverno (ver Tabelas 4 e 6). Assim como observado para *E. coli*, a concentração de amônio também diminui gradativamente à medida que ocorre a dispersão das plumas no oceano, em razão do elevado dinamismo do processo de depuração de esgoto (FERREIRA, 2015), porém, quanto ao amônio, esta diminuição ocorre em função da concentração de oxigênio dissolvido (cujo aumento favorece a nitrificação).

SABESP (2006c) também realizou a modelagem *far field* de amônio dos emissários de Praia Grande, para o inverno de 2005 e o verão de 2006, através do WQMAP, e seus resultados foram similares aos deste trabalho: maiores concentrações no verão; maiores valores próximos aos emissários; e valores dentro da Resolução CONAMA N.º 357/2005 para toda a região.

Em relação ao ponto do PEMLS (LDS_P02), as estatísticas mostram que não foram registrados valores detectáveis de amônio em nenhum momento dos dois meses de interesse (Tabelas 47 a 50). Por mais que as plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3 possam chegar à Laje de Santos durante uma eventual passagem de sistemas frontais frios, o amônio já terá sido totalmente eliminado das plumas antes de chegar à Laje, muito provavelmente devido à sua menor concentração inicial nos emissários e no final da modelagem *near field*, em relação a *E. coli* (ver Tabela 4 e Tabelas 37 a 42).

As simulações consideraram valores de oxigênio dissolvido próximos do valor ótimo de 5 mg/L (ver Tabela 12), padrão estabelecido pelo D3D-WAQ para o processo de nitrificação (DELTARES, 2013c). Portanto, a nitrificação do amônio foi significativa no ambiente, e assim seu decaimento foi favorecido no verão, devido à maior proximidade do valor ótimo de oxigênio dissolvido desta estação em relação ao inverno, apesar do uso de mesmo valor *default* da taxa de nitrificação nas duas estações do ano (ver Tabela 12). Isso pode explicar a diferença de valores, significativamente maiores no verão que no inverno. Informações adicionais dos cálculos envolvendo o processo de nitrificação do amônio no modelo encontram-se disponíveis em Deltares (2013c).

Como os valores de amônio encontrados em todos os pontos de monitoramento foram pequenos, estes não afetaram a qualidade da água em toda a região, pois, o limite de amônio é 0,40 mg N/L (BRASIL, 2005), ordem de 10^{-1}, enquanto que o valor máximo em todos os pontos ficou na ordem de 10^{-3} a 10^{-4} mg N/L, conforme as Figuras 104 a 107, 110 a 113, 116 a 119, e 122 a 125; e Tabelas 47 a 50.

Ancona (2007) amostrou amônio *in situ* na Baía de Santos em 2005, em um ponto próximo à Ponta de Itaipu, situada em Praia Grande. O valor médio na coluna d'água registrado no local foi de 4,5 μmol NH_4^+/L (0,063 mg N/L) em fevereiro, e de 4 μmol NH_4^+/L (0,056 mg N/L) em agosto. Tais valores naturais no ambiente da região vizinha a este estudo estão abaixo do limite CONAMA N.º 357/2005; essas baixas concentrações (10^{-2} mg N/L) são esperadas, uma vez que a região sul-sudeste do litoral brasileiro é caracterizada como oligotrófica, ou seja, apresenta águas pobres em nutrientes (BRAGA & NIENCHESKI, 2006). Porém, como a Baía de Santos recebe o aporte de águas dos estuários de Santos e São Vicente, que possuem elevado grau de contaminação química e biológica devido à intensa atividade industrial do município de Cubatão (AZEVEDO & BRAGA, 2011), além da influência do emissário submarino de Santos, uma estimativa da concentração natural de amônio na região do presente trabalho apresentaria valores menores que os de Ancona (2007), muito possivelmente na ordem de 10^{-3} ou 10^{-4} mg N/L, as ordens de grandeza dos valores finais obtidos neste trabalho com o D3D-WAQ. Assim, mesmo a composição das concentrações naturais medidas com as concentrações das plumas modeladas não superam o limite de 0,40 mg N/L para amônio. Portanto, as plumas dos emissários de Praia Grande e do Rio Itanhaém não seriam prejudiciais à qualidade da água local, em relação a este poluente.

7.5.3. *Nitrato* (NO_3^-)

Quanto aos resultados de nitrato, assim como visto para o amônio, as séries temporais e os cálculos estatísticos, tanto no verão como no inverno, em nenhum momento indicaram valores acima de a 0,40 mg N/L, limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005 para que uma água salina de Classe 1 seja considerada como própria em função da concentração de nitrato (BRASIL, 2005), nos pontos próximos e entre os emissários submarinos de Praia Grande, conforme as Figuras 128 a 131, 134 a 137, 140 a 143 e 146 a 149; e Tabelas 51 a 54.

Quanto às praias de Praia Grande (PRG_01, PRG_02, PRG_03) e de Itanhaém (RIT_P01 e RIT_P02), também não foram registradas concentrações acima do limite para nitrato, no verão e no inverno. Novamente isso pode ser explicado pelo fato das plumas oriundas dos emissários apresentarem concentrações de nitrato muito reduzidas ao atingirem a região litorânea, combinado com o menor potencial de poluição da pluma do Rio Itanhaém em relação às plumas dos emissários de Praia Grande, conforme os valores iniciais de verão e de inverno (ver Tabelas 4 e 6). A concentração de nitrato também diminui conforme ocorre a dispersão das plumas no oceano, em razão do elevado dinamismo do processo de depuração de esgoto (FERREIRA, 2015) e, assim como o amônio, a diminuição da concentração de nitrato ocorre em função da concentração de oxigênio dissolvido na água do mar.

Observando as informações de SABESP (2006c), não se verificou a modelagem de campo distante de nitrato dos emissários PG1, PG2 e PG3. Porém, assim como o amônio, o nitrato também tem seu decaimento no ambiente em função do oxigênio dissolvido, e se sua modelagem *far field* tivesse sido realizada, muito possivelmente seus resultados seriam similares aos do presente trabalho, com maiores concentrações no verão em relação ao inverno, maiores valores nas imediações dos emissários submarinos, e valores dentro da Resolução CONAMA N.º 357/2005 para toda a região de Praia Grande.

Em relação à Laje de Santos (LDS_P02), as estatísticas mostram que não foram registrados valores detectáveis de nitrato em nenhum momento dos meses simulados. Por mais que as plumas oriundas dos emissários cheguem ao PEMLS durante uma eventual passagem de frente fria, o nitrato presente nestas plumas terá sido totalmente diluído, assim como o amônio, e também sofreram processos biogeoquímicos minimizando seus sinais, muito possivelmente devido aos seus valores iniciais serem bem menores que os de *E. coli* nos emissários e no final da modelagem *near field* (Tabela 4 e Tabelas 37 a 42).

A região de estudo apresentou concentrações de oxigênio distantes do valor ótimo de 1 mg/L, e próximos do crítico de 5 mg/L (ver Tabela 12), valores padrão estabelecidos pelo D3D-WAQ para o processo de denitrificação (DELTARES, 2013c). Portanto, a denitrificação do nitrato não foi muito significativa no ambiente e, assim, seu decaimento foi reduzido, em comparação ao amônio. Por mais que o valor *default* da taxa de denitrificação seja idêntico no verão e no inverno, a concentração de oxigênio dissolvido é mais próxima do valor crítico no verão (ver Tabela 12), o que levou a uma taxa levemente menor de decaimento do nitrato durante o verão em relação ao inverno, uma situação oposta ao visto na modelagem de amônio, o que era esperado, pois a nitrificação e a denitrificação são reações opostas. Isso ocasionou uma diferença sazonal pequena entre verão e inverno para a modelagem de nitrato, ao contrário do visto para *E. coli* e amônio, onde os valores de verão foram significativamente maiores que os de inverno. Demais informações dos cálculos de denitrificação do nitrato disponíveis em Deltares (2013c).

Como os valores de nitrato obtidos em todos os pontos de monitoramento foram pequenos, não afetaram a qualidade da água em toda a região de estudo, pois, o limite de nitrato é 0,40 mg N/L (BRASIL, 2005), ordem de 10^{-1}, enquanto que o valor máximo no presente estudo, em todos os pontos, foi da ordem de 10^{-4} mg N/L.

Ferreira (2008) amostrou nitrato *in situ* em estações localizadas na plataforma continental adjacente à Baixada Santista, que inclui a região modelada, no inverno de 2005 e no verão de 2006. O valor médio obtido na camada de fundo foi de 0,538 μmol NO_3^-/L (0,0075 mg N/L) no inverno, e de 0,628 μmol NO_3^-/L (0,0088 mg N/L) no verão; a partir desses dados se pode inferir que a tendência é que as concentrações sejam levemente menores na superfície, devido aos processos de consumo pelo fitoplâncton e maiores no fundo devido à regeneração e circulação. Tais concentrações naturais no ambiente amostradas por Ferreira (2008) estão abaixo de 0,40 mg N/L, limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005, e possuem ordem de grandeza de 10^{-3} mg N/L, valores típicos de águas pobres em nutrientes, situação de toda a costa sul e sudeste do Brasil (BRAGA & NIENCHESKI, 2006). Portanto, essas medições são apenas uma ordem de grandeza acima dos valores finais obtidos no presente trabalho com o modelo D3D-WAQ, ou seja, as concentrações naturais no meio e as concentrações das plumas modeladas, mesmo que adicionadas, não ultrapassariam o limite CONAMA de nitrato no local. Portanto, as plumas dos emissários submarinos de Praia Grande e do Rio Itanhaém não seriam prejudiciais à qualidade da água local, também quanto ao nitrato.

7.5.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})

De acordo com os resultados de modelagem da dispersão do fosfato, as séries temporais e as estatísticas, tanto no período de verão como no de inverno, indicaram a não ocorrência de valores superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005 para que uma água salina de Classe 1 seja considerada como própria, correspondente a 0,062 mg P/L (BRASIL, 2005), nos pontos situados próximo e entre os emissários (Figuras 152 a 155, 158 a 161, 164 a 167 e 170 a 173; e Tabelas 55 a 58).

Em relação às praias de Praia Grande (PRG_01, PRG_02, PRG_03) e de Itanhaém (RIT_P01 e RIT_P02), também não foram registradas concentrações acima do limite para fosfato, no verão e no inverno. Novamente se pode justificar esse padrão pelo fato das plumas dos emissários terem concentrações de poluentes muito reduzidas ao atingirem o litoral, além da pluma do Rio Itanhaém apresentar menor potencial de poluição que as plumas dos emissários, conforme os valores iniciais considerados nas duas estações do ano, conforme as Tabelas 4 e 6. Assim como os demais poluentes anteriores, a concentração de fosfato também diminui gradativamente conforme ocorre a dispersão das plumas no mar, em razão do elevado dinamismo do processo de depuração de esgoto (FERREIRA, 2015); especificamente em relação ao fosfato, a redução de concentração ocorre em função da quantidade de material em suspensão (fosfato adsorvido), da concentração de oxigênio dissolvido e do pH do ambiente.

SABESP (2006c) também realizou a modelagem *far field* de fosfato dos emissários submarinos de Praia Grande, para o inverno de 2005 e o verão de 2006, através do WQMAP. Seus resultados foram similares aos deste trabalho, com concentrações abaixo de 0,05 mg P/L para toda a região, valor menor que o limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005.

Não houve registros de fosfato em nenhum instante, nos processamentos de verão e inverno, no PEMLS (LDS_P02). Ainda que plumas dos emissários alcancem o PEMLS durante ocasionais passagens de frentes frias, também o fosfato destas plumas foi totalmente eliminado antes mesmo de chegar à Laje de Santos, muito provavelmente devido ao fato que sua concentração inicial nos emissários e no final da modelagem feita no UM3 ser bem menor que as de coliformes fecais, assim como observado para amônio e nitrato (ver Tabela 4 e Tabelas 37 a 42).

Ao contrário da nitrificação do amônio e da denitrificação do nitrato, o modelo D3D-WAQ não considera valores ótimos e críticos para os parâmetros referentes à adsorção do fosfato (DELTARES, 2013c). Como não foi considerada a presença de material em suspensão na modelagem deste poluente, a adsorção foi representada nas simulações apenas em função de oxigênio dissolvido e do pH. O valor *default* da taxa de adsorção do fosfato considerado pelo modelo foi similar no verão e no inverno, assim como o pH da água do mar; assim, a diferença entre os meses de simulação ficou apenas no oxigênio dissolvido, onde o inverno apresenta uma disponibilidade um pouco maior (ver Tabela 12). Por fim, os resultados registraram maiores concentrações de fosfato no verão que no inverno. Informações adicionais sobre a realização dos cálculos de adsorção do fosfato no modelo D3D-WAQ podem ser encontradas em Deltares (2013c).

Como os valores de fosfato obtidos em todos os pontos de monitoramento foram pequenos, não afetaram a qualidade da água em toda a região de estudo, uma vez que o limite de fosfato é 0,062 mg P/L (BRASIL, 2005), da ordem de 10^{-2}, enquanto que o valor máximo calculado pelo modelo, em toda a grade, foi da ordem de 10^{-3} e 10^{-4} mg P/L.

Ferreira (2008) também apresenta medições de fosfato *in situ* na camada de fundo, nos mesmos pontos em que foi amostrado o nitrato, na plataforma continental adjacente à Baixada Santista, no inverno de 2005 e no verão de 2006. Os valores médios obtidos nesses pontos, na camada de fundo, foi de 0,268 μmol PO_4^{3-}/L (0,0083 mg P/L) no inverno, e de 0,225 μmol PO_4^{3-}/L (0,0070 mg P/L) no verão, com tendência de valores levemente menores na superfície, devido ao consumo pelo fitoplâncton e maiores no fundo devido à regeneração e circulação. Tais concentrações naturais no ambiente amostradas por Ferreira (2008) estão abaixo de 0,062 mg P/L, limite de fósforo total estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005, e assim como visto para amônio e nitrato, são típicas de ambientes oligotróficos (BRAGA & NIENCHESKI, 2006), com ordem de grandeza de 10^{-3} mg P/L, mesma ordem de grandeza dos valores finais obtidos no modelo D3D-WAQ. Consequentemente, o limite CONAMA para este poluente não seria ultrapassado mesmo se as concentrações naturais no meio e as concentrações das plumas modeladas na região do presente trabalho fossem somadas; portanto, assim como visto anteriormente para o amônio e o nitrato, também para o fosfato não haveria impactos nocivos na qualidade da água da região analisada pelas plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3 e pela pluma do Rio Itanhaém.

7.6. Validação do modelo de qualidade da água

Para facilitar a discussão da validação qualitativa dos processamentos do modelo D3D-WAQ, a Tabela 68 contém o percentual de comparações com ordens de grandeza que coincidiram, ao considerar resultados das simulações e medições.

Tabela 68 – Resumo da validação qualitativa do D3D-WAQ, para cada indicador de qualidade da água considerado nas simulações.

Poluentes	Comparações	Validações	Percentual validado
E. coli	6	4	66,67%
Amônio	12	7	58,33%
Nitrato	12	9	75,00%
Fosfato	12	1	8,33%
Total	42	21	50,00%

Apesar de cada poluente ter apresentado algumas limitações em sua validação individual, no total das 42 comparações entre saídas do modelo e amostragens *in situ* envolvendo todos os poluentes, o D3D-WAQ apresentou 21 validações, exatamente 50% das comparações; e excetuando o fosfato, se tem 66,67% de casos validados. Portanto, o modelo de qualidade da água pôde ser considerado como validado quanto à dispersão de poluentes oriundos das fontes de poluição simuladas – os emissários submarinos de Praia Grande e o Rio Itanhaém. A seguir, serão discutidas as validações individualmente para cada poluente.

7.6.1. *Coliformes fecais (E. coli)*

A análise qualitativa de *E. coli* permitiu uma boa validação dos resultados obtidos pelo D3D-WAQ, com mais da metade das comparações válidas na costa de Praia Grande (Tabelas 59, 60 e 68), o que indica a boa qualidade dos valores usados nos parâmetros de mortalidade dos coliformes na modelagem *far field* (Tabela 12).

Quanto aos resultados invalidados, uma possível explicação se deve ao fato de não considerar as demais fontes de poluição costeira na modelagem do campo distante das plumas. SABESP (2006a) informa que o litoral de Praia Grande possui 10 córregos (canais) que deságuam diretamente na região costeira do município, trazendo esgoto bruto e sem qualquer tipo de tratamento diretamente para as praias. Apesar da falta de informações de tais córregos (vazão, temperatura, salinidade, poluentes, etc.), se pode afirmar que os mesmos possuem potencial de poluição significativo.

No cenário real, onde foi realizada a amostragem *in situ* da SABESP, a influência destes córregos na região dos três pontos utilizados para validação de *E. coli* (praias Aviação, Ocian e Jardim Real, do município de Praia Grande) pode ter ocasionado o aumento da concentração de coliformes nessas praias, com a sobreposição de suas plumas às dos emissários submarinos, atingindo valores acima dos resultados da modelagem de campo distante (ver Tabelas 43 a 46), que apresentaram concentrações abaixo do limite de 800 NMP/100mL da Resolução CONAMA N.º 274/2000 (BRASIL, 2001) nessas praias, no verão e no inverno.

7.6.2. *Amônio* (NH_4^+)

Quanto às validações qualitativas da modelagem da dispersão do amônio, mais uma vez o D3D-WAQ apresentou bons resultados, com mais da metade das comparações validadas na região dos emissários (Tabelas 61, 62 e 68), o que indica a boa qualidade dos valores dos parâmetros representantes da nitrificação do amônio nas simulações de campo distante (Tabela 12).

Em relação aos resultados invalidados, há algumas diferenças nas ordens de grandeza entre saídas do modelo e amostras *in situ*. Apesar da concentração natural de amônio na região ser baixa, uma possível explicação para as discrepâncias é que a grade utilizada para a realização da modelagem *far field* no D3D-WAQ englobou apenas a região de Praia Grande até Peruíbe. A modelagem realizada não considerou as influências de poluição advinda das regiões próximas da região simulada, como por exemplo, da Baía de Santos, visto que esta região vizinha não foi incluída na grade computacional do presente modelo, e também não foi considerada através das condições de contorno aqui especificadas. De fato, esta área vizinha, além de apresentar maiores concentrações naturais de amônio que a região simulada (ANCONA, 2007), devido à influência de dois estuários e da poluição industrial (AZEVEDO & BRAGA, 2011), também abriga o

emissário submarino de Santos, que tem potencial de poluição maior que os emissários submarinos de Praia Grande (SABESP, 2006c).

No caso real da pluma oriunda do emissário de Santos sair da Baía e ser transportada para sudoeste, direção padrão das correntes geradas pelo vento local, ou seja, para a região de Praia Grande, isso causaria sua sobreposição com as plumas dos emissários PG1, PG2 e PG3, levando a um aumento da concentração de poluentes na região aqui estudada, no caso, para o amônio.

7.6.3. *Nitrato* (NO_3^-)

As validações qualitativas de nitrato também registraram bons resultados, assim como o amônio, com mais da metade das comparações entre resultados do D3D-WAQ e medições da SABESP (2006a) validadas na região dos emissários (Tabelas 63, 64 e 68), o que indica a boa qualidade dos valores utilizados para a denitrificação do nitrato na modelagem *far field* (Tabela 12).

Nos resultados invalidados, novamente ocorreram algumas diferenças nas ordens de grandeza entre saídas do modelo e amostras *in situ*, apesar da concentração natural de nitrato local ser baixa (FERREIRA, 2008). Assim como visto para o amônio, a não consideração das fontes poluidoras das regiões vizinhas da grade nas simulações do modelo D3D-WAQ pode ter resultado em tais invalidações.

No cenário real, influências das plumas de poluentes de outras fontes potenciais de poluição, como do emissário de Santos, causaria sua sobreposição as plumas dos emissários submarinos de Praia Grande, o que causa um aumento da concentração na área de interesse.

7.6.4. *Fosfato* (PO_4^{3-})

Em relação à validação qualitativa da modelagem realizada para o fosfato, esta foi a que apresentou os piores resultados, com apenas uma comparação validada em um total de 12 análises na região dos emissários, com diferenças nas ordens de grandeza entre modelo e amostragem *in situ* um pouco maiores que as obtidas para amônio e nitrato, conforme as Tabelas 65, 66 e 68.

Apesar da boa representação da adsorção do fosfato nas simulações de qualidade da água, mais uma vez a questão dos limites da grade computacional pode ter influenciado diretamente nestes resultados, assim como visto em amônio e nitrato, apesar da baixa concentração natural de fosfato (FERREIRA, 2008).

Uma possível influência da pluma do emissário de Santos poderia ocasionar o aumento da concentração de fosfato na região aqui estudada, em função de sua sobreposição com as plumas dos emissários de Praia Grande.

Como as diferenças nas concentrações de fosfato entre resultados das simulações e valores amostrados *in situ* foram maiores que as obtidas na modelagem de amônio e nitrato, é possível afirmar que a concentração de fosfato nas plumas advindas das fontes de poluição não consideradas é significativamente maior que as dos poluentes nitrogenados estudados, e / ou que sua biogeoquímica na região é diferenciada daquela dos demais nutrientes observados.

8. CONCLUSÕES

A utilização de modelos hidrodinâmico e de qualidade da água permitiu uma excelente análise das variabilidades espaço-temporais da hidrodinâmica costeira, bem como dos processos de dispersão das plumas de efluentes da região estudada, no litoral centro-sul do Estado de São Paulo (Figuras 5 e 6).

O modelo D3D-FLOW possibilitou uma excelente representação da hidrodinâmica nas simulações realizadas na região de estudo, apresentando resultados concordantes com as feições hidrodinâmicas estabelecidas na literatura (ver Figuras 14 a 69 e Tabelas 15 a 32). Além disso, os resultados obtidos pelos sete métodos de validação do modelo hidrodinâmico, tanto nas simulações 2D (exclusivamente com as forçantes de marés), como nas simulações 3D (com o uso de todas as forçantes), indicam um alto grau de confiabilidade para a representação da circulação de maré e da circulação completa na região de estudo, respectivamente (ver Figuras 70 a 73 e Tabelas 33 a 36). Portanto, as hipóteses estabelecidas para o presente trabalho em relação à modelagem hidrodinâmica da região estudada foram verificadas.

Variações sazonais encontradas nos campos hidrodinâmicos estão relacionadas com a sazonalidade dos ventos e com a passagem de frentes frias (ver Figuras 30, 31, 40 e 41).

De acordo com os relatórios anuais de qualidade das praias paulistas, publicados pela CETESB, as praias de Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe têm registrado condições impróprias de balneabilidade, principalmente durante os meses de verão. No período correspondente aos anos de 2011 a 2015, os municípios citados apresentaram, em grande parte da estação de verão, para as classificações de suas praias, as classes "ruim" ou "péssima" (CETESB, 2012; CETESB, 2013; CETESB, 2014; CETESB, 2015; CETESB, 2016), o que confirma a influência do aumento populacional durante o verão na poluição ambiental do litoral da região, principalmente na forma de produção de esgoto.

No presente trabalho, foram consideradas como fontes poluentes somente as descargas dos três emissários de Praia Grande e a vazão do Rio Itanhaém, tidos como os principais responsáveis pela poluição da região costeira estudada (Figuras 8, 9 e 12).

Na modelagem de campo próximo, realizada com o modelo UM3, os resultados indicaram que tanto as correntes de maré como as correntes geradas pelo vento influem no transporte inicial das plumas dos três emissários submarinos. Suas plumas apresentaram uma boa diluição, a qual foi mais eficiente pelo transporte para oeste-sudoeste e para leste-nordeste através de correntes geradas pelo vento; a menor diluição ocorreu nos transportes para noroeste e sudeste, pelas correntes de maré, o que causou a sobreposição das plumas e aumentou as concentrações de poluentes (ver Figuras 74 a 79). Os resultados de modelagem dos campos próximo e intermediário também evidenciaram a influência da população flutuante no verão, com valores significativamente maiores que no inverno.

A utilização do modelo D3D-WAQ, em conjunto com os resultados hidrodinâmicos do D3D-FLOW, para o monitoramento da dispersão das plumas dos emissários submarinos PG1, PG2 e PG3, e do Rio Itanhaém, mostrou que suas plumas atingiram o litoral até aproximadamente as isolinhas de 25 e 30m, porém, a poluição causada por tais fontes nas praias locais não extrapola os limites estabelecidos pelo CONAMA para os quatro poluentes abordados, ocorrendo valores acima do limite apenas para coliformes, nas proximidades dos emissários (ver Figuras 80 a 175 e Tabelas 43 a 58).

Foi demonstrado também que, apesar das plumas dos emissários eventualmente chegarem à Laje de Santos, estas não afetam a qualidade de suas águas, pois, ao chegar a esta região, as concentrações dos poluentes nas plumas eram baixas e praticamente desprezíveis, conforme observado nas Figuras 176 a 179.

Portanto, é possível afirmar que os emissários submarinos de Praia Grande estão bem dimensionados e operando corretamente, e juntamente com o Rio Itanhaém, não podem ser considerados como responsáveis pela balneabilidade imprópria das praias na região. Assim, as hipóteses estabelecidas para o presente trabalho quanto à concentração dos indicadores de qualidade da água e da eficiência da operação dos emissários submarinos foram verificadas.

No caso de Praia Grande, onde a balneabilidade em geral permaneceu como imprópria na grande maioria de suas praias, tanto no verão como no inverno no ano de 2012 (CETESB, 2013), os 10 córregos que deságuam diretamente na região litorânea do município podem ser apontados como os principais responsáveis pela poluição e pela má qualidade da água em seu litoral, visto que trazem esgoto bruto e sem tratamento diretamente às praias (SABESP, 2006a). Nos demais municípios, a balneabilidade também permaneceu imprópria em grande parte de suas praias, nas estações de verão e inverno de 2012 (CETESB, 2013), e isso pode ser explicado pela alta probabilidade de também haver córregos despejando esgoto sem tratamento em suas praias. Ferreira (2015) também concluiu em sua modelagem de qualidade da água que os principais responsáveis pela a poluição e má qualidade da água na região de Guarujá foram os córregos existentes na região, que trazem esgoto bruto à costa.

Os resultados de balneabilidade indicam que as praias analisadas estão sofrendo contaminação crônica. Uma vez que esses municípios não possuem 100% de coleta e tratamento de esgoto (CETESB, 2014; CETESB, 2015; CETESB, 2016), é necessário maior investimento em saneamento básico e também uma conscientização da população para ligar seu esgoto na rede coletora, uma vez que a tendência é de aumento populacional nas próximas décadas. Um estudo realizado por Yang, Sinisgalli & Harari (2014) mencionou a ocorrência do alto número de internações pelo Sistema Único de Saúde (SUS) no período de 2010 a 2012 no município de Praia Grande, devido a diarreia e gastroenterite (doenças causadas por *Escherichia coli*), principalmente no verão, e após os autores realizarem a valoração ambiental de impactos econômicos decorrentes da qualidade da água das praias do município no SUS, também se concluiu pela necessidade de maior investimento em saneamento básico e de conscientização populacional.

O modelo D3D-WAQ pôde ser validado qualitativamente (ver Tabelas 59 a 66 e Tabela 68); apesar de algumas diferenças de seus resultados em relação aos valores *in situ* amostrados pela SABESP (2006a), em geral as comparações apresentaram resultados satisfatórios. As discrepâncias indicaram valores *in situ* maiores do que as saídas do modelo, provavelmente devido a: consideração apenas dos emissários de Praia Grande e do Rio Itanhaém como fontes de poluição na grade estabelecida no modelo de qualidade da água; não foram consideradas as demais fontes poluentes existentes na região de estudo, como os córregos que deságuam diretamente com esgoto bruto no litoral de Praia Grande e os demais canais que trazem esgoto diretamente à região litorânea de Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe, devido à falta de informações destes na literatura; também não foi possível considerar as influências das fontes de poluição das regiões adjacentes (como por exemplo, a Baía de Santos), devido aos limites geográficos da grade computacional adotada e falta de informações na imposição de condições de contorno. Portanto, é recomendada a realização de monitoramentos para obtenção e consequente uso de tais informações no futuro, para a realização de estudos de monitoramento ambiental ainda mais realísticos.

A interdisciplinaridade envolvida na elaboração do presente estudo permitiu o desenvolvimento de conhecimento científico sobre as variabilidades espaciais e temporais da hidrodinâmica costeira e dos processos de dispersão das plumas de efluentes na região costeira de Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe. Com base na comparação dos resultados do presente trabalho com demais informações na literatura, foi possível obter informações da qualidade da água destinada à recreação de contato primário nas praias da região de estudo. Resultados referentes à análise de qualidade da água são de suma importância em termos de saúde pública e no planejamento ambiental de qualquer região litorânea, que depende do turismo para a sua economia.

Este trabalho poderá servir de modelo e referência para futuros estudos interdisciplinares, principalmente nas áreas de ciência ambiental, hidrodinâmica costeira, poluição marítima, engenharia sanitária, saúde pública e modelagem numérica.

Por fim, futuros trabalhos envolvendo modelagem de qualidade da água poderiam considerar as concentrações de indicadores de qualidade da água no sedimento; e também realizar futuras projeções da população atendida e do aporte de esgotos por emissários submarinos, para assim, simular futuros cenários de dispersão de plumas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, P. & ARASAKI, E. **Engenharia portuária: a técnica aliada ao enfoque logístico**. São Paulo (SP): Edgard Blücher, 2014. 1307p.

AMADO FILHO, G.M.; HORTA, P.A.; BRASILEIRO, P.S.; BARROS-BARRETO, M.B. & FUJII, M.T. Subtidal benthic marine algae of the marine state park of Laje de Santos (São Paulo, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo (SP), 54(4): pp. 225-234, 2006.

AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**. Première édition. Brest (France) : Centre National pour l'Exploitation des Óceans (CNEXO), 1983. 395p.

ANCONA, C.M. Aspectos da variação espacial e temporal da biomassa e produção fitoplanctônica e parâmetros correlatos no estuário e baía de Santos. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, São Paulo (SP): 2007. 229p.

ARASAKI, E. & ORTIZ, J.P. Decision criteria applied to submarine outfalls in São Paulo coastal waters. *In*: LAMPARELLI, C.C. & ORTIZ, J.P. **Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento**. São Paulo (SP): CETESB, 2007, pp. 187-203.

AZEVEDO, J.S. & BRAGA, E.S. Caracterização hidroquímica para qualificação ambiental dos estuários de Santos – São Vicente e Cananéia. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza (CE), 44(2): pp. 52-61, 2011.

BAPTISTELLI, S.C. Análise crítica da utilização de modelagem matemática na avaliação da dispersão de efluentes leves no litoral da Baixada Santista (Estado de São Paulo). Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo (SP): 2008. 314p.

BATISTA, S.S. Avaliação dos efeitos de ações antrópicas sobre o sistema costeiro de Ubatuba (SP) através de modelagem ambiental. Dissertação de Mestrado, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE USP), Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), São Paulo (SP): 2016. 121p.

BAUMGARTNER, D.J.; FRICK, W.E. & ROBERTS, P.J.W. **Dilution models for effluent discharges**. 3rd edition. Portland (OR, USA): United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1994. 189p.

BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. Global Mapper. Hallowell (ME, USA): 2015. Disponível em: <http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php>. Acesso em: 30 jan. 2015.

BRAGA, E.S.; BONETTI, C.V.D.H.; BURONE, L. & BONETTI FILHO, J. Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System – Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford (UK), 40(2): pp. 165-173, 2000.

BRAGA, E.S. & NIENCHESKI, L.F.H. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). *In*: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. & MADUREIRA, L.S.P. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude da região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo (SP): Edusp, 2006, pp.161-218.

BRASIL. Resolução N.º 274 de 29 de novembro de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), N.º18: pp. 70-71, janeiro 2001.

BRASIL. Resolução N.º 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), N.º 53: pp. 58-63, março 2005.

BRASIL. **Turismo de sol e praia: orientações básicas**. 2ª edição. Brasília (DF): Ministério do Turismo, 2010. 59p.

BUSSAB, W.O. & MORETTIN, P.A. **Estatística básica**. 5ª edição. São Paulo (SP): Editora Saraiva, 2009. 526p.

CAMARGO, R. & HARARI, J. Tides and wind-driven circulation in the tropical and southern Atlantic Ocean: The BRAZCOAST System. **Atmospheric and Oceanic Science Letters**, Beijing (China), 7(5): pp. 476-480, 2014.

CARLOS, A.F. Avaliação da interação entre circulação marinha e parâmetros socioambientais na Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Sul (APAMLS) através de modelagem numérica. Dissertação de Mestrado, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE USP), Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), São Paulo (SP): 2015. 124p.

CETESB. **Qualidade das praias litorâneas no estado de São Paulo – 2011**. Relatório técnico. São Paulo (SP): CETESB, 2012. 193p.

CETESB. **Qualidade das praias litorâneas no estado de São Paulo – 2012**. Relatório técnico. São Paulo (SP): CETESB, 2013. 189p.

CETESB. **Qualidade das praias litorâneas no estado de São Paulo – 2013**. Relatório técnico. São Paulo (SP): CETESB, 2014. 213p.

CETESB. **Qualidade das praias litorâneas no estado de São Paulo – 2014**. Relatório técnico. São Paulo (SP): CETESB, 2015. 223p.

CETESB. **Qualidade das praias litorâneas no estado de São Paulo – 2015**. Relatório técnico. São Paulo (SP): CETESB, 2016. 188p.

CIRANO, M.; MATA, M.M.; CAMPOS, E.J.D. & DEIRÓ, N.F.R. A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação global OCCAM. **Revista Brasileira de Geofísica.** 24(2): pp. 209-230, maio 2006.

CTHUSP. **Informações sobre níveis d'água máximos no Estuário do Rio Itanhaém**. Parecer técnico. P.T. 004-013-98. São Paulo (SP): Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo (CTHUSP), 1998. 11p.

DAEE. Hidrologia: banco de dados hidrológicos. São Paulo (SP): 2015. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 14 maio 2015.

DELFIM, V. Modelagem e análise do lançamento de efluentes através de emissário submarino – Região do Campeche, Florianópolis, SC. Monografia de Bacharelado, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar da Universidade do Vale do Itajaí (CTTMar – Univali), Graduação em Oceanografia, Itajaí (SC): 2011. 66p.

DELTARES. **Delft3D: functional specifications**. Version 2.20.23866. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 2013a. 38p.

DELTARES. **Delft3D-FLOW User Manual: simulation of multi-dimensional hydrodynamics flows and transport phenomena, including sediments**. Version 3.15.26466. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 2013b. 676p.

DELTARES. **D-Water Quality Technical Reference Manual: Processes library description and detailed description of processes**. Version 4.00.26795. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 2013c. 452p.

DELTARES. **D-Water Quality User Manual: versatile water quality modeling in 1D, 2D or 3D systems including physical, (bio) chemical and biological processes**. Version 4.99.29153. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 2013d. 394p.

DELTARES. Open Earth: Delft Dashboard. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 2014. Disponível em: <https://publicwiki.deltares.nl/display/OET/DelftDashboard>. Acesso em: 23 fev. 2015.

DHN. Carta da série internacional: de Santos a Paranaguá. Rio de Janeiro (RJ): 2004. N.º 23200 (Int. 2125). Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html>. Acesso em: 19 set. 2014.

DORIA FILHO, U. **Introdução à Bioestatística: para simples mortais**. 14ª Reimpressão. São Paulo (SP): Elsevier, 2003. 158p.

EGBERT, G.D.; BENNETT, A.F. & FOREMAN, M.G.G. TOPEX/Poseidon tides estimated using a global inverse model. **Journal of Geophysical Research**, 99(12): pp. 24821-24852, December 1994.

FENG, Z.; RENIERS, A.; HAUS, B.; SOLO-GABRIELE, H.; FIORENTINO, L; OLASCOAGA, M. & MACMAHAN, J. Modeling microbial water quality at a beach impacted by multiple non-point sources. **Coastal Engineering**, Los Angeles (CA, USA), 1(33): Management 74, pp. 1-12, 2012.

FERREIRA, F.R. Análise da qualidade ambiental das praias do Guarujá (SP) através da avaliação de lançamentos pontuais de esgotos - emissário submarino do Guarujá, canais artificiais e rios da Praia do Perequê. Dissertação de Mestrado, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE USP), Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), São Paulo (SP): 2015. 134p.

FERREIRA, J.A. Estudo das associações de anelídeos Polychaeta da baía de Santos e plataforma continental adjacente (SP, Brasil) e suas interrelações com parâmetros físicos e geoquímicos estruturadores. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, São Paulo (SP): 2008. 186p.

FIEDLER, M.F.M. Dinâmica estuarina em cenários de aumento do nível do mar: estuário de Santos, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Geológica, São Paulo (SP): 2015. 130p.

FOFONOFF, N.P. & MILLARD JUNIOR, R.C. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. **UNESCO Technical Papers in Marine Science**, Paris (France), N.º 44, SCOR Working Group 51, 1983, pp. 1-53.

FRAGOSO JÚNIOR, C.R.; FERREIRA, T.F. & MARQUES, D.M. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos.** São Paulo (SP): Oficina de Textos, 2009. 304p.

FRICK, W.E. Visual Plumes mixing zone modeling software. **Environmental Modeling & Software**, 19(5): pp. 645-654, 2004.

FRICK, W.E.; ROBERTS, P.J.W.; DAVIS, L.R.; KEYES, J.; BAUMGARTNER, D.J. & GEORGE, K.P. **Dilution models for effluent discharges: Visual Plumes**. 4th edition. Athens (GA, USA): United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2001. 136p.

GARISSON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. Tradução da 7ª edição norte-americana. São Paulo (SP): National Geographic & Cengage Learning, 2016. 451p.

GEORGIOU, S.; LANGFORD, I.; BATEMAN, I. & TURNER, R.K. Economic and epidemiological investigation of coastal bathing water health risks. **CSERGE Working Paper**, Norwich (UK), 96(1): 1996.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://www.google.com/earth/index.html>. Acesso em: 10 fev. 2015.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto N.º 53.526 de 08 de outubro de 2008. **Diário Oficial do Poder Executivo**, São Paulo (SP), 118(191): pp. 5-6, outubro 2008.

GREGORIO, H.P. Modelagem numérica da dispersão da pluma do emissário submarino de Santos. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, São Paulo (SP): 2009. 108p.

HARARI, J. **Fundamentos de modelagem numérica em Oceanografia**. São Paulo (SP): SALT Sea & Limno Technology, 2015. 246p.

HARARI, J.; CAMARGO, R.; FRANÇA, C.A.S.; MESQUITA, A.R. & PICARELLI, S.S. Numerical modeling of the hydrodynamics in the coastal area of São Paulo State, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 39: pp. 1560-1563, 2006.

HARARI, J.; FERREIRA, F.R.; DEGASPARI, F.A. & SARTOR, S.M. Modelagem numérica da hidrodinâmica e da dispersão de esgoto na Baía de Santos, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre (RS), 18(1): pp. 205-214, janeiro/março 2013.

HARARI, J.; FRANÇA, C.A.S. & CAMARGO, R. Climatology and hydrography of Santos Estuary. *In*: NEVES, R.; BARETTA, J. & MATEUS, M. **Perspectives on integrated coastal zone management in South America**. Lisboa (Portugal): Instituto Superior Técnico (IST), 2008, pp. 147-160.

HARARI, J.; FRANÇA, C.A.S. & MARQUES, J. Aplicações da modelagem numérica da Baía de Santos (SP, Brasil): correntes residuais e dispersão de poluentes. *In*: **Anais do 1º Encontro Internacional de Governança da Água na América Latina**, São Paulo (SP), 2007. pp. 1-15.

HESS, K.W. & BOSLEY, K.T. Methodology for validation of a Tampa Bay circulation model. *In*: **Proceedings of 2nd International Conference on Estuarine and Coastal Modeling**, Tampa (FL, USA), 1991. pp. 83-94.

IAGUSP. MASTER: Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais. São Paulo (SP): Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAGUSP), 2015. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/>. Acesso em: 15 abr. 2015.

IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro (RJ): Diretoria de geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (DGC IBGE), 2011. 176p.

IBGE. Cidades: Informações completas (Praia Grande). Rio de Janeiro (RJ): 2015. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/DSP>. Acesso em: 23 nov. 2015.

IBGE. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2015**. Relatório técnico. Rio de Janeiro (RJ): Diretoria de pesquisas / Coordenação de população e indicadores sociais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (DPE/COPIS IBGE), 2016. 127p.

INPE. Calculadora geográfica. São José dos Campos (SP): Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/calcula/>. Acesso em: 27 maio 2016.

JOHNSEN, S. & SOSIK, H. Shedding light on light in the ocean: new research is illuminating an optically complex environment. **Oceanus**, Falmouth (MA, USA), 43(2): pp. 24-28, 2004.

JORGE, R.R.; HARARI, J. & FUJII, M.T. Macroalgal composition and its association with local hydrodynamics in the Laje de Santos Marine State Park, Southwestern Atlantic, São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo (SP), 60(3): pp. 405-419, 2012.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, M.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R. & JOSEPH, D. The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77(3): pp. 437-471, March 1996.

KING, I.P. Chapter 3: governing equations for water quality parameters. *In*: KING, I.P. **Documentation RMA-11: a three dimensional finite element model for water quality in estuaries and streams**. Version 9.1a. Sydney (Australia): Resource Modelling Associates, 2016, pp. 3.1-3.35.

LAMPARELLI, C.C. Desafios para o licenciamento e monitoramento ambiental de emissários: a experiência de São Paulo. *In*: LAMPARELLI, C.C. & ORTIZ, J.P. **Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento**. São Paulo (SP): CETESB, 2007, pp. 11-23.

LUIJENDIJK, A. Validation, calibration and evaluation of a Delft3D-FLOW model with ferry measurements. Master's Degree Dissertation, Faculty of Civil Engineering and Geosciences of Delft University of Technology (CiTG – TU Delft), Graduate Program in Civil Engineering, Delft (Netherlands): 2001. 92p.

MACEDO, L.S.; NARDUCCI, L.; CIRELLI, J. & ALÁRIO, L.A.N. A utilização de metodologia não destrutiva na implantação do trecho de arrebentação do emissário do subsistema III da Praia Grande. **Revista DAE**, São Paulo (SP), N.º180: pp. 32-43, maio 2009.

MALHADAS, M.M.S. Modelação do impacte de emissários submarinos em zonas costeiras: caso da Foz do Arelho. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa (IST – UTL), Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Gestão e Modelação de Recursos Marinhos, Lisboa (Portugal): abril 2008. 122p.

MANCINI, J.L. Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions. **Journal Water Pollution Control Federation**, Alexandria (VA, USA), 50(11): pp. 2477-2484, November 1978.

MARCELLINO, E.B. **Análise e recomendações para a capacidade atual de interceptação e disposição oceânica de esgotos dos subsistemas I e II: município de Praia Grande**. Relatório técnico. São Paulo (SP): SABESP, 2004. 67p.

MARONE, E. & NOERNBERG, M.A. **Modelagem numérica costeira no estado do Paraná: do usuário ao desenvolvedor dos dados ao produto.** Relatório técnico. Pontal do Paraná (PR): Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2003. 29p.

MARTINS, C.C.; GOMES, F.B.A.; FERREIRA, J.A. & MONTONE, R.C. Marcadores orgânicos de contaminação por esgotos sanitários em sedimentos superficiais da Baía de Santos, São Paulo. **Química Nova**, São Paulo (SP), 31(5): pp. 1008-1014, 2008.

MATHWORKS. MATLAB: the language of technical computing. 2015. Disponível em: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>. Acesso em: 25 fev. 2015.

MESINGER, F. & ARAKAWA, A. **Numerical methods in atmospheric models**. Technical report. Volume 1, Global Atmospheric Research Program (GARP) Publication Series 17. Geneva (Switzerland): World Meteorological Organization (WMO), 1976. 64p.

MONTONE, R.C. & BÍCEGO, M.C. Indicadores químicos de esgotos. *In*: BAPTISTA-NETO, J.A.; WALLNER-KERSANACH, M. & PATCHINEELAM, S.M. **Poluição marinha**. Rio de Janeiro (RJ): Interciência, 2008, pp. 397-412.

NOAA. NCEP / NCAR Reanalysis 1: Summary. Boulder (CO, USA): Physical Sciences Division of NOAA Earth System Research Laboratory, 2015. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>. Acesso em: 15 abr. 2015.

O'BRIEN, J.J. **Advanced physical oceanographic numerical modelling.** Dordrecht (Netherlands): D. Reidel Publishing Company, 1985. 608p.

OLIVEIRA, M.L.J.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X.L. & FERREIRA, J.R. Mercúrio total em solos de manguezais da baixada santista e ilha do Cardoso, estado de São Paulo. **Química Nova**, São Paulo (SP), 30(3): pp. 519-524, 2007.

PEREIRA, N.E.S. Análise de parâmetros hidrodinâmicos e da clorofila *a* no Atlântico Sul e Tropical a partir de modelagem numérica e observações remotas. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, São Paulo (SP): 2013. 90p.

QUIÑONES, E.M. Relações água-solo no sistema ambiental do estuário de Itanhaém (SP). Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI – UNICAMP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Campinas (SP): 2000. 185p.

RYLANDS, A.B. & BRANDON, K. Unidades de conservação brasileiras. **Megadiversidade**, Belo Horizonte (MG), 1(1): pp. 27-35, julho 2005.

SABESP. **Prestação de serviços referentes à execução dos programas de monitoramento ambiental da área sob influência do emissário submarino de esgotos de Santos / São Vicente e de monitoramento ambiental da área sob influência dos emissários submarinos de esgotos de Praia Grande - Subsistemas 1, 2 e 3**. Relatório técnico. Vol. II (Avaliação do monitoramento de Praia Grande), N.º 501. São Paulo (SP): SABESP, 2006a. 380p.

SABESP. **Prestação de serviços referentes à execução dos programas de monitoramento ambiental da área sob influência do emissário submarino de esgotos de Santos / São Vicente e de monitoramento ambiental da área sob influência dos emissários submarinos de esgotos de Praia Grande - Subsistemas 1, 2 e 3**. Relatório técnico. Vol. III (Modelagem hidrodinâmica), N.º 501. São Paulo (SP): SABESP, 2006b. 111p.

SABESP. **Prestação de serviços referentes à execução dos programas de monitoramento ambiental da área sob influência do emissário submarino de esgotos de Santos / São Vicente e de monitoramento ambiental da área sob influência dos emissários submarinos de esgotos de Praia Grande - Subsistemas 1, 2 e 3**. Relatório técnico. Vol. IV (Modelagem da dispersão da pluma), N.º 501. São Paulo (SP): SABESP, 2006c. 95p.

SABESP. **Termo de Referência para Prestação dos Serviços de Monitoramento: Plano de Monitoramento – Maio / 2010**. Relatório técnico. São Paulo (SP): SABESP, 2010. pp. 104-109.

SCHMIEGELOW, J.M.M. **O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas**. Rio de Janeiro (RJ): Interciência, 2004. 202p.

SELUCHI, M.E. & MARENGO, J.A. Tropical-mid latitude exchange of air masses during summer and winter in South America: climate aspects and extreme events. **International Journal of Climatology**, 20(10): pp. 1167-1190, August 2000.

SILVA, G.C.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M. & MARACINI, P. Análise de encalhes de tartarugas marinhas (Tetsudines: *Cheloniidae* e *Dermochelydae*) nos municípios da baixada santista, Iguape e Cananéia no período de 2004 à 2011. **Revista Ceciliana**, Santos (SP), 4(2): pp. 9-15, 2012.

SMALL, C. & COHEN, J.E. Continental physiography, climate and the global distribution of human population. **Current Anthropology**, Chicago (IL, USA), 45(2): pp. 269-277, April 2004.

SOUZA-PEREIRA, P.E. & CAMARGO, A.F.M. Efeito da salinidade e do esgoto orgânico sobre a comunidade zooplanctônica, com ênfase nos copépodes, do estuário do Rio Itanhaém, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá (PR), 26(1): pp. 9-17, 2004.

STEWART, R.H. **Introduction to Physical Oceanography.** College Station (TX, USA): Department of Oceanography Texas A&M University, 2008. 345p.

SUBTIL, E.L. Tratamento de águas residuárias utilizando emissários submarinos: avaliação do nível de tratamento para uma disposição oceânica absolutamente segura. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo (SP): 2012. 218p.

TALLEY, L.D.; PICKARD, G.L.; EMERY, W.J. & SWIFT, J.H. **Descriptive Physical Oceanography: an introduction**. 6th edition. Oxford (UK): Elsevier Academic Press, 2011. 575p.

VALENTE, M.H.M. Circulação na plataforma interna do litoral norte do estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, São Paulo (SP): 1998. 153p.

WALSTRA, D.J.R.; VAN RIJN, L.C.; BLOGG, H. & VAN ORMONDT, M. Evaluation of a hydrodynamic area model based on the COAST3D data at Teignmouth 1999. *In*: **Proceedings of 4th Coastal Dynamics Conference**, Report TR121, Wallingford (UK), 2001. pp. D1-D4.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, 2(2): pp. 184-194, July 1981.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of the model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 63(11): pp. 1309-1313, November 1982.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health risks from marine pollution in the Mediterranean: part 1 – implications for policy makers**. Technical report. Copenhagen (Denmark): WHO Library, 1995. 6p.

WRIGHT, J.R.; COLLING, A. & PARK, D. **Waves, tides, and shallow-water processes: prepared by an Open University course team.** 2nd edition. Oxford (UK): Butterworth Heinemann, 1999. 227p.

YANG, S.H.; SINISGALLI, P.A.A. & HARARI, H. Valoração de impactos econômicos decorrentes da qualidade da água das praias do município de Praia Grande (SP) no Sistema Único de Saúde (SUS). *In*: **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Oceanografia**, Itajaí (SC), 2014. pp. 1-3.

YUKSELEN, M.A.; CALLI, B.; GOKYAY, O. & SAATCI, A. Inactivation of coliform bacteria in Black Sea waters due to solar radiation. **Environment International**, N.º 29: pp. 45-50, 2003.

10. ANEXOS

10.1. Anexo A: Temperatura, salinidade e vazão do Rio Itanhaém

A Tabela A1 contém as informações completas dos valores médios de temperatura, salinidade (SOUZA-PEREIRA & CAMARGO, 2004) e vazão (DAEE, 2015) usados na representação da foz do Rio Itanhaém na modelagem hidrodinâmica 3D, em cada mês de simulação do D3D-FLOW.

Tabela A1 – Valores médios mensais de temperatura (ºC), salinidade (PSU) e vazão (m^3/s) usados para a foz do Rio Itanhaém, nas simulações hidrodinâmicas 3D.

Mês	Temperatura (ºC)	Salinidade (PSU)	Vazão (m^3/s)
Janeiro	25,69	8	37,08
Fevereiro	26,29	5	47,90
Março	24,69	8	44,49
Abril	24,47	11	37,27
Maio	23,11	14	26,98
Junho	21,85	17	23,51
Julho	21,25	20	18,40
Agosto	20,93	25	14,68
Setembro	20,62	20	20,60
Outubro	21,15	17	26,41
Novembro	21,50	14	26,16
Dezembro	23,21	11	31,85

10.2. Anexo B: Estatísticas das componentes U e V nas simulações 2D

10.2.1. *Fevereiro de 2012*

Resultados contendo os cálculos estatísticos das análises das componentes U e V das correntes, médias na coluna d'água (modelagem 2D), em fevereiro de 2012, estão dispostos nas Tabelas B1 e B2, respectivamente.

Tabela B1 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,07	0,08	0	0	0,03	2,34	0,10
RAD_PGD_P2	-0,09	0,09	0	0	0,04	2,40	0,01
RAD_PGD_P3	-0,05	0,06	0	0	0,02	2,62	0,33
RAD_PGD_P4	-0,06	0,07	0	0,01	0,03	2,43	-0,24
RAD_PGD_P5	-0,05	0,04	0	0	0,01	3,40	-0,32
RAD_MON_P1	-0,04	0,05	0	0	0,02	2,39	0,20
RAD_MON_P2	-0,04	0,04	0	0	0,02	2,28	0,22
RAD_MON_P3	-0,04	0,04	0	0	0,01	2,79	0,03
RAD_MON_P4	-0,04	0,04	0	0	0,01	2,79	-0,25
RAD_MON_P5	-0,04	0,04	0	0	0,01	2,63	-0,17
RAD_ITN_P1	-0,04	0,03	0	0	0,01	2,51	-0,01
RAD_ITN_P2	-0,03	0,03	0	0	0,01	2,26	-0,04
RAD_ITN_P3	-0,04	0,04	0	0	0,01	2,93	-0,03
RAD_ITN_P4	-0,04	0,04	0	0	0,01	3,23	-0,04
RAD_ITN_P5	-0,05	0,05	0	0	0,02	2,99	-0,12
RAD_PER_P1	-0,03	0,02	0	0	0,01	2,54	-0,31
RAD_PER_P2	-0,05	0,04	0	0	0,02	2,58	-0,28
RAD_PER_P3	-0,06	0,05	0	0	0,02	2,40	0,06
RAD_PER_P4	-0,06	0,06	0	0	0,02	2,69	0,16
RAD_PER_P5	-0,06	0,06	0	0	0,02	2,98	0,14

Tabela B2 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,05	0,05	0	0	0,02	2,28	0
RAD_PGD_P2	-0,05	0,06	0	0	0,02	2,39	0,09
RAD_PGD_P3	-0,06	0,08	0	0	0,03	2,65	0,29
RAD_PGD_P4	-0,12	0,12	0	0	0,05	2,53	-0,06
RAD_PGD_P5	-0,10	0,10	0	0	0,04	2,39	-0,01
RAD_MON_P1	-0,03	0,03	0	0	0,01	2,35	-0,03
RAD_MON_P2	-0,07	0,07	0	0	0,03	2,32	0,03
RAD_MON_P3	-0,08	0,09	0	0	0,04	2,34	0,04
RAD_MON_P4	-0,10	0,11	0	0	0,05	2,35	0,01
RAD_MON_P5	-0,10	0,11	0	0	0,05	2,34	0,04
RAD_ITN_P1	-0,03	0,03	0	0	0,01	2,36	-0,11
RAD_ITN_P2	-0,07	0,08	0	0	0,03	2,36	-0,01
RAD_ITN_P3	-0,10	0,10	0	0	0,04	2,36	-0,02
RAD_ITN_P4	-0,11	0,11	0	0	0,05	2,35	-0,04
RAD_ITN_P5	-0,12	0,11	0	0	0,05	2,33	-0,05
RAD_PER_P1	-0,03	0,04	0	0	0,02	2,35	0,14
RAD_PER_P2	-0,06	0,08	0	0	0,03	2,50	0,16
RAD_PER_P3	-0,10	0,12	0	0	0,04	2,50	0,04
RAD_PER_P4	-0,13	0,13	0	0	0,06	2,42	-0,09
RAD_PER_P5	-0,15	0,14	0	0	0,06	2,36	-0,13

10.2.2. *Agosto de 2012*

Resultados contendo os cálculos estatísticos das análises das componentes U e V das correntes, médias na coluna d'água (modelagem 2D), em agosto de 2012, estão dispostos nas Tabelas B3 e B4, respectivamente.

Tabela B3 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,07	0,08	0	0	0,03	2,33	0,09
RAD_PGD_P2	-0,10	0,09	0	0	0,04	2,42	-0,03
RAD_PGD_P3	-0,05	0,06	0	0	0,03	2,57	0,33
RAD_PGD_P4	-0,06	0,07	0	0,01	0,03	2,27	-0,26
RAD_PGD_P5	-0,04	0,04	0	0	0,01	3,07	-0,18
RAD_MON_P1	-0,04	0,05	0	0	0,02	2,37	0,25
RAD_MON_P2	-0,04	0,05	0	0	0,02	2,34	0,25
RAD_MON_P3	-0,04	0,04	0	0	0,01	2,82	0,03
RAD_MON_P4	-0,04	0,04	0	0	0,02	2,66	-0,21
RAD_MON_P5	-0,04	0,04	0	0	0,02	2,47	-0,13
RAD_ITN_P1	-0,04	0,04	0	0	0,01	2,53	0
RAD_ITN_P2	-0,03	0,03	0	0	0,01	2,29	-0,10
RAD_ITN_P3	-0,04	0,04	0	0	0,01	2,93	-0,05
RAD_ITN_P4	-0,04	0,04	0	0	0,01	3,11	-0,04
RAD_ITN_P5	-0,04	0,05	0	0	0,02	2,90	-0,11
RAD_PER_P1	-0,03	0,02	0	0	0,01	2,57	-0,33
RAD_PER_P2	-0,05	0,04	0	0	0,02	2,50	-0,28
RAD_PER_P3	-0,06	0,05	0	0	0,02	2,35	0,06
RAD_PER_P4	-0,06	0,06	0	0	0,02	2,64	0,18
RAD_PER_P5	-0,06	0,07	0	0	0,02	2,97	0,15

Tabela B4 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) média na vertical, segundo o processamento 2D (maré), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,05	0,05	0	0	0,02	2,28	0,01
RAD_PGD_P2	-0,05	0,06	0	0	0,02	2,40	0,11
RAD_PGD_P3	-0,06	0,08	0	0	0,03	2,66	0,34
RAD_PGD_P4	-0,12	0,13	0	0	0,05	2,53	-0,04
RAD_PGD_P5	-0,10	0,10	0	0	0,04	2,39	-0,02
RAD_MON_P1	-0,03	0,03	0	0	0,01	2,34	0
RAD_MON_P2	-0,07	0,07	0	0	0,03	2,28	0,04
RAD_MON_P3	-0,08	0,09	0	0	0,04	2,32	0,05
RAD_MON_P4	-0,10	0,11	0	0	0,05	2,34	0,02
RAD_MON_P5	-0,10	0,11	0	0	0,05	2,32	0,05
RAD_ITN_P1	-0,03	0,03	0	0	0,01	2,35	-0,07
RAD_ITN_P2	-0,07	0,08	0	0	0,03	2,35	0
RAD_ITN_P3	-0,10	0,10	0	0	0,04	2,34	-0,02
RAD_ITN_P4	-0,11	0,11	0	0	0,05	2,33	-0,04
RAD_ITN_P5	-0,12	0,12	0	0	0,05	2,33	-0,05
RAD_PER_P1	-0,04	0,04	0	0	0,02	2,35	0,17
RAD_PER_P2	-0,06	0,07	0	0	0,03	2,53	0,20
RAD_PER_P3	-0,10	0,11	0	0	0,04	2,51	0,05
RAD_PER_P4	-0,13	0,13	0	0	0,06	2,43	-0,11
RAD_PER_P5	-0,14	0,14	0	0	0,06	2,35	-0,16

10.3. Anexo C: Estatísticas das componentes U e V nas simulações 3D

10.3.1. *Fevereiro de 2012*

10.3.1.1. Superfície

Resultados contendo os cálculos estatísticos das análises das componentes U e V das correntes, na modelagem 3D em superfície (Sigma 1), em fevereiro de 2012, estão dispostos nas Tabelas C1 e C2, respectivamente.

Tabela C1 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,27	0,29	-0,01	0	0,12	2,29	0
RAD_PGD_P2	-0,48	0,35	-0,10	-0,13	0,16	2,95	0,68
RAD_PGD_P3	-0,37	0,64	0,03	0,02	0,25	2,15	0,41
RAD_PGD_P4	-0,45	0,80	0,02	0,01	0,28	2,73	0,59
RAD_PGD_P5	-0,28	0,69	0	-0,09	0,20	5,27	1,67
RAD_MON_P1	-0,21	0,43	0,07	0,08	0,14	1,91	0,14
RAD_MON_P2	-0,30	0,47	-0,01	-0,02	0,17	2,40	0,39
RAD_MON_P3	-0,33	0,36	0,01	0,01	0,16	2,05	0,13
RAD_MON_P4	-0,55	0,57	0,01	0	0,22	2,57	0,20
RAD_MON_P5	-0,66	0,65	-0,06	-0,08	0,30	1,98	0,24
RAD_ITN_P1	-0,39	0,20	-0,05	-0,02	0,15	1,74	-0,26
RAD_ITN_P2	-0,28	0,50	0,01	-0,02	0,17	2,48	0,50
RAD_ITN_P3	-0,28	0,56	0,01	0,01	0,17	2,81	0,47
RAD_ITN_P4	-0,27	0,52	0,02	0,01	0,17	2,39	0,41
RAD_ITN_P5	-0,64	0,56	0,01	0	0,22	2,58	0,16
RAD_PER_P1	-0,10	0,10	-0,02	-0,02	0,04	2,43	0,36
RAD_PER_P2	-0,24	0,66	0,04	0,03	0,18	4,18	1,00
RAD_PER_P3	-0,32	0,58	0,02	0	0,21	2,85	0,68
RAD_PER_P4	-0,56	0,65	0,01	0,01	0,23	2,81	0,47
RAD_PER_P5	-0,60	0,57	-0,01	-0,04	0,23	2,56	0,25

Tabela C2 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,11	0,20	0,02	0,02	0,05	3,42	0,32
RAD_PGD_P2	-0,72	0,20	-0,13	-0,06	0,21	2,31	-0,65
RAD_PGD_P3	-0,65	0,23	-0,06	-0,03	0,14	4,55	-1,10
RAD_PGD_P4	-0,43	0,35	0,03	0,04	0,13	3,55	-0,42
RAD_PGD_P5	-0,26	0,99	0,16	0,08	0,26	3,43	0,97
RAD_MON_P1	-0,13	0,06	-0,01	0	0,04	2,67	-0,80
RAD_MON_P2	-0,17	0,14	0	0,01	0,06	2,88	-0,53
RAD_MON_P3	-0,22	0,16	-0,02	-0,01	0,07	2,71	-0,27
RAD_MON_P4	-0,28	0,18	-0,03	-0,03	0,09	2,84	-0,28
RAD_MON_P5	-0,34	0,24	-0,05	-0,04	0,12	2,67	0,02
RAD_ITN_P1	-0,13	0,19	0,01	0	0,05	2,82	0,12
RAD_ITN_P2	-0,12	0,21	0,01	0,01	0,05	3,17	0,11
RAD_ITN_P3	-0,17	0,21	0,01	0,01	0,07	2,65	-0,02
RAD_ITN_P4	-0,26	0,26	0,01	0,01	0,08	3,34	-0,20
RAD_ITN_P5	-0,43	0,39	0	0	0,11	4,02	0,11
RAD_PER_P1	-0,06	0,11	0,01	0	0,03	3,27	0,55
RAD_PER_P2	-0,17	0,44	0,02	0,01	0,08	6,20	1,16
RAD_PER_P3	-0,20	0,49	0,01	0	0,10	5,42	1,03
RAD_PER_P4	-0,22	0,47	0,02	0,02	0,10	4,23	0,67
RAD_PER_P5	-0,24	1,01	0,09	0,04	0,21	6,84	1,80

10.3.1.2. Fundo

Resultados contendo os cálculos estatísticos das análises das componentes U e V das correntes, na modelagem 3D no fundo (Sigma 5), em fevereiro de 2012, estão dispostos nas Tabelas C3 e C4, respectivamente.

Tabela C3 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,10	0,12	0,01	0,01	0,05	2,46	0,18
RAD_PGD_P2	-0,25	0,19	0,01	0,01	0,08	2,77	-0,06
RAD_PGD_P3	-0,15	0,27	0,04	0,02	0,11	1,98	0,37
RAD_PGD_P4	-0,22	0,33	0,03	0,03	0,12	2,00	0,13
RAD_PGD_P5	-0,16	0,37	0,06	0,03	0,13	2,25	0,59
RAD_MON_P1	-0,12	0,23	0,01	0	0,06	3,49	0,60
RAD_MON_P2	-0,13	0,23	0,02	0,02	0,09	1,89	0,12
RAD_MON_P3	-0,15	0,20	0,02	0,02	0,09	1,94	-0,10
RAD_MON_P4	-0,26	0,28	0,03	0,04	0,11	2,20	-0,01
RAD_MON_P5	-0,23	0,35	0,02	0,03	0,14	1,99	0,23
RAD_ITN_P1	-0,07	0,15	0,02	0,02	0,05	2,32	0,34
RAD_ITN_P2	-0,13	0,26	0,02	0,03	0,09	2,26	0,32
RAD_ITN_P3	-0,15	0,27	0,03	0,03	0,10	2,11	0,24
RAD_ITN_P4	-0,16	0,30	0,04	0,05	0,10	2,43	0,30
RAD_ITN_P5	-0,28	0,34	0,03	0,04	0,12	2,53	0,02
RAD_PER_P1	-0,07	0,09	-0,01	-0,01	0,03	3,01	0,14
RAD_PER_P2	-0,16	0,32	0,02	0,02	0,10	2,67	0,44
RAD_PER_P3	-0,19	0,30	0,02	0,02	0,11	2,15	0,24
RAD_PER_P4	-0,19	0,32	0,03	0,04	0,11	2,20	0,25
RAD_PER_P5	-0,32	0,33	0,01	0,03	0,12	2,32	0

Tabela C4 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em fevereiro de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,12	0,08	-0,01	0	0,04	2,39	-0,45
RAD_PGD_P2	-0,43	0,14	-0,05	-0,03	0,12	3,10	-0,79
RAD_PGD_P3	-0,44	0,16	-0,03	0	0,13	3,35	-0,90
RAD_PGD_P4	-0,23	0,16	-0,01	0	0,09	2,05	-0,28
RAD_PGD_P5	-0,31	0,22	-0,03	-0,02	0,11	2,38	-0,12
RAD_MON_P1	-0,08	0,06	0	0,01	0,03	2,74	-0,41
RAD_MON_P2	-0,21	0,11	-0,01	-0,01	0,07	2,16	-0,26
RAD_MON_P3	-0,26	0,12	-0,02	-0,01	0,08	2,40	-0,42
RAD_MON_P4	-0,30	0,13	-0,04	-0,03	0,09	2,50	-0,41
RAD_MON_P5	-0,34	0,19	-0,04	-0,03	0,11	2,28	-0,33
RAD_ITN_P1	-0,07	0,08	0	0	0,03	2,08	-0,11
RAD_ITN_P2	-0,17	0,11	0	0	0,06	2,26	-0,24
RAD_ITN_P3	-0,21	0,14	-0,01	0	0,08	2,13	-0,26
RAD_ITN_P4	-0,25	0,16	-0,01	0	0,09	2,13	-0,28
RAD_ITN_P5	-0,28	0,19	-0,01	0	0,10	2,45	-0,35
RAD_PER_P1	-0,06	0,05	-0,01	-0,01	0,02	2,45	0,14
RAD_PER_P2	-0,17	0,11	-0,01	0	0,06	2,17	-0,21
RAD_PER_P3	-0,22	0,14	-0,01	-0,01	0,08	2,10	-0,21
RAD_PER_P4	-0,25	0,17	-0,02	-0,01	0,09	2,06	-0,16
RAD_PER_P5	-0,28	0,50	0	-0,01	0,13	4,46	0,89

10.3.2. *Agosto de 2012*

10.3.2.1. Superfície

Resultados contendo os cálculos estatísticos das análises das componentes U e V das correntes, na modelagem 3D em superfície (Sigma 1), em agosto de 2012, estão dispostos nas Tabelas C5 e C6, respectivamente.

Tabela C5 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,25	0,21	-0,04	-0,04	0,08	2,88	0,12
RAD_PGD_P2	-0,61	0,55	-0,15	-0,16	0,18	3,54	0,54
RAD_PGD_P3	-0,53	0,66	-0,07	-0,09	0,23	2,70	0,44
RAD_PGD_P4	-0,54	0,79	-0,10	-0,11	0,27	2,51	0,48
RAD_PGD_P5	-0,39	0,85	-0,02	-0,12	0,23	5,97	1,88
RAD_MON_P1	-0,21	0,25	-0,03	-0,04	0,10	2,61	0,56
RAD_MON_P2	-0,54	0,44	-0,09	-0,10	0,20	2,63	0,25
RAD_MON_P3	-0,54	0,58	-0,10	-0,09	0,22	2,86	0,33
RAD_MON_P4	-0,91	0,64	-0,09	-0,09	0,29	2,83	0,13
RAD_MON_P5	-0,58	0,85	-0,11	-0,17	0,32	3,48	0,90
RAD_ITN_P1	-0,30	0,24	-0,07	-0,09	0,13	2,38	0,43
RAD_ITN_P2	-0,54	0,45	-0,06	-0,08	0,19	3,29	0,41
RAD_ITN_P3	-0,49	0,59	-0,08	-0,10	0,22	3,67	0,80
RAD_ITN_P4	-0,47	0,73	-0,06	-0,07	0,24	4,07	0,95
RAD_ITN_P5	-0,80	0,80	-0,06	-0,07	0,29	3,86	0,44
RAD_PER_P1	-0,15	0,13	-0,02	-0,03	0,06	2,57	0,52
RAD_PER_P2	-0,37	0,74	-0,04	-0,08	0,21	5,01	1,46
RAD_PER_P3	-0,54	0,82	-0,07	-0,11	0,27	4,95	1,27
RAD_PER_P4	-0,56	0,98	-0,06	-0,09	0,29	5,22	1,34
RAD_PER_P5	-0,52	0,95	-0,05	-0,08	0,28	5,24	1,33

Tabela C6 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) na superfície, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,11	0,17	0,03	0,03	0,04	3,59	-0,02
RAD_PGD_P2	-0,57	0,35	-0,05	-0,01	0,20	2,40	-0,39
RAD_PGD_P3	-0,85	0,34	-0,05	-0,01	0,21	5,82	-1,55
RAD_PGD_P4	-0,35	0,81	0,07	0,04	0,20	4,49	0,93
RAD_PGD_P5	-0,46	1,17	0,19	0,08	0,33	2,89	0,69
RAD_MON_P1	-0,06	0,07	0,01	0,01	0,03	2,37	-0,37
RAD_MON_P2	-0,20	0,16	0	0,01	0,07	3,02	-0,49
RAD_MON_P3	-0,35	0,20	-0,01	0	0,10	4,02	-0,87
RAD_MON_P4	-0,45	0,30	-0,02	0	0,12	4,17	-0,83
RAD_MON_P5	-0,58	0,43	-0,01	0	0,15	3,95	-0,26
RAD_ITN_P1	-0,08	0,11	0,01	0,01	0,04	2,45	0,08
RAD_ITN_P2	-0,13	0,12	0,01	0,01	0,05	2,45	-0,20
RAD_ITN_P3	-0,29	0,19	-0,01	-0,01	0,08	2,94	-0,22
RAD_ITN_P4	-0,32	0,23	-0,01	0	0,08	3,61	-0,67
RAD_ITN_P5	-0,47	0,23	-0,01	0	0,11	4,74	-1,06
RAD_PER_P1	-0,08	0,07	0	0	0,03	2,68	-0,33
RAD_PER_P2	-0,15	0,18	0	-0,01	0,06	2,75	0,25
RAD_PER_P3	-0,21	0,27	-0,02	-0,02	0,08	3,20	0,16
RAD_PER_P4	-0,20	0,24	-0,01	-0,01	0,08	2,99	0,15
RAD_PER_P5	-0,22	0,24	0	0,01	0,08	2,79	-0,08

10.3.2.2. Fundo

Resultados contendo os cálculos estatísticos das análises das componentes U e V das correntes, na modelagem 3D no fundo (Sigma 5), em agosto de 2012, estão dispostos nas Tabelas C7 e C8, respectivamente.

Tabela C7 – Estatísticas da componente Leste-Oeste (U, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,17	0,13	-0,02	-0,01	0,05	3,12	-0,11
RAD_PGD_P2	-0,38	0,26	-0,04	-0,03	0,12	3,45	-0,72
RAD_PGD_P3	-0,24	0,39	0	-0,04	0,12	2,86	0,67
RAD_PGD_P4	-0,28	0,39	-0,02	-0,05	0,14	2,50	0,56
RAD_PGD_P5	-0,15	0,54	0,02	-0,04	0,16	5,72	1,83
RAD_MON_P1	-0,16	0,19	-0,02	-0,03	0,08	2,53	0,50
RAD_MON_P2	-0,22	0,33	-0,02	-0,03	0,11	3,49	0,71
RAD_MON_P3	-0,20	0,37	-0,02	-0,03	0,12	3,62	0,78
RAD_MON_P4	-0,43	0,45	-0,03	-0,05	0,17	3,07	0,42
RAD_MON_P5	-0,28	0,48	-0,01	-0,05	0,16	4,09	1,20
RAD_ITN_P1	-0,18	0,19	-0,01	-0,02	0,08	3,32	0,66
RAD_ITN_P2	-0,25	0,34	-0,02	-0,05	0,13	3,30	0,75
RAD_ITN_P3	-0,26	0,40	-0,02	-0,04	0,14	3,89	1,00
RAD_ITN_P4	-0,24	0,42	-0,01	-0,03	0,14	3,52	0,83
RAD_ITN_P5	-0,27	0,44	-0,01	-0,04	0,16	3,37	0,82
RAD_PER_P1	-0,11	0,10	-0,01	-0,02	0,05	2,53	0,48
RAD_PER_P2	-0,24	0,42	-0,02	-0,04	0,14	4,49	1,10
RAD_PER_P3	-0,29	0,38	-0,02	-0,04	0,14	3,43	0,70
RAD_PER_P4	-0,25	0,42	-0,01	-0,04	0,14	3,24	0,74
RAD_PER_P5	-0,26	0,42	-0,01	-0,05	0,14	3,35	0,78

Tabela C8 – Estatísticas da componente Norte-Sul (V, m/s) no fundo, segundo o processamento 3D (circulação total), em agosto de 2012.

Ponto	Mín. (m/s)	Máx. (m/s)	Média (m/s)	Mediana (m/s)	Des. Pad. (m/s)	Curtose	Assimetria
RAD_PGD_P1	-0,09	0,08	0,01	0,01	0,03	2,55	-0,28
RAD_PGD_P2	-0,44	0,22	-0,02	0	0,15	2,83	-0,68
RAD_PGD_P3	-0,65	0,29	0	0,04	0,18	4,96	-1,38
RAD_PGD_P4	-0,27	0,35	0,04	0,03	0,12	2,59	0,14
RAD_PGD_P5	-0,36	0,41	0,03	0,04	0,13	3,93	-0,44
RAD_MON_P1	-0,06	0,05	0	0,01	0,03	2,14	-0,25
RAD_MON_P2	-0,16	0,18	0,02	0,03	0,07	2,43	-0,33
RAD_MON_P3	-0,28	0,22	0,01	0,02	0,10	3,24	-0,59
RAD_MON_P4	-0,36	0,24	0	0,01	0,11	3,59	-0,75
RAD_MON_P5	-0,36	0,25	0,01	0,03	0,12	4,07	-0,93
RAD_ITN_P1	-0,08	0,08	0,01	0,01	0,04	2,17	-0,03
RAD_ITN_P2	-0,10	0,13	0,01	0,01	0,05	2,36	-0,16
RAD_ITN_P3	-0,18	0,20	0,02	0,02	0,07	2,56	-0,23
RAD_ITN_P4	-0,25	0,22	0,02	0,03	0,09	3,03	-0,50
RAD_ITN_P5	-0,31	0,26	0,02	0,03	0,11	3,35	-0,65
RAD_PER_P1	-0,08	0,04	-0,01	-0,01	0,02	2,66	-0,25
RAD_PER_P2	-0,14	0,12	0	0	0,05	2,32	-0,13
RAD_PER_P3	-0,20	0,18	0,01	0,01	0,08	2,79	-0,41
RAD_PER_P4	-0,28	0,20	0,01	0,02	0,09	3,13	-0,61
RAD_PER_P5	-0,28	0,23	0,02	0,03	0,10	3,10	-0,54