



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

FILIPPE VIEIRA DE MELO ABREU

**AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA E CONECTIVIDADE NO PARQUE
ESTADUAL MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO UTILIZANDO
MODELAGEM NUMÉRICA**

FORTALEZA

2019

FILIPE VIEIRA DE MELO ABREU

AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA E CONECTIVIDADE NO PARQUE ESTADUAL
MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO UTILIZANDO MODELAGEM
NUMÉRICA

Trabalho de conclusão de curso submetida ao
Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências
do Mar – LABOMAR da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres
Teixeira.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A145a Abreu, Filipe Vieira de Melo.

AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA E CONECTIVIDADE NO PARQUE ESTADUAL MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO UTILIZANDO MODELAGEM NUMÉRICA / Filipe Vieira de Melo Abreu. – 2019.

89 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2019..

Orientação: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

1. Modelagem numérica. 2. Circulação costeira. 3. Oceanografia Física. 4. Delft3D. I. Título.

CDD 551.46

FILIPE VIEIRA DE MELO ABREU

AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA E CONECTIVIDADE NO PARQUE ESTADUAL
MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO UTILIZANDO MODELAGEM
NUMÉRICA

Trabalho de conclusão de curso submetida ao
Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências
do Mar – LABOMAR da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Bárbara Pereira Paiva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Francisco Rafael de Lima Xavier
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus amigos e a minha família.

AGRADECIMENTOS

A trajetória para a conclusão desta etapa somente me foi possível com o apoio de amigos, professores e familiares que se fizeram presentes durante o curso.

Ao Prof. Dr. Carlos Teixeira, por suas contribuições, apoio e orientação e a todos os professores que contribuíram para a minha formação como oceanógrafo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão de bolsa de iniciação científica PIBIC.

Ao Programa Ciência sem Fronteiras e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento e concessão de bolsa para realização de mobilidade acadêmica no exterior.

Aos participantes da banca examinadora Msc. Bárbara Pereira Paiva e Msc. Francisco Rafael de Lima Xavier pelo tempo e disponibilidade para examinar o trabalho.

Ao Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão, do Laboratório de Dinâmica Costeira, por disponibilizar dados de batimetria para serem usados nas simulações.

Ao Laboratório de Oceanografia Física (LOF) e a todos os colegas do LOF pelos conhecimentos e momentos compartilhados que possibilitaram a elaboração deste trabalho, em especial Bárbara Paiva, Rafael Xavier, Airton Viana, Gustavo Leitão e Vitória Vasconcelos, e a todos os colegas e amigos da graduação, mais próximos ou mais distantes, que ao longo destes anos ajudaram no crescimento e amadurecimento acadêmico e pessoal, sobretudo mas não apenas Victor, José Vítor e Regimário.

A Vic, pelo amor, carinho e força dados neste período.

*“O mar quando quebra na praia
É bonito, é bonito”*

(Dorival Caymmi)

RESUMO

A unidade de conservação Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio (PEMPRM), no estado do Ceará, Brasil, existe desde 1997, encontrando-se a cerca de 20 quilômetros da costa da cidade de Fortaleza (CE). Entretanto, apenas em 2019 iniciou-se o processo para que seja feito o plano de manejo. Na perspectiva da realização do plano de manejo, é necessário que pesquisas sejam desenvolvidas para preencher as lacunas no conhecimento acerca do PEMPRM, especificamente, no caso deste estudo, em relação à circulação hidrodinâmica local e conectividade com regiões na costa de Fortaleza. Para tanto, utilizou-se o *software* de modelagem numérica Delft3D, que permite solucionar equações hidrodinâmicas e apresentar os resultados para avaliação posterior. Simulou-se as condições hidrodinâmicas em 2 dimensões, entre 01/06/2011 e 01/06/2012, com liberação de partículas genéricas com concentração suficiente para serem observadas na resolução da grade elaborada. Também liberou-se óleo com características de combustível de embarcações na região do Porto do Mucuripe e na área do PEMPRM, a fim de verificar seu comportamento com as condições hidrodinâmicas locais. Os resultados das simulações indicaram uma breve persistência de partículas liberadas dentro da área do PEMPRM, não permanecendo dentro dela após o marco de 12 horas após liberação, em todos os meses. Além disso, o óleo simulado sendo liberado no Porto não alcança a área do PEMPRM. Simulou-se também uma liberação contínua de partículas advindas do rio Cocó, a fim de verificar sua conectividade com o PEMPRM. Constatou-se que em dois momentos (18/07/11 e 08/08/11) as partículas do rio entraram na área do PEMPRM, mesmo sem incluir a influência hidrodinâmica do estuário na simulação. Em junho e agosto houve episódios de conectividade do rio Cocó.

Palavras-chave: Modelagem numérica. Circulação costeira. Oceanografia Física. Delft3D.

ABSTRACT

The conservation unity Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio (PEMPRM), in the state of Ceará, Brasil, was created in 1997, being located around 20 kilometers from the coast of the city of Fortaleza (CE). However, it was only in 2019 that the process to develop the management plan initiated. In the light of the development of the management plan, it is necessary that researches are developed to fulfill the gaps in the knowledge about the conservation unit, specifically, in this study, in regards to the local hydrodynamic circulation and connectivity with regions in coast of Fortaleza. For that, the numerical modelling software Delft3D, which solves hydrodynamic equations and presents the results for posterior evaluation, was used. The hydrodynamic conditions between 01/06/11 and 01/06/2012 were simulated in 2D, releasing generic particles with sufficient concentration to be observed in the grid's resolution, along with marine fuel oil in the region of the Mucuripe port and in the conservation unit's area, to verify their behavior within the local hydrodynamic conditions. The results indicated a short persistence of the particles released inside the unity's area, being outside the area after the 12th hour timestep after release, in all months. Besides, the simulated oil release in the port does not reach a unity's area too. It was also simulated a continuous release close to the Cocó river, with the intention to verify its connectivity with the conservation unity. It was noted that at two specific moments (18/07/11 and 08/08/11) the river particles entered the unity's area, even without including the hydrodynamic influence of the river's estuary in the simulation. June and August presented episodes of rio Coco's connectivity.

Keywords: Numerical modelling. Coastal Circulation. Physical Oceanography. Delft3D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Localização do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, Ceará, no Nordeste do Brasil.	15
Figura 2	- Grade usada nas simulações com a área do PEMPRM destacada em laranja.	20
Figura 3	- Detalhe da grade mostrando a disposição das células na área do PEMPRM	20
Figura 4	- Batimetria da grade do modelo	21
Figura 5	- Condições de Fronteira da Grade do Modelo, destacadas em azul. Em laranja, os limites da área do PEMPRM.	26
Figura 6	- <i>Plot</i> da intensidade das correntes do modelo (em azul) e observados no fundeio do ADCP (em vermelho).	27
Figura 7	- Média do campo de correntes do trimestre Junho-Julho-Agosto	29
Figura 8	- Média do campo de correntes do trimestre Setembro-Outubro-Novembro	30
Figura 9	- Média do campo de correntes do trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro	31
Figura 10	- Média do campo de correntes do trimestre Março-Abril-Maio	32
Figura 11	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011, às 00:30, após 30 minutos do lançamento.	34
Figura 12	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 01:00, após 1 hora do lançamento.	35
Figura 13	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 03:00, após 3 horas do lançamento.	36
Figura 14	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 06:00, após 6 horas do lançamento.	37
Figura 15	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 09:00, após 9 horas do lançamento.	38
Figura 16	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 12:00, após 12 horas do lançamento.	39
Figura 17	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 4 de Junho de 2011 às 00:00, após 24 horas do lançamento.	40

Figura 18	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 5 de Junho de 2011 às 00:00, após 48 horas do lançamento.	41
Figura 19	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 6 de Junho de 2011 às 00:00, após 72 horas.	42
Figura 20	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 00:30, após 30 minutos do lançamento.	43
Figura 21	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 01:00, após 1 hora do lançamento.	44
Figura 22	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 03:00, após 3 horas do lançamento.	45
Figura 23	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 06:00, após 6 horas do lançamento.	46
Figura 24	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 09:00, após 9 horas do lançamento.	47
Figura 25	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 12:00, após 12 horas do lançamento.	48
Figura 26	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 4 de Outubro de 2011 00:00, após 24 horas do lançamento.	49
Figura 27	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 00:30, após 30 minutos do lançamento.	51
Figura 28	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 01:00, após 1 hora do lançamento.	52
Figura 29	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 03:00, após 3 horas do lançamento.	53
Figura 30	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 06:00, após 6 horas do lançamento.	54
Figura 31	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 09:00, após 9 horas do lançamento.	55
Figura 32	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 12:00, após 12 horas do lançamento.	56
Figura 33	- Dispersão de partículas no marco de tempo de 4 de Fevereiro de 2012 às 00:00, após 24 horas do lançamento.	57
Figura 34	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 00:30, após 30 minutos do lançamento.	59

Figura 35	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 01:00, após 1 hora de lançamento.	60
Figura 36	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 06:00, após 6 horas do lançamento.	61
Figura 37	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 12:00, após 12 horas do lançamento.	62
Figura 38	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 4 de Junho de 2011 às 00:00, após 24 horas do lançamento.	63
Figura 39	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 5 de Junho de 2011 às 00:00, após 48 horas do lançamento.	64
Figura 40	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 00:30, após 30 minutos do lançamento.	65
Figura 41	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 01:00, após 1 hora do lançamento.	66
Figura 42	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 06:00, após 6 horas do lançamento.	67
Figura 43	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 12:00, após 12 horas de lançamento.	68
Figura 44	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 4 de Outubro de 2011 às 00:00, após 24 horas do lançamento.	69
Figura 45	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 00:30, após 30 minutos de lançamento.	70
Figura 46	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 01:00, após 1 hora de lançamento.	71
Figura 47	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 06:00, após 6 horas de lançamento.	72
Figura 48	- Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 12:00, após 12 horas de lançamento.	73
Figura 49	- Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó chegam próximo ao PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 16 horas.	74
Figura 50	- Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó chegam no PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 17 horas	75
Figura 51	- Momento das partículas do rio Cocó no dia 18/07/2011 às 17:30	76

- Figura 52 - Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó saem do PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 18 horas 77
- Figura 53 - Momento após a saída das partículas provenientes do rio Cocó do PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 19 horas. 78
- Figura 54 - Momento antes das partículas provenientes do rio Cocó entrarem no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 3 horas. 79
- Figura 55 - Momento antes das partículas provenientes do rio Cocó entrarem no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 5 horas. 80
- Figura 56 - Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó entram no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 7 horas. 81
- Figura 57 - Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó se aproximam mais da parte central no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 12 horas 82
- Figura 58 - Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó se aproximam mais da parte central do PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 17 horas 83
- Figura 59 - Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó se afastam da parte central do PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 22 horas 84
- Figura 60 - Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó saem do PEMPRM em 09/08/2011 na simulação, às 2 horas. 85
- Figura 61 - Momento após as partículas provenientes do rio Cocó saírem do PEMPRM em 09/08/2011 na simulação, às 4 horas. 86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
PEMPRM	Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio
UC	Unidade de Conservação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivos gerais	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	Área de estudo	17
3.2	Delft3D	18
3.3	Grade	18
3.4	Batimetria	21
3.5	Dados de vento	22
3.6	Implementação do modelo hidrodinâmico no módulo Delft3D-FLOW...	23
3.6.1	<i>Condições de fronteira</i>	23
3.6.2	<i>Condições iniciais</i>	24
3.6.3	<i>Parâmetros físicos</i>	24
3.6.4	<i>Monitoramento</i>	25
3.6.5	<i>Validação da simulação hidrodinâmica</i>	25
3.7	Implementação do modelo de rastreamento de partículas D-Waq PART..	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Validação do modelo: corrente	27
4.2	Validação do modelo: nível	27
4.3	Campo de correntes dentro da área do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio	28
4.4	Dispersão de partículas	32
4.4.1	<i>Junho de 2011</i>	33
4.4.2	<i>Julho de 2011</i>	42
4.4.3	<i>Agosto de 2011</i>	42
4.4.4	<i>Setembro de 2011</i>	42
4.4.5	<i>Outubro de 2011</i>	43
4.4.6	<i>Novembro de 2011</i>	50

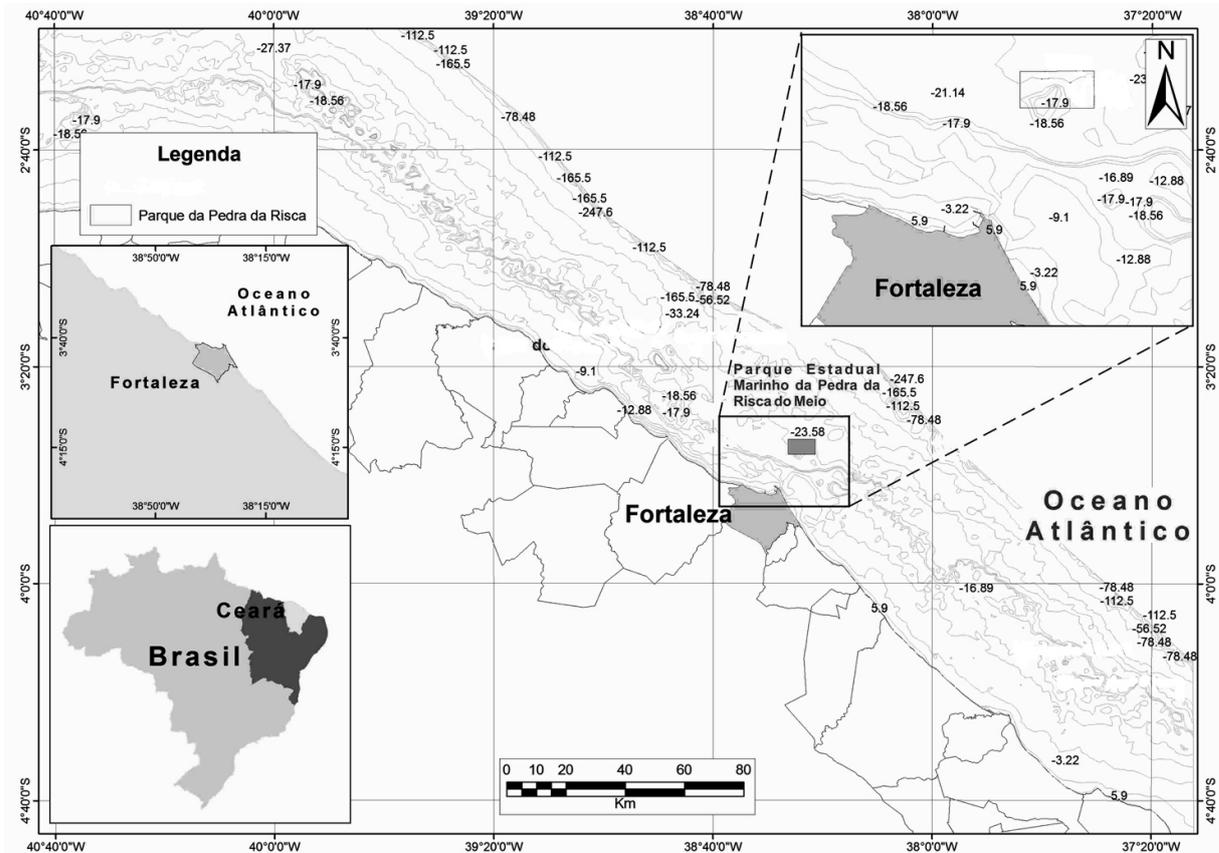
4.4.7	<i>Dezembro de 2011</i>	50
4.4.8	<i>Janeiro de 2012</i>	50
4.4.9	<i>Fevereiro de 2012</i>	50
4.4.10	<i>Março de 2012</i>	58
4.4.11	<i>Abril de 2012</i>	58
4.4.12	<i>Mai de 2012</i>	58
4.5	Dispersão de óleo de combustível	58
4.5.1	<i>Junho de 2011</i>	58
4.5.2	<i>Julho de 2011</i>	64
4.5.3	<i>Agosto de 2011</i>	64
4.5.4	<i>Setembro de 2011</i>	64
4.5.5	<i>Outubro de 2011</i>	65
4.5.6	<i>Novembro de 2011</i>	69
4.5.7	<i>Dezembro de 2011</i>	69
4.5.8	<i>Janeiro de 2012</i>	69
4.5.9	<i>Fevereiro de 2012</i>	70
4.5.10	<i>Março de 2012</i>	73
4.5.11	<i>Abril de 2012</i>	73
4.5.12	<i>Mai de 2012</i>	73
4.6	Conectividade com o rio Cocó	74
5	CONCLUSÃO	87
6	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a promulgação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação, o SNUC, através da Lei número 9985 de 2000, possibilitou uma forma mais definida e organizada de se criar e categorizar Unidades de Conservação no país, visto que até então não havia diretrizes tão claras para a criação delas. O SNUC destaca a importância da caracterização das unidades de conservação por seus objetivos e limites geográficos definidos, podendo ser criadas e gerenciadas pelas diferentes esferas de governo: federal, estadual ou municipal. Dentro das diversas categorias de unidades de conservação que o SNUC define, existem duas grandes categorias, relacionadas às possibilidades de utilização de seus recursos. São elas a de “Uso Sustentável”, que possibilita o desenvolvimento de atividades econômicas em conjunto com medidas para preservação e a “Proteção Integral”, mais restritiva. (SOARES et al., 2011)

O Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio encontra-se numa área de 33,20 km², a aproximadamente 20 quilômetros de distância da costa de Fortaleza, a partir da região do Porto do Mucuripe (Figura 1). Uma das poucas Unidades de Conservação submersas do Atlântico Sudoeste Tropical e única marinha do Estado do Ceará, o Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio foi criado em 1997, anterior à Lei do SNUC, e está em meio ao processo de realização de um plano de manejo, a ser realizado em conjunto pela Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura (FCPC) e o LABOMAR-UFC, para que possa ser feito um diagnóstico ambiental a fim de se estabelecer um planejamento e gestão da área de forma efetiva.

Figura 1: Localização do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, Ceará, no Nordeste do Brasil.



Fonte: Soares et. al. (2011).

Dentro dos aspectos a serem melhor entendidos, estão dados de direção e intensidade das correntes no parque. Para isso, será utilizado um modelo hidrodinâmico a ser validado com dados de fundeio de ADCP na região costeira no ano de 2011, a fim de gerar um campo de corrente para a região que poderá servir como subsídio para outros estudos que se beneficiarão dessas informações. Além disso, simulações de dispersão de partículas e óleo serão implantadas. Além de fornecer informações sobre as correntes da região do parque, poderá ser conhecido como e se há algum tipo de conectividade entre a região costeira, no porto, e o Parque. (INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR, 2019).

O Delft3D é um programa desenvolvido pela Deltares, um instituto dedicado ao desenvolvimento de soluções para pesquisa em áreas costeiras e estuarinas. É um *software* de computador multidisciplinar capaz de realizar simulações de fluxo, transporte de sedimentos, ondas, qualidade de água, evoluções morfológicas e ecologia. Os diversos módulos do *software* são capazes interagir entre si. (DELTAIRES, 2019).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Este estudo tem como objetivo obter informações a respeito da dispersão de partículas e óleo na região do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio através do uso de modelagem numérica com o programa Delft3D.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar como se comportam partículas de características conservativas em uma simulação de sua dispersão a partir do Porto do Mucuripe e a partir de pontos dentro das delimitações do Parque;
- Verificar como se comportam manchas de óleo liberadas a partir do Porto do Mucuripe e a partir de pontos dentro das delimitações do PEMPRM;
- Entender as condições hidrodinâmicas, ou o campo de correntes da região do PEMPRM para subsidiar futuros estudos que necessitem desse tipo de informação;
- Verificar se há conectividade do rio Cocó com o PEMPRM.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio está localizado em uma área de um polígono cujo vértices tem como coordenadas: -3,644237° de Latitude e -38,477910° de Longitude; -3.518357° de Latitude e -38.477981° de Longitude; -3,645194° de Latitude e -38,314606° de Longitude; -3.518251° de Latitude e -38,314699° de Longitude (SOARES et al., 2011).

A profundidade na Área do PEMPRM varia de 17 a 30 metros e a visibilidade varia de acordo com o a intensidade dos ventos e das correntes, ficando geralmente entre 15 e 30 metros (SOARES et al., 2011) .

O principal sistema meteorológico que produz o padrão dos ventos da região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Assim, predominam ventos de sudeste (SE) entre setembro e novembro e de nordeste (NE) entre dezembro e março (SILVA, 2006). A intensidade dos ventos é maior entre agosto e novembro, com uma velocidade média de 6,8 m/s, com maiores valores em setembro, e menor entre fevereiro e abril, com médias de 3,7 m/s (MORAIS, 1980).

As marés características da Plataforma Continental do Ceará (PCCE) são semidiurnas com período médio de 12,4 h e amplitude máxima e mínima, em média, de 3,1 m e 0,5 m, na região do Porto do Mucuripe (Schettini et al. 2011).

Apesar do conhecimento da circulação ser de fundamental importância para se compreender a dispersão, transporte e destino final de possíveis contaminantes e organismos planctônicos que chegam (ou partem) do PEMPRM, não existem dados de direção e intensidade de correntes coletados na região do parque.

Em relação a PCCE, alguns artigos foram publicados utilizando dados observacionais, destacando-se aqui neste breve levantamento alguns (Singnorini & Miranda, 1983; Vianna e Menezes, 2006; Dias et al., 2018). Singnorini e Miranda (1983) utilizaram dados coletados na região externa da plataforma continental (profundidade local de 41 m) no extremo oeste do PCCE, enquanto Vianna e Menezes, 2006 utilizaram dados coletados no extremo leste do estado a uma profundidade local de 30 m. Dias et al. (2018), utilizou dados coletados a uma profundidade local de 20 m próximos a desembocadura do Rio Jaguaribe.

Em comum estes trabalhos mostraram que a circulação na direção normal à costa é dominada pela forçante de maré semidiurna e modulada pela brisa marinha apresentando um comportamento bidirecional. Já a circulação na direção paralela à costa é geralmente

unidirecional com sentido noroeste e forçada principalmente pelo vento. Os autores observaram correntes com intensidades médias entre 20 e 30 cm/s, com máximos de até 60 cm/s.

Os trabalhos observacionais acima foram baseados em fundeios curtos que não permitem uma avaliação da variabilidade da circulação em períodos maiores do que 10 dias. Frota (2015) analisou quase um ano de dados ininterruptos de velocidade e direção de correntes coletados plataforma interna adjacente ao emissário de Fortaleza (profundidade local 15 m) e sugeriu que além das marés e do vento local, perturbações da Corrente Norte do Brasil (que também flui para noroeste porém fora da plataforma continental) são importantes para a variabilidade da circulação local.

3.2 Delft3D

O modelo Delft3D permite a simulação hidrodinâmica de determinada região, sendo particularmente interessante sua utilização para estudos costeiros e estuarinos. É relativamente simples de ser implementado, podendo-se utilizar forçantes dos mais variados tipos, havendo um bom nível de customização de configuração. O programa é dividido em diversos módulos, sendo destinados a trabalhar com dados a serem utilizados na implementação de um modelo, a simulações propriamente ditas ou ao uso dos resultados da simulação no pós-processamento. Além disso, há uma ferramenta de geração de modelo chamada DelftDashboard, que permite uma rápida implementação de modelo utilizando uma interface gráfica de fácil uso.

Neste trabalho, se utilizou os módulos Delft3D-FLOW, para fazer os cálculos das condições hidrodinâmicas e D-Waq PART, para calcular a dispersão de partículas e óleo. Além disso, foram utilizadas as ferramentas RGFGRID, para fazer alterações e adaptações na grade gerada pelo DelftDashboard; QUICKIN, para inserir os dados de batimetria a serem utilizados na simulação; QUICKPLOT para averiguar e extrair os dados de saída do modelo, ou seja, os resultados das simulações do FLOW e do PART.

3.3 Grade

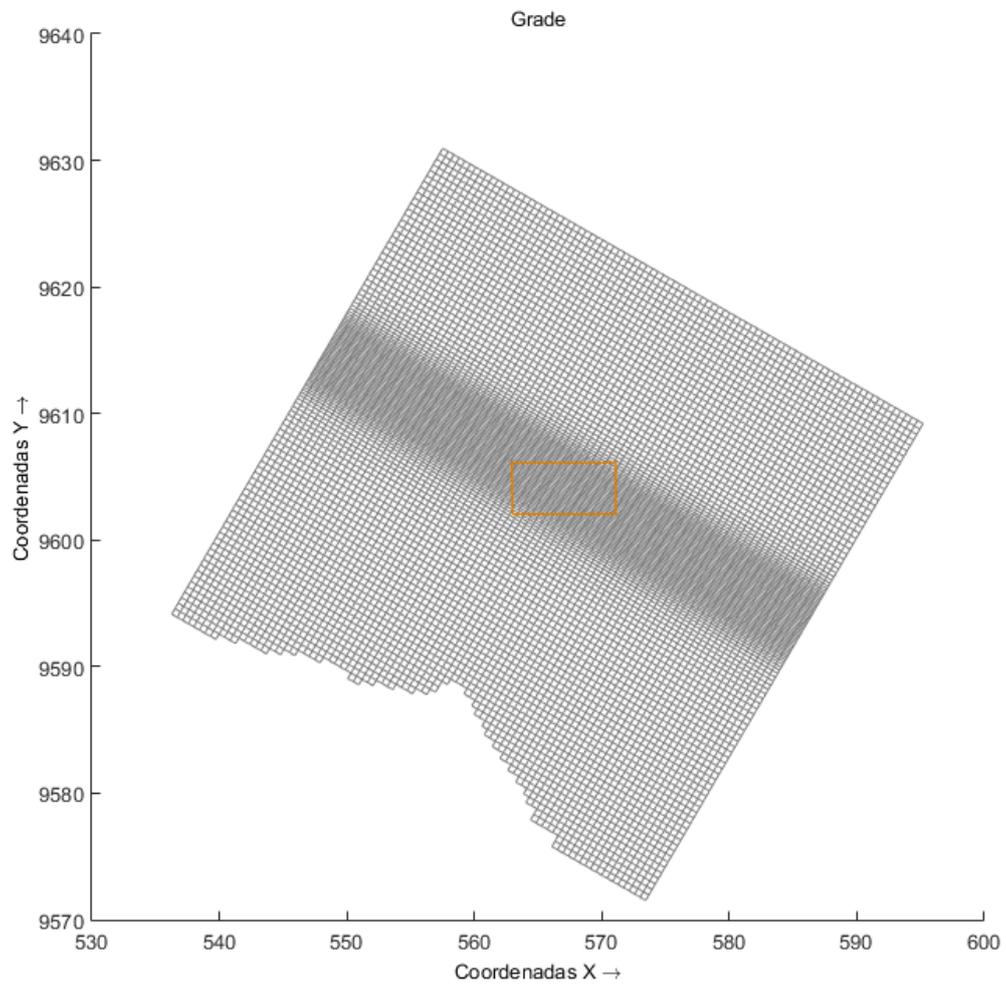
Inicialmente, uma grade foi criada na ferramenta DelftDashboard, juntamente a geração de dados de batimetria e forçantes físicas de bases de dado acessadas através da própria interface gráfica, a serem substituídos pelos dados que foram utilizados pela simulação. O principal motivo para se trabalhar inicialmente com o DelftDashboard é a

facilidade para a criação de uma grade e arquivo de batimetria e a possibilidade de se alterar posteriormente com as ferramentas RGFGRID e QUICKIN.

Assim, a grade criada no DelfDashboard possuía uma resolução de 500 metros, sendo gerada no sistema de coordenadas cartesianas WGS84 UTM Zona 24S. Sua adaptação para o propósito deste trabalho consistiu em fazer refinamentos na região do Parque, chegando a uma resolução de 288.065 metros na área de interesse. Na região do PEMPRM, devido a forma como o *software* realiza o refinamento, as células da grade se apresentam mais alongadas.

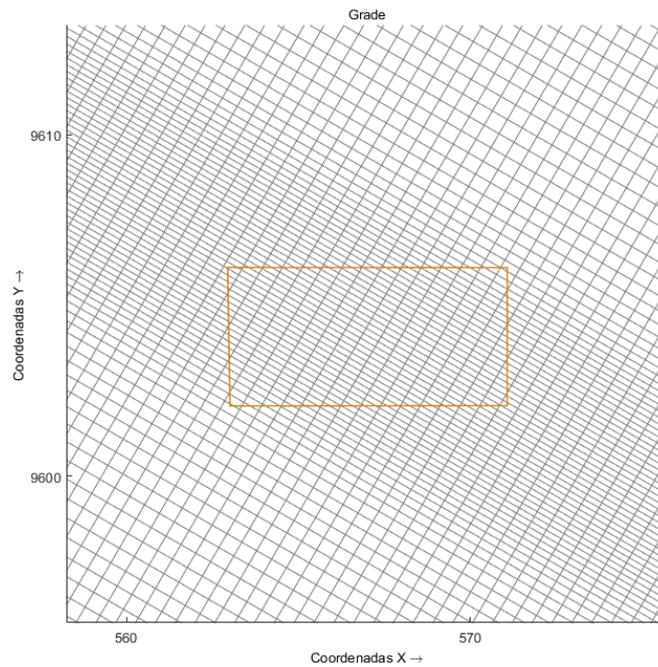
A grade final possui um total de 9859 células, com dimensões de 120 por 88 células. O modelo foi configurado em sua versão barotrópica 2D com apenas um nível vertical (Figura 2 e Figura 3).

Figura 2 – Grade usada nas simulações com a área do PEMPRM destacada em laranja.



Fonte: o autor

Figura 3 – Detalhe da grade mostrando a disposição das células na área do PEMPRM

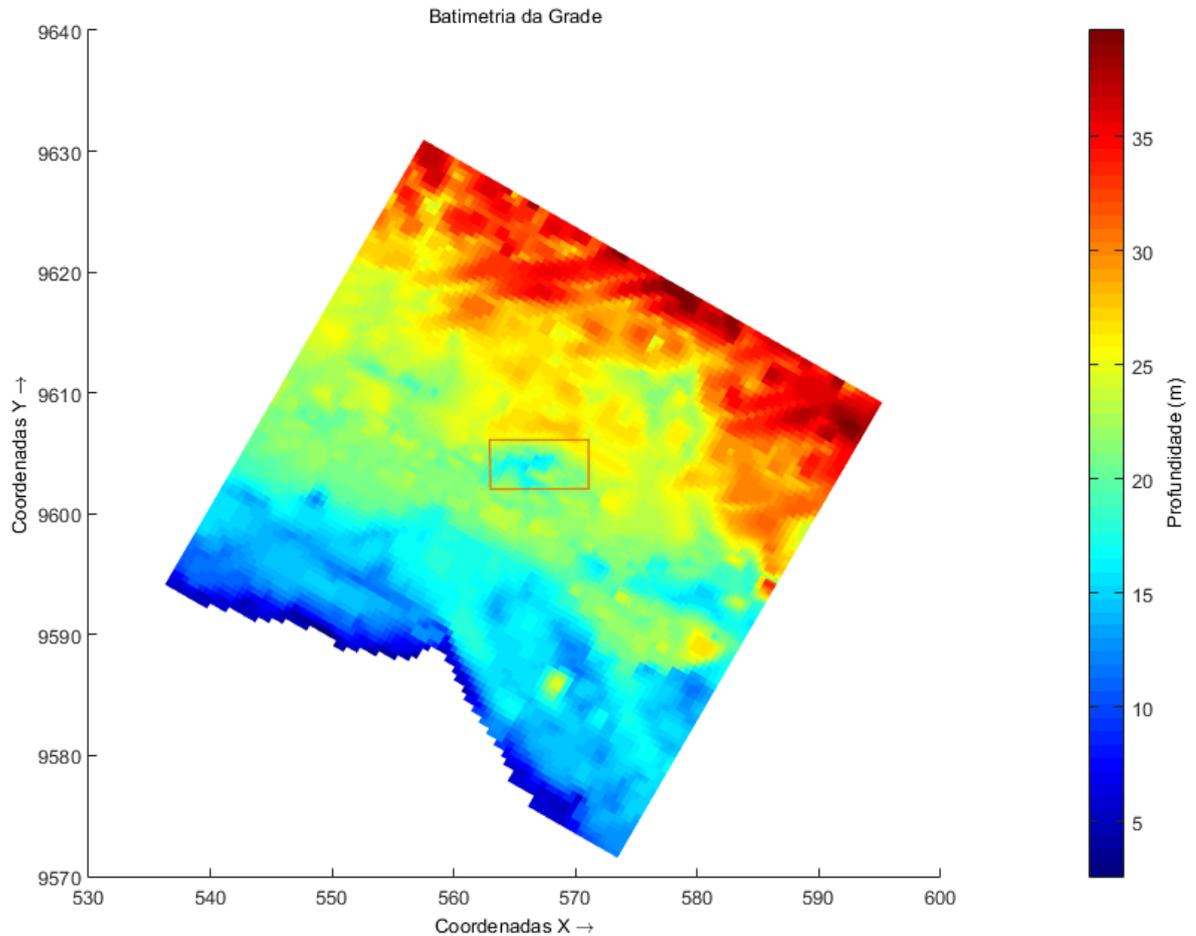


Fonte: o autor

3.4 Batimetria

Os dados de batimetria utilizados foram os mesmos utilizados por Vianna Filho (2019) em sua dissertação e são provenientes de diversos projetos locais. Os arquivos com os dados de profundidade em .XYZ foram abertos como *samples* na ferramenta QUICKIN do Delft3D, realizando-se uma interpolação dos dados para gerar um arquivo .DEP a ser lido e incorporado ao modelo hidrodinâmico (VIANNA FILHO, 2019) (Figura 4).

Figura 4 – Batimetria da grade do modelo.



Fonte: o autor.

3.5 Dados de Vento

Os dados de ventos foram inseridos no modelo na forma de uma série temporal do período modelado, sendo os mesmos utilizados na dissertação de Viana Filho (2019). No trabalho de Viana Filho (2019), se realizou ajustes nos dados de intensidade e direção de ventos obtidos na estação 82397 do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) disponibilizados no site do INMET, o Instituto Nacional de Meteorologia (retirado de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>). Os ajustes foram realizados porque os dados foram obtidos em um local que está a 11 quilômetros da costa, continente adentro, alterando significativamente os valores que seriam obtidos na costa. Os dados apresentam frequência de 12 horas. Após ajuste dos dados seguindo um fator de correção, foi aplicado um acréscimo de 60% aos valores encontrados para calibrar com os valores obtidos

por Frota (2015) para a região costeira.

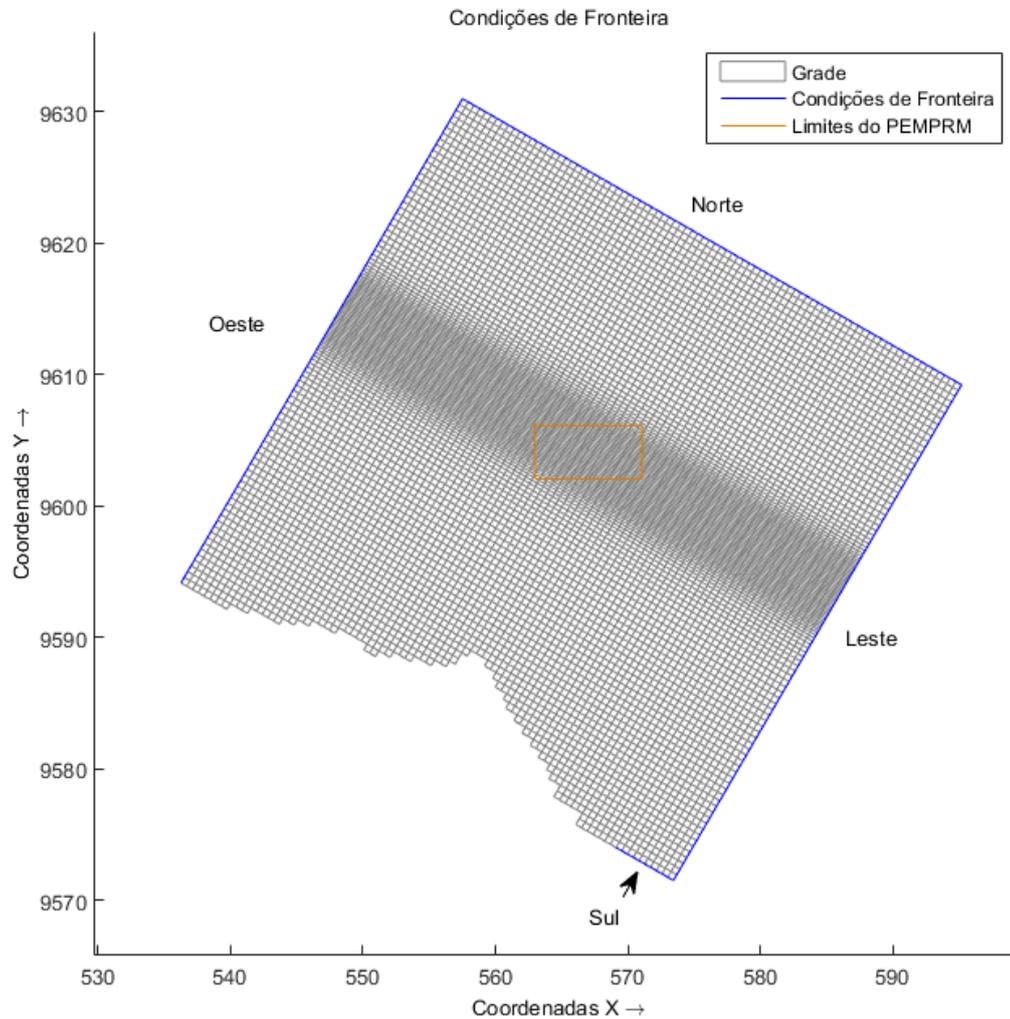
3.6 Implementação do modelo hidrodinâmico no módulo Delft3D-FLOW

A simulação foi realizada para o período entre 01/06/2011 e 01/06/2012 devido ao fato de se possuir dados de um fundeio de ADCP (perfilador acústico de correntes) para a região de estudos e analisados por Frota (2015). Os dados de intensidade de corrente foram utilizados para a validação do modelo, juntamente a análise e comparação dos harmônicos e fase dos componentes de maré do Porto do Mucuripe.

3.6.1 Condições de fronteira

Na implementação do modelo, é necessário definir que tipo e quais dados das condições de fronteira serão utilizados nas simulações, isto é, como a área da grade do modelo se comunica fisicamente com a área fora da grade do modelo. Assim, no caso do modelo deste trabalho, as fronteiras da grade foram divididas em Norte, Oeste, Leste e Sul, como a Figura 5 mostra. Inicialmente (no processo de criação com o DelftDashboard), a grade continha apenas as fronteiras Norte, Oeste e Leste porém, após estendê-la para o Leste com o RGFGRID, para cobrir uma área maior de costa e situar a área do PEMPRM numa posição mais central, parte do Sul da grade passou a ser uma condição de fronteira aberta. Assim, inseriu-se nas condições de fronteira os harmônicos de maré obtidos da estação do porto do Mucuripe pela FEMAR (2000).

Figura 5 – Condições de Fronteira da Grade do Modelo, destacadas em azul. Em laranja, os limites da área do PEMPRM.



Fonte: O autor

3.6.2 Condições iniciais

Definiu-se que as condições iniciais seriam o nível médio da água de 1,55 metros, de acordo com o nível médio observado pela FEMAR (2000). As velocidades iniciais são nulas.

3.6.3 Parâmetros físicos

A densidade da água foi definida como 1024 kg/m^3 . A densidade do ar foi definida como $1,15 \text{ kg/m}^3$ e a gravidade como 9.81 m/s^2 . A fórmula de rugosidade de fundo adotada foi

a de Manning. O vento foi forçado utilizando a série temporal mencionada na seção 3.5. de forma homogênea em todo o domínio.

3.6.4 Monitoramento

Pontos de observação foram adicionados para mais facilmente se observar e exportar os dados para outros *softwares*. O ponto *ADCP* foi escolhido de acordo com as coordenadas do fundeio realizado em 2011-2012. Também foi escolhido um ponto numa célula próximo à região do porto do Mucuripe como *Porto*. Ambos os pontos foram usados posteriormente para se exportar dados da saída do modelo para que fosse validado através da comparação de dados de corrente e harmônicos de maré observados e modelados.

3.6.5 Validação da simulação hidrodinâmica

A fim de validar a simulação realizada no módulo FLOW, duas variáveis de saída foram utilizadas e comparadas com valores observados anteriormente: a intensidade (ou magnitude) da corrente no ponto do fundeio do ADCP e a variação do nível do mar no ponto do porto do Mucuripe. Esta etapa do trabalho é particularmente importante para verificar quão bem a simulação, com suas respectivas características e informações de entrada, representa a realidade das condições hidrodinâmicas da região modelada.

Assim, foi feita uma comparação das séries temporais da intensidade da corrente medida pelo perfilador acústico e gerada pela simulação. Também se fez uma análise harmônica através da função *T_TIDE* (PAWLOWICZ et al., 2002), decompondo a saída da variação do nível do mar modelada nas componentes de maré M2, S2, N2, O1 e K1. Após a decomposição, se comparou os valores de amplitude e fase com os valores observados em FEMAR (2000), verificando o parâmetro Skill (Willmott, 1981), que permite verificar a eficiência de um modelo em representar a realidade, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor.

3.7 Implementação do modelo de rastreamento de partículas D-Waq PART

Para a simulação da dispersão de partículas e de óleo, utilizou-se o módulo PART. Tanto o modelo de óleo quanto o de traçador foram utilizados, com o número de partículas inicial para cada liberação igual a 100.000. Seis pontos foram definidos para liberar as

partículas: 1 próximo ao porto do Mucuripe, para verificar a conexão e possível chegada de poluentes como detritos ou vazamento de óleo do porto ao PEMPRM; 5 pontos dentro da área do PEMPRM, um no centro e quatro próximos aos 4 vértices do polígono imaginário representando os limites do PEMPRM, para verificar em quanto tempo partículas permanecem dentro da área ao serem liberadas, podendo ser particularmente útil para avaliação de descarte de detritos na área e de dissipação organismos planctônicos, como larvas.

Assim, o modelo foi configurado para liberar as partículas e o óleo todo dia 3 de cada mês, do mês de junho de 2011 até o mês de maio de 2012, totalizando 12 liberações para cada ponto e 72 no total, ao longo do ano simulado.

As concentrações de cada liberação foram definidas como 1000 kg para as partículas. Portanto, a cada liberação, 100000 partículas de 0.01 kg cada, ou 10 gramas, eram liberadas e a concentração de partículas em cada célula da grade variava de acordo com as condições de corrente, sendo as partículas traçadores passivos conservativos, sem sofrer nenhum tipo de desgaste físico ou químico ao longo do tempo.

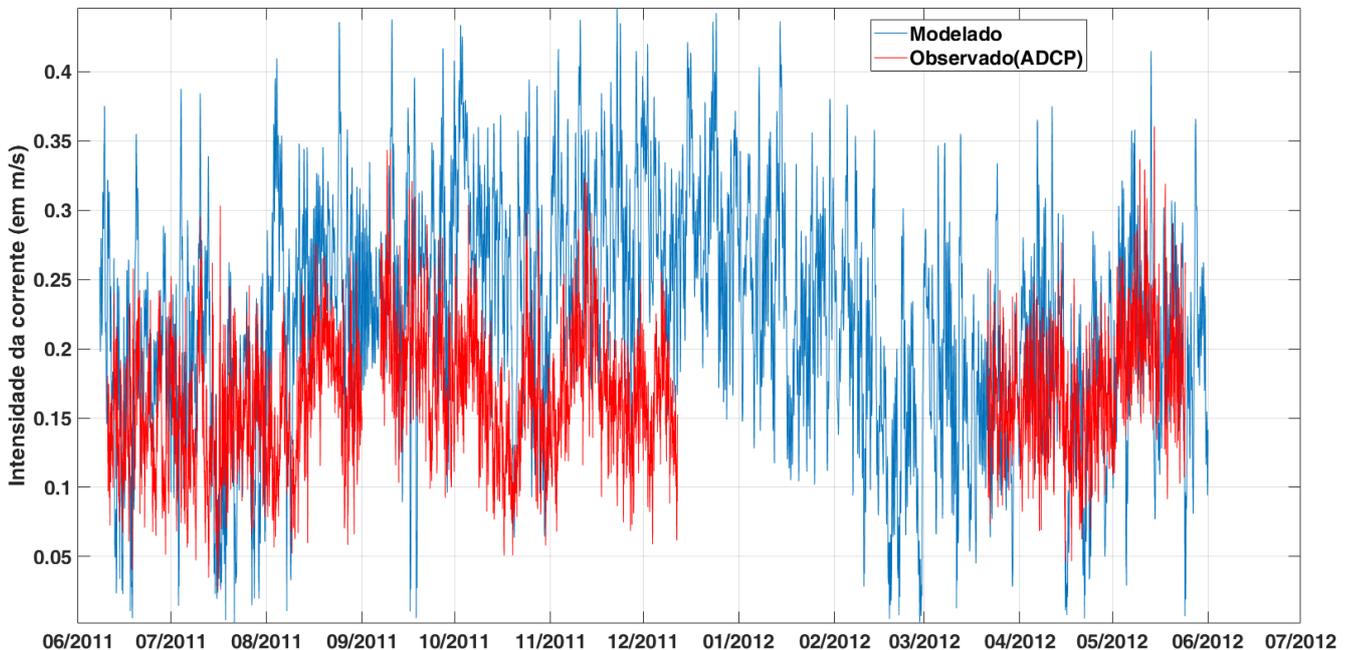
Para a simulação da dispersão do óleo, o valor inicial da quantidade de óleo de cada vazamento foi de 100.000 kg para cada ponto. Esse valor foi utilizado por sua ordem de grandeza ser próxima à de alguns vazamentos de que se têm estudos quantificando o evento, como o do navio Full City, em 2009. A densidade do óleo foi definida como 991 kg/m³. (WANKHEDE, 2019; MOSKWA, 2009)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Validação do modelo: Correntes

Ao se comparar as intensidades das correntes do fundeio do ADCP com os valores extraídos dos resultados da modelagem, pode-se verificar uma boa correlação, tanto de fase quanto de intensidade, no período do primeiro semestre de 2012 (segunda metade do gráfico). No período do segundo semestre de 2011, entre os meses de outubro e dezembro, há uma superestimação da intensidade da corrente por parte do modelo. (Figura 6)

Figura 6 – Plot da intensidade das correntes do modelo (em azul) e observados no fundeio do ADCP (em vermelho).



Fonte: o autor

4.2 Validação do modelo: Nível

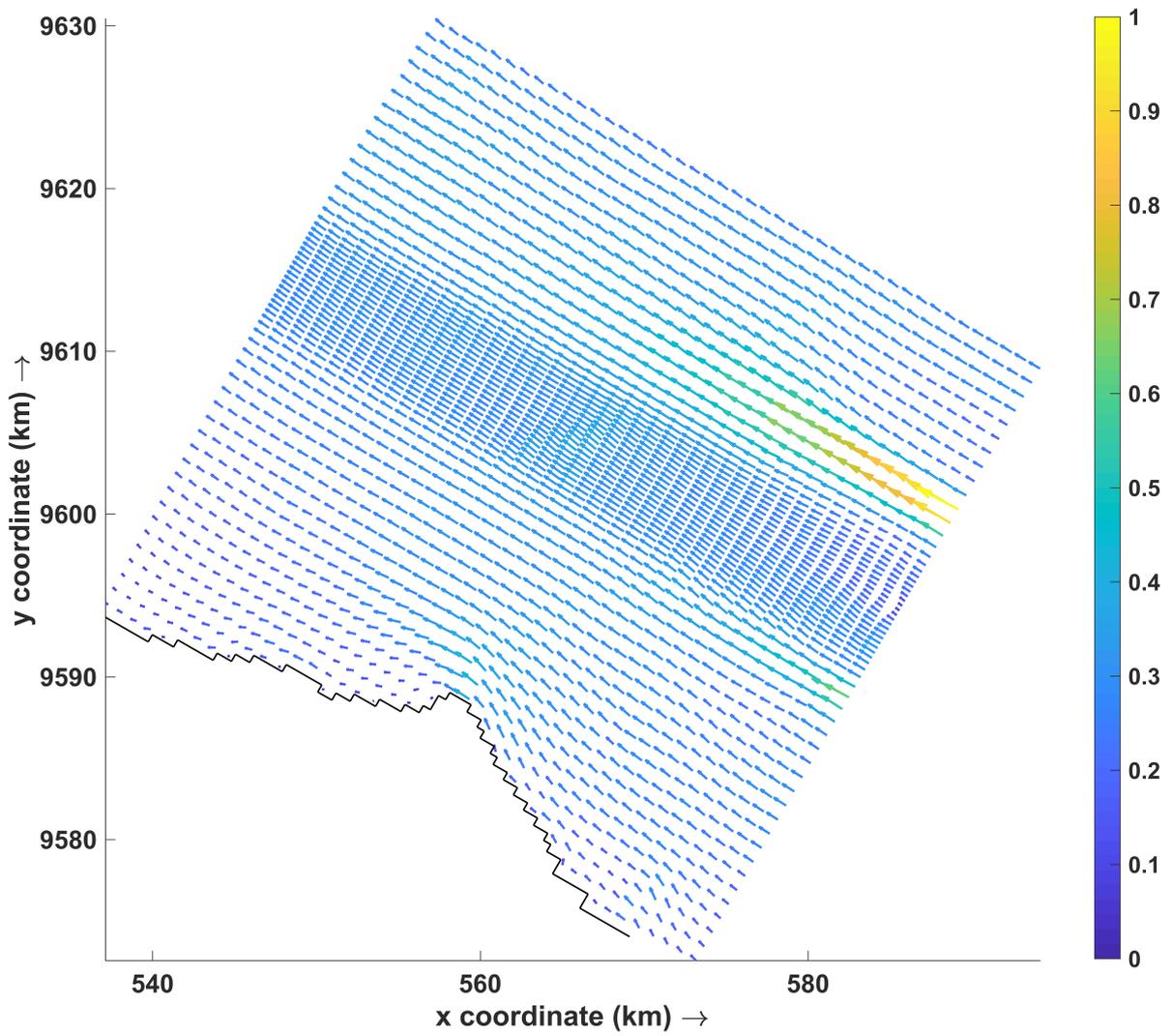
Utilizando a saída de nível do mar do modelo, extraída com a ferramenta QUICKPLOT, decompôs-se o sinal da maré nas componentes M2, S2, N2, O1 e K1, as mais significativas em termos quantitativos para a composição do sinal. No modelo, a componente M2 ficou superestimada em 2,89 cm; a componente S2 ficou 0,52 cm subestimada; a componente N2 ficou superestimada em 0,22 cm; a componente O1 ficou subestimada em

0,38 cm; a componente K1 ficou superestimada em 1,45 cm. Ao se analisar os resultados para saber a eficiência do modelo pelo parâmetro Skill, comparando os valores de amplitude e fase da saída do modelo com os valores de amplitude e fase da FEMAR (2000), se obtém um valor Skill = 0.99, classificado como “excelente”, para a amplitude, e 0.48 para a fase, classificado como “regular”.

4.3 Campo de correntes dentro da área do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio

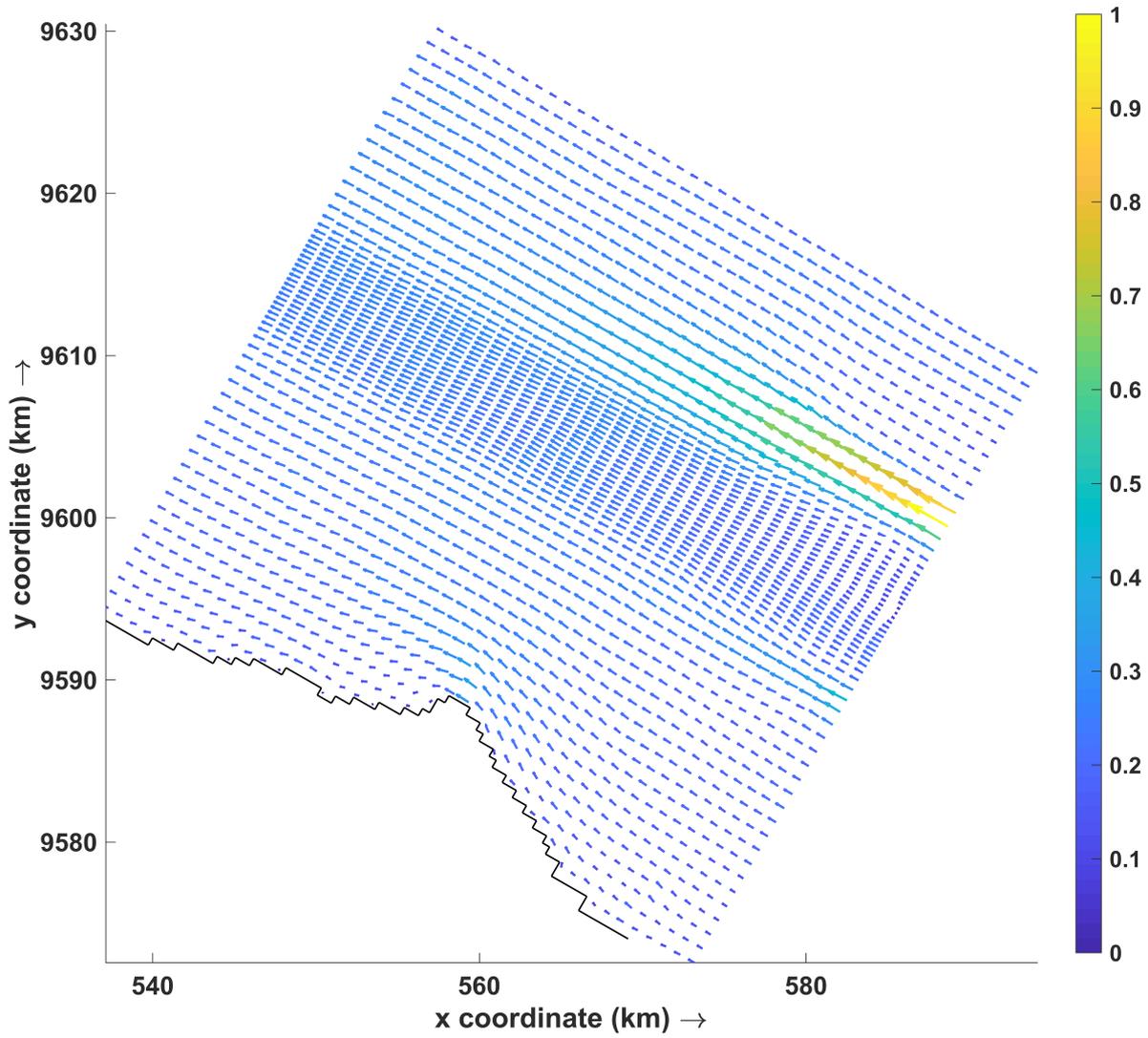
Quatro imagens foram geradas do campo de corrente dentro da área da grade, representando a média de cada trimestre do ano: Junho-Julho-Agosto; Setembro-Outubro-Novembro; Dezembro-Janeiro-Fevereiro; Março-Abril-Maio. De forma geral, nos 4 trimestres as correntes no PEMPRM tem direção oeste-noroeste, paralelamente à costa, com intensidades bastante semelhantes entre si em todos as médias dos trimestres.

Figura 7 – Média do campo de correntes do trimestre Junho-Julho-Agosto



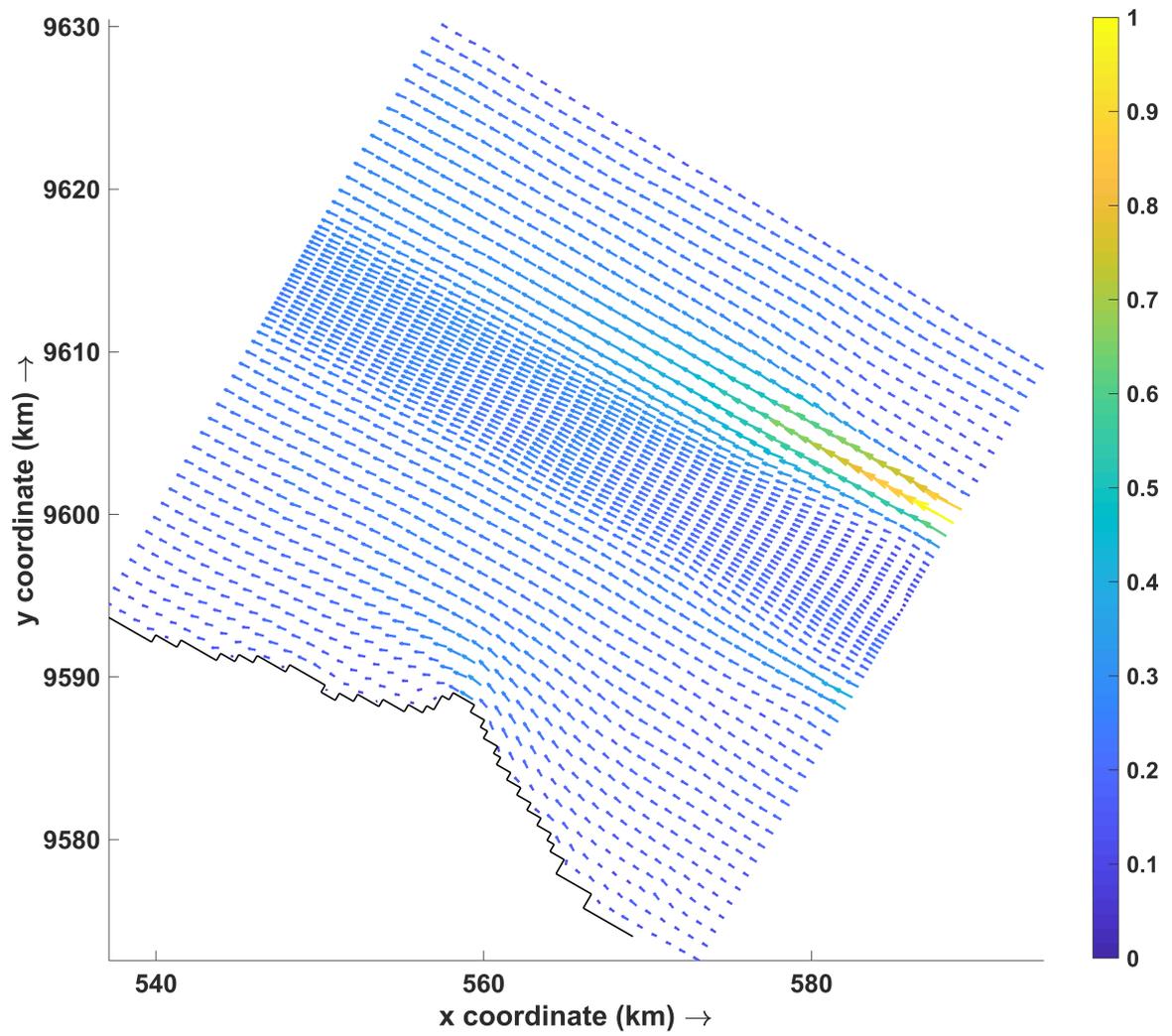
Fonte: o autor

Figura 8 – Média do campo de correntes do trimestre Setembro-Outubro-Novembro



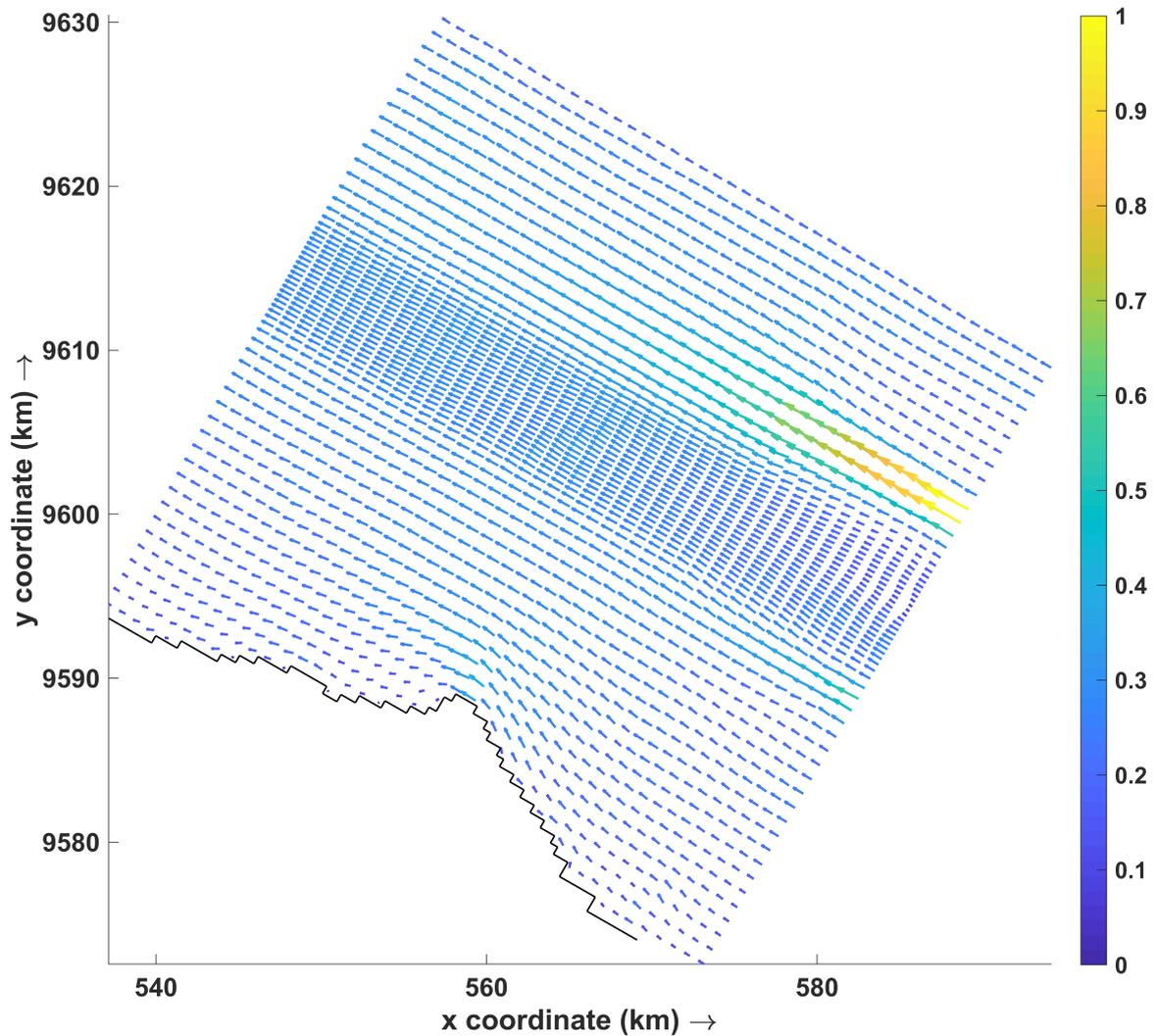
Fonte: O autor

Figura 9 – Média do campo de correntes do trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro



Fonte: o autor

Figura 10 – Média do campo de correntes do trimestre Março-Abril-Maio



Fonte: o autor

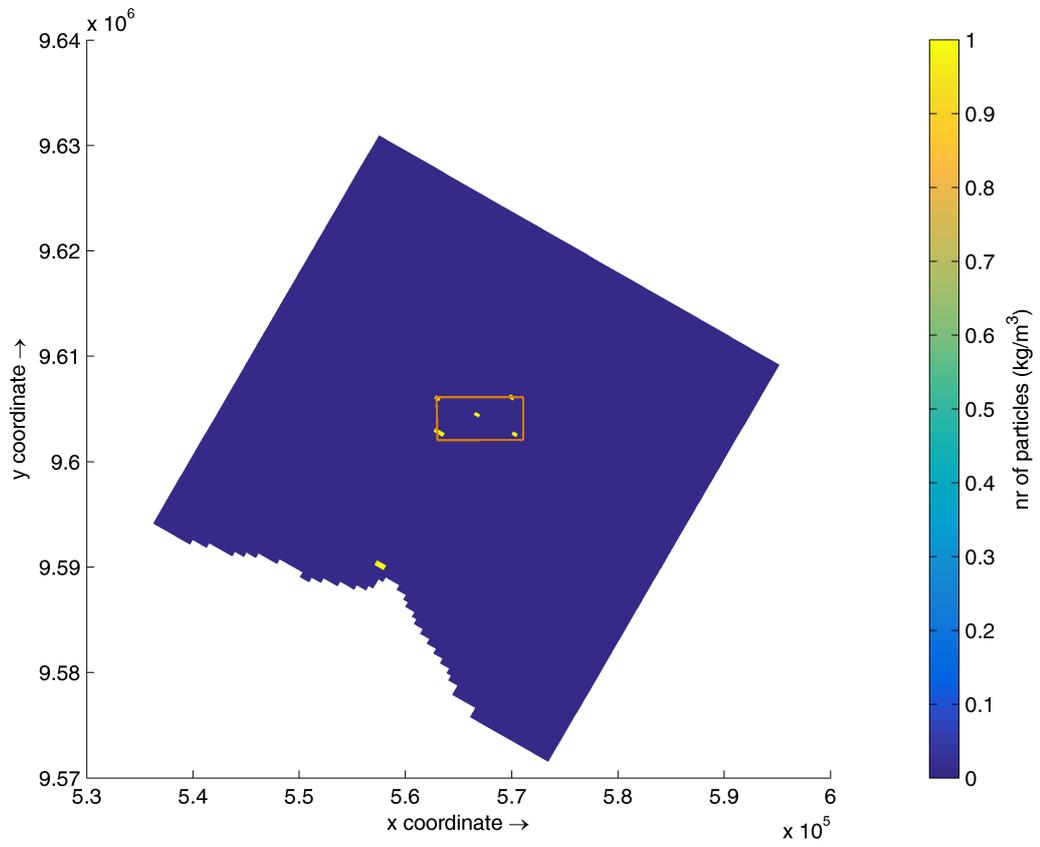
4.4 Dispersão de partículas

Os resultados da simulação de dispersão de partículas estão divididos nos meses em que se fez a simulação, sendo o tempo inicial sempre à 00 hora do dia 3 de cada mês. Para cada dispersão, apresentam-se imagens da grade após 30 minutos, 1, 3, 6, 9, 12 e 24 horas. A escala de cores foi definida para apresentar valores apenas entre 0 e 1, portanto, as células da grade que estão amarelas possuem ao menos 1 partícula. Esta forma de gerar as imagens visa verificar mais facilmente onde existe qualquer concentração dos lançamentos. Optou-se por apresentar neste trabalho apenas as figuras dos meses junho, outubro e fevereiro, já que, de forma geral, os resultados são bastante semelhantes entre todos os meses.

4.4.1 Junho de 2011

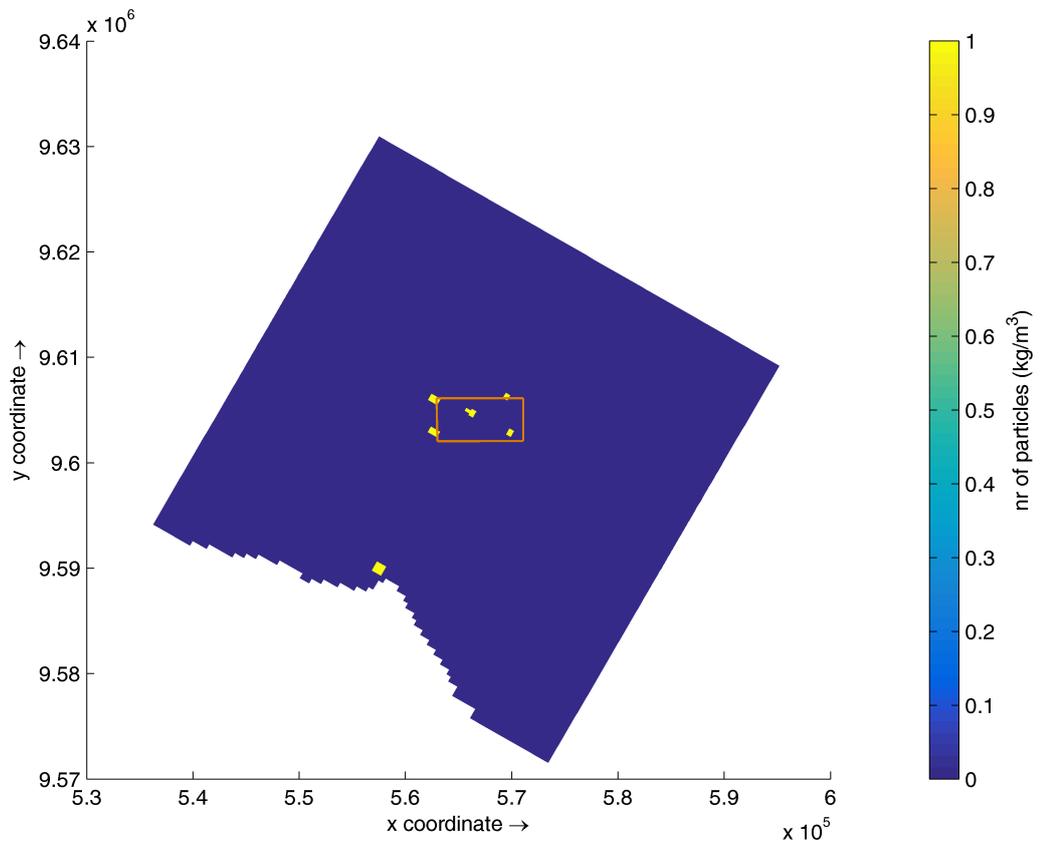
Em Junho observa-se que no marco de 12 horas após o lançamento, as partículas do PEMPRM já se encontram fora da área do PEMPRM e as partículas lançadas no porto não entram na região do Parque. Excepcionalmente na simulação deste mês, optou-se por apresentar também as imagens dos marcos de 2 e 3 dias, visto que as partículas provenientes do porto se deslocam mais ao norte chegando, mais perto da grade. Contudo, mesmo com esse distanciamento maior da costa, não se observou na simulação que as partículas do porto chegam até o Parque. É possível que este maior distanciamento da costa esteja relacionado com um período em que os ventos estavam de Sul (180°), entre 12:00 do dia 04/06/2011 e 12:00 do dia 05/06/2011, visto que mesmo alterando a simulação para liberar as partículas após 5 dias, para garantir que não possa ter sido um evento amplificado pela instabilidade dos dias iniciais da simulação (constatada como um período de 3 dias pela avaliação do nível do mar para todo o período), resultados semelhantes foram obtidos.

Figura 11 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011, às 00:30, após 30 minutos do lançamento.



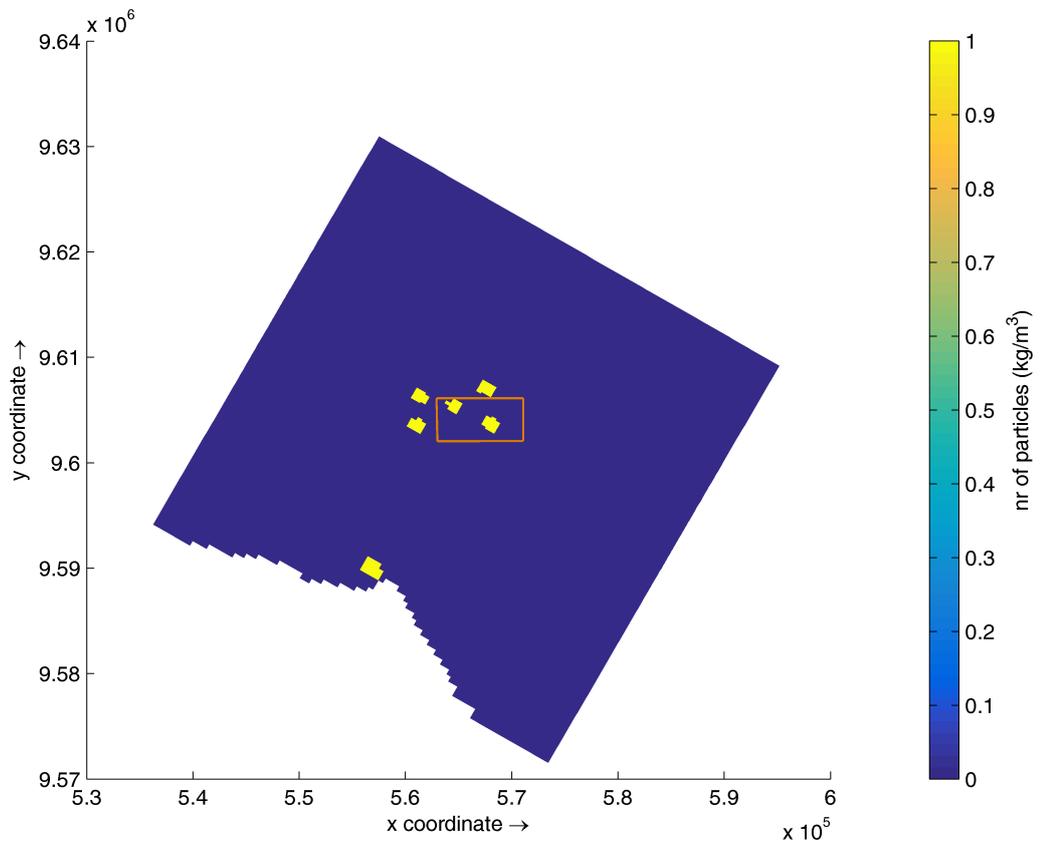
Fonte: o autor

Figura 12 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 01:00, após 1 hora do lançamento.



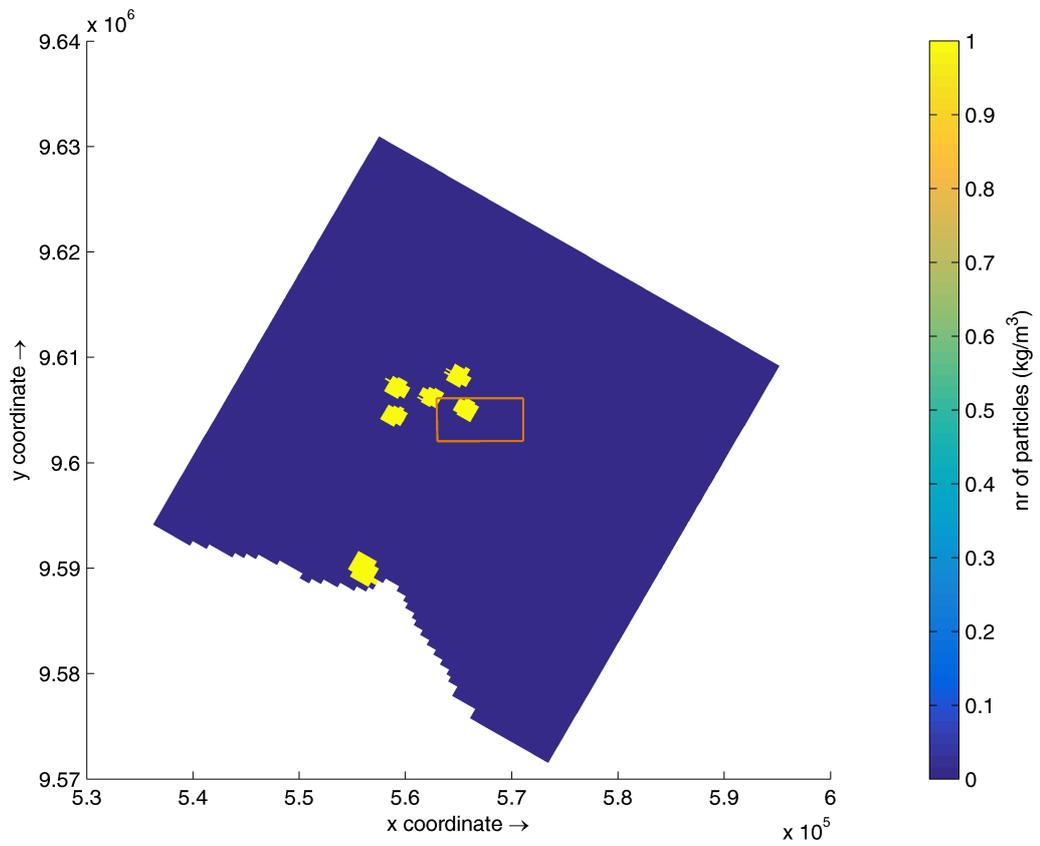
Fonte: o autor

Figura 13 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 03:00, após 3 horas do lançamento.



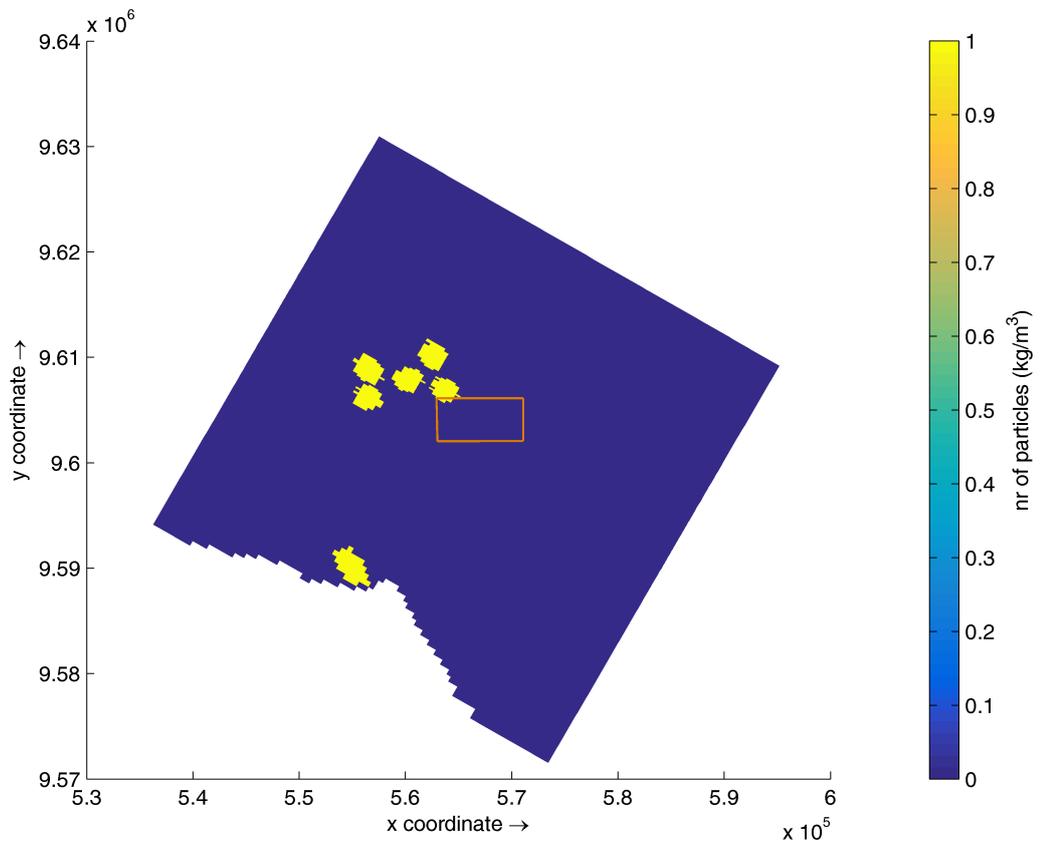
Fonte: o autor

Figura 14 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 06:00, após 6 horas do lançamento.



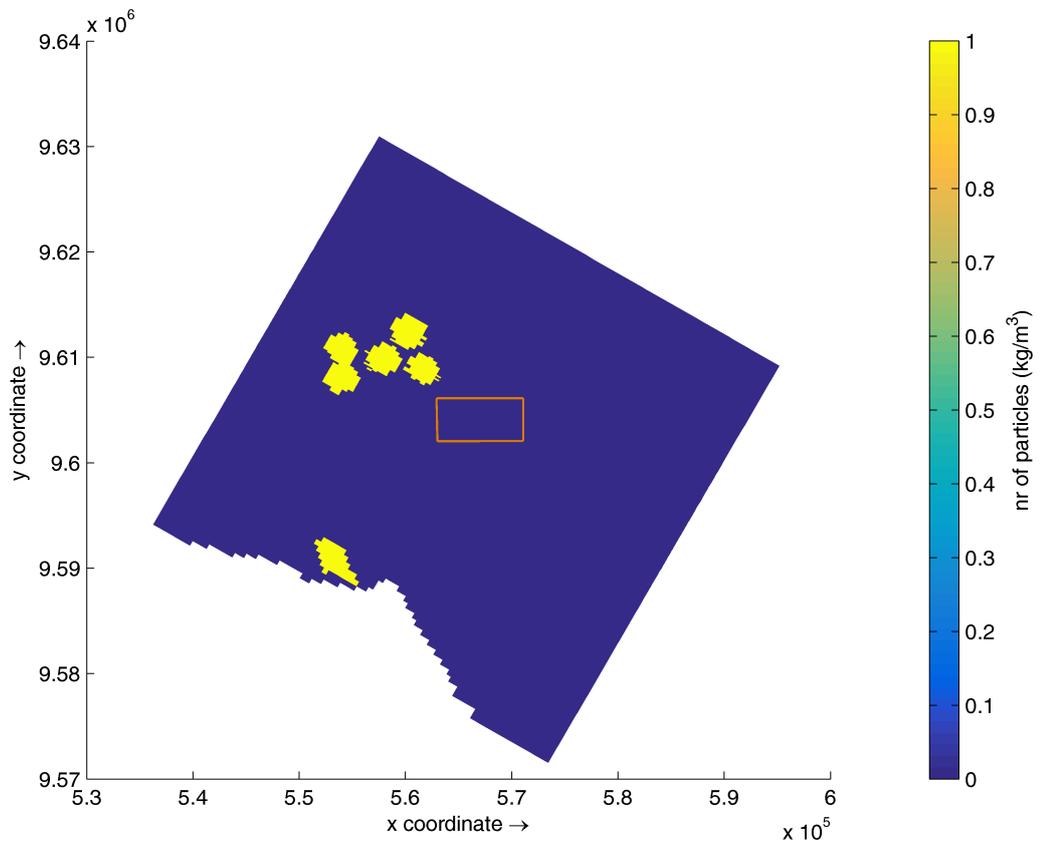
Fonte: o autor

Figura 15 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 09:00, após 9 horas do lançamento.



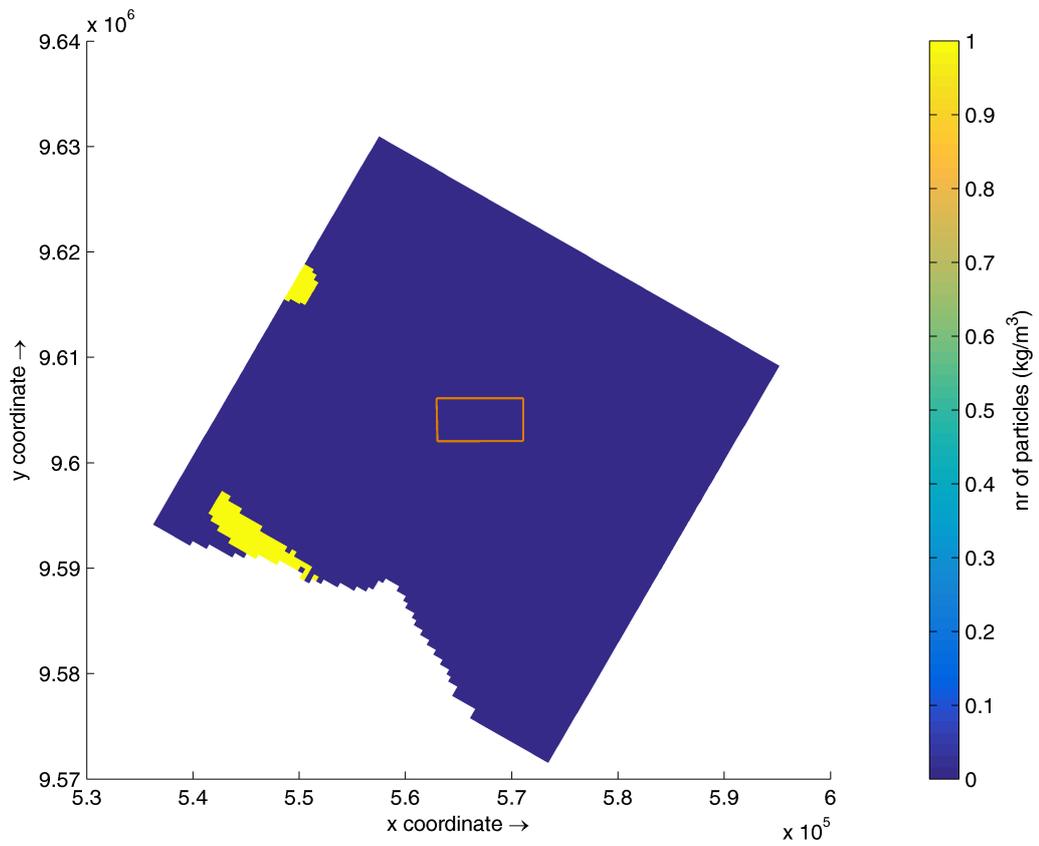
Fonte: o autor

Figura 16 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 às 12:00, após 12 horas do lançamento.



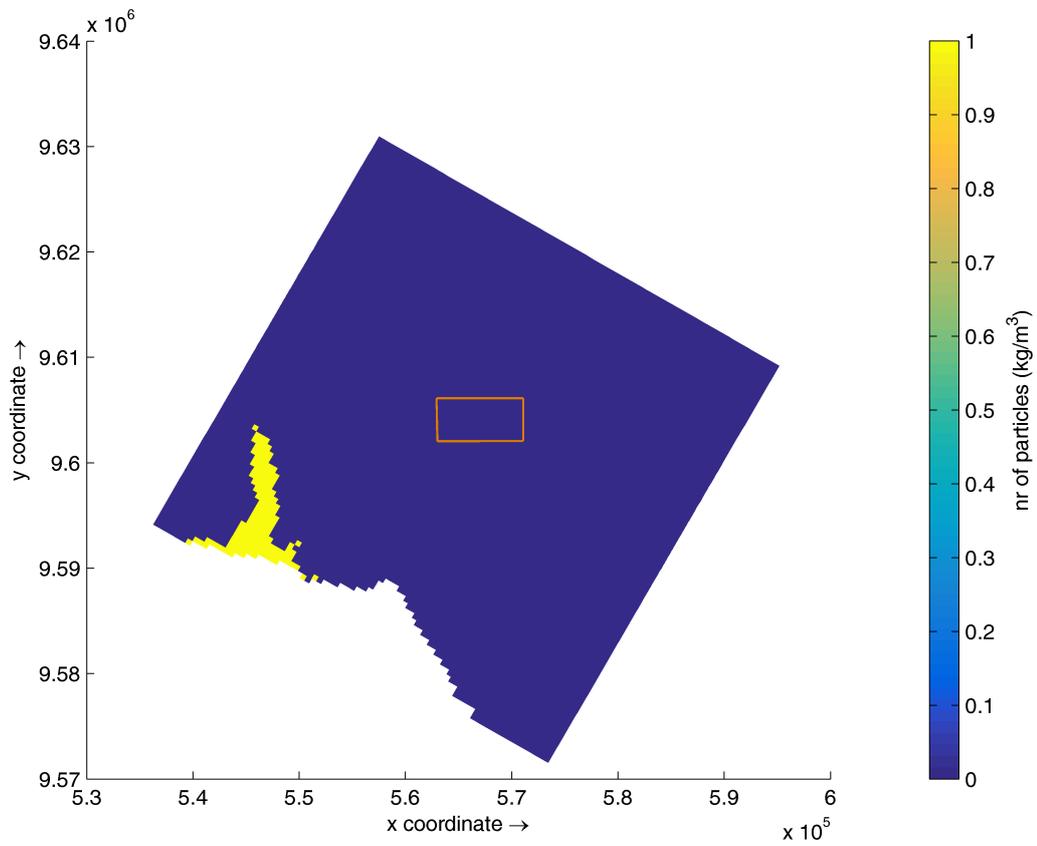
Fonte: o autor

Figura 17 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 4 de Junho de 2011 às 00:00, após 24 horas do lançamento.



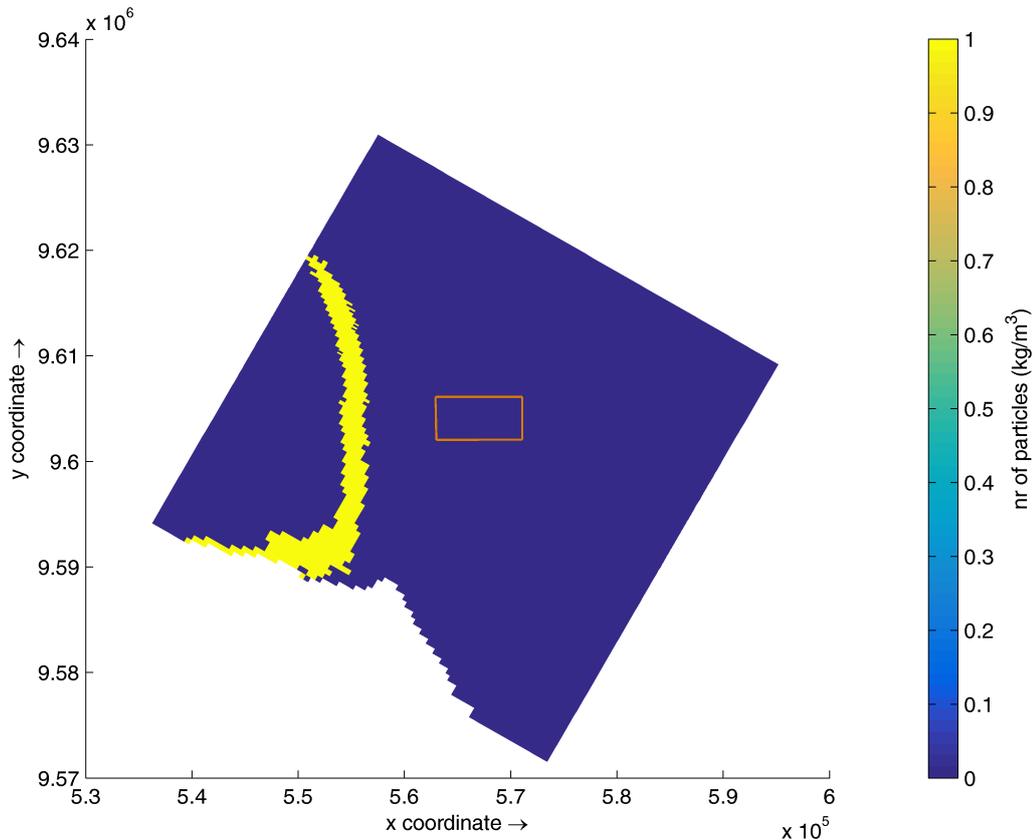
Fonte: o autor

Figura 18 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 5 de Junho de 2011 às 00:00, após 48 horas do lançamento.



Fonte: o autor

Figura 19 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 6 de Junho de 2011 às 00:00, após 72 horas.



Fonte: o autor

4.4.2 Julho de 2011

Em Julho, no marco de 12 horas após o despejo das partículas, o PEMPRM já se encontra livre das partículas lançadas na área. As partículas do porto não se aproximam tanto do PEMPRM quanto no período de Junho, permanecendo junto a costa, na região do porto e da porção norte da costa de Fortaleza.

4.4.3 Agosto de 2011

No marco de tempo de 6 horas após o lançamento, as partículas do PEMPRM já se encontram fora da área. As partículas do porto do Mucuripe permanecem junto a costa.

4.4.4 Setembro de 2011

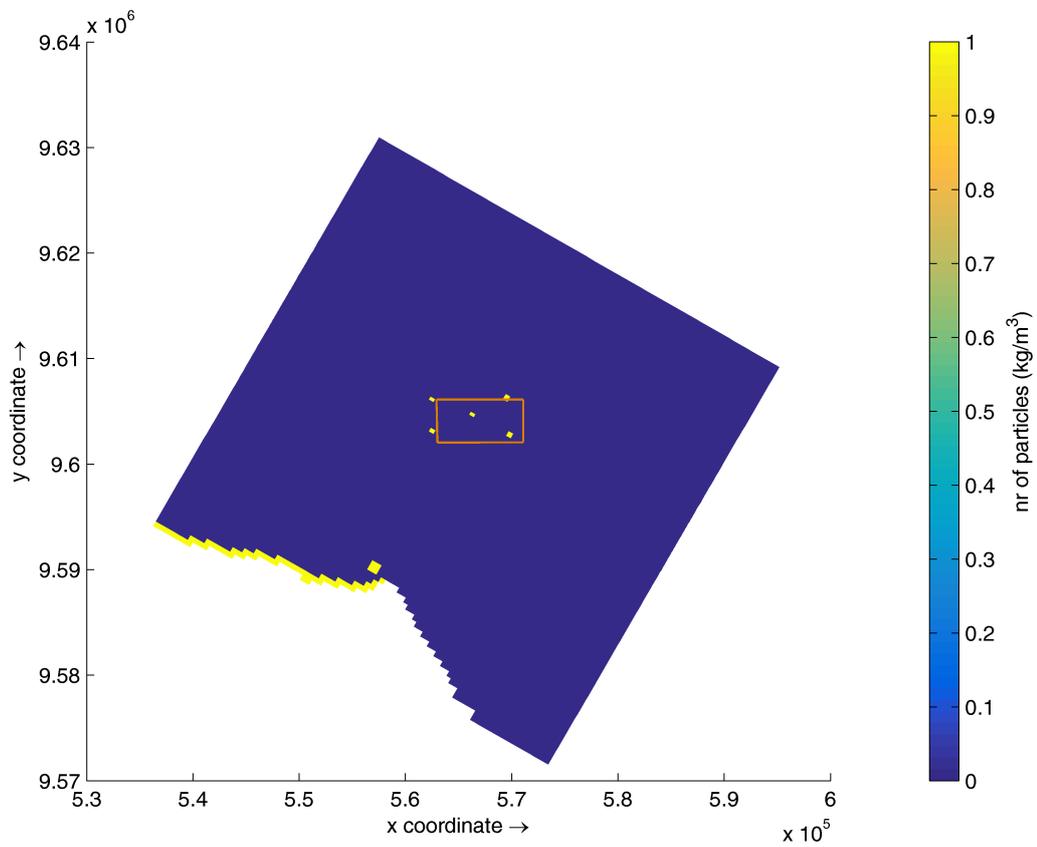
No marco de 9 horas as partículas do PEMPRM se encontram fora da área dele. As

partículas provenientes do porto apresentam comportamento parecido com o do mês anterior.

4.4.5 Outubro de 2011

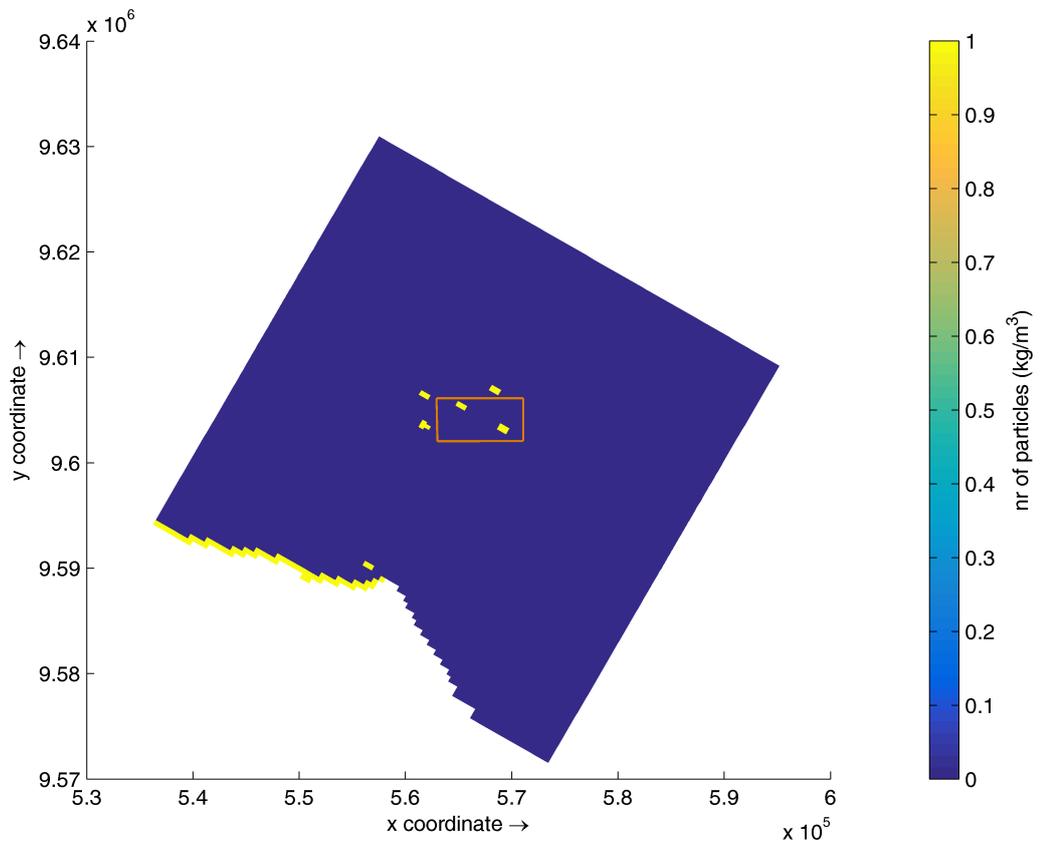
Em Outubro, no marco de 6 horas após o lançamento, todas as partículas do PEMPRM encontram-se fora do mesmo. As partículas do porto se comportam semelhantemente ao mês anterior.

Figura 20 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 00:30, após 30 minutos do lançamento.



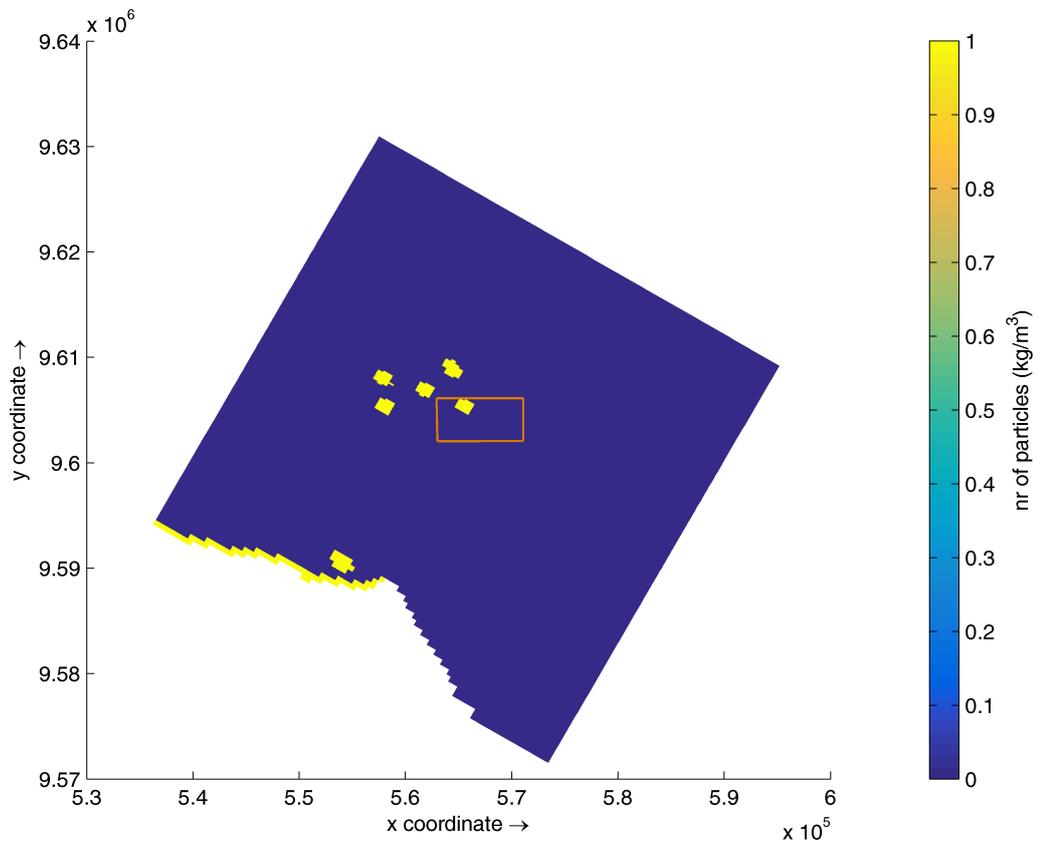
Fonte: o autor

Figura 21 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 01:00, após 1 hora do lançamento.



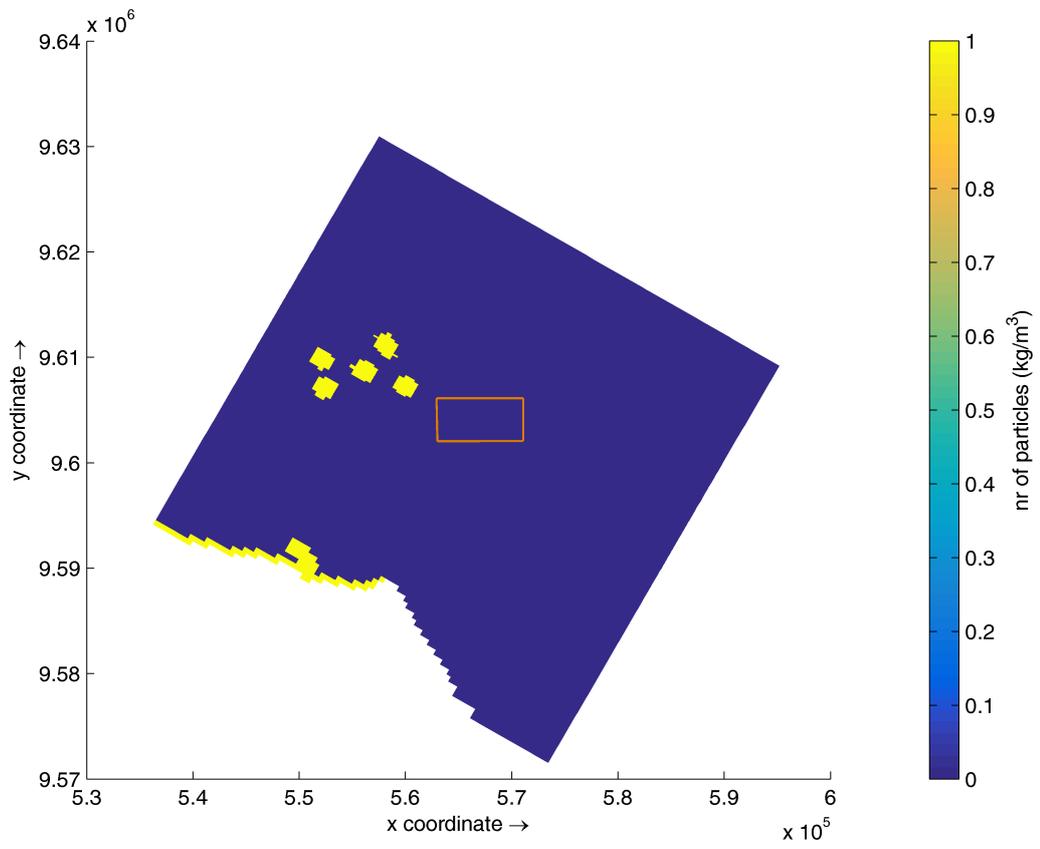
Fonte: o autor

Figura 22– Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 03:00, após 3 horas do lançamento.



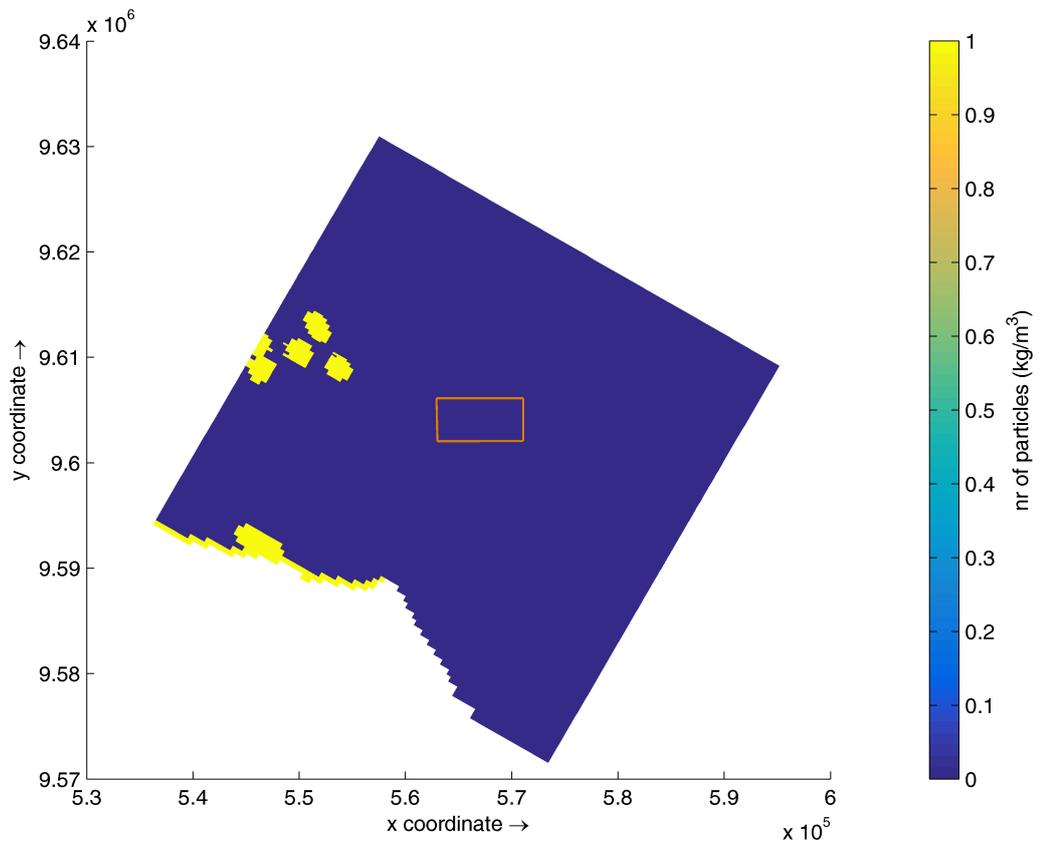
Fonte: o autor

Figura 23 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 06:00, após 6 horas do lançamento.



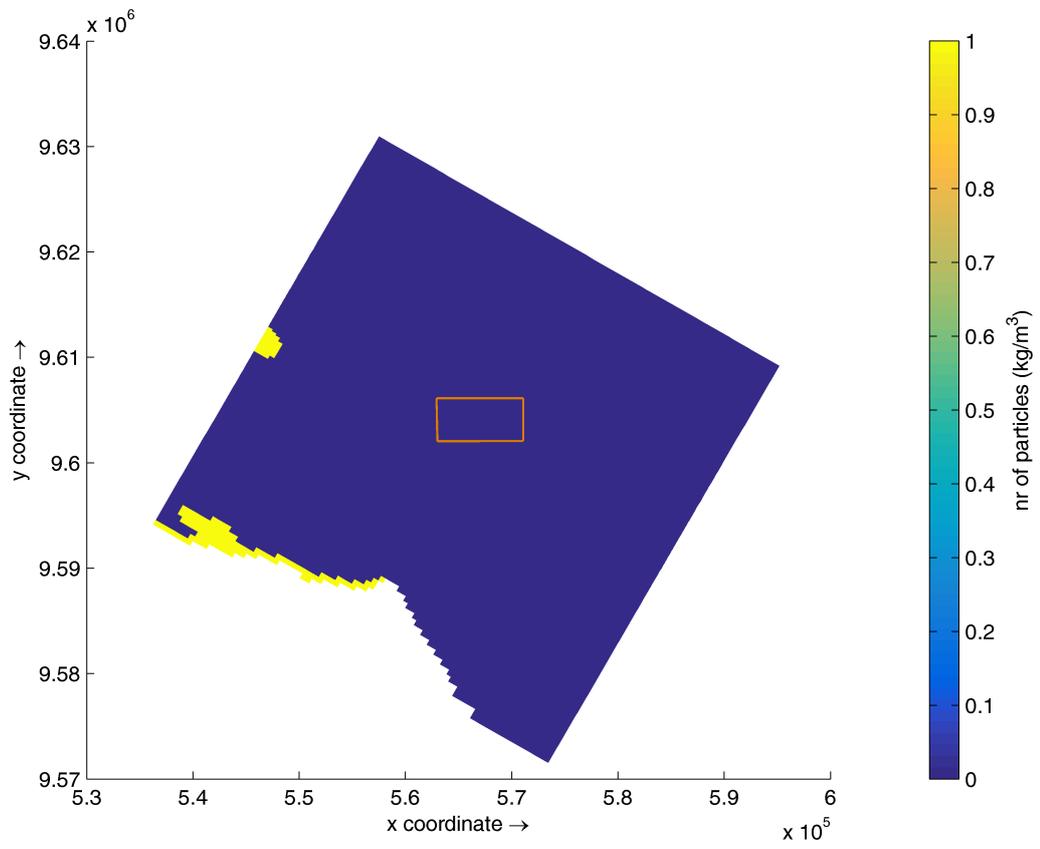
Fonte: o autor

Figura 24 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 09:00, após 9 horas do lançamento.



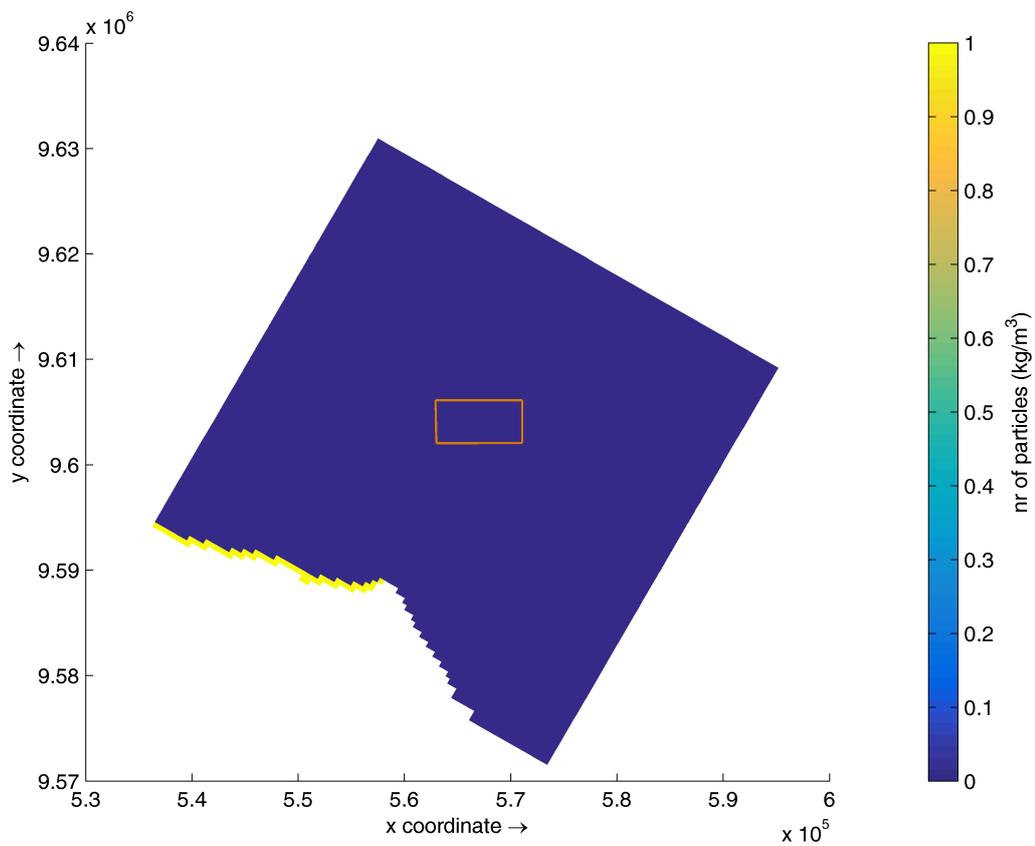
Fonte: o autor

Figura 25 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 12:00, após 12 horas do lançamento.



Fonte: o autor

Figura 26 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 4 de Outubro de 2011 00:00, após 24 horas do lançamento.



Fonte: o autor

4.4.6 Novembro de 2011

Em novembro, no marco de 9 horas, já é possível se observar que as partículas do PEMPRM encontram-se fora da área dele. As partículas provenientes do porto não chegam até o Parque.

4.4.7 Dezembro de 2011

No mês de dezembro, as partículas não estão mais na área do PEMPRM no marco de 9 horas. As partículas do porto se dispersam em direção ao oeste, junto a costa.

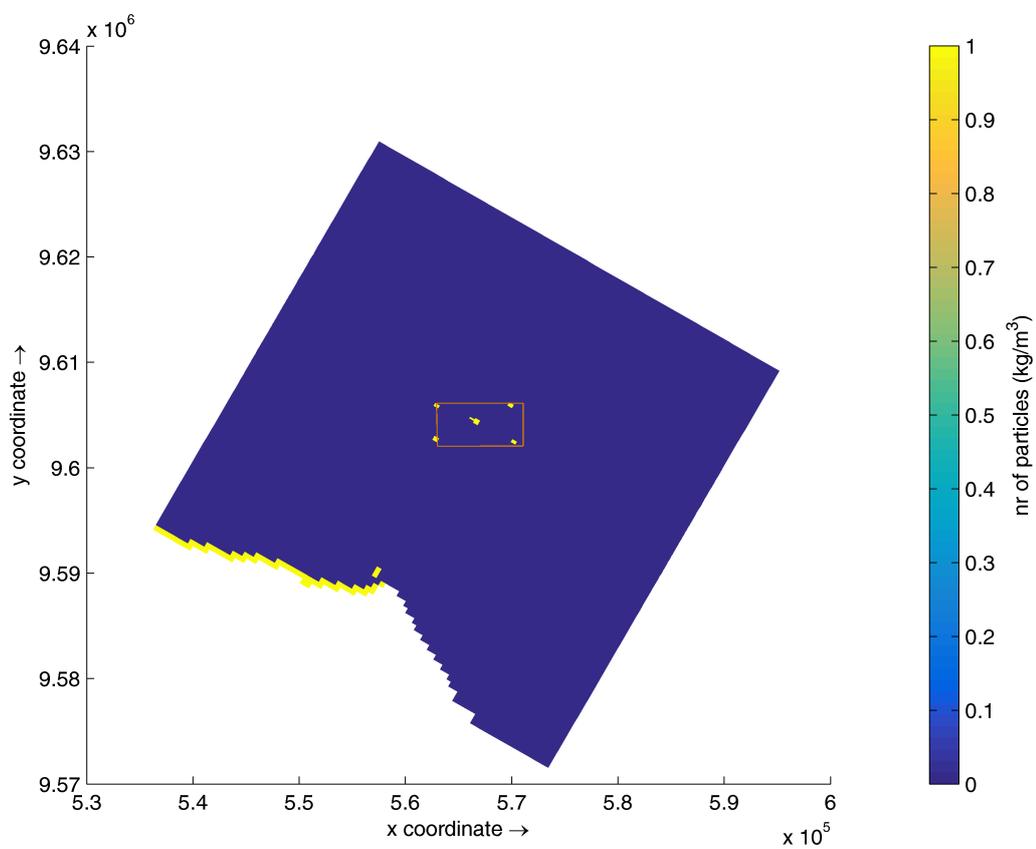
4.4.8 Janeiro de 2012

No mês de Janeiro, as partículas estão fora da área do PEMPRM no marco de 9 horas após liberação. As partículas do porto ficam junto a parte oeste da costa de Fortaleza, novamente.

4.4.9 Fevereiro de 2012

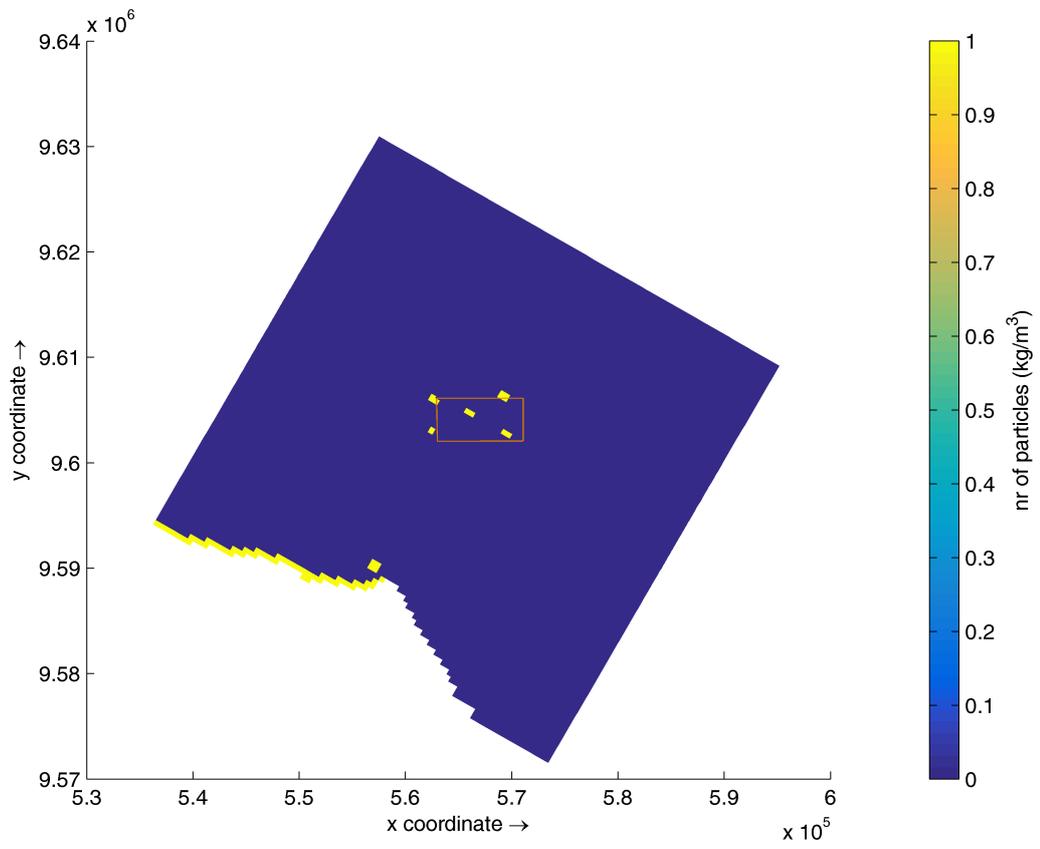
No mês de fevereiro, no marco de 9 horas após a liberação, é possível verificar que as partículas do PEMPRM saem de sua área. As partículas do porto comportam-se como nos meses anteriores.

Figura 27 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 00:30, após 30 minutos do lançamento.



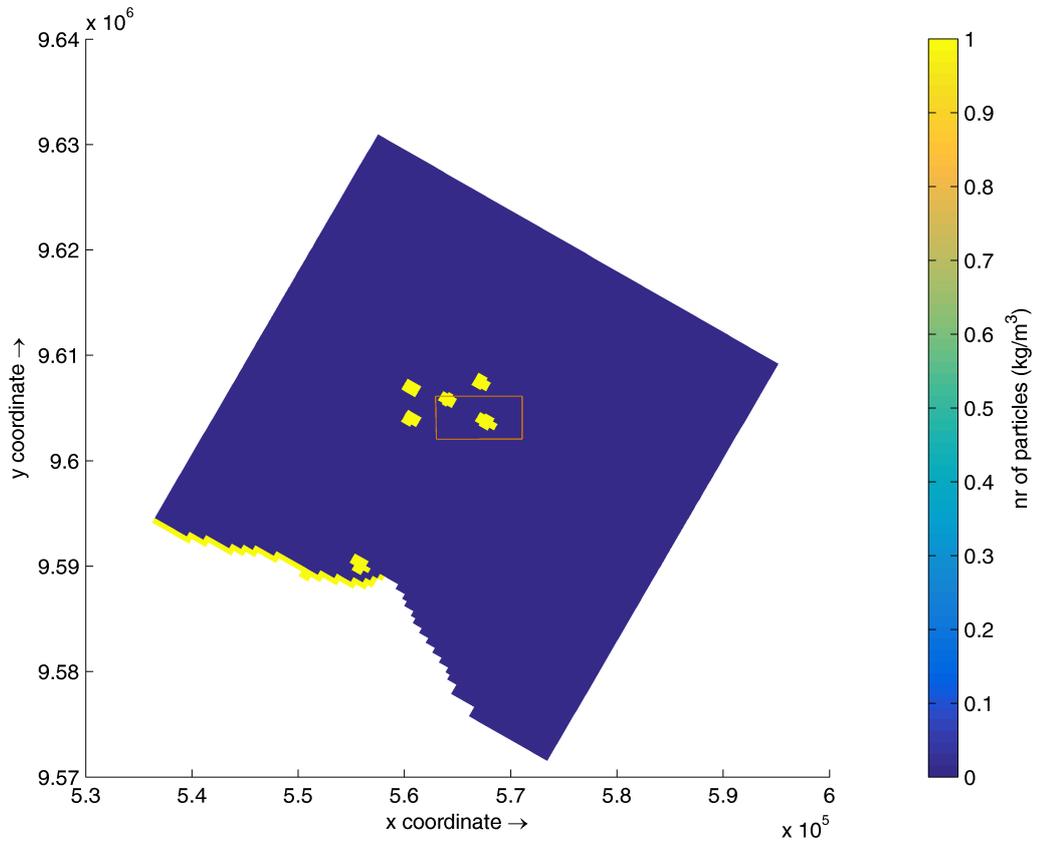
Fonte: o autor

Figura 28 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 01:00, após 1 hora do lançamento.



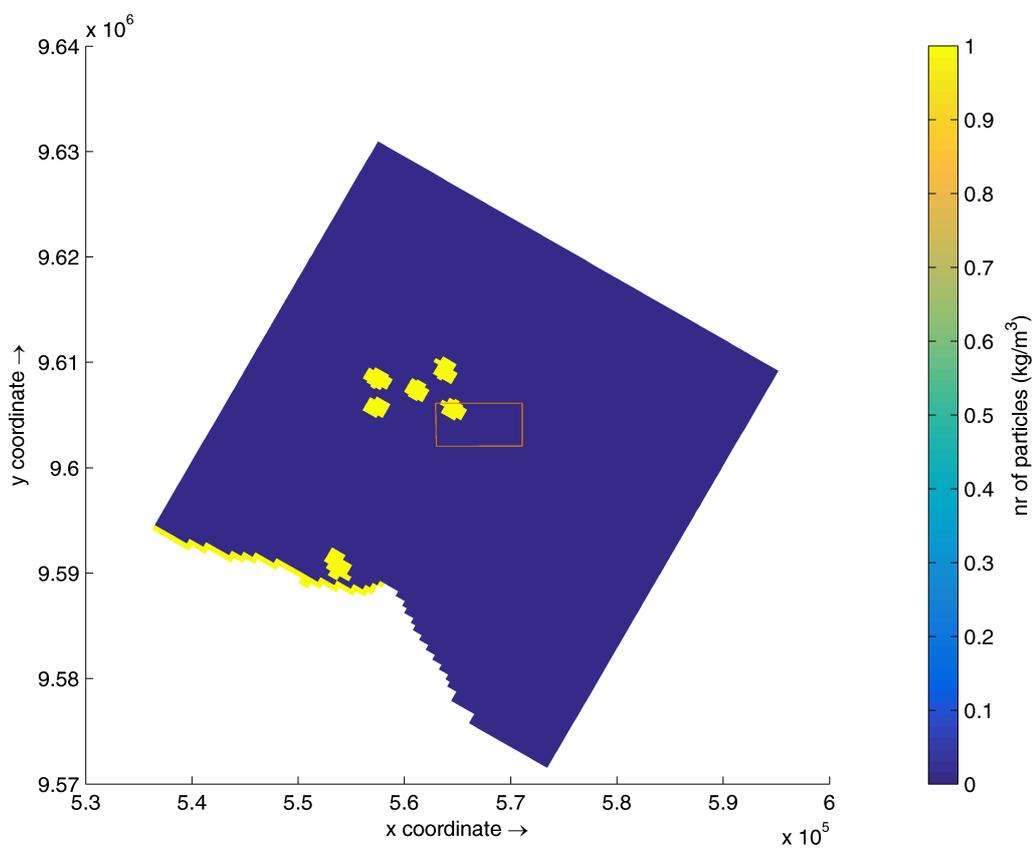
Fonte: o autor

Figura 29 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 03:00, após 3 horas do lançamento.



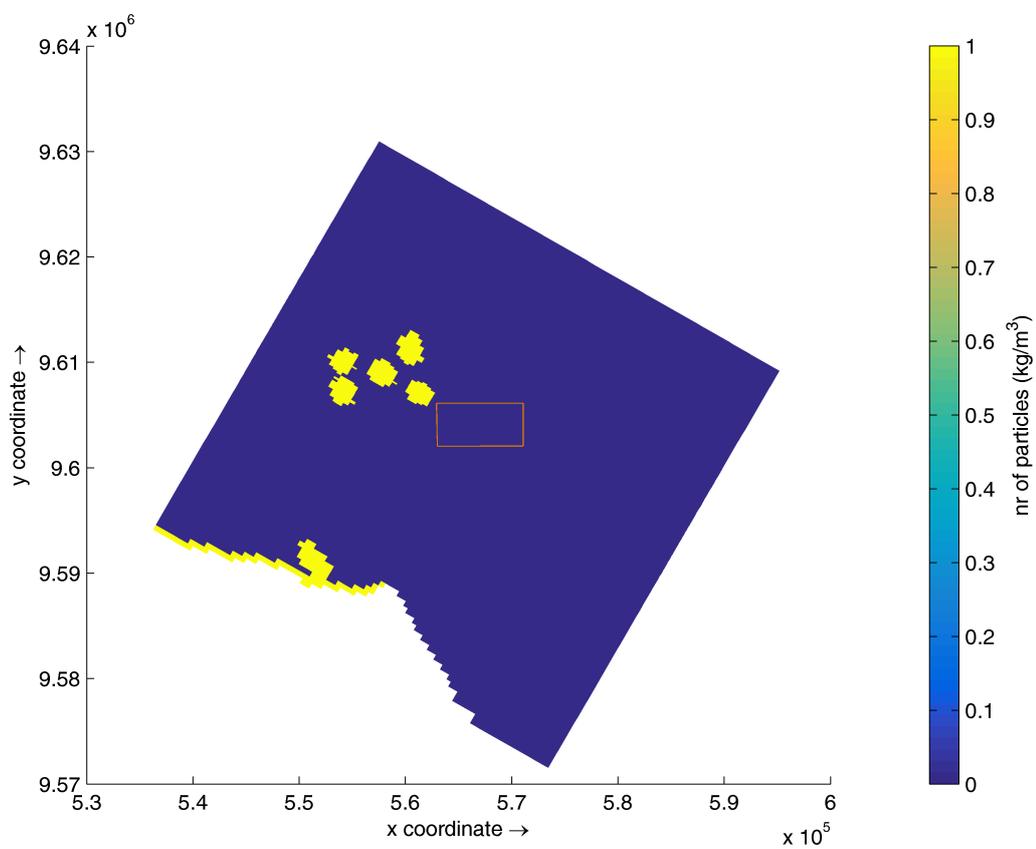
Fonte: o autor

Figura 30 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 06:00, após 6 horas do lançamento.



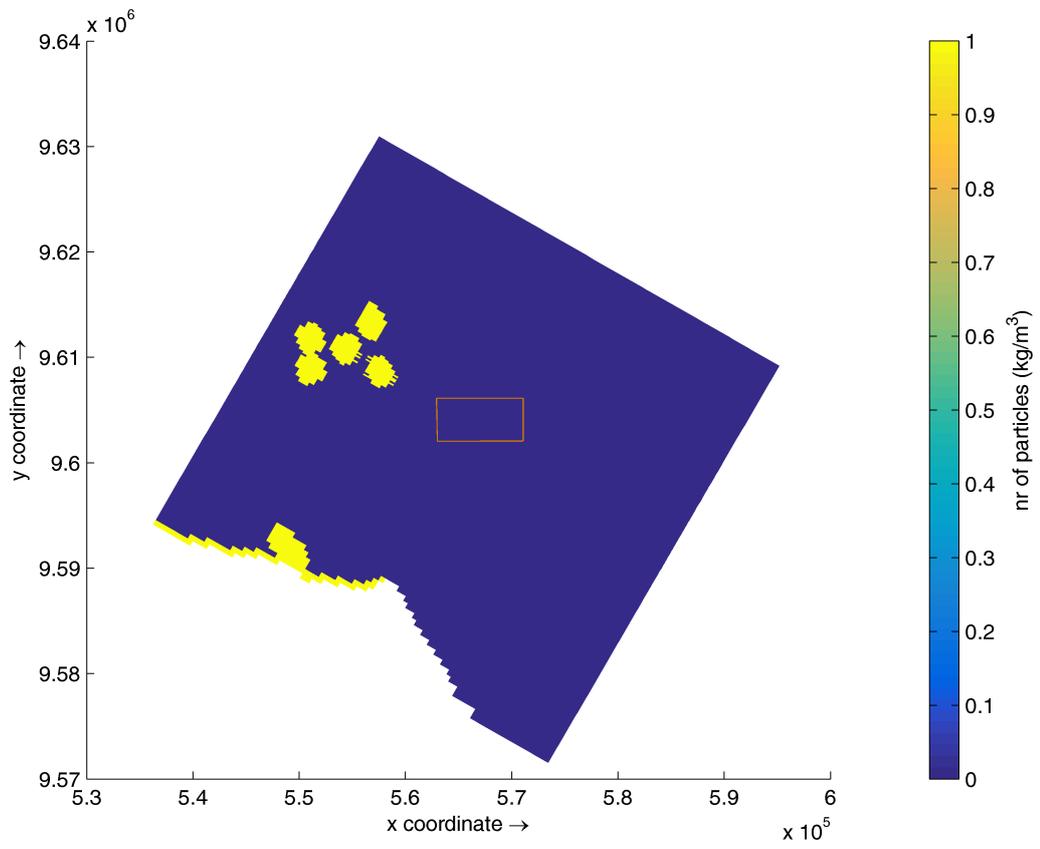
Fonte: o autor

Figura 31 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 09:00, após 9 horas do lançamento.



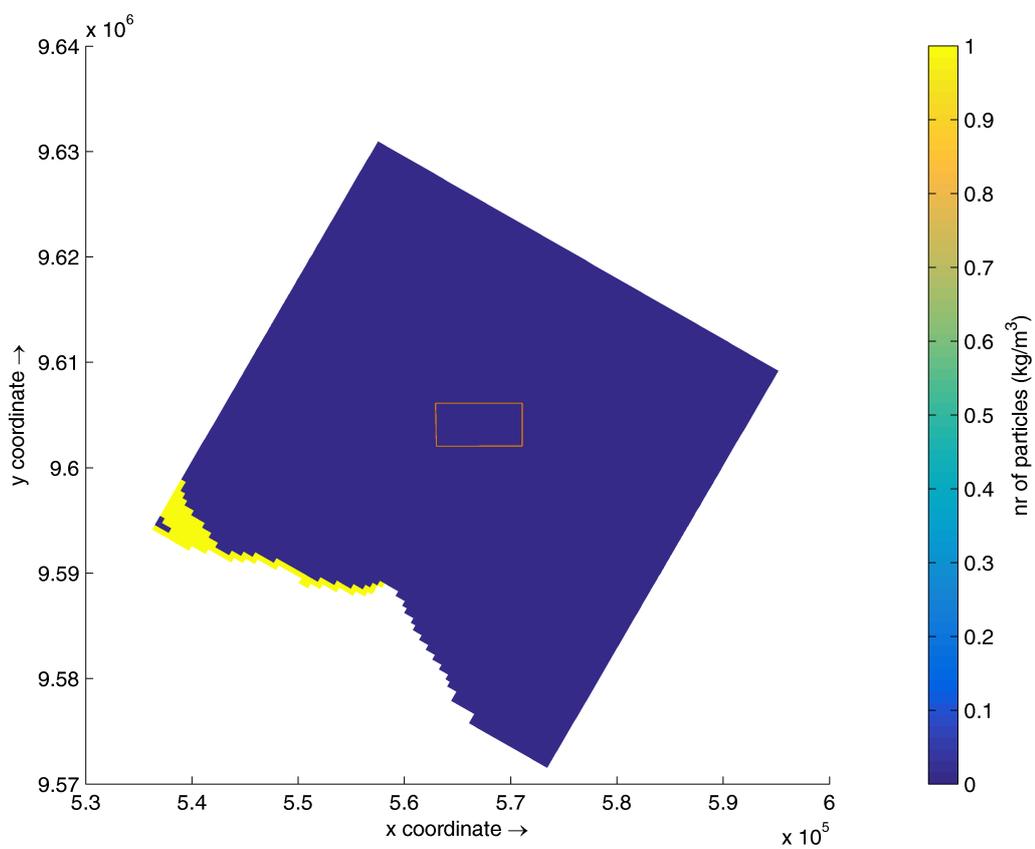
Fonte: o autor

Figura 32 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 12:00, após 12 horas do lançamento.



Fonte: o autor

Figura 33 – Dispersão de partículas no marco de tempo de 4 de Fevereiro de 2012 às 00:00, após 24 horas do lançamento.



Fonte: o autor

4.4.10 Março de 2012

No marco de 12 horas de março, as partículas do PEMPRM encontram-se fora da área dele. As partículas do porto comportam-se semelhantemente aos meses anteriores.

4.4.11 Abril de 2012

No marco de 9 horas de abril, as partículas do PEMPRM encontram-se fora da área do mesmo. As partículas do porto comportam-se semelhantemente.

4.4.12 Maio de 2012

As partículas do PEMPRM do mês de maio encontram-se fora da área no marco de 9 horas. As partículas do porto permanecem junto a costa nesta liberação.

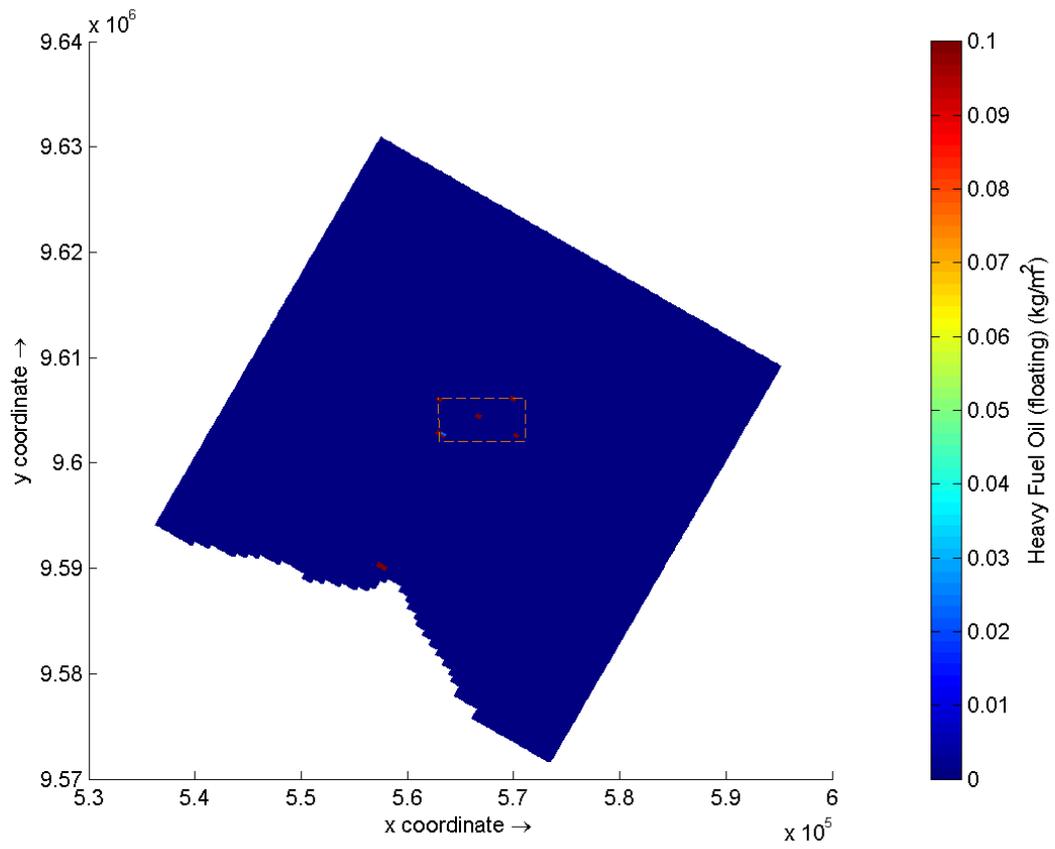
4.5 Dispersão de óleo de combustível

Os resultados da simulação de óleo de combustível estão divididos nos meses em que se fez a simulação, sendo o tempo inicial sempre às 00 hora do dia 3 de cada mês. Para cada dispersão, apresentam-se imagens da grade após 30 minutos, 1, 6, 12, 24 horas. No mês de junho e julho também se apresentaram imagens após 48 horas de lançamento. A escala de cores foi definida para apresentar valores apenas entre 0 e 0,1. Esta forma de gerar as imagens visa verificar mais facilmente onde existe concentrações menores dos lançamentos. A porção da coluna d'água em que o óleo se encontra na simulação é apenas na parte da superfície, pelo fato de que a grade do modelo é 2D e as manchas de óleo foram liberadas na superfície. Apenas em junho, outubro e fevereiro apresentou-se as figuras dos resultados, visto que em todos os meses foram bastante semelhantes.

4.5.1 Junho de 2011

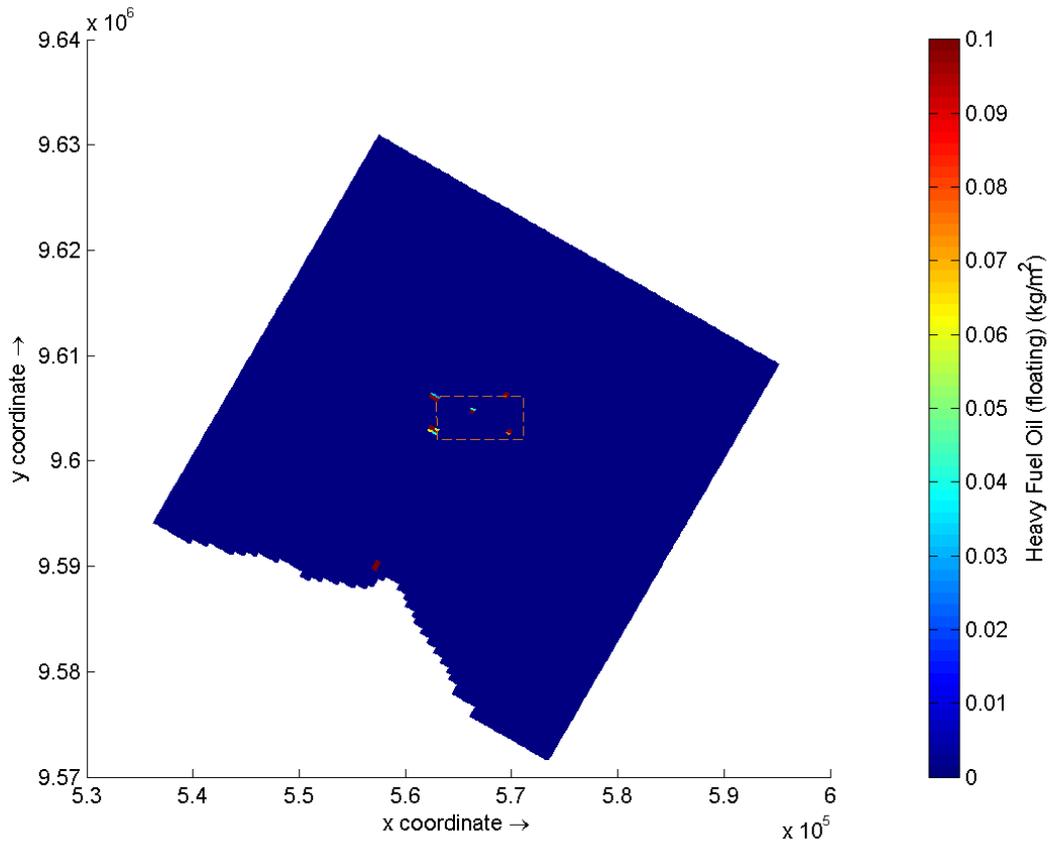
Em junho, no marco de 12 horas as manchas de óleo do PEMPRM já se encontram fora da área da UC.

Figura 34 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 00:30, após 30 minutos do lançamento.



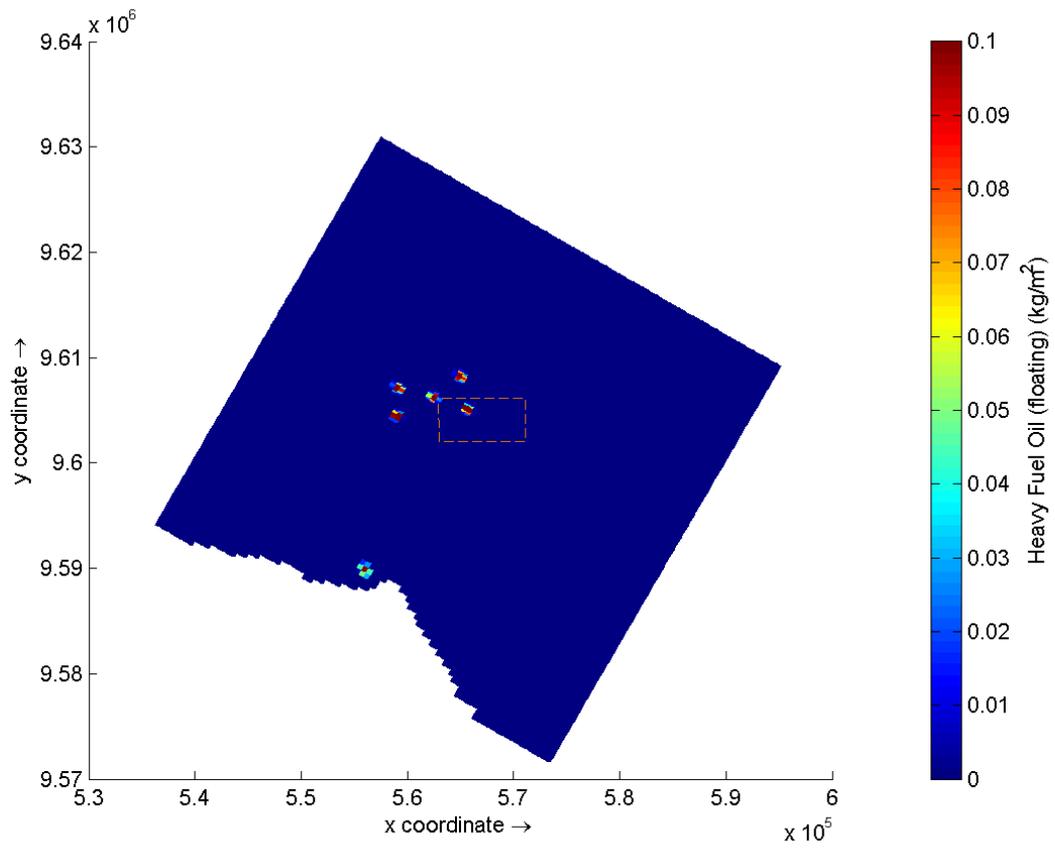
Fonte: o autor

Figura 35 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 01:00, após 1 hora de lançamento.



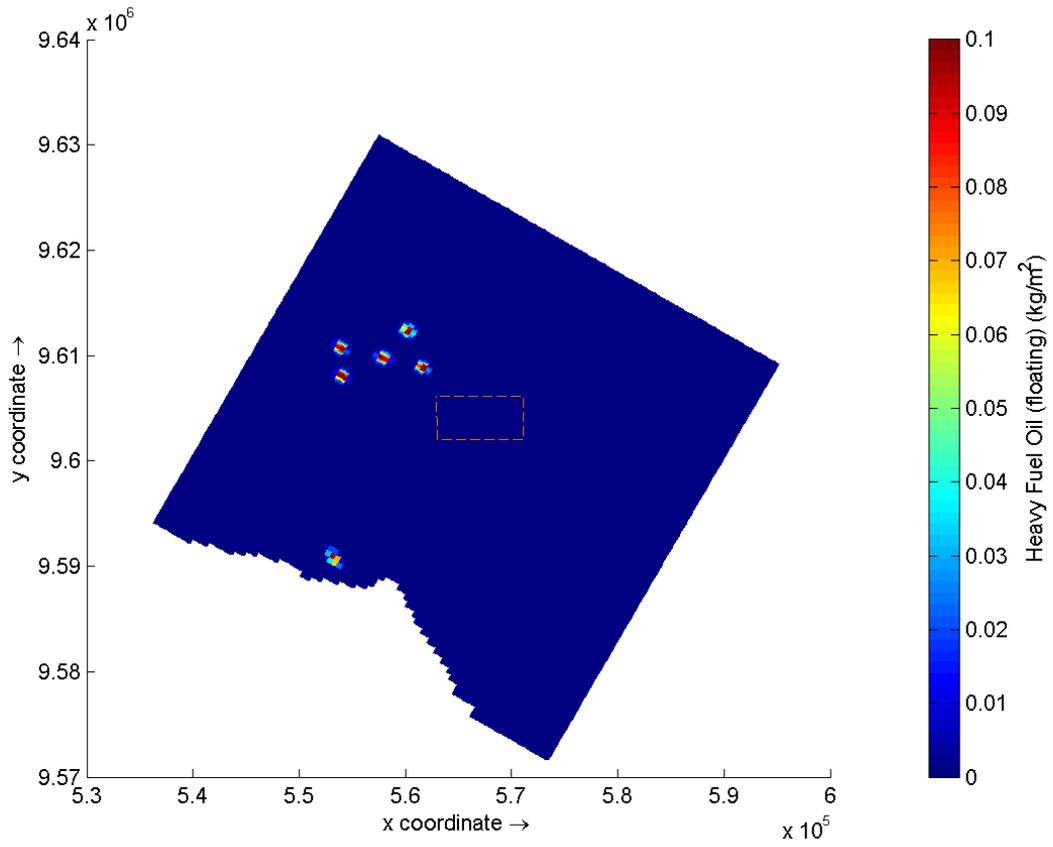
Fonte: o autor

Figura 36 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 06:00, após 6 horas do lançamento.



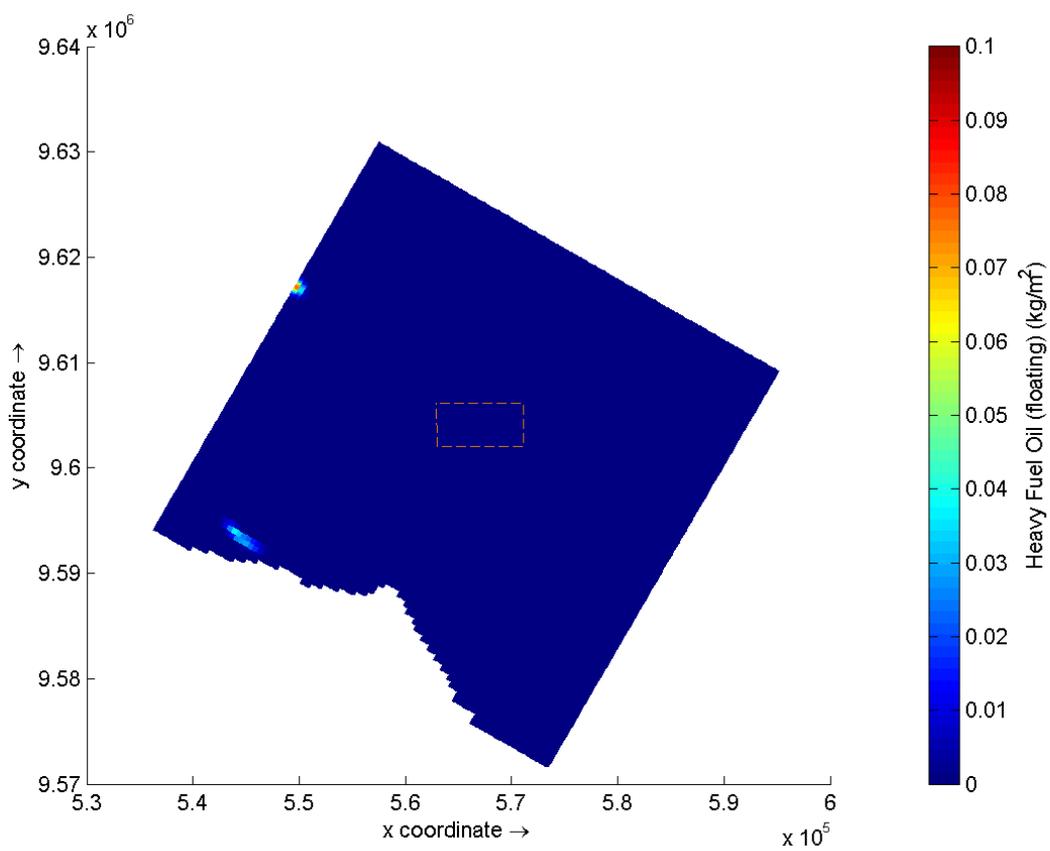
Fonte: o autor

Figura 37 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Junho de 2011 12:00, após 12 horas do lançamento.



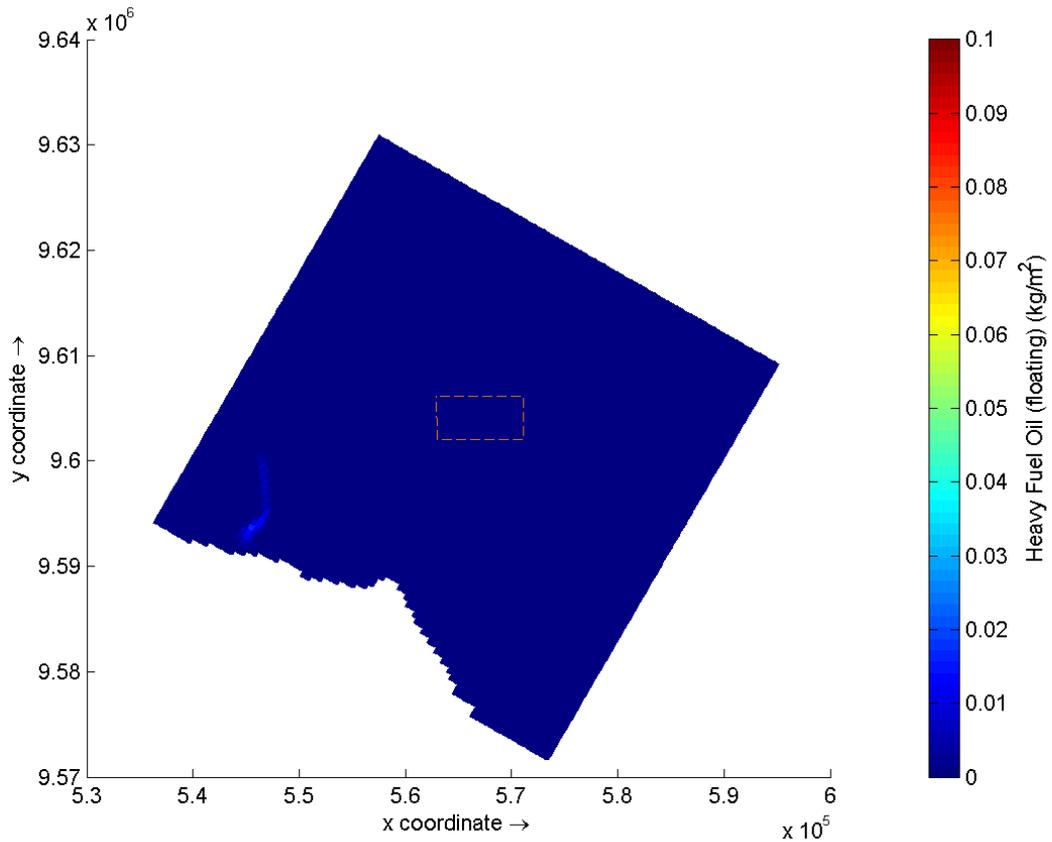
Fonte: o autor

Figura 38 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 4 de Junho de 2011 às 00:00, após 24 horas do lançamento.



Fonte: o autor

Figura 39 - Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 5 de Junho de 2011 às 00:00, após 48 horas do lançamento.



Fonte: o autor

4.5.2 Julho de 2011

Em julho, após o marco de 12 horas, as manchas de óleo também se encontram fora do PEMPRM.

4.5.3 Agosto de 2011

Em agosto, no marco de 6 horas já se pode verificar que as manchas de óleo do PEMPRM estão fora da sua área, indicando que o aumento da intensidade dos ventos típicos deste mês tem influência na dispersão de contaminantes na área.

4.5.4 Setembro de 2011

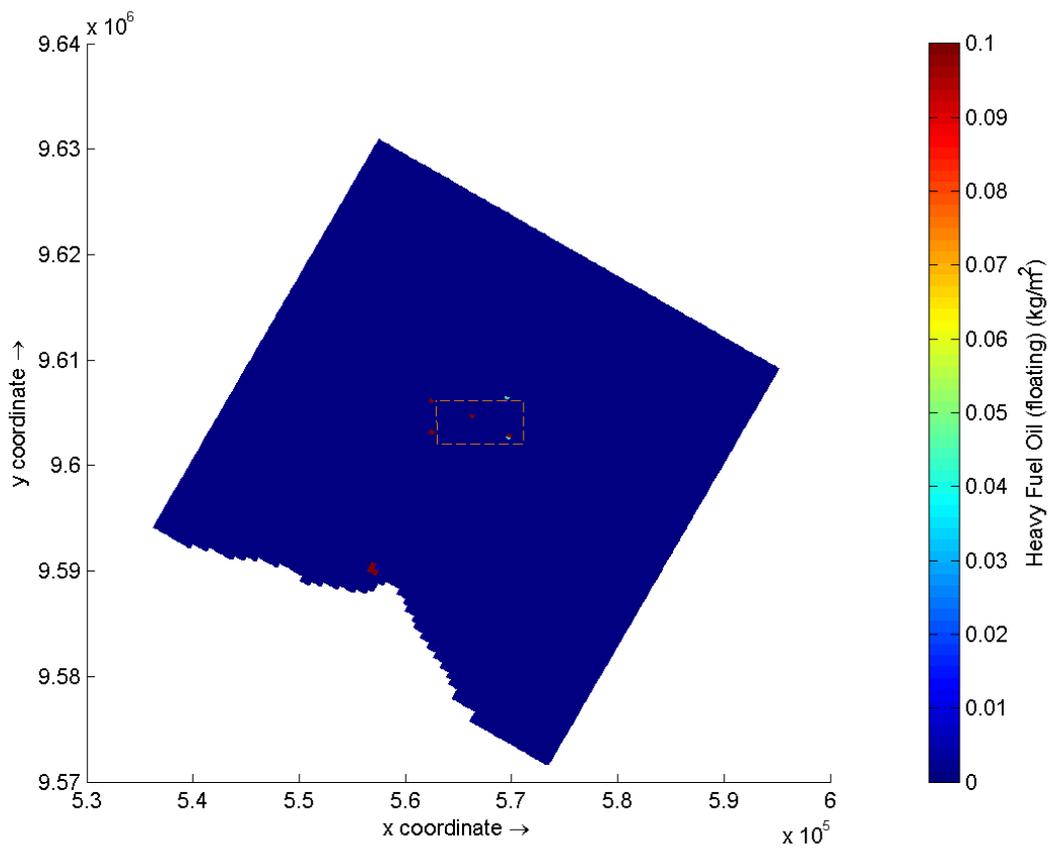
Em setembro, as manchas de óleo encontram-se fora da área do PEMPRM, com

porções das manchas já fora da grade do modelo.

4.5.5 Outubro de 2011

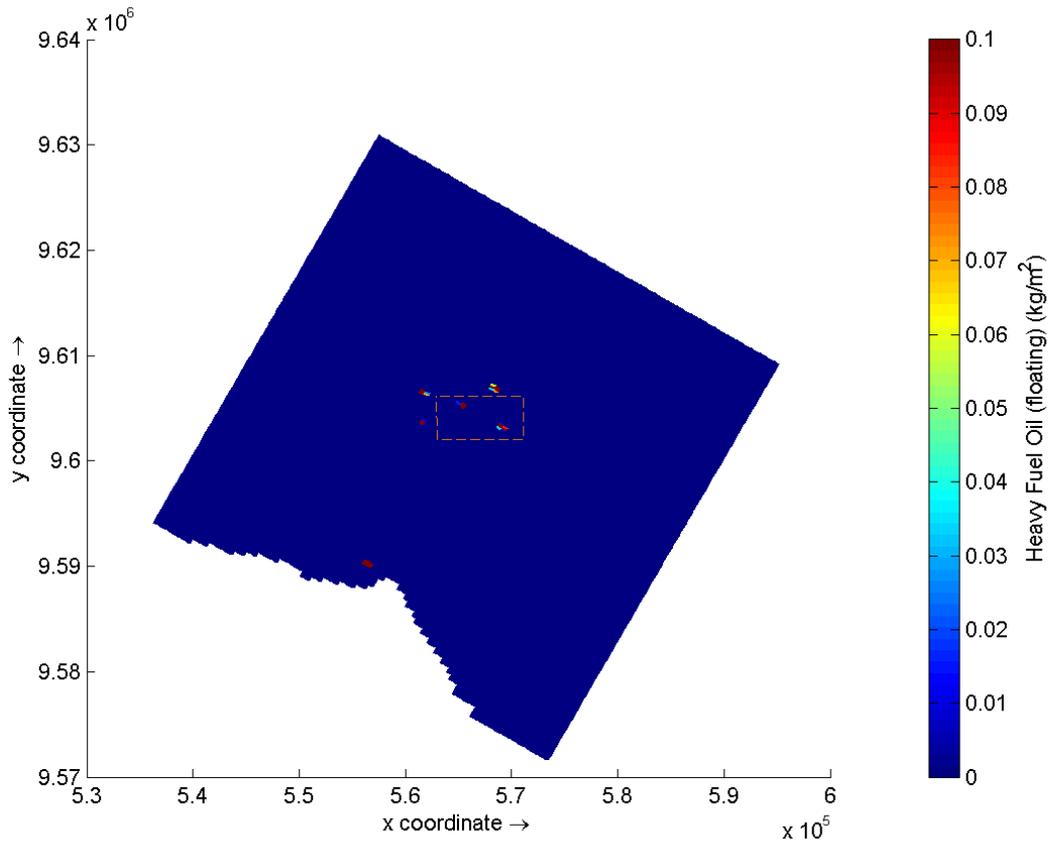
Em outubro, as manchas do óleo liberado no PEMPRM já se encontram fora da área no marco de 6 horas.

Figura 40 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 00:30, após 30 minutos do lançamento.



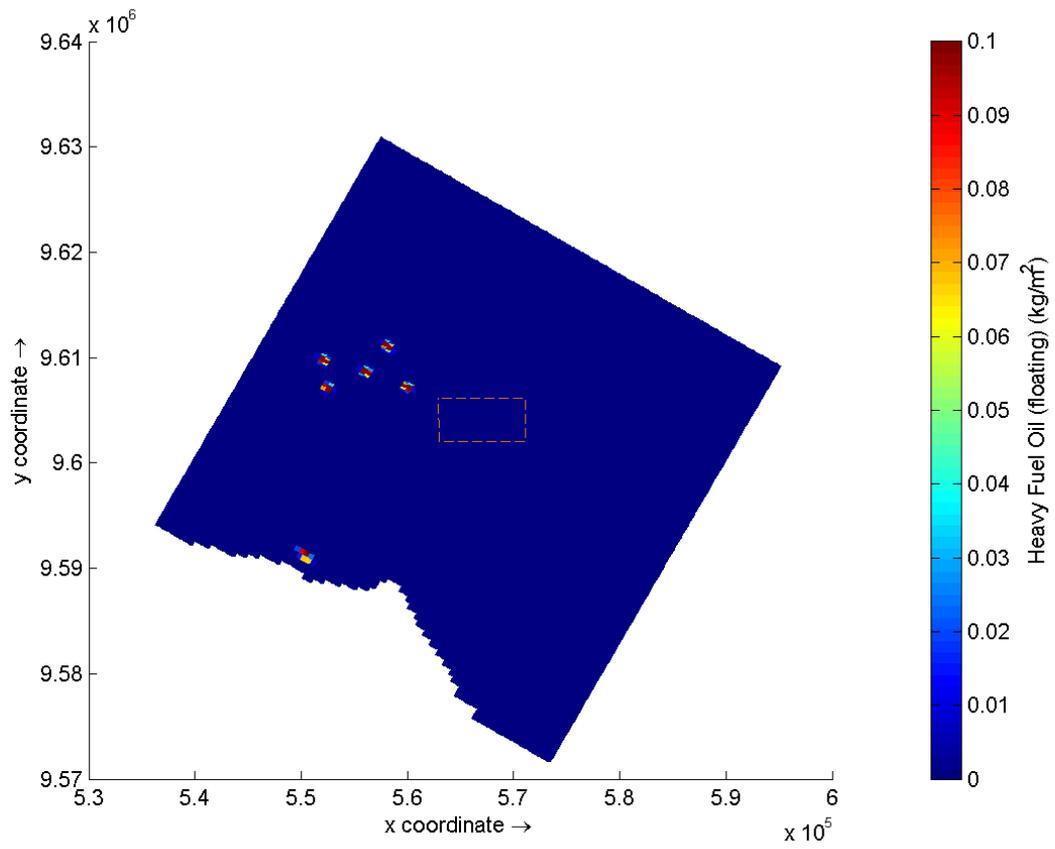
Fonte: o autor

Figura 41 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 01:00, após 1 hora do lançamento.



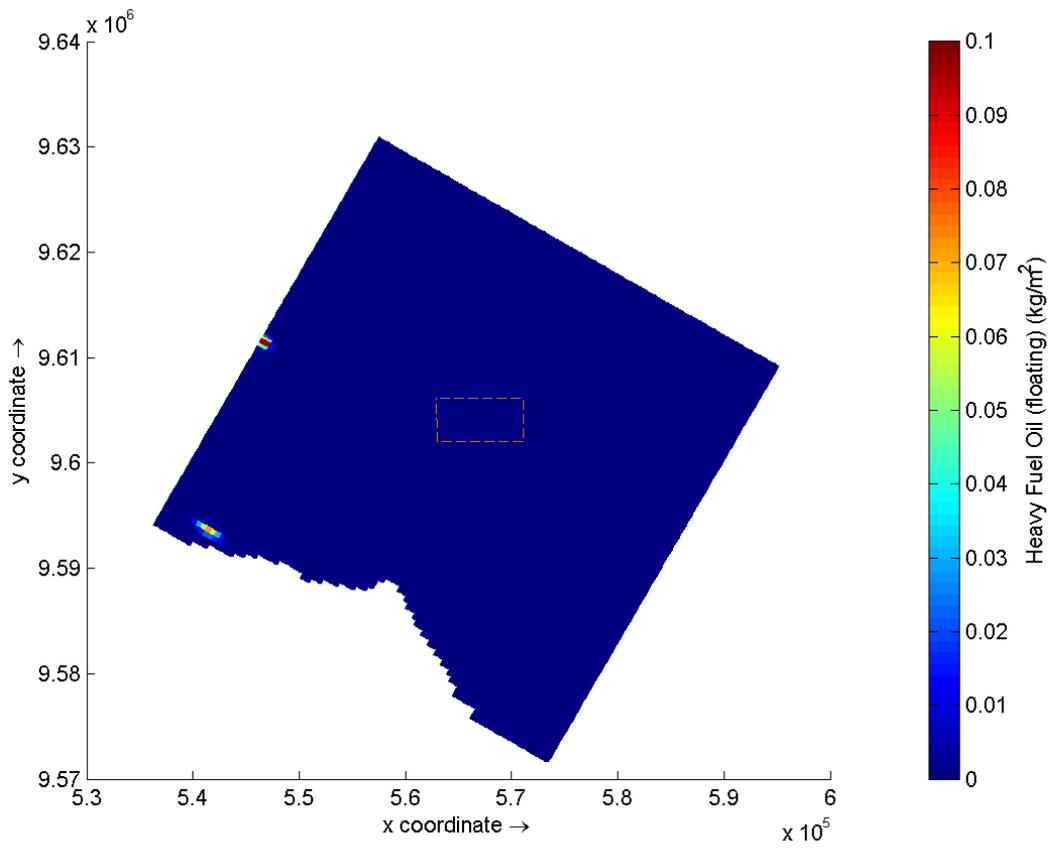
Fonte: o autor

Figura 42 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 06:00, após 6 horas do lançamento.



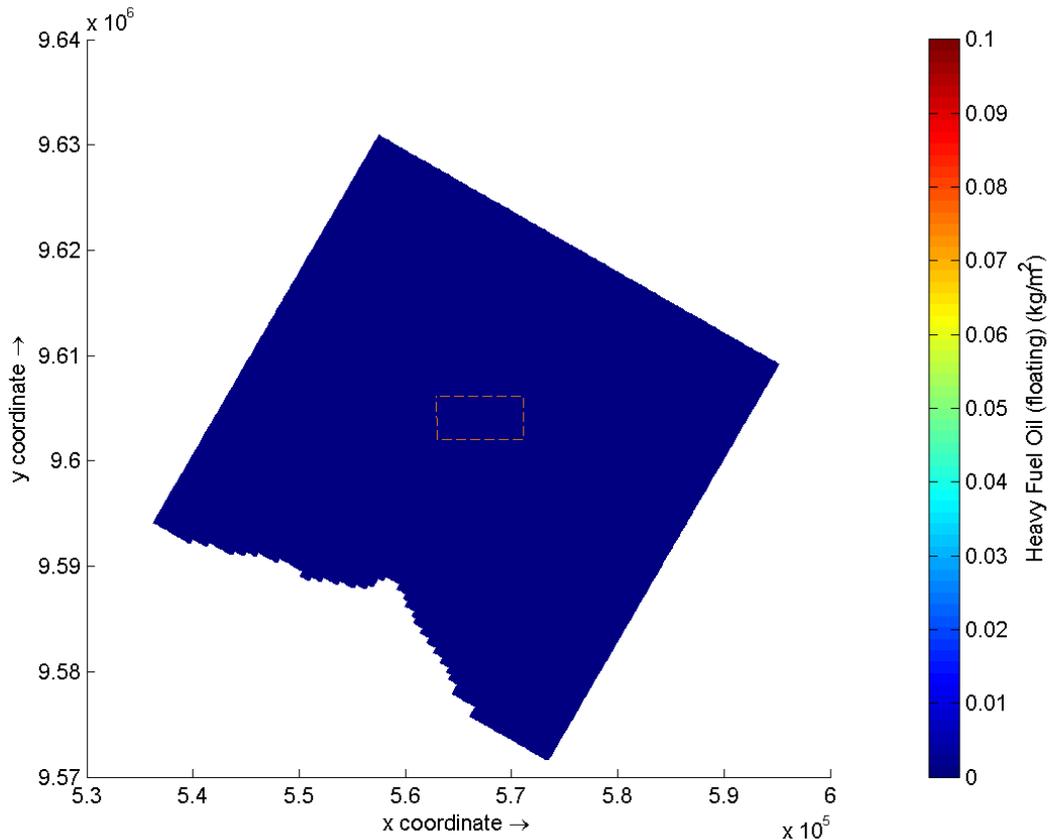
Fonte: o autor

Figura 43 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Outubro de 2011 às 12:00, após 12 horas de lançamento.



Fonte: o autor

Figura 44 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 4 de Outubro de 2011 às 00:00, após 24 horas do lançamento.



Fonte: o autor

4.5.6 Novembro de 2011

Em novembro, no marco de 6 horas, apenas uma mancha encontra-se dentro da área da UC. No marco de 12 horas, todo o óleo se encontra fora.

4.5.7 Dezembro de 2011

Em dezembro, no marco de 6 horas apenas uma das 5 manchas encontra-se na área da UC, e no marco de 12 horas, todas estão fora.

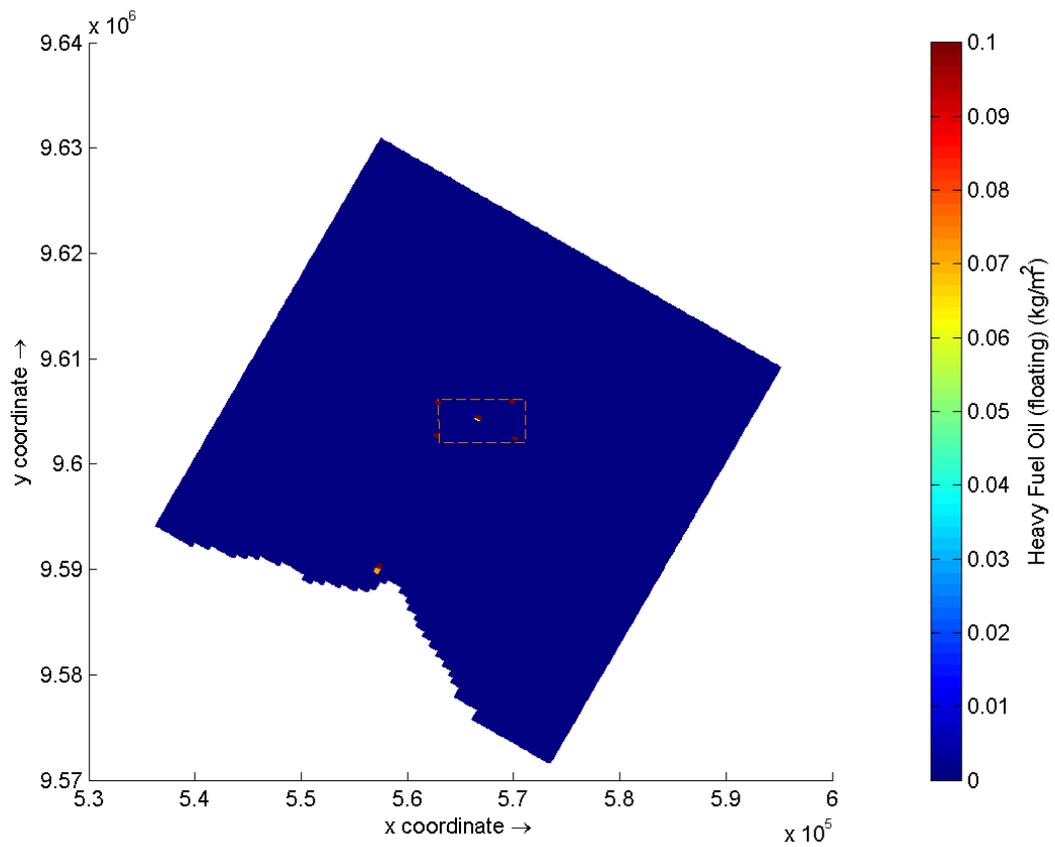
4.5.8 Janeiro de 2012

Em janeiro, padrão semelhante ao de dezembro se repete, com exceção de que parte da mancha restante na UC encontra-se fora da sua área.

4.5.9 Fevereiro de 2012

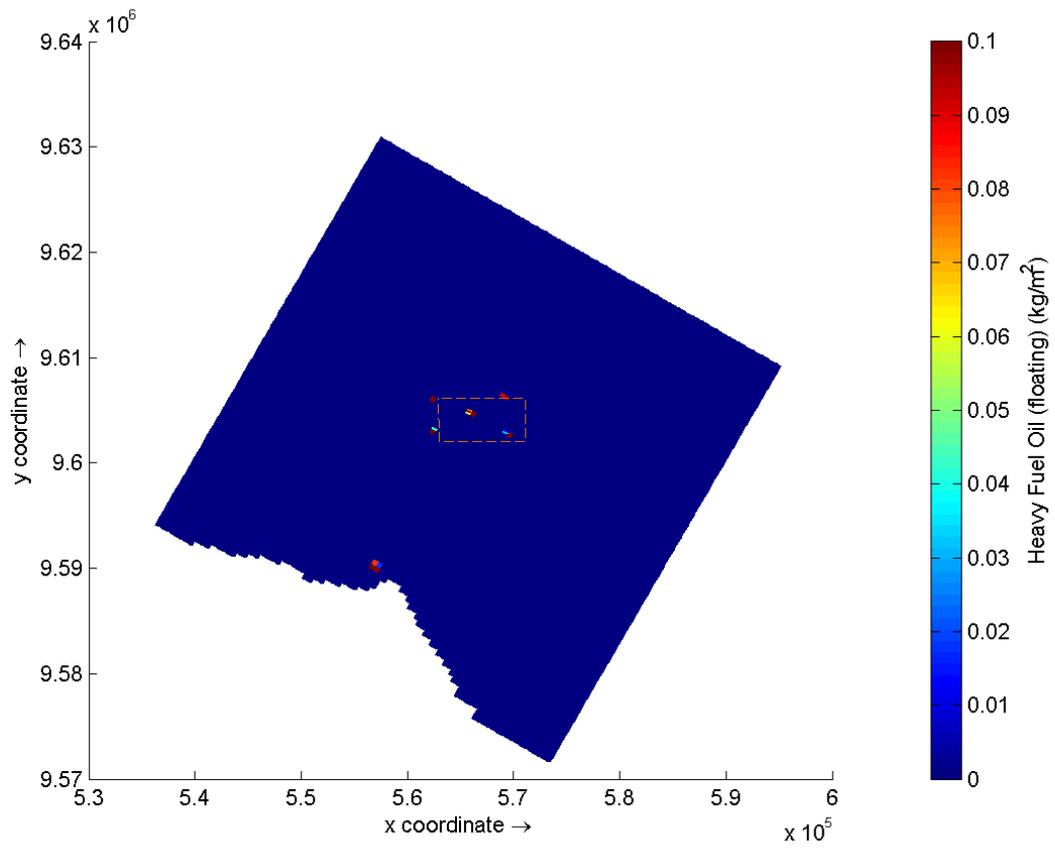
Em fevereiro, a mancha restante no marco de 6 horas permanece na UC, porém numa região mais ou norte do que em dezembro. No marco de 12 horas já não se encontra concentrações de óleo no PEMPRM.

Figura 45 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 00:30, após 30 minutos de lançamento.



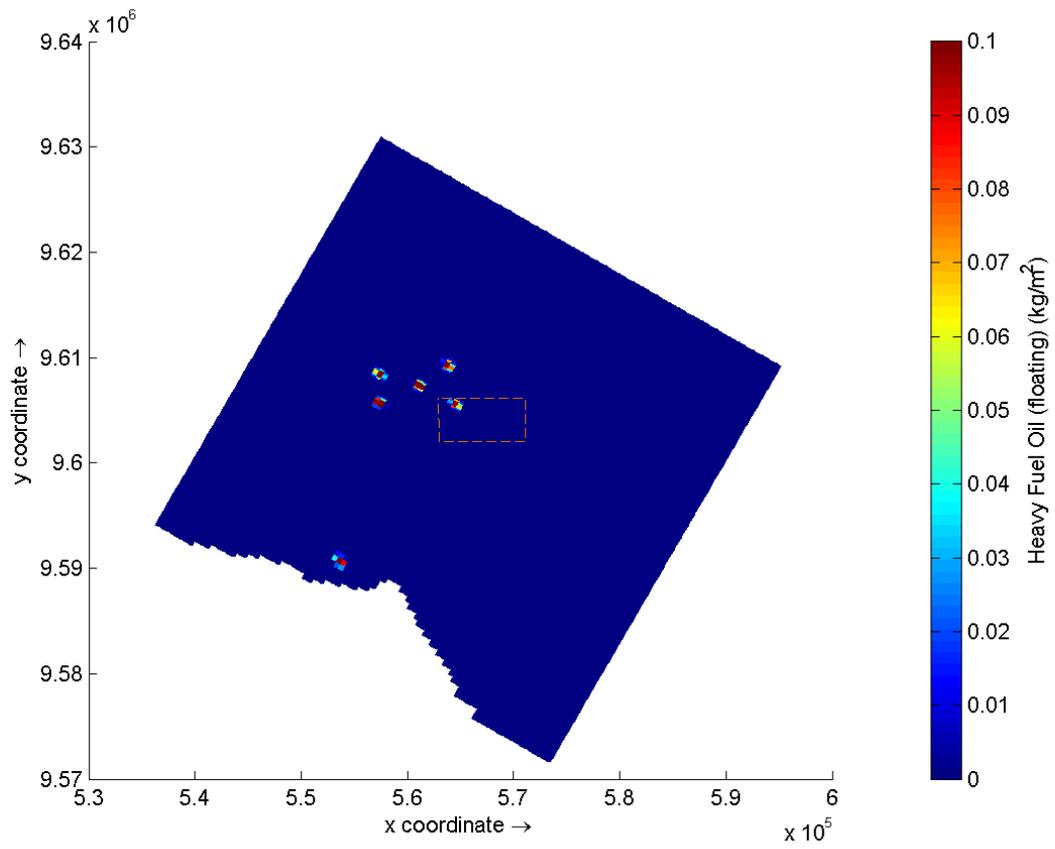
Fonte: o autor

Figura 46 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 01:00, após 1 hora de lançamento.



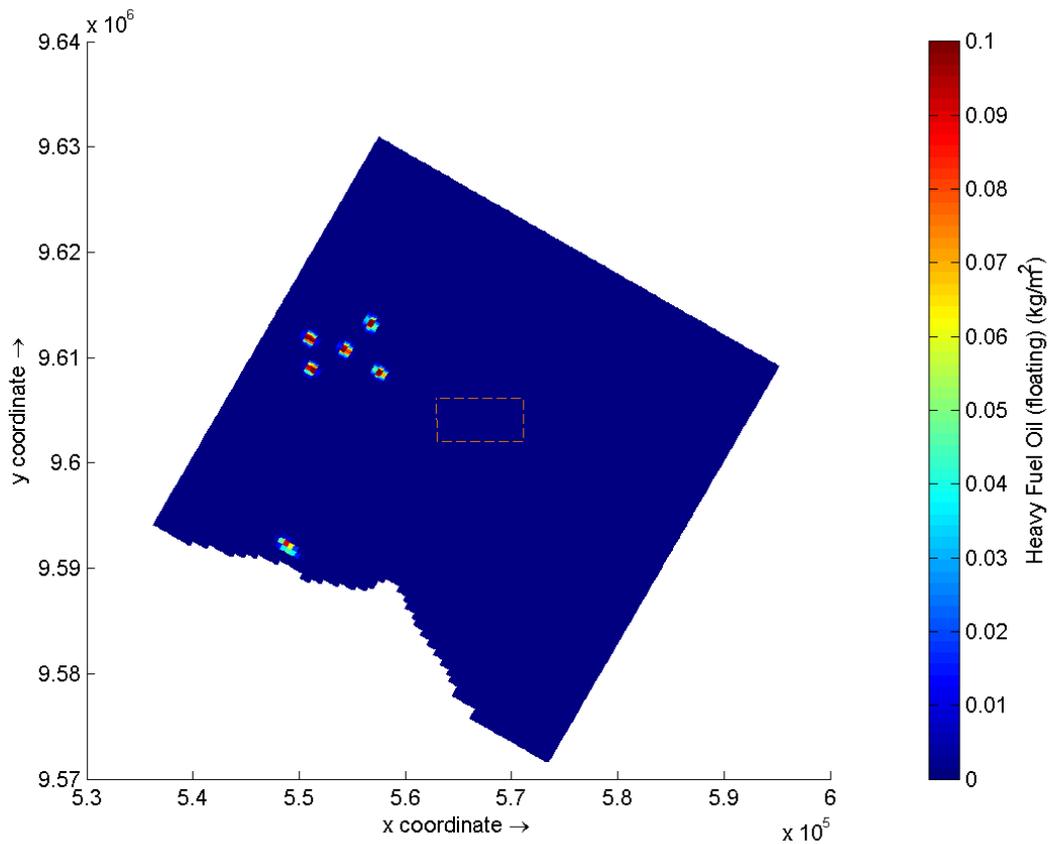
Fonte: o autor

Figura 47 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 06:00, após 6 horas de lançamento.



Fonte: o autor

Figura 48 – Dispersão de óleo de combustível no marco de tempo de 3 de Fevereiro de 2012 às 12:00, após 12 horas de lançamento.



Fonte: o autor

4.5.10 Março de 2012

No mês de março, padrão semelhante ao de fevereiro é observado, com exceção de que a mancha que permanece na UC no marco de 6 horas fica mais ao leste.

4.5.11 Abril de 2012

Em abril, no marco de 12 horas todas as partículas encontram-se fora da área da UC.

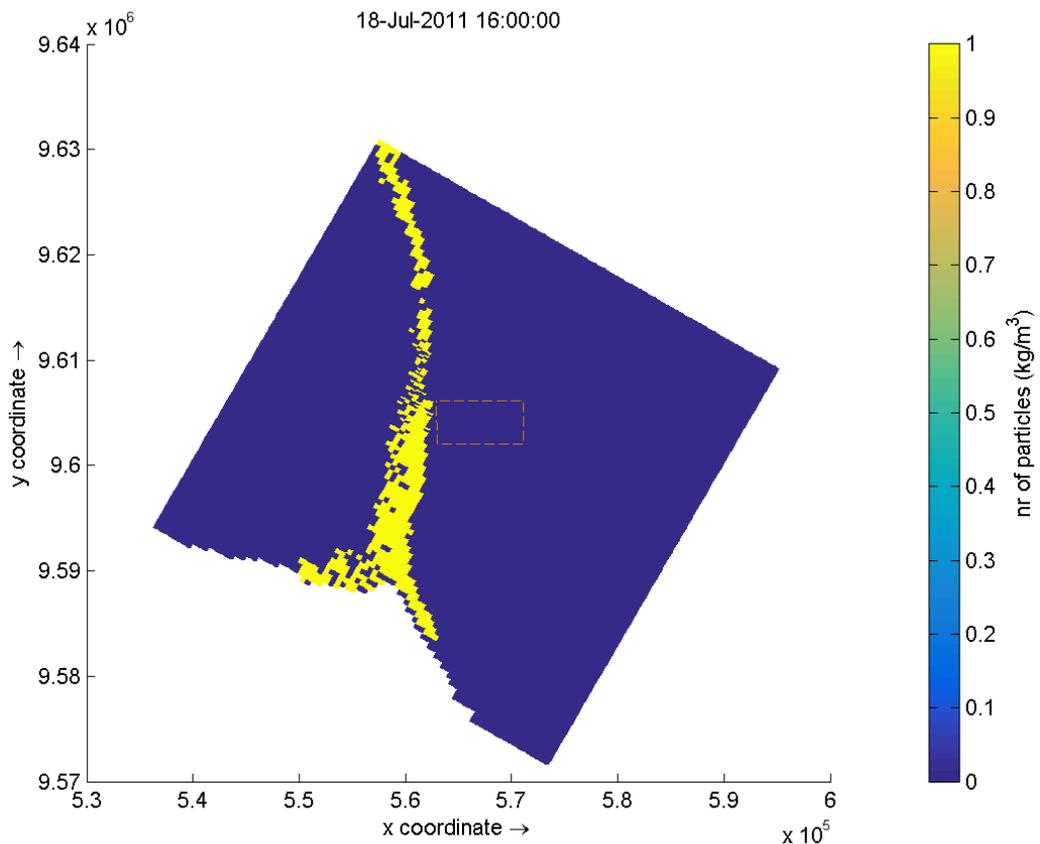
4.5.12 Maio de 2012

No mês de maio, no marco de 6 horas, quase toda a concentração de óleo está fora da área da UC.

4.6 Conectividade com o rio Cocó

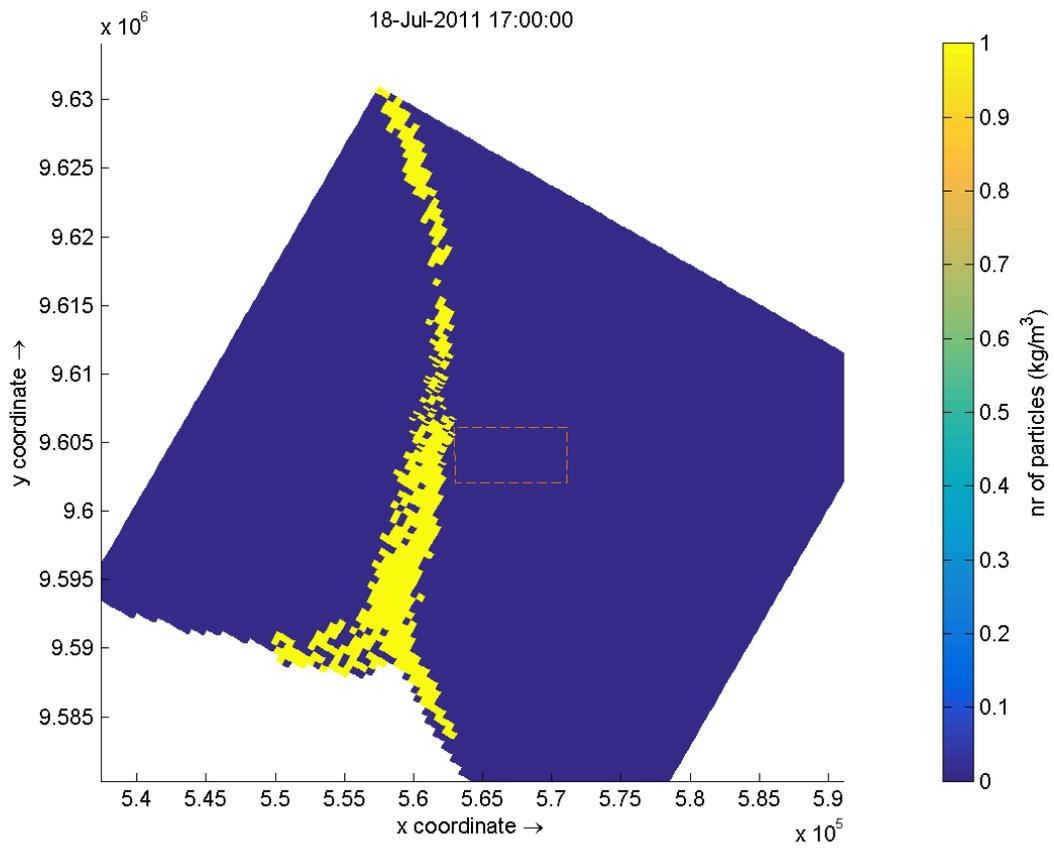
Observando-se a simulação para o despejo contínuo de partículas na adjacência do rio Cocó ao longo do ano, verificou-se que em dois momentos estas partículas chegam a entrar na área do PEMPRM, no dia 18/07/2011, do marco 17:00 até 18:00, entrando próximo ao vértice noroeste do PEMPRM e entre os dias 08/08/2011 e 09/08/2011, entre 07:00 do dia 8 e 02:00 do dia 9. Imagens dos momentos em que isso acontece foram geradas. Particularmente nos dias 8 e 9 de agosto se percebe uma maior influência.

Figura 49 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó chegam próximo ao PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 16 horas.



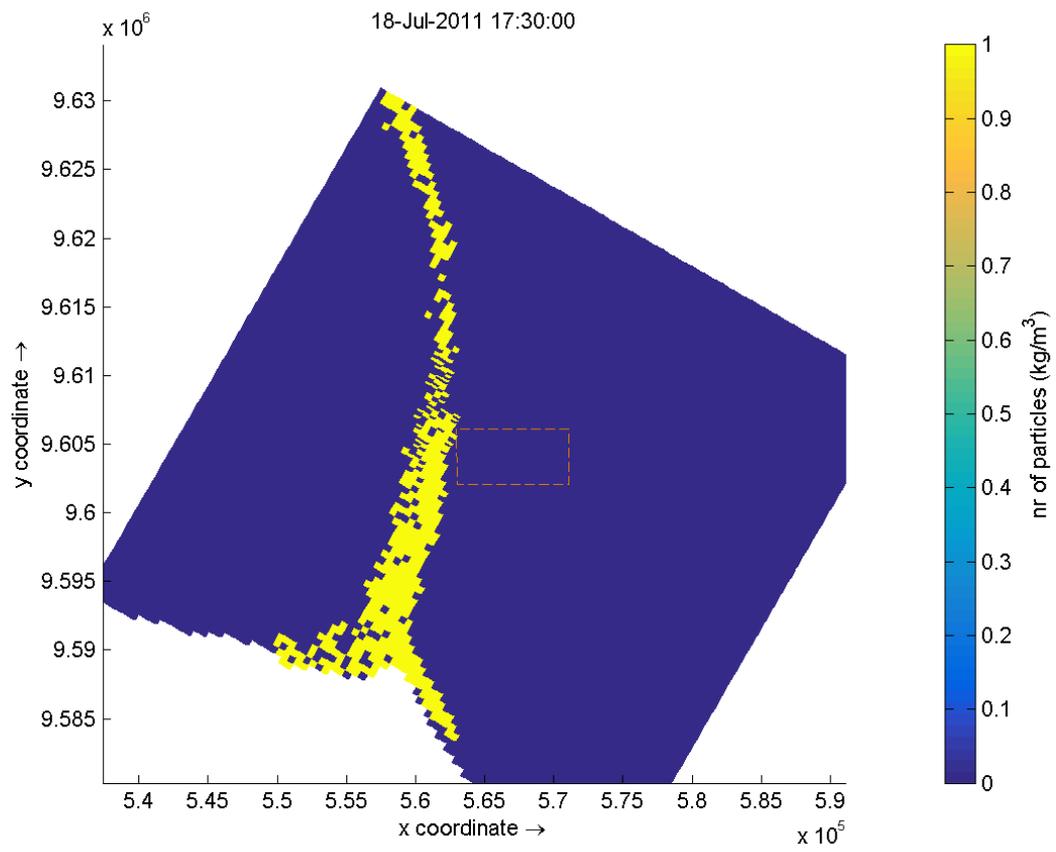
Fonte: O autor.

Figura 50 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó chegam no PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 17 horas



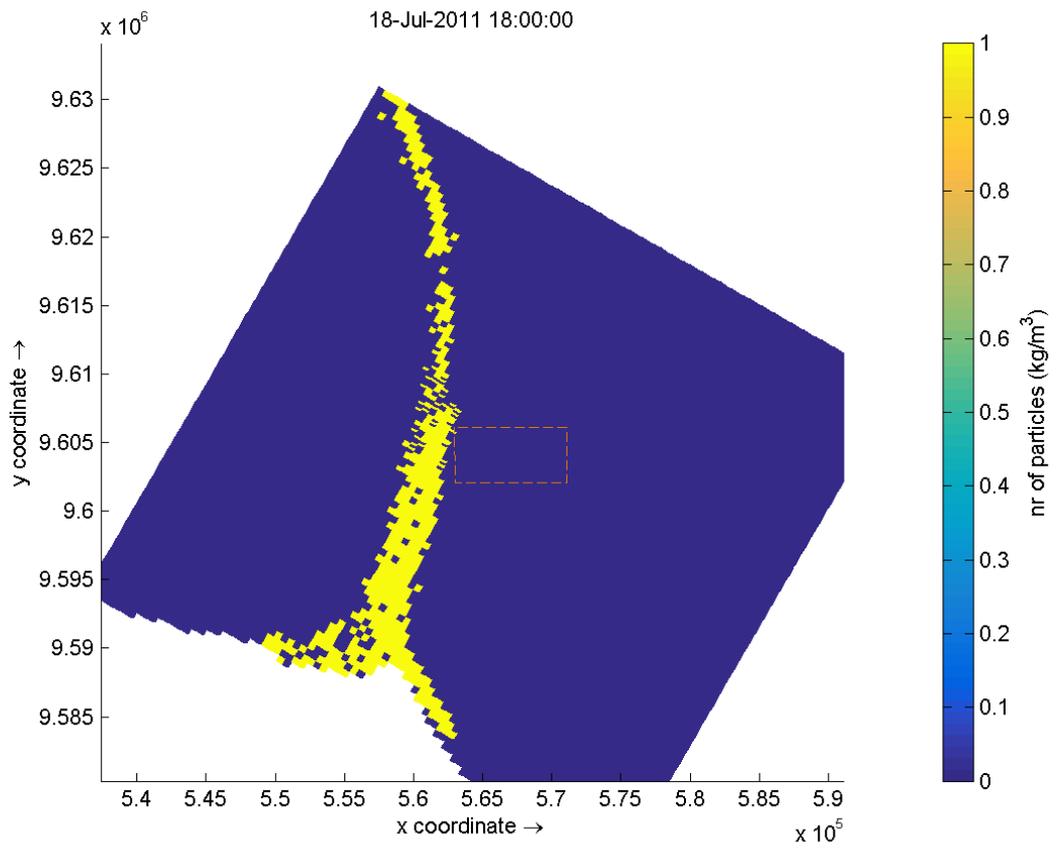
Fonte: o autor

Figura 51 - Momento das partículas do rio Cocó no dia 18/07/2011 às 17:30



Fonte: o autor

Figura 52 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó saem do PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 18 horas



Fonte: o autor

Figura 53 – Momento após a saída das partículas provenientes do rio Cocó do PEMPRM em 18/07/2011 na simulação, às 19 horas.

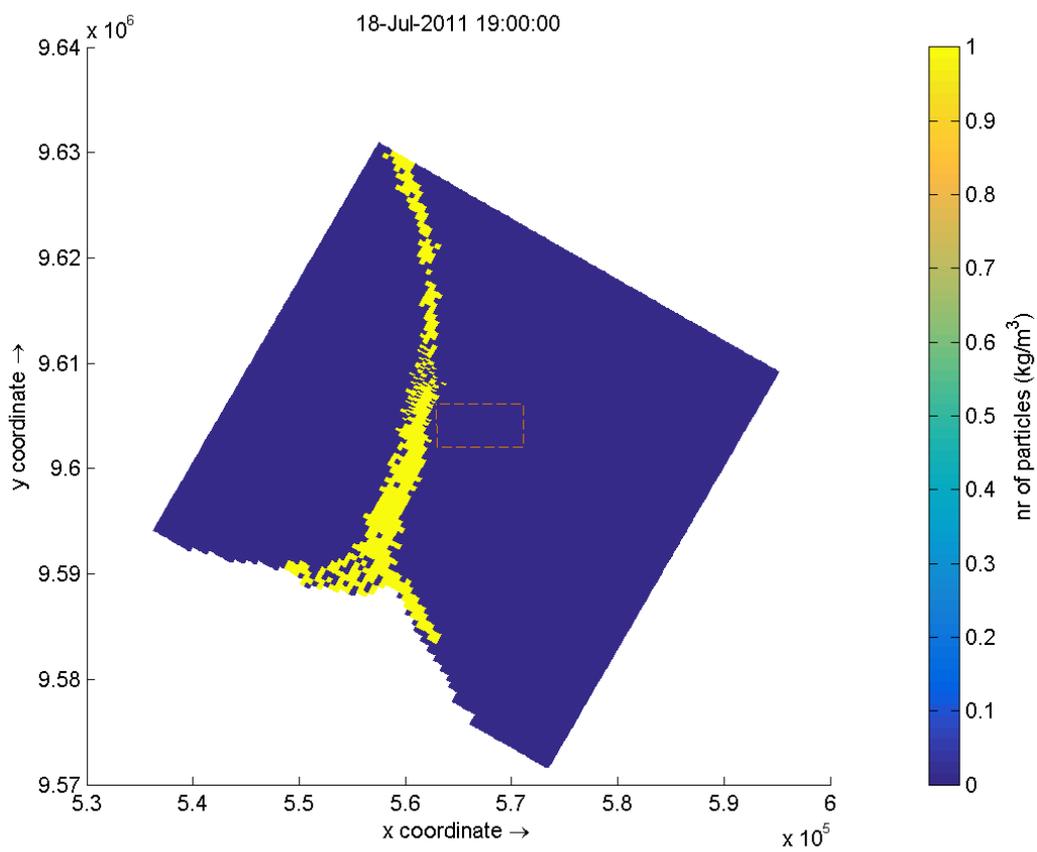
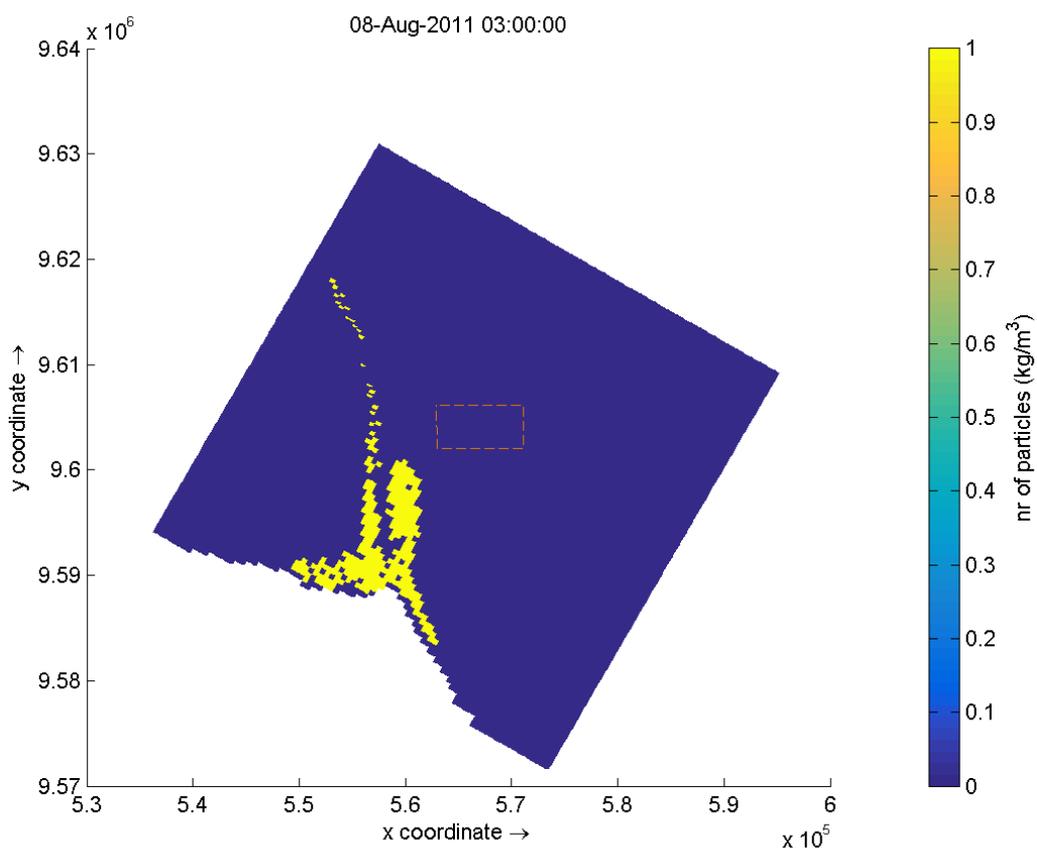


Figura 54 – Momento antes das partículas provenientes do rio Cocó entrarem no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 3 horas.



Fonte: O autor.

Figura 55 – Momento antes das partículas provenientes do rio Cocó entrarem no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 5 horas.

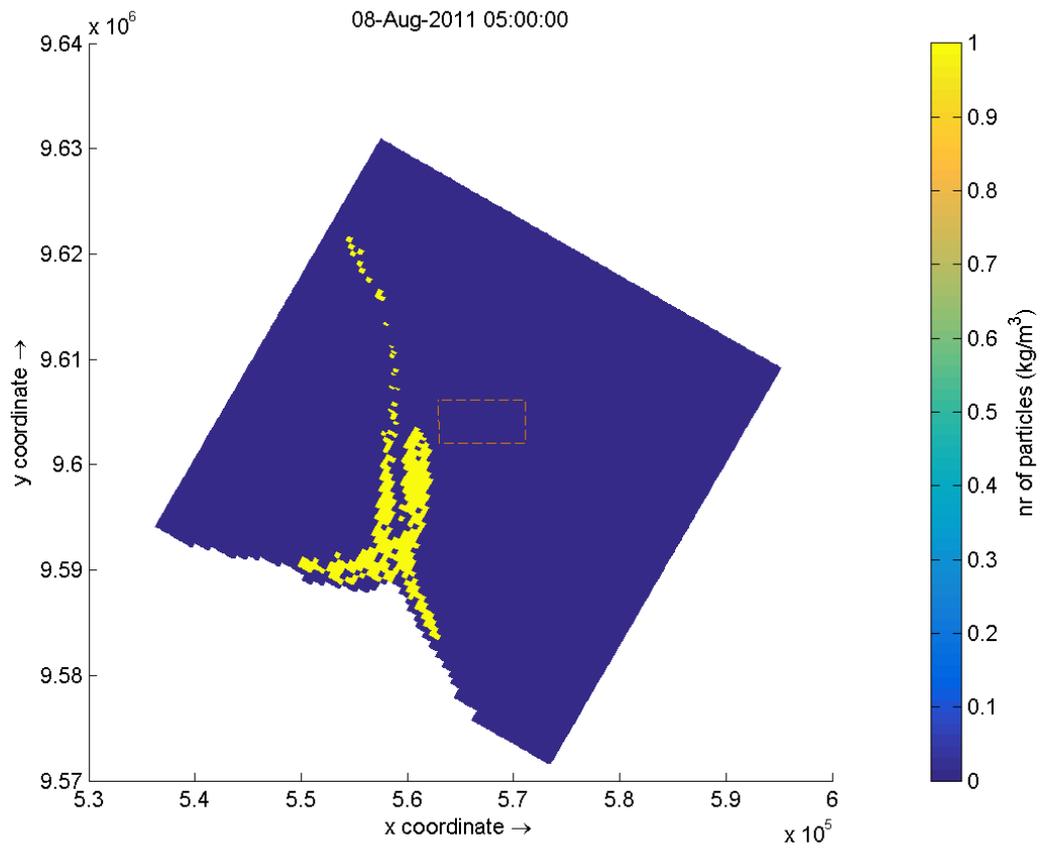
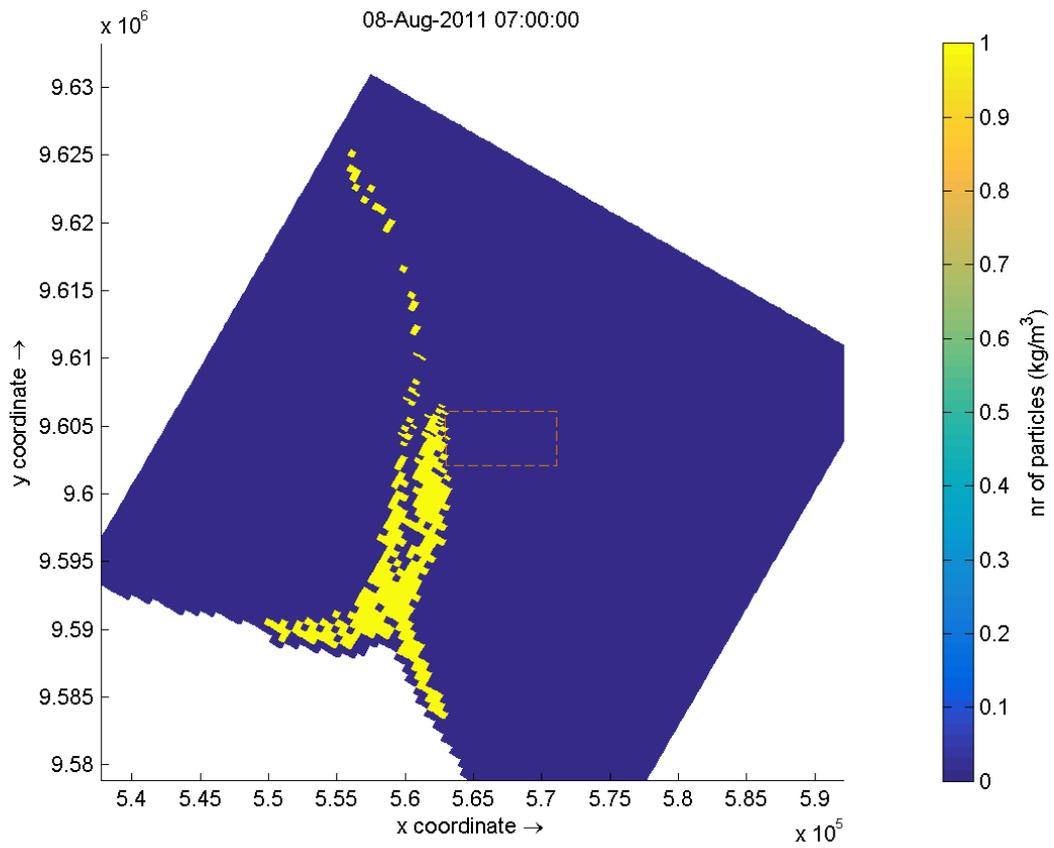
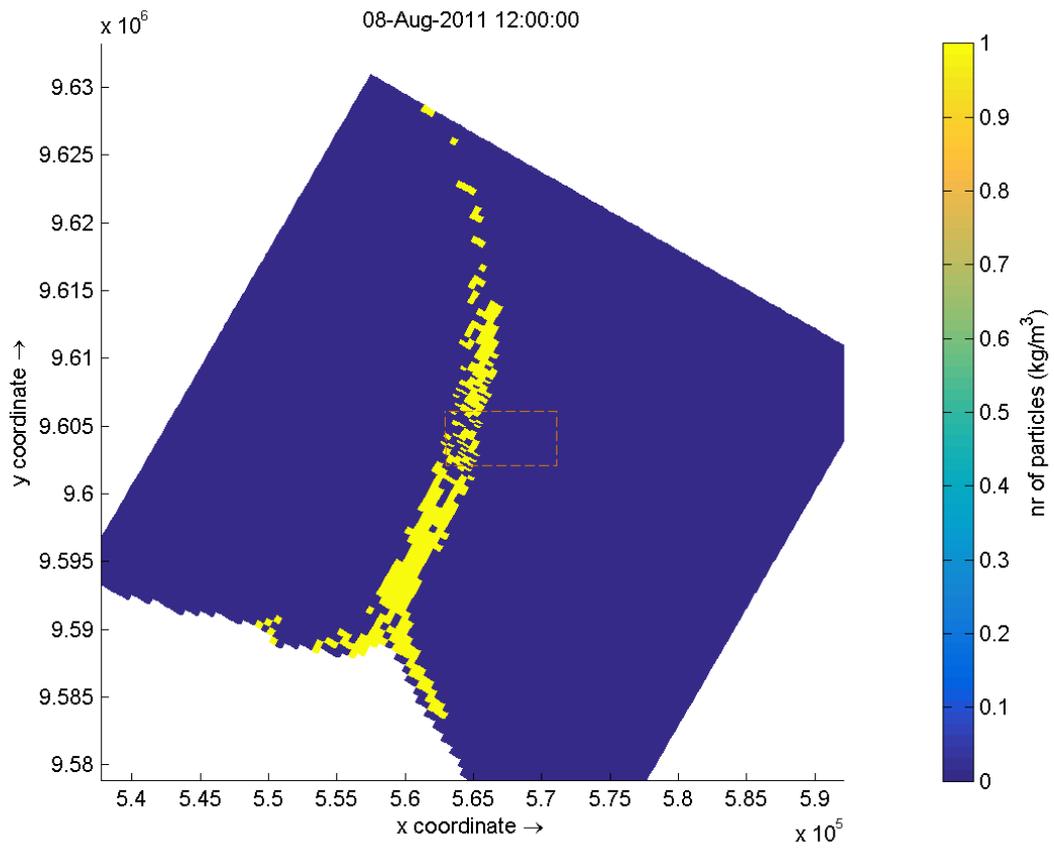


Figura 56 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó entram no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 7 horas.



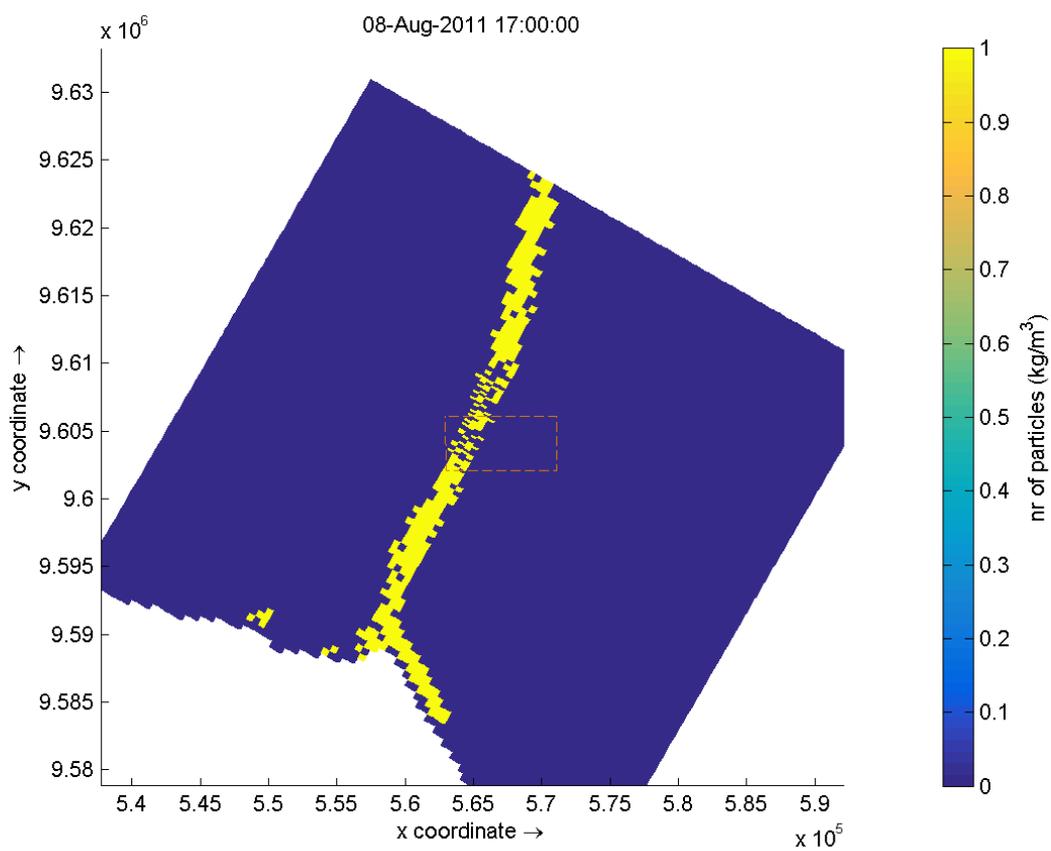
Fonte: o autor

Figura 57 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó se aproximam mais da parte central no PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 12 horas



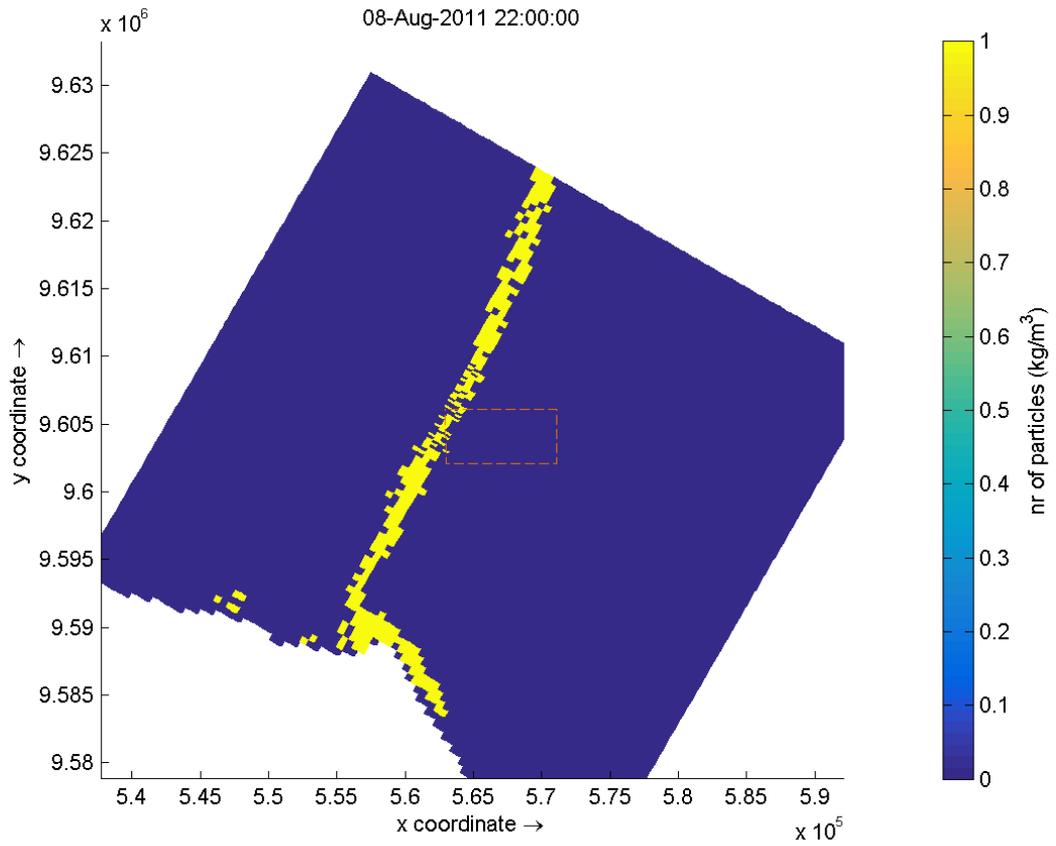
Fonte: o autor

Figura 58 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó se aproximam mais da parte central do PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 17 horas



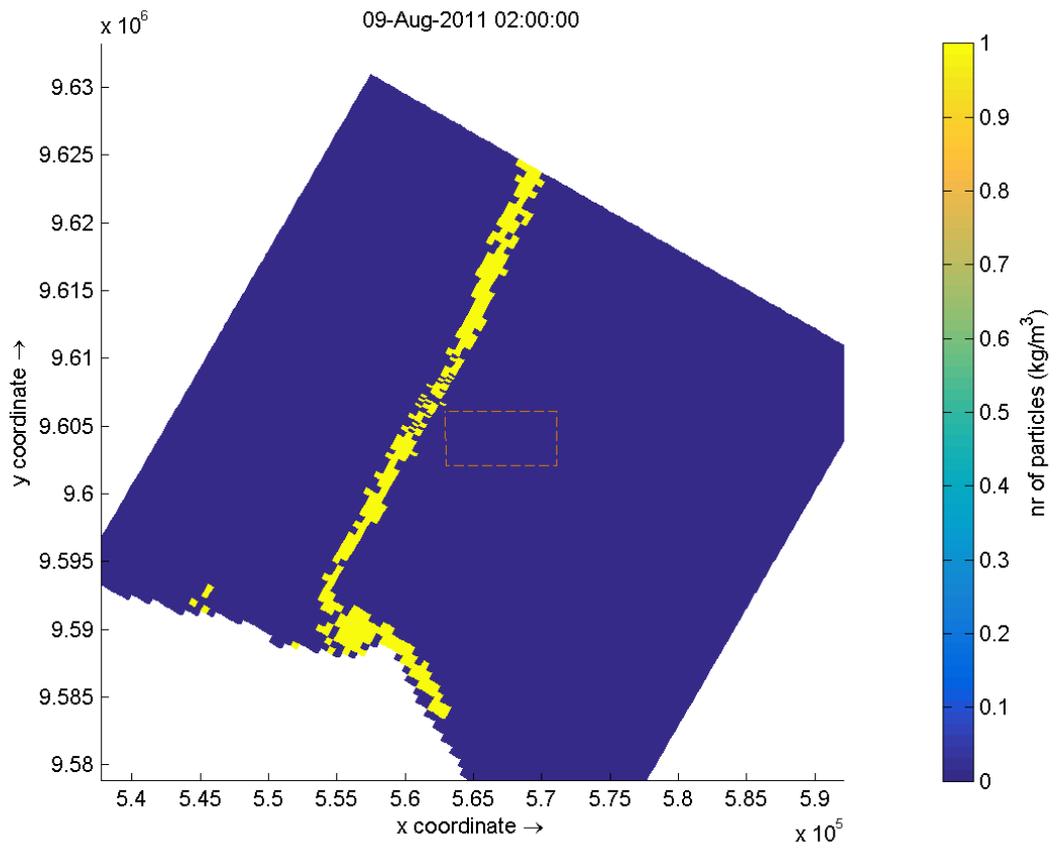
Fonte: o autor

Figura 59 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó se afastam da parte central do PEMPRM em 08/08/2011 na simulação, às 22 horas



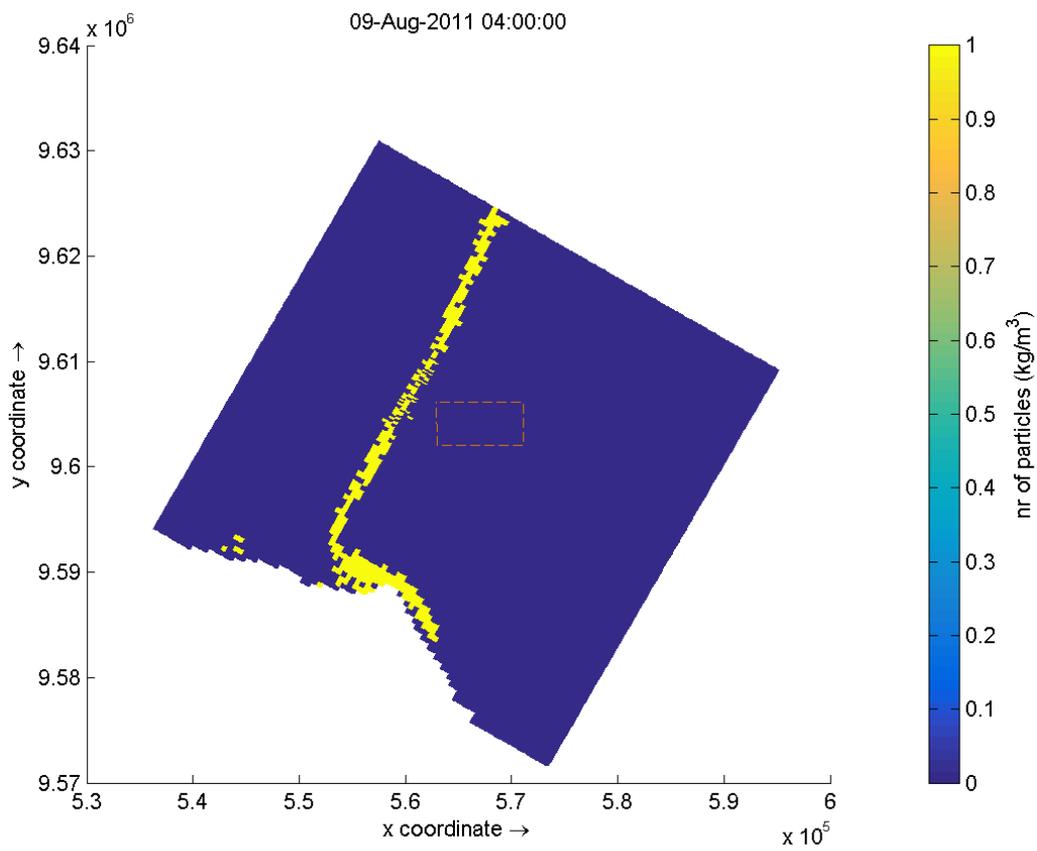
Fonte: o autor

Figura 60 – Momento em que as partículas provenientes do rio Cocó saem do PEMPRM em 09/08/2011 na simulação, às 2 horas.



Fonte: o autor

Figura 61 – Momento após as partículas provenientes do rio Cocó saírem do PEMPRM em 09/08/2011 na simulação, às 4 horas.



5 CONCLUSÃO

O presente trabalho mostra que o tempo de residência de partículas ou manchas de óleo no PEMPRM é de algumas horas e não há conectividade com o porto do Mucuripe, mas em algumas circunstâncias ocorre conectividade com o rio Cocó. O episódio simulado de maior tempo de permanência de partículas do rio Cocó na área do PEMPRM foi em agosto, que está dentro do período onde há maior intensidade de ventos, com ventos NE.

Como proposta para futuros estudos, pode ser interessante incluir a influência do rio Cocó nas simulações da hidrodinâmica, e verificar como isso altera a conectividade com o Parque.

REFERÊNCIAS

- DELTARES, Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. **User manual**. Delft3D, v. 3.15.52614, Holanda, 2019.
- DIAS, F. J. d. S.; CASTRO, B. M.; LACERDA, L. D. **Tidal and low-frequency currents off the Jaguaribe River estuary (4 S, 37 4 W), northeastern Brazil**. *Ocean Dynamics*, v. 68, n. 8, p. 967–985, aug 2018. ISSN 1616-7341. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10236-018-1172-6>>.
- FEMAR. **Catálogo de estações maregráficas brasileiras**. [S.l.]: Fundação de Estudos do Mar, 2000. ISBN 9788585966164.
- FROTA, Felipe Facó. **CORRENTES COSTEIRAS NA PLATAFORMA NORTE DO NORDESTE DO BRASIL**. 2015. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR (Fortaleza-CE) (Org.). **PRODUTO 1 – ADEQUAÇÃO DO PLANO DE TRABALHO: ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DO PARQUE ESTADUAL MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO**. 2019.
- MORAIS, J. O. de. ASPECTOS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO LITORAL DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, ESTADO DO CEARÁ, BRASIL. *Arquivo de Ciências do Mar*, **Arquivo de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 20, p. 71–100, 1980. Disponível em: <<http://www.labomar.ufc.br/wp-content/uploads/2017/01/acm-1980-20-1-2-07.pdf>>.
- PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. **Classical tidal harmonic analysis including error estimates in matlab using t_tide**. *Computers Geosciences*, v. 28, n. 8, p. 929 – 937, 2002. ISSN 0098-3004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300402000134>>.
- SCHETTINI, Carlos & MAIA, L.P & TRUCCOLO, Eliane. (2011). **ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO NÍVEL DA ÁGUA NA COSTA DE FORTALEZA, CEARÁ**. *Arq. Ciênc. Mar, Bras.* 44. 27-32.
- SIGNORINI, S. R.; MIRANDA, L. B. D. **Tidal and Low-Frequency Currents Near the Shelf-Break: Northeastern Coast of Brazil**. *Journal of Physical Oceanography*, v. 13, n. 11, p. 2107–2115, nov 1983. ISSN 0022-3670.
- SILVA, Júlio César da Costa. **A POLUIÇÃO NO RIO COCÓ, SUB-BACIA B-2, MARGEM DIREITA, E A EXPANSÃO URBANA DE FORTALEZA-CE**. 2013. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Unesp/rio Claro, Rio Claro - Sp, 2013a.
- SOARES, Marcelo de Oliveira et al. Gestão de unidades de conservação marinhas: o caso do Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, NE – Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, Fortaleza, v. 2, n. 11, p.257-268, 6 jun. 2011. Disponível em: <www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-261_Soares.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2011.

VIANA FILHO, José Airton Bezerra. **MODELAGEM DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS E CONTAMINANTES DO EMISSÁRIO SUBMARINO DE FORTALEZA, CE.** 2019. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

VIANNA, M. L.; MENEZES, V. V. **Singular Spectrum Analysis of Nonstationary Tidal Currents Applied to ADCP Data from the Northeast Brazilian Shelf.** *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 23, n. 1, p. 138–151, jan 2006. ISSN 0739-0572. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JTECH1824.1>>.

WANKHEDE, Anish. **Marine Heavy Fuel Oil (HFO) For Ships – Properties, Challenges and Treatment Methods.** 2018. Disponível em:

<<https://www.marineinsight.com/tech/marine-heavy-fuel-oil-hfo-for-ships-properties-challenges-and-treatment-methods/>>. Acesso em: 03 dez. 2018.

MOSKWA, Wojciech. **Norway police charge ship captain after fuel spill.** 2009. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/latestCrisis/idUSL391060>>. Acesso em: 24 jun. 2019.