

MODELAGEM DA QUALIDADE DE ÁGUA DO SISTEMA ESTUARINO DO RIO ITANHAÉM (SP)

Felipe Gongora Ribeiro

MODELAGEM DA QUALIDADE DE ÁGUA DO SISTEMA ESTUARINO DO RIO ITANHAÉM (SP)

Felipe Gongora Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. Roberto Fioravanti Carelli Fontes

Trabalho de conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Biociências
Campus do Litoral Paulista UNESP,
como requisito parcial para a obtenção
do título de bacharel em Ciências
Biológicas.

R484m Ribeiro, Felipe Gongora
Modelagem da qualidade de água do sistema estuarino do rio
Itanhaém (SP) / Felipe Gongora Ribeiro. -- São Vicente, 2022
42 f. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de
Biociências, São Vicente

Orientador: Roberto Fioravanti Carelli Fontes

1. Estuário do rio Itanhaém. 2. Modelagem hidrodinâmica. 3. Água
- Qualidade. 4. Poluentes. 5. Ecossistemas aquáticos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, principalmente aos meus pais e irmão que me deram todo suporte, apoio, incentivo e meios para que eu realizasse meus sonhos.

Agradeço a minha tão amada namorada Nathália, pelos incentivos, paciência, ajuda, amor, carinho e união nos momentos mais difíceis, e para que esse ano fosse mais leve, me tornando melhor e tornando meus dias melhores.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Fontes, por ter me aceito desde o começo da graduação, me ensinando, instruindo, aperfeiçoando e correndo atrás de tudo para que fosse possível completar meus estudos e pela amizade que foi construída ao longo desses 4 anos de graduação. E agradeço ao Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC), por dar todo suporte e possibilitar usufruir dos mecanismos para conseguir realizar meus objetivos.

Agradeço a todos os integrantes do Laboratório de Microbiologia Marinha e Ambiental (MICROMAR), por terem me fornecido os dados, sendo possível a realização do meu trabalho, e em especial a Profa. Dra. Ana Julia Fernandes, por todo carinho e orientação

Agradeço a todos os meus colegas e amigos, que fizeram a graduação ser mais leve, pela ajuda nos trabalhos e risadas, mas agradeço em especial o Vinícius Chagas, pela sua amizade, companheirismo, união, incentivo, e desde o começo uma amizade que ficou cada vez mais forte, onde me deu todo suporte para que enfrentasse os desafios da vida universitária e do dia a dia. E ao Enzo Rocha, também, por todo apoio, ajuda, dicas, conversas e estudos.

Agradeço também a Prefeitura do Município de Itanhaém, o Centro de Pesquisas do Rio Itanhaém, que permitiu e disponibilizou maneiras para que eu fosse capaz de coletar, analisar os dados e aprender um pouco mais sobre a região, suas histórias.

E por fim, agradeço a Unesp São Vicente, todos os professores, funcionários, coordenadores, diretores e ao administrativo pela prestatividade e excelência em todas as áreas e serviços.

RESUMO

Os estuários são ambientes costeiros, pois agregam uma série de características ecológicas, econômicas e recreativas, e também podem ser caracterizados por suas funcionalidades biológicas e geoquímicas, pelos regimes hidrológico, e oceanográfico. Também prestam importantes serviços ecossistêmicos, proporcionando, deste modo, a necessária renovação das águas e melhoria das condições para a vida marinha. E por proporcionar defesa natural contra inundações e erosões, estão associados a regiões muito habitadas, e por serem ambientes extremamente sensíveis aos impactos humanos, necessitam de um monitoramento constante e ações efetivas para sua gestão e conservação. E em razão das atividades que ocorrem nessa região, existe a contaminação do estuário e de seus corpos hídricos, e quando esta contaminação está disposta no ambiente estuarino é diluída e transportada de acordo com o regime hidrodinâmico e das condições ambientais que definem os processos de estratificação, de mistura e de autodepuração, e para se ter um controle, observação e até a eliminação da contaminação, é necessário o estudo e fornecimento de ferramentas para definir um plano de monitoramento para as áreas afetadas. A modelagem computacional é aplicável em estuários, permitindo ser a ferramenta necessária para determinação de padrões de circulação hidrodinâmica, onde ela é capaz de sobrevir processos físicos e biológicos que ocorrem nesses ambientes complexos e dinâmicos. O Delft-3D, no qual, é um modelo computacional, é considerado apropriado para estudar os fenômenos que ocorrem em áreas costeiras, fluviais, lacustres ou estuarinas, e por causa disto foi escolhido para realização deste trabalho. E com isso, objetivo deste estudo é identificar como a dinâmica estuarina atua na contaminação do sistema estuarino do rio Itanhaém, onde ocorrem atividades turísticas, uso de seus recursos hídricos tais como, às suas praias, e os rios também são utilizados para captação de água para consumo humano, além da pesca e navegação. Os resultados encontrados através do Delft-3D, mostrou que a região da Zona de Mistura (ZM) do estuário, é aquela mais impactada, e permitiu determinar a quantificação da carga de contaminação, principalmente, de microrganismos no sistema estuarino do rio Itanhaém, que é integrada pelos rios Preto e Branco.

Palavras Chaves: Estuário do rio Itanhaém; modelagem hidrodinâmica e qualidade de água; fontes pontuais e difusas de poluentes em sistemas aquáticos.

ABSTRACT

Pollutants can be diluted and transported depending on the estuary's hydrodynamic regime and environmental conditions, where stratification and mixing processes may favor its auto-depuration capability. In order to control, observe and even eliminate contamination, it is necessary to study and provide tools to define a monitoring plan for the affected areas. Computational modeling is applicable in estuaries, allowing it to be the necessary tool for determining hydrodynamic circulation patterns, where it can perform physical and biological processes in these complex and dynamic environments. The Delft-3D, a computational model, is considered appropriate for studying the phenomena in coastal rivers, lakes, and estuarine areas. The Itanhaém river estuarine system has diverse human uses and activities, such as tourism, subsistence fishing, and navigation. The objective of this study is to identify the hot spot regions in the estuary and how the dynamics act in favor of defining the local and diffusion sources of microbiological contamination. The results found through Delft-3D showed that the region of the Mixture Zone (MZ) of the estuary is the most impacted and allowed to determine the quantification of the contamination load, mainly of microorganisms in the estuarine system of the Itanhaém river, which it is integrated by the rivers Preto and Branco.

Keywords: Itanhaém river estuary; hydrodynamic and water quality modeling; local and diffuse sources of pollutants in water systems.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVO.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Área de estudo.	14
3.2 Dados Microbiológicos.....	15
3.3 Modelos Delft-3D e Delft-WQ	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÃO.	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

O estuário do rio Itanhaém, está localizado no município de mesmo nome, a que pertence a Unidade 7 de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Baixada Santista (UGRHI 7) e possui a segunda maior bacia hidrográfica do Estado de São Paulo, com área de aproximadamente 944 km² (CAMARGO; CANCIAN, 2016). Dado à sua intrincada rede de rios e canais, podemos tratá-lo como um sistema estuarino, formado por cursos d'água definidos na planície costeira e outros, proveniente das vertentes da Serra do Mar e do Planalto Paulista. Os principais são os rios Itanhaém, Branco, Preto, definindo uma extensão de 180 km de águas navegáveis. Itanhaém é um dos 15 municípios paulistas considerados estâncias balneárias pelo Estado de São Paulo, sendo, portanto, o turismo, uma das principais atividades econômicas do município. Entre as atividades turísticas da cidade, várias estão relacionadas ao uso de seus recursos hídricos tais como, às suas praias, os rios utilizados para captação de água para consumo humano, pesca e navegação, e também as visitas às cachoeiras nascidas na Serra do Mar, o que torna evidente a grande importância de se manter a qualidade dos corpos d'água da região (ITANHAEM, 2010).

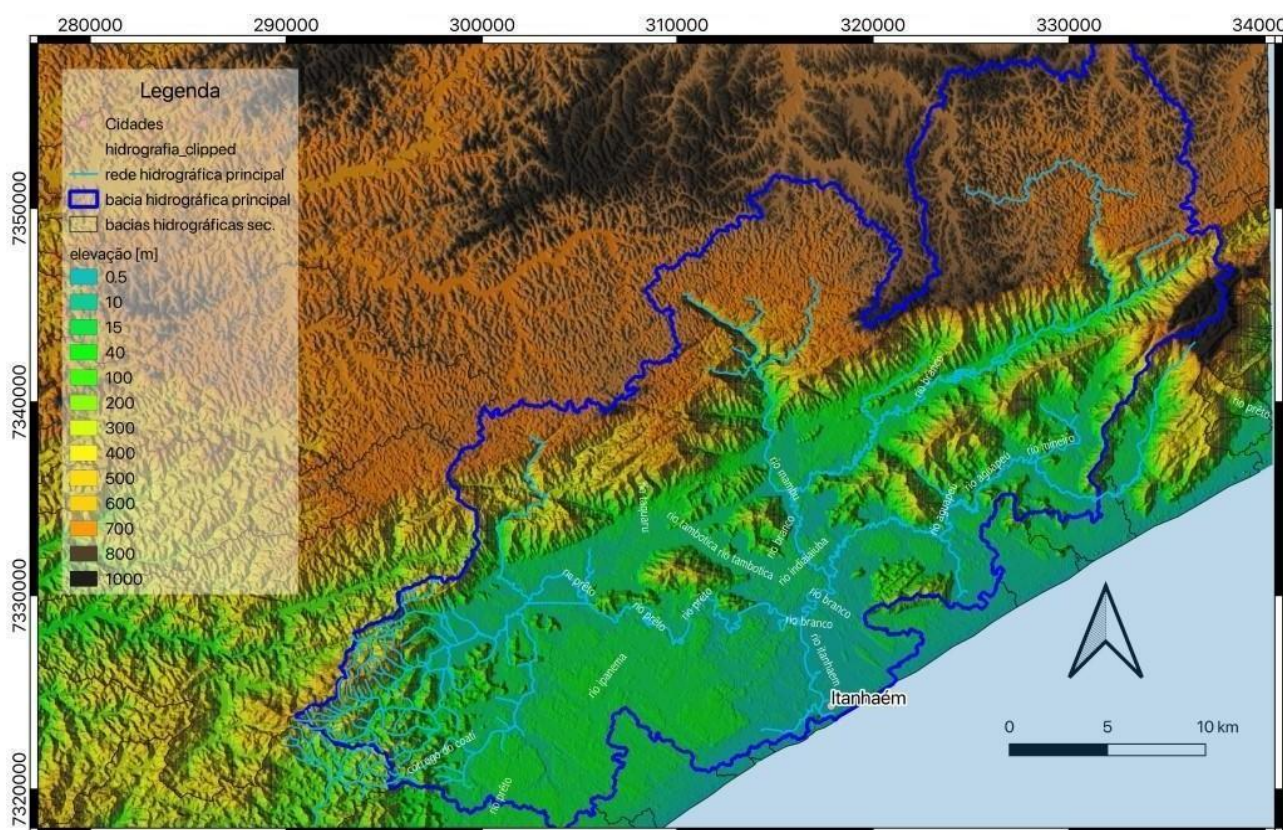


Figura 1 - Bacia Hidrográfica do rio Itanhaém. Os rios Preto, Branco, Itanhaém, entre outros, anotados na figura, compõem a rede hidrográfica que define o sistema estuarino do Itanhaém, onde sua foz coincide com sua sede municipal e está destacada na figura.

Estuários são ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, onde rios encontram o mar, resultando na diluição mensurável da água salgada, no sentido estuário acima (PRITCHARD, 1967). PRITCHARD (1967) vai além, a água doce em seu interior é oriunda da drenagem continental e dilui a água do mar que viaja pelo estuário, por ocasião da maré enchente. São ambientes altamente dinâmicos, condicionados por diversas forças naturais como a vazão dos rios e a intensidade das marés. Os fenômenos no interior dos estuários variam desde escalas espaciais de tamanhos microscópicas até seus limites geomorfológicos. As escalas temporais variam desde frações de segundo, algumas horas e até períodos decadais ou milenares (MIRANDA et al., 2002).

Outra característica é que os estuários são ambientes costeiros importantes, pois agregam uma série de características ecológicas, econômicas e recreativas. Representam regiões de transição entre o continente e o mar onde a natureza se manifesta de forma abundante, sob influência de rios e cursos d'água em contraste à ação das marés e de outras influências oceânicas (ELLIOT; MCLUSKY, 2002).

Caracterizados por suas funcionalidades biológicas e geoquímicas, pelos regimes hidrológico e oceanográfico são ambientes diversos e complexos, prestam importantes serviços ecossistêmicos quando filtram os sedimentos e poluentes conduzido, pelos rios, antes de chegarem ao mar (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2002). Proporcionam assim, a necessária renovação das águas e melhoria das condições para a vida marinha. Seu aspecto raso e extenso permite que também possa agir como amortecedor de efeitos ambientais extremos ao absorver rapidamente os impactos gerados por tormentas, desse modo, proporciona defesa natural contra inundações e erosões, gerando proteção às residências e comunidades (LACAMBRA et al., 2008). Por outro lado, são ambientes extremamente sensíveis aos impactos antropogênicos, necessitando um monitoramento constante e ações efetivas para sua gestão e conservação (LACAMBRA et al., 2008).

A Resolução Federal Nº 430/2011 dispõe sobre os parâmetros, condições, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de águas receptores alterando parcialmente e complementando a Resolução Nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011; BRASIL, 2005).

De modo geral, as fontes de poluição das águas são divididas em pontuais e difusas (VON SPERLING, 2005). A poluição gerada por fontes pontuais se refere às descargas de poluentes

lançadas em trechos específicos de um curso hídrico receptor. São mais fáceis de serem detectadas, controladas e monitoradas, essas estão associadas às descargas lançadas, como por exemplo esgotos domésticos ou indústrias (SMITH et al., 1999; CAMPBELL et al., 2004).

As fontes difusas de poluição se referem às entradas de poluentes associadas aos fluxos difusos derivados das diversas atividades humanas que são desenvolvidas ao longo das bacias hidrográficas. Caracteriza-se por entradas aleatórias de poluentes, difíceis de serem identificadas e controladas (SMITH et al., 1999; CAMPBELL et al., 2004), sendo impossível estabelecer algum padrão de lançamento em termos de quantidade, qualidade ou frequência (PEREIRA, 2004). Geralmente, as cargas difusas, são geradas em bacias hidrográficas, estão diretamente associadas ao seu uso e ocupação do solo, como os poluentes decorrentes da agricultura, que têm sua origem na aplicação de fertilizantes e de pesticidas, bem como o transporte de efluentes não tratados, que atingem as redes de drenagem pluvial e fluvial, que são as principais fontes difusas de contribuição à eutrofização (Miller, 2016).

Segundo Sodré (2012), a poluição difusa pode ser ordenada em duas categorias, conforme sua origem em áreas rurais e urbanas. Em áreas rurais, as cargas difusas são geradas a partir da lixiviação do solo, que geralmente apresentam quantidades abundantes de agroquímicos, que são aplicados para otimizar a produção agrícola. Além do uso indiscriminado de agroquímicos, acredita-se que as práticas inadequadas de manejo do solo podem provocar processos erosivos, carregando boa parte do solo para os sistemas hídricos por meio do escoamento superficial (CAMPBELL et al., 2004; ZHANG; ZHANG, 2011; ANDERSON et al., 2013).

Já as cargas difusas em áreas urbanas estão relacionadas à drenagem de áreas impermeáveis, que apresentam diversos tipos de resíduos como, por exemplo, industriais, domésticos, animais, combustíveis e óleos, que são levados para os cursos hídricos por meio do escoamento superficial. Em função dos muitos resíduos gerados, as cargas urbanas apresentam alta variabilidade de substâncias químicas que são potencialmente tóxicas, como os solventes clorados, percloroetileno, tricloroetileno e triclorometano (ARIANNA et al., 2019), sendo que o tipo e a concentração de poluentes variam conforme as características de cada superfície urbana (LIU et al., 2014; ZHAO et al., 2018).

Desta forma, fontes difusas apresentam diversas origens e formas de ocorrência sendo difíceis de serem mensuradas e identificadas, além de sofrerem grande influência de fatores meteorológicos

como, por exemplo, o regime de chuvas da região (Novotny e Olem, 1993; Tomaz, 2006; Miller, 2016), necessitando o desenvolvimento de estratégias para sua identificação e monitoramento.

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a poluição difusa ainda é um grande desafio a ser enfrentado para a gestão dos recursos hídricos, em razão do baixo índice de coleta e tratamento de efluentes sanitários. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2018), em 2016 o índice de coleta e tratamento de efluentes foi de aproximadamente 52% e 45% respectivamente, longe de apresentar bons níveis de infraestrutura sanitária.

Na maioria dos países desenvolvidos, grande atenção vem sendo dada à poluição difusa, uma vez que os lançamentos não pontuais podem em alguns casos ser responsáveis por até 30% da carga poluidora de um corpo hídrico, mas, nos países em desenvolvimento, como o Brasil, os controles da poluição não pontual ainda são bastante deficitários (Lima et al., 2016).

O conhecimento sobre a ocorrência de poluição difusa em bacias hidrográficas é necessário para o controle e eliminação desta contaminação, bem como o fornecimento de ferramentas para definir um plano de monitoramento para as áreas afetadas (MCLUSKY, ELLIOT, 2004; ROELVINK, 1994).

Uma vez dispostos no ambiente estuarino, esses efluentes são diluídos e transportados de acordo com o regime hidrodinâmico e das condições ambientais que definem os processos de estratificação, de mistura e de autodepuração. Observações, medições de parâmetros físico-químicos e microbiológicos são essenciais ao monitoramento desse ambiente, além da modelagem numérica computacional, a qual permite simular diferentes cenários que o impactam (DYER, 1998; MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

A modelagem computacional pode ser aplicada em estuários, permitindo a determinação de padrões de circulação hidrodinâmica, com custo e esforço amostral relativamente baixos. Além da capacidade de integrar dados e simular diversos cenários em tempo real. Existe a possibilidade de observar processos físicos e biológicos que ocorrem nesses ambientes complexos e dinâmicos em diferentes escalas temporais e espaciais, que não são tão acessíveis a partir de medições e observações em campo unicamente (WARNER et al, 2005).

Araújo e Melo (1999) destacam que modelos matemáticos são atualmente utilizados como ferramenta básica para o planejamento e gestão de sistemas costeiros e programas de investigação ambiental, uma vez que podem incluir dados sedimentológicos e biológicos, de modo a integrar

uma suíte abrangente de processos físicos e biológicos. Em Wu et al. (2001) destacam a importância da integração de dados biológicos nos modelos, para sua utilização como ferramentas para gerenciar adequadamente esses ambientes.

O Delft-3D é um modelo computacional apropriado para estudar os fenômenos que ocorrem em áreas costeiras, fluviais, lacustres ou estuarinas. Este integra vários módulos que interagem entre si, em torno de uma interface que tem como base a modelagem hidrodinâmica. Os módulos permitem a modelagem numérica, tanto independente como conjunta de fluxos, transporte de sedimentos, ondas, qualidade da água, evolução morfológica e ecológica, tornando-se uma ferramenta indispensável em estudos interdisciplinares (HYDRAULICS, W.L, 2014; DELTARES, 2011).

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste estudo é identificar como a dinâmica estuarina atua na contaminação do sistema estuarino do rio Itanhaém. E como objetivos secundários:

- Identificar, nos trechos finais das sub-bacias dos rios Itanhaém, Preto e Branco, as áreas de maior ocorrência de contaminação microbiológica, utilizando como indicador a presença de *Escherichia coli*, medida em concentração (NMP m⁻³);
- Identificar as regiões de contaminação pontuais e, possivelmente, difusas, a partir das cargas ajustadas pelo modelo de qualidade de água empregado (Delft-WQ);

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O subdomínio definido para o desenvolvimento dos modelos utilizados faz parte da Bacia Hidrográfica do rio Itanhaém, conforme descrito na seção **Introdução**. Compreende, essencialmente, os trechos principais dos rios Itanhaém, Preto e Branco onde a dinâmica estuarina atua de forma particular, considerando os aspectos oceanográficos que definem o estuário – marés e vazão do rio.

Na figura 2, é possível observar os pontos escolhidos da coleta para serem utilizados para análise no modelo.



Figura 2: Pontos de análise e entrada do modelo de qualidade de água.

3.2 Dados Microbiológicos

Os dados microbiológicos para realização do estudo foram fornecidos pelo Laboratório de Microbiologia Marinha e Ambiental (MICROMAR) do Instituto de Ciências Biológicas da UNESP (Campus do Litoral Paulista).

3.3 Modelos Delft-3D e Delft-WQ

Os modelos computacionais utilizados nos experimentos hidrodinâmicos e de qualidade de água, que atendem às aplicações referentes à dispersão de substâncias em ambientes aquáticos, especialmente em consideração da dinâmica de regiões estuarinas. São ferramentas computacionais modernas e reconhecidas por órgãos nacionais e internacionais de regulamentação ambiental, inserindo-se na classe dos mais atuais e precisos modelos comerciais existentes. Recentemente, as instituições holandesas *Deltares* e *Delft Hydraulics* franquearam o uso do módulo hidrodinâmico dessa suíte de modelos, proporcionando transparência dos métodos e das codificações computacionais.

O núcleo da suíte de modelos é o seu módulo hidrodinâmico, denominado Delft3D-FLOW. É um modelo de simulação multidimensional que calcula escoamentos e transportes não-estacionários forçados por descargas fluviais, marés e processos meteorológicos em regiões costeiras, estuarinas e rios. Emprega uma grade horizontal curvilínea, facilmente ajustada aos contornos sólidos da região modelada. Suporta, como coordenadas verticais, a transformação conhecida na literatura por *sigma*, resultando numa representação suave da topografia de fundo. Possui vários esquemas de fechamento de turbulência e é totalmente não linear, inclusive nas parametrizações dos atritos superficiais e de fundo. No modelo estão discretizadas as equações de conservação de massa e de *momentum*, bem como de condução de calor e de difusão de sal. O sistema de equações é fechado por uma versão da equação de estado, que é função da temperatura, da salinidade e da pressão.

O modelo hidrodinâmico (Delft3D-FLOW) foi previamente desenvolvido no Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC-IB-CLP), de onde os resultados consideraram os principais aspectos da circulação estuarina: ação das marés e estratificação, devido aos gradientes de salinidade definidos pelas vazões dos rios ($S = 0$) e da salinidade característica da região costeira ($S = 34$).

O modelo de qualidade de água, denominado Delft3D-WQ, resolve as equações de advecção-difusão incluindo termos de reações físicas, bioquímicas e de processos biológicos. Um número amplo de substâncias pode ser modelado, tais como nutrientes, matéria orgânica e

crescimento ou decaimento de microrganismos. Este módulo utiliza-se das condições hidrodinâmicas (velocidades, elevação da superfície livre, densidade, salinidade, temperatura, viscosidade e difusividade turbulentas) calculadas pelo módulo hidrodinâmico (Delft3D-FLOW), na mesma grade de diferenças finitas.

Dentre os diversos processos e substâncias relacionadas à qualidade de água, utilizamos somente a mortalidade de bactérias coliformes. Estas são originárias de fezes humanas e animais e são frequentemente usadas como indicadoras de presença de vetores de doenças. A mortalidade de bactérias coliformes é aumentada pela temperatura, salinidade e radiação solar. No entanto, pouca ou nenhuma mortalidade pode ocorrer em baixas temperaturas. A distinção é feita entre *Escherichia Coli* e enterococos. As formulações disponíveis para a mortalidade de coliformes são principalmente empíricas, tais como relatadas por Mancini (1978) atualizadas por Chan et al. (2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do modelo de qualidade de água (Delft-WQ) foram obtidos a partir de seu acoplamento ao campo fornecido pelo modelo hidrodinâmico (Delft-FLOW) desenvolvido no Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC-IB/CLP), cujos procedimentos de calibração e validação são descritos em Fontes et al (2019).

Os casos apresentados representam a calibração do modelo, para se identificar mais precisamente o que ocorre nos pontos de lançamento e dispersão do ambiente estudado.

Tabela 1: Dados usados como entrada do modelo, para cada campanha. Os valores abaixo das datas referem-se às medições de *E. coli* obtidas em laboratório, representadas na unidade apropriada (NMP/m³) e aumentada (X10) para compensar a diluição imediata do poluente, no corpo receptor. Caso 0.

Pontos	Latitude	Longitude	23/11/21	25/01/22	22/03/22
I1	-24,1883	-46,7927	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸
I2	-24,189	-46,7952	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸
I3	-24,1827	-46,7965	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸
I4	-24,1793	-46,7963	2,14x10 ⁸	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸
I5	-24,176	-46,8029	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸
I6	-24,1727	-46,8019	2,91x10 ⁸	1,55x10 ⁸	3,00x10 ⁸
I7	-24,1567	-46,8034	1,53x10 ⁸	1,33x10 ⁸	3,00x10 ⁸
I8	-24,1491	-46,8068	0,26x10 ⁸	1,19x10 ⁸	3,00x10 ⁸
B1	-24,1211	-46,7946	0,30x10 ⁸	1,42x10 ⁸	1,55x10 ⁸
B2	-24,1247	-46,7921	0,15x10 ⁸	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸
B3	-24,1319	-46,8028	0,13x10 ⁸	3,00x10 ⁸	1,18x10 ⁸
B4	-24,1395	-46,7999	0,90x10 ⁸	3,00x10 ⁸	3,00x10 ⁸
P1	-24,1365	-46,8244	3,00x10 ⁸	1,42x10 ⁸	1,79x10 ⁸
P2	-24,142	-46,8167	3,00x10 ⁸	2,94x10 ⁸	2,50x10 ⁸
P3	-24,1448	-46,808	2,31x10 ⁸	0,36x10 ⁸	1,38x10 ⁸
P4	-24,1468	-46,8102	2,20x10 ⁸	2,10x10 ⁸	1,91x10 ⁸

Tabela 2: Dados usados como entrada do modelo, para cada campanha. Os valores abaixo das datas referem-se às medições de *E. coli* ajustadas a partir do caso anterior (Tabela 1), de modo a avaliarmos a carga de poluente no corpo receptor. Caso 1.

Pontos	Latitude	Longitude	23/11/21	25/01/22	22/03/22
I1	-24,1883	-46,7927	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
I2	-24,189	-46,7952	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
I3	-24,1827	-46,7965	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
I4	-24,1793	-46,7963	$2,64 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
I5	-24,176	-46,8029	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
I6	-24,1727	-46,8019	$3,41 \times 10^9$	$2,05 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
I7	-24,1567	-46,8034	$2,03 \times 10^9$	$1,83 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
I8	-24,1491	-46,8068	$3,10 \times 10^8$	$1,69 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$
B1	-24,1211	-46,7946	$4,00 \times 10^8$	$1,92 \times 10^9$	$2,55 \times 10^9$
B2	-24,1247	-46,7921	$2,00 \times 10^8$	$3,50 \times 10^9$	$4,00 \times 10^9$
B3	-24,1319	-46,8028	$1,80 \times 10^8$	$3,50 \times 10^9$	$2,18 \times 10^9$
B4	-24,1395	-46,7999	$9,50 \times 10^9$	$3,50 \times 10^9$	$4,00 \times 10^9$
P1	-24,1365	-46,8244	$3,50 \times 10^9$	$1,92 \times 10^9$	$2,29 \times 10^9$
P2	-24,142	-46,8167	$3,50 \times 10^9$	$2,44 \times 10^9$	$3,00 \times 10^9$
P3	-24,1448	-46,808	$2,81 \times 10^9$	$4,10 \times 10^8$	$1,88 \times 10^9$
P4	-24,1468	-46,8102	$2,70 \times 10^9$	$2,60 \times 10^9$	$2,41 \times 10^9$

Tabela 3: Dados usados como entrada do modelo, para cada campanha. Os valores abaixo das datas referem-se às medições de *E. coli* ajustadas a partir do caso anterior (Tabela 2), de modo a avaliarmos a carga de poluente no corpo receptor. Caso 2.

Pontos	Latitude	Longitude	23/11/21	25/01/22	22/03/22
I1	-24,1883	-46,7927	$3,30 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
I2	-24,189	-46,7952	$3,30 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
I3	-24,1827	-46,7965	$3,30 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
I4	-24,1793	-46,7963	$2,50 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
I5	-24,176	-46,8029	$3,40 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
I6	-24,1727	-46,8019	$3,40 \times 10^9$	$1,70 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
I7	-24,1567	-46,8034	$2,00 \times 10^9$	$1,40 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
I8	-24,1491	-46,8068	$2,00 \times 10^9$	$1,30 \times 10^9$	$3,20 \times 10^9$
B1	-24,1211	-46,7946	$3,70 \times 10^9$	$1,30 \times 10^9$	$2,55 \times 10^9$
B2	-24,1247	-46,7921	$1,50 \times 10^9$	$2,50 \times 10^9$	$4,00 \times 10^9$
B3	-24,1319	-46,8028	$1,20 \times 10^9$	$2,00 \times 10^9$	$1,60 \times 10^9$
B4	-24,1395	-46,7999	$9,40 \times 10^9$	$2,80 \times 10^9$	$3,70 \times 10^9$
P1	-24,1365	-46,8244	$1,60 \times 10^9$	$1,60 \times 10^9$	$1,80 \times 10^9$
P2	-24,142	-46,8167	$1,60 \times 10^9$	$2,10 \times 10^9$	$2,50 \times 10^9$
P3	-24,1448	-46,808	$1,29 \times 10^9$	$3,80 \times 10^9$	$1,30 \times 10^9$
P4	-24,1468	-46,8102	$1,24 \times 10^9$	$2,30 \times 10^9$	$1,90 \times 10^9$

Tabela 4: Resultados da modelagem dos casos obtidos como saída do modelo Delft-WQ, nos pontos correspondentes amostrados (medidos em laboratório) – A unidade dos valores de contaminação *E. coli* é NMP/m³.

23/11/2021			
Pontos	Caso 0	Caso 1	Caso 2
I1	$3,00 \times 10^6$	$5,00 \times 10^7$	$3,50 \times 10^7$
I2	$4,50 \times 10^6$	$5,50 \times 10^7$	$4,50 \times 10^7$
I3	$4,00 \times 10^6$	$5,50 \times 10^7$	$5,00 \times 10^7$
I4	$4,00 \times 10^6$	$5,50 \times 10^7$	$5,40 \times 10^7$
I5	$3,80 \times 10^6$	$5,30 \times 10^7$	$4,80 \times 10^7$
I6	$3,60 \times 10^6$	$4,50 \times 10^7$	$4,00 \times 10^7$
I7	$2,40 \times 10^6$	$2,50 \times 10^7$	$1,50 \times 10^7$
I8	$1,50 \times 10^6$	$1,20 \times 10^7$	$6,50 \times 10^6$
B1	$1,60 \times 10^5$	$4,00 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
B2	$1,20 \times 10^5$	$3,50 \times 10^6$	$1,70 \times 10^6$
B3	$2,00 \times 10^5$	$4,00 \times 10^6$	$1,80 \times 10^6$
B4	$0,50 \times 10^6$	$1,00 \times 10^7$	$0,50 \times 10^7$
P1	$6,00 \times 10^6$	$7,50 \times 10^7$	$3,00 \times 10^7$
P2	$5,00 \times 10^6$	$6,00 \times 10^7$	$2,50 \times 10^7$
P3	$5,00 \times 10^6$	$6,00 \times 10^7$	$2,00 \times 10^7$
P4	$3,00 \times 10^6$	$4,50 \times 10^7$	$1,00 \times 10^7$

Tabela 5: Resultados da modelagem dos casos obtidos como saída do modelo Delft-WQ, nos pontos correspondentes amostrados (medidos em laboratório) – A unidade dos valores de contaminação *E. coli* é NMP/m³.

25/01/2022			
Pontos	Caso 0	Caso 1	Caso 2
I1	5,00x10 ⁶	5,50x10 ⁷	4,50x10 ⁷
I2	5,00x10 ⁶	6,00x10 ⁷	5,00x10 ⁷
I3	7,50x10 ⁶	6,50x10 ⁷	6,00x10 ⁷
I4	7,50x10 ⁶	7,50x10 ⁷	6,20x10 ⁷
I5	6,50x10 ⁶	6,50x10 ⁷	5,50x10 ⁷
I6	5,20x10 ⁶	6,00x10 ⁷	4,80x10 ⁷
I7	3,80x10 ⁶	4,40x10 ⁷	3,30x10 ⁷
I8	3,50x10 ⁶	3,80x10 ⁷	2,30x10 ⁷
B1	1,80x10 ⁶	1,40x10 ⁷	7,00x10 ⁶
B2	3,00x10 ⁶	3,00x10 ⁷	1,60x10 ⁷
B3	3,00x10 ⁶	5,00x10 ⁷	2,00x10 ⁷
B4	4,50x10 ⁶	6,00x10 ⁷	3,00x10 ⁷
P1	7,00x10 ⁶	8,00x10 ⁷	4,70x10 ⁷
P2	6,00x10 ⁶	7,50x10 ⁷	4,30x10 ⁷
P3	5,00x10 ⁶	5,50x10 ⁷	3,20x10 ⁷
P4	4,50x10 ⁶	5,50x10 ⁷	3,00x10 ⁷

Tabela 6: Resultados da modelagem dos casos obtidos como saída do modelo Delft-WQ, nos pontos correspondentes amostrados (medidos em laboratório) – A unidade dos valores de contaminação *E. coli* é NMP/m³.

22/03/2022			
Pontos	Caso 0	Caso 1	Caso 2
I1	4,50x10 ⁶	6,00x10 ⁷	5,00x10 ⁷
I2	5,00x10 ⁶	7,50x10 ⁷	6,00x10 ⁷
I3	6,50x10 ⁶	7,50x10 ⁷	7,00x10 ⁷
I4	7,00x10 ⁶	7,50x10 ⁷	7,50x10 ⁷
I5	6,50x10 ⁶	8,00x10 ⁷	7,50x10 ⁷
I6	5,50x10 ⁶	7,00x10 ⁷	7,30x10 ⁷
I7	4,50x10 ⁶	6,50x10 ⁷	5,50x10 ⁷
I8	2,40x10 ⁶	5,00x10 ⁷	4,00x10 ⁷
B1	1,80x10 ⁶	2,00x10 ⁷	1,30x10 ⁷
B2	2,50x10 ⁶	4,00x10 ⁷	2,60x10 ⁷
B3	4,50x10 ⁶	5,00x10 ⁷	2,20x10 ⁷
B4	5,50x10 ⁶	6,50x10 ⁷	3,00x10 ⁷
P1	0,50x10 ⁶	0,80x10 ⁷	6,30x10 ⁷
P2	7,50x10 ⁶	8,50x10 ⁷	5,50x10 ⁷
P3	7,00x10 ⁶	7,50x10 ⁷	4,50x10 ⁷
P4	6,00x10 ⁶	6,50x10 ⁷	<u>3,30x10⁷</u>

As Figuras 3, 4 e 5 mostram os resultados da calibração do modelo, onde a sequência dos três painéis, em cada figura, representa a comparação entre os valores das cargas utilizadas como entrada do modelo, em cada caso, e o respectivo valor associado à medição obtida em laboratório.

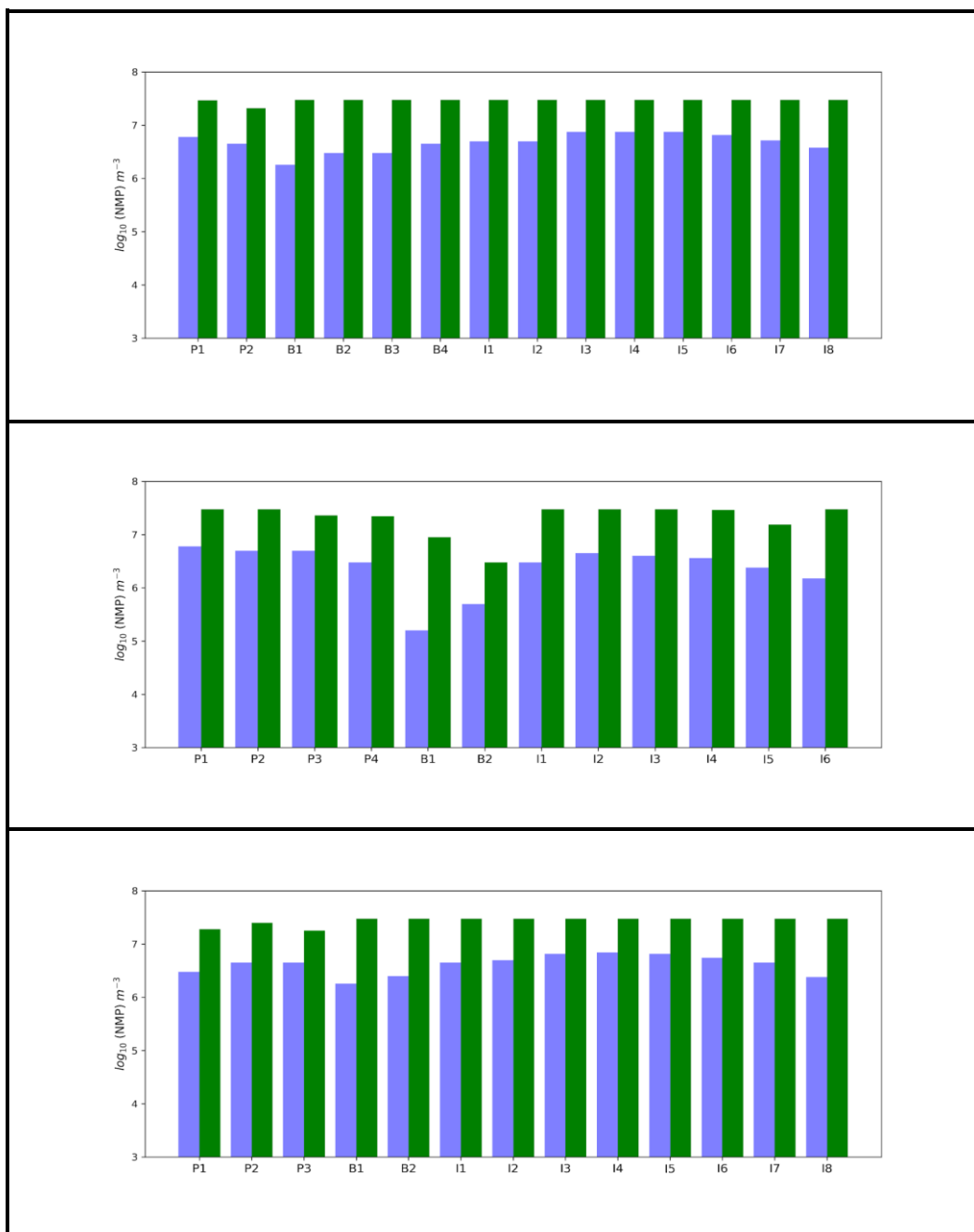


Figura 3: Caso 0. Resultados da calibração do modelo considerando as cargas utilizadas na entrada do modelo (em azul) e os resultados obtidos em laboratório (em verde) em pontos dos rios Preto (P), Branco (B) e Itanhaém (I). Campanhas 23/11/2021 (painel superior); 25/01/2022 (painel intermediário) e 22/03/2022 (painel inferior).

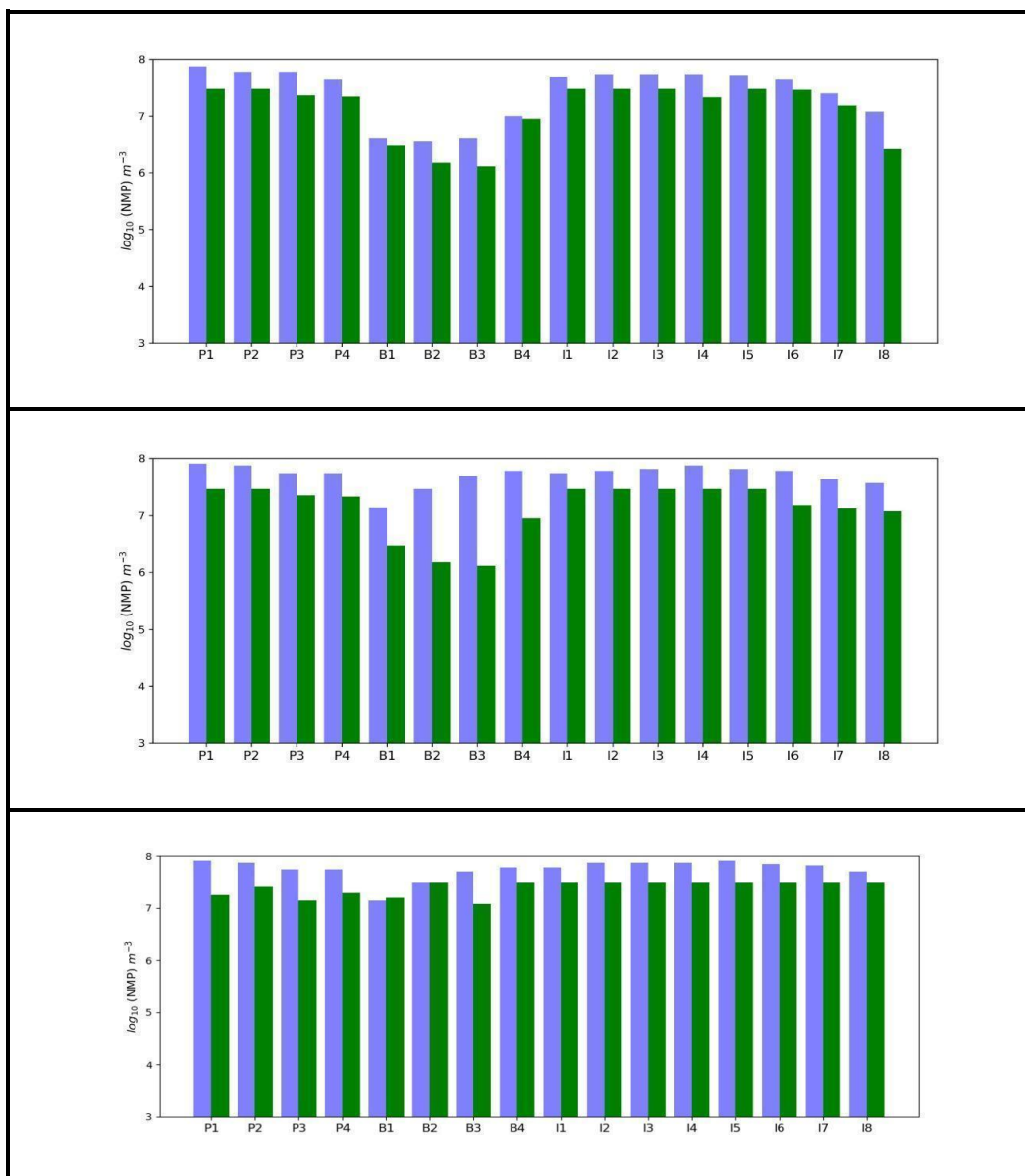


Figura 4: Caso 1. Resultados da calibração do modelo considerando as cargas utilizadas na entrada do modelo (em azul) e os resultados obtidos em laboratório (em verde) em pontos dos rios Preto (P), Branco (B) e Itanhaém (I). Campanhas 23/11/2021 (painel superior); 25/01/2022 (painel intermediário) e 22/03/2022 (painel inferior).

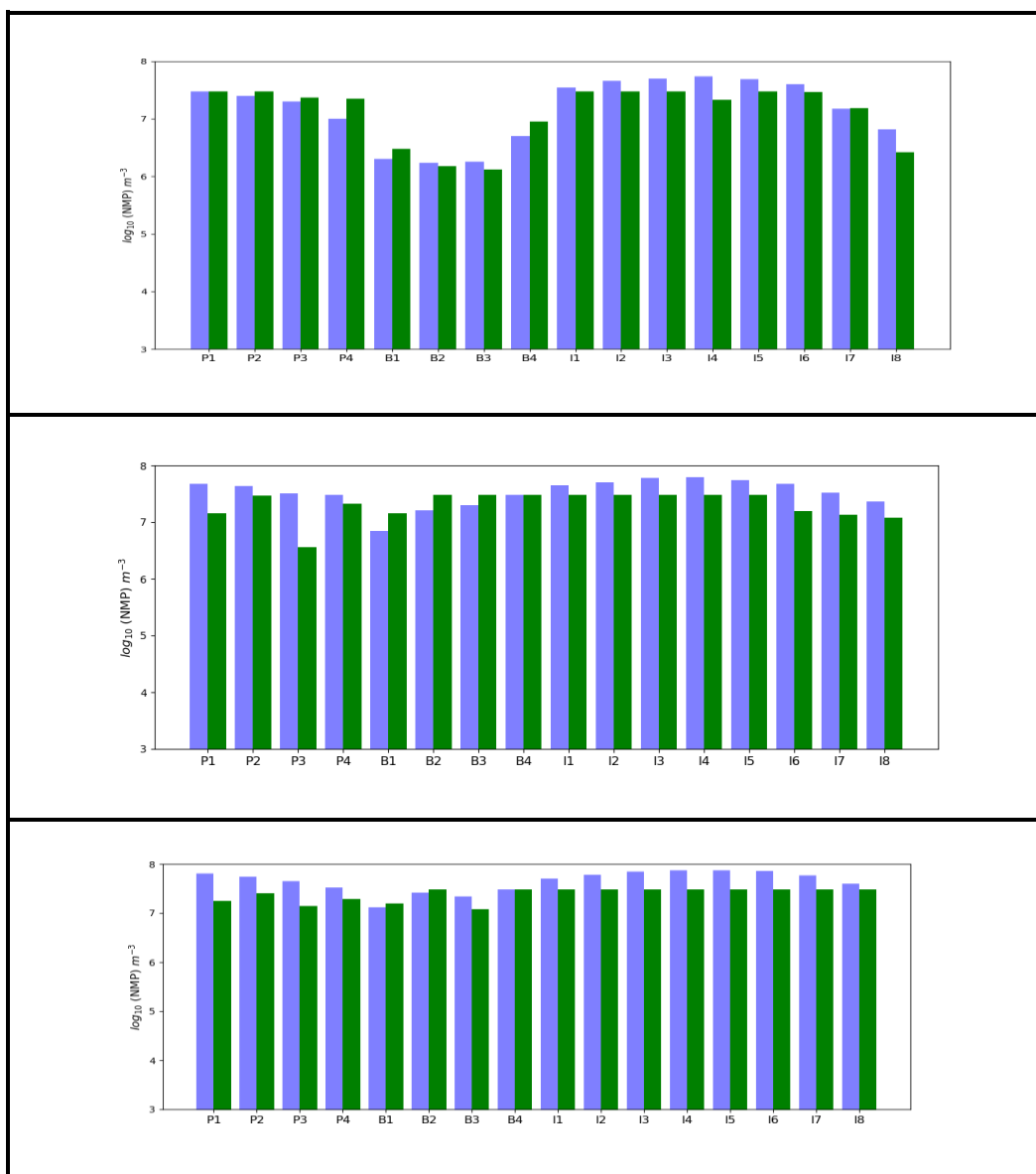


Figura 5: Caso 2. Resultados da calibração do modelo considerando as cargas utilizadas na entrada do modelo (em azul) e os resultados obtidos em laboratório (em verde) em pontos dos rios Preto (P), Branco (B) e Itanhaém (I). Campanhas 23/11/2021 (painel superior); 25/01/2022 (painel intermediário) e 22/03/2022 (painel inferior).

Considerando que o Caso 2 representa satisfatoriamente o ajuste entre as cargas de *E. coli* utilizadas como entrada (NMP s^{-1}) no modelo, ou seja, os valores admitidos em cada ponto de entrada do modelo são próximos dos valores medidos em laboratório (diferenças $< 10\%$). Portanto, os resultados ajustados para o Caso 2 serão considerados como o melhor ajuste, de onde seguirão as análises e considerações do estudo. A Tabela 3 apresenta os valores numéricos das cargas, inseridas nos respectivos pontos correspondentes àqueles amostrais.

Os painéis superior e inferior das Figuras 6, 7 e 8 mostram a distribuição superficial de *E. coli* no sistema estuarino, até sua extinção, na região costeira. Os resultados modelados são para as respectivas campanhas observacionais (23/11/21, 25/01/22 e 22/03/22). Utilizamos uma mesma base hidrodinâmica para todos os experimentos numéricos, o que justifica o fato das datas anotadas nas figuras serem estranhas às referências das campanhas realizadas. Tal aparente discrepância não traz prejuízo à interpretação dos resultados, uma vez que consideramos as mesmas condições oceanográficas e hidrológicas.

A Figura 6 mostra a evolução da dispersão de *E. coli*, em todo o sistema estuarino, porém representando somente a camada superficial. Refere-se aos dados modelados, para a Campanha do dia 23/11/2021, ajustados às análises feitas no Laboratório de Microbiologia Marinha e Ambiental (MICROMAR). Os correspondentes perfis verticais são apresentados na Figura 9, considerando a linearização da seção longitudinal do trecho do estuário correspondente ao rio Itanhaém, iniciando na confluência deste com dos rios Preto e Branco, até sua foz, na região marinha adjacente.

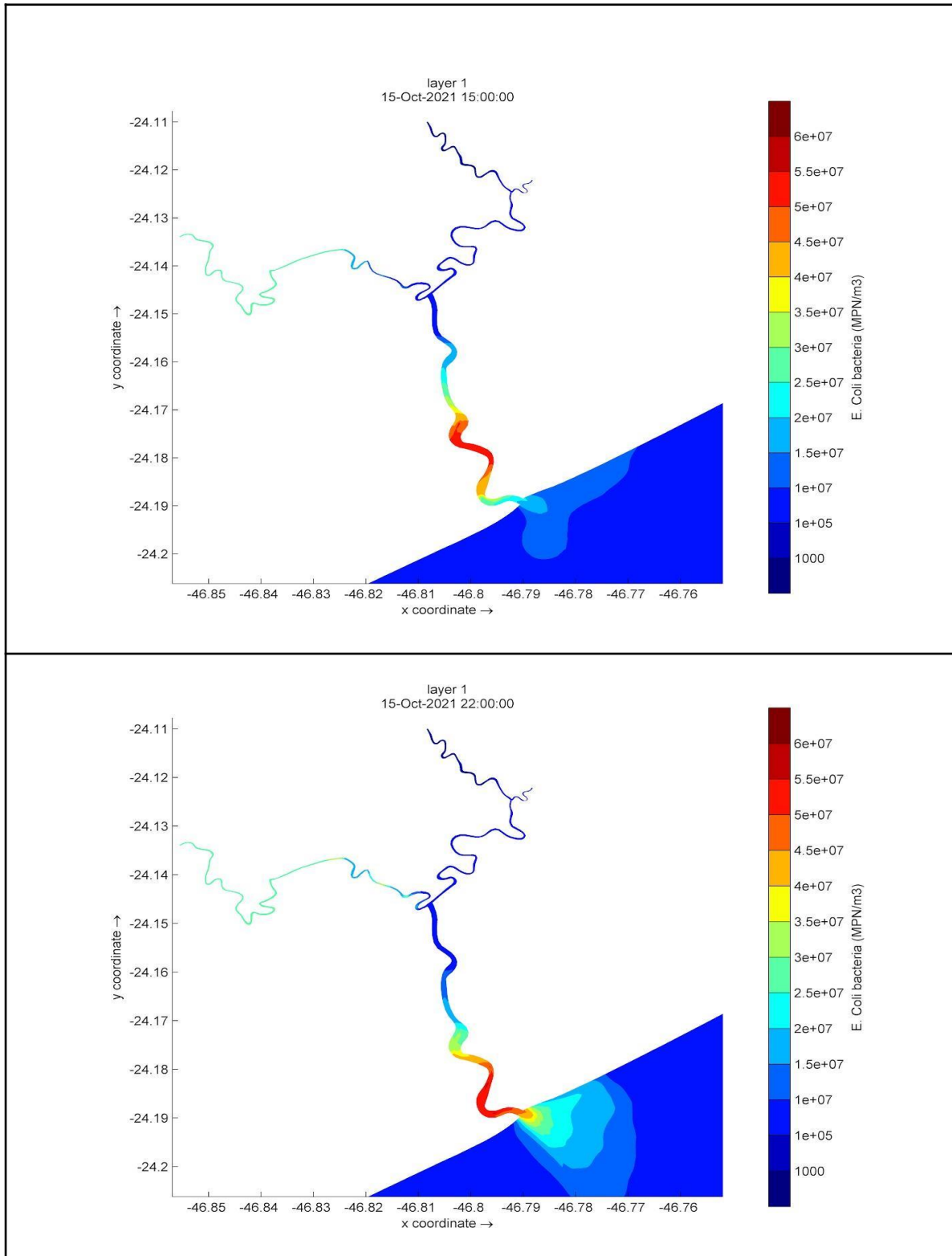


Figura 6: Campanha 23/11/2021. Evolução temporal da dispersão de *E. coli* no estuário do rio Itanhaém, para o modelo ajustado (Caso 2). Os painéis indicam, respectivamente, a preamar (15:00h) e a baixamar consecutiva (22:00) no período de quadratura. A unidade padronizada pelo modelo é NMP m⁻³.

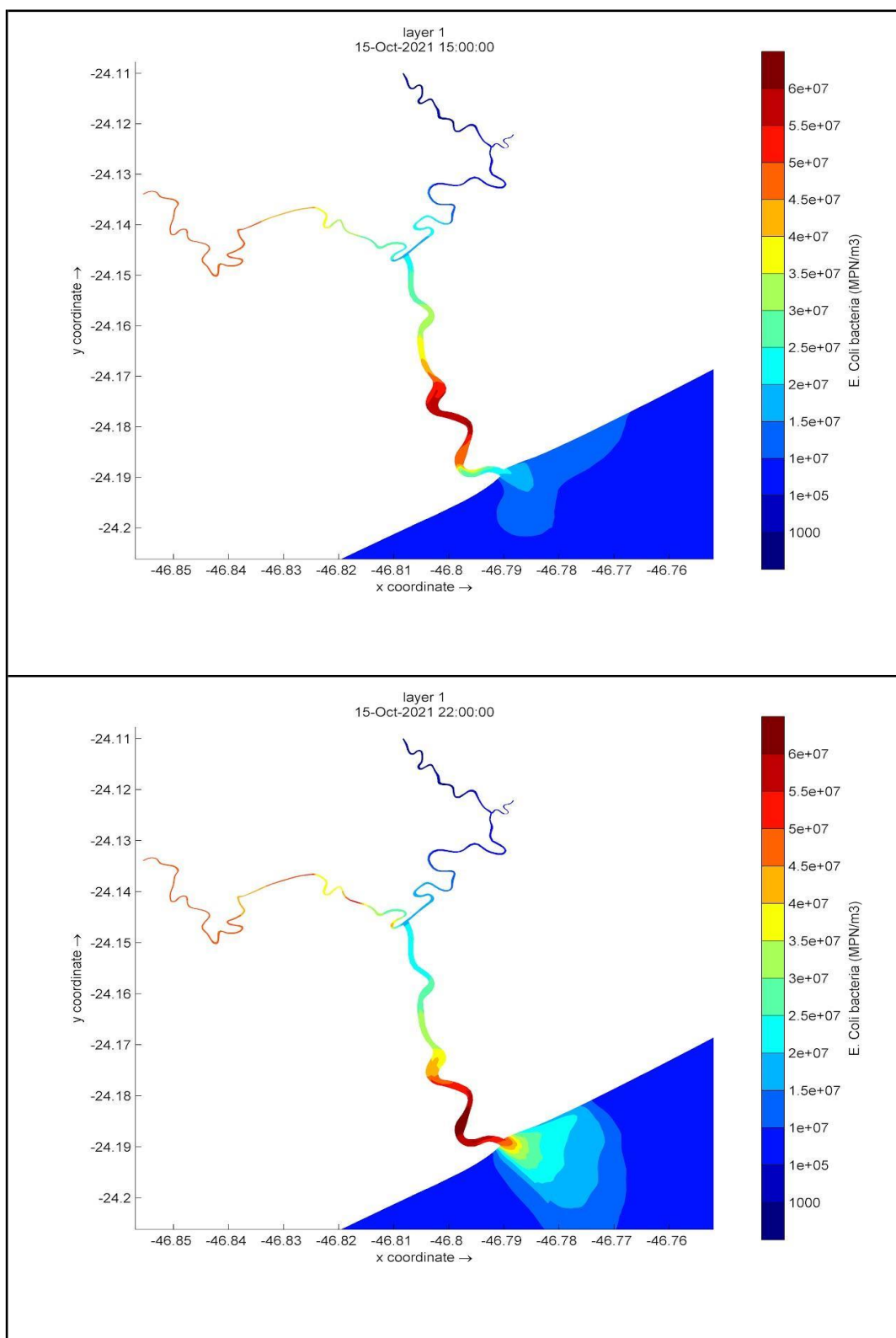


Figura 7: Campanha 25/01/2022. Evolução temporal da dispersão de *E. coli* no estuário do rio Itanhaém, para o modelo ajustado (Caso 2). Os painéis indicam, respectivamente, a preamar (15:00h) e a baixamar consecutiva (22:00) no período de quadratura. A unidade padronizada pelo modelo é NMP m⁻³.

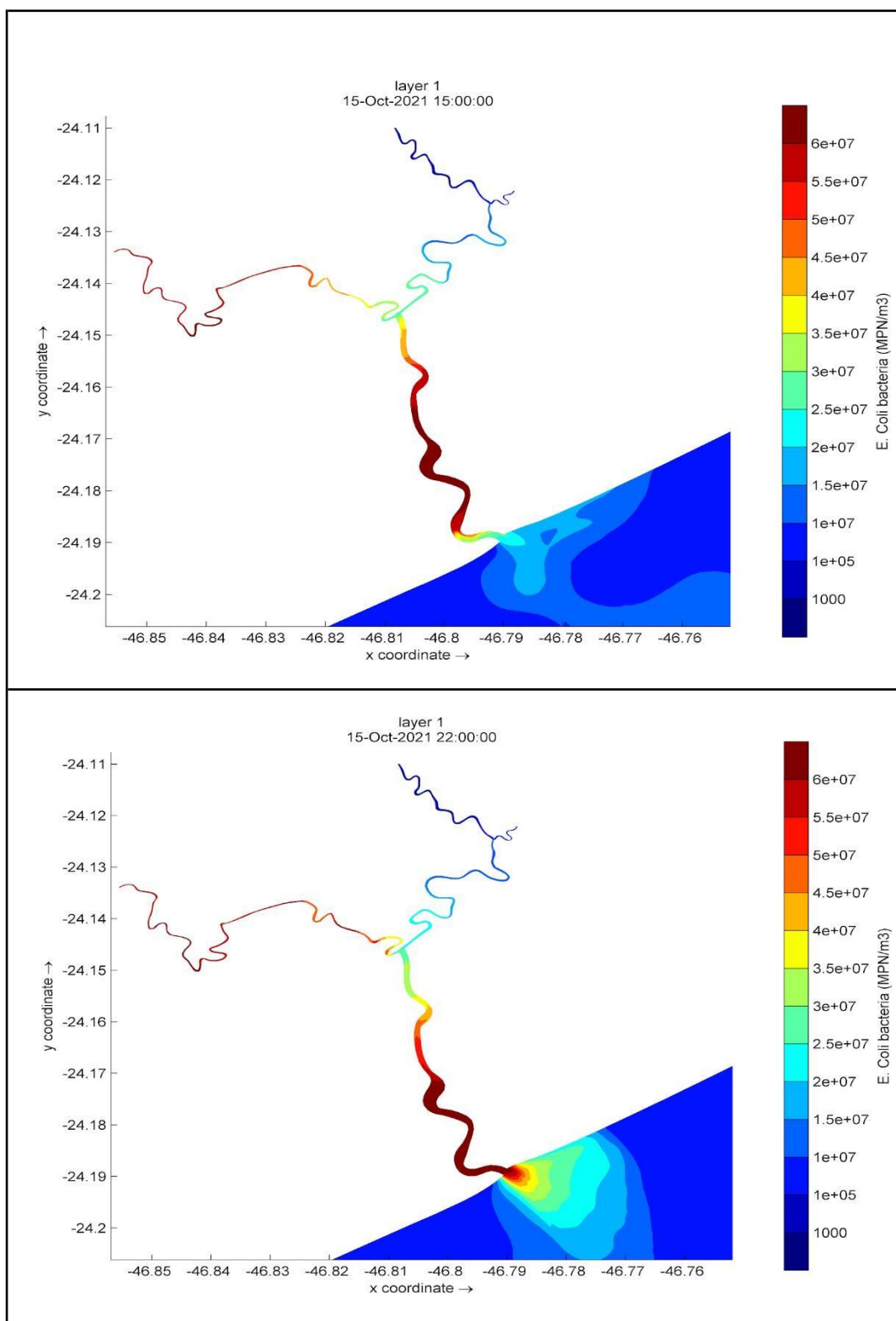


Figura 8: Campanha 22/03/2022. Evolução temporal da dispersão de *E. coli* no estuário do rio Itanhaém, para o modelo ajustado (Caso 2). Os painéis indicam, respectivamente, a preamar (15:00h) e a baixamar consecutiva (22:00) no período de quadratura. A unidade padronizada pelo modelo é NMP m^{-3} .

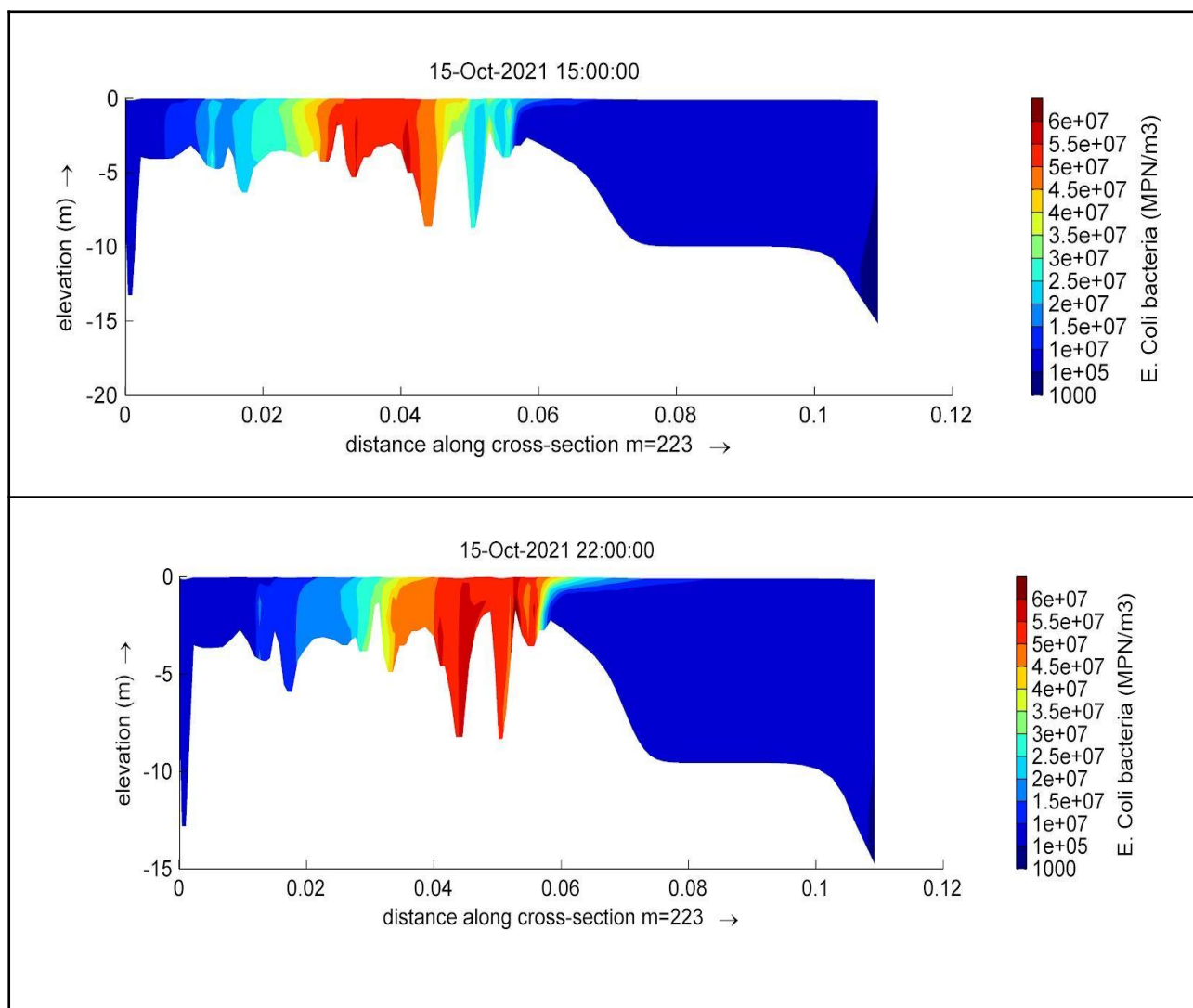


Figura 9: Campanha 23/11/2021. Perfis longitudinais de concentrações de *E. coli*, correspondentes aos da Figura 6 (premar: 15:00h; baixamar: 22:00h). O eixo horizontal representa a distância tomada desde a junção dos rios Branco, Preto e Itanhaém ($d = 0$). A unidade de distância é geográfica, onde 1° equivale a 111 km.

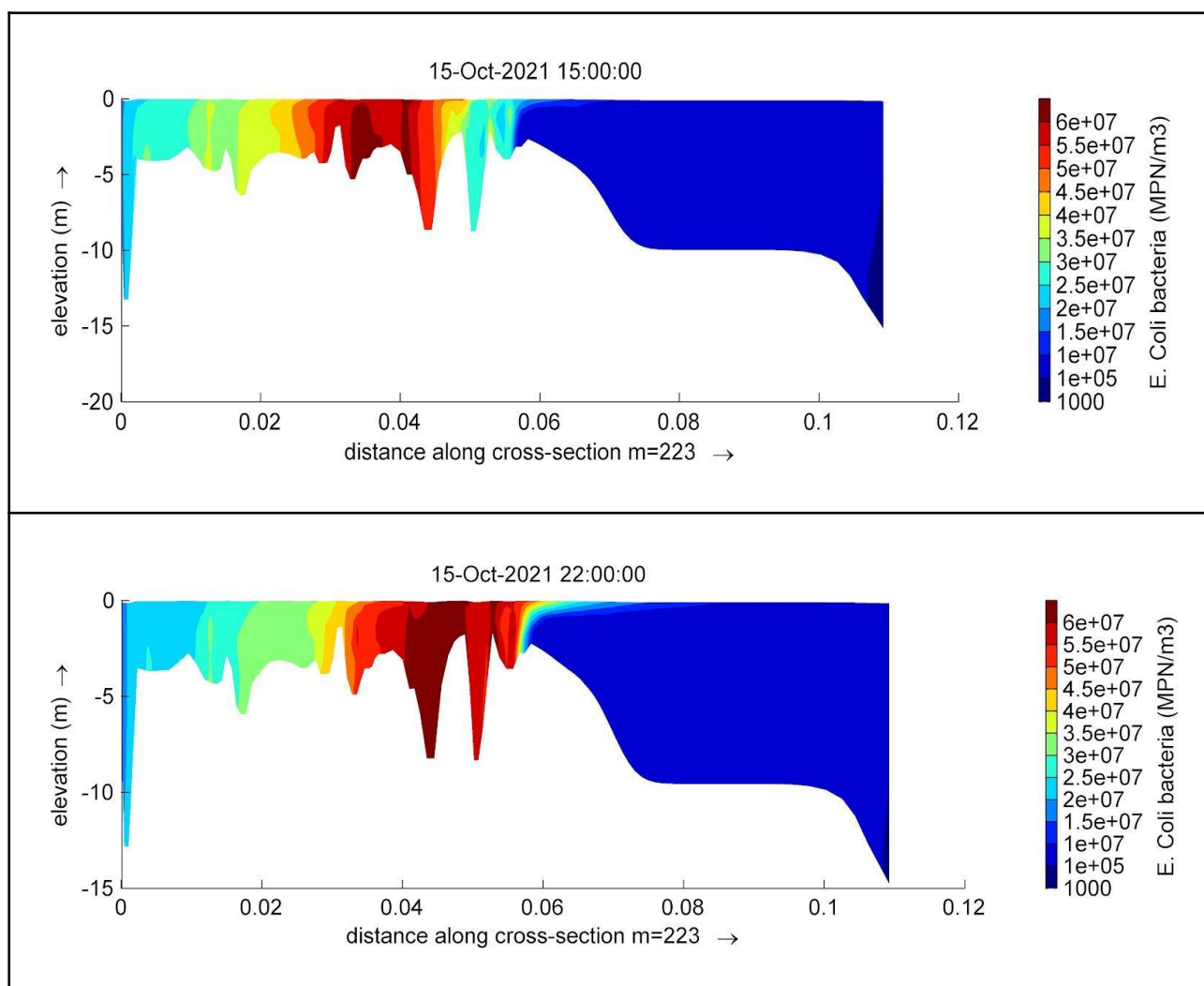


Figura 10: Campanha 25/01/2022. Perfis longitudinais de concentrações de *E. coli*, correspondentes aos da Figura 7 (preamar: 15:00h; baixamar: 22:00h). O eixo horizontal representa a distância tomada desde a junção dos rios Branco, Preto e Itanhaém ($d = 0$) até a foz do rio Itanhaém ($d = 0,1$). A unidade de distância é geográfica, onde 1° equivale a 111 km.

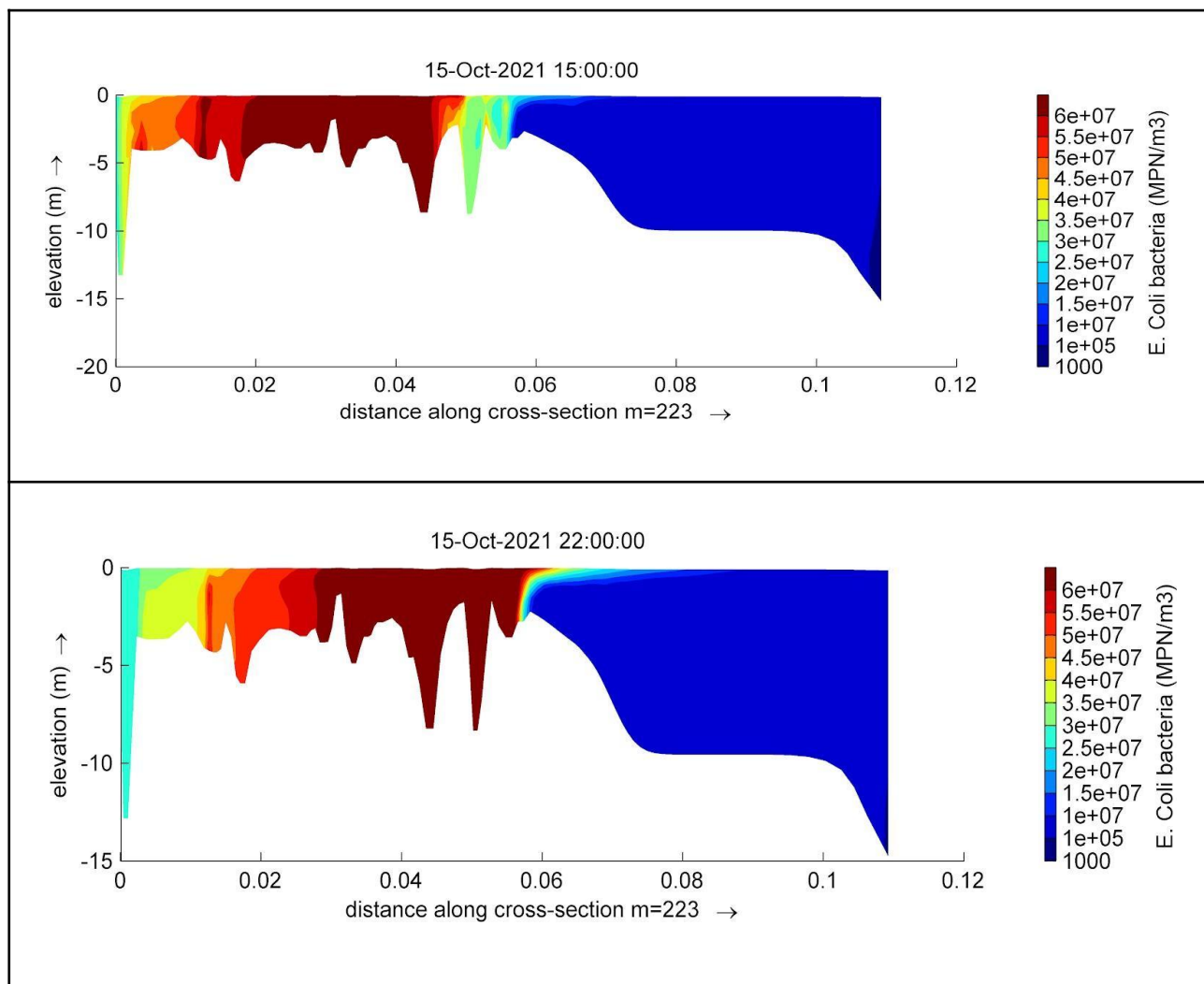


Figura 11: Campanha 22/03/2022. Perfis longitudinais de concentrações de *E. coli*, correspondentes aos da Figura 8 (preamar: 15:00h; baixamar: 22:00h). O eixo horizontal representa a distância tomada desde a junção dos rios Branco, Preto e Itanhaém ($d = 0$) até a foz do rio Itanhaém ($d = 0,1$). A unidade de distância é geográfica, onde 1 ° equivale a 111 km.

A Tabela 7 apresenta as cargas de contaminantes utilizadas nos trechos do sistema estuarino, considerando suas 16 entradas distribuídas nos respectivos rios que compõem o sistema estuarino.

Tabela 7: Valores de entrada (carga de *E. coli*) estimados pelo ajuste otimizado, obtido dos resultados do modelo de qualidade de água - Caso 2.

Caso 2			
Pontos	23/11/2021	25/01/2022	22/03/2022
I1	$3,50 \times 10^7$	$4,50 \times 10^7$	$5,00 \times 10^7$
I2	$4,50 \times 10^7$	$5,00 \times 10^7$	$6,00 \times 10^7$
I3	$5,00 \times 10^7$	$6,00 \times 10^7$	$7,00 \times 10^7$
I4	$5,40 \times 10^7$	$6,20 \times 10^7$	$7,50 \times 10^7$
I5	$4,80 \times 10^7$	$5,50 \times 10^7$	$7,50 \times 10^7$
I6	$4,00 \times 10^7$	$4,80 \times 10^7$	$7,30 \times 10^7$
I7	$1,50 \times 10^7$	$3,30 \times 10^7$	$5,50 \times 10^7$
I8	$6,50 \times 10^6$	$2,30 \times 10^7$	$4,00 \times 10^7$
B1	$2,00 \times 10^6$	$7,00 \times 10^6$	$1,30 \times 10^7$
B2	$1,70 \times 10^6$	$1,60 \times 10^7$	$2,60 \times 10^7$
B3	$1,80 \times 10^6$	$2,00 \times 10^7$	$2,20 \times 10^7$
B4	$0,50 \times 10^7$	$3,00 \times 10^7$	$3,00 \times 10^7$
P1	$3,00 \times 10^7$	$4,70 \times 10^7$	$6,30 \times 10^7$
P2	$2,50 \times 10^7$	$4,30 \times 10^7$	$5,50 \times 10^7$
P3	$2,00 \times 10^7$	$3,20 \times 10^7$	$4,50 \times 10^7$
P4	$1,00 \times 10^7$	$3,00 \times 10^7$	$3,30 \times 10^7$

A Figura 14 representa o resultado das melhores estimativas das cargas de *E. coli* lançadas nos pontos observados e monitorados pelos modelos. Na definição dos parâmetros de qualidade de água, utilizados na modelagem de *E. coli*, consideramos vazões constantes para todos os pontos, ou seja, $q = 0,040 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (equivalente a 40 litros por segundo). Além das vazões, o modelo de qualidade de água também necessita da definição das “concentrações” dos contaminantes estudados ($C [\text{NMP m}^{-3}]$). Assim, os valores finais considerados para as cargas são expressos na unidade composta por $C.q [\text{NMP s}^{-1}]$.

Assim, a região da Zona de Mistura do estuário (trecho intermediário final do rio Itanhaém) é aquela mais impactada, sob a qual perdurou o lançamento de grandes cargas, ao longo das três campanhas (valores superiores a $1,3 \times 10^8 \text{ NMP s}^{-1}$). Entretanto, nesse trecho, os pontos I6, I7 e I8 (trecho inicial do rio Itanhaém), as cargas lançadas foram inferiores, ao menos, em uma ordem de grandeza.

Por outro lado, os pontos relativos aos trechos associados aos rios Preto e Branco apresentaram maior variabilidade, embora sua maioria ocorreu numa escala inferior a uma ordem de grandeza, comparada àquela avaliada anteriormente (Zona de Mistura). Esses pontos P1 ... P4, B1 ... B4 estão definidos na Zona do Rio (ZR - parte do estuário mais relacionada com os rios). Os maiores valores obtidos, na ZR, foram superiores a 10^8 NMP s^{-1} e ocorreram, principalmente, na segunda e terceira campanhas, no verão de 2022.

É notório que as campanhas que ocorreram no final do verão sugerem que os eventos estão relacionados à retomada prematura das atividades turísticas da região, em uma fase mais amena da pandemia do SARS-CoV-2, onde a aglomeração de pessoas causa um maior impacto, lançamento de efluentes nos rios, e além de ter ocorrido precipitações (chuvas fortes), neste período de coleta.

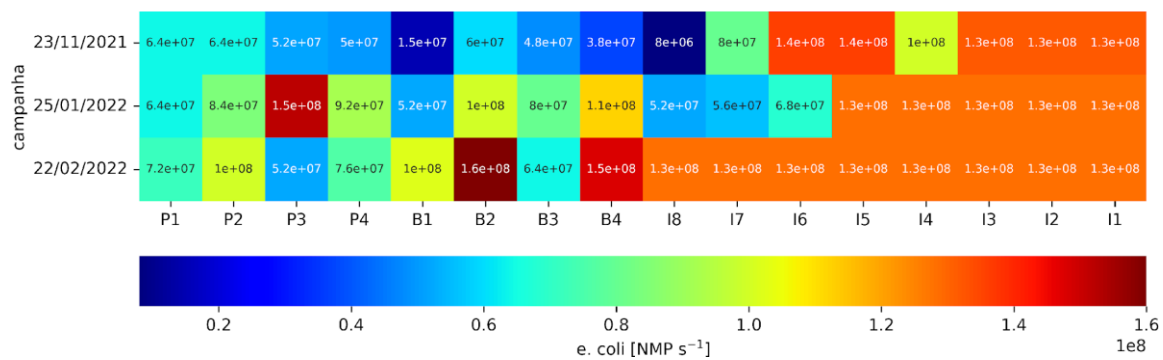


Figura 12 - Síntese dos melhores resultados obtidos (Caso 2) para as cargas estimadas de *E. coli* [NMP s⁻¹], para as três campanhas.

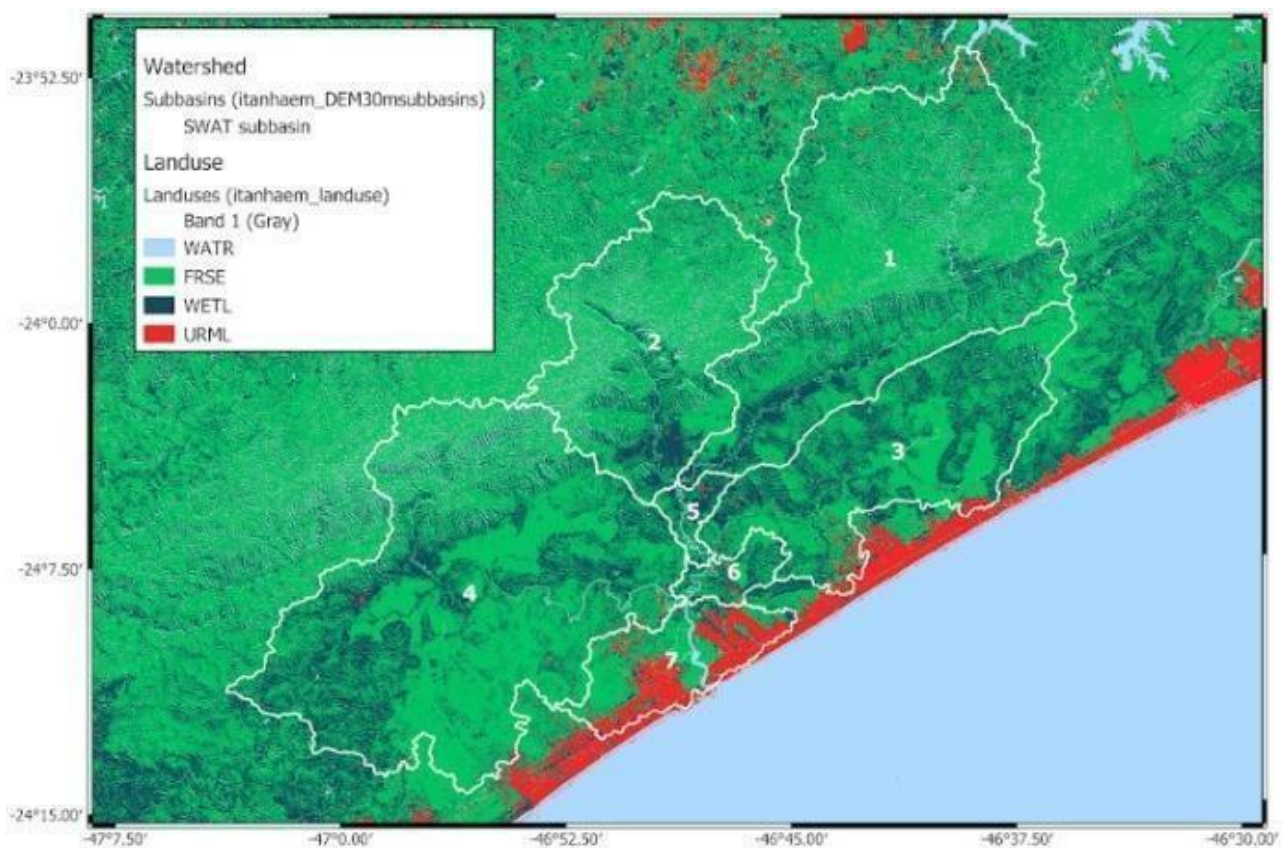


Figura 13 - Sub-bacias hidrográficas componentes do sistema estuarino do rio Itanhaém. As sub-bacias 1,2,3,5 e 6 alimentam o Rio Branco, enquanto as sub-bacias 4 e 7, correspondem aos rios Preto e Itanhaém, respectivamente. A legenda corresponde aos tipos de uso do solo definidos para o domínio: WATR (água); FRSE (florestas permanentes); WETL (alagadiços) e URML (regiões urbanizadas). Fonte: modelo hidrol. SWAT, LOC.

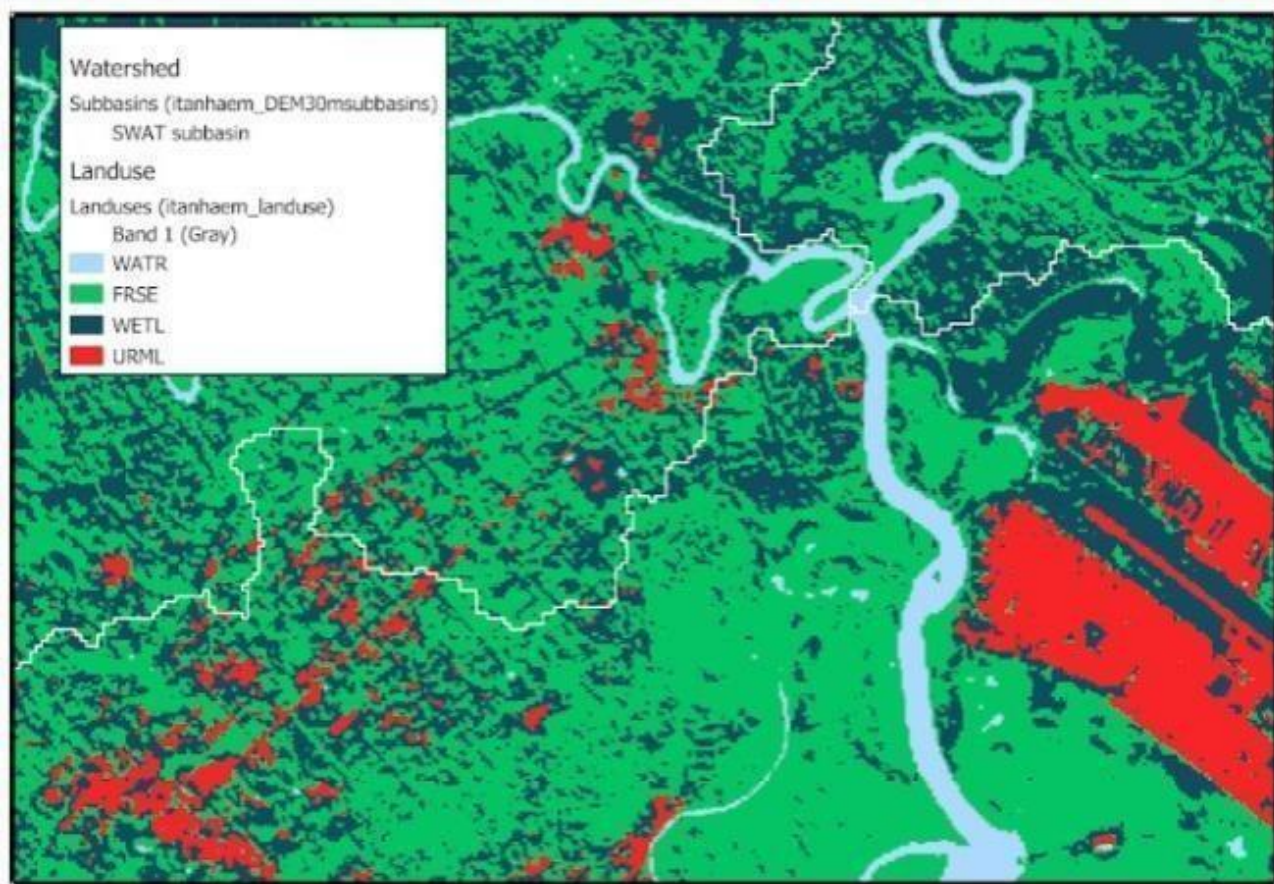


Figura 14 - Vista em detalhe dos tipos de uso do solo na região amostrada (Fonte: modelo hidrol. SWAT, LOC).

Verificamos que, de fato, as regiões de maior contaminação coincidem com as áreas mais urbanizadas do domínio, principalmente no trecho correspondente ao rio Itanhaém. A sub-bacia do rio Preto (parte N-NO da imagem) não aparenta a mesma densidade do centro urbano de Itanhaém (parte L da imagem), porém é ocupada por várias instalações de uso recreacionais, como marinas, campings e propriedades privadas diversas, ou seja, as regiões mais afetadas se encontram próximas a áreas mais urbanizadas.

5. CONCLUSÃO

Evidentemente, utilizar um modelo para simplesmente reproduzir resultados conhecidos ou medidos não é, em si, objetivo principal de um estudo de avaliação da poluição aquática. Os resultados obtidos permitem a quantificação da carga de contaminação por microrganismos do sistema estuarino do rio Itanhaém, incluindo parte principal de sua bacia de drenagem, integradas pelos rios Preto e Branco.

A discrepância das datas não importa e não traz nenhum prejuízo para a interpretação e análise dos resultados, em razão de considerar as condições oceanográficas e hidrológicas, pois, a dinâmica do estuário se repete nos ciclos da maré, em periodicidades semidiurnas, principalmente, devido às componentes de maré lunar e solar (M2 e S2) e de sua modulação quinzenal, associado às marés de sizígia e de quadratura.

De acordo com meu estudo, as regiões mais utilizadas pela população apresentaram concentrações mais elevadas, do que trechos com menor predominância, além de que, houve uma maior concentração de lançamentos de efluentes domésticos (pontos de esgoto), principalmente nas regiões do rio Itanhaém, de visualização e identificação fáceis, porém são necessários mais estudos acerca do assunto para que se comprove tal fato, deve ter sido realizado em um período final da pandemia do SARS-CoV-2.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, T. A. et al. Effects of landuse and precipitation on pesticides and water quality in playa lakes of the southern high plains. *Chemosphere*, v. 92, n. 1, p. 84-90, 2013.

ARIANNA, A. et al. Groundwater diffuse pollution in functional urban areas: The need to define anthropogenic diffuse pollution background levels. *Science of The Total Environment*, v. 656, p. 1207-1222, 2019.

ARAÚJO, A. M. & MELO, M. C. V. Simulações da circulação e transporte hidrodinâmicos forçados por marés na Lagoa Olho D'água. *Ciência & Engenharia*, Uberlândia/MG, v. 8, n. 2, p. 81-90, 1999.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018, 220 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 357 do CONAMA. 2005. Publicada no DOU no 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 430 do CONAMA. 2011. Publicação DOU no 92, de 16/05/2011, pág. 89.

CAMARGO, A. F. M.; CANCIAN, L. F. Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas. In: . [S.l.]: Editus, 2016. cap. Ecologia da bacia do rio Itanhaém: características limnológicas e uso do solo, p. 197–218.

CAMARGO, T. M.. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, v. 13, n. 2, p. 204-218, 1990.

CAMPBELL, N. et al. Diffuse pollution - an introduction to the problems and solutions. Londres: IWA, 2004, 322p.

CHAN, Y.M., W. THOE, AND JOSEPH H.W. LEE. Field and laboratory studies of *Escherichia coli* decay rate in subtropical coastal water. In: Journal of Hydro-environment Research 9, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.jhcr.2014.08.002, 2015.

DELTARES. Delft3D-FLOW Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. Delft, The Netherlands, 2011. V 3.15.

DYER, K. R. Estuaries: a Physical Introduction. 2nd. ed. Chichester, New York: John Wiley, 1998.

ELLIOT, M.; MCLUSKY, D. The need for definitions in understanding estuaries. Estuarine and Coastal Shelf Science, v. 55, n. 6, p. 815–827, 2002.

FONTES, R. F. C. et. al. Numerical modeling as supporting tool for aquaculture of oysters in a subtropical estuarine ecosystem, Boletim do Instituto de Pesca Sao Paulo, 2019.

HYDRAULICS, W.L. Delft. Delft-3D-FLOW User Manual: Simulation of multidimensional hydrodynamic flows and transport phenomena. including sediments. Technical report, Version 3.15.34158. p7, 2014.

ITANHAEM. Plano Municipal de Saneamento. [S.l.], 2010.
[Http://www2.itanhaem.sp.gov.br/tag/plano-municipal-de-saneamento/](http://www2.itanhaem.sp.gov.br/tag/plano-municipal-de-saneamento/).

LACAMBRA, C.; SPENCER, T.; MOELLER, I. Tropical coastal ecosystems as coastal defences. ProAct Network, Unitec Kingdom, p. 1-22, 2008.

LIMA LG. PESANHA ALM, SALES NS, BAETA ASBV. 2016. Do the shallow-water habitats of a hypersaline tropical estuary act as nursery grounds for fishes? Mar. Ecol. 39:1-12

LIU, A. et al. Understanding the role of urban road surface characteristics in influencing stormwater quality. Water resources management, v. 28, n. 14, p. 5217-5229, 2014.

MANCINI, J. L. Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions. In: Journal Water Pollution Control Federation -, pp. 2477–2484, 1978.

MCLUSKY D, ELLIOT M. The estuarine ecosystem: ecology, threats, and management. Oxford: Oxford University Press. 2004.

MILLER, G. L. Guide to the Ecological Systems of Porto Rico. Gen. Tech. Rep. IITF-GTR-35. San Juan, PR: United States Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 444p. 2016.

MIRANDA, L. B. KJERFVE, B. & CASTRO, B. M. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo: Edusp, 2002.

NOVOTNY, V., OLEM, H. Water Quality – Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1993

PEREIRA, R. da S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. Revista Eletrônica de recursos hídricos, v. 1, n. 1, p. 20–36, 2004.

PRITCHARD, D. W. Observations of circulation in coastal plain estuaries. In: Lauff GH (ed) Estuaries. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 1967.

ROELVINK, J. A.; BANNING, G. K. F. M. van. Design and development of delft3d and application to coastal morphodynamics. Hydroinformatics, Balkema Rotterdam, The Netherlands, v. 94, p. 451–455, 1994.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Mangroves as indicators of sea level change in the muddy coasts of the world. In: HEALY, T.; WANG, Y.; HEALY, J. A. Muddy coasts of the world. Amsterdam: Elsevier Science, 2002.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution, v. 100, n. 1, p. 179–196, 1999.

SODRÉ, F. F. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. Agricultura, v. 1, n. 2, p. 9-16, 2012.

TOMAZ, P. Poluição difusa: trincheira de infiltração, bacia de infiltração, pavimento permeável, poluição difusa, first flush, gestão ambiental, wetland, custos, canais gramados. São Paulo: Navegar. 300p. 2006.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WARNER, J.C.; GEYER, W. R.; LERCZAK, J. A. Numerical modeling of an estuary: A comprehensive skill assessment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 110, n. C5, 2005.

WU, Y.; FALCONER, R. A.; STRUVE, J. Mathematical modelling of tidal currents in mangrove forests. *Environmental Modelling & Software*, v. 16, n. 1, p. 19-29, 2001.

ZHANG, X.; ZHANG, M. Modeling effectiveness of agricultural BMPs to reduce sediment load and organophosphate pesticides in surface runoff. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 10, p. 1949-1958, 2011.

ZHAO, H. et al. Influence of urban surface roughness on build-up and wash-off dynamics of road-deposited sediment. *Environmental Pollution*, v. 243, p. 1226-1234, 2018.

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**Discente:** FELIPE GONGORA RIBEIRO**Título:** "Modelagem da Qualidade de Água do Sistema Estuarino do rio Itanhaem (SP)"**Orientador:** Prof. Dr. Roberto Fioravanti Carelli Fontes**Curso/Habilitação:** Bacharelado em Ciências Biológicas/Biologia Marinha

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Roberto Fioravanti Carelli Fontes	Aprovado
MSC. Roberta Alves Merguizo Chinellato	Aprovado
MSC. José Augusto de Souza	Aprovado

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que o discente **Felipe Gongora Ribeiro** obteve o seguinte conceito:

☒ APROVADO☐ REPROVADO

São Vicente, 16 de dezembro de 2022.


Prof. Dr. Roberto Fioravanti Carelli Fontes
(Orientador)
MSC. Roberta Alves Merguizo Chinellato
MSC. José Augusto de Souza