GESTÃO AMBIENTAL
PROJETOS E CONSULTORIA

PORTO DO ITAQUI
EMAP

Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP

Plano de Emergência Individual - PEI

São Luís
Novembro 2019

Rua dos Angelins, Quadra J, N. 04A-1 - Renascença I - São Luís / MA, CEP: 65.076-030
(+55 98) 3083-5449 / 3088 0093 - E-Mail: sac@gestaoamb.com.br
Site: www.gestaoamb.com.br

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
CARTA SAO	Carta de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo
CBMMA	Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão
CCCOM	Centro de Controle de Comunicação
CEDRO	Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo
CPMA	Capitania dos Portos do Maranhão
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COAMB	Coordenadoria de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COSEP	Coordenação de Segurança Portuária
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
Dpc	Descarga de pior caso
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
GECOM	Assessor de Comunicação e Imprensa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica
IMO	*International Maritime Organization*
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PAH	Hidrocarbonetos Poliaromáticos
PCE	Plano de Controle de Emergência
PAM	Plano de Auxílio Mútuo
PAPS	Plano de Atendimento de Primeiros Socorros
PDZ	Plano de Desenvolvimento e Zoneamento
PEI	Plano de Emergência Individual
PGR	Programa de Gerenciamento de Risco
PLANCON	Plano de Contingência
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão
SIEMA	Sistema Nacional de Emergências Ambientais
SOLAS	*Safety Of Life At Sea*
TMPM	Terminal Marítimo de Ponta da Madeira
TUP	Terminal de Uso Privado
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
Vpc	Volume de Pior Caso
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição atual dos berços de atracação do Porto do Itaqui. Fonte: EMAP, 2018 22

Figura 2: Localização dos Portos do Golfão Maranhense. Fonte: Gestão Ambiental, 2018 24

Figura 3: Configuração dos canais de acesso marítimo do Porto do Itaqui 26

Figura 4: hinterlândia do Porto do Itaqui 27

Figura 5: Malha de acesso ferroviário ao Porto do Itaqui 28

Figura 6: Organograma da Estrutura Organizacional de Resposta**Erro! Indicador não definido.**

Figura 7A: Cerco completo à fonte ao mar. Fonte: PEI, 2012 EMAP 60

Figura 8: Contenção do tipo parcial utilizando parte do costado da embarcação como contenção. Fonte: PEI, 2012 EMAP..... 61

Figura 9: Contenção tipo bloqueio em sequência em águas com ventos fortes 62

Figura 10: Contenção do tipo deflexão em cascata. Fonte: PEI, 2012 EMAP..... 62

Figura 11A e 8B: Barreiras de contenção do tipo “excludente de áreas”..... 63

Figura 12: Conformação das barreiras em contenção em “U”. 64

Figura 13: Sub-bacias de drenagem que compõe a poligonal do Porto do Itaqui. Altimetria original AEROCARTA 2009. Datum vertical Imbituba, SC. 89

Figura 14: Batimetria áreas de berços e canais de acesso da EMAP no Porto do Itaqui firme. Batimetria DHN reflete situação da década de 1980..... 91

Figura 15: Detalhe da Batimetria no canal e berços do Porto do Itaqui. Batimetria DHN reflete situação da década de 1980. 92

Figura 16: Síntese da localização das principais unidades de paisagem, limites de inundação e dinâmica de maré da Área de Influência Direta (AID). A Área Diretamente Afetada (ADA) está também delimitada com seus berços principais identificados. A altimetria utilizada é a base AEROCARTA de 2009 e está referenciada ao datum vertical de Imbituba, SC. 95

Figura 17: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados no corpo d´água em cenário de acidente. 97

Figura 18: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados no corpo d´água em cenário de acidente em meia maré de enchente no Berço 108. Observar que o poluente será transportado à montante pelo canal principal e pela área interior entre os berços e o mangue. As setas azuis indicam o sentido do fluxo da maré de enchente. 99

Figura 19: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados acidentalmente no corpo d´água em cenário de acidente em início de maré de vazante no Berço 108. Esse é o cenário menos impactante com o poluente sendo afastado por fluxos externo e interno aos berços para longe das áreas de mangue. As setas azuis indicam o sentido do fluxo da maré de enchente. 101

Figura 20: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados acidentalmente no corpo d´água em cenário de acidente em meia maré de vazante no Berço 108. Esse é o segundo cenário menos impactante com o poluente sendo afastado pelo fluxo do canal principal. A seta azul indica o sentido do fluxo da maré de enchente. 103

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Etapas envolvidas na elaboração de análise de risco para distintas áreas de estudo e interesse (Kolluru 1996). 16

Quadro 2: Canais de comunicação para incidentes envolvendo derramamento de óleo e acionamento do fluxo de emergência 44

Quadro 3: Órgãos oficiais a serem informados em caso de acidente com derramamento de óleo. 47

Quadro 4: Fisiografia das sub-bacias de drenagem da área de estudo. 88

Quadro 5: Balanço hídrico anual das sub-bacias de drenagem 88

Quadro 6: Comparação de escoamento superficial com volumes de renovação por maré. 93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Embarcações que operam do Porto do Itaqui 29

Tabela 2: Embarcações utilizadas na praticagem no Porto do Itaqui 29

Tabela 3: Operações de Carga de Derivados de petróleo no Porto do Itaqui 30

Tabela 4: Dutos operacionais no Porto do Itaqui 32

Tabela 5: Equipamentos e veículos em operação no Porto do Itaqui 33

Tabela 6: Embarcações que operam no terminal de Ferryboat da Ponta da Espera 33

Tabela 7: Veículos em operação no terminal de Ferryboat da Ponta da Espera 34

Tabela 8: Embarcações que operam no terminal de Ferryboat do Cujupe 34

Tabela 9: Propriedade físico-química dos derivados de petróleo movimentados no Porto do Itaqui 35

Tabela 10: Hipóteses acidentais para situações de vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo embarcação de grande porte (navio) no Porto do Itaqui. 36

Tabela 11: Atribuições e locais de atuações dos membros do EOR 51

Tabela 12: Dimensionamento de equipamentos necessários ao atendimento de acidentes com derramamento de óleo no Porto do Itaqui. 54

Tabela 13: Especificações das barreiras de contenção conforme características do corpo d'água. 58

Tabela 14: Pontos de risco utilizados para a simulação de derramamento de óleo no relatório de modelagem matemática e respetivos volumes de pior caso e tipo de hidrocarboneto. .. 69

Tabela 15: Guia de correlação entre a aparência, espessura e volume de óleo na superfície da água. 77

Tabela 16: Programa de Treinamento 108

Tabela 17: Cálculo do CEDRO $_{\text{Requerido}}$ para os três tipos de descargas 120

Tabela 18: Dimensionamento dos recolhedores – Porto do Itaqui 120

Tabela 19: dimensionamento da capacidade nominal mínima de armazenamento para o Porto do Itaqui 122

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 11

1 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA DE CONSULTORIA E CONTRATANTE 12

1.1 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA DE CONSULTORIA 12
1.2 DADOS DO EMPREENDIMENTO 12

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E RISCOS 13

2.1 CONCEITOS BÁSICOS 14
2.2 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DE GESTÃO DE CENÁRIO DE RISCO NA PRÁTICA BRASILEIRA 17
2.3 INTEGRAÇÃO DE BANCO DE DADOS E CENÁRIOS CONTEXTUALIZANTES 19

3 IDENTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS 21

3.1 PORTO DO ITAQUI 21
3.2 PORTO GRANDE 23
3.3 PORTO DO CUJUPE 23
3.4 PORTO DE SÃO JOSÉ DE RIBAMAR 23
3.4.1 Acesso aos portos 25

4 IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS 29

5 CENÁRIOS ACIDENTAIS 35

5.1 DESCARGA DE PIOR CASO 35
5.1.1 Cenário Acidental 1 36
5.1.2 Cenário Acidental 2 37
5.1.3 Cenário Acidental 3 38
5.1.4 Cenário Acidental 4 39
5.1.5 Cenário Acidental 5 40
5.1.6 Cenário Acidental 6 42
5.1.7 Cenário Acidental 7 42

6 INFORMAÕES E PROCEDIMENTOS PARA RESPOSTA 43

6.1 SISTEMA DE ALERTA E DERRAMAMENTO DE ÓLEO 43
6.2 COMUNICAÇÃO DE ACIDENTE COM DERRAMAMENTO DE ÓLEO 43
6.2.1 Comunicação interna de acidente 43
6.2.2 Comunicação Externa 47
6.3 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DE RESPOSTA 48
6.4 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DE RESPOSTA 53
6.5 PROCEDIMENTOS PARA INTERRUPÇÃO DA DESCARGA DE ÓLEO 56
6.6 PROCEDIMENTOS PARA CONTENÇÃO DO DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM AMBIENTE AQUÁTICO 57
6.6.1 Disposição, posicionamento e ancoragem das barreiras de contenção 60
7 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE REGIONAL 64
7.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS 64
7.1.1 Condições climáticas 64
7.1.2 Condições hidrográficas 66
7.2 MODELAGEM MATEMÁTICA 67
7.2.1 Espécies vulneráveis 71
7.2.2 Fauna Aquática 71
7.2.3 Avifauna aquática 73
7.3 PROCEDIMENTOS PARA A PROTEÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS 73
7.4 PROCEDIMENTOS PARA MONITORAMENTO DA MANCHA DE ÓLEO 75
7.5 PROCEDIMENTOS PARA LIMPEZA DE ÁREAS ATINGIDAS 78
7.5.1 Estuários 78
7.5.2 Marismas 79
7.5.3 Praias 80
7.5.4 Manguezais 82
7.5.5 Procedimentos para Coleta e Disposição dos Resíduos Gerados 83
7.5.6 Procedimentos para Proteção das Populações 84
7.5.7 Procedimentos para Proteção da Fauna 85
8 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE LOCAL 86
8.1 SUB-BACIAS DE DRENAGEM E HIDROLOGIA LITORÂNEA 86
8.2 BATIMETRIA 90

8.3 DINÂMICA HIDROLÓGICA DE MARÉS 93
8.4 SÍNTESE DINÂMICA DAS UNIDADES DE PAISAGENS 94
8.5 CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE LOCAL 96
a) Cenário 1 - Vazamento em Início de Maré de Enchente 96
b) Cenário 2 - Vazamento em Meia Maré de Enchente 98
c) Cenário 3 - Vazamento em Início de Maré de Vazante 100
d) Cenário 4 - Vazamento em Meia Maré de Vazante 102
e) Síntese dos Cenários de Vazamento Acidental 104
9 SUBSÍDIOS PARA UM FUTURO PLANO DE ÁREA 104
10 ENCERRAMENTO DAS OPERAÇÕES 105
10.1 PROCEDIMENTOS PARA DESMOBILIZAÇÃO DO PESSOAL, EQUIPAMENTOS E MATERIAIS EMPREGADOS NAS AÇÕES DE RESPOSTA. 106
11 AÇÕES SUPLEMENTARES 106
12 TREINAMENTO DE PESSOAL E EXERCÍCIOS DE RESPOSTA 107
13 EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO DO PLANO 109
14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 110
15 RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO DO PLANO DE EMERGÊNCIA INDIVIDUAL PEI 112
16 ANEXOS 113

APRESENTAÇÃO

O presente documento trata-se da atualização do Plano de Emergência Individual – PEI, elaborado em 2012 que contempla os Portos do Itaqui, Porto Grande e os Terminais de Ferryboat e Cujupe, localizados em Alcântara/São Luís – MA e incluídos nesta atualização o Porto Turístico de São José de Ribamar.

O Plano de Emergência Individual (PEI) é uma exigência da Lei Federal Nº 9.966/2000 que se aplica a Portos organizados, Instalações Portuárias e Plataformas, bem como às suas instalações de apoio. O PEI pode ser considerado um plano de contingência e se trata de um documento que contém informações e descrições dos procedimentos de resposta diante de um incidente envolvendo derramamento de óleo e derivados.

A atualização deste documento foi realizada com base nos requisitos estabelecidos na Resolução CONAMA 398, de 11 de junho de 2008 e considera, especialmente, os incidentes de poluição por óleo cujas consequências fiquem restritas à Unidade Marítima.

O documento aqui apresentado constitui o principal instrumento de orientação em caso de acidentes envolvendo embarcações, veículos e equipamentos, descrevendo cenários acidentais, definindo a estrutura Organizacional de Resposta aos acidentes, além do dimensionamento de recursos humanos, equipamentos e materiais de resposta imediata no combate aos eventos com derramamento de óleo.

Os cenários acidentais abordados nesse estudo são aqueles referentes às operações realizadas nos Portos do Itaqui, Porto Grande, Terminal de Ferryboat da Ponta da Espera, Terminal de Ferryboat no Cujupe e Porto de São José de Ribamar que envolvam potencias riscos de poluição por vazamento óleo sendo estes provenientes de acidentes envolvendo desde embarcações de grande porte (navios), até embarcações de pequeno porte, veículos e equipamentos.

1 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA DE CONSULTORIA E CONTRATANTE

1.1 Identificação da Empresa de Consultoria

Nome: Gestão Ambiental Projetos e Consultoria Ltda

CNPJ nº: 12.286.996/0001-22

Telefone: (98) 3083.5449 / 3088 0093

Endereço: Rua dos Angelins, Qda. J, Nº 4A1 – Jardim São Francisco, São Luís/MA

CEP: 65.076-030

Contato: José Pereira de Alencar

E-mail: alencar@gestaoamb.com.br

1.2 Dados do Empreendimento

Nome: Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP

Endereço: Avenida dos Portugueses, s/n Porto do Itaqui, São Luís - MA.

CEP: 65.085-370

CNPJ: 03.650.060/0001-48

Insc. Municipal:

Telefone: 3216 6000; 3216 6566

Contato: ana.carvalho@emap.ma.gov.br

E-mail: meioambiente@emap.ma.gov.br

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E RISCOS

As etapas de instalação e operação de instalações industriais estão sujeitas ao risco de acidentes ocupacionais ou ambientais. Os acidentes ocupacionais são aqueles que afetam os trabalhadores no desempenho de suas atividades laborais, enquanto os acidentes ambientais podem afetar não só os trabalhadores e instalações da empresa, mas também as comunidades e unidades de paisagem em seu entono.

A Resolução no 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 23/01/1986 instituiu a necessidade de realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente. Integrados aos estudos ambientais, os Estudos de Análise de Risco (EAR) passam, assim, a ser também oficialmente exigidos.

A correta avaliação dos riscos é requisito fundamental para seu correto gerenciamento e redução. Não constitui surpresa, portanto, que estudos adicionais de risco sejam elaborados a partir do EAR, sendo os mais comuns:

- Programa de Gerenciamento de Risco (PGR)
- Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA);
- Programa de Emergência Individual (PEI);
- Plano de Controle de Emergência (PCE);
- Plano de Auxílio Mútuo (PAM)
- Plano de Contingência (PLANCON)
- Plano de Atendimento de Primeiros Socorros (PAPS)
- Plano ISPS CODE

A crescente complexidade dos processos industriais e sítios industriais adicionou a necessidade da análise integrada de riscos, pois EARs realizados separadamente para plantas ou instalações podem apresentar limitações na interpretação dos seus resultados, levando à subestimação do risco e à proposição de medidas de gerenciamento eventualmente insuficientes.

Os benefícios de uma avaliação de risco integrada são evidentes no caso específico da dutovia de granéis líquidos situada entre o Terminal Granel 1 e o Berço 108, que é operada por três empresas arrendatárias e com faixa de domínio cruzando rodovias, ferrovias e berços de uso múltiplo.

Atualmente os estudos de risco operacional das diversas empresas que operam as dutovias de graneis líquidos, esteiras transportadoras e grãos e terminais de carga geral no Porto do Itaqui são realizados de forma independente. Os PEI, por exemplo, foram elaborados separadamente pelas arrendatárias operadoras da dutovia. Importante ressaltar que o PEI, conforme estabelecido em legislação, são elaborados apenas para discutir cenários de risco operacional de portos que realizem carga e descarga de derivados de petróleo. Neles, por exemplo, não são abordados perigos adicionais representados por outras atividades de carga e descarga que ocorram simultaneamente e adjacentes às dutovias e terminais de óleos e derivados.

Nominalmente, o Porto do Itaqui tem todos os programas e planos associados com Estudos de Análise de Risco. Contudo, desconhece-se análise de sua capacidade e flexibilidade para incorporar análises de risco integradas e especificas como no caso da operação da dutovia entre o Terminal Granel 1 e o Berço 108.

2.1 Conceitos Básicos

Os conceitos apresentados a seguir são uma seleção daqueles apresentados em CETESB (2011):

Risco

Medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre frequência de ocorrência de um ou mais cenários acidentais e a magnitude dos efeitos físicos associados a esses cenários.

Estimativa de risco

Combinação das frequências e do número de vítimas dos cenários acidentais de interesse para fornecer uma medida de risco individual ou de risco social.

Estudo de Análise de Risco (EAR)

Estudo quantitativo de risco de um empreendimento, baseado em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e de efeitos físicos, avaliação de vulnerabilidade e na estimativa do risco.

Avaliação de risco

Processo pelo qual os resultados da estimativa de risco são utilizados para a tomada de decisão, por meio de critérios comparativos de risco, visando à definição da estratégia de gerenciamento do risco.

Avaliação de vulnerabilidade

Estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, às instalações e ao meio ambiente, baseado em limites de tolerância para os efeitos de sobrepressão advindos de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos advindos de exposição a substâncias químicas.

Gerenciamento de risco

Processo de controle de risco compreendendo a formulação e a implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar o risco, bem como manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil.

Análise cuidadosa do Quadro 1 revela que uma análise de risco é composta de quatro etapas que apresentam certa variação para as distintas áreas de estudo. No caso de análise de risco em operações e processos industriais, a primeira etapa consiste na identificação dos perigos associados com diferentes tipos de materiais, equipamentos e procedimentos. Uma segunda etapa da avaliação se caracteriza pela estimativa de frequência, ou probabilidade, de ocorrência do perigo, enquanto que a terceira caracteriza as consequências dos impactos considerando a natureza e magnitude dos perigos. É interessante observar o equívoco comum de considerar a terceira etapa, de discussão de consequências, como a fase final da avaliação de risco. Também comum é confundir probabilidade com risco.

Um critério simples para distinguir probabilidade, consequência e avaliação de risco é que esta última será sempre uma contextualização de probabilidade e consequências. Em outras palavras, a análise de risco para determinada atividade em determinado local

sempre será única, pois reflete as peculiaridades ambientais e sociais que interagirão com probabilidades e frequências relativamente uniformes.

Quadro 1: Etapas envolvidas na elaboração de análise de risco para distintas áreas de estudo e interesse (Kolluru 1996).

ETAPA	SEGURANÇA	SAÚDE HUMANA	ECOLÓGICO - AMBIENTAL
1	**Identificação de Perigo**	**Análise de Dados / Identificação de Perigo**	**Formulação do Problema / Filtragem (Seleção) de Perigos**
Características	Seleção nas categorias de materiais, equipamentos e procedimentos	Quantidades e concentrações de agentes químicos, físicos e biológicos	Seleção nas categorias de espécies residentes ou transientes, ameaçadas ou em extinção, e aspectos de estressores naturais e antrópicos já existentes na área
2	**Probabilidade / Estimativa da Frequência de Causas**	**Avaliação do Grau de Exposição**	**Avaliação do Grau de Exposição**
Características	Probabilidade de iniciação e propagação de eventos a partir de causas internas e externas	Processos metabólicos, receptores potenciais, taxas e tempo de exposição	Cadeias alimentares habitats, ou populações potencialmente susceptíveis, especialmente espécies de maior valor e protegidas
3	**Análise de Consequências**	**Dose - Response ou Avaliação de Toxicidade**	**Avaliação dos Efeitos de Toxicidade**
Características	Natureza, magnitude e probabilidade de efeitos adversos; padrões meteorológicos	Relação entre exposição e dose e efeitos adversos na saúde	Testes em ambientes terrestres, aquáticos e microbianos
4	**Avaliação de Risco**	**Caracterização de Risco**	**Caracterização de Risco**
Características	Avaliação quantitativa dos riscos de segurança a partir da Integração de probabilidades e consequências	Avaliação quantitativa e qualitativa dos riscos a saúde a partir da integração dos dados de toxicidade e nível de exposição	Caracterização de risco ecológico significante a partir da integração de levantamentos de campo e dados sobre exposição de flora e fauna ao contaminante

2.2 Instrumentos de análise de gestão de cenário de risco na prática brasileira

Vários são os instrumentos legais que estabelecem exigências de gestão de riscos em ambientes industriais. A maioria enfoca as ações de resposta emergenciais e poucos consideram os aspectos do planejamento estratégico como prevenção de riscos.

As normas mais antigas basicamente são apenas portarias específicas do Ministério do Trabalho, tais como a portaria MTb nº 3.214, de 08 de junho de 1978, que criou o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) e o Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) versando sobre segurança e saúde ocupacional na mineração.

Data também do Século XX o conceito de Plano de Controle de Emergência (PCE) que contempla procedimentos de resposta às situações emergenciais que eventualmente possam vir a ocorrer nas instalações do Porto e define as atribuições e responsabilidades dos envolvidos.

No final do Século XX e primeiras décadas do Século XXI as normas de gestão de risco passam a ser apresentadas na forma de leis. Exemplo maior está na Lei Federal nº 9.966 de 29 de abril de 2000, em seu Art. 7º, estabeleceu que:

Os portos organizados, instalações portuárias e plataformas, bem como suas instalações de apoio, deverão dispor de planos de emergência individuais para o combate à poluição por óleo e substâncias nocivas ou perigosas, os quais serão submetidos à aprovação do órgão ambiental competente.

A responsabilidade do operador portuário na gestão de riscos é consolidada na Lei Federal nº 1.2815 de 5 de junho de 2013, que estabeleceu em seu Art. 17 que compete à administração do porto organizado assegurar a realização da atividade portuária com regularidade, eficiência, segurança e respeito ao meio ambiente.

Os PCE mais comumente elaborados para os portos brasileiros são o Programa de Emergência Individual (PEI) e o Plano de Auxílio Mútuo (PAM). Também comuns são o Plano de Área, que consolida os PEI individuais, o Plano de Contingência (PLANCON), o Plano de Atendimento de Primeiros Socorros (PAPS), e o Plano ISPS CODE. A seguir é apresentada uma breve síntese dos principais planos.

Plano de Emergência Individual (PEI)

O PEI foi regulamentado na Resolução CONAMA nº 398 de 11 de junho de 2008 que determinou que terminais portuários que operassem com carga de óleo deveriam dispor

de Plano de Emergência Individual (PEI) para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional.

Em termos concretos, o Plano de Emergência Individual (PEI) é o documento ou conjunto de documentos que contém as informações e descreve os procedimentos de resposta da instalação (portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares) a um incidente de poluição por óleo, em águas sob jurisdição nacional, decorrente de suas atividades.

Plano de Auxílio Mútuo (PAM)

O PAM é uma associação voluntária para auxílio mútuo em situações de emergência entre empresas, municípios, órgãos públicos municipais, estaduais e federais o Corpo de Bombeiros e a Defesa Civil. Estão contemplados pelo PAM todos os incidentes e acidentes nas instalações e áreas de atuação das empresas integrantes envolvendo situações de risco e cenários de fogo, explosão, vazamento em geral e derramamento.

Plano de Contingência em Emergência de Saúde Pública e Internacional

Um Plano de Contingência é um planejamento de resposta que define os procedimentos, ações e decisões que devem ser tomadas na ocorrência de desastre. Em conceito mais específico, do Ministério da Integração, teríamos:

"Documento que registra o planejamento elaborado a partir da percepção e análise de um ou mais cenários de risco de desastres e estabelece os procedimentos para ações de monitoramento (acompanhamento das ameaças), alerta, alarme, fuga, socorro, assistência às vítimas e restabelecimento de serviços essenciais".

Plano ISPS CODE

O ISPS Code (International Ship And Port Facility Security Code) - Código Internacional para Proteção de Navios e Instalações Portuárias - foi instituído pela Organização Marítima Internacional (IMO) em novembro de 2001 e passou a ser cumprida pelos portos brasileiros em 2004. O Código tem como objetivo dissuadir ataques terroristas contra navios e portos.

Plano de Controle de Emergência (PCE)

Parte integrante dos procedimentos de saúde, segurança e Meio Ambiente do Porto do Itaqui. O plano contém ações/decisões a serem tomadas seguindo os fluxogramas

organizados dos potenciais efeitos sociais, econômicos e ambientais relacionados a emergências no Porto do Itaqui. (PCE Porto do Itaqui, vigência 2019-2020).

Plano de Área Complexo Portuário do Itaqui-PA-CPI

Estabelece mecanismos de ação conjunta para ampliação e facilitação da capacidade de resposta a serem implementados em caso de incidentes de poluição por óleo no mar de origem conhecida, que extrapolem a capacidade de resposta dos Planos de Emergência Individuais (PEI) das empresas signatárias do PA-CPI e orienta ações necessárias de origem desconhecida. (PACPI, 2019).

2.3 Integração de banco de dados e cenários contextualizantes

Todos os estudos de análise de risco ambiental demandam a caracterização e elaboração de base cartográfica das operações e infraestruturas industriais passíveis de acidentes e incidentes com possibilidade de afetarem direta ou indiretamente a qualidade de vida humana e o meio ambiente.

No caso de instalações portuárias que carregam derivados de petróleo, e têm obrigação legal de elaborarem Plano de Emergência Individual, essa caracterização espacial é denominada de Plano de Área, definido na Resolução CONAMA nº 398 de 11 de junho de 2008 como:

“ documento ou conjunto de documentos que contenham as informações, medidas e ações referentes a uma área de concentração de portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos ou plataformas e suas respectivas instalações de apoio, que visem integrar os diversos Planos de Emergência Individuais da área para o combate de incidentes de poluição por Óleo, bem como facilitar e ampliar a capacidade de resposta deste Plano e orientar as ações necessárias na ocorrência de incidentes de poluição por Óleo de origem desconhecida;”

Um Plano de Área é bastante completo e considera não apenas a infraestrutura portuária e operações, mas também o relevo e as bacias de drenagem. Abaixo apresenta-se o texto do item 5 - mapas, cartas náuticas, plantas, desenhos e fotografias – do Anexo I da Resolução CONAMA nº 398 que versa sobre a referida base cartográfica:

Deverão constar desta seção todos os mapas, cartas náuticas, plantas, desenhos e fotografias, incluindo obrigatoriamente:

a) planta geral da instalação, em papel e em formato digital, em escala apropriada, contendo e identificando, conforme o caso, a localização de:

- Tanques, dutos, equipamentos de processo, operações de carga e descarga e outras fontes potenciais de derramamento;

- Sistemas de contenção secundária;

- Equipamentos e materiais de resposta a incidentes de poluição por óleo.

b) planta de drenagem da instalação, em papel ou em formato digital, em escala apropriada, contendo e identificando, conforme o caso:

- Principais pontos e linhas de drenagem de água contaminada e água pluvial;

- Direções dos fluxos de derramamento de óleo a partir dos pontos de descarga até os limites da instalação.

c) mapas de vulnerabilidade resultantes da análise realizada de acordo com a seção 3 do Anexo II.

d) versões em preto e branco dos mapas referidos na letra "c", no tamanho A-4, contendo obrigatoriamente uma escala gráfica, para possibilitar seu envio via fax, sendo toleradas simplificações desde que não ocorra prejuízo ao seu conteúdo informativo.

Análise do atual PEI da Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP) revela detalhadas identificações das fontes potenciais de derrame dentre as diversas instalações associadas com o suporte logístico das operações de carga e descarga de derivados de petróleo. Contudo, estas informações não foram materializadas em bases cartográficas georreferenciadas com o cadastro de infraestrutura, padrões de drenagem superficial e principais unidades de paisagem das áreas de inserção das dutovias e entorno.

A não materialização não comprometeu a análise de risco tradicional, que utilizou a metodologia APP (Análise Preliminar de Perigo), para as operações de carga de derivados de petróleo. Contudo, impede que a análise de risco seja integrada às análises de risco das outras empresas que também operam com a dutovia de granéis líquidos.

3 IDENTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS

3.1 Porto do Itaqui

No dia 28 de dezembro de 1973 foi criada a Companhia Docas do Maranhão (CODOMAR), subordinada ao Governo Federal, para administração do Porto. A partir de fevereiro de 2001, por meio do Convênio de Delegação n° 016/2000, assinado entre o Ministério dos Transportes e o Governo do Estado, o Porto do Itaqui passou a ser gerenciado pela Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP).

O porto então denominado Porto do Itaqui está localizado no módulo G do Distrito Industrial de São Luís – DISAL, na Baia de São Marcos, litoral oeste da ilha.

O Porto Organizado do Itaqui compreende as áreas de atracação e acostagem, áreas de armazenagens, áreas de serviços, e de instalações portuárias variadas com contratos a arrendatários.

Trata-se de um porto com localização geográfica privilegiada devido à proximidade com o mercado exterior, com extenso canal de acesso totalmente balizado, com extensa área de fundeio, configurando-se como um dos portos destaque no cenário brasileiro movimentando no ano de 2017 um total de 19.113.977 toneladas, em 2018 movimentou 22.403.221 toneladas e em 2019 um total de 25.171.459 toneladas, dois quais, 7.778.073 toneladas (30,90%) correspondem a granéis líquidos (somente derivado de petróleo). A região é conhecida também por apresentar grandes variações de maré podendo chegar aos 7 metros de amplitude. (relatório de movimentação de cargas JAN-DEZ 2019, disponível em http://www.portodoitaqui.ma.gov.br/porto-do-itaqui/operacoes-portuarias/movimentacao-de-carga).

O porto do Itaqui dispões hoje de 2.156 m de cais acostável, distribuídos em 8 (oito) berços de atracação identificados do berço 100 ao berço 108, Figura 1. Desse total, 2 (dois) são denominados Piers, o píer 106 e o píer 108 ambos destinados a movimentação de granéis líquidos derivados de petróleo. Há ainda o berço 105 onde ocorre a atividade duto bunker.

O berço 108 construído recentemente é dedicado exclusivamente a operações de granéis líquidos, possui a capacidade para receber embarcações com comprimento de até 300 metros e calado máximo de 14,5 metros possuindo 4 dolfins modernos de atracação.

Figura 1: Distribuição atual dos berços de atracação do Porto do Itaqui. **Fonte:** EMAP, 2018

3.2 Porto Grande

O terminal do Porto Grande está localizado na porção ao sul do Porto do Itaqui. Foi utilizado para atracação de embarcações de apoio offshore além de embarcações pesqueiras até 2013. Em 2015 passou a ser administrado novamente pela Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP e atualmente o Porto encontra-se desativado.

3.3 Porto do Cujupe

O Porto do Cujupe está localizado no município de Alcântara, no Maranhão próximo a ilha do Cajual e recebe embarcações do Ferry boat oriundos do Terminal da Ponta da Espera em São Luís, transportando diariamente passageiros e ônibus, veículos pesados (caminhões) e veículos leves de passeio.

3.4 Porto de São José de Ribamar

O Porto de São José de Ribamar está localizado no Município de São José de Ribamar, na grande Ilha de São Luís. Totalmente reformado em 2017, possui atualmente 4.600 metros de extensão e conta com estruturas de atracação de barcos pesqueiros. **Atualmente o porto de Ribamar é utilizado apenas para fins turísticos**.

A localização dos portos do Golfão maranhense está em destaque na Figura 2 a seguir.

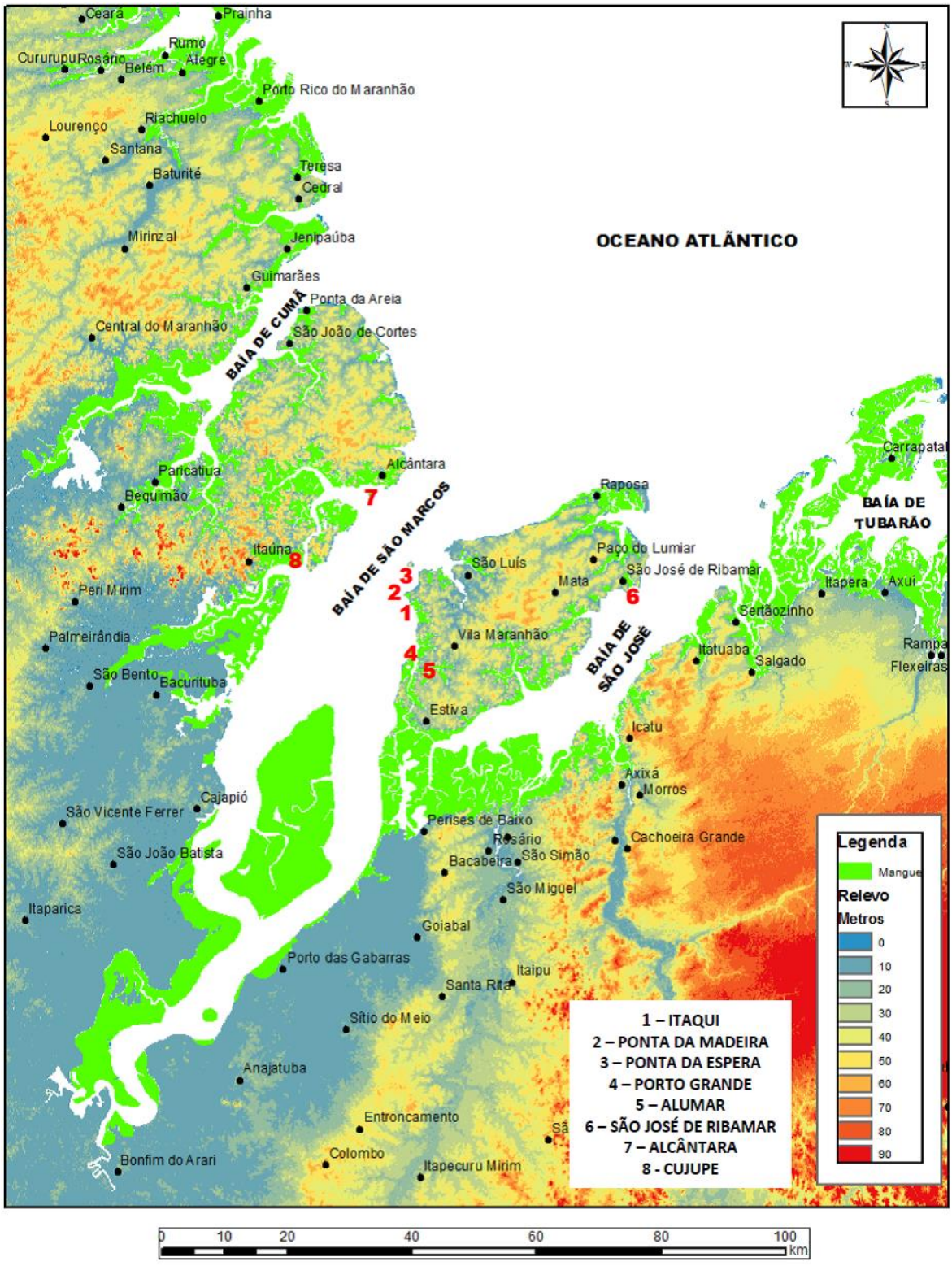


Figura 2: Localização dos Portos do Golfão Maranhense**. Fonte:** Gestão Ambiental, 2018

3.4.1 Acesso aos portos

a) Acesso marítimo

O canal de acesso ao Complexo Portuário do Itaqui é dividido em quatro trechos. Os dois primeiros, denominados Canal Externo e Canal Intermediário, são de utilização comum a todas as instalações portuárias do Complexo, estendendo-se da entrada da Baía de São Luís até as instalações do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM). O terceiro trecho é denominado Canal Interno e possui duas seções, uma a leste e outra a oeste da Ilha de Guarapirá. A primeira é utilizada somente pelos navegantes que demandam o Porto do Itaqui, já a segunda é compartilhada com todas as embarcações que seguem em direção ao Estreito de Coqueiros. O último canal a ser descrito é o Canal de Aproximação do TUP Alumar, localizado nesse mesmo estreito, (Plano Mestre Porto do Itaqui, 2018).

A Figura 03 apresenta a configuração do canal de acesso e a localização do Complexo Portuário do Itaqui.

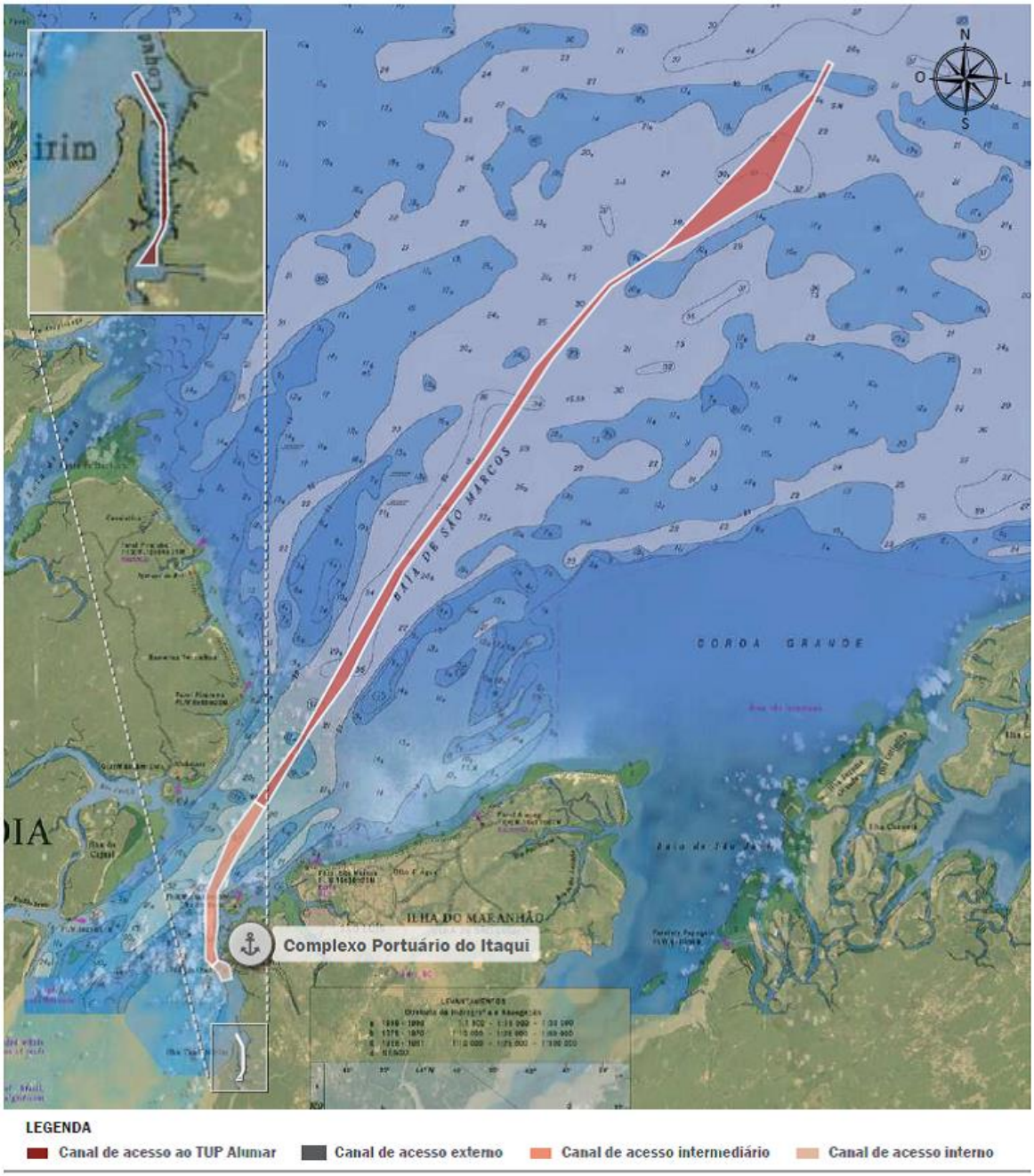


Figura 3: Configuração dos canais de acesso marítimo do Porto do Itaqui
Fonte: PDZ – EMAP, 2018

b) Acesso rodoviário

A hinterlândia do Complexo Portuário do Itaqui é composta pelas rodovias BR-135 e BR-222, por meio das quais as cargas provindas do modal rodoviário, que tem como origem ou destino o Complexo Portuário, chegam aos terminais. No trecho entre os municípios de Itapecuru Mirim (MA) e Miranda do Norte (MA), as rodovias BR-135 e BR-222 são coincidentes e serão tratadas no presente estudo como BR-135. A localização das rodovias da hinterlândia pode ser observada na Figura 04, (Plano Mestre Porto do Itaqui, 2018).

Figura 4: hinterlândia do Porto do Itaqui
Fonte: PDZ – EMAP, 2018

c) Acesso ferroviário

A malha ferroviária associada ao Complexo Portuário do Itaqui é composta pela FTL, pela EFC – concessionada à Vale S.A. – e pela Ferrovia Norte-Sul - Tramo Norte (FNSTN), operada pela VLI Multimodal S.A. Na Figura 05 é possível visualizar a malha ferroviária associada ao Complexo Portuário do Itaqui, (Plano Mestre Porto do Itaqui, 2018).

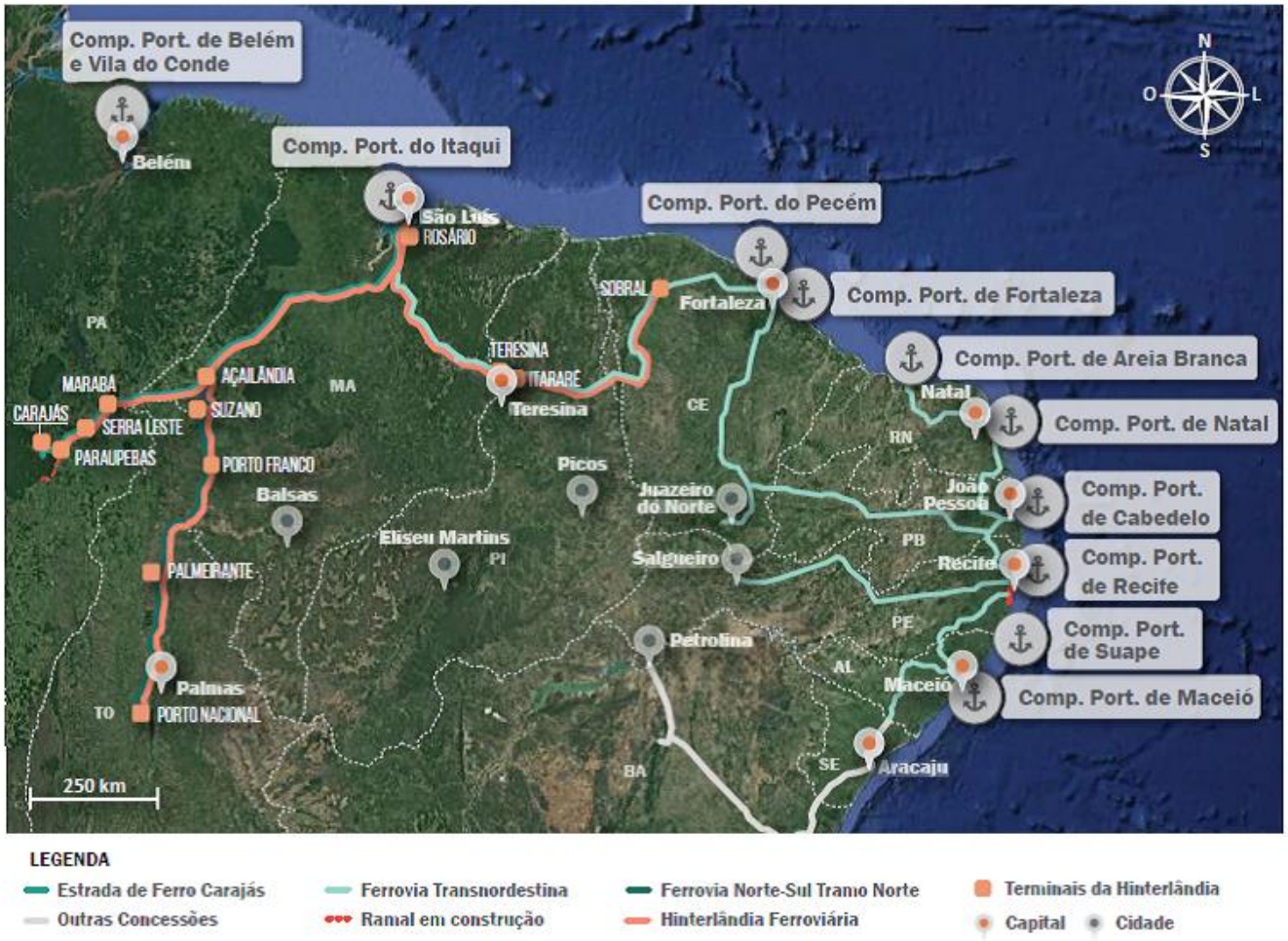


Figura 5: Malha de acesso ferroviário ao Porto do Itaqui
Fonte: PDZ – EMAP, 2018

4 IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS

As potenciais fontes e as possíveis consequências de acidentes com derramamento de óleo nos Portos do Itaqui, Porto Grande, Terminal da Ponta da Espera, Terminal do Cujupe e Porto de São José de Ribamar estão identificados e avaliados a seguir.

Tabela 1: Embarcações que operam do Porto do Itaqui

Tipo de fonte ou operação	Tipo de Tanque	Tipo de produto	Volume do Maior Tanque	Volume total (m^3)	Datas e causas de incidentes anteriores
Navio Graneleiro /Carga Geral	Combustível	MF-380	500	3000	-
	Lubrificante	Óleo Lubrificante	50	50	
	Óleo diesel	Óleo diesel Marítimo	250	250	
Navio Petroleiro	Combustível	MF-380	500	3500	-
	Lubrificante	Óleo Lubrificante	50	50	-
	Óleo diesel	Óleo Diesel Marítimo	250	250	-
	Carga	Óleos Diversos	10.000	60.000	-
Rebocador	Combustível	Óleo Diesel Marítimo	44	140	-
	Lubrificante	Óleo Lubrificante	2	2	-

Tabela 2: Embarcações utilizadas na praticagem no Porto do Itaqui

Embarcação	Material do Tanque	Tipo de Tanque	Tipo de Produto	Volume em m^3	Datas e causas de acidentes anteriores
São Carlos	Alumínio	Combustível	Diesel S-500	0,3	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,14	
São José	Fibra	Combustível	Diesel S-500	1,8	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,06	
Charlie	Fibra	Combustível	Diesel S-500	1,8	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,06	
São Nicolau	Fibra	Combustível	Diesel S-500	0,08	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,06	
São Marcos	Fibra	Combustível	Diesel S-500	0,06	-

Embarcação	Material do Tanque	Tipo de Tanque	Tipo de Produto	Volume em m^3	Datas e causas de acidentes anteriores
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,04	
São Thiago	Fibra	Combustível	Diesel S-500	0,06	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,04	
São Lucas	Fibra	Combustível	Diesel S-500	0,08	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,06	
São Jorge	Fibra	Combustível	Diesel S-500	0,05	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,04	
Santa Maria	Fibra	Combustível	Diesel S-500	0,06	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,04	
Golf	Fibra	Combustível	Diesel S-500	0,02	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,02	
Bravo	Ferro	Combustível	Diesel S-500	0,02	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,02	
Delta	Ferro	Combustível	Diesel S-500	0,2	-
		Lubrificante	Óleo lubrificante	0,02	

Tabela 3: Operações de Carga de Derivados de petróleo no Porto do Itaqui

Tipo de Operação	Tipo de Substância Transferida	Vazão máxima de Transferência	Data e Causa de Incidentes Anteriores
Carga e descarga de navios petroleiros por meio de dutos	Derivados de Petróleo*	1000 m^3/h 16,6m^3/min	-
Abastecimento de embarcações de praticagem por caminhão tanque	Óleo diesel S-500	1,2 m^3/h 0,02m^3/min	
Abastecimento de rebocadores por caminhão tanque	Óleo diesel Marítimo	10m^3/h 0,16m^3/min	
Abastecimento de navio por meio de dutos no Berço 106 e 108	Óleo MF-380	2400m3/h 40m^3/h	
Retirada de resíduos oleosos (sludge) de navio para caminhão tanque	Resíduo Oleoso	5m^3/h 0,08m^3/min	
Retirada de resíduos oleosos de navio por meio de galões para caminhão.	Resíduo Oleoso	4 galões (4 x 200L = 800L)	

Abastecimento de navio por meio de caminhão tanque	Óleo MF-380	1,2 m^3/h 0,02m^3/min	

* MF-380, MF 350, Óleo diesel HGO, S1800, Biodiesel, gasolina, etanol, QAV (querosene de aviação), nafta, óleo não combustível.

Tabela 4: Dutos operacionais no Porto do Itaqui

Identificação dos dutos	Diâmetro do duto (m)	Tipo de produto	Pressão máxima	Temperatura máxima	Vazão máxima (m^3/h)	Comprimento do duto (m)	Data e Causa de Incidentes Anteriores
P1-8”-AC	8’’ou 0,2032 m	Gasolina/ OD-S10, S500 ou marítimo/ etanol anidro ou hidratado/ soda caustica	10	Ambiente	350	1384,4	-
P2-8”-AC	0,219	Gasolina/ OD-S10, S500 ou marítimo/ etanol anidro ou hidratado/ soda caustica	10	Ambiente	350	1384,4	10/10/2016*
P3-8”-AC	0,219	Gasolina/ OD - S10, S500 ou marítimo/ etanol anidro ou hidratado/ soda caustica	10	Ambiente	350	1384,4	-
Tubulação de claros	0,2	QAV-1, GASOLINA A, MGO, ODS-10, ODS-500	7	28	16,66	2500	-
Tubulação de claros	0,25	QAV-1, GASOLINA A, MGO, ODS-10, ODS-500	7	28	20	2500	-
Tubulação de claros	0,15	QAV-1, GASOLINA A, MGO,	7	28	8,3	2500	-

Identificação dos dutos	Diâmetro do duto (m)	Tipo de produto	Pressão máxima	Temperatura máxima	Vazão máxima (m^3/h)	Comprimento do duto (m)	Data e Causa de Incidentes Anteriores
		ODS-10, ODS-500					
Tubulação de escuros	0,2	MF/OC	7	60	10	2500	-
Tubulação de escuros	0,25	MF/OC	7	60	13	2500	-
Tubulação de escuros	0,15	MF/OC	7	60	7	2500	-

*Oxidação da tubulação devido a presença de minério de ferro sobre a tubulação.

Tabela 5: Equipamentos e veículos em operação no Porto do Itaqui

Tipo de fonte	Tipo de tanque	Tipo de produto	Volume em m^3	Datas e causas de acidentes anteriores
Caminhões de carga/pranchões	Combustível	Óleo diesel	0,275	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,0195	
Tratores de pátio	Combustível	Óleo diesel	0,9	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,05	
Pá carregadeira	Combustível	Óleo diesel	0,19	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,12	
Empilhadeiras	Combustível	Óleo diesel	0,1	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,05	
Guindastes	Combustível	Óleo diesel	6	25/09/2016*
	Óleo hidráulico	Óleo hidráulico	1,5	
Caminhão Tanque	Combustível	Óleo diesel	0,275	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,0195	
	Carga	Óleo diesel	30	-
		MF-380	30	
Locomotiva	Combustível	Óleo diesel	1	-
Reach stacker	Combustível	Óleo diesel	0,425	
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,1	

*Incêndio com o guindaste de grande porte.

Tabela 6: Embarcações que operam no terminal de Ferryboat da Ponta da Espera

Tipo de fonte ou operação	Tipo de Tanque	Tipo de produto	Volume do Maior Tanque	Volume total (m^3)	Datas e causas de incidentes anteriores
Ferryboat	Combustível	Óleo diesel	21	21	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,6	0,6	

Tabela 7: Veículos em operação no terminal de Ferryboat da Ponta da Espera

Tipo de fonte ou operação	Tipo de Tanque	Tipo de produto	Volume do Maior Tanque	Volume total (m^3)	Datas e causas de incidentes anteriores
Ferryboat	Combustível	Óleo diesel	21	21	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,6	0,6	

Tabela 8: Embarcações que operam no terminal de Ferryboat do Cujupe

Tipo de fonte ou operação	Tipo de Tanque	Tipo de produto	Volume do Maior Tanque	Volume total (m^3)	Datas e causas de incidentes anteriores
Ferryboat	Combustível	Óleo diesel	21	21	-
	Lubrificante	Óleo lubrificante	0,6	0,6	

5 CENÁRIOS ACIDENTAIS

Os cenários acidentais serão relacionados e discutidos tomando-se por base a identificação das fontes e riscos de poluição identificados no item anterior. As hipóteses acidentais levam em consideração os cenários de riscos de acidentes com poluição por hidrocarbonetos e derivados nas áreas de influência dos portos sob a administração da EMAP.

5.1 Descarga de Pior Caso

A hipótese de descarga de pior caso – Dpc que será levado em consideração é a de colisão e encalhe de embarcação com maior tanque em operação no Porto do Itaqui ocasionando rompimento de casco e consequentemente vazamento de volume de 10.000m^3 de derivados de petróleo.

Tabela 9: Propriedade físico-química dos derivados de petróleo movimentados no Porto do Itaqui

Produto	Ponto de fulgor	Densidade	Viscosidade
Óleo diesel	38°C	8,17 a 866 kg/m^3	0,41 Cst
Gasolina	-43°C	0,815 a 0,853 g/cm³	2 – 4,5 Cst a 40ºC
MF-380	60°C	0,9878g/cc	380 Cst a 50°C

Os cenários acidentais serão descritos em forma de tabela de forma direta e clara para melhor entendimento das hipóteses acidentais nos casos envolvendo embarcações que são operadas nos portos sob a administração da EMAP.

5.1.1 Cenário Acidental 1

Risco: acidente envolvendo embarcação de grande porte - navio

Hipóteses acidentais: para o cenário acidental 1 apresenta-se as seguintes hipóteses acidentais.

Tabela 10: Hipóteses acidentais para situações de vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo embarcação de grande porte (navio) no Porto do Itaqui.

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo embarcação de grande porte - navio petroleiro
H1	**Causa**	Ruptura do costado do navio e tanques de carga em decorrência de abalroamento entre navios, embarcações menores, objetos não identificados e encalhes.
	Produto derramado	Óleo MF-380
	Vazamento	Contínuo
	Efeitos	Poluição do mar
	Volume derramado	Vpc* = v1 = 10.000 m^3

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo embarcação de grande porte - navio petroleiro
H2	**Causa**	Ruptura do costado do navio, tanques de carga e tanque de serviço em decorrência de abalroamento entre navios, embarcações menores, objetos não identificados e encalhes.
	Produto derramado	Óleo MF-380, óleo diesel, óleo lubrificante ou óleo hidráulico.
	Vazamento	Contínuo
	Efeitos	Poluição do Mar e Encosta
	Volume derramado	Vpc* = v1* = 10.000 m^3

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo embarcação de grande porte - navio petroleiro
H3	**Causa**	Ruptura do costado do navio causando a ruptura dos tanques de cargas ocasionado por abalroamento do navio com superficies fixas (cais, terminal, dolfin, dentre outros), durante manobra de atracação ou desatracação.
	Produto derramado	Óleo MF-380
	Vazamento	Contínuo
	Efeitos	Poluição do Mar
	Volume derramado	Vpc* = v1* = 10.000 m^3

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo embarcação de grande porte - navio petroleiro
H4	**Causa**	Ruptura do costado do navio causando a ruptura dos tanques de cargas e serviço, ocasionado por abalroamento do navio com superficies fixas (cais, terminal, dolfin, dentre outros), durante manobra de atracação ou desatracação.
	Produto derramado	Óleo MF-380, óleo diesel, óleo lubrificante ou óleo hidráulico.
	Vazamento	Contínuo
	Efeitos	Poluição do Mar
	Volume derramado	Vpc* = v1* = 10.000 m^3

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

5.1.2 Cenário Acidental 2

Risco: acidente envolvendo embarcações de serviço – apoio portuário, praticagem no Porto do Itaqui.
Hipóteses acidentais: para o cenário acidental 2 apresenta-se as seguintes hipóteses acidentais.

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo embarcação de serviço – apoio portuário
H5	**Causa**	Ruptura de costado e tanque de combustível de uma embarcação de apoio/praticagem devido abalroamento com outras embarcações.
	Produto derramado	Óleo diesel, óleo lubrificante
	Vazamento	Continuo
	Efeitos	Poluição do mar
	Volume derramado	Vpc = V1 = 1,8m^3 Vp= V1 = 0,14m^3 Vpc=1,94m^3 (volume derramado, referente ao maior tanque de uma embarcação de praticagem)

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo embarcação de serviço – apoio portuário
H6	**Causa**	Ruptura de costado e tanque de combustível de uma lancha de praticagem devido abalroamento com estruturas fixas (cais, terminais, dolfins, etc) e encalhe.
	Produto derramado	Óleo diesel, óleo lubrificante
	Vazamento	Continuo

	Efeitos	Poluição do mar
	Volume derramado	Vpc = V1 = 1,8m^3 Vp= V1 = 0,14m^3 Vpc=1,94m^3 (volume derramado, referente ao maior tanque de um rebocador e volume de óleo lubrificante)

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

N° da hipótese	**Descrição**	**Acidente envolvendo embarcação de serviço – apoio portuário**
H7	**Causa**	Abalroamento e naufrágio de lancha de praticagem
	Produto derramado	Óleo diesel, óleo lubrificante
	Vazamento	Continuo
	Efeitos	Poluição do mar
	Volume derramado	Vpc = V1 = 1,8m^3 Vp= V1 = 0,14m^3 Vpc=1,94m^3 (volume derramado, referente ao maior tanque de um rebocador e volume de óleo lubrificante)

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

5.1.3 Cenário Acidental 3

Risco: Acidente envolvendo veículos em operação de carga e descarga de hidrocarbonetos no Porto do Itaqui.
Hipóteses acidentais: para o cenário acidental 3 apresenta-se as seguintes hipóteses acidentais.

N° da hipótese	**Descrição**	**Acidente envolvendo embarcação de serviço – apoio portuário**
H8	**Causa**	Rompimento de mangote durante abastecimento de rebocadores por meio de caminhão tanque.
	Produto derramado	Óleo diesel
	Vazamento	Continuo
	Efeitos	Derramamento de óleo no convés da embarcação e ou piso do cais com possibilidade de derramamento direto no mar
	Volume derramado	Vpc = (T1+T2) x Q1* = (1min + 1 min) x 0,16m^3/min = 0,32 m^3 Vpc = (T1+T2) x Q1* = (3min + 1 min) x 0,16m^3/min = 0,64 m^3 Vpc = (T1+T2) x Q1* = (5min + 1 min) x 0,16m^3/min = 0,96 m^3

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo navio
H9	**Causa**	Rompimento de mangote durante abastecimento de navios por meio de caminhão tanque.
	Produto derramado	Óleo MF-380
	Vazamento	Continuo
	Efeitos	Derramamento de óleo no convés da embarcação e ou piso do cais com possibilidade de derramamento direto no mar
	Volume derramado	Vpc = (T1+T2) x Q1* = (1min + 1 min) x 0,16m^3/min = 0,32 m^3 Vpc = (T1+T2) x Q1* = (3min + 1 min) x 0,16m^3/min = 0,64 m^3 Vpc = (T1+T2) x Q1* = (5min + 1 min) x 0,16m^3/min = 0,96 m^3

Vpc= Volume de pior caso
*T1= tempo estimado para detecção do derramamento
*T2= tempo estimado entre a detecção do derramamento e a interrupção da operação de transferência

5.1.4 Cenário Acidental 4

Risco: Acidente envolvendo ruptura dos dutos e/ou mangotes durante transferência de produtos derivados de hidrocarbonetos no Porto do Itaqui.
Hipóteses acidentais: para o cenário acidental 4 apresenta-se as seguintes hipóteses acidentais.

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo ruptura dos dutos de transferência de hidrocarbonetos dos berços aos armazéns no Porto do Itaqui
H10	**Causa**	Vazamento devido à ruptura de um dos dutos de movimentação de produtos derivados, químicos e biocombustíveis (P1-8''-AC, P2-8''-AC e P3-8''-AC).
	Produto derramado	Gasolina/ Óleo diesel S10, S500 ou marítimo/ etanol anidro ou hidratado/ soda caústica.
	Vazamento	Contínuo.
	Efeitos	Dependendo do local do vazamento, poderá ocorrer contaminação do piso, solo, píer e inclusive mar.
	Volume derramado	Vpc* = (T1*+T2*) x Q1*+ V1* = (2min + 3min) x 5,83 m^3/min + 46 m^3 = 75,17m^3.

Vpc= Volume de pior caso
*T1= tempo estimado para detecção do derramamento
*T2= tempo estimado entre a detecção do derramamento e a interrupção da operação de transferência

*Q1= vazão máxima de operação do duto
*V1 = volume no interior do duto

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo ruptura dos dutos de transferência de hidrocarbonetos dos berços aos armazéns no Porto do Itaqui
H11	**Causa**	Vazamento devido à ruptura de um dos dutos de movimentação de produtos claros.
	Produto derramado	QAV-1, GASOLINA A, MGO, ODS-10, ODS-500
	Vazamento	Contínuo.
	Efeitos	Dependendo do local do vazamento, poderá ocorrer contaminação do piso, solo, píer e inclusive mar.
	Volume derramado	Vpc* = (T1*+T2*) x Q1*+ V1* = (2min + 3min) x 0,33 m³/min + 122,7 m³ = 124,35m^3.

Vpc= Volume de pior caso
*T1= tempo estimado para detecção do derramamento
*T2= tempo estimado entre a detecção do derramamento e a interrupção da operação de transferência
*Q1= vazão máxima de operação do duto
*V1 = volume no interior do duto

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo ruptura dos dutos de transferência de hidrocarbonetos dos berços aos armazéns no Porto do Itaqui
H12	**Causa**	Vazamento devido à ruptura de um dos dutos de movimentação de produtos escuros.
	Produto derramado	MF/OC
	Vazamento	Contínuo.
	Efeitos	Dependendo do local do vazamento, poderá ocorrer contaminação do piso, solo, píer e inclusive mar.
	Volume derramado	Vpc* = (T1*+T2*) x Q1*+ V1* = (2min + 3min) x 0,21 m³/min + 122,7 m³ = 123,75m^3.

Vpc= Volume de pior caso
*T1= tempo estimado para detecção do derramamento
*T2= tempo estimado entre a detecção do derramamento e a interrupção da operação de transferência
*Q1= vazão máxima de operação do duto
*V1 = volume no interior do duto

5.1.5 Cenário Acidental 5

Risco: Acidente envolvendo caminhões e equipamentos em operação no Porto do Itaqui.
Hipóteses acidentais: para o cenário acidental 5 apresenta-se as seguintes hipóteses acidentais.

N° da hipótese	Descrição	Acidente envolvendo veículos e/ou equipamentos em operação no porto do Itaqui, ocasionado por

		abalroamento com outros veículos ou máquinas e/ou estruturas fixas ocasionando ruptura de tanque de combustível
H13	**Causa**	Abalroamento com outros veículos, estruturas fixas e tombamento
	Produto derramado	Óleo diesel, óleo lubrificante e MF-380
	Vazamento	Continuo
	Efeitos	Contaminação do piso do pátio e/ou píer com possibilidade de cair na canaleta e ser direcionado para o mar
	Volume derramado	Vpc =V1 = 30m^3, Óleo diesel (volume de maior tanque) Vpc=V1= 0,275m^3, Óleo diesel (volume de maior tanque) Vpc=V1= 0,0195m^3, óleo lubrificante (volume derramado, referente ao maior tanque de um caminhão tanque), Vpc=V1=30 m^3, MF-380 (volume derramado referente à capacidade de carga de um caminhão tanque)

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

A descarga de pior caso para derramamento de MF-380 corresponde ao tanque de carga de um veículo tanque, Vpc = 30m^3

A descarga de pior caso para derramamento de Óleo diesel corresponde ao tanque de carga de um veículo tanque, Vpc = 30m^3

A descarga de pior caso para derramamento de óleo lubrificante corresponde ao tanque de carga de um veículo tanque, Vpc = 0,0195m^3 (volume derramado, referente ao maior tanque de um caminhão tanque).

N° da hipótese	**Descrição**	**Acidente envolvendo veículos e/ou equipamentos em operação no porto do Itaqui, ocasionado por abalroamento com outros veículos ou máquinas e/ou estruturas fixas ocasionando ruptura de tanque de combustível**
H14	**Causa**	Ruptura de tanque de combustível de locomotiva ocasionado por tombamento na área do Porto do Itaqui
	Produto derramado	Óleo diesel
	Vazamento	Instantâneo e continuo
	Efeitos	Contaminação do piso do pátio e/ou píer com possibilidade de cair na canaleta e ser direcionado para o mar

	Volume derramado	Vpc =V1 = 1 m^3, Óleo diesel (volume de maior tanque)

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

5.1.6 Cenário Acidental 6

Risco: Acidente envolvendo embarcações do Ferryboat no terminal da Ponta da Espera.
Hipóteses acidentais: para o cenário acidental 5 apresenta-se as seguintes hipóteses acidentais.

N° da hipótese	**Descrição**	**Acidente envolvendo embarcação de serviço – apoio portuário**
H15	**Causa**	Ruptura de costado e tanque de combustível do ferryboat devido abalroamento com outra embarcação e/ou com estruturas fixas e ou encalhe.
	Produto derramado	Óleo diesel, óleo lubrificante
	Vazamento	Continuo
	Efeitos	Poluição do mar
	Volume derramado	Vpc = V1 = 21m^3 (volume derramado de óleo diesel, referente ao maior tanque de um ferryboat) Vp= V1 = 0,6m^3(volume derramado, referente ao maior tanque de óleo lubrificante de um ferryboat)

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

5.1.7 Cenário Acidental 7

Risco: Acidente envolvendo embarcações do Ferryboat no terminal do Cujupe.
Hipóteses acidentais: para o cenário acidental 5 apresenta-se as seguintes hipóteses acidentais.

N° da hipótese	**Descrição**	**Acidente envolvendo embarcação de serviço – apoio portuário**
H16	**Causa**	Ruptura de costado e tanque de combustível do ferryboat devido abalroamento com outra embarcação e/ou com estruturas fixas e ou encalhe.
	Produto derramado	Óleo diesel, óleo lubrificante
	Vazamento	Continuo
	Efeitos	Poluição do mar
	Volume derramado	Vpc = V1 = 21m^3 (volume derramado de óleo diesel, referente ao maior tanque de um ferryboat) Vp= V1 = 0,6m^3(volume derramado, referente ao maior tanque de óleo lubrificante de um ferryboat)

*Vpc= Volume de pior caso
*V1= capacidade máxima do tanque de maior capacidade

6 INFORMAÕES E PROCEDIMENTOS PARA RESPOSTA

Neste capítulo estão relacionadas todas as informações e procedimentos de resposta necessários em caso de acidentes com derramamento de óleo no Porto do Itaqui e terminais externos operados e gerenciados pela Empresa Maranhense de Administração Portuária – EMAP.

6.1 Sistema de alerta e derramamento de óleo

As principais linhas de comunicação e informação em caso de acidentes com derramamento de óleo utilizadas na área do Porto do Itaqui são realizadas por meio do Canal 01 do rádio comunicador além dos números fixos convencionais (RAMAL 5) e telefones celulares.

A EMAP possui ainda no Porto do Itaqui uma central de monitoramento por câmeras (CFTV) interligado ao Centro de Controle de Comunicação – CCCOM e vigilantes 24h presentes nas portarias e volantes nas áreas de controle da EMAP. O Centro de Controle de Comunicação está sob a responsabilidade da Gerência de Segurança Portuária – GESEP. Todo e qualquer incidente envolvendo derramamento de óleo deverá ser informado por meio dos contatos de emergência para o devido acionamento do fluxo de comunicação de emergência, que repassará a informação ao setor de meio ambiente.

6.2 Comunicação de acidente com derramamento de óleo

6.2.1 Comunicação interna de acidente

Todas as emergências ambientais deverão ser comunicadas ao Centro de Controle de Comunicação – CCCOM que por sua vez acionará o fluxo de comunicação de emergência.

Assim que informado o incidente a COAMB deverá acionar a Estrutura Organizacional de Resposta – EOR que em caso de derramamento com óleo ao mar deverá acionar imediatamente o Plano de Emergência Individual – PEI e iniciar os procedimentos de resposta para contenção da fonte de vazamento de óleo e informar aos órgãos oficiais, Quadro 2.

Quadro 2: Canais de comunicação para incidentes envolvendo derramamento de óleo e acionamento do fluxo de emergência

SETOR	TELEFONE	CANAL DE RÁDIO	RAMAL
Centro de Controle de Comunicação – (CCCOM)	(98)3231-7444 (98) 98454-9662	CANAL 1	5
Área de Meio Ambiente	(98) 3216-6566 (98) 3216-6087 (98)3216-6589 (plantão)	CANAL 1	-

A comunicação de acidente nos terminais externos, Terminal de Ferryboat da Ponta da Espera, Terminal de Ferryboat do Cujupe, e Porto Grande possuem vigilantes em regime de 24h e são orientados a usar os canais de comunicação descritos no Quadro 2 para informar qualquer acidente que ocorra nos terminais.

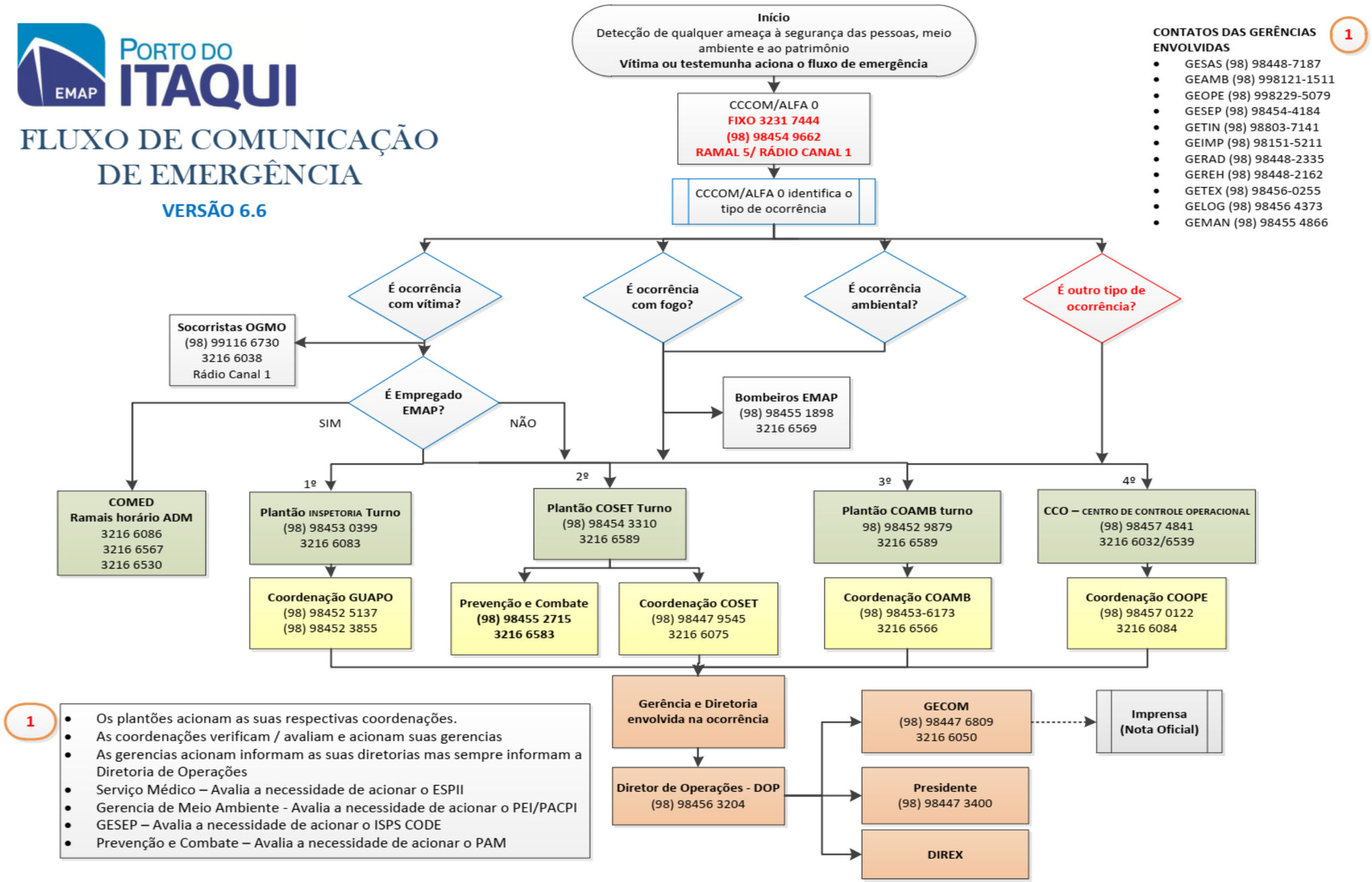
Para uma melhor visualização e entendimento das etapas de comunicação de acidentes envolvendo derramamento de óleo segue abaixo um fluxograma de comunicação

Fluxograma 1: Fluxograma de Comunicação de Emergência

PORTO DO ITAQUI

FLUXO DE COMUNICAÇÃO DE EMERGÊNCIA

VERSÃO 6.6



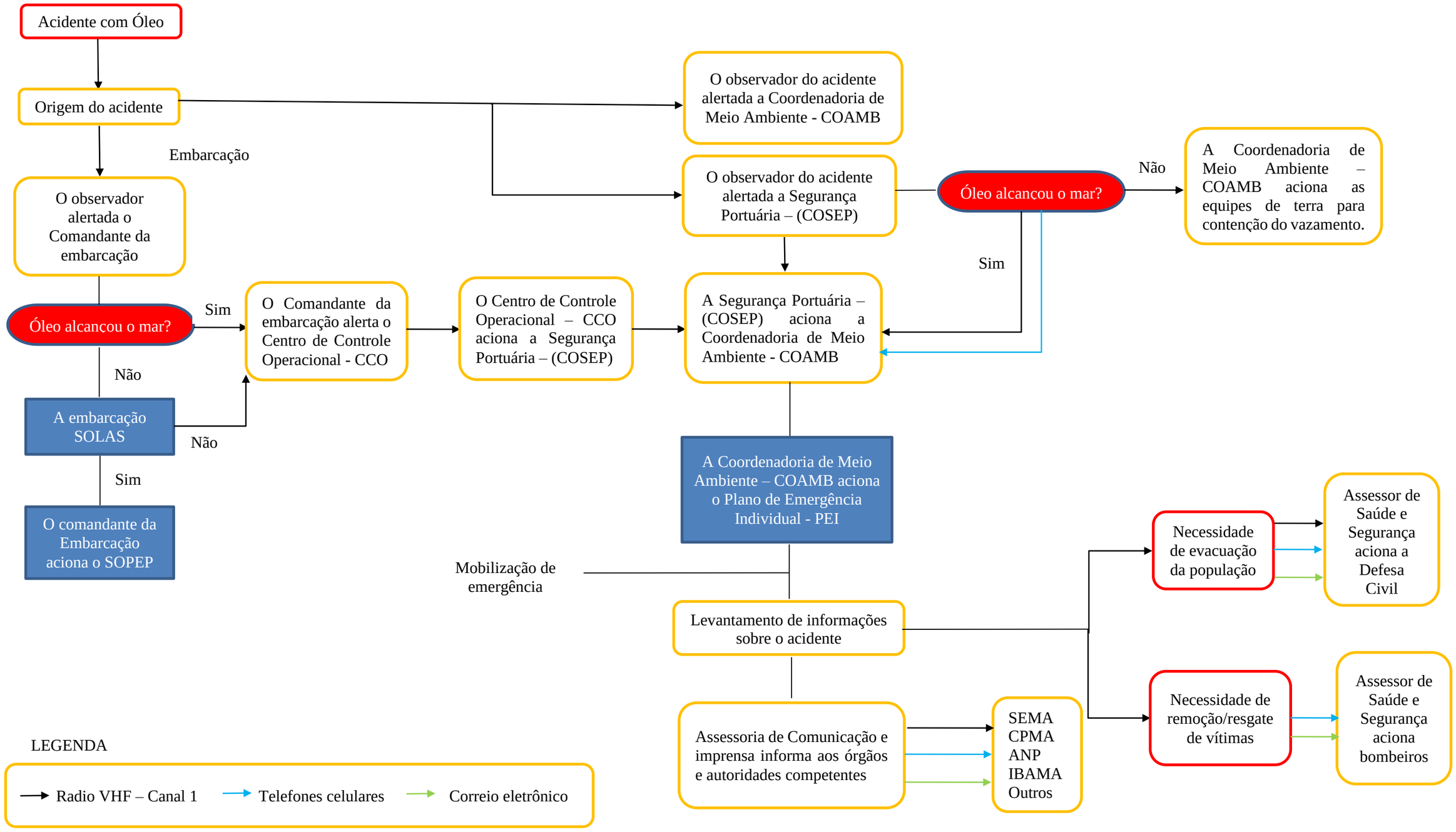
CONTATOS DAS GERÊNCIAS ENVOLVIDAS (1)

- GESAS (98) 98448-7187
- GEAMB (98) 998121-1511
- GEOPE (98) 998229-5079
- GESEP (98) 98454-4184
- GETIN (98) 98803-7141
- GEIMP (98) 98151-5211
- GERAD (98) 98448-2335
- GEREH (98) 98448-2162
- GETEX (98) 98456-0255
- GELOG (98) 98456 4373
- GEMAN (98) 98455 4866

1

- Os plantões acionam as suas respectivas coordenações.
- As coordenações verificam / avaliam e acionam suas gerencias
- As gerencias acionam informam as suas diretorias mas sempre informam a Diretoria de Operações
- Serviço Médico – Avalia a necessidade de acionar o ESPII
- Gerencia de Meio Ambiente - Avalia a necessidade de acionar o PEI/PACPI
- GESEP – Avalia a necessidade de acionar o ISPS CODE
- Prevenção e Combate – Avalia a necessidade de acionar o PAM

Fluxograma 2: Fluxograma de comunicação de acidente envolvendo derramamento de óleo no Porto do Itaqui e Portos externos



6.2.2 Comunicação Externa

i. Comunicação aos órgãos oficiais

As instituições oficiais que devem ser informadas imediatamente em caso de acidentes com derramamento de óleo estão expressas no Quadro 3. A comunicação a estas instituições é de responsabilidade do Estrutura Organizacional de Resposta (EOR).

Quadro 3: Órgãos oficiais a serem informados em caso de acidente com derramamento de óleo.

ÓRGÃOS OFICIAIS
AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL - ANP
SECRETARIA DE ESTADO DO MAIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS – SEMA
CAPITANIA DOS PORTOS DO MARANHÃO
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS -IBAMA
DEFESA CIVIL DO MARANHÃO
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

A comunicação de acidente é de caráter obrigatório e instituído pela lei 9.966 de 28 de abril de 2000 em seu artigo 22 que diz:

> *Art. 22. Qualquer incidente ocorrido em portos organizados, instalações portuárias, dutos, navios, plataformas e suas instalações de apoio, que possa provocar poluição das águas sob jurisdição nacional, deverá ser imediatamente comunicado ao órgão ambiental competente, à Capitania dos Portos e ao órgão regulador da indústria do petróleo, independentemente das medidas tomadas para seu controle.*

A comunicação inicial do incidente deverá ser obrigatoriamente feita ao Órgão Ambiental Competente, à Capitania dos Portos e ao órgão regulador da indústria de petróleo, Agencia Nacional do Petróleo (ANP) com base no formulário de Comunicação Inicial do Incidente apresentado no ANEXO I, baseado no formulário presente no Apêndice 1 do Anexo I da Resolução CONAMA N° 398/2008.

A comunicação de acidente ao IBAMA deve ser feita via acesso ao Sistema Nacional de Emergências Ambientais – SIEMA preenchendo o formulário online. Se o sistema estiver temporariamente inoperante, a comunicação imediata do acidente ambiental deverá ser feita excepcionalmente, por meio do correio eletrônico: emergenciasambientais.sede@ibama.gov.br (Conforme Art. 7º da IN nº15/2014) podendo ser utilizado como modelo o formulário no Anexo II.

A Capitania dos Portos – CPMA e Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão – SEMA deverão ser comunicados via telefone e via correio eletrônico (e-mail)

A Agencia Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustível – ANP deverá ser informada por meio de correio eletrônico (e-mail), preenchimento de comunicado padrão conforme estabelecido na Resolução ANP n° 44/2009 anexos I e II e via canais de comunicação especificados no sítio da ANP - http://www.anp.gov.br

ii. Comunicação à imprensa

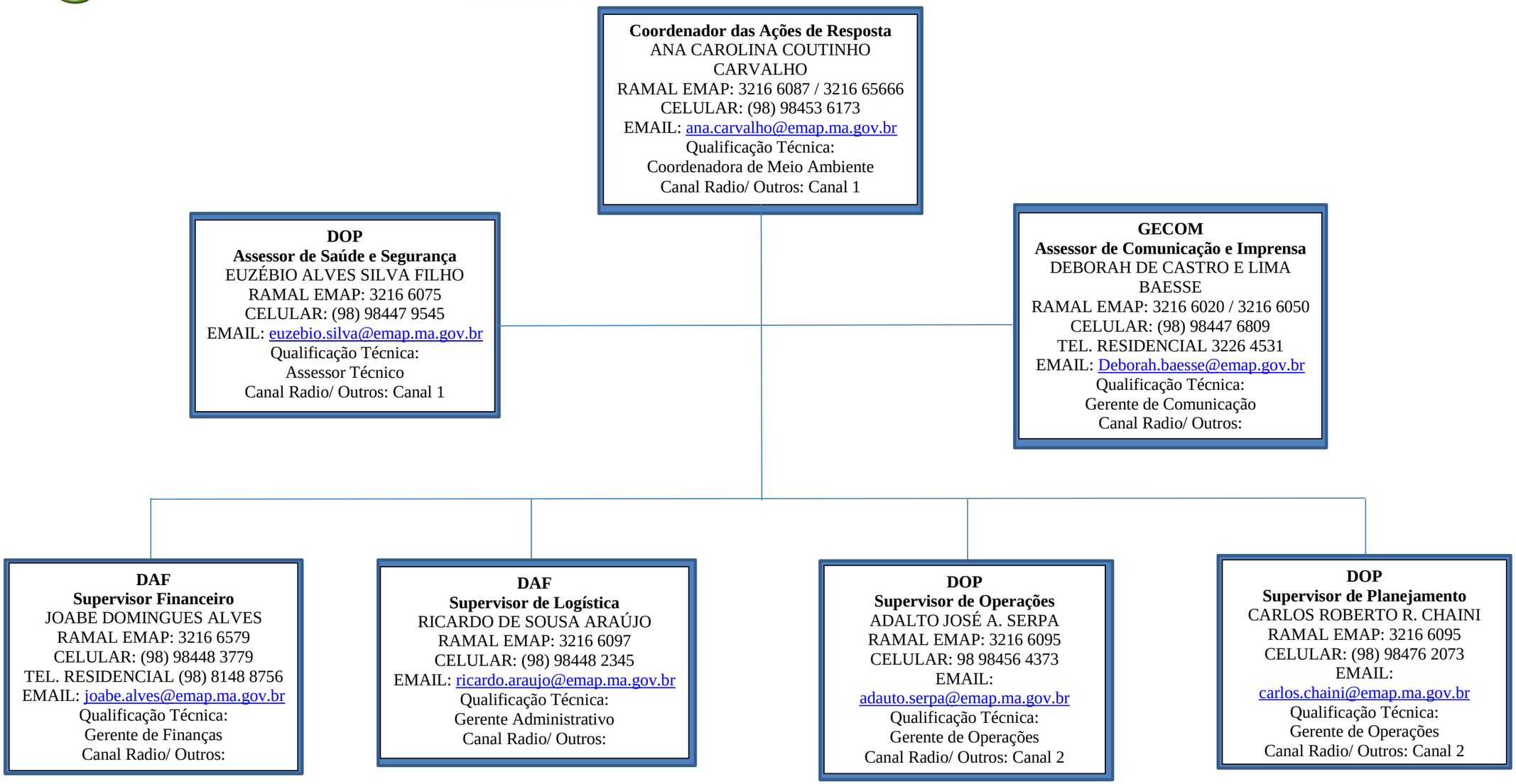
A informação a imprensa e divulgação de matérias deverá ser feita de forma concomitante ao andamento e evolução das ações de combate e controle do acidente. Caberá à Gerencia de Comunicação (GECOM) a responsabilidade por emissão dos comunicados e matérias.

6.3 Estrutura Organizacional de Resposta

A Estrutura Organizacional de Resposta – EOR será composta pelo Coordenador Geral, por Assessores e Supervisores com locais e atribuições especificas definidas e coordenadas pelo Coordenador das Ações de Resposta do PEI.

Após emitido o alerta de acidente com derramamento de óleo na área do Porto Organizado e/ou Terminais externos de responsabilidade da EMAP e acionados setores responsáveis por meio dos canais de comunicação especificados no Quadro 1, o Plano de Emergência Individual será acionado e a Estrutura de Organizacional de Resposta – EOR deverá entrar em ação reunindo os seus membros em sala de emergência para apuração e conhecimento dos detalhes e dimensão do acidente. As informações iniciais deverão compor a ficha de informação inicial de acidente, ANEXO I, que servirá de base para o comunicado aos órgãos oficiais e comunicados externos à imprensa.

A configuração da Estrutura Organizacional de Resposta – EOR está representada no Organograma na Figura abaixo.



Fluxograma 3 Organograma da Estrutura Organizacional de Resposta

As atribuições de cada setor/membros bem como os locais de atuação estão especificadas na Tabela 11.

Tabela 11: Atribuições e locais de atuações dos membros do EOR

FUNÇÃO NO PEI	ATRIBUIÇÕES	FRENTE DE ATUAÇÃO
Coordenador das Ações de Resposta	✓ Acionar o Plano de Emergência individual - PEI ✓ Coordenar a mobilização da Equipe de Resposta; ✓ Se, no momento do acionamento, não estiver presente no Porto, encaminhar-se para o mesmo o mais breve possível; ✓ Decidir sobre a necessidade de solicitar auxílio externo; ✓ Assegurar-se da divulgação do plano em todos os níveis hierárquicos do empreendimento; ✓ Manter contatos com autoridades do poder público; ✓ Indicar um porta-voz oficial, dentre os participantes, para estabelecer os contatos com a imprensa; ✓ Conduzir/participar dos programas de treinamento e exercícios simulados; ✓ Acompanhar a destinação dos óleos recolhidos do meio aquoso e demais resíduos oriundos do acidente; ✓ Monitoramento da mancha de óleo; ✓ Estabelecer, em tempos de normalidade, contatos com laboratório de análises de água, com vistas a realizar acompanhamento de mancha de óleo durante a emergência; ✓ Durante o período de normalidade, buscar empresas que estejam autorizadas pelos órgãos; ✓ Declarar o encerramento das operações de resposta.	Sala de emergência
Assessor e Comunicação e Imprensa	✓ É atribuição da Assessoria de Comunicação Social atender as convocações do coordenador do Plano de Emergência Individual quando de um acidente ou qualquer outra situação de emergência para que, em conjunto, sejam definidas as estratégias de comunicação interna e externa relacionadas à ocorrência; ✓ Elaboração e divulgação de boletins informativos sobre a ocorrência, bem como a confecção de “releases” relacionados ao fato; a preparação e convocação da imprensa para entrevistas coletivas e também a disponibilização de tais informações aos veículos de outros locais; ✓ É atribuição da Comunicação Social realizar toda a comunicação institucional durante o período da emergência, com os órgãos governamentais e não governamentais, com a sociedade organizada e com a comunidade em geral;	Sala de emergência
Supervisor Financeiro	✓ Providenciar a contratação dos serviços autorizados previamente pelo Coordenador de Respostas; ✓ Efetuar análise de custo dos equipamentos e serviços demandados;	Sala de emergência
Supervisor de Logística	✓ Supervisionar e controlar o tempo de ação das frentes de resposta no local do incidente, ✓ Supervisionar e operacionalizar a troca de turnos das frentes e equipes de resposta durante as ações de controle de acidentes; ✓ Controlar a entrada e saída de materiais bem como o uso/consumo de cada um deles; ✓ Assessorar o supervisor de Planejamento e dimensionar os recursos de acordo com a estratégia de resposta definida.	Sala de emergência e local do acidente
Supervisor de Planejamento	✓ Definir a estratégia de resposta juntamente com os demais supervisores; ✓ Avaliar os impactos ambientais e socioeconômicos; ✓ Dimensionar juntamente com os demais supervisores os recursos utilizados nas frentes de serviço em acordo com a estratégia definida; ✓ Solicitar a contratação de serviços especializados de descontaminação de ambientes, fauna e demais casos que se fizer necessário; ✓ Solicitar, se necessário, a contratação de serviço especializado para diagnóstico dos cenários potenciais e reais de contaminação de áreas (sobrevoo para monitoramento da mancha, modelagens numéricas, monitoramento/sensoriamento remoto e informações geoprocessadas).	Sala de emergência
Supervisor de Operações	✓ Manter o Coordenador das Ações de Resposta informado sobre as ações da frente de serviço; ✓ Mobilizar todas as equipes, materiais disponíveis para a ação imediata de pronta resposta; ✓ Controlar, juntamente com o supervisor de logística a entrada e saída de materiais e frente de serviço nos locais de ação;	Local do acidente

FUNÇÃO NO PEI	ATRIBUIÇÕES	FRENTE DE ATUAÇÃO
	✓ Supervisionar e controlar a disposição adequada dos resíduos gerados e coletados durante a atuação da operação de resposta; ✓ Informar e orientar as equipes nas frentes de ação de resposta ao acidente referentes aos procedimentos corretos e definidos previamente para ação de resposta; ✓ Manter registro de todas as informações durante e após a ação da frente de resposta ao acidente	
Assessor de Segurança e Saúde	✓ Supervisionar e assegurar a aplicação das medidas de segurança e saúde preventivas na frente de ação tais como uso de equipamentos de proteção individual e coletivo; ✓ Assegurar atendimento emergencial na frente de serviço; ✓ Acionar CIPA, Atendimento médico na frente de serviço (UTI Móvel), segurança patrimonial, assistencial social e psicológica; ✓ Providenciar atendimento médico externo em casos mais graves às vítimas e/ou agentes durante os serviços de pronta resposta ao acidente,	Local do acidente

6.4 Equipamentos e Materiais de Resposta

O dimensionamento das quantidades mínimas de equipamentos e materiais leva em consideração a Resolução Conama N° 398/2008 em especial os Critérios para o Dimensionamento da Capacidade Mínima de Resposta estabelecidos no ANEXO III.

Para o dimensionamento dos equipamentos e materiais da capacidade mínima de resposta aqui apresentados levou-se em consideração a hipótese acidental com Descarga de Pior Caso – Dpc = 10.000m^3 envolvendo embarcação de grande porte com óleo diesel e MF-380 em acidentes provenientes de abalroamento entre navios (petroleiros) e embarcações de menor porte (rebocadores, lanchas de praticagem, etc) e colisão com as estruturas fixas de atracação (cais, terminais, píer, dolfins, etc) durante as operações de manobra de atracação/desatracação com auxílio de rebocadores.

Tabela 12: Dimensionamento de equipamentos necessários ao atendimento de acidentes com derramamento de óleo no Porto do Itaqui.

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações
Barreiras de contenção	Portuária	840 m	Cerco completo da embarcação	Uso em águas abrigadas
		200 m	Contenção e recolhimento com recolhedor portuário	Uso em águas abrigadas
		400 m	Contenção e recolhimento com recolhedor – vertedouro e disco oleofilicos	Uso em águas abrigadas
		600 m	Contenção e recolhimento com recolhedor – vertedouro	Uso em águas abrigadas
		600 m	Contenção e recolhimento com recolhedor – vertedouro	Uso em águas abrigadas
Recolhedor	Vertedouro portuário	01	Capacidade Nominal: 30 m^3/h	
	Vertedouro	01	Capacidade Nominal: 250 m^3/h	Uso em águas abrigadas: efetividade em óleos com viscosidade entre 0 – 1.000.000cSt
	Discos oleofílicos	01	Capacidade Nominal: 40 m^3/h	Uso em águas abrigadas, abertas e interiores: efetividade em óleos com viscosidade entre 1.000.000cSt – limite operacional escala Beaulfort 3
	Vertedouro	03	Capacidade Nominal: 125 m^3/h	Uso em águas abrigadas, abertas e interiores: efetividade em óleos com viscosidade entre 1.000.000cSt – limite operacional escala Beaulfort 3
	Vertedouro	01	Capacidade Nominal:250 m^3/h	Uso em águas abrigadas, abertas e interiores: efetividade em óleos com viscosidade entre 1.000.000cSt – limite operacional escala Beaulfort 3
	Vertedouro	02	Capacidade Nominal:125 m^3/h	Uso em águas abrigadas, abertas e interiores: efetividade em óleos com viscosidade entre 1.000.000cSt – limite operacional escala Beaulfort 3

Tipo de Equipamento	Especificação	Quantidade	Características Operacionais	Recomendações e Limitações
Materiais Absorventes	Barreiras absorventes	1840 m	Capacidade de absorção de 10 a 25 vezes o seu peso	Uso em hidrocarbonetos
	Mantas absorventes	1680 unid.	Capacidade de absorção de 10 a 25 vezes o seu peso	Uso em hidrocarbonetos
Armazenamento temporário	Caminhão Tanque	03 unid.	Capacidade de 30 m^3	-
Armazenamento de Resíduo	Big Bag	10 unid.	Capacidade de 500 L por unidade	-

6.5 Procedimentos para interrupção da descarga de óleo

Para todo evento ocorrido deverá ser acionado o fluxo de comunicação da EMAP, com os contatos de emergência.

Os procedimentos de interrupção de vazamento de óleo e derivados estão listados abaixo conforme a fonte de vazamento e/ou ocorrência.

FONTES	PROCEDIMENTOS
Tanques de embarcação	Transferência entre tanques
	Tamponamentos de tanques
	Tamponamento de suspiros
Mangotes	Desligamento das bombas/fechamento das válvulas
Duto	Desligamento das bombas/fechamento das válvulas

Em caso de derramamentos de óleo e/ou derivados deverão ser realizados os procedimentos concernentes a cada área ou fonte de derramamento.

1 – Em caso de qualquer acidente:

i. O observador deve comunicar a CCCOM;

ii. Isolar imediatamente a área;

2 – Em caso de vazamento ao mar

i. A tripulação deve alertar o responsável pela embarcação para que sejam tomadas as medidas de interrupção do vazamento;

ii. O responsável pela embarcação deverá comunicar a CCCOM que acionará o Fluxo de emergência interno até que seja acionada a COAMB que irá acionar o EOR;

iii. Será acionado os procedimentos contidos no PEI.

3 - Em caso de vazamento durante operações de transferência

i. Cessar imediatamente o bombeamento;

ii. Fechar as válvulas do sistema e drenagem caso existam;

iii. Realizar inspeção no local de vazamento (ruptura ou furo);

iv. Realizar vistoria da faixa de dutos;

v. Providenciar o reparo imediato

vi. Evitar que o elemento vazado chegue ao meio aquático,

vii. Providenciar os meios adequados de contenção do óleo, coleta e acondicionamento de material coletado.

6.6 Procedimentos para contenção do derramamento de óleo em ambiente aquático

Inicialmente as ações de contenção deverão ser monitoradas os índices de inflamabilidade.

As barreiras de contenção são meios empregados para limitar e restringir o impacto sobre o meio ambiente e permitir a eficiência dos métodos de recolhimento durante o atendimento a derrames de petróleo e seus derivados no mar. O tipo da barreira empregada para a contenção deverá ser selecionado de acordo com as características do corpo d'água, seguindo as especificações adequadas para cada ambiente conforme American Society for Testing and Materials - ASTM 1523/94, ver Tabela 13.

Tabela 13: Especificações das barreiras de contenção conforme características do corpo d'água.

PROPRIEDADES	AGUAS CALMAS	ÁGUA CALMA COM CORRENTES	ÁGUA ABRIGADA	MAR ABERTO
Altura em mm[1]	150 a 600 (6 a 24)	200 a 600 (8 a 24)	450 a 1.100 (18 a 42)	900 a 2.300 (36 a > 90)
Relação flutuabilidade total mínima/peso[2]	3:1	4:1	4:1	8:1
Resistencia a tensão do total mínima, em N (lbs)[3]	6.800 (1.500)	23.000 (5.000)	23.000 (5.000)	45.000 (10.000)
Resistencia a tensão do material mínima, N/50mm (lbs/in.)[4]	(2 TM) : 2.600 (300) (1 TM) : 2.600 (300)	2.600 (300) 2.600 (300)	2.600 (300) 3.500(400)	3.500(400) 3.500(400)
Resistencia ao rasgamento do material mínima, em N (lbs)[5]	450 (100)	450 (100)	450 (100)	450 (100)

1 – Corresponde à altura total da barreira. Presume-se um comprimento de borda livre igual a 33 % da altura total (mínimo) para águas calmas, protegidas e mares abertos e 50 % para águas calmas c/ corrente. Entre o intervalo de altura total, valores deverão ser selecionados de acordo com condições específicas, tais como, ondas, volume a ser contido, comprimento de barreira necessário, etc.

2 – Os valores apresentados correspondem ao mínimo necessário para barreiras de contenção de uso comum. Para as barreiras com propósitos específicos, como aquelas desenvolvidas para instalação fixa, a relação flutuabilidade total / peso poderá ser menor por utilizarem propriedades hidrodinâmicas para manter um comprimento de borda livre adequado. Porém, esta relação nunca deverá superar o piso de 2:1. Proporções maiores do que as apresentadas poderão incrementar a performance das barreiras de contenção em determinadas situações.

3 – As variáveis velocidade de corrente / reboque e calado foram consideradas como as mais relevantes no cálculo das forças que atuam sobre as barreiras de contenção. Os valores apresentados correspondem à tensão exercida sobre 300 m (1.000 ft) de barreira, lançada em uma configuração catenária com abertura 1:3, com parâmetros ambientais selecionados de acordo com a classificação dos corpos d'água, a uma velocidade de 1 a 2 nós (4 nós para águas calmas c/ corrente) e, principalmente, considerando o menor calado por categoria. Barreiras com calado maior requerem valores de resistência à tensão total mínima também maiores, a saber: para águas calmas 57 N/mm de calado (320 lbs/in); para águas calmas c/ corrente, 140 N/mm (800 lbs/in); para águas abrigadas, 64 N/mm (360 lbs/in); e para mares abertos,

72 N/mm (400 lbs/mm). É recomendado que valores maiores àqueles mencionados na tabela sejam considerados para situações de velocidades de corrente / reboque superiores àquelas mencionadas acima.

– Os valores são apresentados para dois tipos de barreiras de contenção: aquelas com duas componentes de tensão (2 TM) e aquelas com apenas uma componente (1 TM).

5 – Alguns materiais para usos especiais possuem resistência ao rasgamento inferior aos valores apresentados. Entretanto, poderão ser utilizados em situações específicas ─ como vazamentos que exijam um material com resistência maior a uma determinada substância, a raios ultravioletas e a abrasão ─, desde que atendam aos requisitos mínimos para a resistência a tensão do material.

Fonte: ASTM F 1523/94

O emprego dos equipamentos poderá ser realizado nas mais diversas conformações dependendo do local da fonte de vazamento, do volume derramado e do tempo inicial de resposta ao vazamento. Levará em consideração ainda as condições meteorológicas (ventos, período e amplitude de maré, etc.).

A seguir enumera-se e ilustra-se os procedimentos padrões para contenção das fontes de vazamento em situações de contenção total, parcial levando-se em consideração as fontes de vazamento e ambientes sensíveis.

Dependendo do contexto em que ocorreu o acidente e das características meteoceanográficas locais (intensidade dos ventos, velocidade das correntes, período e amplitude da maré etc.), o supervisor de operação, em conjunto com a Organização de Resposta a Emergência, deverá considerar as seguintes estratégias de contenção do óleo no mar.

Estes recursos poderão ser posicionados na água em diferentes configurações para a contenção e o recolhimento da substância e a proteção de áreas de interesse econômico e ambiental.

6.6.1 Disposição, posicionamento e ancoragem das barreiras de contenção

A seguir apresenta-se exemplos de procedimentos de contenção:

a) Contenção tipo "cerco completo" à fonte

Geralmente este procedimento é utilizado nos primeiros estágios de um derrame, quando a vazão é pequena e os efeitos do vento e das correntes não são tão relevantes. A barreira pode ser arranjada ao redor da fonte de poluição. Para isto são utilizadas barreiras na dimensão correspondente a 3 (três) vezes o comprimento da embarcação circulando-a completamente, Figura 7A. A barreira também pode ser arranjada ao redor da fonte de poluição, mantendo-se uma pequena abertura para a entrada das embarcações de combate a vazamentos, Figura 7B.

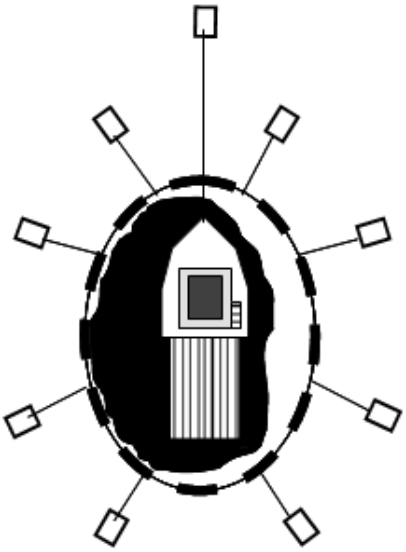


Figura 6A: Cerco completo à fonte ao mar. **Fonte:** PEI, 2012 EMAP

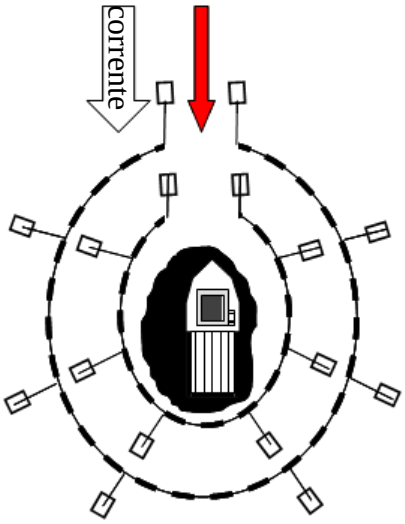


Figura 7B: Cerco completo a fonte: acesso a embarcação de trabalho. **Fonte:** PEI, 2012 EMAP

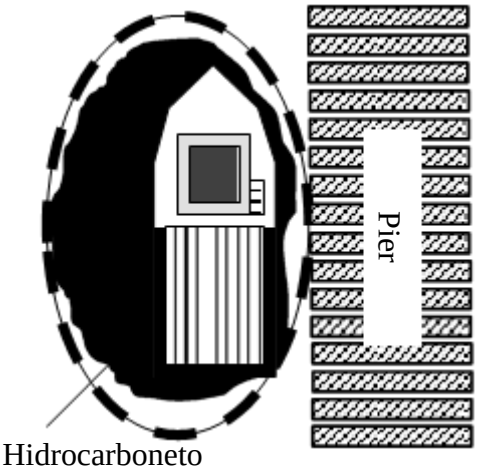


Figura 7C: Cerco completo a fonte próxima ao píer.
Fonte: PEI, 2012 EMAP

b) Contenção do tipo "Cerco parcial" à fonte

Em caso de vazamentos de pequeno porte pode-se utilizar o cerco parcial à fonte, utilizando-se o próprio costado da embarcação com parte da contenção. Nesses casos são utilizadas barreiras na dimensão correspondente a uma (1) vez o comprimento da embarcação, Figura 8.

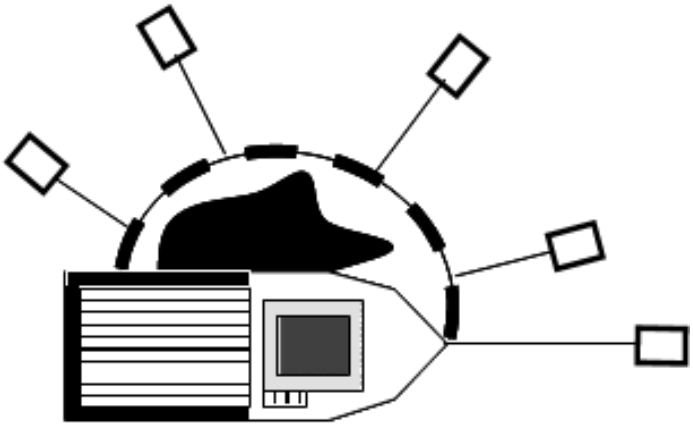


Figura 7: Contenção do tipo parcial utilizando parte do costado da embarcação como contenção. **Fonte:** PEI, 2012 EMAP

c) Contenção do tipo "Bloqueio"

Este método é empregado nos grandes vazamentos, quando a extensão de barreiras de contenção é insuficiente para o cerco completo da fonte ou quando as condições de vento e corrente dificultarem o trabalho das equipes de resposta. As barreiras são então dispostas a certa distância da fonte para interceptar o espalhamento do produto, Figura 9. Geralmente

devido as características das águas e condições de vento e até o volume derramado de óleo para o uso desse tipo de contenção, faz-se o uso de mais de uma barreira, prevendo-se a o bloqueio do volume de escape devido as forças da corrente marítima.

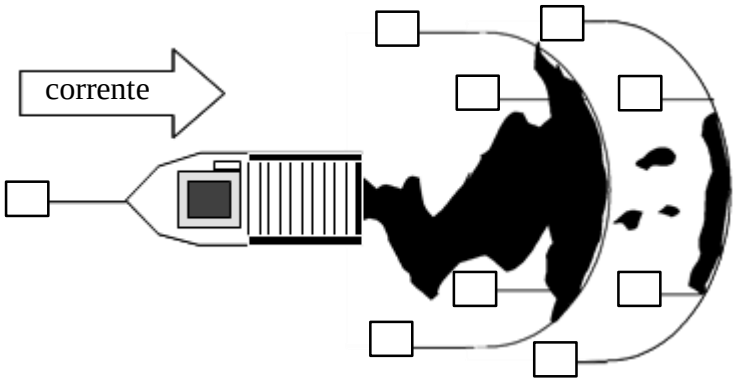


Figura 8: Contenção tipo bloqueio em sequência em águas com ventos fortes
Fonte: PEI, 2012 EMAP.

d) Contenção em "cascata"

A contenção de deflexão em cascata pode ser usada quando se torna difícil operar uma única linha de barreira ou as cargas são muito altas, especialmente quando as correntes excedem 3 nós. Múltiplas seções de barreiras são dispostas de forma escalonada, de maneira com que a próxima barreira desvie o óleo perdido por baixo ou por volta da barreira anterior, à montante. Essa técnica é útil para cobrir grandes áreas ou para correntes de alta velocidade, Figura 10.

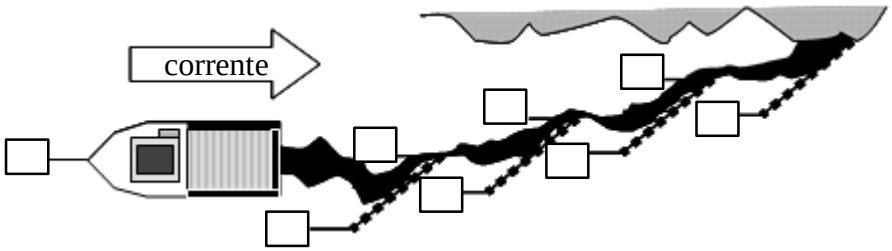


Figura 9: Contenção do tipo deflexão em cascata. **Fonte:** PEI, 2012 EMAP.

e) Contenção do tipo "excludente de área"

Utilizam-se as barreiras com o objetivo de excluir e proteger ambientes ecologicamente sensíveis ao óleo e/ou de importância socioeconômica à presença de hidrocarbonetos na água, Figuras 11A e 11B.

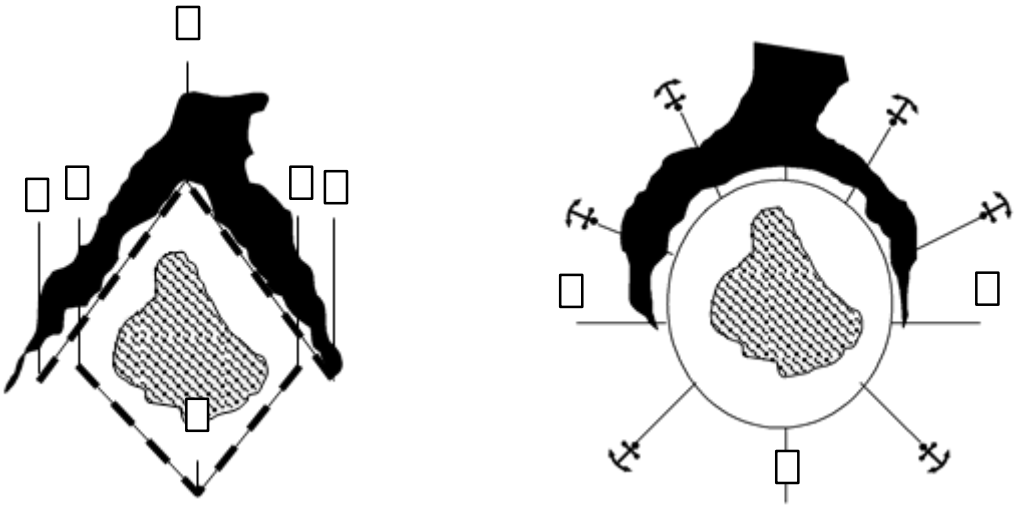


Figura 10A e 8B: Barreiras de contenção do tipo “excludente de áreas”.
Fonte: PEI, 2012 EMAP.

f) Contenção do tipo em “V, J ou U”

Nesta configuração duas embarcações ou âncoras seguram as extremidades da barreira, direcionando o óleo contido para seu vértice, onde há um recolhedor acoplado ou uma embarcação recolhedora); em “J” (geralmente usada em mar aberto, com duas embarcações, sendo que uma delas segura uma das extremidades da barreira também recolhe e armazena o óleo); ou em “U” (configuração geralmente usada em águas costeiras, com três embarcações, sendo duas segurando as extremidades da barreira e uma terceira recolhendo o óleo), Figura 12. Em locais com velocidade de corrente propícia, pode-se substituir a embarcação de uma das extremidades da barreira por dispositivo de lançamento.

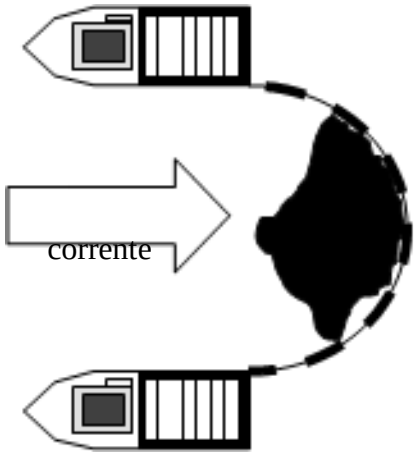


Figura 11: Conformação das barreiras em contenção em "U".
Fonte: PEI, 2012 EMAP.

7 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE REGIONAL

A Análise de Vulnerabilidade teve como base os dados extraídos do estudo que trata da Modelagem Matemática, onde considerou três pontos de risco de acidentes, inseridos nas áreas do Porto do Itaqui e do Porto Grande, além de um segundo estudo que analisou a dispersão de poluentes nas áreas do Canal do Cujupe e na Ponta da Espera, onde se encontram instalados os dois terminais de transporte de passageiros.

E, como subsídio para este estudo, analisou-se ainda as Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo (Carta SAO) de 2012 e cartas SAO disponíveis na página do Ministério do Meio Ambiente – Carta SÃO Pará-Maranhão/Barreirinhas/2017, que identificam as áreas ecologicamente sensíveis.

7.1 Características gerais

7.1.1 Condições climáticas

a) Ventos

Segundo informações extraídas do Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto do Itaqui (PDZ, 2012), aponta-se que no último levantamento sobre as características do vento nesta região, constatou ventos mais intensos no segundo semestre, em especial nos meses de outubro e novembro, com uma frequência de até 65%.

Ainda com base neste estudo, o vento predominante é o Nordeste, tendo uma frequência de 46%, seguindo do vento leste com frequência não superior a 10%. Em contrapartida o vento Sudoeste foi notadamente classificado como nulo.

De tal forma, é que neste estudo consideramos a importância em identificar o comportamento do vento durante a ocorrência de um possível derramamento de óleo nas áreas que abrange o Plano de Emergência Individual (PEI) e, por entender que este parâmetro tende a sofrer variações conforme a época do ano.

Quanto à dispersão do óleo no mar, a literatura enfatiza que os ventos intensos influenciam diretamente e com maior rapidez no espalhamento do material na lâmina da água. O espalhamento ocorre mais intensamente nas 24 horas seguintes a liberação do óleo no mar.

A informação atualizada da condição do vento pode ser extraída das páginas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação São Luís-A203 e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

b) Pluviosidade

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um sistema atmosférico e atua como regulador principal de precipitação no norte do Nordeste. Tendo uma dinâmica de deslocamento sazonal com variação periódica em torno do eixo equatorial terrestre, tal zona é formada por um cinturão de nuvens que circunda a Terra em relação ao paralelo equatorial, essas nuvens são originadas da confluência entre os ventos alísios dos hemisférios sul e norte que ao se chocarem, ocasionam a ascensão do ar quente e úmido para níveis atmosféricos elevados, dando origem a uma intensa atividade convectiva e de precipitação (EIA/PORTO DO ITAQUI, 2017).

A região possui dois períodos climáticos, sendo o chuvoso, de janeiro a julho e o período seco, de agosto a setembro. Na estação chuvosa, o mês de maior precipitação é abril, variando entre elevadas e moderadas, já no período seco, há uma redução significativa da pluviosidade, em especial nos meses de setembro e outubro, com aumento da evaporação e baixa umidade do ar (PDZ/ITAQUI, 2012).

c) Temperatura

O fator temperatura nas áreas que integra o (PEI), caracteriza-se com uma variação mínima ao longo do ano. No período chuvoso há uma diminuição da temperatura, tendo sido registrado em 2017 uma média mínima de 22,7ºC, ao contrário do que se tem registro na época seca, onde a temperatura alcançou o equivalente a 31,5ºC (PDZ/ITAQUI, 2012).

Diversos autores concordam que a taxa de evaporação em uma mancha de óleo depende fundamentalmente da temperatura, bem como de outros fatores, a exemplo: velocidade do vento local, pressão de vapor e condições de radiação local.

A literatura descreve que a temperatura contribui ainda no processo de Biodegradação, o qual consiste na eliminação do óleo por bactérias e fungos naturalmente presentes no mar. Em águas bem oxigenadas com temperaturas em torno de 20ºC a 30ºC, as bactérias podem oxigenar 2g/m2 de óleo ao dia (SZEWCZYK,2006).

Enfatizamos que nos municípios de São Luís e São José de Ribamar o processo de Biodegradação se manifesta em sua totalidade em face do clima tropical.

7.1.2 Condições hidrográficas

a) Ondas

Considera-se onda sendo um dos principais agentes físicos que invertem a dinâmica dos ambientes costeiros, representando a mais constante fonte de energia mecânica para esses ambientes, atuando de maneira direta ou indiretamente na modelagem da costa (CURBANI, 2011).

Conforme estudo desenvolvido pela Fundação Tecnológico de Hidráulica (FCTH) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) o qual destaca o comportamento dessas ondas com altura de 1,90 m e período de 7,2 segundos na área do canal do Porto do Itaqui. Ressalta ainda que essas ondas não atingem diretamente a área anteriormente mencionada, abrigando apenas dentro da Baía de São Marcos.

Essa informação é válida, uma vez que em um possível cenário de derramamento de óleo nesta área, possivelmente teríamos pouca influência das ondas, evitando assim o espalhamento do óleo com maior rapidez.

b) Correntes

No que diz respeito à ação das correntes, segundo estudo realizado na área da Baía de São Marcos, revelou que os processos hidrodinâmicos de correntes são governados pelas variações de marés (PDZ, 2012).

Foi possível identificar ainda valores mínimos de correntes próximos às estofas, tendo as máximas com intensidade nas vazantes e de duas a três horas, após a baixamar nas enchentes. No canal de acesso, as correntes apresentaram direções 40 – 220° NV a 60 – 240° NV, podendo atingir a velocidade de 2,5 nós, na vazante e 5,65 nós na enchente na direção oposta (PDZ, 2012).

Essa informação é de suma relevância, haja vista que tem como orientação no momento de tomada de decisões a finalidade de conter o avanço da camada de óleo no mar, assim como indicações para o posicionamento dos equipamentos utilizados na contenção do produto derramado.

Quando derramado no mar, o petróleo espalha-se formando uma mancha com espessura variável e tem sua trajetória alterada em função da velocidade e direção dos ventos superficiais e correntes marinhas.

A velocidade e direção de deslocamento da mancha de óleo na superfície do mar tende a ser influenciado principalmente pelas correntes superficiais (100%) e, a direção deste vetor é alterada parcialmente (3%) pela direção e intensidade dos ventos Desta forma, com o conhecimento prévio dos ventos e correntes predominantes na região afetada e a origem (posição geográfica) do derramamento, tornam-se informações indispensáveis para se previr a intensidade e direção do deslocamento de uma mancha de óleo e até mesmo, estimar quando e em que ponto pode chegar (PEI/PORTO ITAQUI, 2012).

7.2 Modelagem matemática

A análise de vulnerabilidade das áreas do entorno dos portos administrados pela EMAP na região da Baia de São Marcos, município de São Luís, levou em consideração o relatório de modelagem matemática realizado em 4 (quatro) pontos – Berços 100 e 108 no Porto do Itaqui, Ponta da Espera e Porto Grande.

Os pontos considerados para a simulação de derramamento de óleo estão descritos na tabela abaixo bem como os volumes considerados e tipo de hidrocarboneto.

Para todos os pontos adotados foram realizadas a simulação levando em consideração o volume de pior caso conforme definido na Resolução CONAMA 398/08. Assim sendo ficaram definidos os volumes e tipo de óleo a considerar:

Porto do Itaqui – Berço 100 e 108 – volume de pior caso = 10.000m^3 com base na hipótese acidental de rompimento do costado do navio e tanque de maior carga ocasionado por choque com outros navios, outras embarcações e/ou superfícies fixas de atracação.

Terminal da Ponta da Espera – volume de pior caso = 21m^3 com base na hipótese acidental de naufrágio, rompimento de mangote devido a colisão com outras embarcações, bancos de areia e estruturas fixas de atracação.

Porto Grande – volume de pior caso = 200m^3 com base da hipótese acidental de naufrágio, rompimento de costado da embarcação e tanque de maior capacidade devido a colisão com outras embarcações e estruturas fixas de atracação.

Tabela 14: Pontos de risco utilizados para a simulação de derramamento de óleo no relatório de modelagem matemática e respetivos volumes de pior caso e tipo de hidrocarboneto.

Ponto de risco	Latitude	Longitude	Tipo de óleo	Descarga de pior caso (m^3)
Berço 108 Porto do Itaqui	2°34'15.92"S	44°22'36.48"O	Óleo combustível marítimo: MF-380	10.000
			Óleo Diesel (cru)	10.000
Berço 100 Porto de Itaqui	2°35'5.22"S	44°22'7.28"O	Óleo combustível marítimo: MF-380	10.000
Ponta da Espera	2°32'7.84"S	44°21'23.45"O	Óleo Diesel (cru)	21
Porto Grande	2°39'39.55"S	44°21'26.06"O	Óleo Diesel	200

Fonte: Relatório de modelagem de derrame de óleo – Porto do Itaqui - EMAP – Coastal Solutions, 2019.

As simulações no modo probabilístico consideram a variabilidade das forçantes ambientais. Logo, as simulações de comportamento da mancha são realizadas através da variação aleatória do início do vazamento, dentro do período para o qual se dispõe de dados ambientais (cheia/seca). Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foram realizadas 200 simulações com o modelo OSCAR para cada cenário probabilístico (modelagem EMAP 2019).

Os resultados das simulações para os berços 100 e 108 mostram que a maiores probabilidades de dispersão do óleo para os volumes encontram-se próximo a região de derrame do material, tendo sua rápida dispersão, devido a ação dos ventos, carregando o material em direção a oeste e interior da baía de São Marcos, tendo com a ação presente da maré (correntes) na enchente e vazante concentrando o material nesta região central e assinalando os maiores contornos de probabilidades. Estes valores se alteram de acordo, com o volume derramado, 50-60% para os menores, 60-70% (atingindo até 80%) para os volumes médios, e até 100% para os piores casos (modelagem EMAP 2019).

Os resultados das simulações mostram que a maiores probabilidades de dispersão do óleo para os volumes encontram-se próximo ao porto, área do Estreito de Coqueiros onde se localiza o porto, e parte adentrando o rio dos Cachorros, com probabilidades de 90 a 100% nos piores casos, e acima de 50% para os menores. Parte do material terá um maior espalhamento e dispersão do produto para a região interna da baía de São Marcos devido a maior variabilidade da ação dos ventos (e direções) no período da cheia, ao contrário do período de seca aprisionando o material no estreito. Além disso, a dispersão de óleo na cheia tende a aprisionar-se na região ao norte da Ilha de Caranguejo em Cajapió (MA), próximo ao braço leste do rio Mearim, nota-se com os altos contornos de probabilidade de ocorrência, (modelagem EMAP 2019).

Para as simulações realizadas na Ponta da Espera o resultados mostram que a maiores probabilidades de dispersão do óleo para os volumes encontram-se próximo a região interna da baía de São Marcos, tendo alguma assinatura em seu trajeto e rápida dispersão devido a ação dos ventos, carregando o material em direção a oeste e interior da baía, tendo com a ação presente da maré (correntes) na enchente e vazante concentrando o material nesta área central e assinalando os maiores contornos de probabilidades. Estes valores na superfície d'agua externo ao ponto de modelagem se alteram de acordo, com o volume

derramado, 70% para os menores, com um transporte predominante para oeste na cheia e sudoeste na seca para estes derrames instantâneos, e até a faixa do 90-100% para os piores casos com o segundo período tendo de novo um maior espalhamento em direção ao sudoeste, (modelagem EMAP 2019).

A análise detalhada dos cenários com volumes e simulações com marés de vazante e cheia pode ser obtida no ANEXO IV – Relatórios de modelagem de derrame de óleo para os pontos – berços 100 e 108 (Porto do Itaqui), Ponta de Espera e Porto Grande.

7.2.1 Espécies vulneráveis

A Análise de Vulnerabilidade teve como subsídio os dados obtidos e analisados, a partir das Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo (Carta SAO), que identifica as áreas ecologicamente sensíveis, ANEXO V.

7.2.2 Fauna Aquática

A Biota Aquática tende a sofrer desequilíbrios ecológicos em detrimento de um derramamento de óleo, assim como a ausência de medidas de controle por parte do agente responsável. Diante de tal fato é que se buscou neste estudo listar os principais grupos biológicos, seguido de algumas espécies.

É importante mencionar as espécies, por considerar que estes organismos se tornam vulneráveis em contato com substâncias perigosas, a exemplo o petróleo e seus derivados.

Tais informações foram extraídas do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) das obras de expansão do Porto do Itaqui.

a) Fitoplâncton

- *Achnanthes brevipes*
- *Achnanthes brevipes var. intermedia*
- *Bacillaria paradoxa*
- *Bacillaria paxillifera*
- *Campylodiscus cymbelliformis*
- *Campylodiscus innominatus*
- *Cylindrotheca closterium*
- *Rhizosolenia styliformis*
- *Skeletonema costatum*
- *Streptotheca tamesis*
- *Terpsinoe americana*
- *Thalassiosira eccentrica*

b) Zooplâncton

- *Larvas*
- *Náuplio*
- *Acartia illjeborgi*
- *Clausocalanu s sp.*
- *Paracalanus sp.*
- *Calanopia sp.*
- *Hemicyclops sp.*
- *Euterpina acutifrons*
- *Caligus sp.*
- *Cypris*

c) **Zoobentos**

- *Acartia lilljeborgi*
- *Calanopia americana*
- *Centropages brachiatus*
- *Centropages velificatus*
- *Clausocalanus furcatus*
- *Eucalanus pileatus*
- *Eucalanus sewelli*
- *Labidocera fluviatilis*
- *Paracalanus aculeatus*
- *Paracalanus crassirostris*
- *Pontelina plumata*
- *Pontelopsis sp*
- *Pontelopsis vilosae*

d) Ictiofauna

- *Ophichthus cylindroideus (moréia)*
- *Batrachoides surinamensis (pacamão)*
- *Thalassophryne nattereri (niquim)*
- *Strongylura marina (peixe-agulha)*
- *Sphyrna spp (cação)*
- *Mugil curema (tainha-sajuba)*
- *Mugil liza (tainha-curimã)*
- *Mugil spp (tainha)*
- *Mugil trichodon (tainha)*

- *Genyatremus luteus (peixe-pedra)*
- *Cynoscion acoupa (pescada-amarela)*
- *Lonchurus lanceolatus (pescada)*

e) Cetáceos

- *Sotalia guianensis (Van Benédén, 1864) (boto-cinza)*

7.2.3 Avifauna aquática

Com base no Estudo de Impacto Ambiental (EIA), realizado no ano de 2017, obteve como resultado a abundância de aves aquáticas, considerando potencialmente significativo. A espécie *Eudocimus ruber* (Guará), foi a que obteve o maior número de indivíduos na área de estudo, embora se tenha uma preocupação em relação à diminuição dessa espécie a cada ano.

Ao mesmo tempo considera ser um fator preocupante, pois essa espécie poderia vir a ser uma das primeiras a sofrer negativamente caso houvesse alterações na qualidade físico/química da água e dos mangues onde habita (EIA/PORTO DO ITAQUI, 2017).

Segue abaixo algumas espécies de aves aquáticas existentes em uma das áreas objeto deste plano:

- *Pluvialis squatarola* (batuiruçude-axilas-preta) - espécie migratória
- *Numenius hudsonicus* (maçaricode-bico-torto) - espécie migratória
- *Tringa semipalmata* (maçarico-deasa-branca) - espécie migratória
- *Eudocimus ruber* (guará)

7.3 Procedimentos para a Proteção de Áreas Vulneráveis

O Procedimento inicial a ser tomado visando a proteção de áreas sensíveis, consistirá basicamente da seguinte maneira:

1. A pessoa responsável pela Coordenação das Ações de Respostas, ao ser informado do sinistro tomará as primeiras medidas para o planejamento de combate, atuando juntamente com o Assessor de Segurança e Assessor de Comunicação e imprensa, este último com a finalidade de comunicar os demais agentes.

2. Em seguida, o Coordenador das Ações de Respostas buscará as informações nos estudos de modelagem de transporte de óleo da área onde está ocorrendo o vazamento/derramamento de óleo, assim como nas cartas SAO, com intuito de

definir as áreas com maior probabilidade de serem atingidas, além de verificar as condições oceanográficas e meteorológicas (direção dos ventos, correntes e marés);

3. O Coordenador das Ações de Respostas com o auxílio do Assessor de Segurança e Saúde, juntamente com a Brigada de Emergência da Área, definirão a melhor estratégia para proteção das áreas sensíveis;

4. O Coordenador das Ações de Respostas juntamente com a sua equipe de apoio, deverá analisar o local do acidente, buscando mapear as características do ambiente (vegetação, ecossistemas vulneráveis e facilidade de escoamento para outros cursos d' água);

5. O Assessor de Saúde e Segurança ficará responsável em fazer uma avaliação geral do sinistro, identificando a magnitude, a extensão e tipo de óleo derramado, assim como a gravidade, buscando sempre manter informado o Coordenador das Ações de Respostas;

6. A Equipe de Base de Pronto Atendimento da área deverá instalar os equipamentos necessários para conter o espalhamento do produto, podendo fazer uso de barreiras de contenção e/ou absorventes;

7. O Assessor de Saúde e Segurança providenciará o deslocamento da Base de Pronto Atendimento até os locais ameaçados, a fim de ter um diagnóstico e reconhecimento das áreas, para que a equipe possa confrontar com os dados/informações estabelecidos nos estudos de modelagem matemática para as áreas contempladas neste plano;

8. O Coordenador das Ações de Respostas providenciará o monitoramento das áreas vulneráveis como forma de garantir a proteção destas, recomenda-se ainda a disponibilidade de pessoal e materiais suficientes nas áreas possivelmente atingidas, visando maior celeridade na contenção do óleo derramado.

9. O Coordenador das Ações de Respostas juntamente com a sua equipe de apoio deverá reavaliar sempre que necessário as técnicas e estratégias adotadas na proteção de áreas vulneráveis;

10. Durante a ação de controle, se tiver a necessidade de acessar áreas sem acesso disponível a equipe da Brigada de Emergência da Área e demais funcionários envolvidos na ação não poderão produzir novos acessos sem a autorização do setor de meio ambiente responsável pela área.

11. Em caso de fauna oleada é necessário a disponibilidade e o fácil acesso os materiais recomendados para resgate e transporte de animais possivelmente atingidos, sob responsabilidade da Autoridade Portuária;

12. Por fim, recomenda-se o acionamento de empresa especializada em casos de derramamento de óleo para a elaboração de um diagnóstico e uma avaliação da extensão dos danos, tendo a participação do órgão ambiental responsável pelo licenciamento do empreendimento, com intuito de tomar as medidas compatíveis com o grau de sensibilidade da área atingida.

Cabe informar que a definição das áreas sensíveis a um acidente com óleo ou outros produtos derivados de hidrocarbonetos, caberá ao Coordenador das Ações de Respostas, ou se este preferir deverá ser indicado um funcionário que possua conhecimento e experiência para atuar em situações como esta. Lembrando ainda que a pessoa indicada deverá fazer uso da Carta de Sensibilidade Ambiental para Derramamento por Óleo (SAO), referente às áreas deste plano.

7.4 Procedimentos para monitoramento da mancha de óleo

A tomada de decisão em tempo hábil e de forma correta perpassa pela análise da ocorrência tomando-se por base algumas ferramentas disponíveis para o Coordenador das Ações de Resposta. Dentre elas podemos citar as cartas de vulnerabilidade, as condições meteorológicas, imagens de satélites, as modelagens de dispersão e o máximo de informações locais possíveis com: volume de óleo derramado.

Todas estas ferramentas subsidiarão as tomadas de decisões para que se possa inferir sobre: - a provável dispersão/trajetória e destino da mancha de óleo.

Ao longo do monitoramento da mancha de óleo as condições meteorológicas deverão ser reanalisadas sempre que houver alterações significativas, principalmente no que diz respeito a intensidade e direção dos ventos. Esta reavaliação permanente possibilitará mudanças nas estratégias de combate para a melhor utilização dos recursos de forma a se obter uma resposta mais efetiva.

O monitoramento da mancha será de responsabilidade do coordenador das ações de resposta, devendo o mesmo valer-se dos seguintes meios:

- ✓ Visual, através de pontos de observação no cais;
- ✓ Em loco, através do uso de embarcações para monitoramento via rádio ou telefone utilizando sempre as coordenadas geográficas provenientes do equipamento GPS com a respectiva hora.
- ✓ Acompanhamento, caso necessário, da qualidade da água por meio de análises físico-químicas de amostras coletadas.
- ✓ Monitoramento aéreo

É recomendado o uso de aeronaves aparelhadas (preferencialmente helicópteros) com sistemas de navegação, de modo a fornecer o posicionamento exato de uma mancha. Altitudes entre 300 e 600 m são ideais para avaliar a dimensão e o deslocamento da mancha. Altitudes entre 60 e 150 m, entretanto, podem facilitar a visualização da aparência e distribuição do óleo na superfície da água.

A bordo da aeronave deverão estar presentes tripulantes com experiência na avaliação aérea de manchas de óleo. Isto porque, muitas vezes, a mancha é confundida com outros fenômenos, como por exemplo, a sombra de uma nuvem, reflexos do sol, floração de algas marinhas, sedimentos em suspensão, descarte de esgoto, nuança de cores entre massas d'água adjacentes, cardumes de peixe ou mesmo ondulações da superfície do mar.

O rastreamento da mancha deverá ser feito preferencialmente longitudinalmente ou ao redor da mancha, desde que orientado por monitoramento aéreo.

As informações obtidas pelo sobrevoo deverão ser transmitidas com frequência para os envolvidos nas operações no mar.

Normalmente, o petróleo e seus derivados escuros sofrem mudanças marcantes na sua aparência, em razão do intemperismo a que os produtos estão sujeitos. O tempo necessário para que estas mudanças ocorram, está diretamente ligado às características físico-químicas do produto derramado, associado à ação térmica decorrente da insolação e temperatura ambiente e também pela ação mecânica resultante da força dos ventos e impacto das ondas em ambientes costeiros.

Entretanto ao longo do tempo, o produto se apresentará em manchas contínuas, passando a esparsas, filetes, placas, pelotas, espuma e gordura, até sua total degradação na água. Quanto à sua coloração, de forma geral, o produto se apresenta inicialmente escuro (preto ou marrom), passando para marrom claro e alaranjado após a emulsificação, e finalmente amarelo e prateado na fase final de degradação. A determinação da forma e da coloração da mancha de óleo é de fundamental importância para poder realizar uma estimativa da quantidade de óleo presente em uma mancha. Para a estimativa do volume de óleo em uma mancha poderá se usar como referência dos dados publicados no Manual Response to marine oil spills, do ITOPF – The International Tanker Owners Pollution Federation Ltd., Tabela 15

Tabela 15: Guia de correlação entre a aparência, espessura e volume de óleo na superfície da água.

GUIA DE CORRELAÇÃO ENTRE APARÊNCIA, ESPESSURA E VOLUME DE ÓLEO CONTIDO EM UMA MANCHA, UTILIZADO PELO ITOPF.			
Aparência	Coloração	Espessura aproximada (mm)	Volume aproximado (m3 /Km2)
Película	Prateada	0,0001	0,1
Filete	Iridescente	0, 003	0,3
Mancha densa	Negra/ marrom escura	0,1	100
Emulsão mousse	Marrom/alaranjada	>1	>1000

Fonte: Manual Response to marine oil spills, do ITOPF

- ✓ Monitoramento aquático

Quando da impossibilidade do uso do monitoramento aéreo, o rastreamento deverá ser feito em escada ou zig-zag, a partir da orientação de pontos geográficos notáveis. Também poderá ser utilizado o GPS portátil.

Em todos os registros será informada a tendência da deriva da mancha e a área prioritária a ser protegida. Além disso, serão registradas as possíveis contaminações de praias e linhas de costa adjacentes à área do porto organizado.

Esse plano de busca será baseado nas previsões da modelagem matemática (ANEXO IV) e nas informações das demais agências que estiverem interagindo com o Porto.

- ✓ Vistorias terrestres

As vistorias terrestres serão realizadas por veículo automotor e é complementar às vistorias aérea e marítima, sendo esta, de suma importância para se identificar as áreas impactadas pelo óleo, o grau de contaminação causado, e ainda para determinar as vias de acesso a veículos, máquinas e demais equipamentos, que serão utilizados na contenção e recolhimento do óleo.

Outro ponto importante, diz respeito ao cuidado que se deve ter para que este veículo, assim como os demais equipamentos, não circule sobre as áreas contaminadas. Este aspecto não pode ser desconsiderado, sob pena de agravamento da situação, pois o movimento das rodas sobre o óleo resultará no espalhamento e penetração do produto no solo.

7.5 Procedimentos para Limpeza de Áreas Atingidas

Os procedimentos recomendados para limpeza dos principais ecossistemas existentes nas áreas do plano e, que possivelmente seriam atingidos pela mancha de óleo. Desta forma, destacamos os Estuários, Marismas, Praias e Manguezais.

7.5.1 Estuários

O conhecimento das características físicas, químicas, dos ecossistemas e das atividades socioeconômicas, desenvolvidas nos locais sujeitos a contaminação por óleo é fundamental para a seleção das técnicas de resposta aplicáveis, bem como no dimensionamento dos recursos necessários.

Os estuários devido a sua elevada importância ambiental e baixa resiliência aos impactos ocasionados pelo óleo e pelo alto nível de sensibilidade é que se recomenda a proteção e limpeza de imediato.

Segundo o método de classificação de ambientes sensíveis desenvolvido pelo governo americano e adaptado pelo governo brasileiro, os ambientes existentes comumente em estuários são de elevada sensibilidade, pois apresentam normalmente áreas abrigadas da ação das ondas, baixas declividades e vegetação sensível (NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERE ADMINISTRATION – NOAA, 2002; BRASIL, 2002).

Dentre os métodos de limpeza, recomenda-se a utilização de materiais e/ou equipamentos específicos como barreiras de contenção, absorventes e recolhedores, ou prosseguir com a transferência das manchas de óleo para a coluna d'água pela dispersão química do produto.

Conforme informações extraídas do relatório elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2017), onde destaca algumas técnicas de limpeza, podendo ser perfeitamente aplicado neste tipo de ambiente.

1. Barreira de contenção e skimmers
2. Bombeamento a vácuo
3. Absorventes orgânicos granulados
4. Barreiras absorventes e pompons
5. Dispersantes
6. Limpeza natural

Os processos decorrentes do intemperismo que ocorrem naturalmente no ambiente marinho, podem ser entendidos como mecanismos que auxiliam na remoção do óleo e, desta maneira minimizando os possíveis impactos.

7.5.2 Marismas

Este tipo de ecossistema não se difere dos estuários em grau de nível de sensibilidade e vulnerabilidade a derrames de óleo. Salienta mencionar que a persistência do dano e a recuperação dependem da influência de fatores, como o grau de intemperismo, remoção, época do ano, processo de erosão/disposição e atividade de restauração pelo homem (CANTAGALLO et al., 2007).

A literatura sugere que em caso de leve contaminação por óleo deve se fazer uso da recuperação natural, contudo a equipe responsável pelo monitoramento das áreas atingidas precisa analisar periodicamente a área, visando uma análise dos processos e das taxas de remoção natural (IPIECA, 1994).

Pontua que o produto acumulado deve ser removido por meio da técnica de bombeamento a vácuo, uso de absorventes ou por lavagem a baixa pressão. É importante, durante a aplicação destas técnicas, o devido cuidado por parte da equipe responsável para não danificar a vegetação e não contribuir para a mistura de óleo no sedimento.

O corte controlado da vegetação que esteja coberta por óleo pode ser aplicado, desde que comunique o órgão ambiental, justificando o uso de tal técnica e da real necessidade. A equipe responsável deverá ter muito cuidado durante este procedimento para evitar danos maiores à vegetação, como o pisoteio. Esta técnica somente deverá ser aplicada se o óleo persistir e quando impactos mais sérios estiverem ameaçando a biota.

Caso opina pela aplicação do corte, recomendamos evitar, ao máximo, perturbações no substrato; as equipes de limpeza devem ser compostas por duas ou três pessoas. O corte feito durante a maré alta diminui os danos causados pelo pisoteio. Aconselhamos que sejam deixadas porções de vegetação não cortadas para posterior monitoramento e comparações, visando perceber o andamento da recuperação da vegetação (Zengel, 1996).

A salinidade e as condições hidrológicas para o uso desta técnica serão levadas em consideração, pois condições anormais de salinidade e pluviosidade associados ao corte podem gerar maiores danos à vegetação e influenciar no retardamento de recuperação (ZENGEL, 1996).

Por fim, não se recomenda o uso de dispersantes químicos, por entender que este tende a causar danos adicionais, além de não ser permitido pela legislação ambiental o uso deste em marismas e em outros ambientes costeiros abrigados (BRASIL, 2000).

7.5.3 Praias

A limpeza das praias contaminadas por derramamento de óleo deve ser realizada de imediato, tomando todos os cuidados necessários e recomendações estabelecidas nas legislações que tratam de tal tema. Sendo assim, neste estudo enfatizaremos as principais técnicas e procedimentos que serão aplicadas na ocorrência de um possível cenário de contaminação nas áreas de praia.

Segundo API (1985), os métodos para limpeza de praias consistem na remoção manual, absorção, bombeamento a vácuo, remoção mecânica, limpeza natural, jateamento, queima, biodegradação induzida e dispersão química, contudo esclarecemos que neste plano recomendaremos somente as técnicas consideradas menos agressivas ao ambiente.

Sendo assim, dentre as possíveis maneiras em realizar a limpeza de praias de areia fina, sugere-se que seja feito de forma manual nas regiões de médio e supralitoral, buscando alcançar um volume mínimo de areia removida da área atingida.

No caso das praias do litoral maranhense, a limpeza natural é plausível, haja vista que sofrem influência direta das ondas, contribuindo para a remoção do óleo.

Podem ser utilizados rodos de madeira no processo de limpeza, mas deve tomar cuidado quanto ao uso de pás e enxadas, utilizando estes somente para retirar os montes de óleo agregados pelos rodos (CANTAGALLO et al., 2007).

Logo após o recolhimento da maior parte do produto, deve se fazer uso de absorventes, sendo este distribuído na região do infralitoral, sempre nas marés baixas.

Na preamar, o material deve ser recolhido manualmente na franja do supralitoral, respeitando as faixas inferiores das praias, lembrando que todo esse material deve ser alocado em tambores ou “big bags” para só então ser transportado para o local previamente autorizado pela instituição e posteriormente ter um destino final, atentando para todas as recomendações impostas pelos órgãos ambientais, no caso a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA) e Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA).

O Jateamento a baixa pressão pode ser usado com a finalidade de direcionar e acumular o produto derramado para que possa ser recolhido por skimmers e absorventes. Por outro lado, não recomendamos o uso de jato à alta pressão, pois este tende a transportar o material para outros locais, causando maiores danos à fauna aquática e terrestre, assim como ao homem.

Durante a ocorrência é salutar evitar o tráfego de pessoas e veículos que não estejam envolvidos na atividade de contenção e limpeza, com a finalidade de evitar que o óleo se misture ainda mais ao sedimento.

Sinaliza a necessidade dos cuidados durante a atividade de limpeza, para que seja menos impactante possível, com isso, possibilitando a rápida recuperação do ecossistema.

O processo de recuperação de praias afetadas por derrames de óleo é extremamente variável, dependendo, entre outros fatores, do hidrodinamismo, tipo de sedimento, tempo de permanência do óleo no ambiente, circulação de massas de água e etc.. Levando-se em conta todos os aspectos envolvidos na recuperação da comunidade de praia, este período tende a levar pelo menos de 1 a 2 anos, depois de desaparecida as fontes de contaminação (PEI/PORTO DE ITAJAÍ, 2010).

7.5.4 Manguezais

De todos os ecossistemas já descritos neste capítulo, o manguezal é classificado como um dos mais sensíveis e vulneráveis a vazamentos de óleo. Neste tipo de ambiente o óleo pode persistir por anos, além da limitação de técnicas e/ou procedimentos destinados para a limpeza desse ecossistema.

A seguir, destaca as principais técnicas recomendada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2017), tais como: isolamento com barreiras de contenção, Skimmers, bombeamento a vácuo, barreiras absorventes e limpeza natural.

Extrai-se de estudos que das técnicas mencionadas acima, conclui que a melhor opção para limpeza de áreas de manguezal consiste na limpeza natural. Devendo priorizar o uso de recolhedores e bombeamento a vácuo para a retirada das águas atingidas próximas ao manguezal e de absorventes nas margens, como tentativa de reduzir a entrada de óleo no mesmo (CANTAGALLO et al., 2007).

Conforme relatório da Cetesb (2007), existem algumas medidas que deverão ser seguidas durante o procedimento de limpeza dos manguezais, a seguir segue as recomendações:

1. Adotar medidas de proteção e isolamento dos manguezais (barreiras de contenção), respeitando a origem e direção da contaminação;

2. Tomar como prioridade os procedimentos de remoção em mar, assim como nas águas adjacentes e contíguas aos manguezais, tais como: bombeamento a vácuo, barcaças recolhedoras e Skimmers;

3. Providenciar as prioridades técnicas de combate em água, considerando os canais e meandros que podem ser mais eficazes durante os períodos preamar;

4. Durante o processo de limpeza, deve-se dar preferência ao uso de embarcações pequenas, baixo calado e leves;

5. Dar preferência pela técnica da limpeza natural quando sedimentos e bosque forem contaminados;

6. Recolher resíduos e vegetações flutuantes em áreas estuarinas, os quais no geral ficam depositados e acumulados nos mangues durante a maré enchente, com uso de embarcação de pequeno porte na preamar;

7. Evitar o corte e/ou a remoção da vegetação contaminada;

8. Evitar a queima da vegetação contaminada, devido aos intensos impactos;

9. Evitar procedimentos de limpeza mecânica no bosque, como jateamento com água, vapor ou areia, e por fim a raspagem de troncos e raízes;

10. Impedir o tráfego de pessoas nas áreas atingidas, evitando o aumento da contaminação no sedimento.

7.5.5 Procedimentos para Coleta e Disposição dos Resíduos Gerados

O procedimento empregado neste tópico tem como finalidade orientar o Coordenador das Ações de Respostas quanto aos mecanismos necessários para proceder durante a fase de coleta e disposição dos resíduos produzidos durante a ação de emergência.

Ao ser informado do incidente, o Coordenador tomará todas às providências referentes ao planejamento das ações de limpeza e planejamento dos locais afetados pelo derramamento de óleo, em seguida este deverá determinar o local provisório para deposição dos resíduos gerados.

A partir de então, seguirá as recomendações elencadas no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) do porto objeto deste plano.

Os resíduos sólidos provenientes da limpeza das áreas atingidas deverão ser armazenados temporariamente em tambores e/ou em “big bags”, contendo a descrição do tipo de material e contaminação, os resíduos líquidos serão acondicionados em barris ou bombonas, aguardando a sua destinação final.

7.5.6 Procedimentos para Proteção das Populações

As ações que serão estabelecidas neste item, têm como finalidade orientar o Coordenador das Ações de Respostas em relação aos procedimentos que deverão ser seguidos para garantir a proteção das populações vizinhas das unidades operacionais dos portos.

A Base de Pronto Atendimento da Área deverá manter o monitoramento constante dos possíveis locais afetados, tendo esta a obrigação de manter sempre informado o Coordenador das Ações de Respostas.

Desta forma, recomenda-se adotar os seguintes procedimentos:

1. A equipe designada pelo Coordenador das Ações de Respostas deverá analisar a necessidade de proteção às populações nos locais afetados;

2. Buscar apoio do Corpo de Bombeiros e Defesa Civil a fim de se definir estratégias de proteção das populações, caso tenha necessidade;

3. Instalar uma vigilância nos locais afetados como forma de preservar e garantir a segurança da comunidade;

4. Realizar reuniões (palestras) com as populações afetadas, visando orientá-los dos riscos e os cuidados necessários de como proceder em casos de vazamento de óleo no mar;

5. Após a ocorrência do sinistro, a equipe de segurança deverá implantar placas informativas nas áreas sensíveis e com maior risco de serem contaminadas. Além de conter as orientações sobre risco de contaminação ambiental e humana;

6. Deixar à disposição das populações atingidas o canal de contato da instituição para informações e orientações;

7. Realizar o monitoramento da água consumida pela comunidade atingida e que esteja com suspeita de contaminação, evitando assim possíveis riscos a população;

8. Por fim, recomenda-se o uso de barreiras de contenção caso haja locais onde a comunidade desenvolve atividades de piscicultura, levando em consideração a proximidade com as áreas vulneráveis.

7.5.7 Procedimentos para Proteção da Fauna

Em situações que a emergência venha a oferecer riscos de contaminação da fauna, o Coordenador das Ações de Respostas deverá fazer uso dos estudos de modelagem de Dispersão da Mancha de óleo e das Cartas de Sensibilidade Ambiental (SAO) das áreas dos portos.

Esta recomendação é de suma relevância, pois permitirá traçar as estratégias de proteção da fauna, bem como o uso correto das barreiras de contenção para evitar o espalhamento do óleo.

Em situações onde é inevitável que o vazamento se estenda para outras áreas, a equipe terá como orientação afastar a fauna. Todos os esforços serão empregados para que a área a ser afetada seja a de menor grau de sensibilidade, considerando ainda as espécies raras, endêmicas e ameaçadas de extinção.

Nestes casos, o Coordenador das Ações de Emergência deverá buscar o apoio de profissionais e/ou especialistas para contribuir nas ações de descontaminação da fauna.

Nos casos em que ocorra a contaminação de aves, mamíferos e répteis, estes deverão ser alocados para o setor de recuperação de fauna com especialistas, visando a recuperação para posteriormente serem devolvidos a natureza, lembrando que todo este procedimento deverá ter a anuência do órgão ambiental competente.

Em decorrência de derramamento de óleo, as espécies podem sofrer impactos diretos ou indiretos, por isso recomendamos que os cuidados sejam realizados somente por profissionais especializados, visando todos os cuidados durante o manejo dessas espécies afetadas, evitando induzi-las ao estresse e contribuindo para o aumento da sua capacidade de recuperação.

8 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE LOCAL

Foi também realizado um exercício de análise de vulnerabilidade em escala local, considerando somente as sub-bacias de drenagem e módulos hídricos da poligonal da EMAP. Essa análise ilustra a riqueza de cenários específicos que podem ser desenvolvidos a partir da integração e contextualização das informações específicas contidas no Plano de Área do Complexo do Porto do Itaqui.

A Figura 16 estabelece as condições iniciais para a análise integrada do impacto potencial do vazamento de granéis líquidos na escala da Área de Influência Direta. Nela estão delimitados os corpos de água permanentes, os bancos de lama expostos em baixamar (lavados), os mangues e o contorno da linha de maré máxima (preamar).

Os padrões espaciais das unidades de paisagem identificadas no parágrafo anterior são a base da análise integrada para a ADA e AID que deverá discutir os seguintes cenários de vazamento acidental de granéis líquidos:

1 - Vazamento em situação de início de maré de enchente;

2 - Vazamento em situação de meia maré de enchente;

3 - Vazamento em situação de início de maré de vazante;

4 - Vazamento em situação de meia maré de vazante;

As condições de altura e sentido de fluxo das marés foram consideradas como os fatores essenciais para a avaliação do impacto potencial negativo do vazamento acidental, pois as mesmas determinarão o nível de comprometimento dos mangues nas enseadas do Berço 104 – Pulmão e Irinema-Pai Félix.

8.1 Sub-bacias de drenagem e hidrologia litorânea

A Figura 13 apresenta MDT obtido a partir de aerolevantamento AEROCARTA 2009. As sub-bacias de drenagem tiveram seus divisores de água mapeados considerando os pontos de maior cota do supracitado MDT. Importante ressaltar que o número de sub-bacias a ser mapeado, a partir do traçado dos seus divisores de água, será função da escala adotada e do intervalo de curvas de nível correspondente. Escalas menores, na faixa de 1:100.000 a 1:250.000, com curvas de nível com intervalo superior a 50 m, irão agrupar muitas das pequenas bacias características da ilha de São Luís.

As escalas menores são adequadas para discussões gerais de gestão de recursos hídricos e identificação de macro cenários de conflitos, contudo, a escala de detalhamento do presente diagnóstico requer mapeamento em escala maior. Para tanto foi realizado nova divisão de bacias em escala aproximada de 1:10.000, a partir de curvas de nível geradas com intervalos de 5 m, utilizando banco de dados da base oficial da Prefeitura de São Luís de 2009.

Em relação ao limite inferior das sub-bacias adotou-se a cota 0 m, que representa a baixamar média, ao invés da cota de 4 m IBGE, que representa a altura média máxima de preamar de sizígia para a ilha. O critério da cota de 0 m visou incluir toda a região entre marés no computo do balanço hídrico das sub-bacias de drenagem, reconhecendo, como veremos adiante, a importância dos volumes diários associados com o ciclo de preamar e baixamar. O potencial de interação da sub-bacia com a sua porção estuarina foi calculado a partir de informações da extensão do perímetro de contato do estuário com a terra firme.

O Quadro 04 sumariza as principais características das sub-bacias ocupadas pela poligonal de interesse e entorno imediato. Todas as sub-bacias da área de influência direta do estudo são de pequeno porte, com área inferior a 500 ha, e com eixos longitudinais máximos entre 1.500 e 2.000 m.

A principal consequência das pequenas dimensões das sub-bacias de drenagem é que essas não têm volume de água subterrânea suficiente para alimentar fluxo de água superficial durante a estação seca, em outras palavras, nenhuma das sub-bacias de drenagem apresenta cursos de água superficiais permanentes.

Estimar a ordem de grandeza do escoamento superficial é o próximo passo para avaliar o potencial de contribuição da drenagem de terra firme sobre a dinâmica estuarina adjacente.

O Quadro 05 apresenta as estimativas de escoamento superficial e vazão específica máxima para a sub-bacia de inserção da poligonal do projeto e sub-bacias adjacentes a leste e oeste. As estimativas foram calculadas a partir de dados de precipitação e evaporação anuais e estimativas de precipitação efetiva. Esta última é conceituada como a porção da precipitação total, que descontada a evaporação, irá infiltrar e escoar para o mar e estuário. Os volumes escoados anuais, somando escoamento superficial e subterrâneo, variam de 1 a 3,4 milhões de m3/ano.

Quadro 4: Fisiografia das sub-bacias de drenagem da área de estudo.

SUB-BACIA	ÁREA BACIA (m^2)	COMPRIMENT EIXO PRINCIPAL (m)	PERÍMETRO (m)	INTERFÁCIE TERRA – MAR (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO (m)
BERÇO 104-PULMÃO	1.900.000 (190 ha)	1.900	7.206	3.383	30
BERÇO 101	780.000 (78 ha)	1.545	4.163	1.424	30
PAI FÉLIX	2.590.000 (259 ha)	1.870	8.107	2.470	40

Quadro 5: Balanço hídrico anual das sub-bacias de drenagem

SUB-BACIA	ÁREA BACIA (m^2)	PRECIPITAÇÃO ANUAL (m)	EVAPORAÇÃO ANUAL (m)	PRECIPITAÇÃO EFETIVA (m)	VOLUME ESCOADO (m3)	VAZÃO ESPECÍFICA MÁXIMA (l/s/km2)
BERÇO 104	1.900.000	2,325	1,010	1,315	2.498.500	41,7
BERÇO 101	780.000	2,325	1,010	1,315	1.025.700	41,7
PAI FÉLIX	2.590.000	2,325	1,010	1,315	3.405.850	41,7

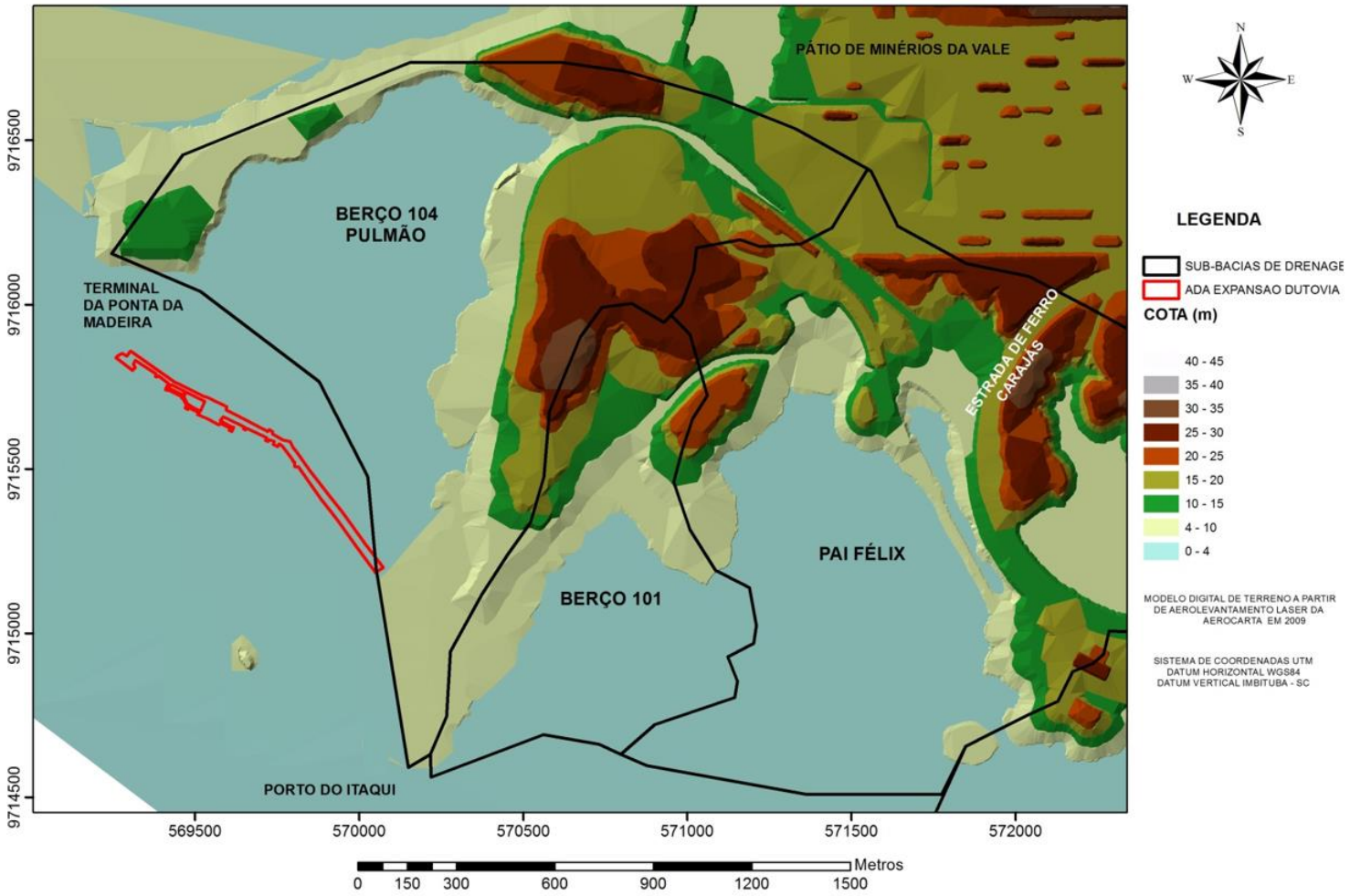


Figura 12: Sub-bacias de drenagem que compõe a poligonal do Porto do Itaqui. Altimetria original AEROCARTA 2009. Datum vertical Imbituba, SC.

8.2 Batimetria

As Figuras 14 e 15 apresentam a batimetria das áreas inundáveis de mangue e dos canais de acesso aos portos do Itaqui e Terminal da Ponta da Madeira. A base cartográfica de referência foi a carta náutica 414 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) refletindo levantamentos batimétricos realizados entre 1992 e 1998. A altimetria da zona entre marés nas enseadas de mangue foi obtida a partir do levantamento AEROCARTA 2009.

De uma forma geral a batimetria da área dos berços da EMAP e canais de acesso pode ser descrita como um conjunto de dois canais alinhados em um sentido aproximado de sul a norte. O canal maior é delimitado a oeste pela extremidade norte do Banco dos Lanzudos e a leste pelo alto topográfico representado pela Ilha de Guarapirá. Esse é o canal de acesso ao Porto da ALUMAR e Porto Grande. O canal interior, de menor porte, dá acesso ao Porto do Itaqui. Tem seu limite oeste formado pelo alto topográfico da Ilha de Guarapirá e seu limite leste na linha de baixamar da Ilha de São Luís.

Ambos os canais têm sua cota mínima em -24 m, mas a sua cota média de fundo está em -20 m. O volume de água no canal menor em situação de baixamar, entre os berços 106 e 100 é de aproximadamente 10.000.000 m3. Em situação de preamar máxima este volume sobe para 13.500.000 m3. Essas estimativas volumétricas são importantes para avaliar a capacidade de diluição de poluentes lançados nos canais.

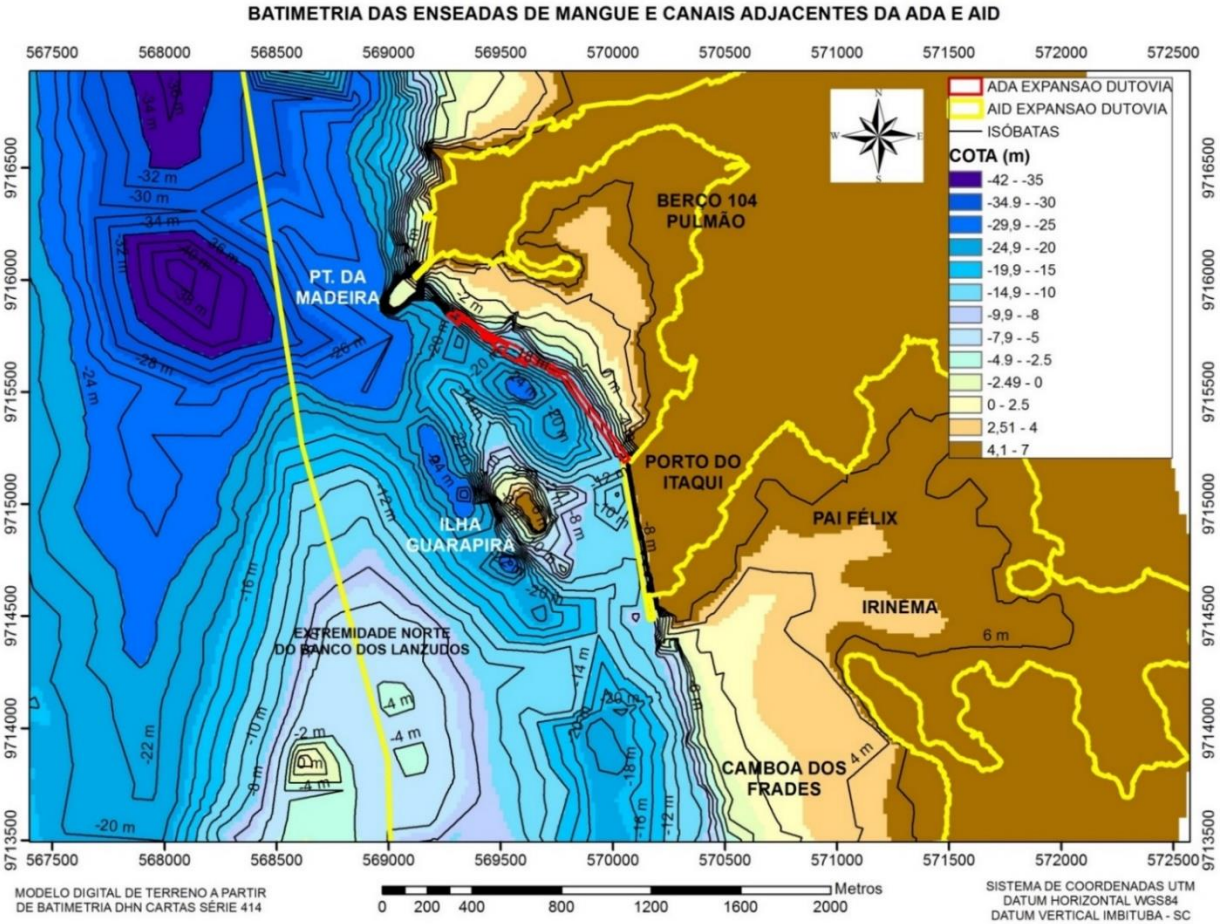


Figura 13: Batimetria áreas de berços e canais de acesso da EMAP no Porto do Itaqui firme. Batimetria DHN reflete situação da década de 1980

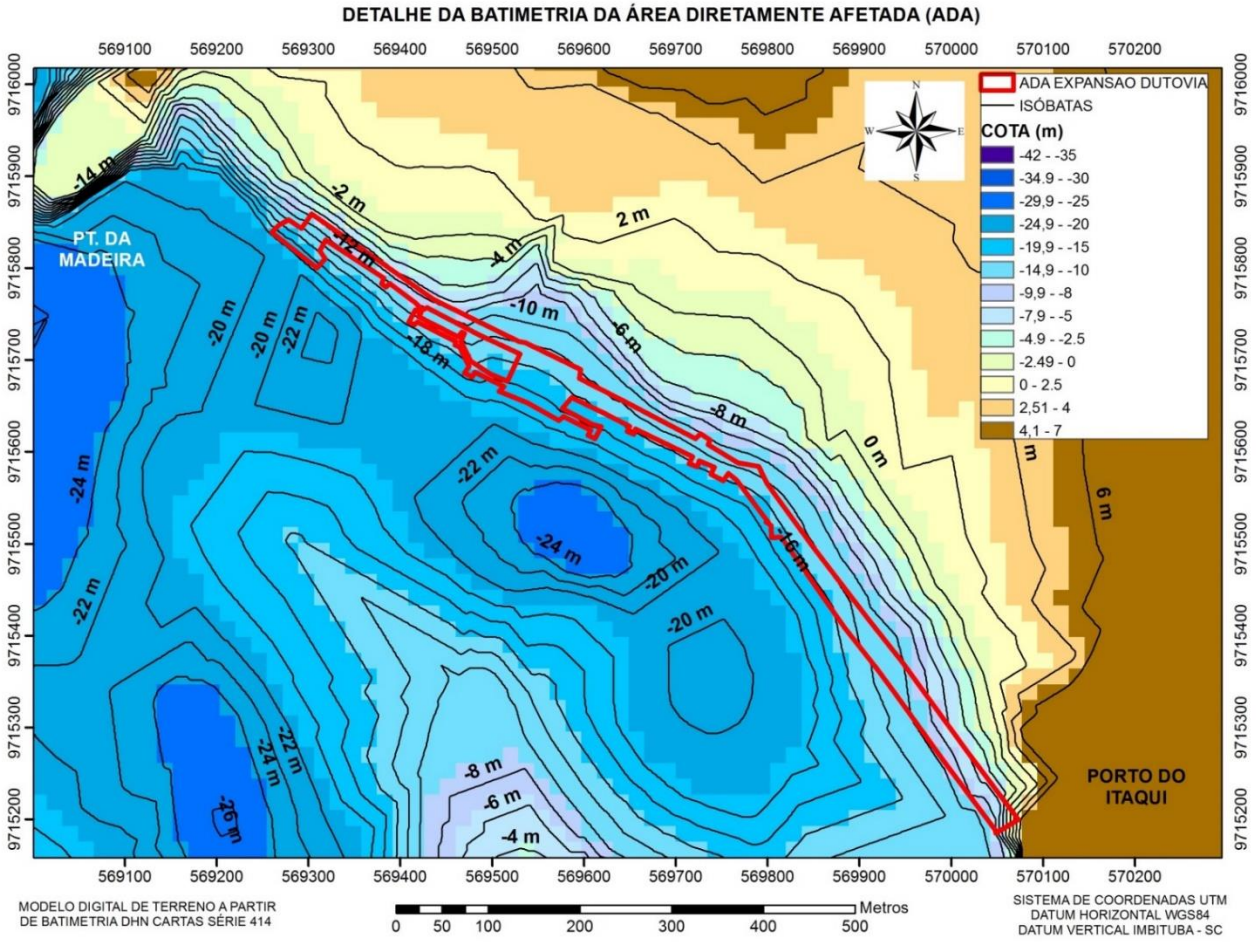


Figura 14: Detalhe da Batimetria no canal e berços do Porto do Itaqui. Batimetria DHN reflete situação da década de 1980.

8.3 Dinâmica Hidrológica de Marés

Na área de entorno do projeto o volume residente principal é representado pela Baía de São Marcos, mais especificamente os canais de acesso ao Terminal da Ponta da Madeira e Porto do Itaqui. A volumetria dos dois canais está na ordem de dezenas de milhões de m3 e é fator importante na contextualização do portencial de mitigacao natural de impactos negativos associados ao derramamento acidental de granéis líquidos na fase de operação da dutovia.

O Quadro 06 compara os volumes anuais de renovação por maré na região entre marés com aqueles escoados a partir de terra firme. Fica evidente que para a sub-bacia de drenagem da poligonal em questão a interface terra firme com o ambiente aquático é totalmente dominada pela hidrodinâmica estuarina, pois os volumes de renovação por maré são de 200 a 500 vezes maiores do que aqueles contribuídos pelo escoamento superficial terrestre.

Considerou-se um total de 730 preamares médias anuais. Preamar média com amplitude de 2,5 m. Preamar de sizígia com amplitude máxima de 6,5 m, Quadro 6.

Quadro 6: Comparação de escoamento superficial com volumes de renovação por maré.

SUB-BACIA	VOLUME ESCOADO ANUAL (m3)	ÁREA ENTRE-MARÉS (m2)	VOLUME DE RENOVAÇÃO ANUAL MÉDIO (m3)	VOLUME DE RENOVAÇÃO ANUAL MÁXIMO (m3)
BERÇO 104	2.498.500	690.384	755.970.480	1.663.135.056
BERÇO 101	1.025.700	337.836	369.930.420	813.846.924
PAI FÉLIX	3.405.850	736.606	806.583.570	1.774.483.854

Outro importante fator ambiental a ser considerado são as correntes de maré decorrentes das grandes alturas de marés e influenciadas pela morfologia dos canais e desenho da linha de costa que adquirem padrão turbulento, principalmente em situações de baixamares de sizígia. A consequência direta desse padrão é que em um possível cenário de derramamento acidental a dispersão dos poluentes será extremamente facilitada pela mistura resultante do fluxo turbulento.

8.4 Síntese Dinâmica das Unidades de Paisagens

A Figura 16 ilustra a situação das principais unidades de paisagem no entorno dos berços da EMAP, que é caracterizada por duas enseadas de mangue divididas pela projeção de terra firme que constitui o retroporto do Itaqui e pelo corpo d´água da Baía de São Marcos. A cobertura vegetal principal é formada pela vegetação de mangue das duas enseadas. A do Berço 104 Pulmão tem 65 ha e a enseada entre o Igarapé Irinema e o retroporto do Itaqui tem 113 ha. A vegetação de terra firme está reduzida a algumas manchas de capoeira de térrea firme e formações herbáceas em áreas ainda devolutas na poligonal do porto organizado

Do ponto de vista territorial apenas uma parte das unidades de paisagem está sob a gestão direta do Porto do Itaqui, aqui representado pelos limites da poligonal do porto organizado (PDZ EMAP). Essa área inclui praticamente toda a área de terra firme do retroporto, os berços de atracação e todos os mangues do Berço 104 – Pulmão, e parte daqueles da enseada Pai Félix e Irinema.

Todos os mangues inclusos na poligonal PDZ EMAP serão convertidos em áreas de retroporto, conforme estabelecido em programa de expansão devidamente aprovado junto aos órgãos de licenciamento ambiental e urbanístico. Esse cenário altera significativamente a avaliação dos impactos ambientais negativos sobre os mangues do entorno, uma vez que aqueles estão previstos para remoção e não preservação.

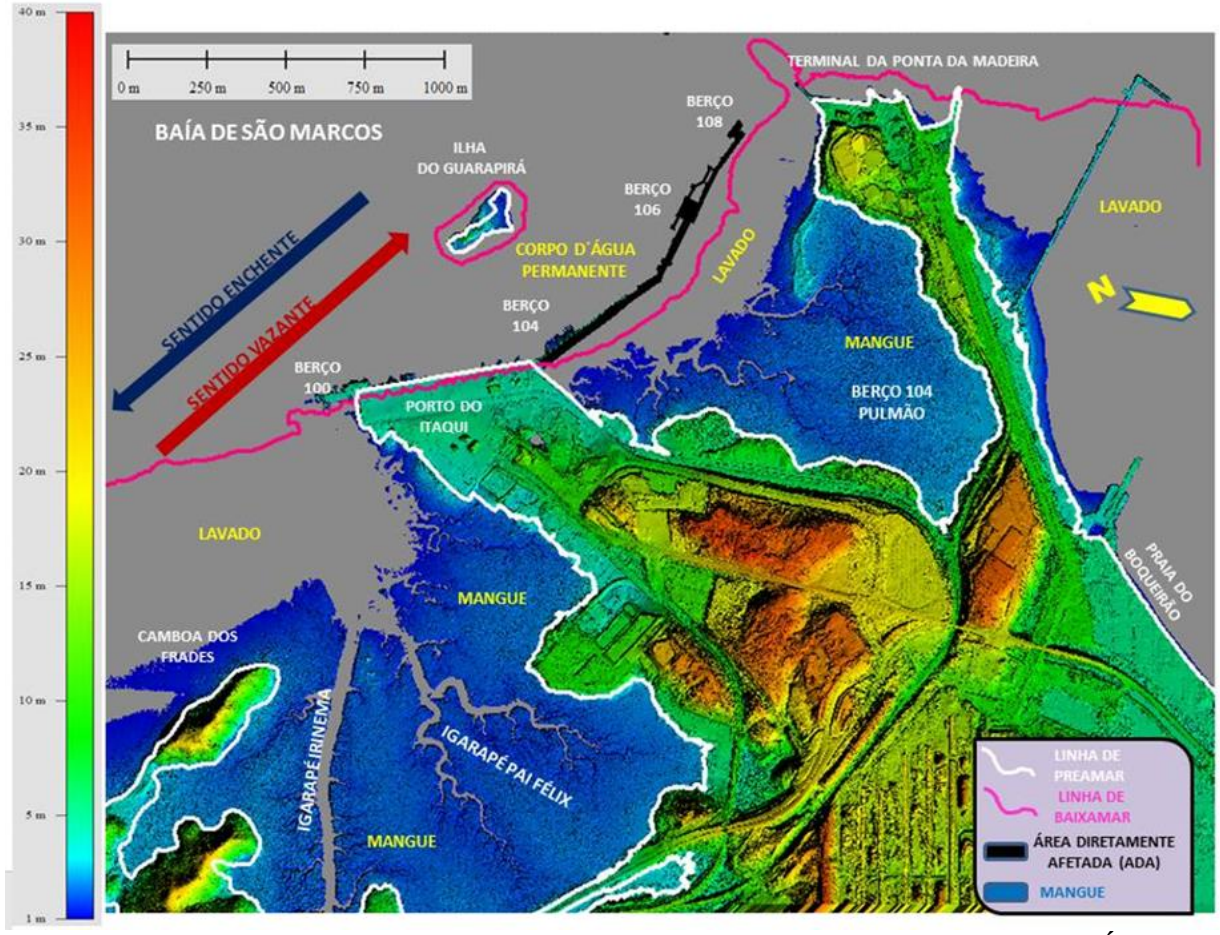


Figura 15: Síntese da localização das principais unidades de paisagem, limites de inundação e dinâmica de maré da Área de Influência Direta (AID). A Área Diretamente Afetada (ADA) está também delimitada com seus berços principais identificados. A altimetria utilizada é a base AEROCARTA de 2009 e está referenciada ao datum vertical de Imbituba, SC.

8.5 Cenários de Vulnerabilidade Local

a) Cenário 1 - Vazamento em Início de Maré de Enchente

A Figura 17 ilustra as condições iniciais para análise do cenário de vazamento acidental em início de maré de enchente. Nessas condições o vazamento seria mantido no canal principal de acesso ao Porto do Itaqui e não adentraria o mangue, que ainda não estaria sendo inundado.

A cota mínima de maré, para iniciar a inundação do mangue e expor esse ambiente à contaminação potencial, só ocorreria após duas ou três horas, possibilitando assim a tomada de ações emergenciais preventivas e mitigadoras. Importante ressaltar que em meia maré de enchente seriam atingidos apenas os mangues ao longo do lavado e próximos ao leito dos igarapés. O restante do mangue só inundaria em situação de preamar de lua nova ou cheia.

O cenário de contaminação potencial dos mangues da enseada dos igarapés Irinema e Pai Félix seguiria os mesmos princípios estabelecidos para a enseada Berço 104-Pulmão, e só ocorreria após duas ou três horas. Contudo, aqui temos um diferencial, pois durante a enchente a entrada do material vazado seria retardada pelo posicionamento da desembocadura dos dois igarapés em relação ao eixo do canal principal de acesso ao porto. Observar que a projeção dos berços 101 e 100 provoca um desvio do eixo do canal e assim dificulta o seu acesso imediato aos igarapés (Figura 17).

O impacto negativo sobre as comunidades de fito e zooplancton do corpo d´água no canal principal e Baía de São Marcos não foi considerado significativo em função das dimensões relativas dessas massas de água em relação ao potencial volume contaminado. A possibilidade de contaminação da enseada dos igarapés Irinema e Pai Félix durante o retorno do material extravasado na subsequente maré de vazante será discutida no cenário durante o início da maré de enchente no Berço 108. Observar que em função do lavado exposto em maré baixa está eliminada a imediata possibilidade de contaminação do mangue das enseadas. A seta azul indica o sentido do fluxo da maré de enchente no canal do Porto do Itaqui.

CENÁRIO 1 – INÍCIO DE MARÉ DE ENCHENTE

Figura 16: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados no corpo d´água em cenário de acidente.

b) Cenário 2 - Vazamento em Meia Maré de Enchente

A Figura 18 apresenta as condições iniciais para análise do cenário de vazamento acidental em meia maré de enchente. Este é o pior cenário de contaminação dos mangues, pois o vazamento ocorreria com a maré já adentrando a floresta com três horas de enchente ainda restantes.

Observar que o extravasamento seria distribuído também na porção interna dos berços, por um fluxo de água menos intenso do que aquele ocorrendo no canal principal. Esse fluxo secundário espalharia o poluente por toda a extensão da franja de mangue da enseada do Berço 104 – Pulmão.

Em tese, a contaminação potencial dos mangues da enseada dos igarapés Irinema e Pai Félix seria em menor escala, como no cenário 1, pois mesmo com a cota de maré no limite do mangue com o lavado ainda teríamos o atenuante do posicionamento da desembocadura dos dois igarapés em relação ao eixo do canal principal de acesso ao porto.

O impacto negativo sobre as comunidades de fito e zooplancton do corpo d´água no canal principal e Baía de São Marcos também não seria considerado significativo em função das dimensões relativas dessas massas de água em relação ao potencial volume contaminado.

CENÁRIO 2 – MEIA MARÉ DE ENCHENTE

Figura 17: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados no corpo d´água em cenário de acidente em meia maré de enchente no Berço 108. Observar que o poluente será transportado à montante pelo canal principal e pela área interior entre os berços e o mangue. As setas azuis indicam o sentido do fluxo da maré de enchente.

c) Cenário 3 - Vazamento em Início de Maré de Vazante

A Figura 19 ilustra as condições iniciais para análise do cenário de vazamento acidental em início de maré de vazante. Este é o cenário de menor potencial de contaminação dos mangues, pois o vazamento ocorreria com a maré cheia e com fluxos no sentido oposto às enseadas de mangue. A janela de oportunidade para o desenvolvimento das atividades de prevenção e mitigação seria de seis horas, antes da virada de maré e início do ciclo de enchente. Aqui também o impacto negativo sobre as comunidades de fito e zooplancton do corpo d´água no canal principal e Baía de São Marcos seria mínimo.

Figura 18: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados acidentalmente no corpo d´água em cenário de acidente em início de maré de vazante no Berço 108. Esse é o cenário menos impactante com o poluente sendo afastado por fluxos externo e interno aos berços para longe das áreas de mangue. As setas azuis indicam o sentido do fluxo da maré de enchente.

d) Cenário 4 - Vazamento em Meia Maré de Vazante

A Figura 20 ilustra as condições iniciais para análise do cenário de vazamento acidental em situação de meia maré de vazante. Este é o cenário de segundo menor potencial de contaminação dos mangues. O fluxo no canal principal garantirá o transporte para longe dos mangues e qualquer volume lançado na parte interior dos berços ficará retido no limite do lavado como o corpo d´água. A janela de oportunidade para o desenvolvimento das atividades de prevenção e mitigação seria de três horas, antes da virada de maré e início do ciclo de enchente. Aqui também o impacto negativo sobre as comunidades de fito e zooplancton do corpo d´água no canal principal e Baía de São Marcos seria mínimo.

Figura 19: Cenário de transporte de granéis líquidos lançados acidentalmente no corpo d´água em cenário de acidente em meia maré de vazante no Berço 108. Esse é o segundo cenário menos impactante com o poluente sendo afastado pelo fluxo do canal principal. A seta azul indica o sentido do fluxo da maré de enchente.

e) Síntese dos Cenários de Vazamento Acidental

Considerando o ciclo regular das marés semidiurnas com duas baixa-mares e duas preamares em intervalo de 24h50m, podemos inferir que os cenários de baixo risco em situação de maré vazante representam 50% do período do ciclo, com um cenário de risco intermediário (vazamento em início de enchente) representando 25%. O cenário de maior risco, de vazamento durante a meia maré de enchente representaria também 25% do ciclo diário. Em caso de vazamento acidental, em situação de meia maré de enchente, o potencial de impacto negativo sobre os mangues nas enseadas adjacentes seria proporcional ao volume de material extravasado. O potencial de impacto negativo será também influenciado pela extensão da contaminação das áreas interiores das enseadas, considerando que as áreas primariamente afetadas seriam aquelas mais próximas das margens dos canais interiores de maré e do limite com a unidade de paisagem do lavado.

O impacto negativo sobre fauna e flora no corpo d´água não seria significativo em caso de vazamento acidental. Isso porque é considerável o potencial de diluição dos corpos de água adjacentes aos berços 106 e 108, cujo volume foi estimado em aproximadamente 20 milhões de m^3, dos quais 14 milhões seriam renovados em cada ciclo preamar – baixamar.

O potencial de diluição de poluente extravasado acidentalmente é maximizado pela existência de fortes correntes de maré que podem atingir velocidades de até 2m/s nas áreas do canal principal de acesso ao Porto de Itaqui.

9 SUBSÍDIOS PARA UM FUTURO PLANO DE ÁREA

Como integração de banco de dados entende-se a compilação de registros de eventos acidentais e incidentais de todas as arrendatárias, operadoras e empresas atuando em serviços e manutenção na poligonal do porto organizado

O desafio maior de integração estará na obtenção de informações contextualizantes de consequências dos eventos, pois, a correta avaliação de riscos demanda não só a frequência de incidentes e acidentes, mas também o nível de seus impactos negativos ao ambiente e trabalhadores

O presente tópico não objetiva a produção de banco de dados integrados, mas sim iniciar discussão sobre o seu formato e avaliar criticamente a viabilidade de sua elaboração considerando os desafios de coleta de dados e integração da gestão de risco das arrendatárias e EMAP. Mais especificamente a discussão da viabilidade de integração contemplará propostas de integração de banco de dados de incidentes e acidentes e de estabelecimento de rotina para sua coleta, organização e utilização na elaboração de cenários de risco.

10 ENCERRAMENTO DAS OPERAÇÕES

Os critérios abaixo serão observados, para que seja declarada encerrada a situação de emergência e desmobilizada a EOR:

- ✓ A origem da situação de emergência tiver sido identificada e isolada;
- ✓ A causa da emergência tiver sido controlada;
- ✓ Atendimento pré-hospitalar concluído para todas as vítimas – quando necessário – tendo as mesmas sido removidas para os hospitais de referência;
- ✓ Liberação da área anteriormente bloqueada para atendimento a emergência;
- ✓ As atividades operacionais do Porto do Itaqui tenham sido retomadas;
- ✓ Destinar os resíduos e contaminantes, conforme detalhado no presente plano de emergência;
- ✓ Confeccionar o relatório final da ação de emergência, e encaminhá-lo aos órgãos ambientais (IBAMA, SEMA, CAPTANIA, ANP), em atendimento à Resolução CONAMA No 398/08 – Art. 7;
- ✓ Confeccionar os registros das ações de resposta;
- ✓ Apurar, na medida do possível, as causas do acidente;
- ✓ Reestabelecer os estoques dos itens de consumo empregados no combate à emergência;
- ✓ Reavaliar a eficácia do presente plano de emergência individual;
- ✓ E verificar a necessidade de ações complementares, pós sinistro, como o monitoramento da qualidade da água, dos sedimentos, da biota aquática, e avifauna, a recuperação da fauna e flora atingida, e remediação/recuperação das áreas contaminadas.

10.1 Procedimentos para desmobilização do pessoal, equipamentos e materiais empregados nas ações de resposta.

A desmobilização do pessoal engajado no atendimento à emergência será definida pelo Coordenador de Resposta, após verificar, “in loco”, o atendimento aos requisitos acima mencionados, bem como a necessidade ou não de manter mobilizada parcialmente a EOR.

Após a verificação de que todos os requisitos para encerramento da condição de emergência foram cumpridos, o Coordenador Geral, juntamente com o Coordenador de Resposta estabelecerão a melhor forma de desmobilizar os equipamentos e materiais empregados na emergência. O Assessor de Administração, imediatamente após a desmobilização, fará um balanço do material consumido ou avariado, para que seja iniciado o processo de restabelecimento da condição de prontidão adequada do PEI-Porto do Itaqui.

Tendo sido cumpridos todos os requisitos para o encerramento da Condição de Emergência, o Coordenador Geral de Resposta determinará a desmobilização total de todo o aparato logístico utilizado para o atendimento da situação de emergência.

11 AÇÕES SUPLEMENTARES

Após a desativação da EOR, o Coordenador Geral de Resposta fará uma reunião com os demais componentes, a fim de definir as ações suplementares coerentes com o quadro estabelecido.

A condição formal de emergência só poderá ser declarada encerrada, quando a causa e as consequências geradas a partir do quadro de emergência, tiverem sido controladas ou encerradas. Após dar por encerrado o atendimento à emergência, o Coordenador de Resposta decretará formalmente o seu encerramento. Em seguida será elaborada a Comunicação de Encerramento e o Relatório Final. Importante ressaltar que, além do registro, deverá ser efetuada uma investigação, que resultará na elaboração de um Plano de Ação com o objetivo de se identificar as medidas corretivas e as que irão neutralizar a repetição das causas do problema registrado. Para situações que demandem medidas de limpeza e recuperação de ecossistemas atingidos será montado um Centro de Recuperação de Ecossistemas composto de funcionários especificamente destinados a estas tarefas de limpeza e recuperação.

Cabe ressaltar que, as ações complementares após o encerramento das operações deverão ser avaliadas em conjunto com o órgão ambiental (IBAMA).

12 TREINAMENTO DE PESSOAL E EXERCÍCIOS DE RESPOSTA

O programa de treinamento de resposta a vazamentos de óleo inclui:

i. Exercícios de comunicação;
ii. Exercícios de planejamento;
iii. Exercícios de mobilização e operação de equipamentos;
iv. Simulações de emergência.

Os objetivos, os participantes e a frequência de cada um dos exercícios em questão podem ser consultados na Tabela 16.

Tabela 16: Programa de Treinamento

Programa de treinamento de resposta a vazamentos de hidrocarbonetos				
EXERCÍCIOS	**OBJETIVOS**	**PARTICIPANTES**	**FREQUÊNCIAS**	**OBSERVAÇÕES**
Exercícios internos de comunicação	Checar e avaliar os procedimentos de alerta nos casos de vazamento de óleo.	✓ Funcionários da EMAP; ✓ EOR - Estrutura Organizacional de Resposta.	Semestral	Facultativo a participação de membros de órgão ambientais e fiscalizadores
Exercícios de planejamento	Orientar e avaliar o desempenho dos supervisores durante o planejamento das operações de resposta.	✓ Organização de Resposta a Emergência	Trimestral	-
Exercícios de mobilização e operação de equipamentos	Averiguar a habilidade dos operadores e o respeito aos procedimentos de segurança durante a mobilização e operação dos equipamentos de resposta a emergências.	✓ Equipes de resposta a vazamentos no mar.	Mensal	Facultativo a participação de membros de órgãos ambientais e fiscalizadores
Simulações de emergências (Exercícios de planejamento + mobilização	Avaliar toda a estrutura de resposta a partir de simulados cuidadosamente elaborados. Inclui todos os aspectos de uma emergência – notificação, planejamento, coordenação, mobilização e desmobilização de recursos.	✓ Funcionários da EMAP; ✓ EOR - Estrutura Organizacional de Resposta - Organização de Resposta a Emergência; ✓ Autoridades governamentais.	Anual	-

13 EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO DO PLANO

José Pereira de Alencar – Químico Industrial – Especialista em Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria. CRQ: 11200021 – 11ª REGIÃO

José Renato Marques Borralho Junior - Eng. Agrônomo Mestre em Agroecologia - Especialista em Engenharia Ambiental - CREA: 8917D/MA CTF IBAMA

Márcio Costa Fernandes Vaz dos Santos – Biólogo, PhD em Ciências Ambientais. CRBio nº 01678/05 CTF IBAMA

José Carlos Pereira Junior
Biólogo, Especialista em Engenharia Ambiental CRBio n° 85065/05-D
CTF IBMA

Flavia
Oceanógrafa
CTF IBAMA

Nubya Karynne de Castro Viana Serra de Alencar
Bacharel em Direito, Especialista em Gestão de Projetos

14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

American Petroleum Institute - API. 1985. **Oil spill cleanup: Options for minimizing adverse ecological impacts**. Washington: Health and Environmental Science Department, 580p.

Brasil, Ministério do Meio Ambiente. 2004. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo**. Acessível em http:// www.mma.gov.br/ estruturas/projeto/_arquivos/especificacoes_cartas_sao.pdf.

CANTAGALLO, C.; MILANELLI, J. C.C.; DIAS-BRITO, D. **Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo**: uma revisão. Pan-American Journal of Aquatic Sciences (2007) 2 (1):1-12. 2007.

CETESB. **Derrames de Óleo no Mar e os Ecossistemas Costeiros**. São Paulo. 2017.

CURBANI, F. E. **Caracterização de ondas na região adjacente ao Porto de Barra do Riacho, Aracruz-ES, para o ano de 2018**. 75 f. Vitória (ES). Monografia (Graduação). Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em :<http://www.oceanografia.ufes.br/sites/oceanografia.ufes.br/files/field/anexo/FRANCIANE%20ENTRINGER%20CURBANI.pdf>. Acesso em 03 de setembro de 2018.

EMAP. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) das Obras de Expansão do Porto do Itaqui**. São Luís. 2017.

EMAP. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto do Itaqui**. São Luís. 2012.

EMAP. **Plano de Emergência Individual – PEI, Porto do Itaqui**. São Luís. 2012.

GRANEL QUÍMICA. **Plano de Emergência Individual – PEI**, Porto do Itaqui, São Luis 2017

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION & INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (United Kingdom). IMO/IPIECA Report Series. Vol. 2. **Sensitivity Mapping for Oil Spill Response**. London, UK: IPIECA, 1994. 28 p. Vol 1.

PORTO DE ITAJÁI. **Plano de Emergência Individual (PEI)**. Santa Catarina. 2010.

SZEWCZYK, S. B. O., (2006). **Processos envolvidos em um derramamento de óleo no mar, 2006**. Artigo. Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica (SEMENGO). FURG, Rio Grande, 2006.

Zengel, S. A. & Michel, J. 1996. **Vegetation Cutting as a Clean-up Method for Salt and Brackish Marshes Impacted by Oil Spills: a Review and Case History of the Effects on Plant Recovery**. Marine Pollution Bulletin, 32 (12): 876-885.

Acessado em 10/12/2018 às 08:55 Informações técnicas do Óleo Diesel http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/diesel-manual.pdf

Acessado em 12/12/2018 às 15:26 modelo de comunicado de informação de acidente ambiental http://www.ibama.gov.br/emergencias-ambientais/comunicado-de-acidente-ambiental

15 RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO DO PLANO DE EMERGÊNCIA INDIVIDUAL PEI

ANA CAROLINA COUTINHO CARVALHO
Coordenador de Meio Ambiente

16 ANEXOS

ANEXO I - Formulário de Comunicação Inicial do Incidente – apêndice da CONAMA 398

ANEXO II - Formulário de Comunicação Inicial do Incidente – emergência IBAMA

ANEXO III - Dimensionamento da Capacidade Mínima de Resposta

ANEXO IV - Relatórios de modelagem de derrame de óleo para os pontos – berços 100 e 108 (Porto do Itaqui), Ponta de Espera e Porto Grande.

ANEXO V - Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo (Carta SAO).

ANEXO I

Formulário de Comunicação Inicial do Incidente – apêndice da CONAMA 398

COMUNICAÇÃO INICIAL DO INCIDENTE

I - Identificação da instalação que originou o incidente:
Nome da instalação:
( ) Sem condições de informar
II - Data e hora da primeira observação:
Hora:
Dia/mês/ano:
III - Data e hora estimadas do incidente:
Hora:
Dia/mês/ano:
IV - Localização geográfica do incidente:
Latitude:
Longitude:
V - Óleo derramado:
Tipo de óleo:
Volume estimado:
VI - Causa provável do incidente:
( ) Sem condições de informar
VII - Situação atual da descarga do óleo:
( ) paralisada
( ) não foi paralisada
( ) sem condições de informar
VIII - Ações iniciais que foram tomadas:
( ) acionado Plano de Emergência Individual;
( ) outras providências:
( ) sem evidência de ação ou providência até o momento.
IX - Data e hora da comunicação:
Hora:
Dia/mês/ano:
X - Identificação do comunicante:
Nome completo:
Cargo/emprego/função na instalação:
XI - Outras informações julgadas pertinentes:
Assinatura:

ANEXO II

Formulário de Comunicação Inicial do Incidente - emergência IBAMA

COMUNICADO DE ACIDENTE AMBIENTAL

1. Localização do acidente

Unidade da Federação: _____ Município:
Coordenadas: Lat _____S Long _____W ou UTM: Fuso_____ _____N _____E

Rodovia	Ferrovia	Terminal, portos, ancoradouros etc.	Embarcação	Refinaria	Plataforma
Indústria	Duto	Barragem	Armazenamento/depósito	Posto de combustível	Outro(s) – qual(is):

Complementação:_____ *Sem informação sobre a origem do acidente*

2. Tipo de evento

Derramamento de líquidos	Vazamento de gases	Lançamento de sólidos	Produtos químicos/ embalagens abandonadas	Desastre natural	Explosão/ incêndio	Mortandade de peixes
Rompimento		Outro(s) – qual(is):				

3. Tipo de produto

Nome da substância:	Nº da ONU:	Classe de Risco:	
Efluente químico		N.°:	Não especificado
Efluente sanitário	Quantidade aproximada:	Não classificado	Não se aplica

Outros produtos envolvidos: Não Sim Especificar:
Sem informação sobre o(s) produto(s)

4. Breve descrição do acidente:

5. Data e hora estimadas do acidente

Data: _____ Dia da Semana: Feriado Hora: _____ Período: Matutino Vespertino Noturno Madrugada
Sem informação
Obs: matutino – 6h00 as 11h59; vespertino – 12h00 as 17h59; noturno – 18h00 as 23h59; madrugada – 00h00 as 05h59.

6. Danos identificados

Óbitos/ feridos	População afetada/evacuada	Danos patrimoniais	Suspensão de abastecimento de água	Rio/ córrego	Lago	Mar
Praia	Solo	Águas subterrâneas	Atmosfera	Habitat frágil/raro		Flora
Fauna	APP	UC Federal	UC Estadual/Municipal	Outro(s) – qual(is):		

Descrição dos danos: _____ *Sem informação sobre danos*

7. Identificação da Empresa/Responsável:

Nome: _____ CNPJ/CPF:_____ *Sem informação sobre a empresa*

8. Instituições/empresas atuando no local

IBAMA OEMA Defesa Civil Corpo de Bombeiros Polícia Rodoviária Polícia Militar Polícia Civil Capitania dos Portos

Empresa especializada em atendimento Outra(s) – qual (is):
Especificar as instituições/empresas: _____ *Sem informação sobre as instituições.*

9. Procedimentos de atendimento inicialmente adotados

Existência de Plano de Emergência Individual ou similar: Não Sim – Acionado Não acionado
Sem informação sobre existência/acionamento de PEI
Iniciados outros procedimentos de resposta
Descrição dos procedimentos:

10. Informações adicionais:

Fonte da informação: Comunicado da empresa/responsável OEMA Mídia Denúncia Outra(s) fonte(s).
Identificar a(s) fonte(s):

Informante Interno (IBAMA):	**Informante Externo (empresa/responsável, outros órgãos):**
Nome:	Nome:
Unidade do IBAMA:	Instituição/empresa:
Cargo/função:	Cargo/função:
Telefone:	Contato (tel, e-mail, fax) :
Data: _____ Hora:	

ANEXO III

Dimensionamento da Capacidade Mínima de Resposta

CAPACIDADE DE RESPOSTA

Dentre as hipóteses levantadas no PEI, a descarga de pior caso é um vazamento de 10.000m^3 de Óleo MF-380, referente ao cenário de acidente envolvendo a colisão de navios em trânsito, embarcações de serviço e navios e embarcações/navios e estruturas fixas (cais, terminais e dolfins), durante manobras de atracação, desatracação e amarração.

❖ Recolhedores

Os equipamentos recolhedores de óleo derramado na área do porto do Itaqui deverão seguir, conforme Resolução CONAMA 398/2008, os requisitos mínimos de Capacidade Efetiva de Recolhimento de Óleo (CEDRO) expresso na tabela 17 abaixo:

Tabela 17: Cálculo do CEDRO $_{Requerido}$ para os três tipos de descargas

DESCARGA	VOLUME	CEDRO $_{requerido}$(m^3)		Capacidade Nominal dos Recolhedores (m^3/h)	Tempo Máximo $_{requerido}$
Pequena	8	8		1,67	2
Média	200	200		20,83	6
Pior caso	10.000	Nível 1	1500	312,5	12
		Nível 2	3000	625	36
		Nível 3	5500	1145,83	60

Calculo de dimensionamento dos equipamentos para o Porto do Itaqui para recolhimento de óleo. Tabela 18.

Tabela 18: Dimensionamento dos recolhedores – Porto do Itaqui

RECOLHEDOR	QUANTIDADE (Unidade)	CAPACIDADE NOMINAL (m^3/h)	TEMPO MÁXIMO DE MOBILIZAÇÃO (h)
Vertedouro Portuário	01	30	2
Vertedouro	01	250	12
Discos oleofílicos	01	40	12
Vertedouro	03	125	36
Vertedouro	01	250	60
Vertedouro	02	12	60
Total	**09**	**1195**	-

A Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO) pode ser observada no cálculo abaixo, onde:

$CEDRO_{Disp.} = CEDRO_{vertedouro\ portuário} + 2xCEDRO_{vertedouro\ 250m^3/h} + CEDRO_{discos\ oleofílicos} + 5x\ CEDRO_{vertedouro\ 125m^3/h}$

$CEDRO_{Disp.} = (24 \times 0{,}2 \times 30m^3/h) + 2x\ (24 \times 0{,}2 \times 250m^3/h) + (24 \times 0{,}2 \times 40m^3/h) + 5x\ (24 \times 0{,}2 \times 125m^3/h)$

$CEDRO_{Disp.} =$ **5.736m³**

- **Barreiras de contenção**

O comprimento da barreira de contenção deverá ser, no mínimo, igual a três vezes o comprimento da maior embarcação capaz de atracar no Porto.

O comprimento do maior navio atracado é de 280m, sendo assim o cerco equivalente a ser realizado com barreira de contenção deverá seguir o cálculo abaixo:

$Comprimento_{barreira}$ = 3 x 280m (comprimento da embarcação) = **840m**

Além das barreiras de cerco completo serão utilizadas mais 9 barreiras para contenção do recolhedor para utilização na proteção e recolhimento das áreas vulneráveis.

9 recolhedores ----- 9 lances x 200m = **1.800m**

No total serão utilizados **2.640m** de barreiras de contenção, entre barreiras de cerco completo e barreiras de apoio a recolhimento.

- **Materiais absorventes**

A quantidade de material absorvente requerido para o Porto do Itaqui deverá atender aos seguintes requisitos:

- Comprimento de Barreiras Absorventes ≥ Comprimento Mínimo da Barreira de Contenção (cerco completo à fonte);

- Quantidade de Mantas Absorventes ≥ Quantidade equivalente ao comprimento mínimo da Barreira de Contenção (cerco completo à fonte);

- Quantidade de Material Absorvente a Granel - compatível com a estratégia de resposta apresentada

Recomendado:

- Comprimento de Barreiras Absorventes = **840 metros** (barreiras de cerco completo)
- Barreiras de absorventes para áreas vulneráveis **= 1000 metros**
- Quantidade de Mantas Absorventes = **1.680 unidades**

❖ **Armazenamento temporário**

A capacidade de armazenamento temporário de óleo recolhido deverá ser equivalente a três horas de funcionamento do recolhedor, com isto, a capacidade mínima de armazenamento do Porto do Itaqui deverá ser equivalente ou superior a:

Capacidade mínima de armazenamento temporário requerida para o Porto do Itaqui deverá seguir o recomendado, conforme o cálculo abaixo;

Capacidade armazenamento mínima = C_N dos recolhedores para Dpc na Descarga nível 3 (m^3/h) x 3h

Capacidade armazenamento mínima = 1.195 m^3/h x3h = **3.585 m^3**

Tabela 19: Dimensionamento da capacidade nominal mínima de armazenamento para o Porto do Itaqui

Capacidade Nominal (C_N) dos Recolhedores (m^3/h)	Capacidade de Armazenamento Mínimo Requerido (m^3)	Capacidade de Armazenamento Total Requerido (m^3)	Tempo Máximo de Mobilização (h)
30	90	90	2
250	750	870	12
40	120		
125	375	1125	36
125	375		
125	375		
250	750	125	60
125	375		

❖ **Dispersantes químicos**

O uso de dispersantes químicos é proibido para ambientes a menos de 2000 metros de distância da costa ou a profundidades menores que 20 metros, somente podendo ser empregada quando a não intervenção ou a aplicação de técnicas mecânicas de contenção, recolhimento e dispersão se mostrarem não efetivas, inaplicáveis ou insuficientes, de acordo com a Resolução CONAMA n.º 472 de 27 de novembro de 2015 (Art. 5º e 8º) ou em consonância com a convenção sobre a salvaguarda da vida humana no mar (SOLAS / 74).

ANEXO IV

Relatórios de modelagem de derrame de óleo para os pontos – berços 100 e 108 (Porto do Itaqui), Ponta de Espera e Porto Grande.

ESTUDOS DE MODELAGEM NUMÉRICA DE PROCESSOS COSTEIROS E ESTUARINOS, MANOBRAS DE NAVIO E ENSAIOS DE AMARRAÇÃO PARA AS ÁREAS DE INTERESSE DA EMAP

PORTO DO ITAQUI

RELATÓRIO TÉCNICO – MODELAGEM DE DERRAMO DE ÓLEO / BERÇO 100

OS n°04

Cliente : EMAP
Operação: PORTO DO ITAQUI

Rev.	Data	Descrição da revisão	Elaborado por	Verificado por	Aprovado por	CE
00	05/07/2019	Emissão Inicial	BM	LB	LM	B
						B
						B
						B

CE - Códigos de emissão

A – Preliminar
B – Para Aprovação
C – Para Conhecimento
D – Para Cotação
E – Para Construção
F – Conforme Comprado
G – Conforme Construído
H – Cancelado

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA SLI, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DE SUA FINALIDADE.

A IMPRESSÃO OU REPRODUÇÃO DESTE DOCUMENTO TORNA A CÓPIA NÃO CONTROLADA.

SUMÁRIO

1 MODELAGEM DE ÓLEO 9
1.1 DADOS DE ENTRADA 10
1.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA 11
1.3 PONTO DE RISCO E VOLUME 12
1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO SELECIONADO 14
1.5 CAMPOS DE CORRENTES 14
1.6 CAMPOS DE VENTOS 15
1.7 DOMÍNIO MODELADO 19
1.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES 25
1.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS 26
1.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS 27
1.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 28
1.11.1 PORTO DE ITAQUI - BERÇO 100 30
1.11.1.1 ÓLEO COMBUSTÍVEL MARÍTIMO MF-380 30
1.11.1.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (10.000,0 M³) 31
1.11.1.1.2 VOLUME MÉDIO (200,0 M³) 43
1.11.1.1.3 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 55
1.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 67
1.12.1 ÓLEO COMBUSTÍVEL MARÍTIMO MF-380 67
1.12.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (10.000,0 M³) 68
1.12.1.2 VOLUME MÉDIO (200,0 M³) 72
1.12.1.3 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 76
2 CONSIDERAÇÕES FINAIS 80
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de entrada do modelo. 11
Tabela 2: Coordenadas Geográficas para o ponto de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso. 12
Tabela 3: Características dos óleos utilizados nas simulações. 14
Tabela 4 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia. .. 17
Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca. 18
Tabela 6: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo. 26
Tabela 7: 12 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Berço 100 no porto de Itaqui. 27
Tabela 8: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo. 29
Tabela 9 - Resumo dos resultados probabilísticos para o Berço 100 com o produto MF-380. 30
Tabela 10 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 36
Tabela 11 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 42
Tabela 12 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 48
Tabela 13 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 54
Tabela 14 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 60
Tabela 15 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 66
Tabela 16 - Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos. 67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Berço 100 no porto de Itaqui para a simulação de derrame de óleo. 13
Figura 2 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. 15
Figura 3 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. 16
Figura 4 - Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR. 20
Figura 5 - Detalhe da batimetria junto a grade do modelo. 21
Figura 6 - Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR. 22
Figura 7 - Grid Land/Water junto a grade do modelo. 23
Figura 8 - Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem. 24
Figura 9: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 31
Figura 10: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 32
Figura 11: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 33
Figura 12: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 34
Figura 13: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 35
Figura 14 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 36
Figura 15: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 37
Figura 16: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de

10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 38
Figura 17: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 39
Figura 18: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 40
Figura 19: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 41
Figura 20 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 42
Figura 21: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 43
Figura 22: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 44
Figura 23: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 45
Figura 24: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 46
Figura 25: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 47
Figura 26 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 48

Figura 27: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 49
Figura 28: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 50
Figura 29: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 51
Figura 30: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 52
Figura 31: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 53
Figura 32 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 54
Figura 33: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 55
Figura 34: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 56
Figura 35: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 57
Figura 36: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 58
Figura 37: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de

cheia. 59
Figura 38 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 60
Figura 39: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 61
Figura 40: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 62
Figura 41: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 63
Figura 42: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 64
Figura 43: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 65
Figura 44 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 66
Figura 45: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia 68
Figura 46 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 69
Figura 47: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca 70
Figura 48 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 71

Figura 49: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 72
Figura 50 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 73
Figura 51: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 74
Figura 52 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 75
Figura 53: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 76
Figura 54 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 77
Figura 55: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 78
Figura 56 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 79

1 MODELAGEM DE ÓLEO

O risco de derramamento de óleo no ambiente marinho é uma infortuna consequência da crescente demanda por este recurso natural. Em muitas regiões, a produção, instalações de armazenamento e rotas de navegação estão próximas de zonas costeiras, onde os derrames de hidrocarbonetos podem ser potencialmente desastrosos. Um requisito fundamental para a implementação de uma resposta bem-sucedida a um derramamento de óleo é a capacidade de mobilizar os recursos adequados para as regiões costeiras em risco antes de o óleo atingir a costa. A chave fundamental para alcançar esse objetivo é conhecer o tempo necessário para o impacto na costa, localização e extensão do impacto, bem como o estado físico do óleo provável que chegará às praias e outras regiões sensíveis. Os modelos de derramamento de óleo fornecem a ferramenta ideal para apoiar operações de combate a esses derrames, dando informações sobre a trajetória e destino de derramamentos no ambiente marinho, o impacto na costa e as propriedades físicas do óleo. Em modo operacional, os modelos se tornam uma fonte primária de informação, capaz de orientar as operações de resposta. Alternativamente, em planos de contingência, os modelos são valiosíssimos para testar a validade e a eficácia dos planos de ação propostos e o treino eficiente de pessoal através de exercícios realísticos de resposta.

Com o objetivo de dar suporte ao Porto de Itaqui na elaboração dos estudos ambientais e planos de emergência, apresenta-se neste capítulo a modelagem numérica da trajetória e intemperismo para derrames de óleo no mar, provenientes de acidentes hipotéticos.

A modelagem foi conduzida utilizando-se do software desenvolvido pela SINTEF[1], o Marine Environmental Modelling Workbench (MEMW), especificamente com seu módulo para contingenciamento e resposta a derrame no mar, ou OSCAR (do inglês Oil Spill Contingency And Response), tendo sua melhor descrição e formulação descritas em anexo a este documento. Para a realização destes estudos são necessários conhecimentos prévios detalhados da região de interesse, padrões de circulação, campos de vento, composição do produto e suas características físico-químicas.

Para este estudo considerou-se um campo de ventos variáveis no tempo e no espaço, baseados em dados da reanalise II do NCEP (CFSR), os campos de correntes foram produzidos a partir de dados medidos e modelagem numérica a partir do modelo Delft3D e mais bem descrito por SLI (2018). Para as simulações do transporte de óleo foram considerados um ponto de descarte, 1 produto, três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso, seguindo-se a CONAMA 398/2008) e dois períodos sazonais representados por um mês cada. Adotou-se como critério de parada, 60 horas após o início do derrame, correspondendo ao tempo máximo de resposta estipulado em resolução CONAMA.

A partir dos resultados probabilísticos, foram selecionados cenários determinísticos críticos, baseando-se como critério a maior extensão de toque de óleo na costa.

[1] SINTEF: http://www.sintef.no/

Nos capítulos seguintes, apresentaremos o modelo, dados de entrada, os produtos derramados e suas características, e consequentemente os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas.

1.1 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- Localização geográfica do ponto de derrame;
- Duração do derrame (contínuo, intervalado, etc);
- Volume(s) derramado(s);
- Profundidade do derrame (superficial, de fundo, na coluna d'agua);
- Tipo(s) de óleo;
- Duração da simulação;
- Opções de resposta (e.g. dispersantes), não utilizados neste estudo;
- Campo de correntes;
- Campo de ventos;
- Arquivo de dados meteorológicos;
- Parâmetros de simulação;
- Número de partículas;

Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

As temperaturas médias do ar e da superfície do mar, que influenciam no comportamento físico do óleo derramado, foram definidas para os períodos de cheia e seca.

A média sazonal de temperatura do ar foi definida com base no banco de dados das médias normais climatológicas do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos: www.cptec.inpe.br/clima). De acordo com estes dados, a temperatura média do ar para os períodos de cheia e seca simulado foi de 25°C e 26°C respectivamente.

Tabela 1 - Dados de entrada do modelo.

Parâmetros	Valor utilizado no Modelo OSCAR	
Passo de tempo	15 minutos	
Intervalo de saída	15 minutos	
Número de Partículas por Volume	pequeno	1.000
	médio	6.000
	Pior Caso	15.000
Período	CHEIA	SECA
Temperatura da água (°C)[2]	26	28
Temperatura do ar (°C)[3]	25	26
Fator de deriva do vento	3,5%	

1.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA

Para as simulações de dispersão do óleo foi escolhido 1 mês para cada um dos períodos sazonais (cheia e seca) característicos da região. Dentre estes meses foram observados fenômenos extremos de maré de sizígia para os meses de março (cheia) e setembro (seca).

[2] Valor médio próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados da NOAA.

[3] Valor médio, próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados do CSFR (NCEP).

1.3 PONTO DE RISCO E VOLUME

Para este estudo foi considerado um ponto de risco, sendo este um dos berços de atracação do Porto Itaqui, identificado por berço 100. Ressalta-se a importância do ponto de simulação próximo ao berço, e não diretamente sobre este, para simples entrada de óleo no sistema do modelo. Os dados de entrada do Ponto são apresentadas na Tabela 2 e sua localização é apresentada na Figura 1.

Tabela 2: Coordenadas Geográficas para o ponto de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso.

Ponto de Risco	Latitude	Longitude	Tipo do Óleo	Descarga de Pior caso (m³)
Berço 100 Porto de Itaqui	2°35'5.22"S	44°22'7.28"O	Óleo combustível marítimo: MF-380	10.000,0

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 3 (três) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8,0 m³; médio, com até 200,0 m³ e de pior caso (10.000,0 m³), definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço. Para simulação dos cenários hipotéticos acidentais definiu-se o produto para a modelagem:

1) O óleo combustível marinho MF-380 (MF).

Tendo suas características apresentadas à seguir.

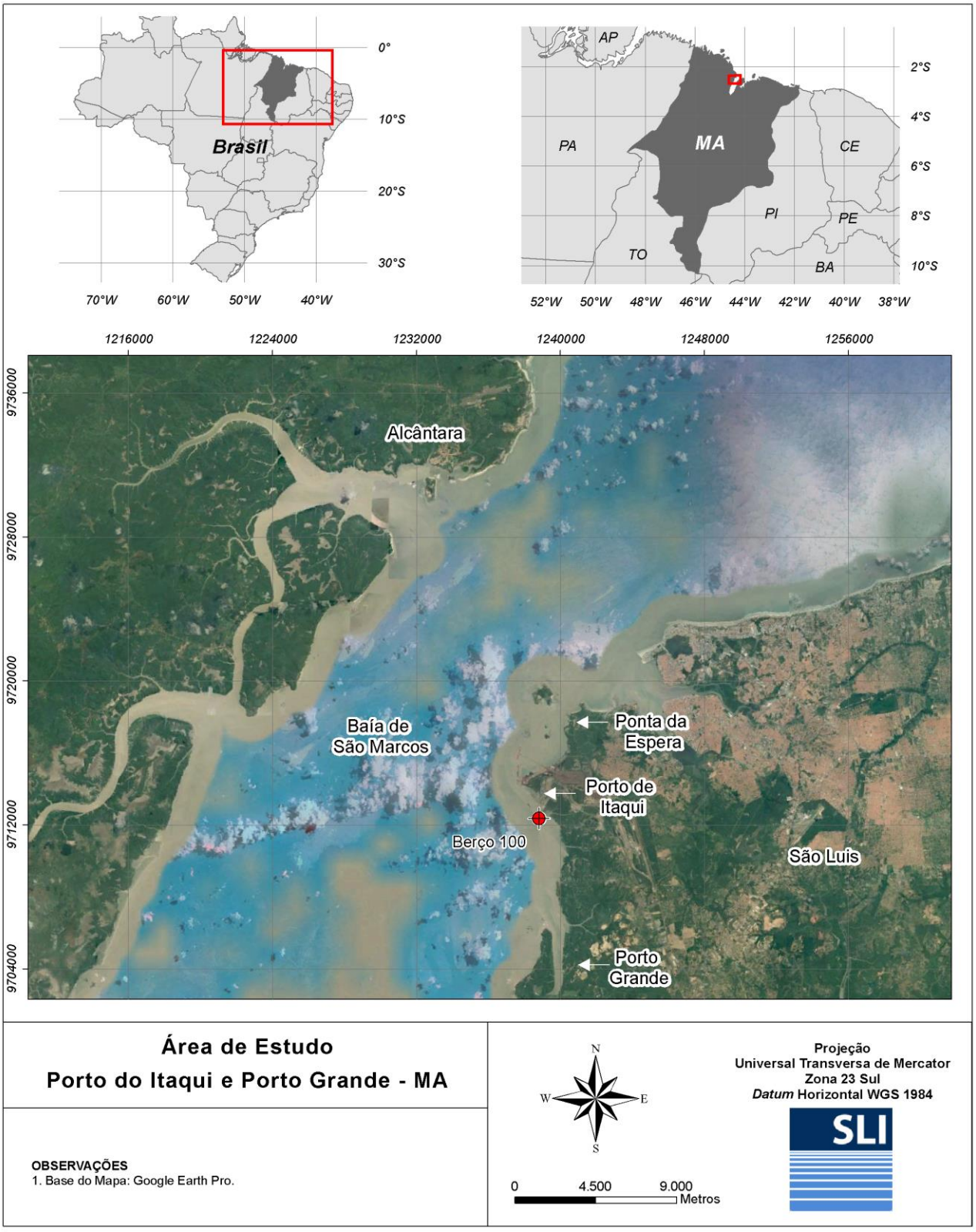


Figura 1: Localização do Berço 100 no porto de Itaqui para a simulação de derrame de óleo.

1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO SELECIONADO

As simulações numéricas de dispersão de óleo para os 3 volumes foram realizadas com apenas um produto, o óleo do tipo Heavy Bunker, IF-180 Shell, sendo este o tipo de óleo disponível do banco de dados do modelo *OSCAR* que melhor representa o óleo combustível (MF-380) utilizado nas embarcações. O grau API é uma grandeza utilizada mundialmente para a classificação dos tipos de petróleos em relação à densidade deles. As características do óleo simulado encontram-se definidas na Tabela 3.

Tabela 3: Características dos óleos utilizados nas simulações.

Parâmetro	**Óleo de Referência**	**Óleo de entrada no modelo**
	Óleo Combustível Marinho MF-380	*IF-180 SHELL*
Natureza Química	Hidrocarboneto	Hidrocarboneto
Densidade (g/cm³)	0,9878	0,973
Ponto de Fulgor (°C)	60	--[4]
Grau API	~11,74[5]	14,0
Viscosidade Dinâmica (cP)	--	28000
Viscosidade Cinética (cSt) à 50°C	380	--
Solubilidade (na água)	Desprezível	--

1.5 CAMPOS DE CORRENTES

Os campos de correntes e estudo hidrodinâmico já foram previamente discutidos em relatório SLI (2018). As correntes de input são relativas aos períodos determinados de Cheia e Seca, e reitera-se para todos os fins, correspondem ao mês de março e setembro respectivamente.

[4] Valor não fornecido, ou não consta no modelo.

[5] Valor aproximado, calculado segundo a densidade fornecida. API = (141,5 / densidade) – 131,5

1.6 CAMPOS DE VENTOS

Os campos de ventos utilizados são dados de Reanálise do NCEP (CFSR), trata-se de um conjunto de assimilação de dados em escala global, com resolução espacial de 0,5° e temporal de 6 horas a cada hora, e para simulação do óleo foram utilizados dados dos produtos hora a hora contemplando uma variabilidade temporal adequada para as simulações.

Este produto é gerado pelos centros norte-americanos NCEP e NCAR (Centro Nacional para Previsão Ambiental e Centro Nacional para Pesquisa Atmosférica) e distribuído pela Central Norte-Americana de Dados Climáticos.

Neste estudo foi utilizado um recorte no domínio espacial estendendo-se de 45°W a 43°W e 1,5°S a 3,5°S e não foi realizado nenhum tipo de pós tratamento sobre os dados (como interpolações, filtros ou médias) escolheu-se o ano de 2018 em meses correspondentes ao representado no hidrodinâmico. Nas Figura 2 e Figura 3 ilustram-se instantes dos períodos mencionados, na sequência, apresentamos uma distribuição de ocorrência conjunta para ambos os períodos contemplados.

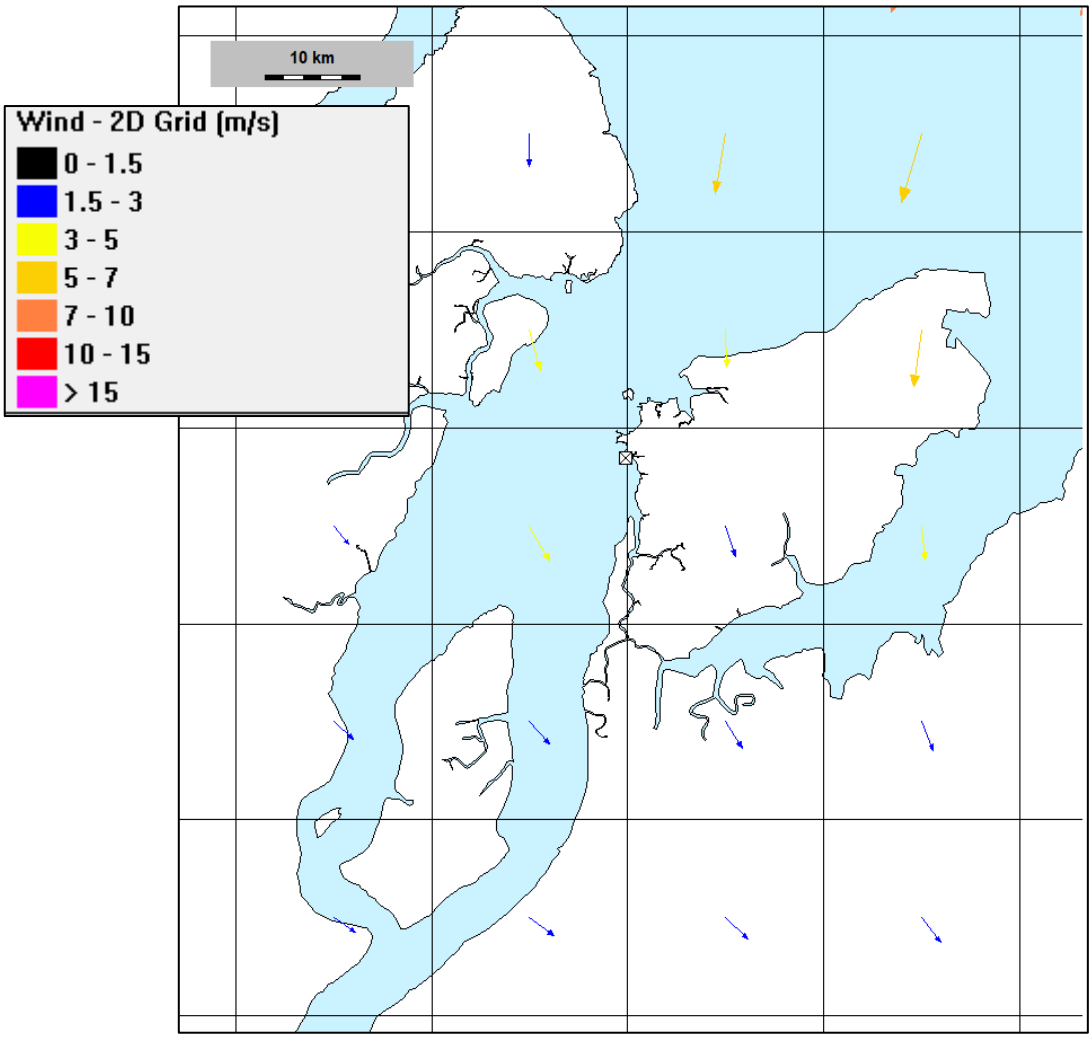


Figura 2 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

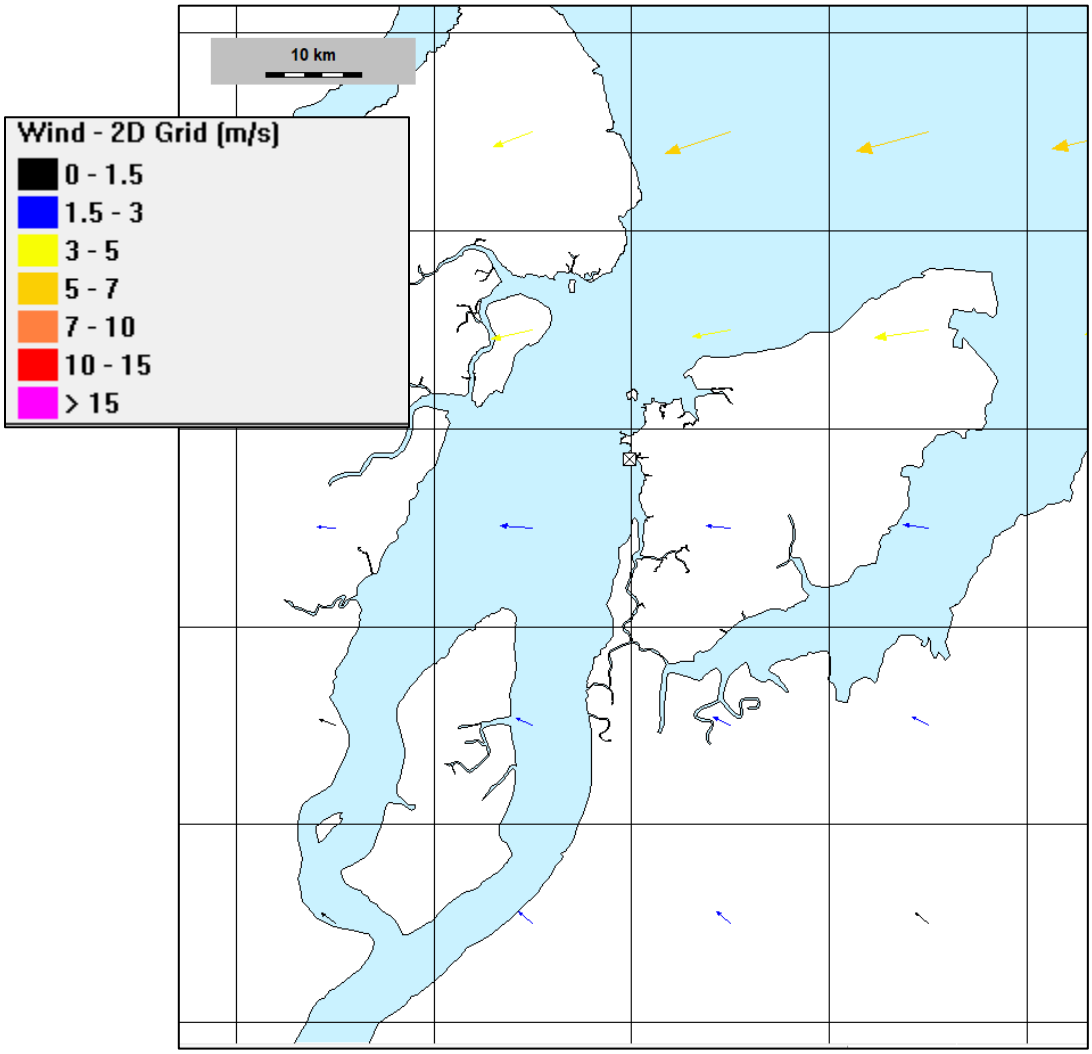


Figura 3 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

Tabela 4 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1	2							1					1				4	3.23	0.30	0.67	0.98
1 - 2	1	3	2		1	1		3									11	8.87	1.03	1.46	1.92
2 - 3		4	14	6	3	1											28	22.58	2.04	2.50	2.96
3 - 4		2	25	19	2												48	38.71	3.08	3.54	3.99
4 - 5			12	16	1												29	23.39	4.02	4.44	4.88
5 - 6			2	2													4	3.23	5.01	5.06	5.30
Num. Casos	3	9	55	43	7	2		4					1				124				
Freq. (%)	2.42	7.26	44.35	34.68	5.65	1.61		3.23					0.81								
Vel Min	0.62	1.18	1.06	2.04	1.03	1.71		0.76					0.30								
Vel Med	0.96	2.48	3.48	3.78	2.73	1.99		1.26					0.30								
Vel Max	1.29	3.54	5.30	5.14	4.36	2.27		1.73					0.30								

MARÇO

Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1																					
1 - 2			1														1	0.83	1.89	1.89	1.89
2 - 3			2	4	1												7	5.83	2.10	2.78	2.96
3 - 4		4	6	8	1												19	15.83	3.09	3.56	3.99
4 - 5		2	15	20	6												43	35.83	4.01	4.51	4.99
5 - 6			12	20	7												39	32.50	5.00	5.38	5.99
6 - 7		1	5	4	1												11	9.17	6.02	6.30	6.84
Num. Casos		7	41	56	16												120				
Freq. (%)		5.83	34.17	46.67	13.33																
Vel Min		3.53	1.89	2.93	2.10																
Vel Med		4.26	4.71	4.66	4.87																
Vel Max		6.05	6.84	6.45	6.28																

SETEMBRO

1.7 DOMÍNIO MODELADO

Na modelagem de óleo foram utilizados dados batimétricos extraídos da ETOPO 1 obtido no NGDC, cartas náuticas da DHN e dados do projeto batimetria da CPRM. O OSCAR, internamente interpola os dados das bases importadas ao modelo.

A grade do modelo de óleo, como informado acima, utiliza a informação de batimetria proveniente das bases citadas acima. Assim, para a modelagem de óleo em regiões próximas à costa, o modelo de óleo utiliza informações de batimetria com melhor resolução, importando estes dados a sua resolução de grade e correntes do modelo hidrodinâmico da célula representativa do local de interesse, i.e., frente à resolução espacial da grade hidrodinâmica (já descrita em capítulos anteriores). Para os cenários simulados neste estudo foi definida uma grade habitat, considerando a quantidade máxima de pontos permitida pelo modelo de óleo (1.000 x 1.000 pontos), como temos uma maior dispersão no sentido norte-sul, orientada com o canal utilizou-se uma grade com (690 x 950 pontos) com resolução espacial de 90 m (x) X 90 m (y), e 1 camada (mínimo exigido pelo modelo) vertical de 12 m as Figura 7 eFigura 8 apresentam detalhes da grade habitat utilizada.

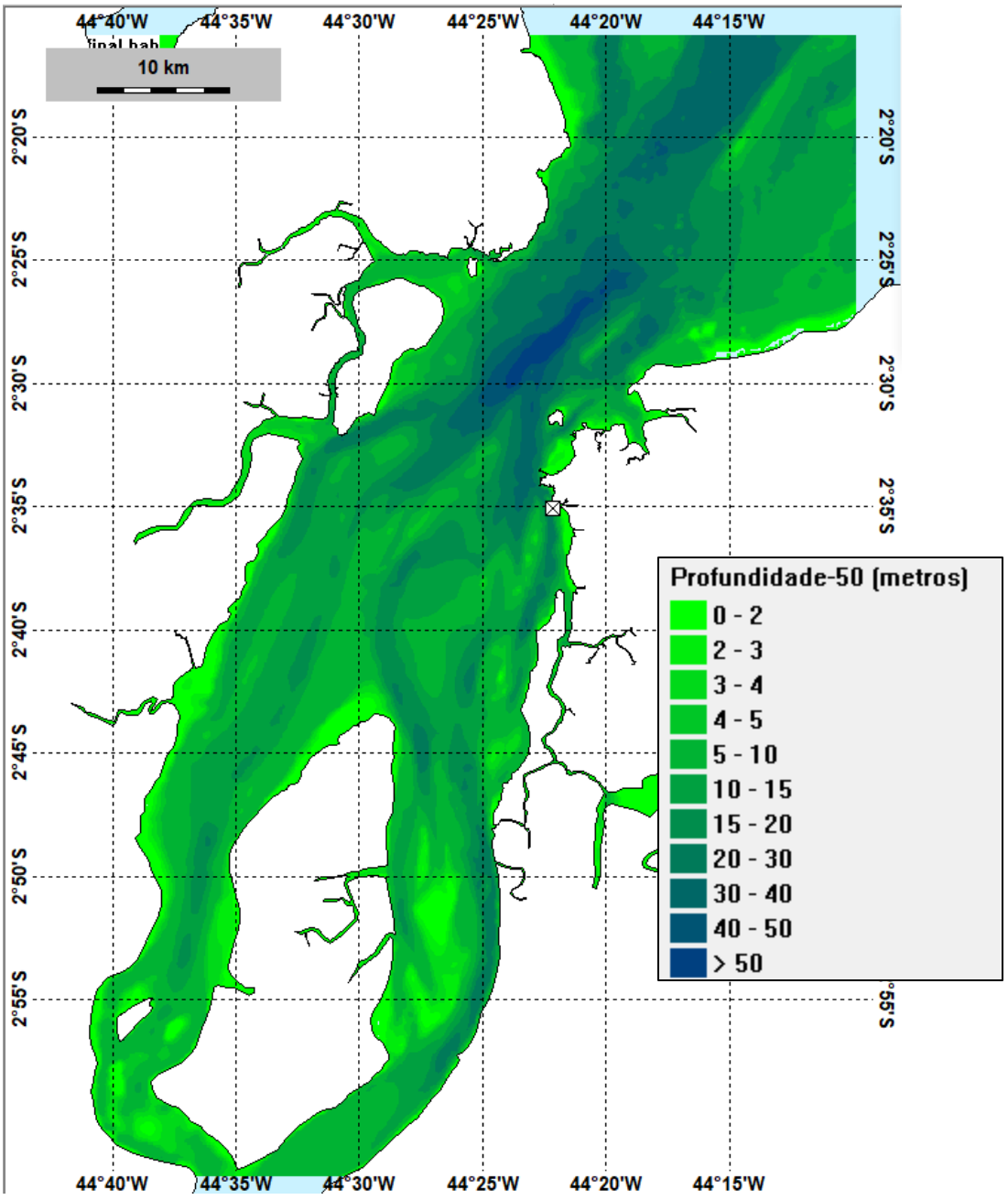


Figura 4 - Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR.

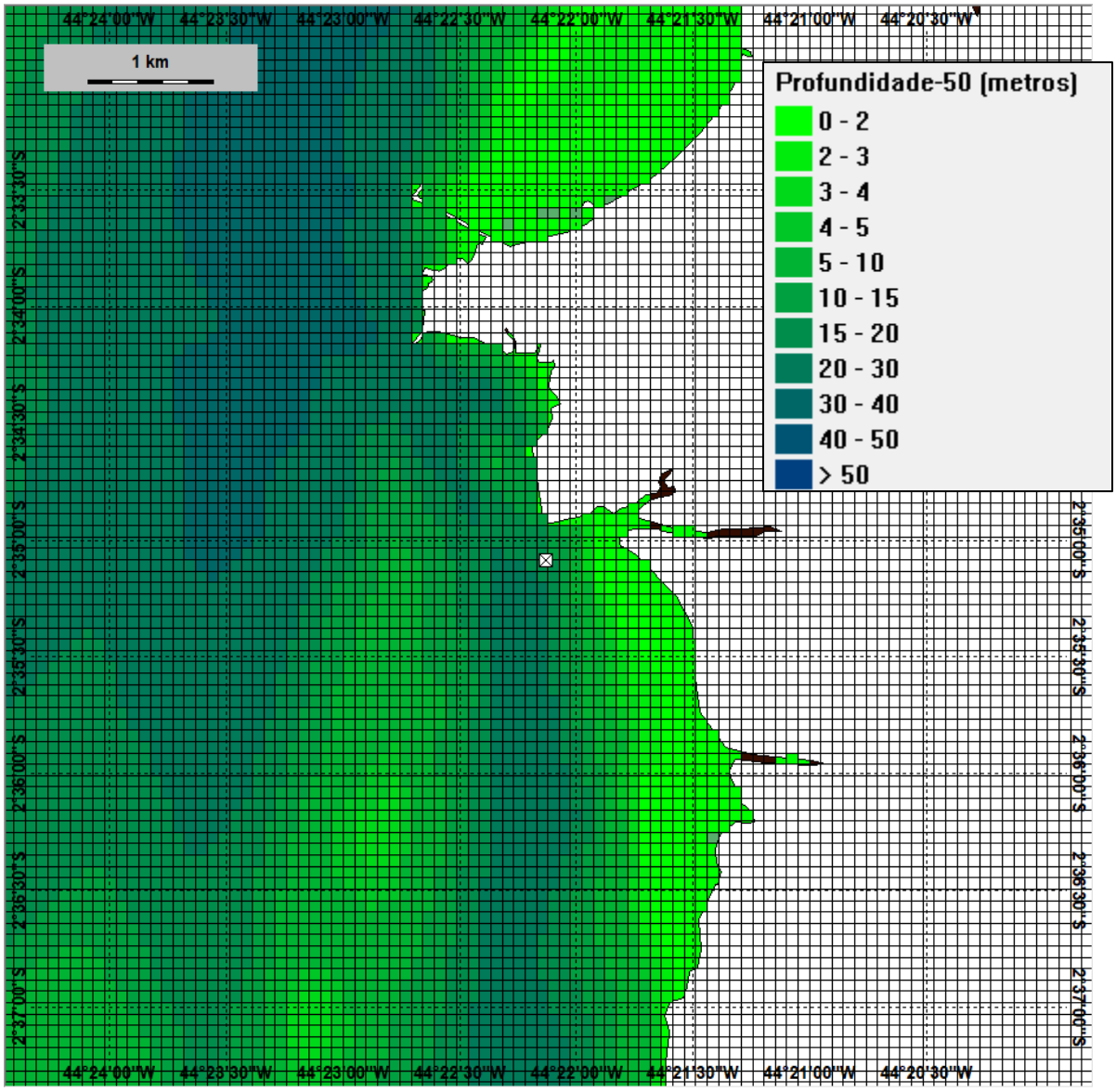


Figura 5 - Detalhe da batimetria junto a grade do modelo.

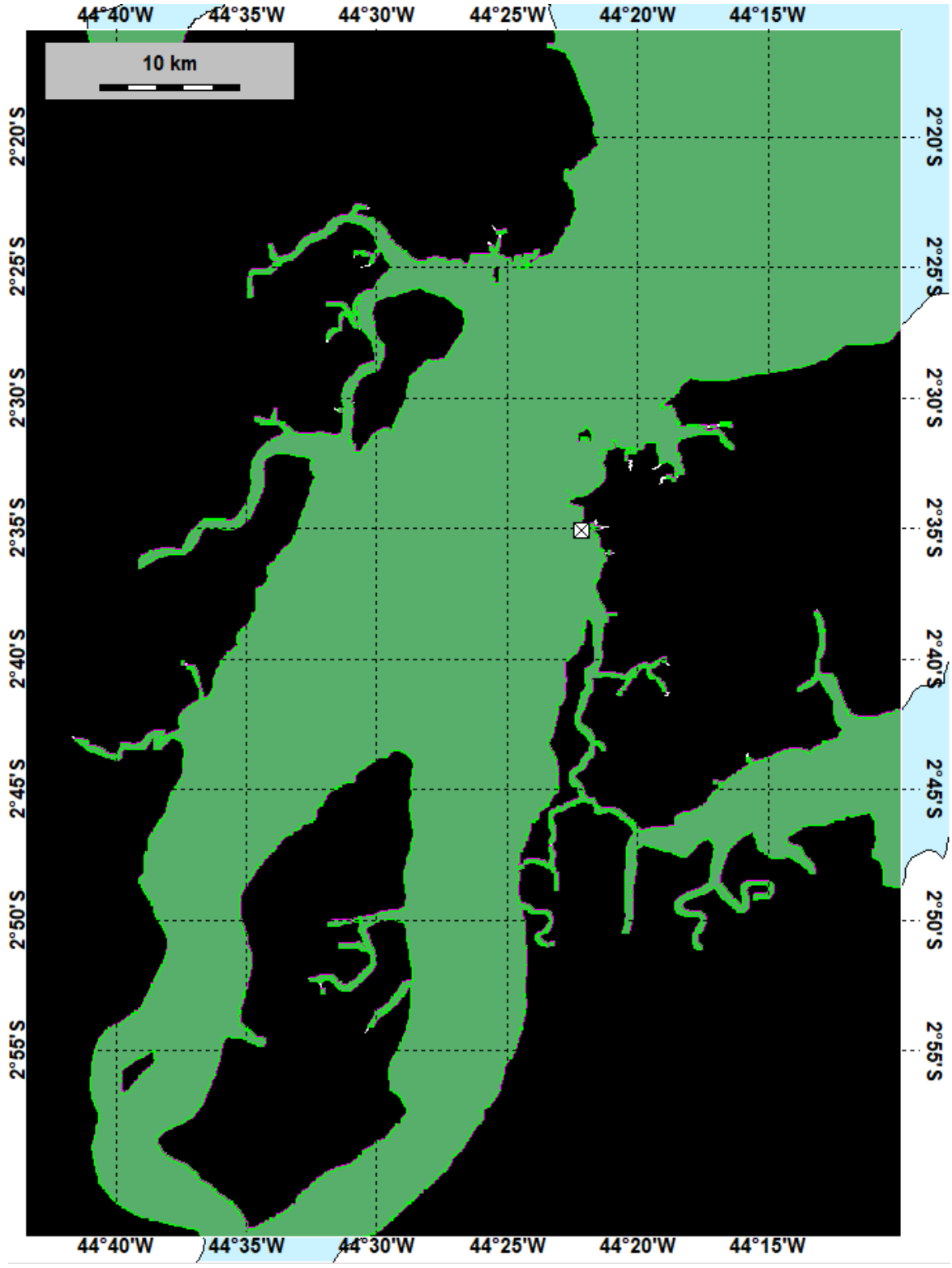


Figura 6 - Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR.

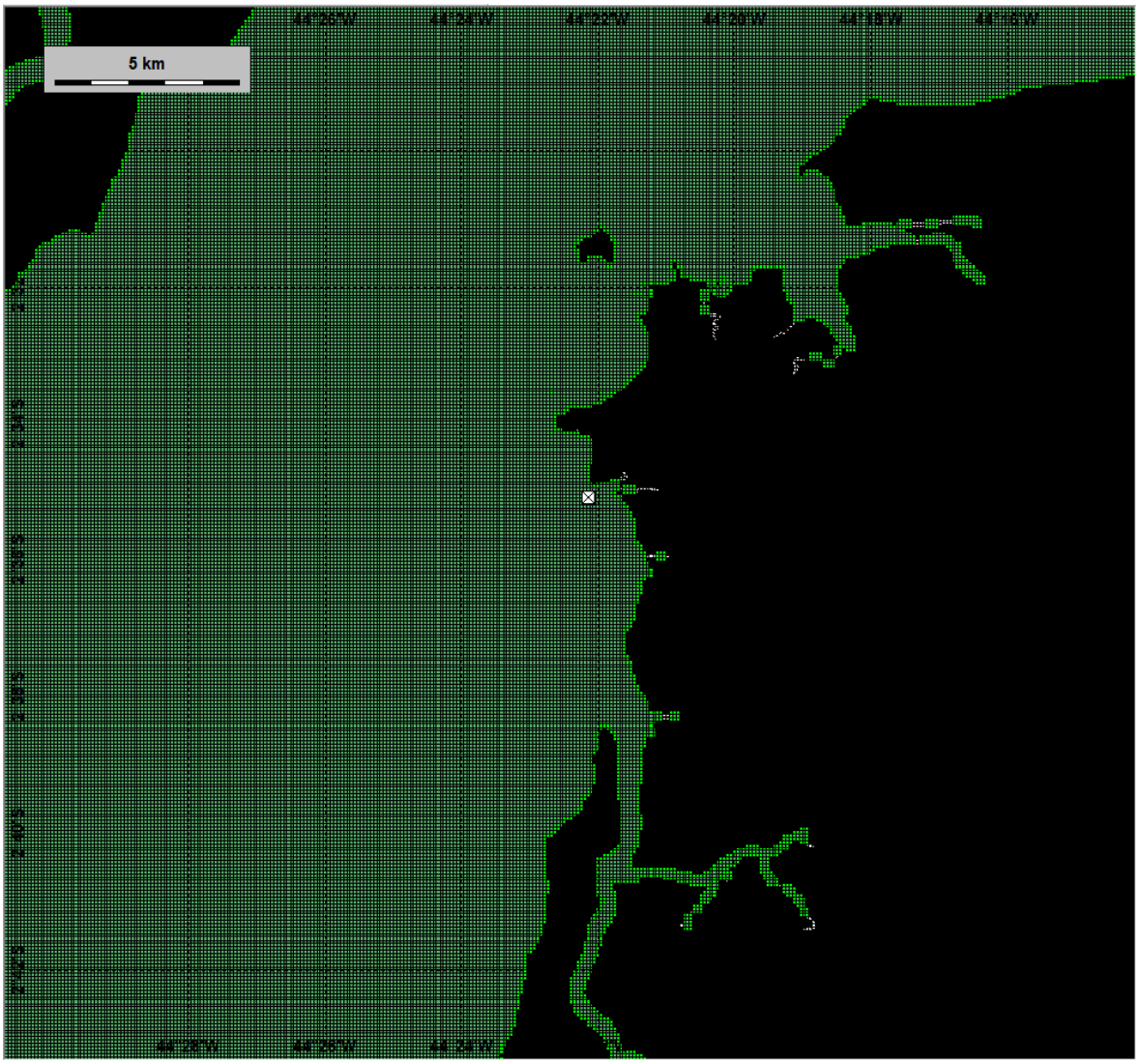


Figura 7 - Grid Land/Water junto a grade do modelo.

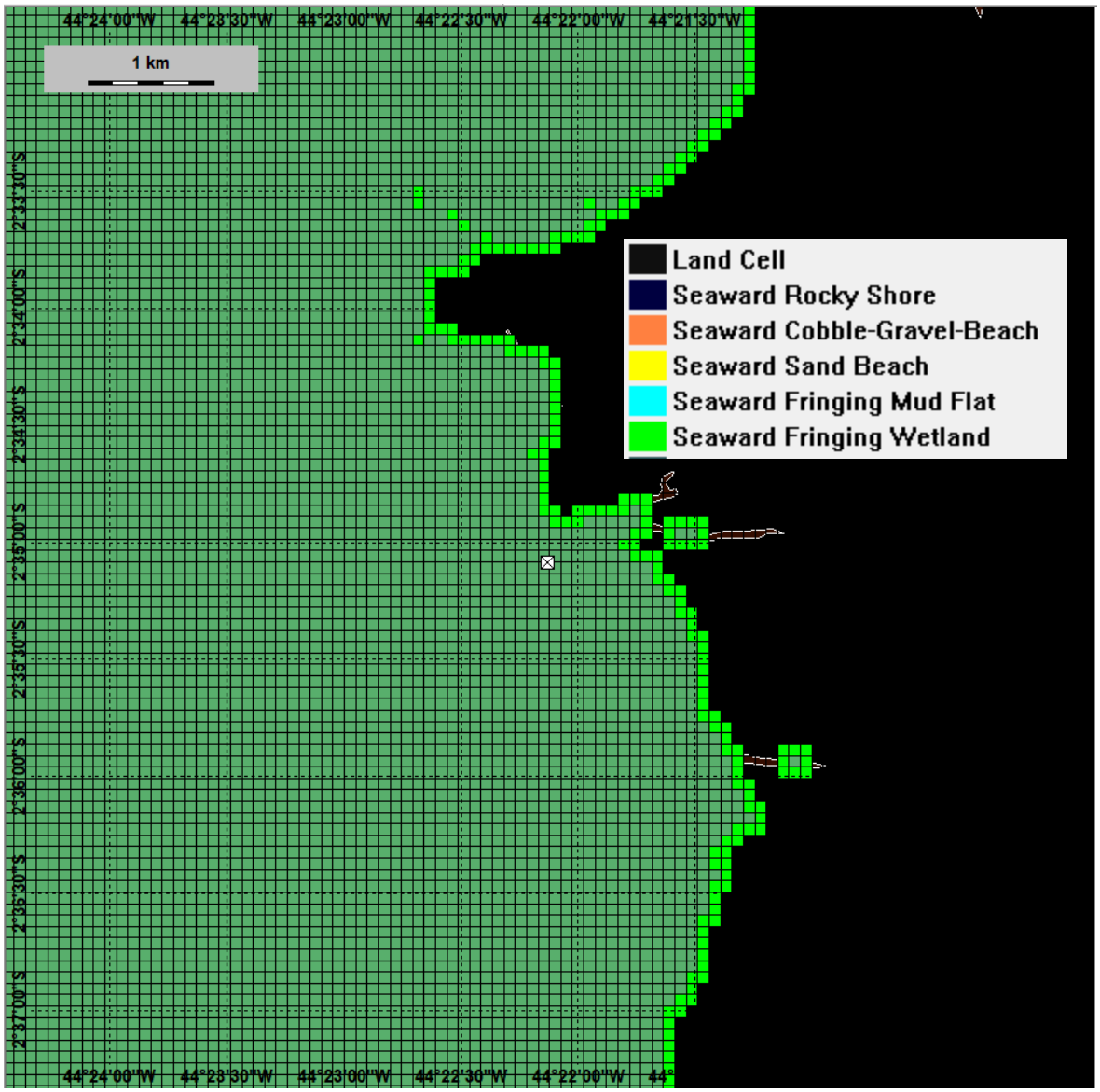


Figura 8 - Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem.

Para a definição dos tipos de costa adotados foi realizado, inicialmente, um levantamento dos possíveis tipos de costa encontrados na região (praias arenosas, mangues e costões rochosos) com base nas Cartas de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de Óleo (Cartas SAO) para a bacia sedimentar marinha do Pará-Maranhão/Barreirinhas (MMA, 2017) e ao projeto MAREM (IBP, 2016). A linha de costa para a região da baía de São Marcos em quase sua totalidade é caracterizada por ser um mangue, com alguns pontos em ressalva, como portos, píer etc. Posteriormente, foi realizado um balizamento destas informações levantadas com os tipos de costa disponíveis no modelo de óleo6, para melhor entendimento, dentro o modelo, este traz para a resolução da grade o tipo da região, caso haja predominância de um determinado tipo, este será o "habitat" para dado elemento de grid.

[6] Praias arenosas: seaward sandbeach / Mangues: seaward fringing wet-land / Costão rochoso: seaward rocky shore

1.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES

Foi adotado nas simulações o tempo de 60 horas como critério de parada para o acompanhamento da mancha de óleo, a determinação desta interrupção se dá pelo volume hipotético de descarga do pior caso já superar a Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO) especificados na Resolução CONAMA nº 398/08 (CEDRO dpc3). Este é o tempo máximo exigido para a disponibilização de recursos de contenção e limpeza no local da ocorrência da descarga.

Com o objetivo de gerar o cenário mais conservador possível do ponto de vista ambiental, nenhum cenário simulado considerou ação de resposta ou contenção do óleo derramado durante o período de simulação.

1.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

As simulações no modo probabilístico consideram a variabilidade das forçantes ambientais. Logo, as simulações de comportamento da mancha são realizadas através da variação aleatória do início do vazamento, dentro do período para o qual se dispõe de dados ambientais (cheia/seca). Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foram realizadas 200 simulações com o modelo *OSCAR* para cada cenário probabilístico. Na Tabela 6 e são apresentados os cenários probabilísticos simulados neste estudo. Onde a devida denominação para o cenário se dá na forma:

- B100MF: representa o Berço 100 e MF o produto Óleo combustível marítimo MF-380 respectivamente;
- PC, 200 e 8: Os volumes derramados para Pior Caso (10.000,0 m³), médio (200,0 m³) e pequeno (8,0 m³);
- CHEIA e SECA: os períodos sazonais representativos pelo mês de Março e Setembro respectivamente.

Os instantes iniciais de todo o conjunto de simulações determinísticas que compõem os cenários probabilísticos são definidos automaticamente pelo modelo, através da seleção das datas de início espaçadas regularmente no tempo, ao longo do período sazonal definido. Desta forma, todas as simulações probabilísticas apresentam um mesmo conjunto de datas de início dos derrames, porém essas datas de início não se repetem.

Tabela 6: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo.

Cenários	Tipo do Produto	Volume (m³)	Duração da descarga	Tempo de simulação (h)	Estação
B100MF_PC_CHEIA	Óleo MF-380	10.000,0	2 horas	60	Cheia
B100MF_200_CHEIA	Óleo MF-380	200,0	Instantâneo[7]	60	Cheia
B100MF_8_CHEIA	Óleo MF-380	8,0	Instantâneo	60	Cheia
B100MF_PC_SECA	Óleo MF-380	10.000,0	2 horas	60	Seca
B100MF_200_SECA	Óleo MF-380	200,0	Instantâneo	60	Seca
B100MF_8_SECA	Óleo MF-380	8,0	Instantâneo	60	Seca

[7] Mesmo passo de tempo do modelo, sendo lançado no primeiro instante.

1.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS

Para as simulações determinísticas foram escolhidos os cenários que apresentavam maiores extensões de toque a costa. A seleção dos cenários foi feita com base nas simulações probabilísticas, buscando demonstrar situações em que o óleo se espalha e encalha na costa. Estes cenários foram selecionados pois os tempos de toque são muito curtos devido ao porto estar próximo à costa (toque na ordem de 30 minutos, ou segundo passo de tempo do modelo), e todavia os períodos simulados com sinais de maré (dominam a região), já caracterizado um evento extremo. Na Tabela 7 estão listados os cenários simulados. A qual segue o mesmo padrão de denominação como o do probabilístico, salve a ressalva de:

- DE: Determinístico de maior extensão.

Tabela 7: 12 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Berço 100 no porto de Itaqui.

Cenários	Data de Início	Tempo Mínimo de Toque (HH:MM)	Município de Primeiro Toque	Volume Final de óleo na Costa (m³)[8]	Extensão de Toque ao final da simulação (km)[9]
DE_B100MF_PC_CHEIA	03/03/2018 03:00	00:30	São Luís (MA)	5.830,0	103,25
DE_B100MF_200_CHEIA	03/03/2018 03:00	00:30	São Luís (MA)	163,8	39,4
DE_B100MF_8_CHEIA	10/03/2018 23:00	41:45	Cajapió (MA)	4,37	5,43
DE_B100MF_PC_SECA	11/09/2018 15:00	00:30	São Luís (MA)	7.940,0	202,1
DE_B100MF_200_SECA	10/09/2018 02:00	00:45	São Luís (MA)	119,2	91,81
DE_B100MF_8_SECA	12/09/2018 04:00	00:30	São Luís (MA)	6,88	22,4

[8] Valor calculado de acordo com o balanço de massa (%) da simulação em relação ao volume inicial descartado.

[9] O valor é referente a toda extensão alcançada, e não ao município em destaque.

1.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

A seguir serão apresentados as extensões de toque na costa e área total de abrangência do óleo na superfície da água para as simulações probabilísticas dos cenários descritos na Tabela 6. São apresentados os resultados referentes na Tabela 8 ao vazamento de óleo, entre as Figura 9 eFigura 44, respeitando-se a sequência para os volumes de Pior Caso (10.000,0 m³), médio (200,0 m³) e pequeno (8,0 m³) apresentando-se os resultados dos períodos de cheia e seca, demonstrando-se primeiramente os contornos de probabilidade de ocorrência do óleo, seguidos do tempo mínimo de sua dispersão para a superfície da água, seguidos do mesmo contorno para a costa, apresentando-se para este último também a massa.

Seguidos dos contornos da área na água e linhas de resultados na costa, apresentamos uma tabela resumo dos valores mínimos, médios e máximos para cada ambiente e um boxplot com a representação dos balanços de massas dos cenários probabilísticos respectivos. Nestas figuras, as linhas centrais correspondem a mediana da porcentagem de massa dentre as simulações, os limites das caixas os quartis, as linhas aos limites dos valores englobados na média mais dois desvios-padrão e, por fim os outliers (pontos), valores acima deste limiar.

Os resultados das simulações mostram que a maiores probabilidades de dispersão do óleo para os volumes encontram-se próximo a região interna da baía de São Marcos, tendo alguma assinatura em seu trajeto e rápida dispersão devido a ação dos ventos, carregando o material em direção a oeste e interior da baía, tendo com a ação presente da maré (correntes) na enchente e vazante concentrando o material nesta área central e assinalando os maiores contornos de probabilidades. Estes valores na superfície d'agua externo ao ponto de modelagem se alteram de acordo, com o volume derramado, 50% (cheia) a 60% (seca) para os menores, 60-80% para os volumes médios, e até a faixa do 90-100% para os piores casos.

Durante o período da Seca, mês de setembro, notamos um rápido espalhamento do óleo em relação ao período da Cheia (mês de março), i.e., o óleo atinge uma maior área em menor tempo (Figura 10, Figura 16, Figura 22, Figura 28, Figura 34, Figura 40), favorecido devido a ação de ventos mais intensos (Tabela 4 e Tabela 5). A ação dos ventos conjunta ao período menos chuvoso (Seca) pode favorecer a evaporação das frações de hidrocarbonetos mais leves do material, sendo esta diferença entre os períodos sutil porém apresentado nos boxplots de cada cenário (à exemplo Figura 14 e Tabela 10).

Em relação aos dois produtos, ambos tem dispersão e distribuição relativamente similares, como reportado acima, as diferenças aparecem no balanço de massa (BM) (à exemplo Figura 14 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) destes cenários, uma vez que o óleo MF já é um subproduto refinado, este apresenta menores índices de frações de hidrocarbonetos leves (e voláteis), podendo se notar no BM os baixos índices de evaporação do material (menor de 10%), para o período da SECA destaca-se a maior presença (maior probabilidade de ocorrência) em direção ao interior da baía, região próximo aos municípios de Cajapió e Bacurituba.

O resumo dos resultados para os cenários são apresentados na Tabela 9, nesta constam o tempo mínimo e médio (entre os cenários) para toque na costa e a probabilidade mais alta e o munícipio respectivo para cada um destes resultados.

Tabela 8: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo.

Cenários	Produto	Extensão de Toque na costa(km)	Área total na superfície d'agua (km²)
B100MF_PC_CHEIA	Óleo MF-380	138,42	1.140,89
B100MF_200_CHEIA	Óleo MF-380	116,46	1.050,07
B100MF_8_CHEIA	Óleo MF-380	68,1	943,61
B100MF_PC_SECA	Óleo MF-380	161,89	1.157,19
B100MF_200_SECA	Óleo MF-380	128,98	1.074,09
B100MF_8_SECA	Óleo MF-380	92,44	992,29

1.11.1 Porto de Itaqui - Berço 100

1.11.1.1 Óleo combustível marítimo MF-380

Tabela 9 - Resumo dos resultados probabilísticos para o Berço 100 com o produto MF-380.

PONTO	PERÍODO	VOLUME	PARÂMETRO	VALORES	MUNICÍPIOS	UF
B100MF	CHEIA	8	Prob. (%)	30.0	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	0.50	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5	SÃO LUÍS	MA
		200	Prob. (%)	49.5	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	66.0	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	7	SÃO LUÍS	MA
	SECA	8	Prob. (%)	35.5	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	4	SÃO LUÍS	MA
		200	Prob. (%)	50.5	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	4	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	69.0	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5	SÃO LUÍS	MA

1.11.1.1.1 *Volume de Pior Caso (10.000,0 m³)*

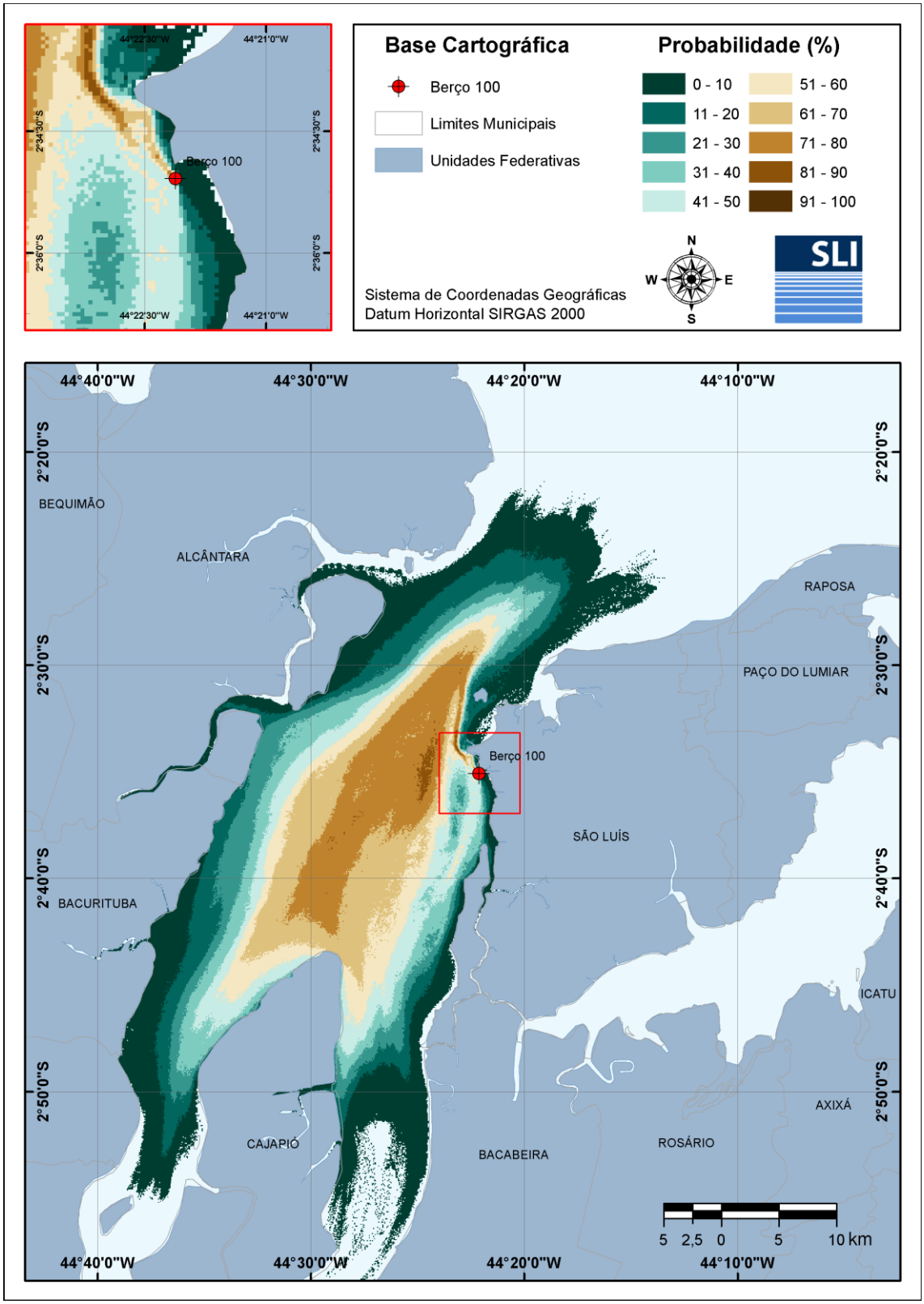


Figura 9: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

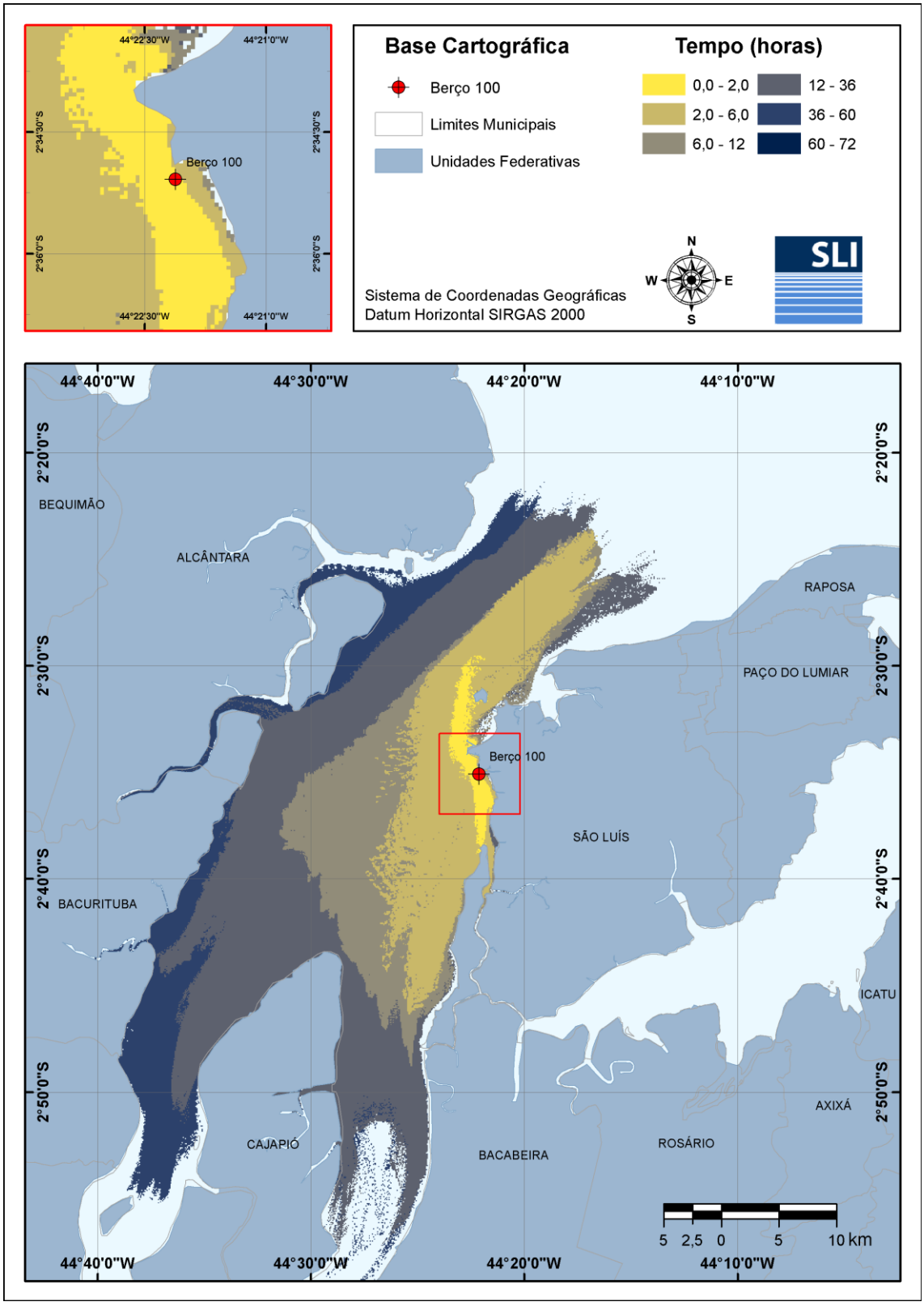


Figura 10: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

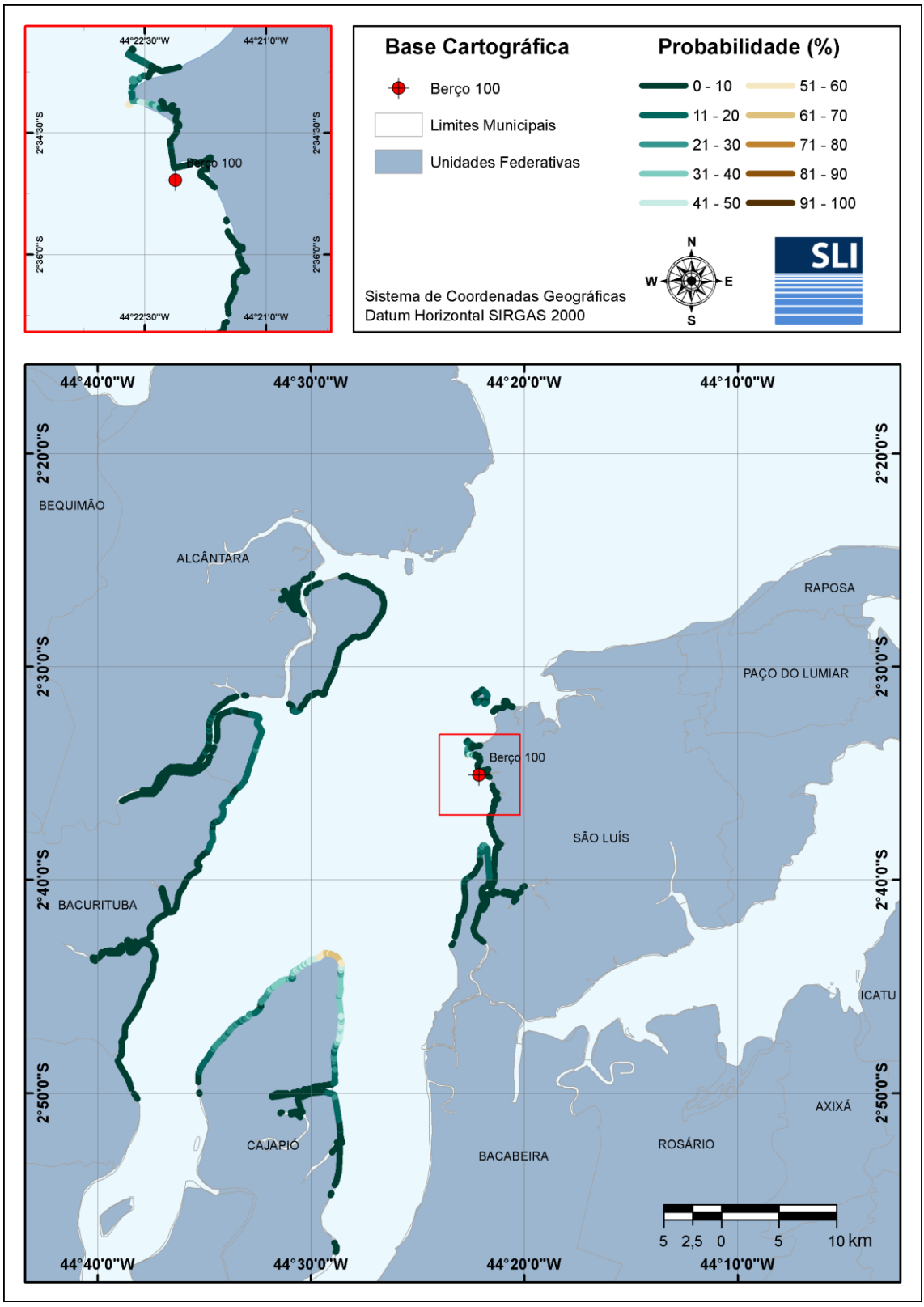


Figura 11: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

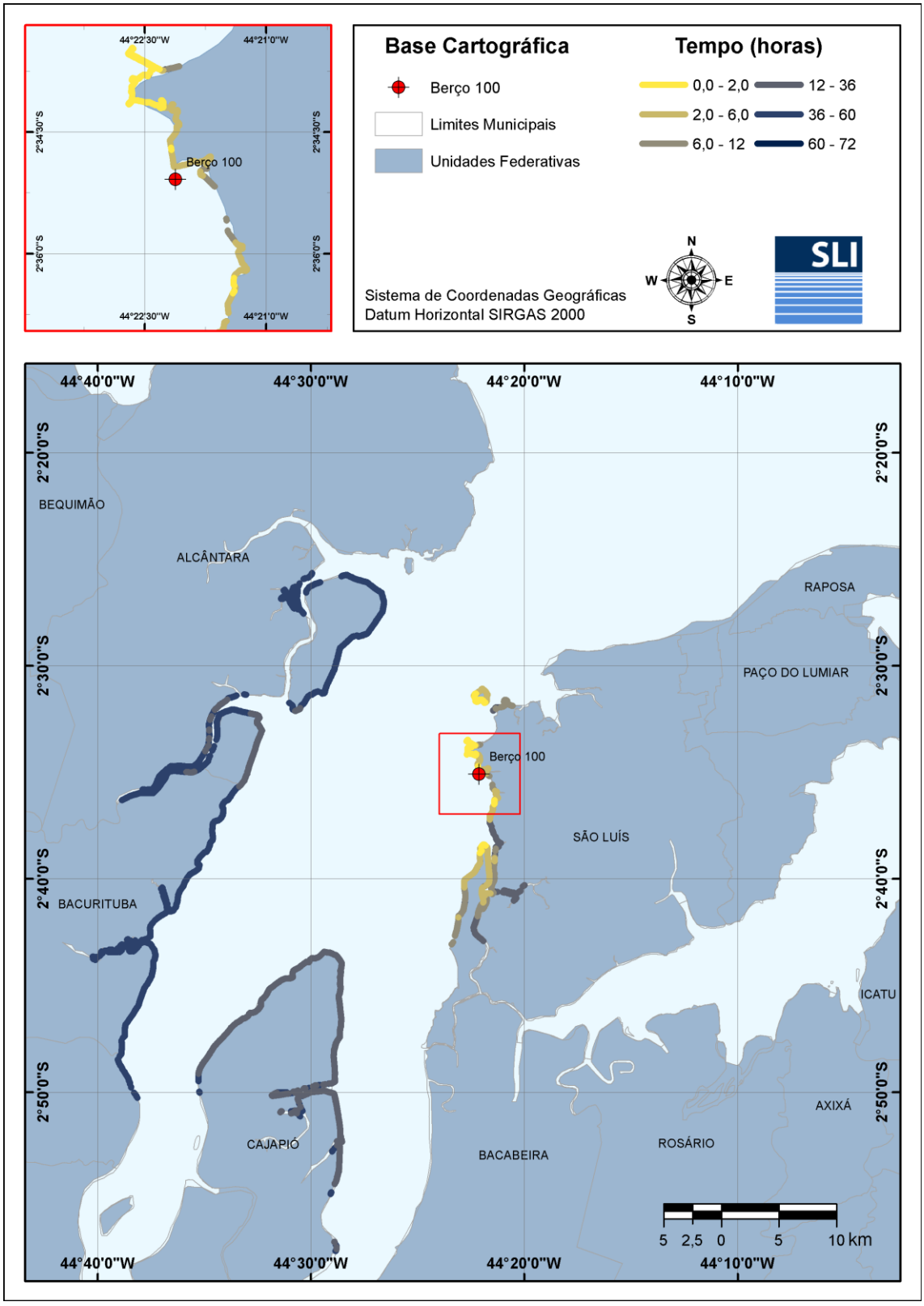


Figura 12: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

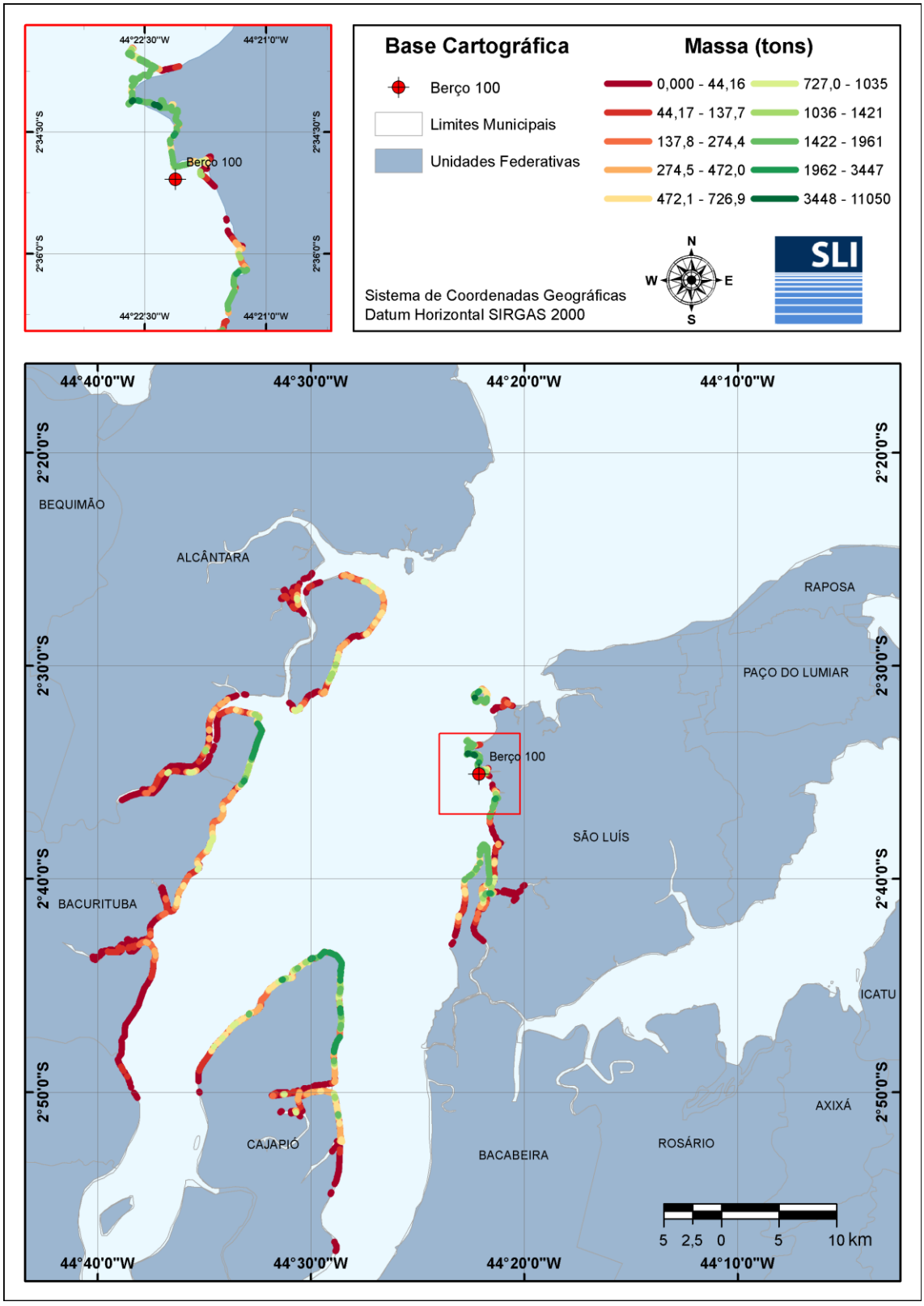


Figura 13: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 10 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.25%	0.00%	0.84%	0.29%
Médio	46.05%	0.10%	3.14%	0.70%
Máximo	66.87%	0.58%	4.19%	2.55%

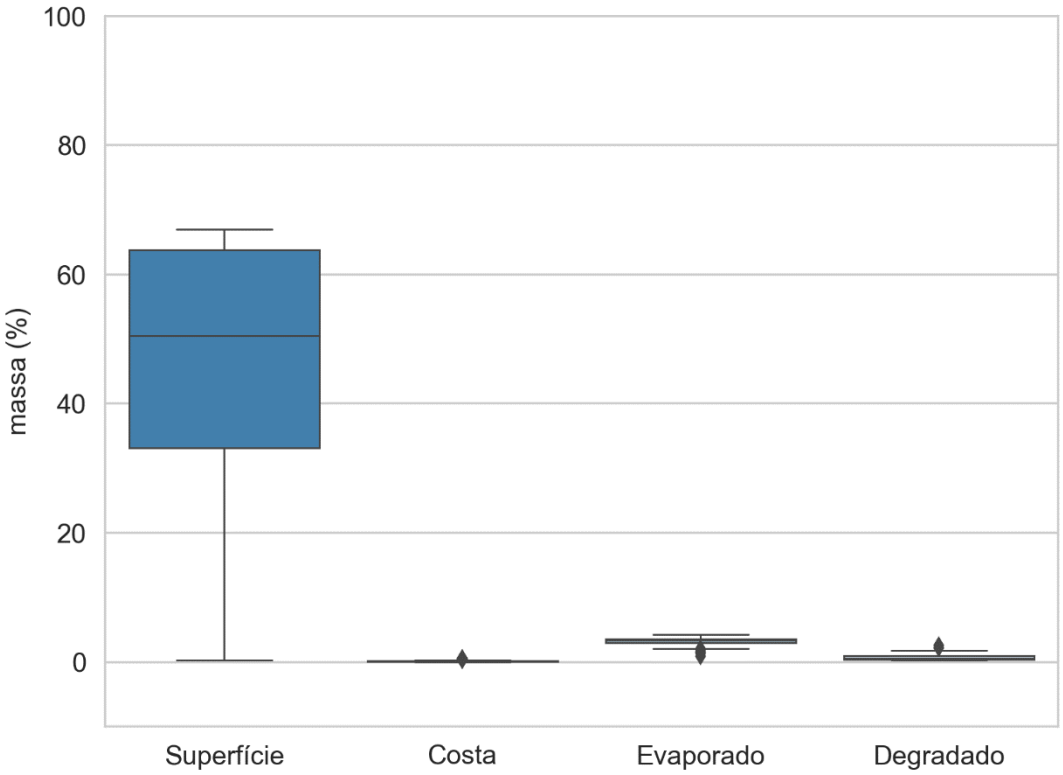


Figura 14 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

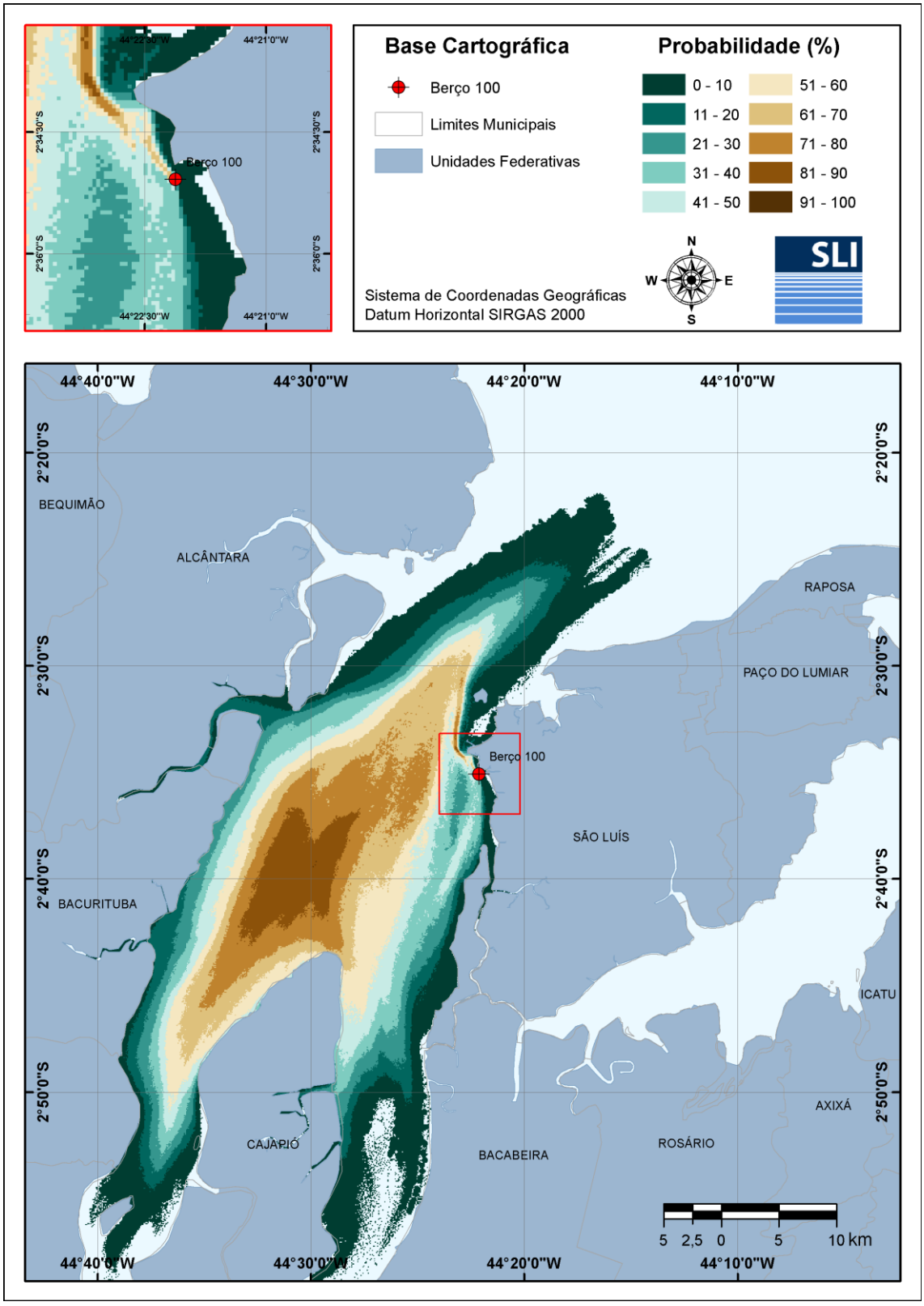


Figura 15: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

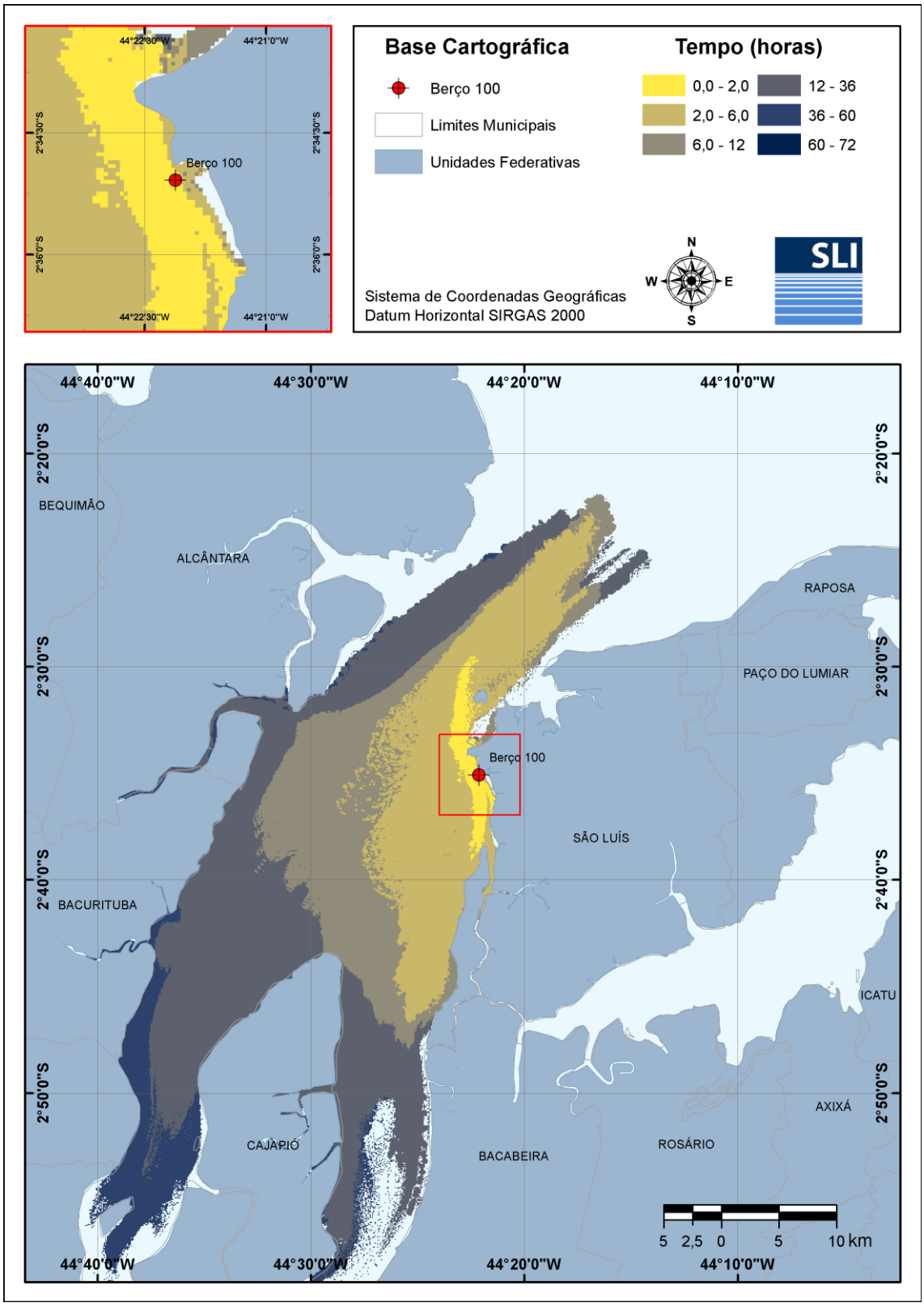


Figura 16: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

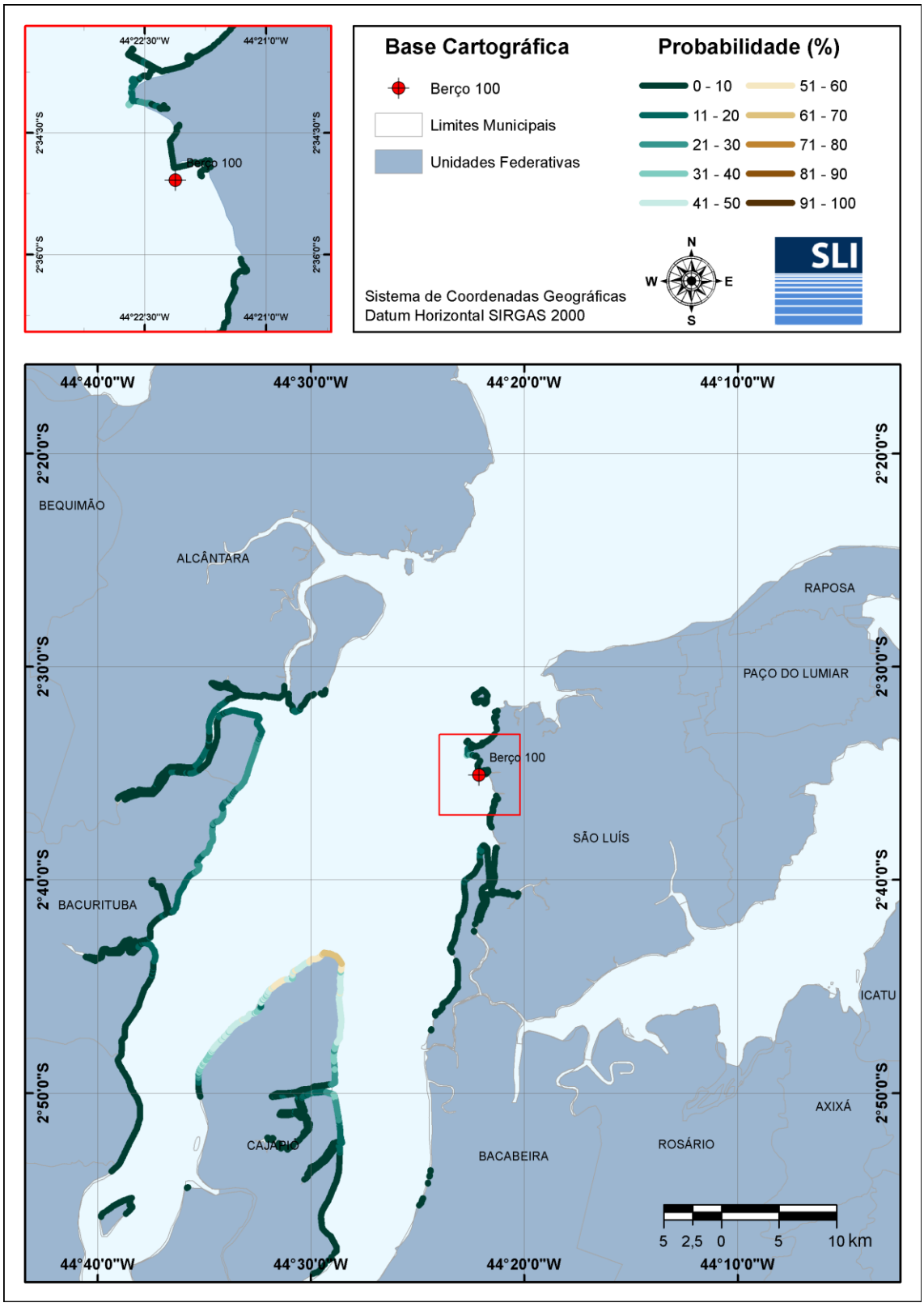


Figura 17: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

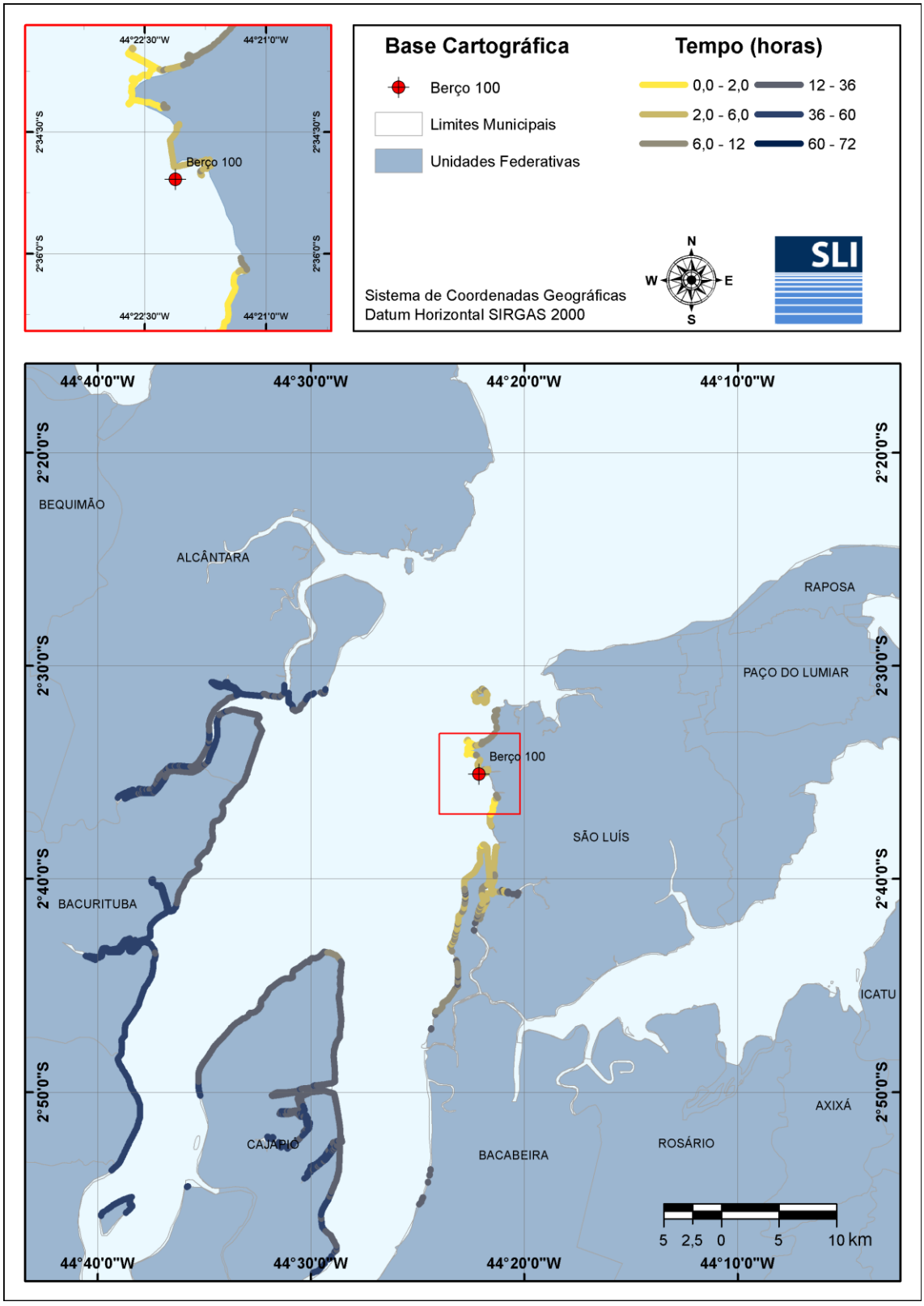


Figura 18: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

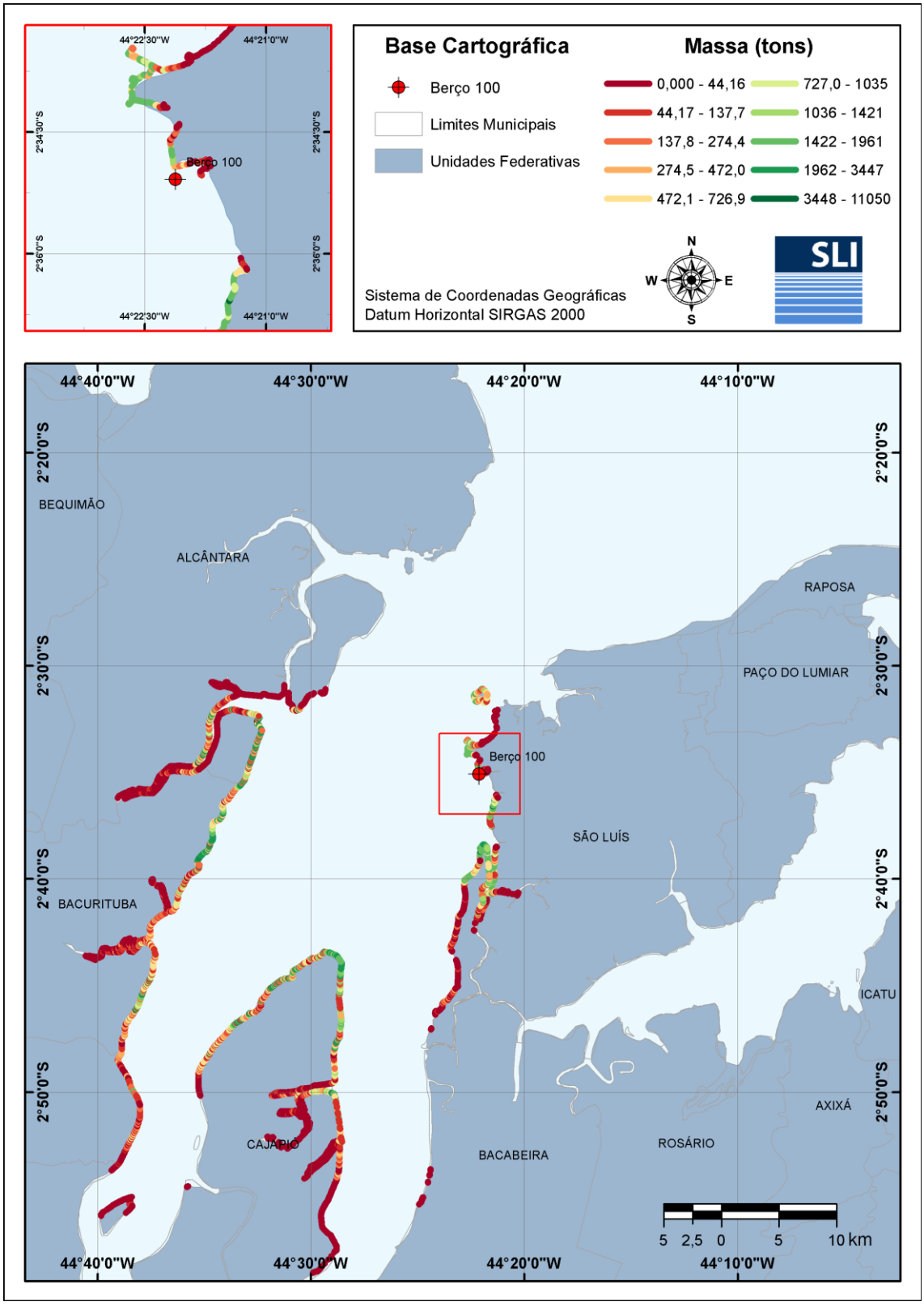


Figura 19: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 11 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.20%	0.01%	0.82%	0.35%
Médio	44.42%	0.42%	4.30%	0.86%
Máximo	78.18%	2.15%	5.81%	3.24%

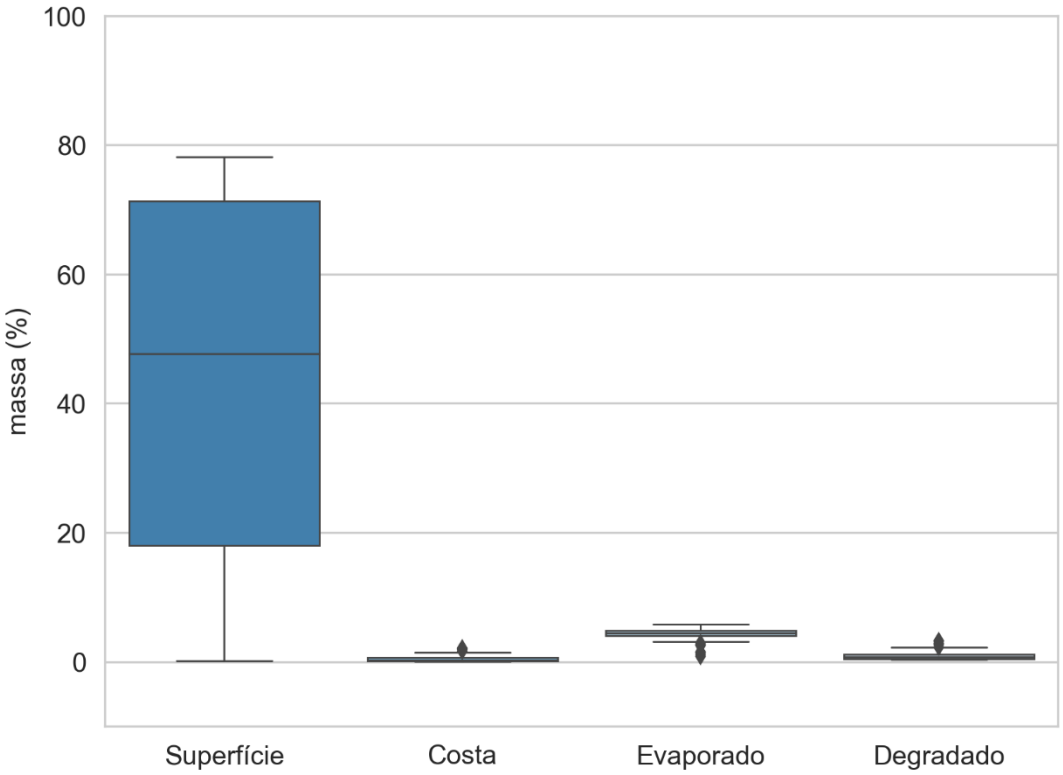


Figura 20 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

1.11.1.1.2 Volume médio (200,0 m³)

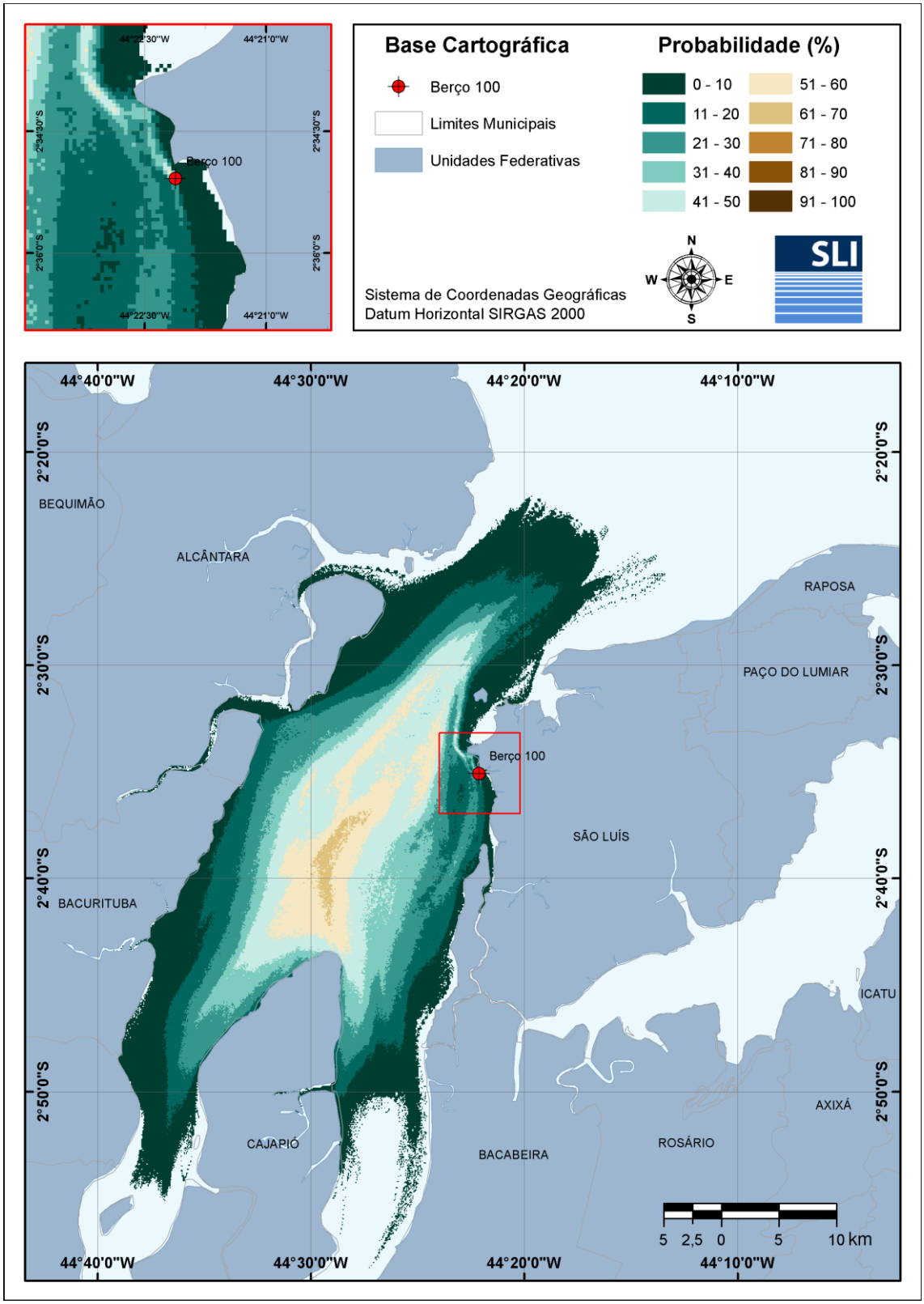


Figura 21: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

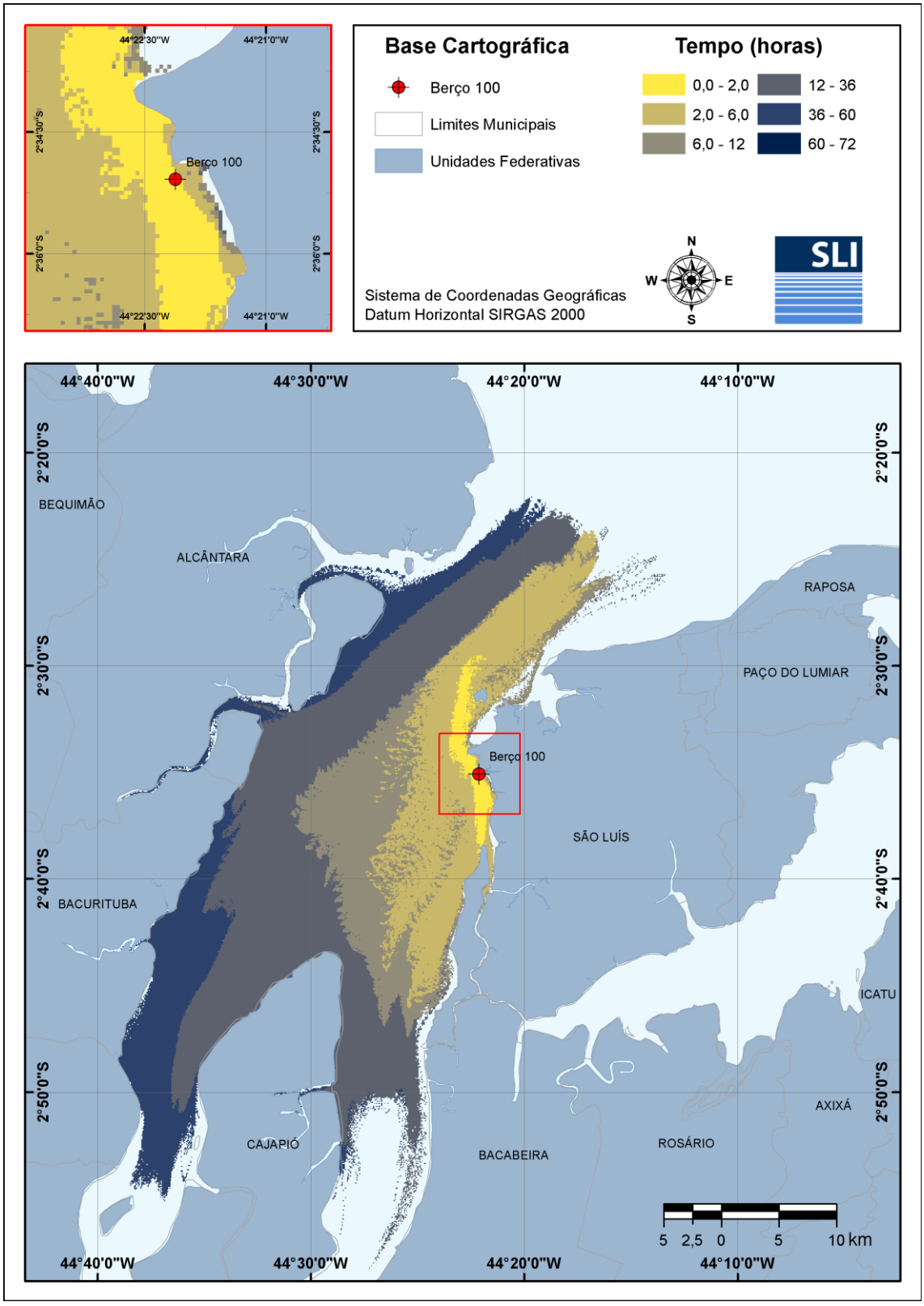


Figura 22: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

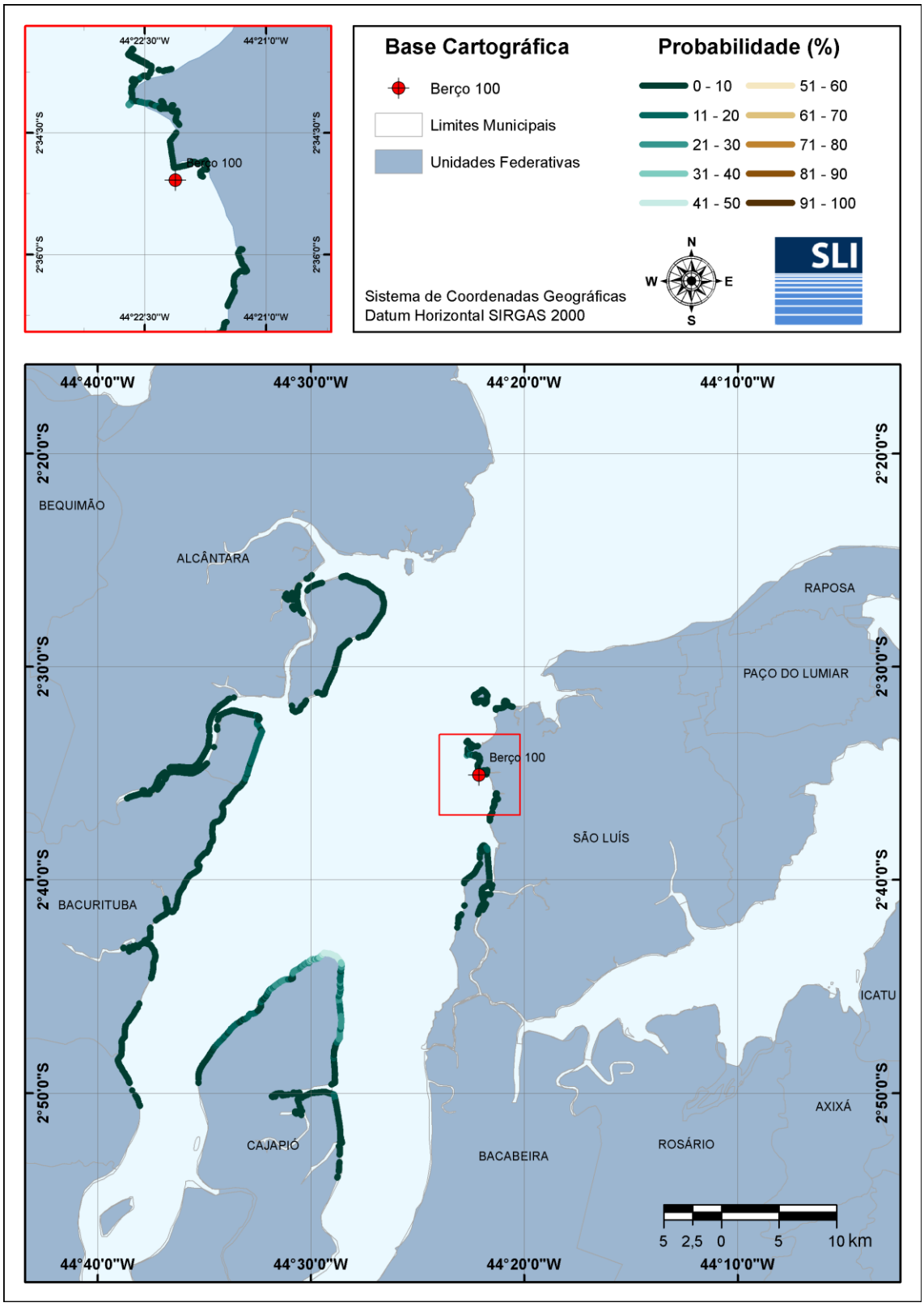


Figura 23: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

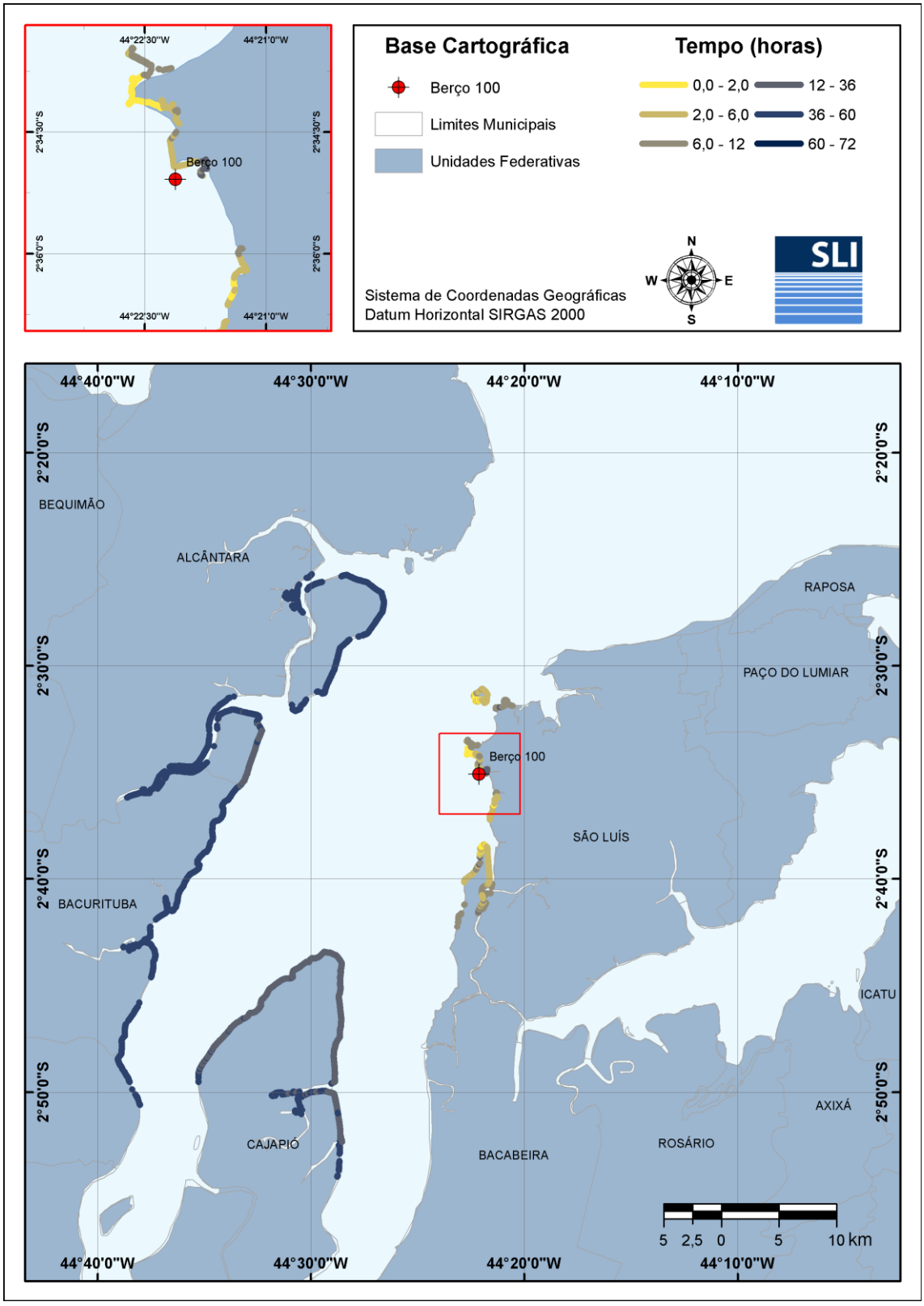


Figura 24: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

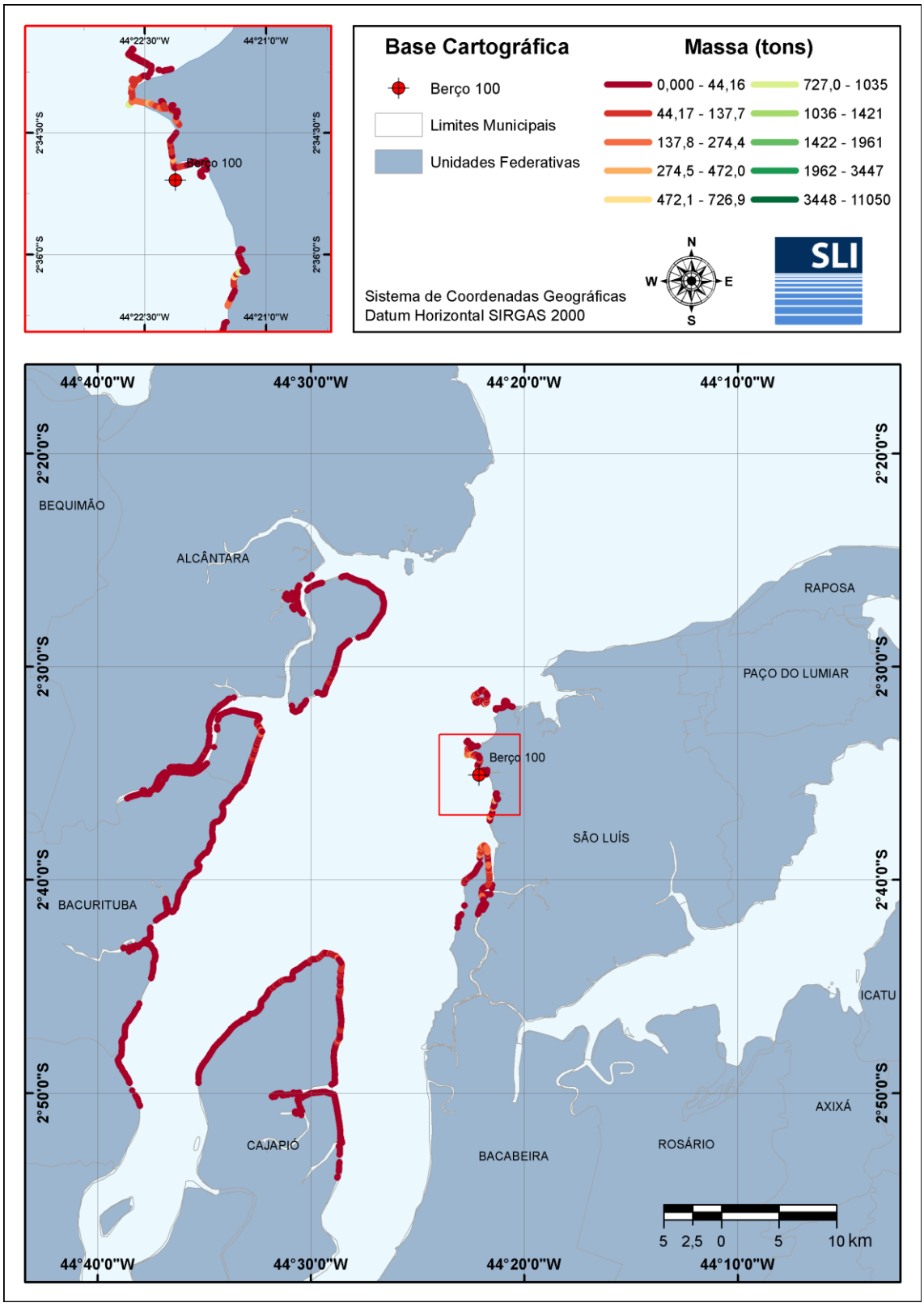


Figura 25: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 12 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.02%	0.00%	0.33%	0.30%
Médio	44.79%	0.35%	4.02%	0.84%
Máximo	69.40%	2.08%	6.07%	3.20%

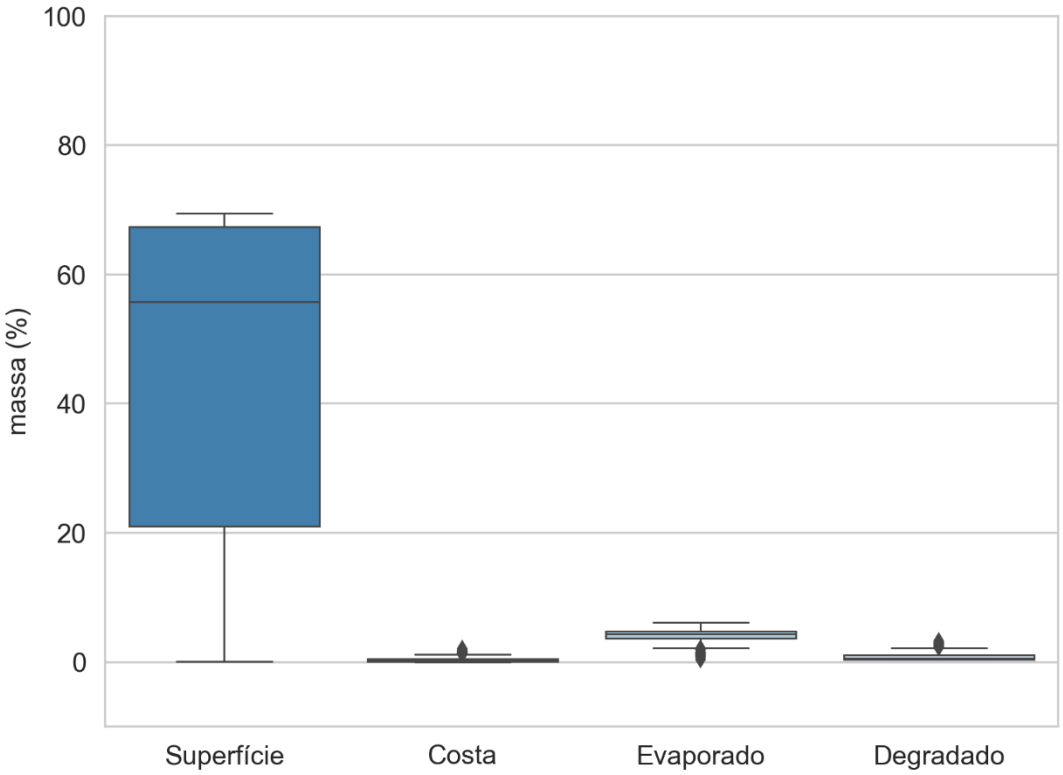


Figura 26 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

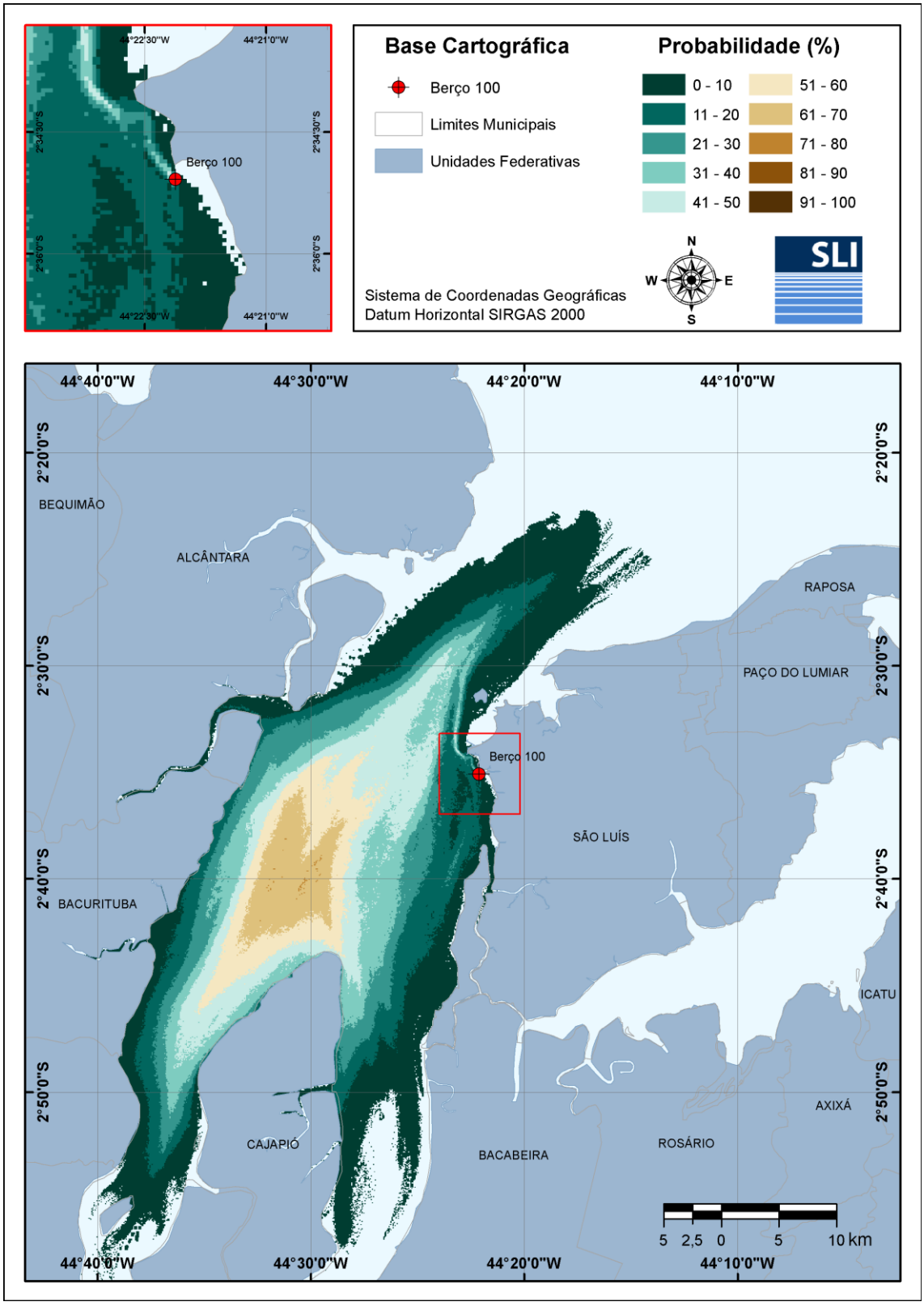


Figura 27: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

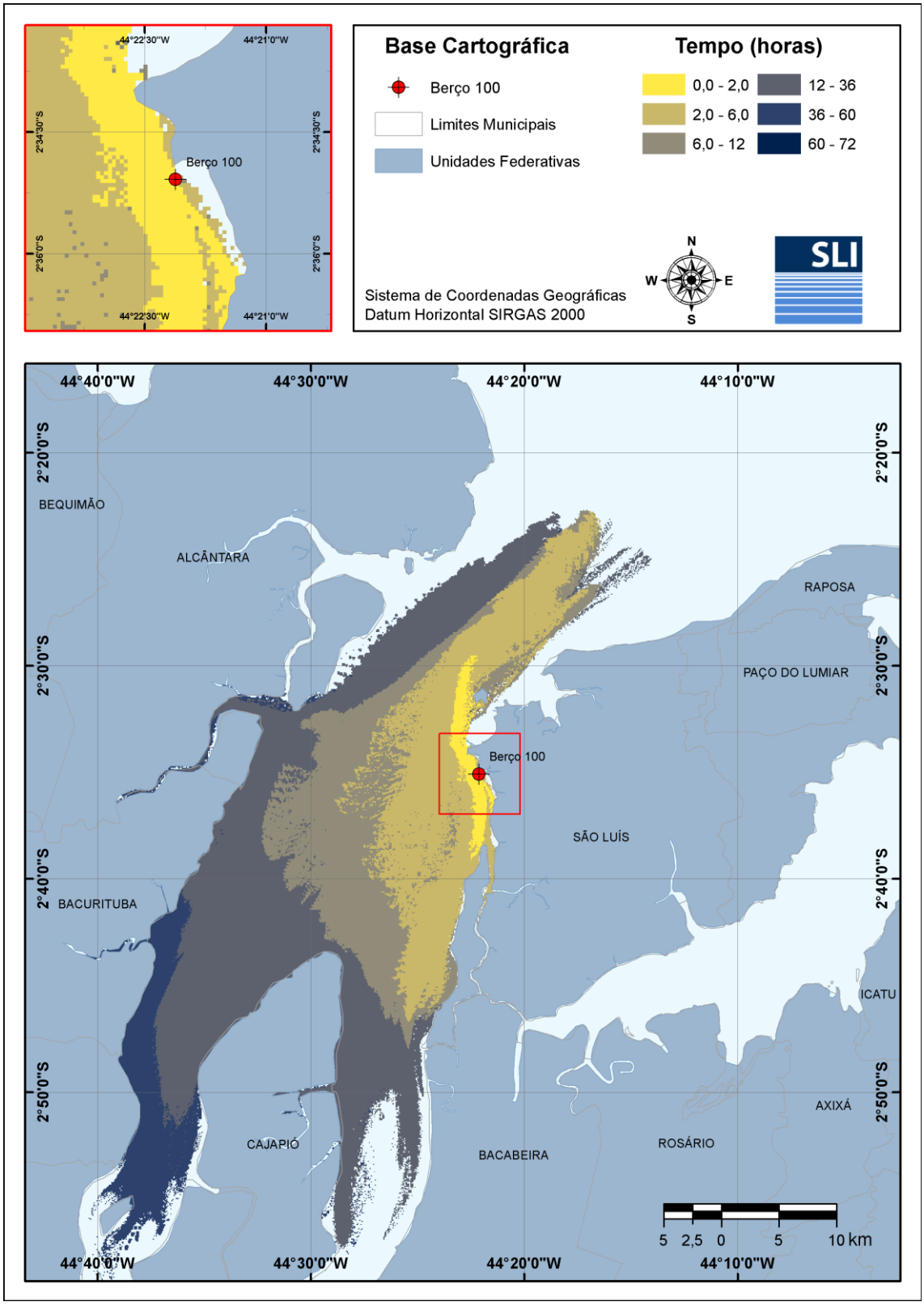


Figura 28: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

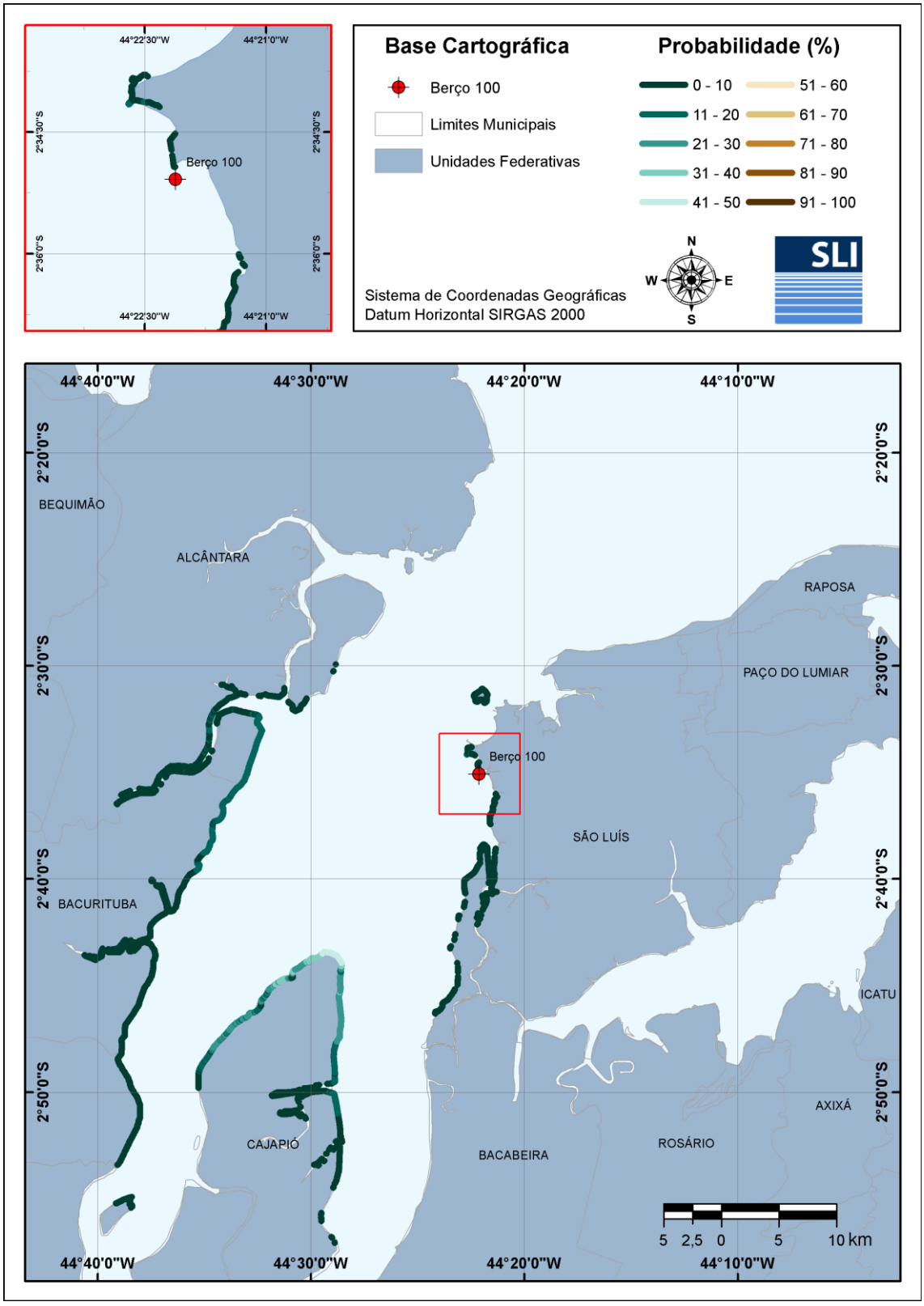


Figura 29: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

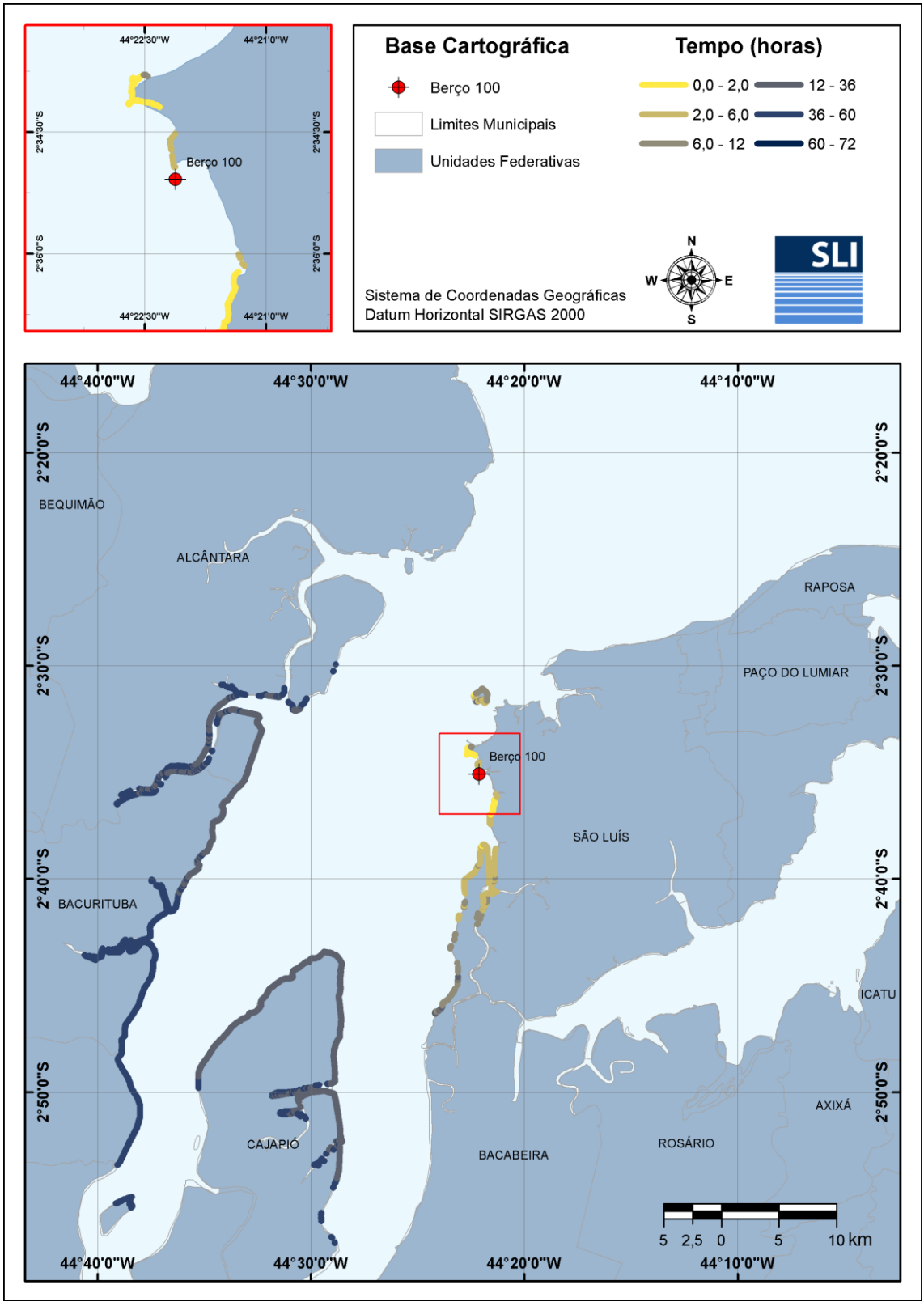


Figura 30: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

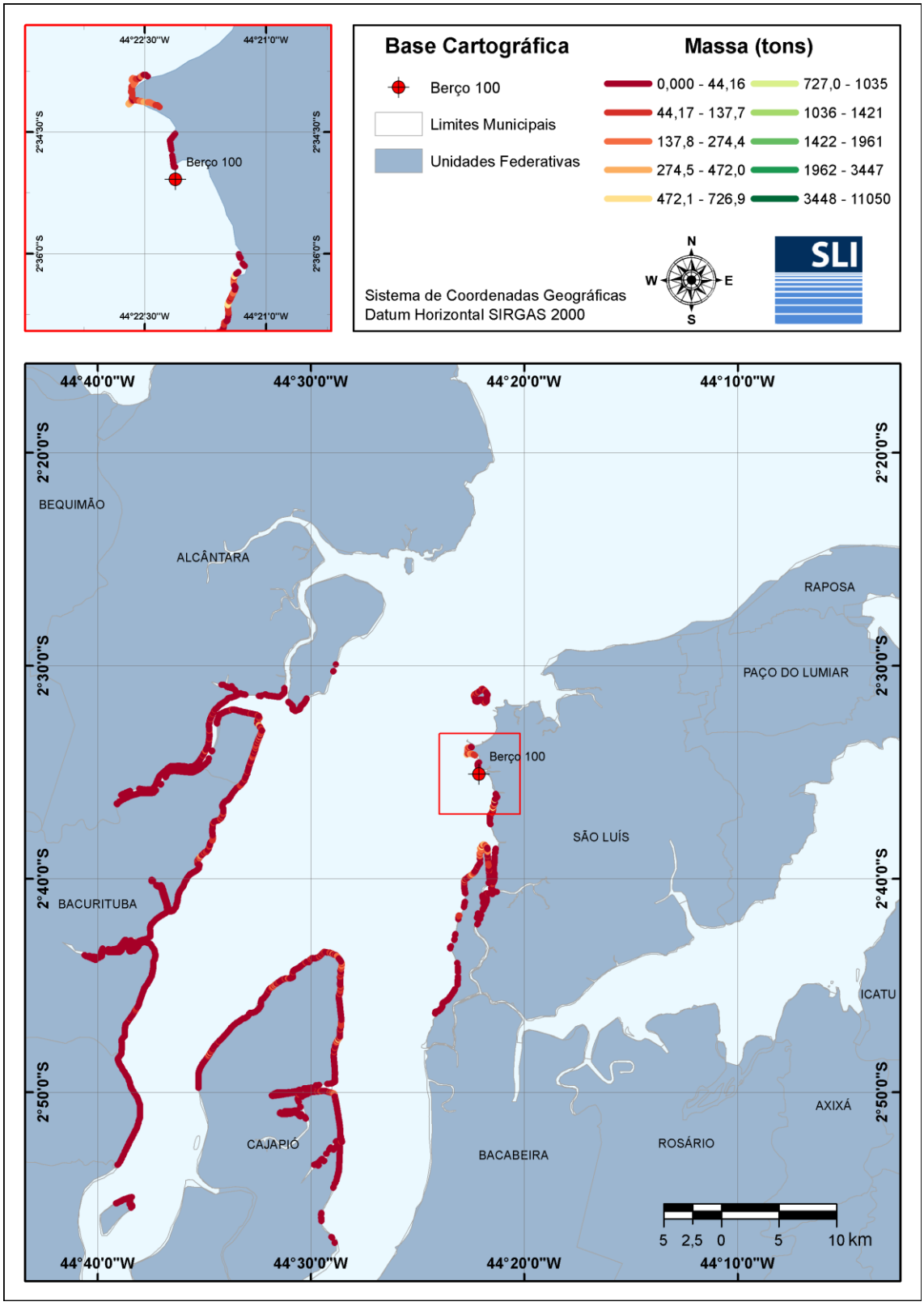


Figura 31: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 13 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	0.63%	0.35%
Médio	42.37%	1.19%	5.53%	0.91%
Máximo	76.73%	5.52%	8.17%	3.62%

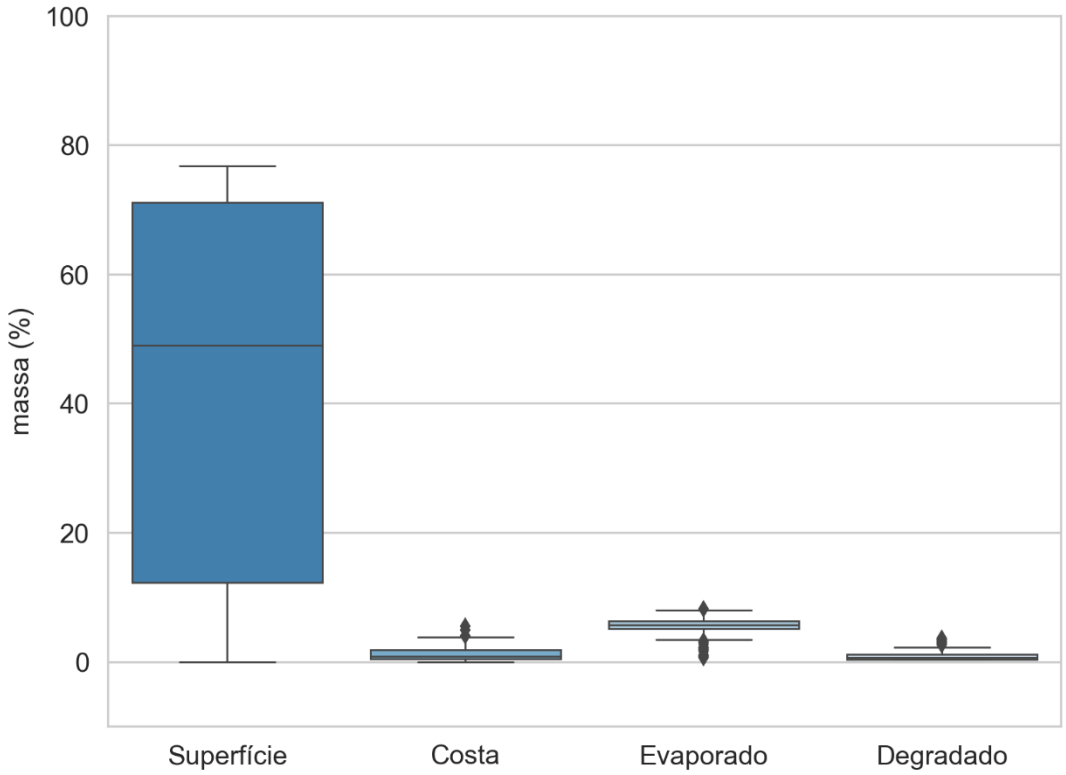


Figura 32 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

1.11.1.1.3 Volume pequeno (8,0 m³)

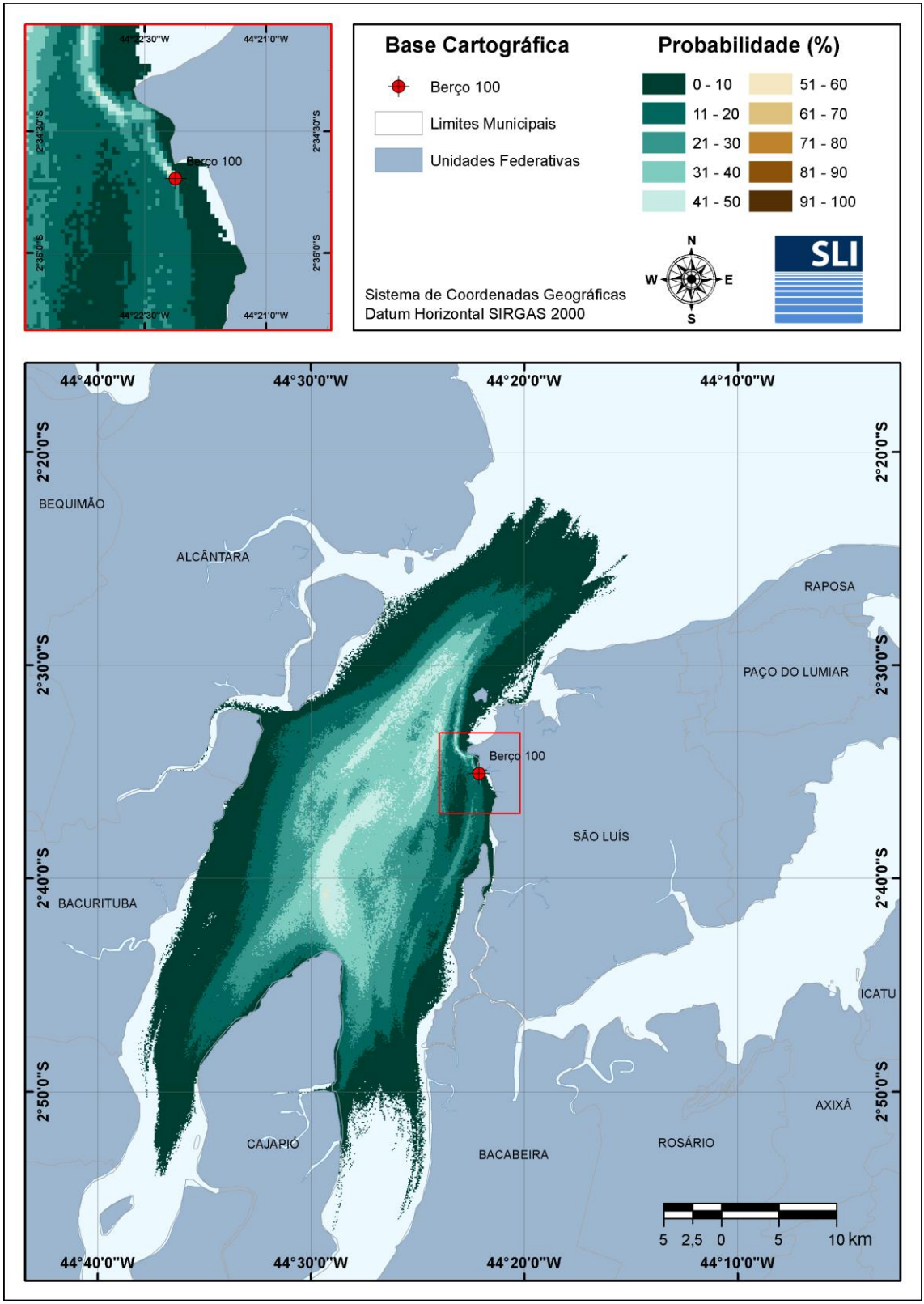


Figura 33: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

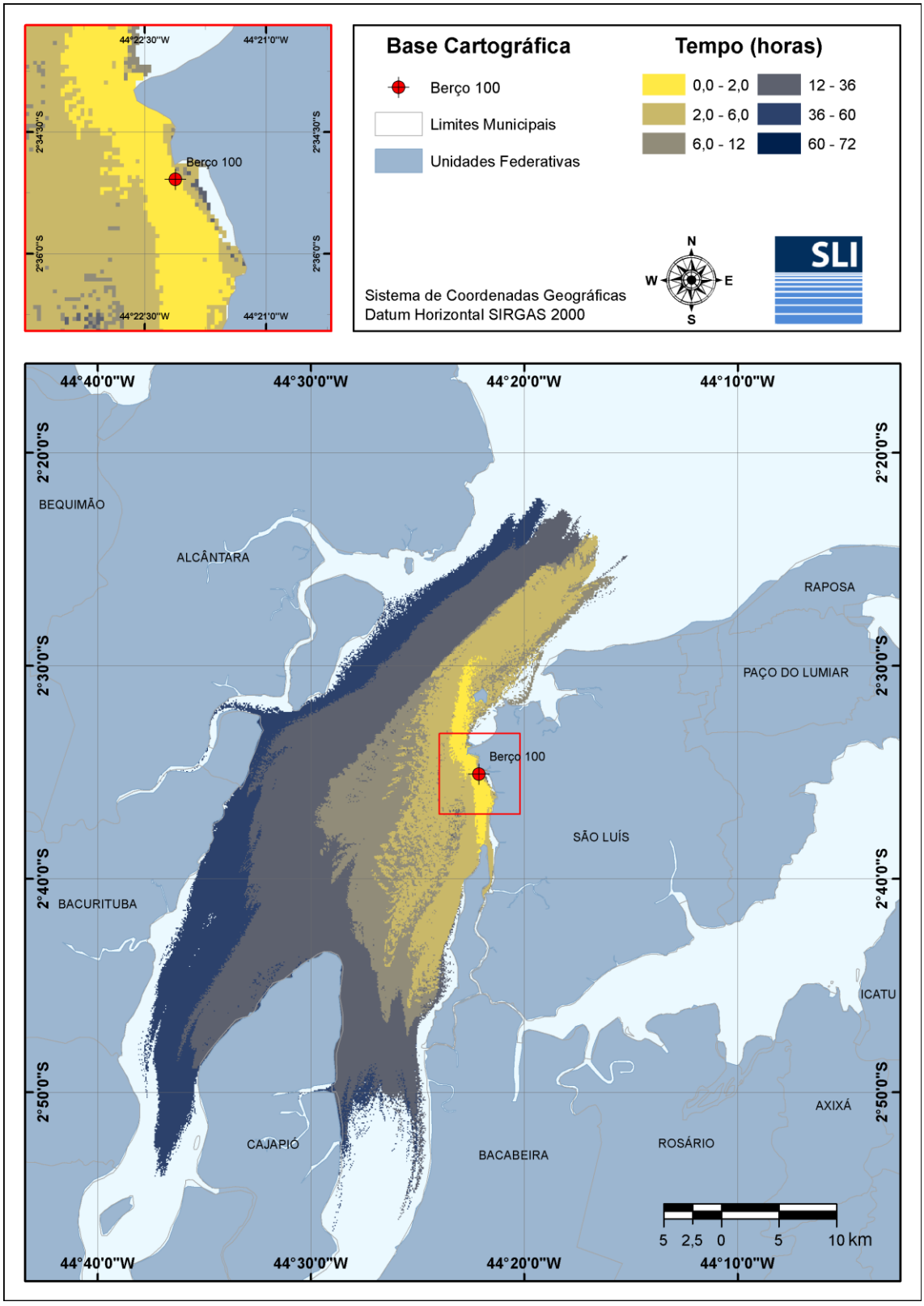


Figura 34: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

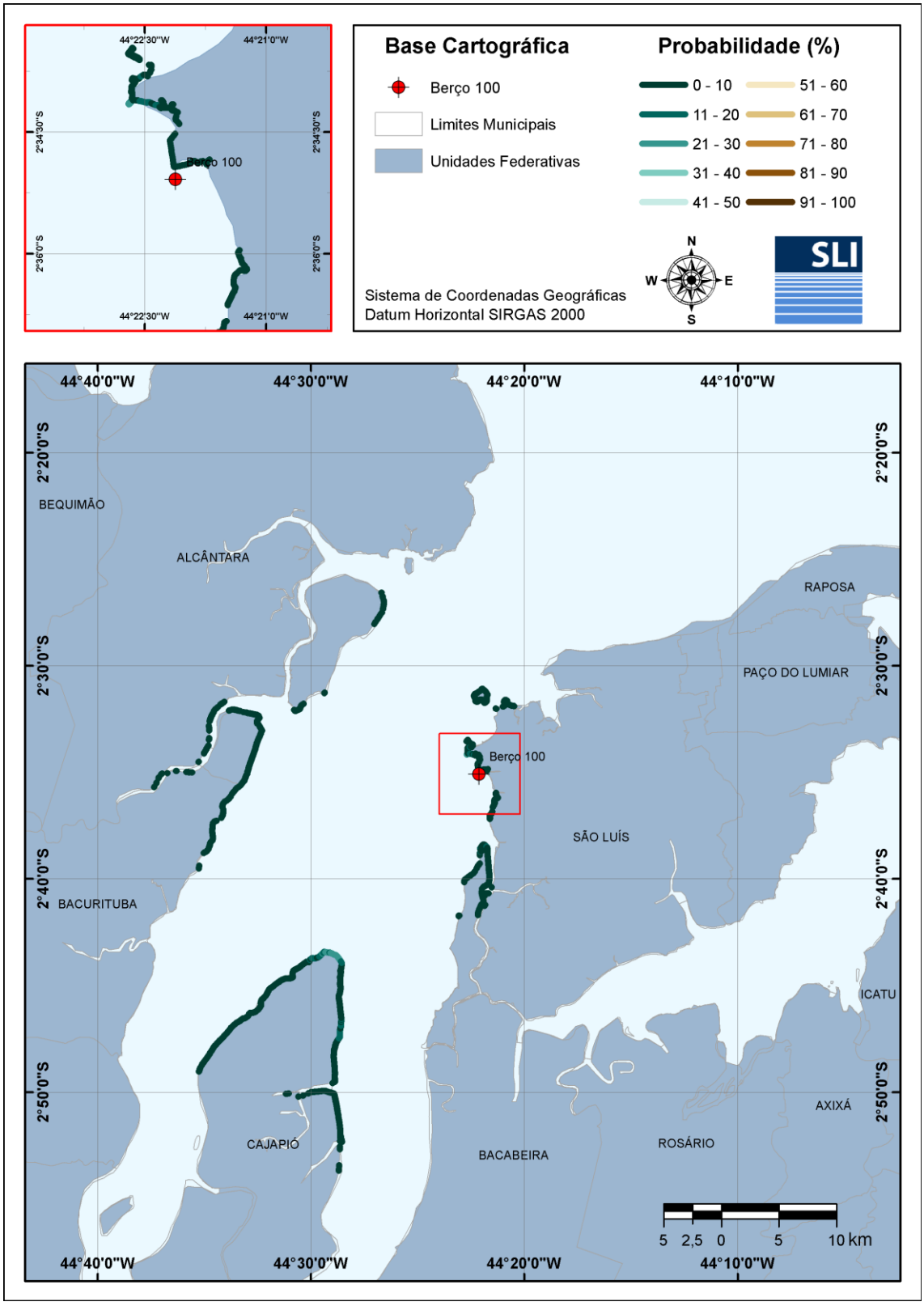


Figura 35: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

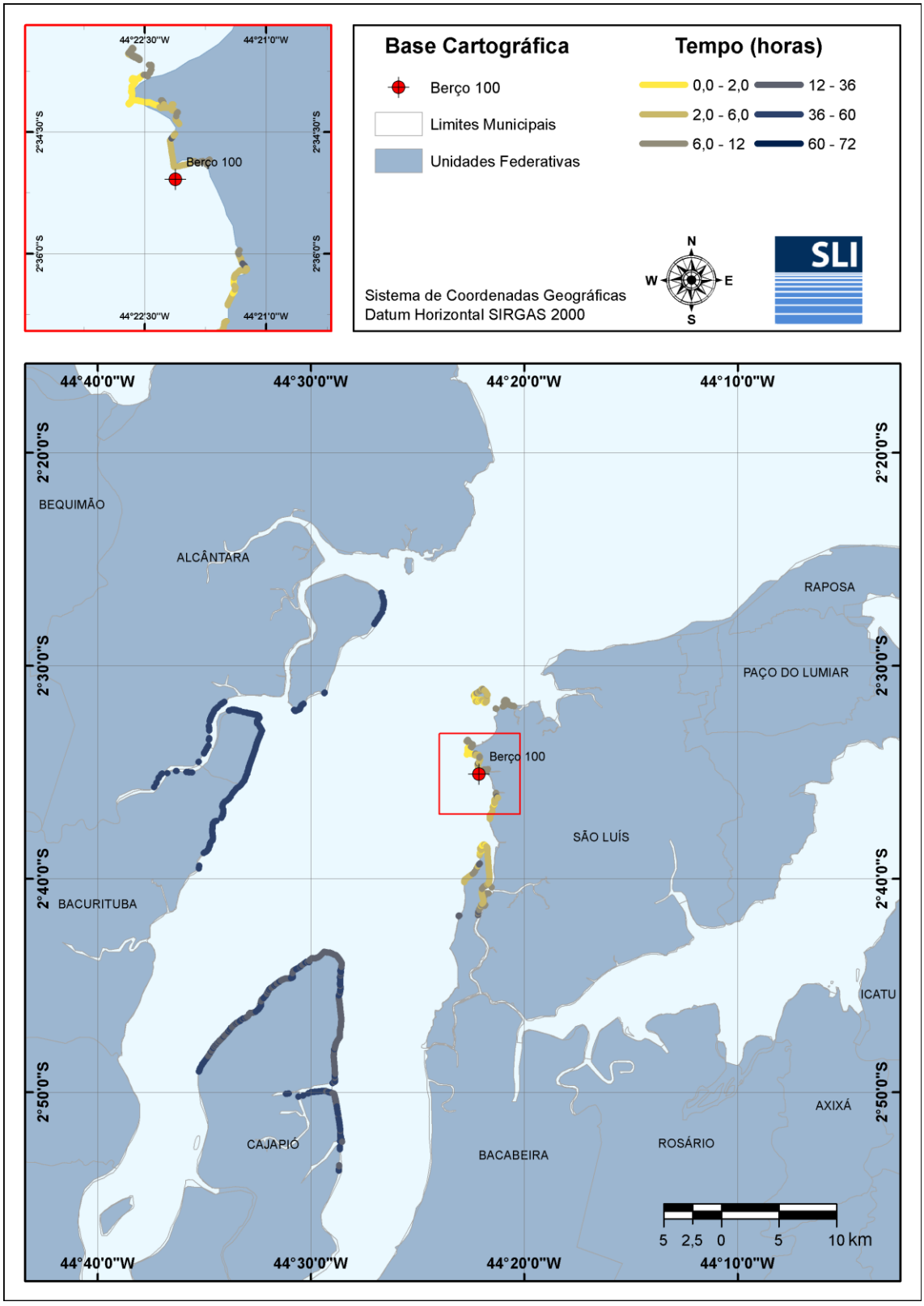


Figura 36: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

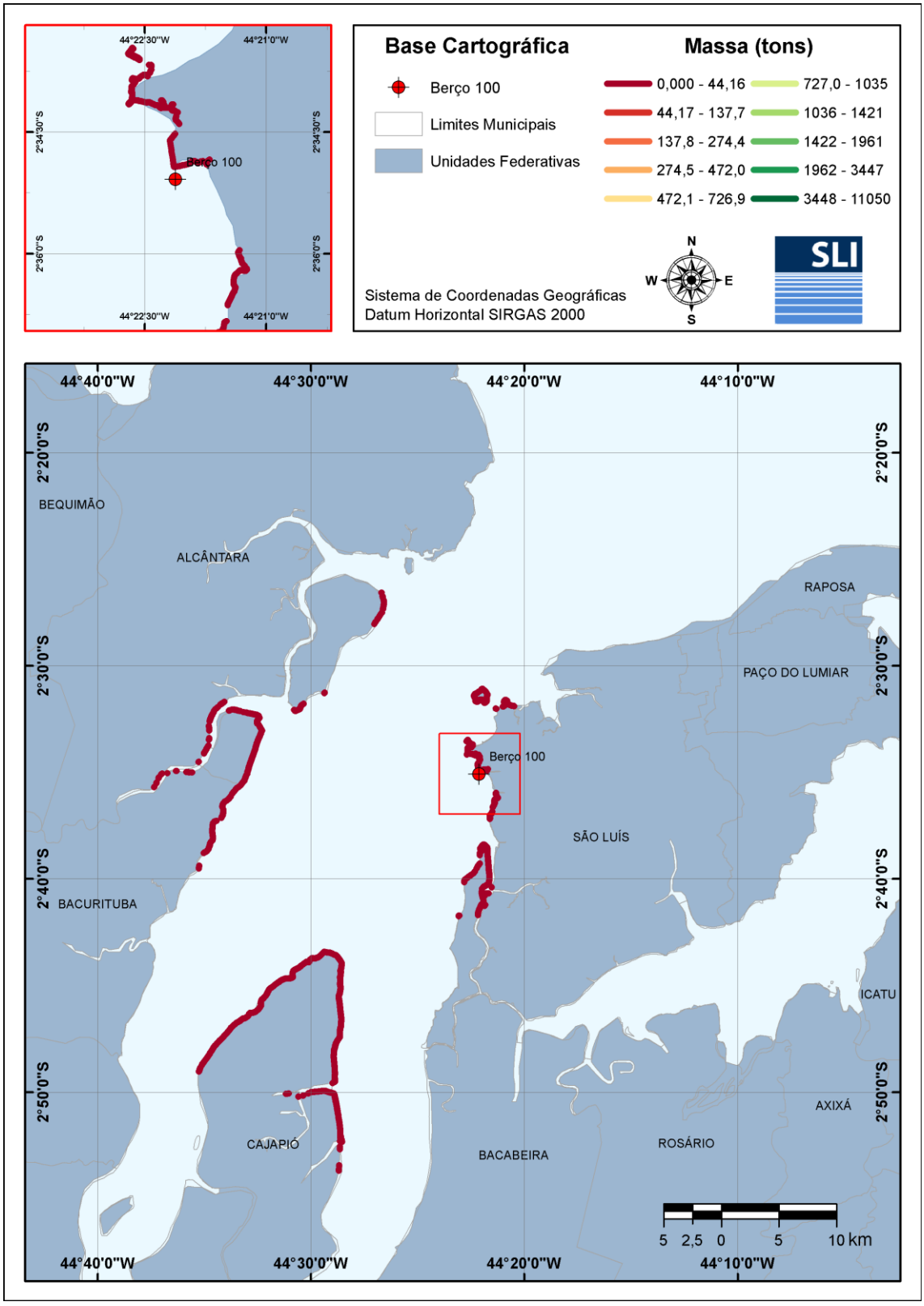


Figura 37: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 14 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	1.12%	0.29%
Médio	43.61%	0.64%	5.08%	0.66%
Máximo	60.51%	3.88%	6.80%	2.58%

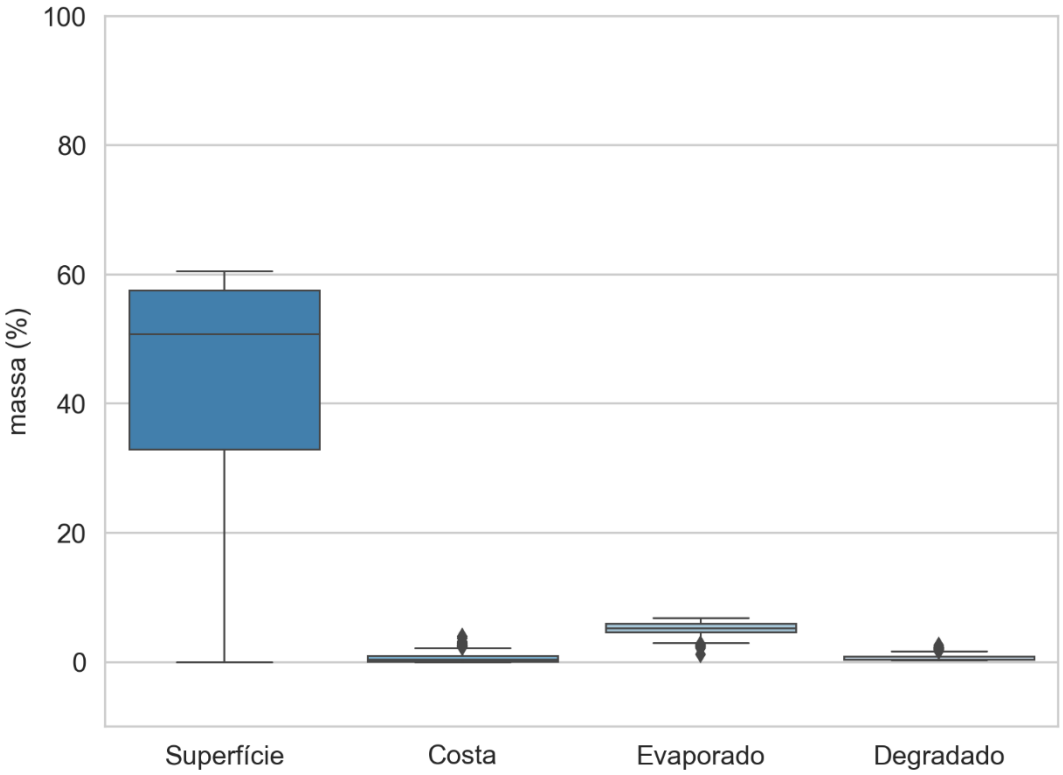


Figura 38 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

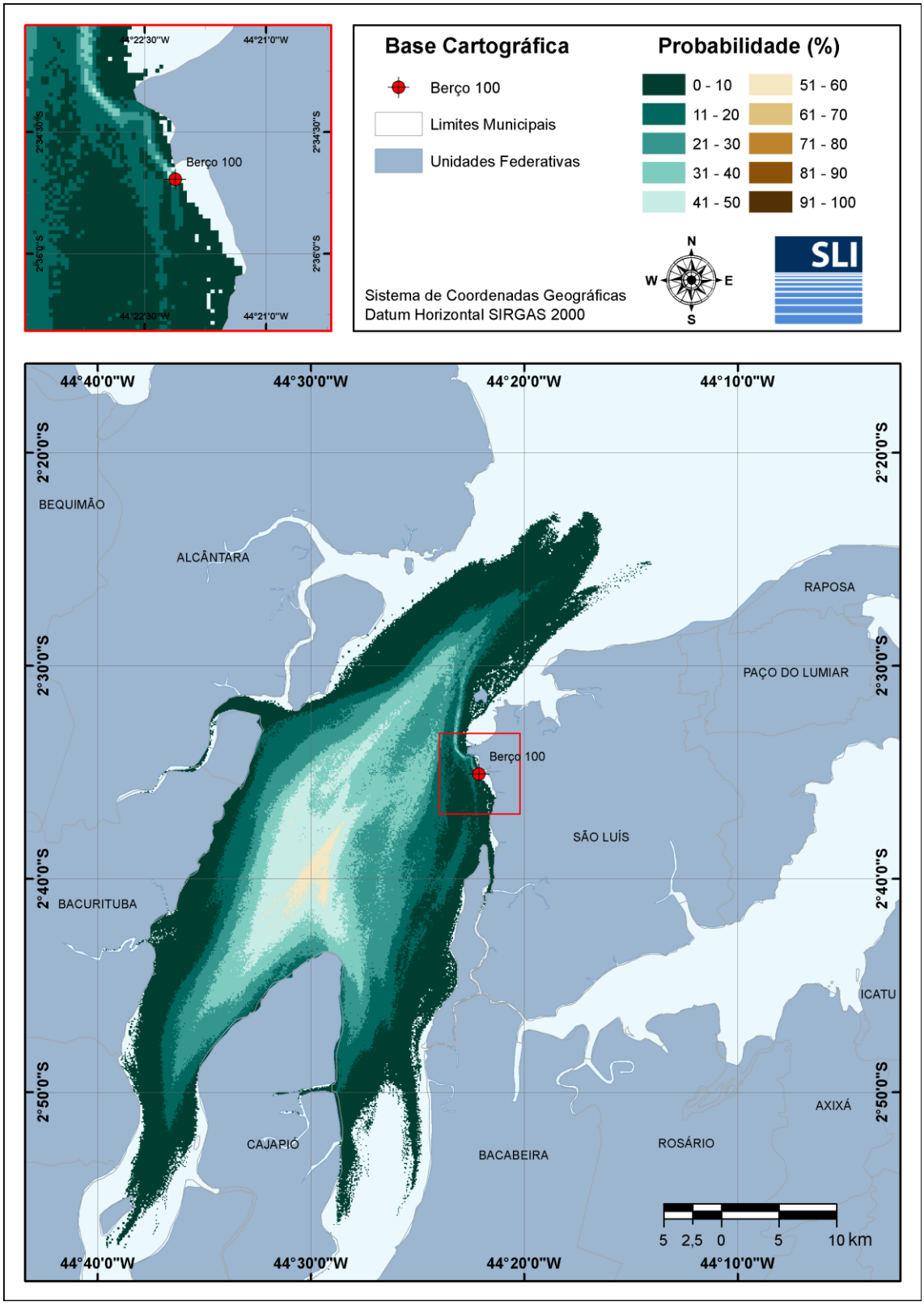


Figura 39: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

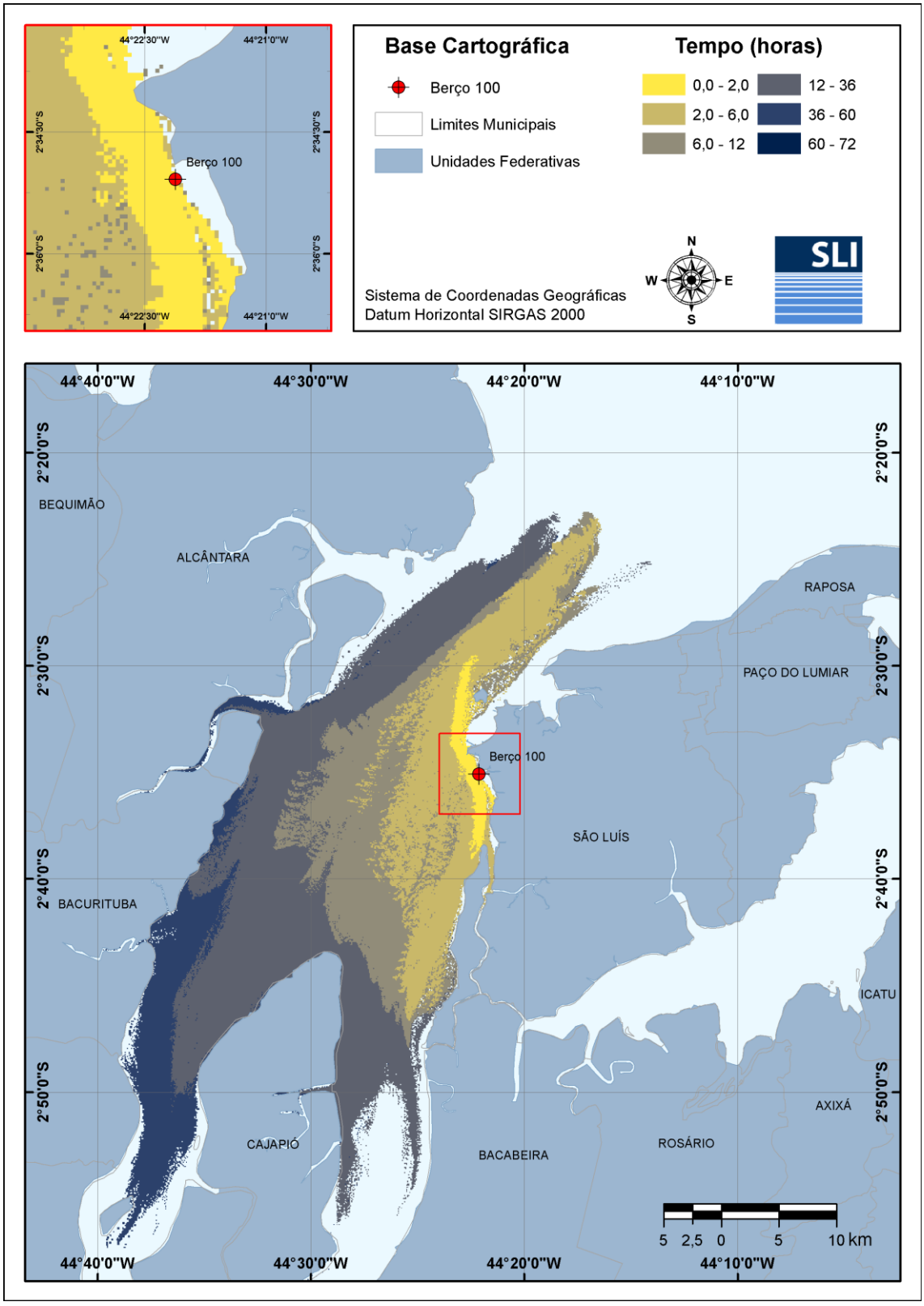


Figura 40: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

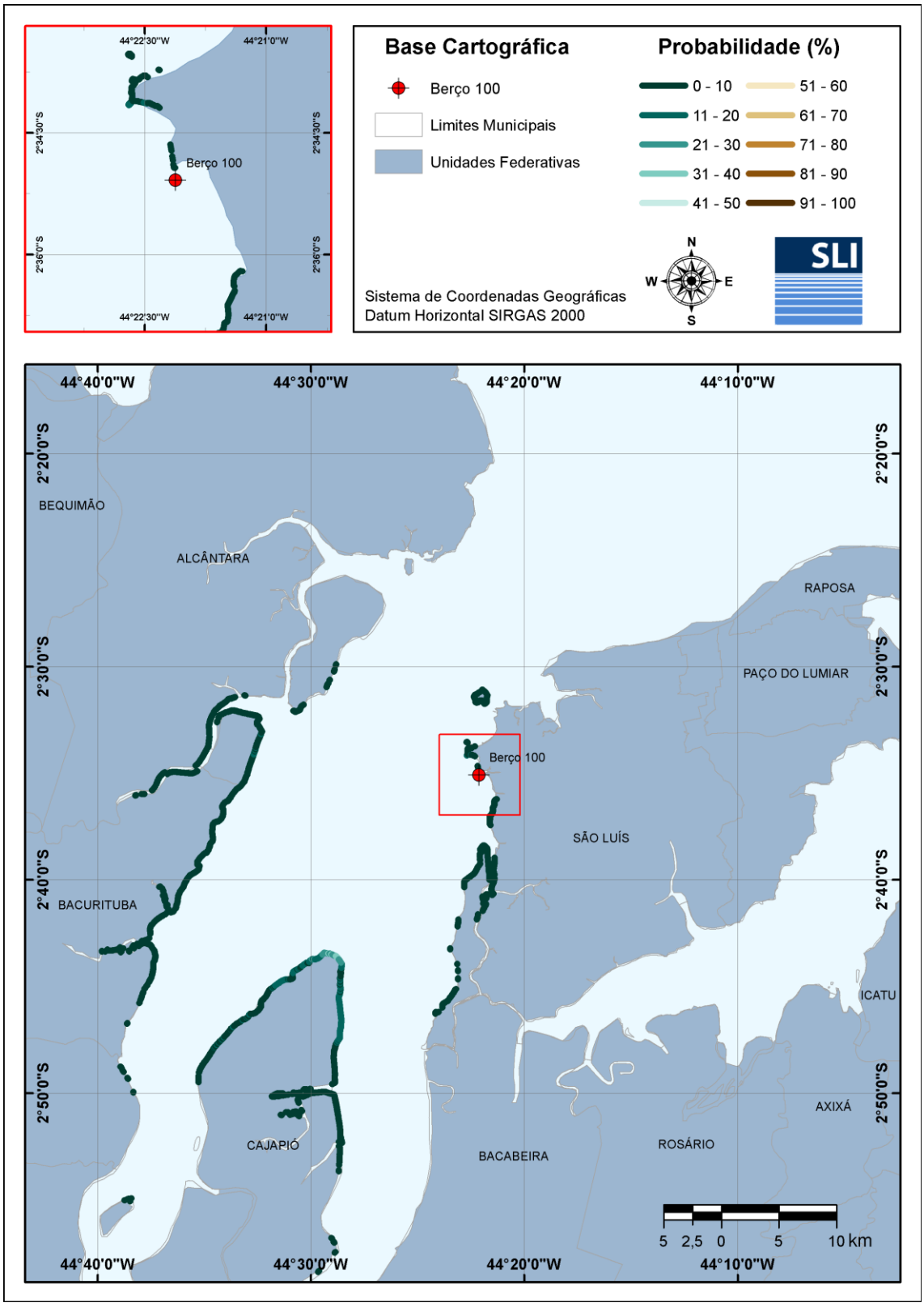


Figura 41: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

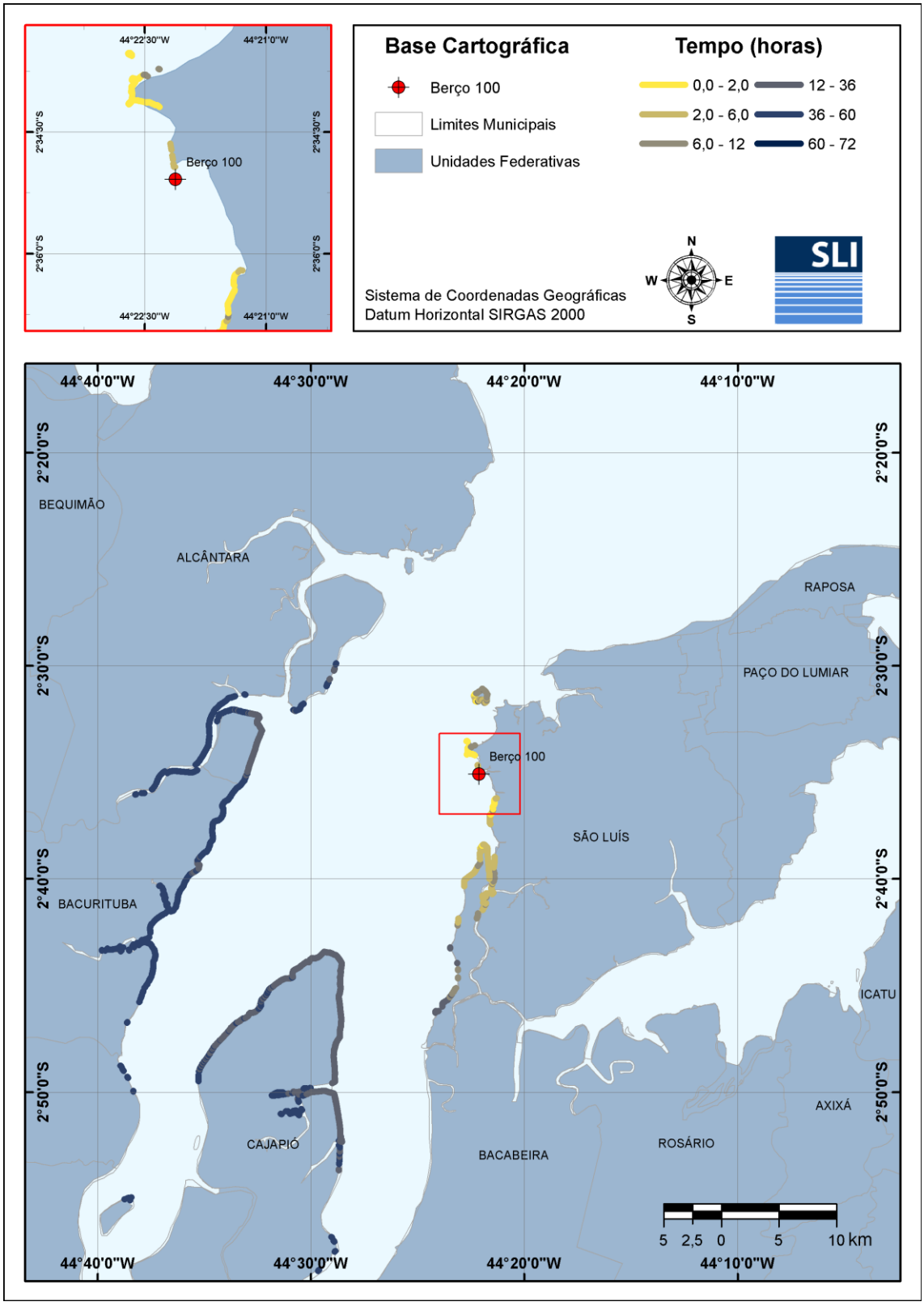


Figura 42: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

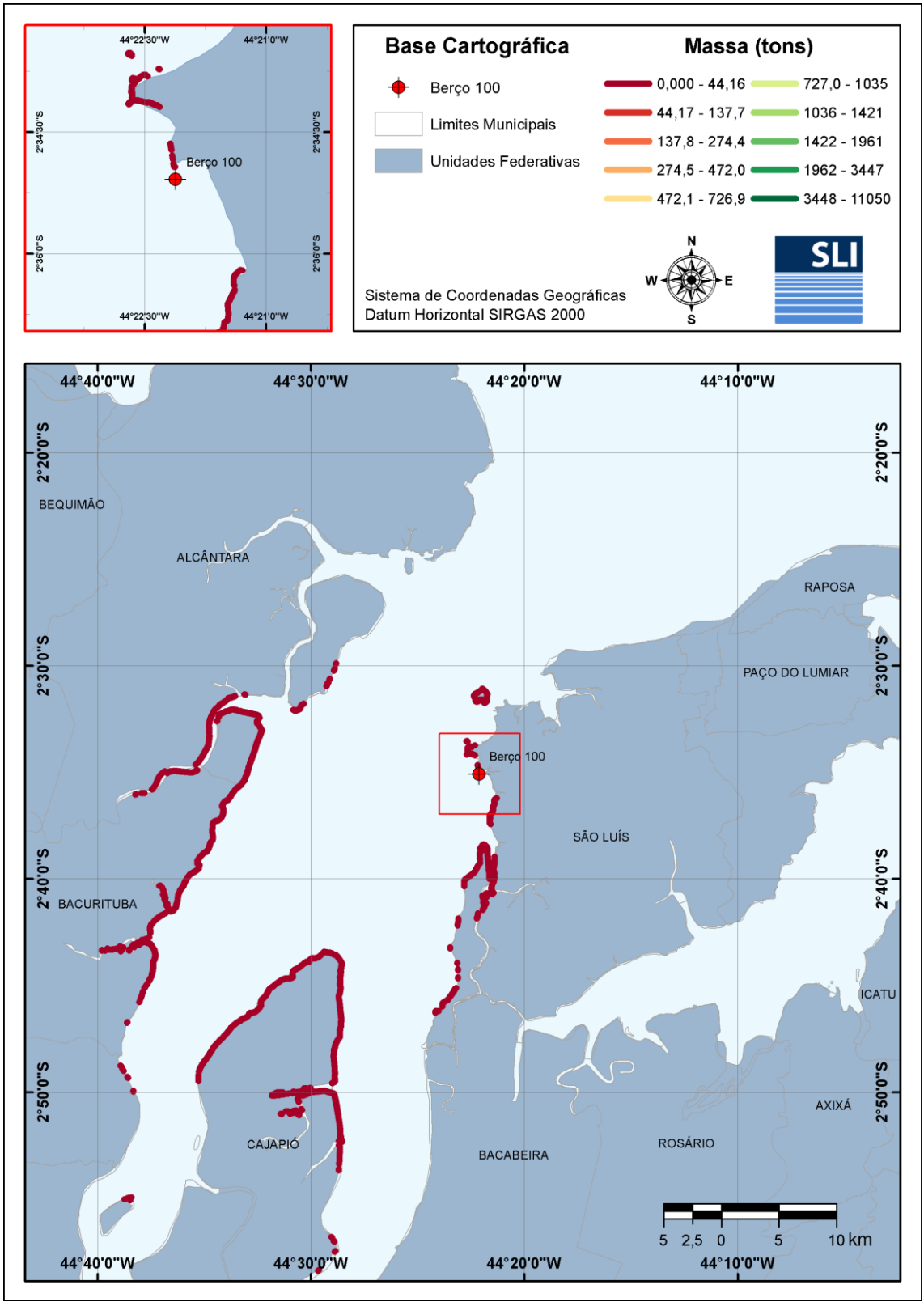


Figura 43: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 15 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	2.03%	0.33%
Médio	40.74%	2.16%	6.43%	0.67%
Máximo	62.17%	8.94%	8.13%	2.55%

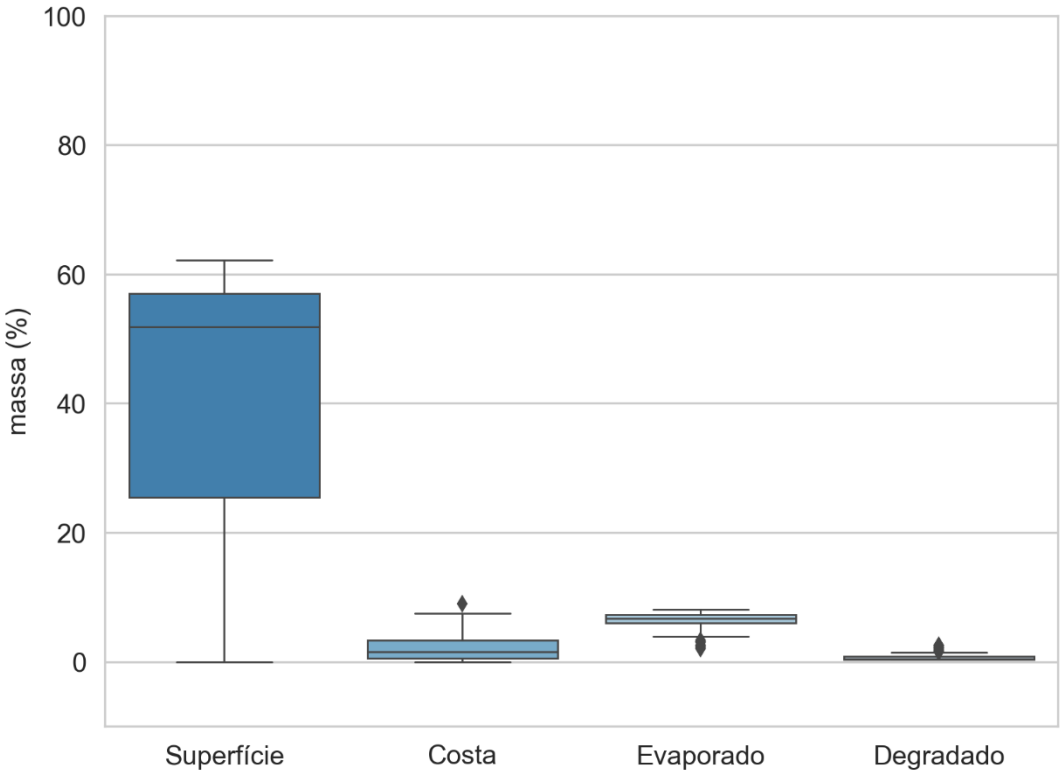


Figura 44 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

1.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

Os resultados das simulações determinísticas de dispersão de óleo são apresentados a seguir. A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de maior extensão. Em cada período, de todas as 200 simulações realizadas, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram a maior extensão de toque, com retenção de massa na costa.

As figuras apresentam os contornos de espessuras da área varrida das partículas de óleo em elemento de grade no instante final da simulação, pois assim demonstra-se toda a região a qual o óleo esteve presente na água, conjuntamente demonstra-se os contornos em destaque (vermelho) para todo local em que houve retenção de óleo pela costa (encalhe) para todo o tempo da simulação, dando o devido tempo para os processos de intemperismo ocorrerem. Por terem muitos cenários críticos de menor tempo, onde rapidamente o óleo toca a costa (em alguns em menos de meia hora), levou-se em conta, aqueles cenários com maior extensão de toque, devido a vulnerabilidade do mangue e região ao seu entorno. Além da área varrida pela mancha de óleo (em grade), é apresentado um gráfico com balanço de massa das simulações dos cenários apontados na Tabela 7, isto é, a quantidade relativa de cada porção de óleo, em determinado ambiente, ao longo do tempo, para cada um dos dois produtos simulados. Adicionalmente em anexo, são apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes nos cenários determinísticos críticos que apresentaram essa maior extensão, são mostradas as condições ambientais (vento e corrente) iniciais para cada um dos cenários aqui descritos.

1.12.1 Óleo combustível marítimo MF-380

Podemos observar nos cenários determinísticos a assinatura da intensidade dos ventos, impulsionando o óleo para a região oeste da baía de São Marcos em direção à costa dos municípios de Bacurituba e Alcântara, tendo apenas o crítico para o cenário do volume pequeno no período de SECA, transportando a maior parte do óleo ao sul da baía, atingingo a costa norte de Cajapió, tendo os 3 volumes a retenção representativa de mais de 55% da massa de óleo disposta no sistema terrestre.

Tabela 16 - Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos.

Cenários	**Degradado (%)**	**Costa (%)**	**Superfície (%)**	**Evaporado (%)**
DE_B100MF_PC_CHEIA	1,34	58,48	35,67	4,52
DE_B100MF_200_CHEIA	1,72	82,18	10,83	5,28
DE_B100MF_8_CHEIA	0,65	55,13	36,02	8,20
DE_B100MF_PC_SECA	2,22	79,48	14,41	3,90
DE_B100MF_200_SECA	0,94	60,19	32,14	6,73
DE_B100MF_8_SECA	1,28	86,52	3,59	8,61

1.12.1.1 Volume de Pior Caso (10.000,0 m³)

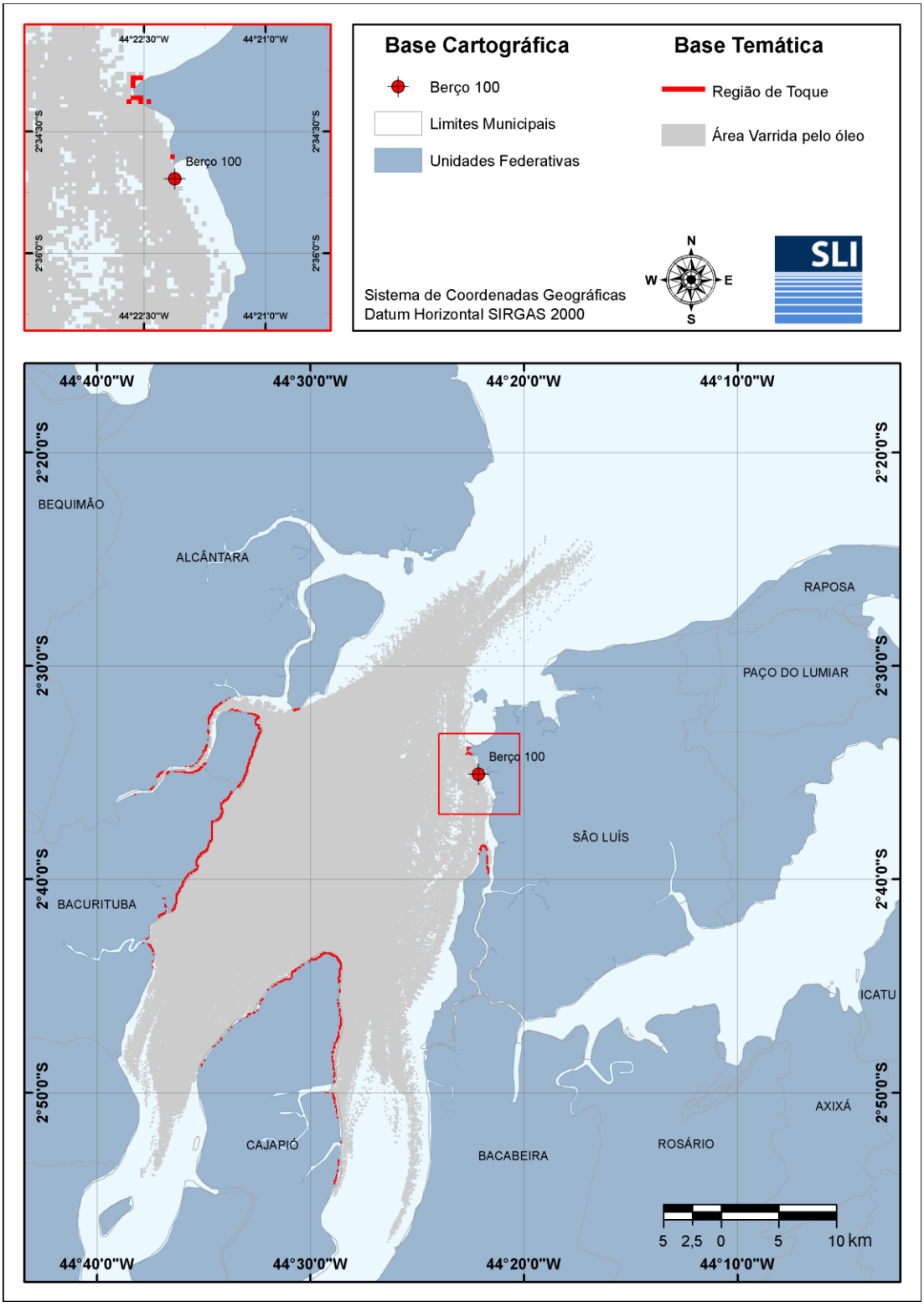


Figura 45: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia

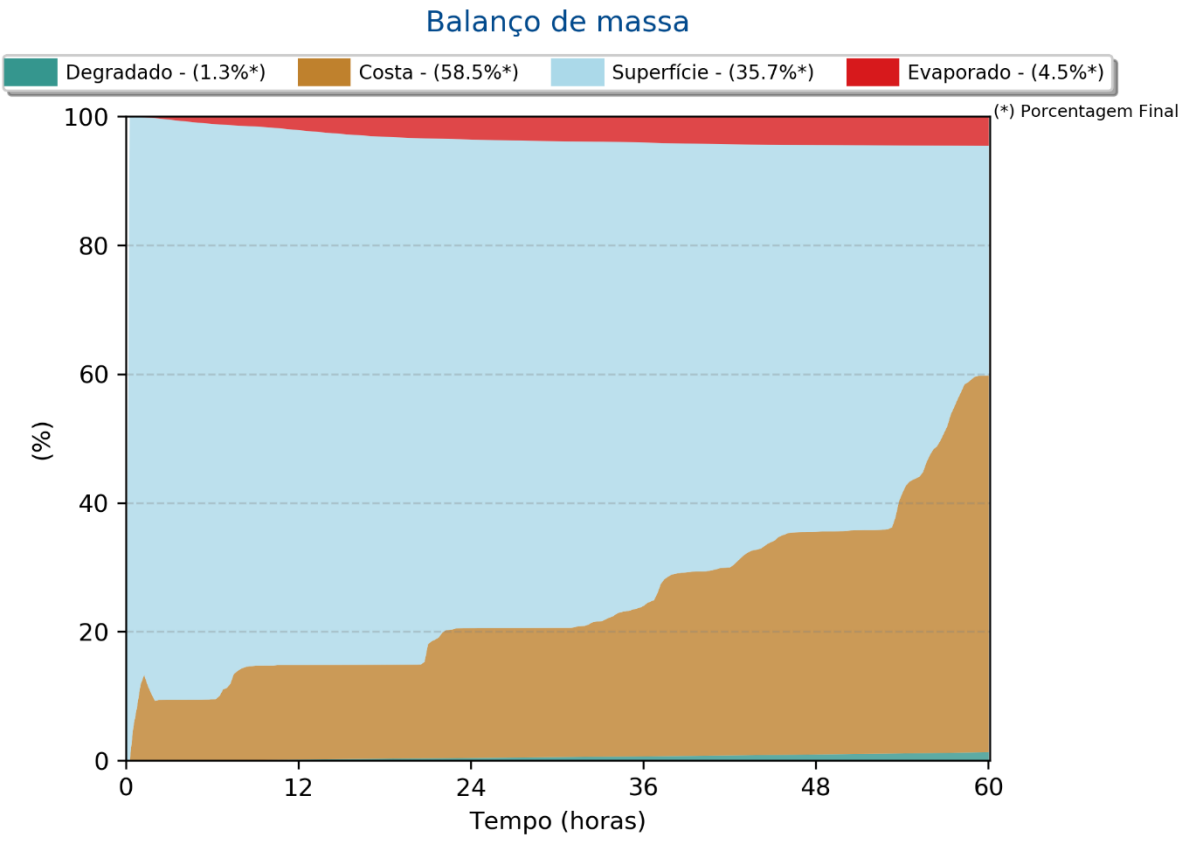


Figura 46 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

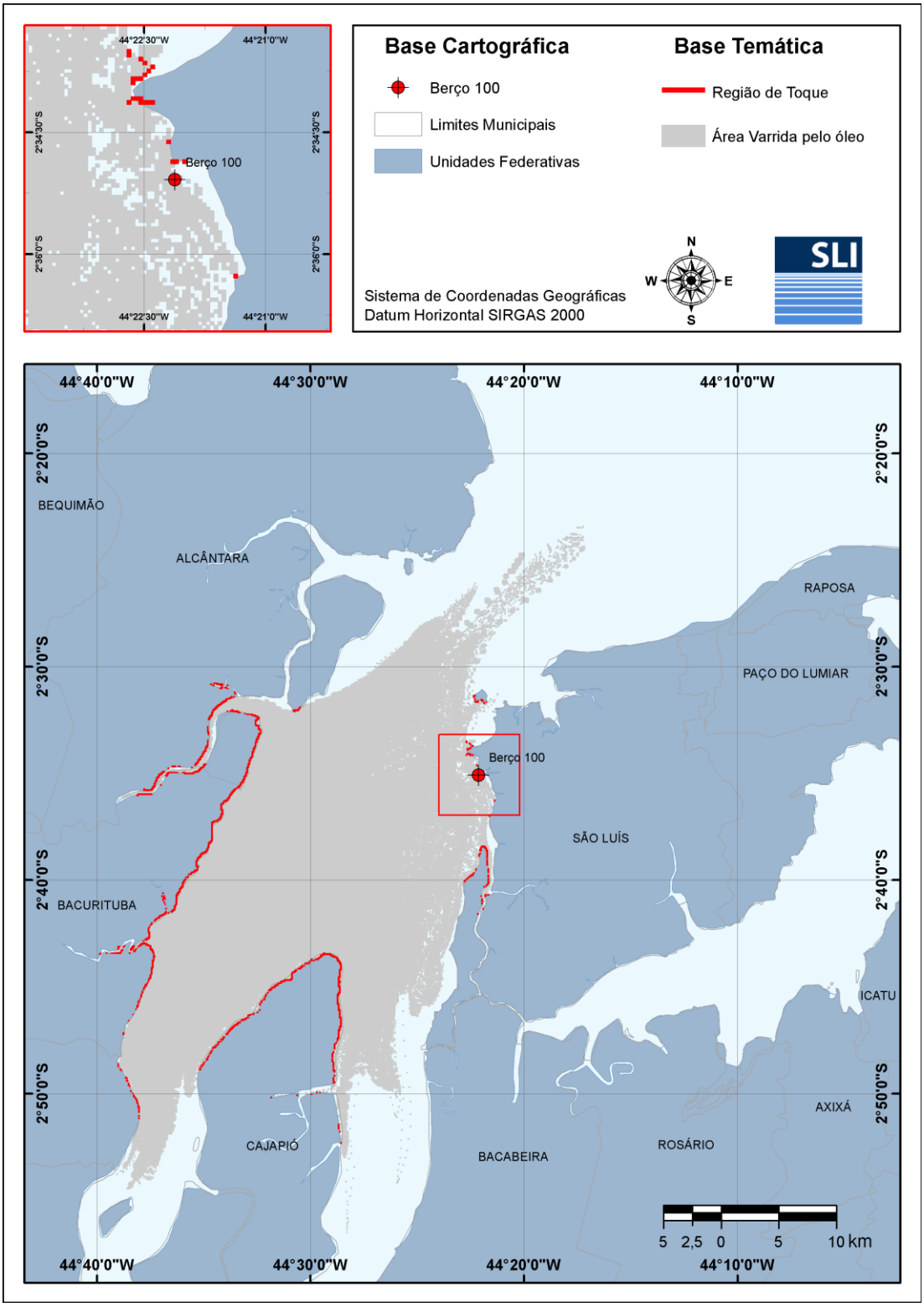


Figura 47: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca

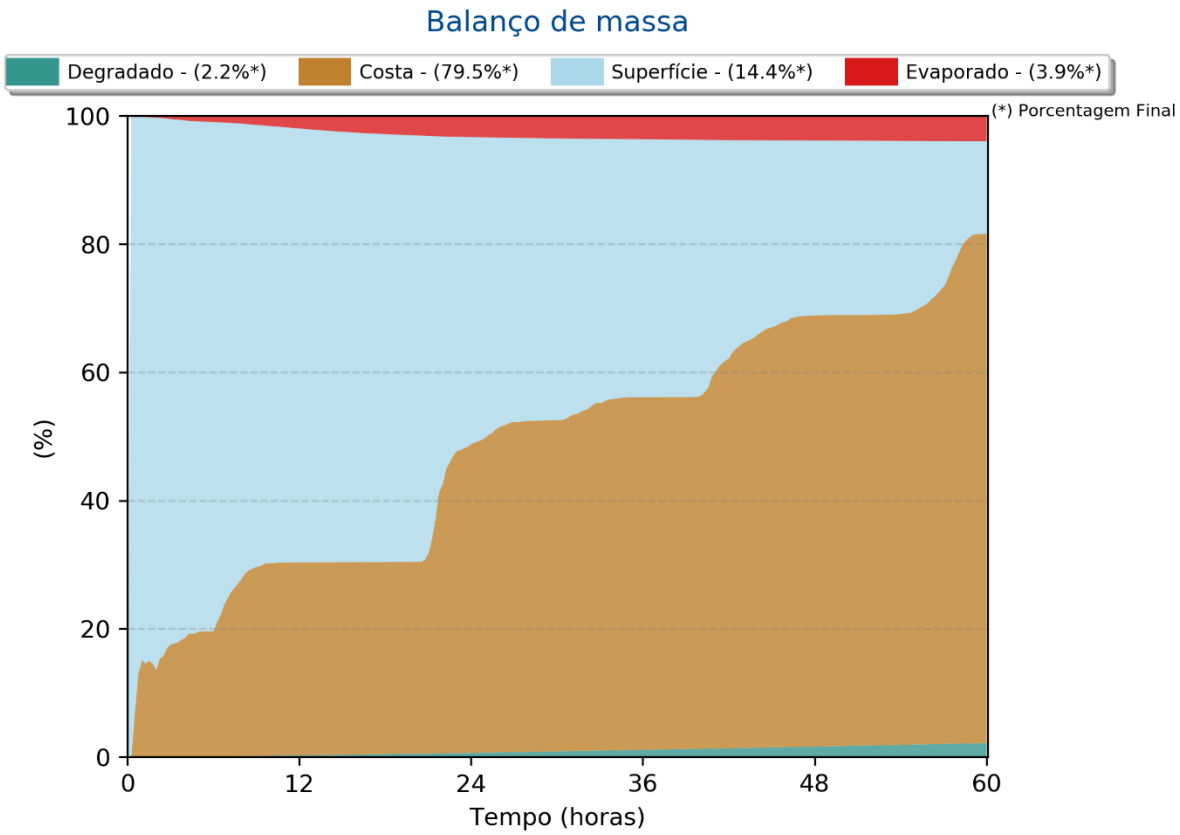


Figura 48 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

1.12.1.2 Volume médio (200,0 m³)

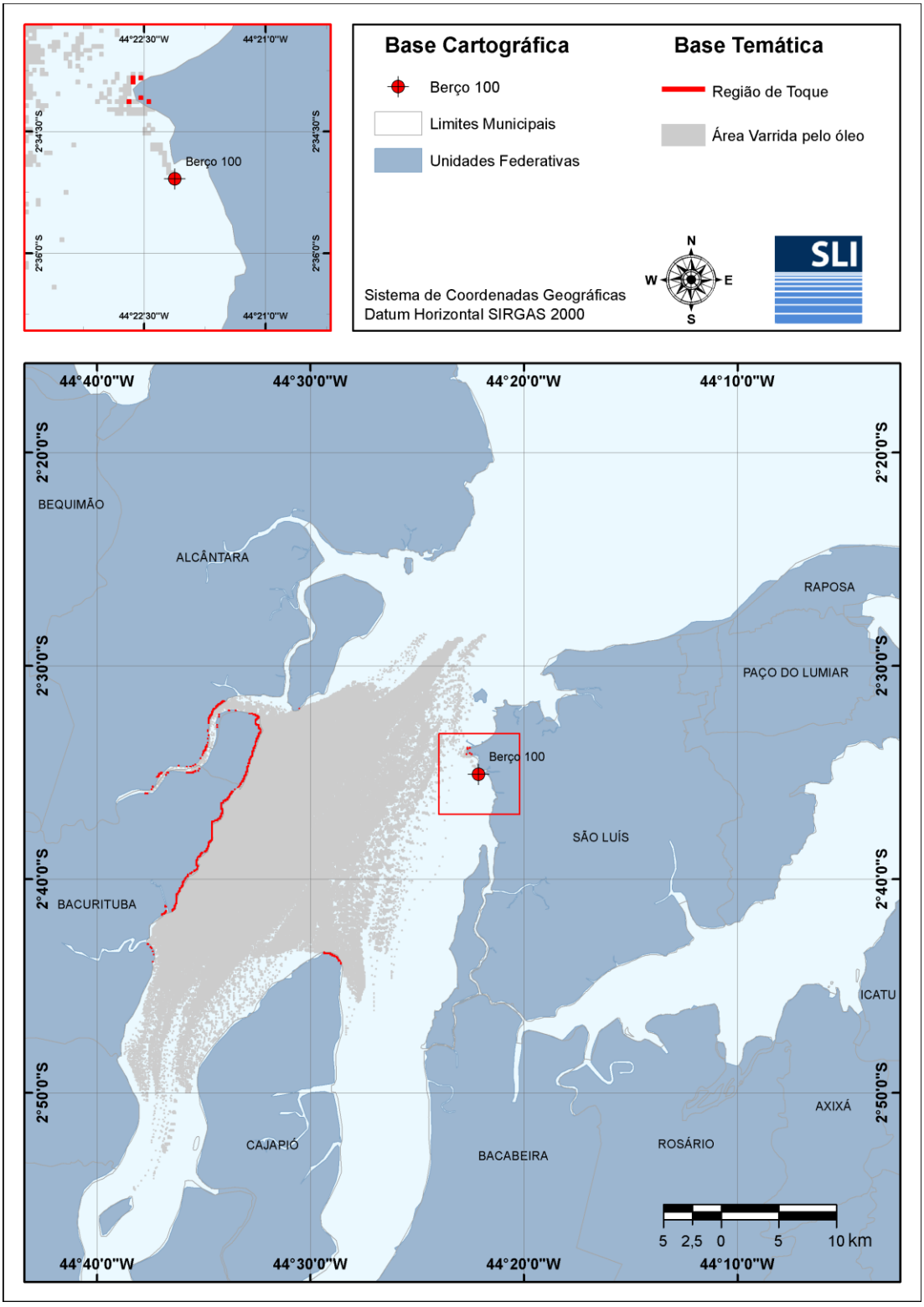


Figura 49: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

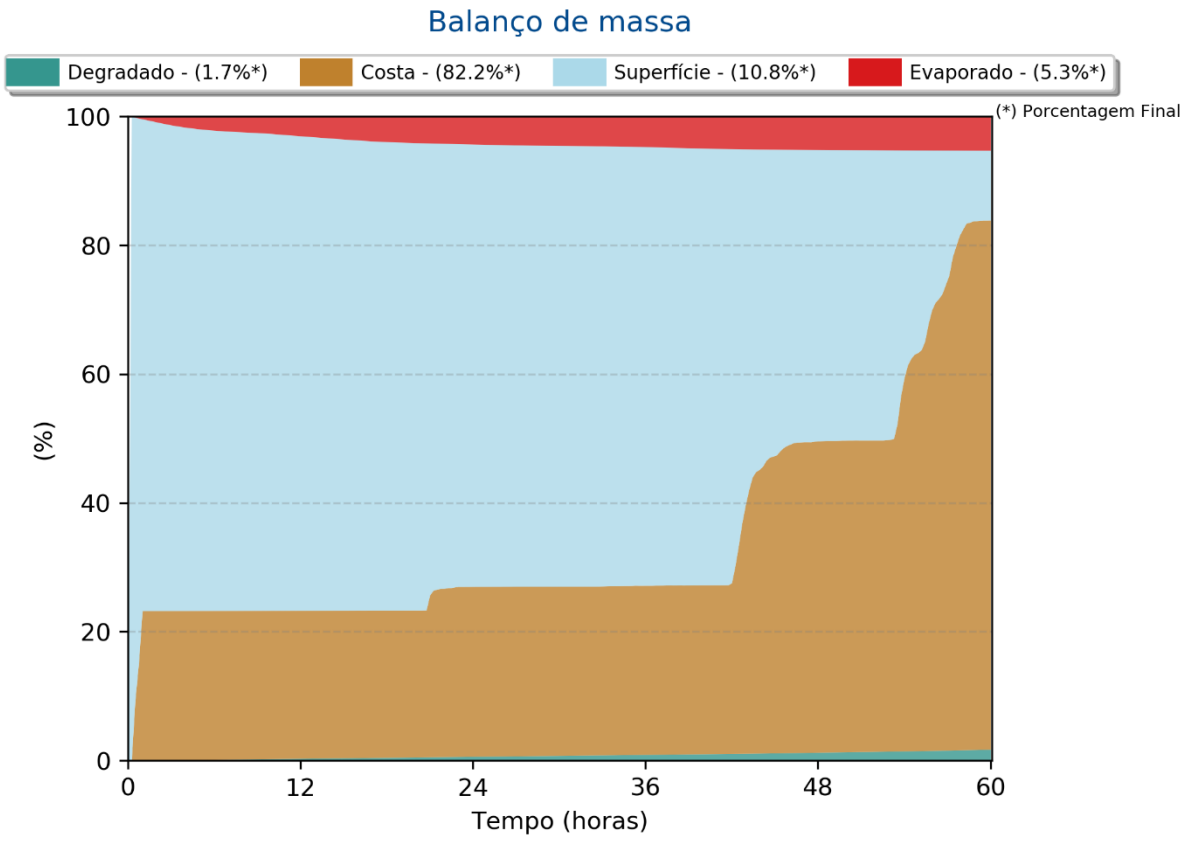


Figura 50 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

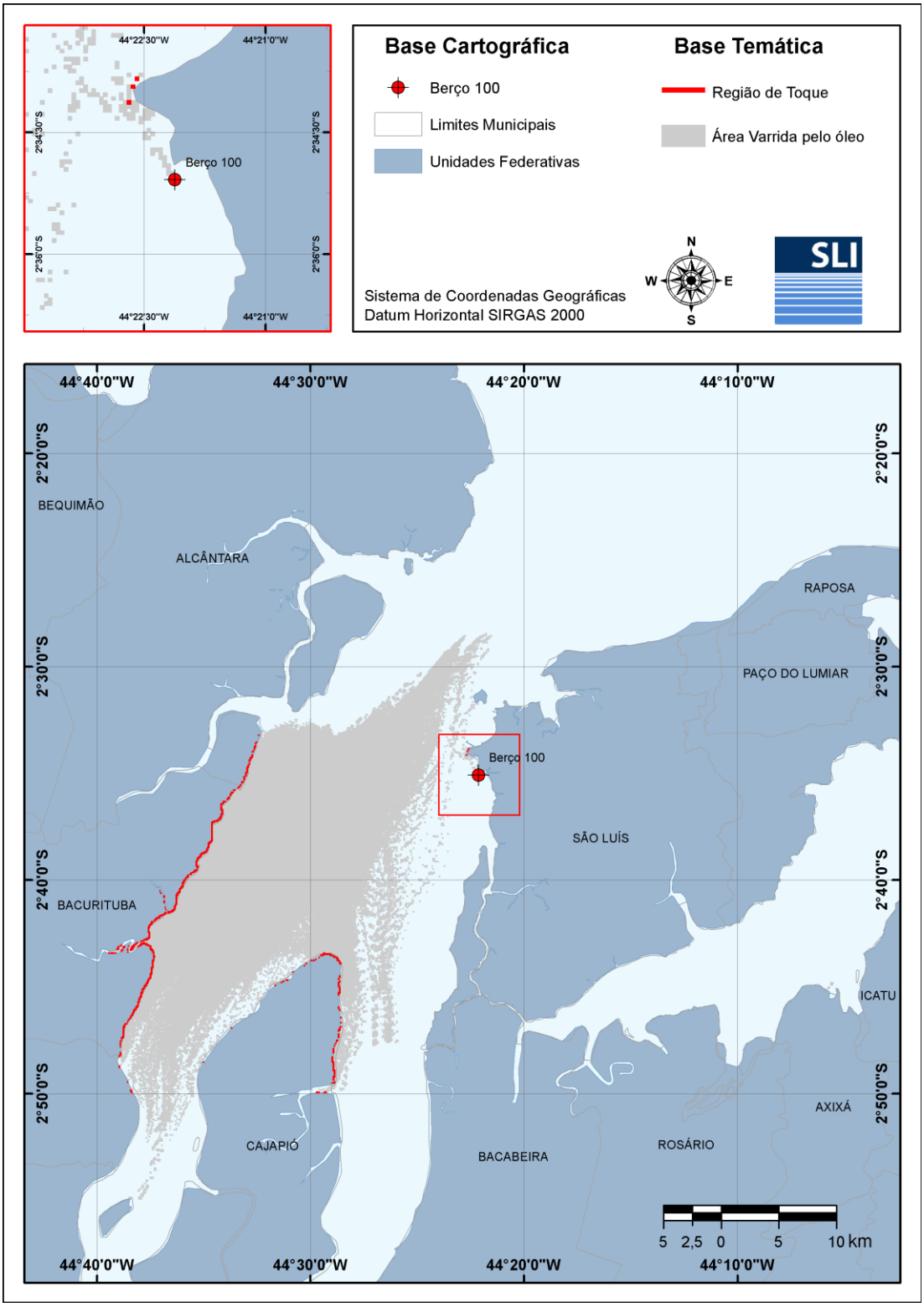


Figura 51: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

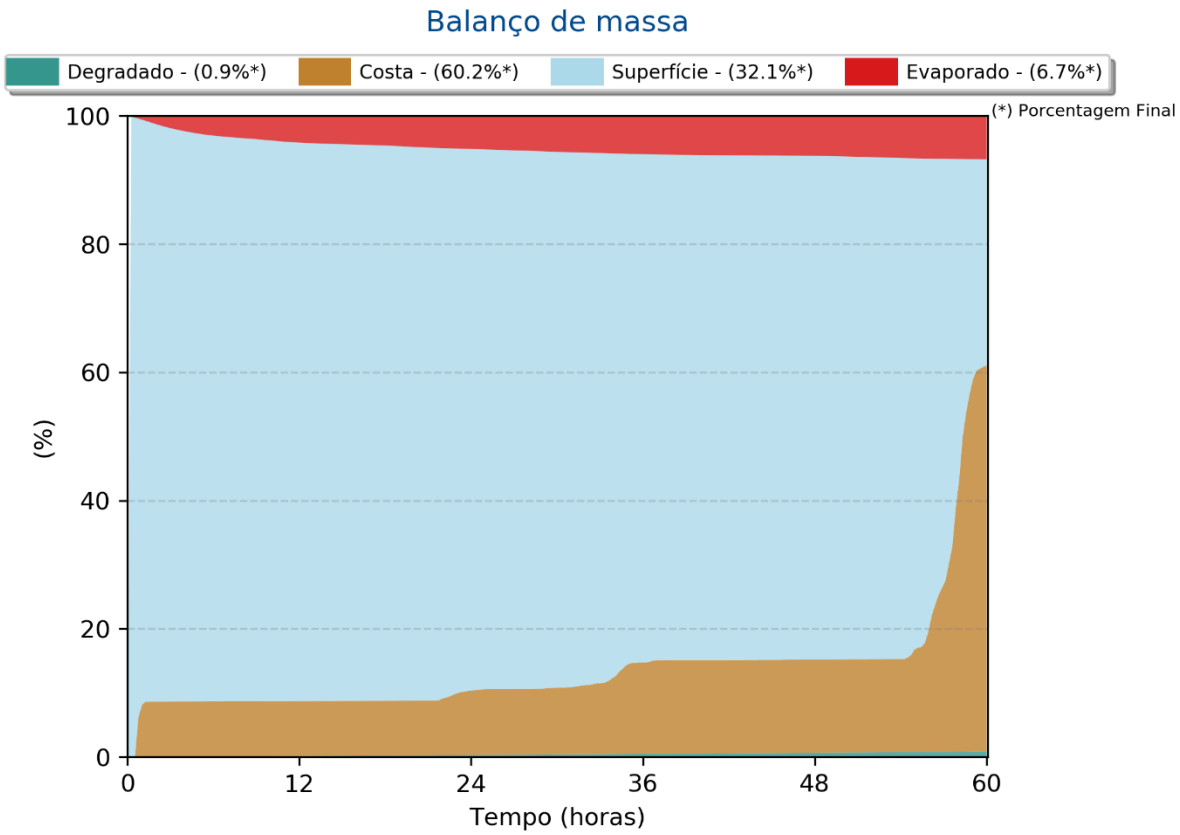


Figura 52 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

1.12.1.3 Volume pequeno (8,0 m³)

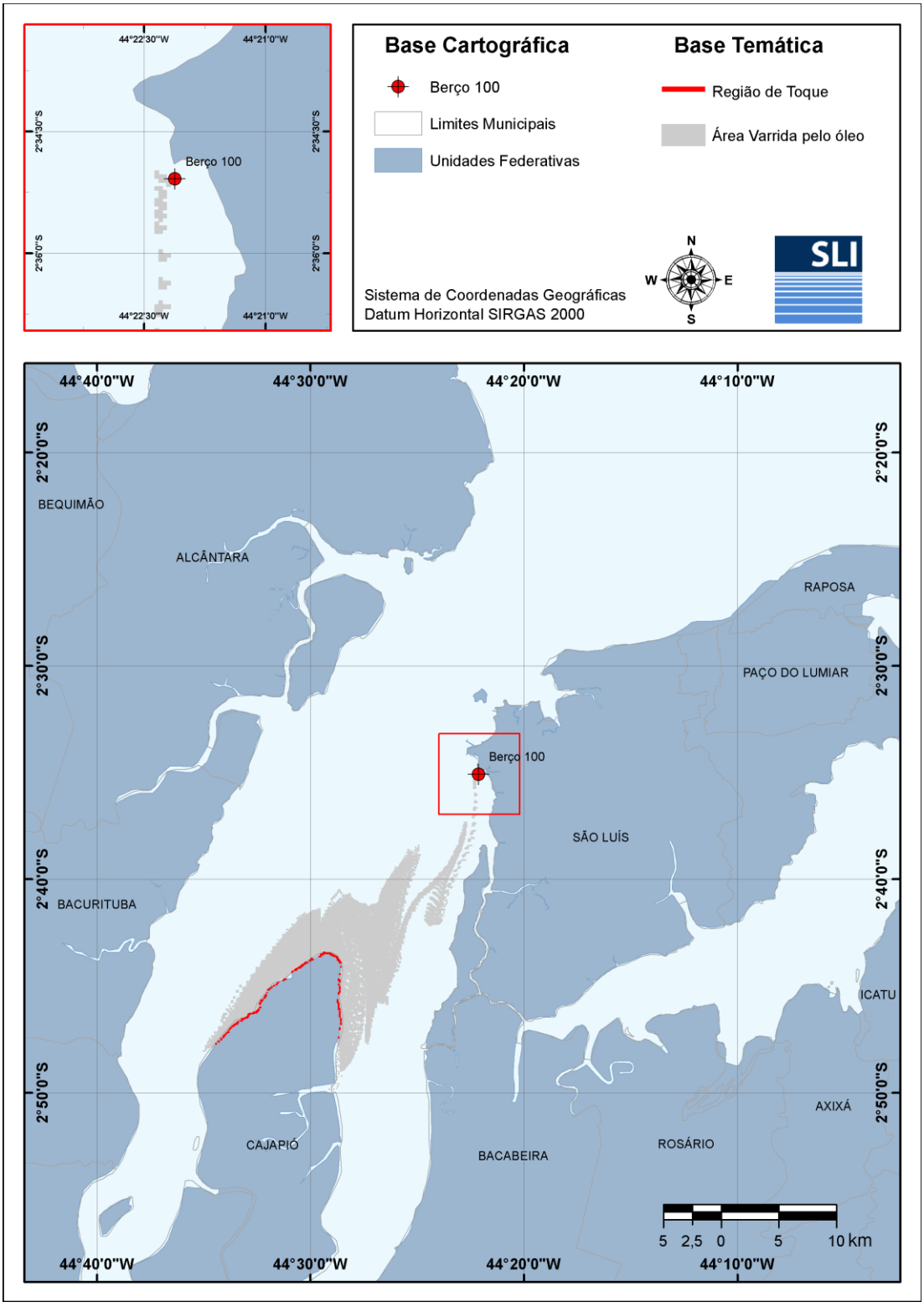


Figura 53: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

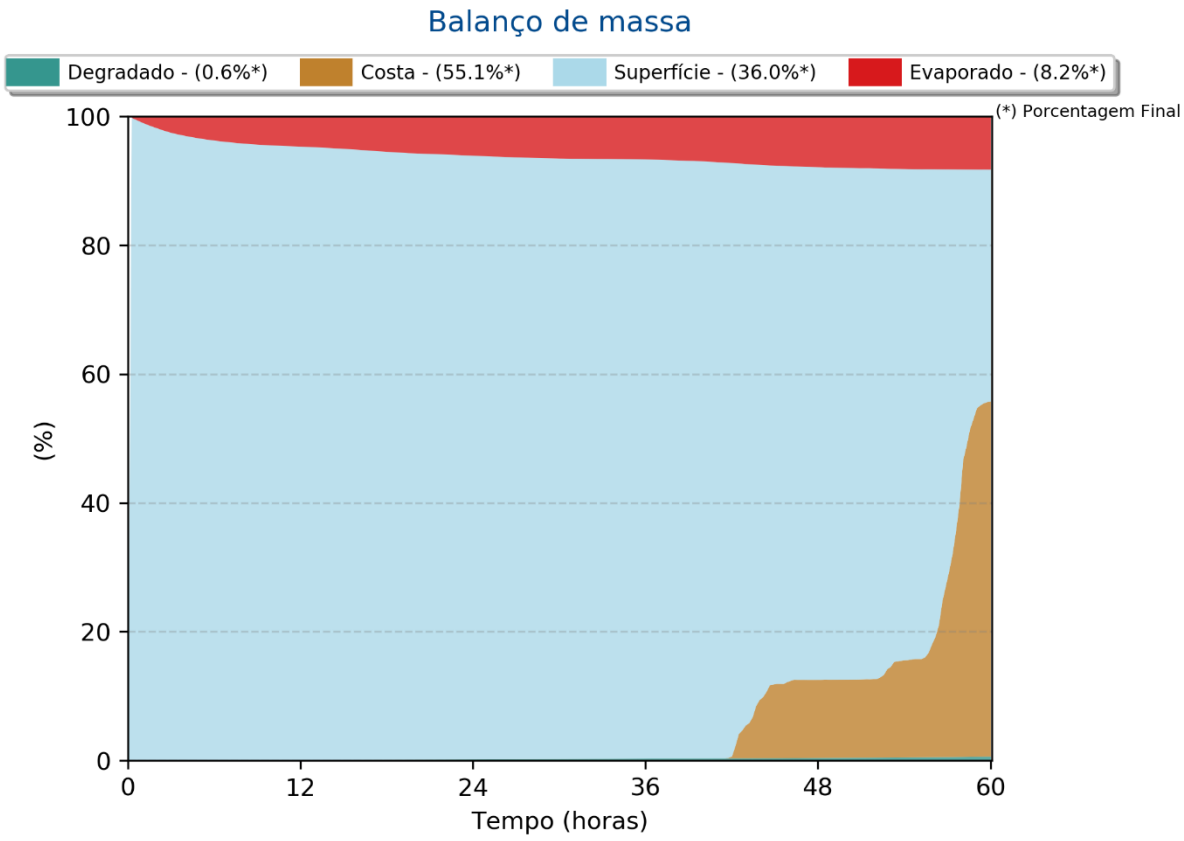


Figura 54 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

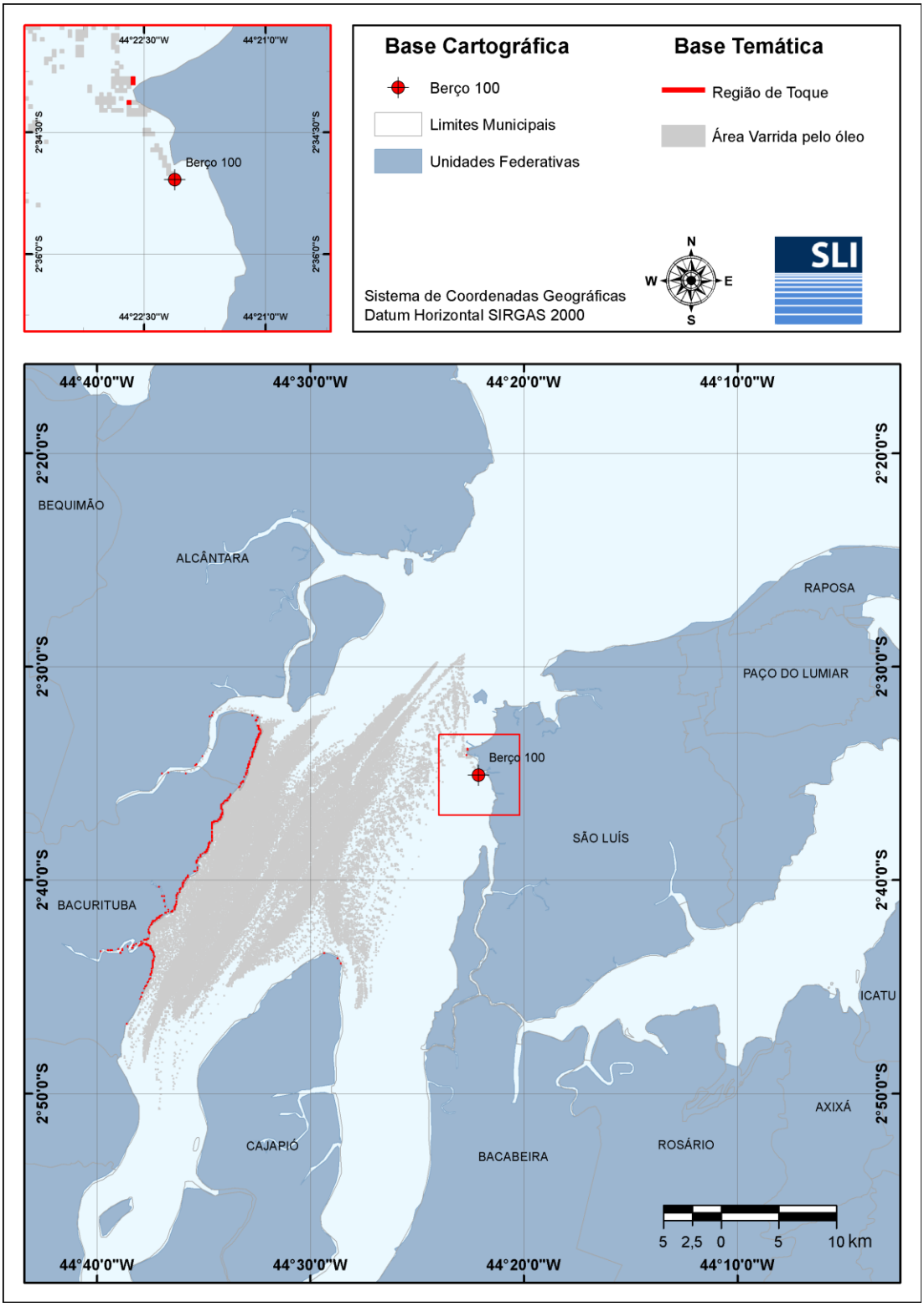


Figura 55: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 100 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

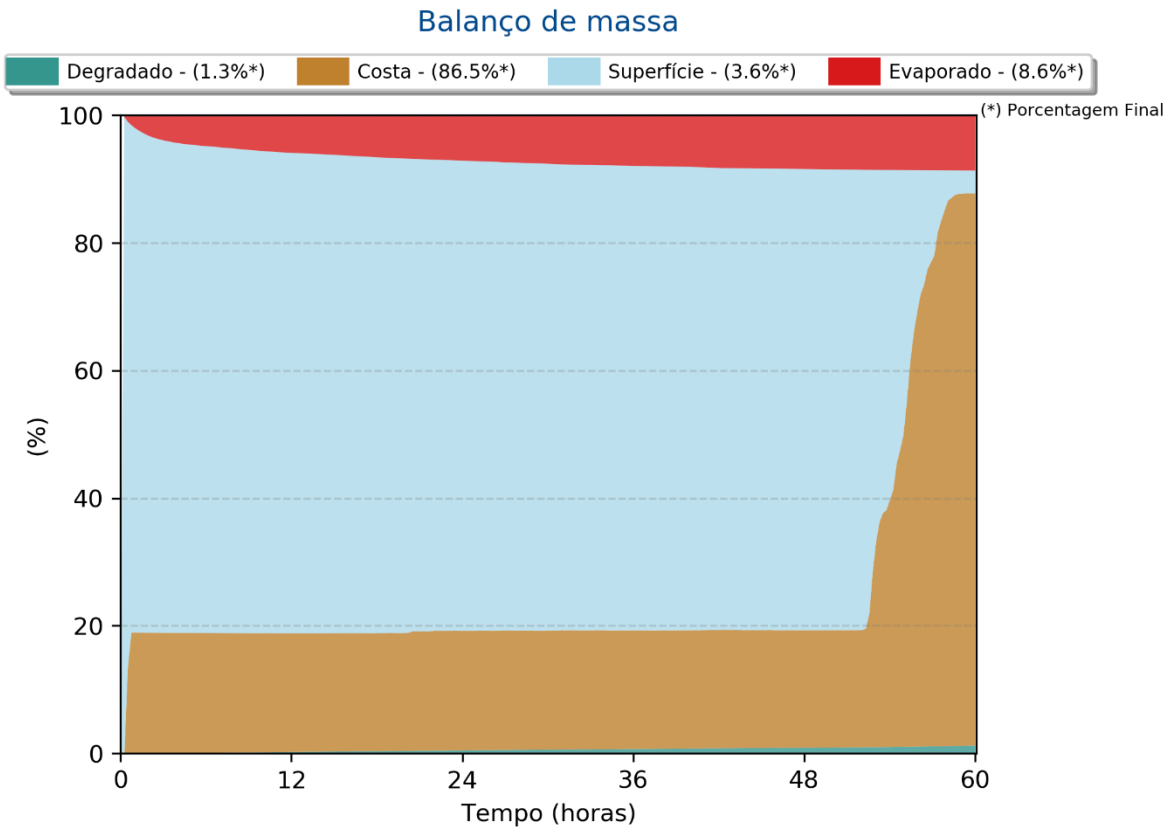


Figura 56 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

2 CONSIDERAÇÔES FINAIS

A SLI Coastal Solutions foi contratada pela Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP para realizar um estudo de modelagem numérica do derrame, dispersão e transporte de óleo para o Porto de Itaqui em São Luís, MA, com o objetivo de avaliar os impactos gerados por um vazamento de óleo hipotético acidental ocorrido nas proximidades do empreendimento, especificamente no Berço 100 de modo a subsidiar o plano de emergência do licenciamento ambiental do mesmo.

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 3 (três) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8 m^3; médio, com até 200 m^3 e de pior caso, definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço (quando aplicável).

Devido às características do empreendimento estudado, foram simulados 3 volumes de derramamento: 8,0 m^3, 200,0 m^3 e 10.000,0 m^3 sendo o último correspondente ao cenário de pior caso definido como o naufrágio e vazamento de toda capacidade do tanque do navio para o produto do óleo combustível marítimo MF-380. Foi considerado o óleo IF-180 SHELL no modelo para representar o óleo combustível marítimo MF-380.

As simulações foram conduzidas em modo probabilístico e determinístico, considerando os períodos sazonais de cheia (mês de março) e seca (mês de setembro) e suas variabilidades meteorológicas e oceanográficas. Com o objetivo de prever o pior cenário possível de ocorrer, não foi considerado qualquer sistema de controle ou ação de resposta aos vazamentos nas simulações, tais como uso de barreiras de contenção, *skimmers* e dispersantes, em um período de 60 horas após o vazamento.

Para a geração das bases hidrodinâmicas representativas de ambas sazonalidades foi utilizado o modelo numérico Delft-3D, desenvolvido pela Deltares (Delft Hydraulics - Holanda), considerado a ferramenta mais avançada na atualidade para simulações de ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Para a simulação dos processos de dispersão foi utilizado o módulo Oil Spill Contingency And Response (OSCAR) do MEMW desenvolvido pela SINTEF, modelo que calcula os processos advectivos e dispersivos de vários tipos de óleos derramados no mar.

Os resultados da modelagem numérica de dispersão de óleo indicam que o vento é o fator predominante no processo de dispersão de óleo para as regiões à oeste e sudoeste do porto de Itaqui. O óleo não escapa a baía de São Marcos devido a maré, e conjuntamente a ação dos ventos de leste e nordeste. Em geral, o espalhamento é maior nos cenários de Seca, devido a uma menor variabilidade de direção do vento, e maior intensidade das direções mencionadas acima.. Outro ponto importante é a colaboração de cisalhamento do vento, responsável pelo transporte de energia do vento para o óleo, além das frações finas, das emulsificações destas.

Os resultados das simulações de dispersão de óleo para vazamentos no porto mostram que a maior parte do óleo atingirá região externa ao porto, e sim o interior do restante da baía, salve alguns poucos casos atingindo área adjacente, porém com baixa probabilidade.

Por fim, reitera-se em nenhum cenário simulado considerou ação de resposta ou contenção do óleo derramado durante o período de simulação.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOKKER, P.C., 1964. **Spreading and evaporation of petroleum products on water.** Antwerp: in Proceedings of the Ninth International Harbour Conference.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2008). **Resolução n° 398 de 11/06/2008.** Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 07/12/2018.

ELLIOTT, A.J., HURFORD, N. and PENN, C.J., 1986. **Shear Diffusion and the Spreading of Oil Slicks.** Mar.Pollut. Bull., 17 (7), 308-313.

FAY, J.A., 1971. **Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. Washington D.C.**: in Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills, pp 463-468, American Petroleum Institute.

FORRESTER, W.D, 1986. **Distribution of suspended oil particles following the grounding of the oil tanker** Arrow. J. Mar. Res. 29,151-170.

IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis), 2016. Mapeamento Ambiental para Resposta à Emergência no Mar – MAREM: Banco de Dados Geográficos. Rio de Janeiro, 2016. Escala indeterminável. Disponível em: <http://www.marem-br.com.br/>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

KANAMITSU et al., 2002. **NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2).** Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 83(11), p. 1631-1643

LEHR, W.J., FRAGA, R.J., BELEN, M.S. and CEKIRGE, H.M., 1984. **A New Technique to Estimate Initial Spill Size Using a Modified Fay-type Spreading Formula**. Mar. Pollut. Bull., 15 (9), 326-329.

LESSER, G.R.; ROELVINK. J.A.; VAN KESTER, J.A.T.M.; STELLING, G.S. 2004. **Development and Validation of a Three-Dimensional Morphological Model.** Coastal Engineering. Vol. 51. P. 883-915.

LUNEL T., 1993. **Dispersion. Oil droplet size measurements at sea**. pp 1023-1056. Proceedings 16th Arctic and Marine Oil Spill Technical Seminar. Environment Canadá.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Cartas de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de Óleo (Cartas SAO). Bacia Sedimentar Marinha do Pará-Maranhão/Barreirinhas, 2017. Disponível em: http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo/. Acesso em: 15 Maio de 2019.

Pond, S.; Pickard, G., 1978.Introductory Dynamical Oceanography, 1ª. Ed, Oxford: Pergamon Press Ltd

PETROBRAS, 2011. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ).** Produto: Óleo Combustível Marítimo BUNKER C. Nº FISOQ: BR0350. 10 p.

Reed, M and coauthors, 2001. **Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000**. Proceedings of 2001 International Oil Spill Conference – Tampa, Florida. SINTEF Applied Chemistry. Department of Environmental Engineering. Trondheim, Norway

SAHA and coauthors, 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. Journal of Climate, 27, 2185–2208. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1

SLI Coastal Solutions, 2018. Relatório Técnico número 1050002-RL-M-0003-B108-Rev00. Rev. 00.173p.

THORPE S.A., 1984**. On the determination of Kv in the near-surface ocean from acoustic measurements of bubbles.** J. Phys. Oceanogr. 14, 855-863.

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

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

VIANA, T.V.A.; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R.R.; MOREIRA, L.G.; AZEVEDO, B.M.; VIANA, S.S.A. Análise estocástica dos déficits e dos excedentes hídricos mensais em Fortaleza, CE. Revista Ciência Agronômica, v.36, n.3, p.391-395, 2005

I.A Anexo I – Análise das Condições Meteorológicas e Oceanográficas Iniciais para os cenários determinísticos

Óleo combustível marítimo MF-380

Volume de Pior Caso

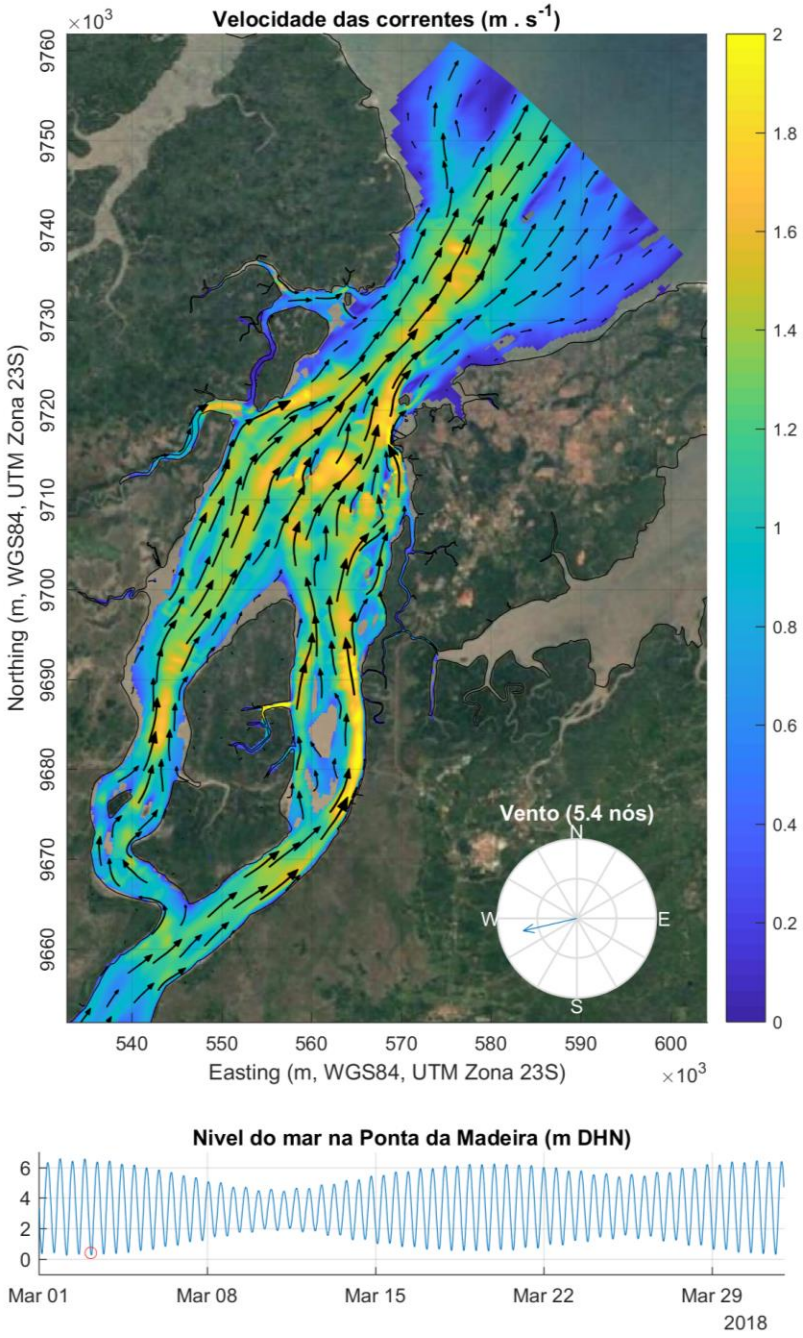


Figura I.A 1 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto MF-380 no período da Cheia.

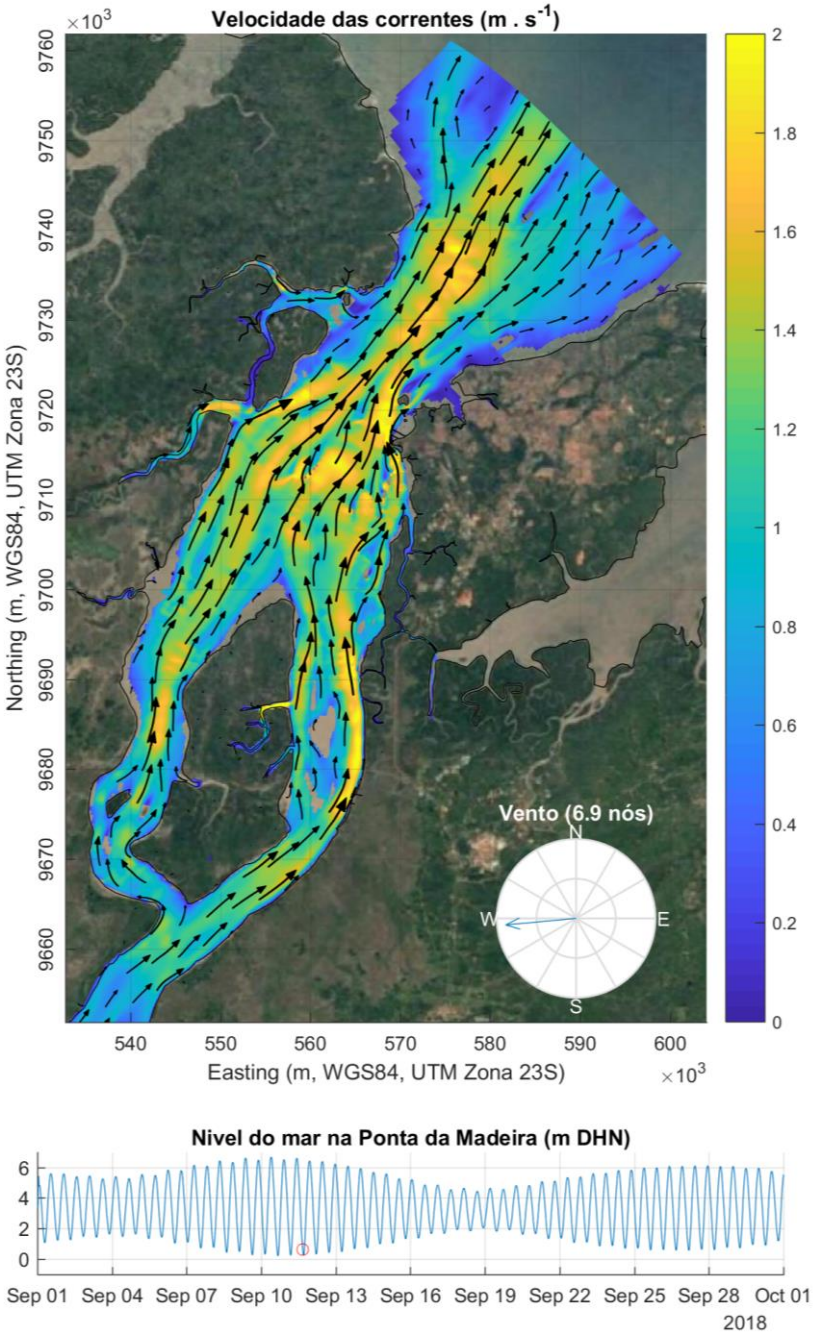


Figura I.A 2 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto MF-380 no período da Seca.

Volume Médio

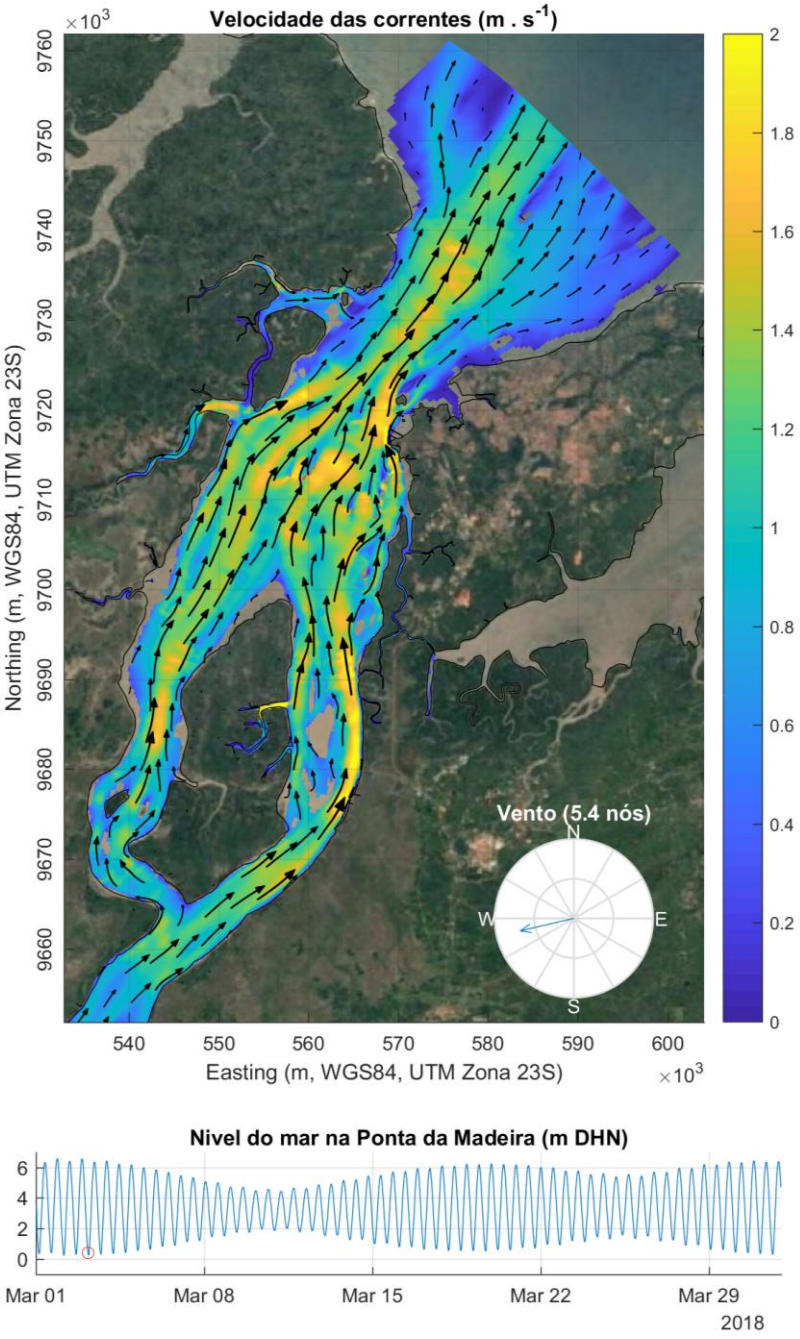


Figura I.A 3 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume médio do Produto MF-380 no período da Cheia.

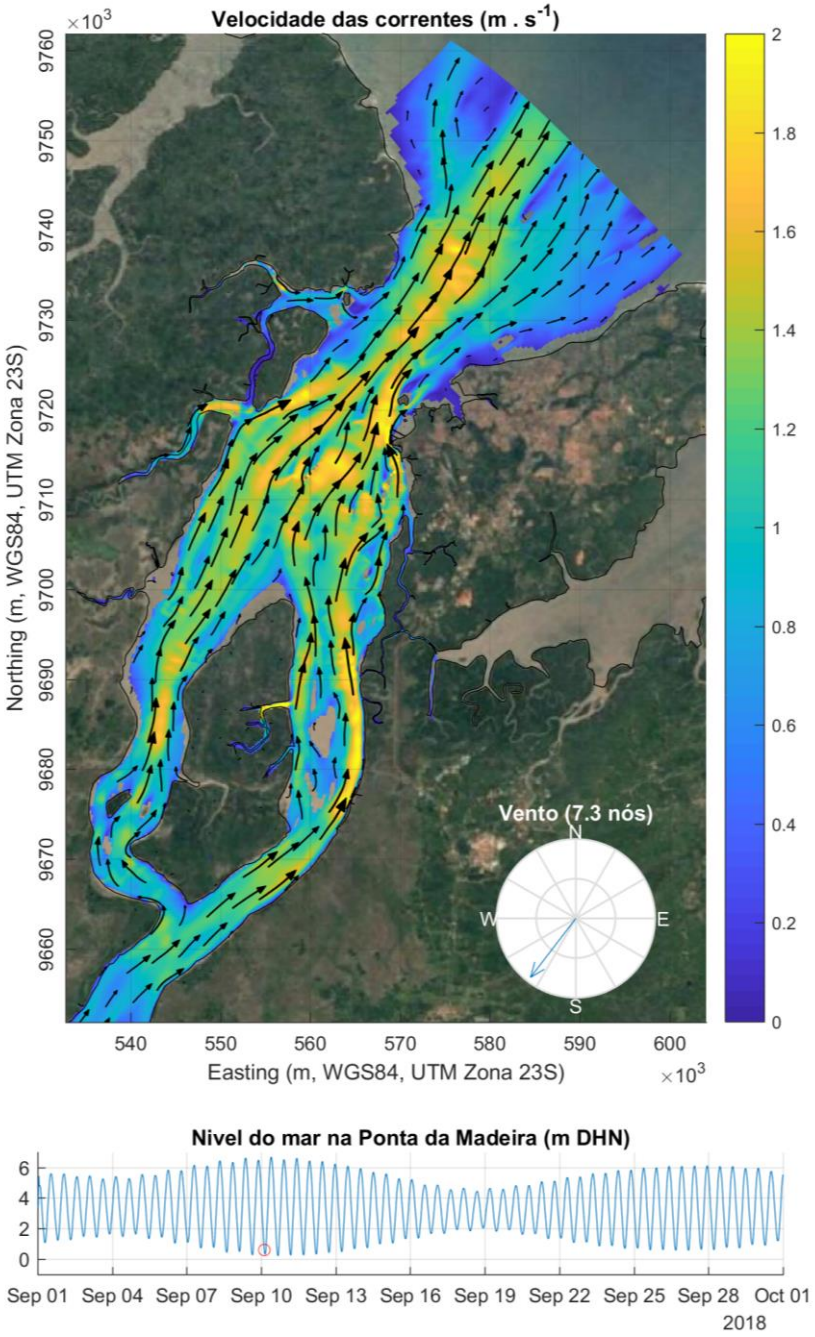


Figura I.A 4 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume médio do Produto MF-380 no período da Seca.

Volume Pequeno

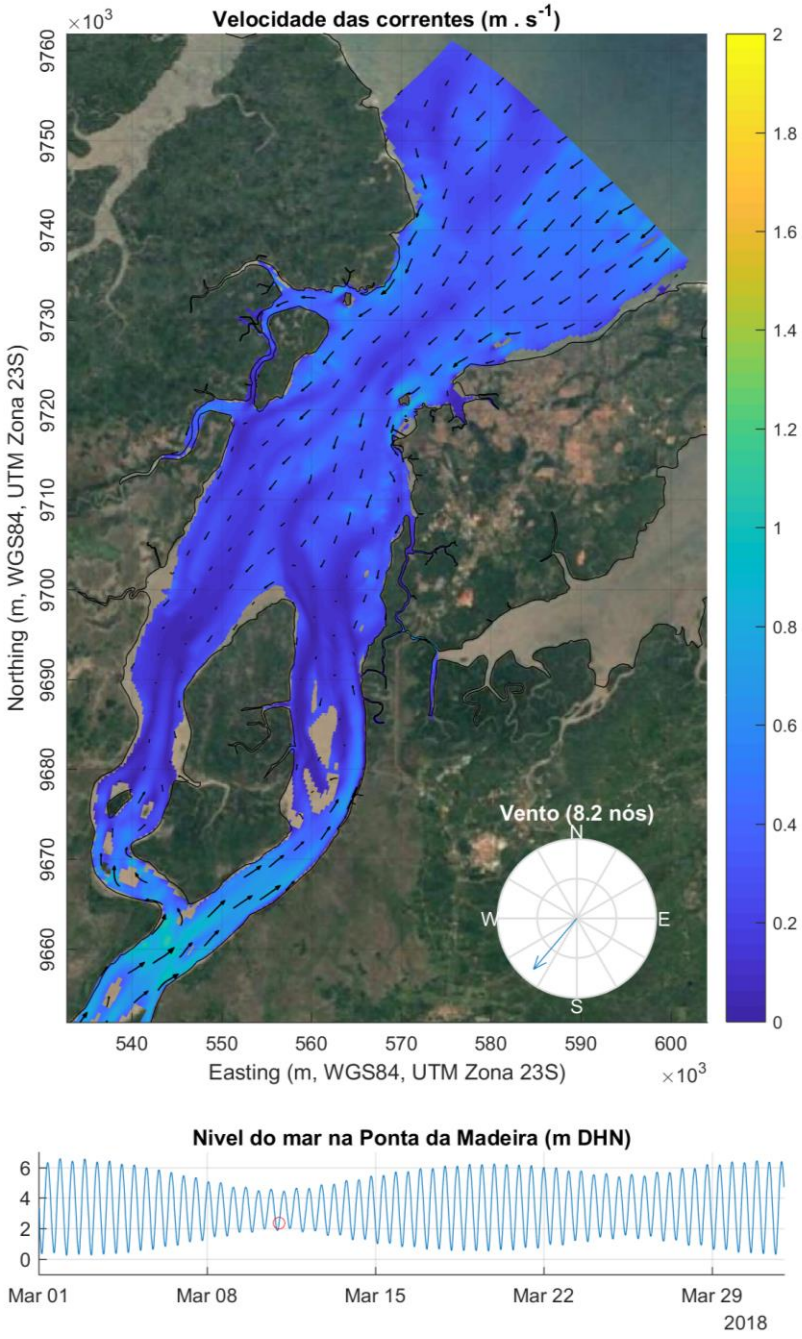


Figura I.A 5 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto MF-380 no período da Cheia.

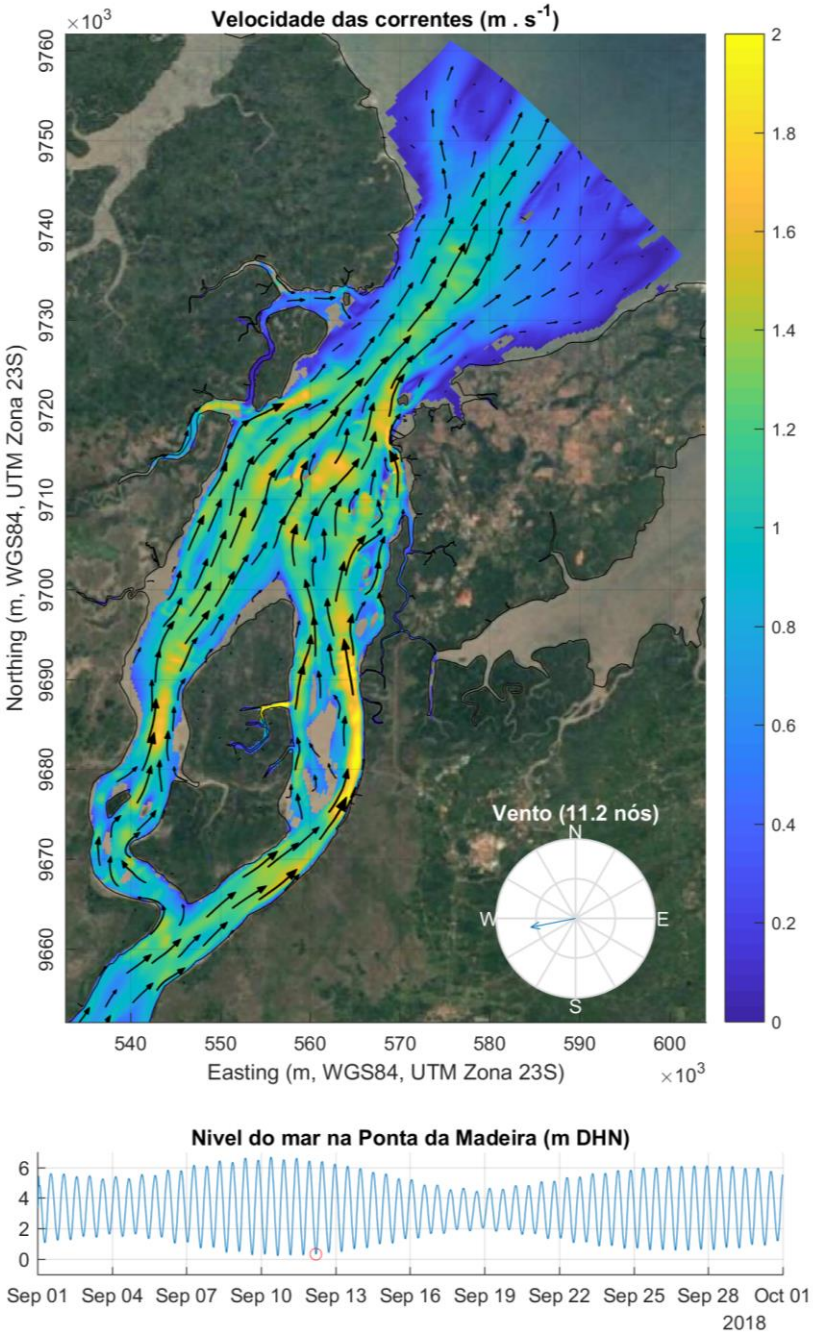


Figura I.A 6 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto MF-380 no período da Seca.

CONTROLE DE REVISÕES

TE: TIPO DE EMISSÃO

A - PRELIMINAR
B - PARA APROVAÇÃO
C - PARA CONHECIMENTO
D - PARA COTAÇÃO
E - PARA CONSTRUÇÃO
F - CONFORME COMPRADO
G - CONFORME CONSTRUÍDO
H - CANCELADO

REV.	TE	DESCRIÇÃO	ELAB.	VER.	APR.	AUT.	DATA

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA SLI COASTAL SOLUTIONS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DE SUA FINALIDADE.

A IMPRESSÃO OU REPRODUÇÃO DESTE DOCUMENTO TORNA A CÓPIA NÃO CONTROLADA.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 17
3 MODELO HIDRODINÂMICO 19
3.1 DOMÍNIO NUMÉRICO E BATIMETRIA 19
3.2 MARÉS 24
3.2.1 MARÉ ASTRONÔMICA 24
3.3 CALIBRAÇÃO HIDRODINÂMICA 25
3.4 CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA LOCAL 33
4 CONSIDERAÇÕES 35
5 MODELAGEM DE ÓLEO 35
5.1 DADOS DE ENTRADA 36
5.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA 38
5.3 PONTO DE RISCO E VOLUME 39
5.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTOS SELECIONADOS 41
5.5 CAMPOS DE CORRENTES 41
5.6 CAMPOS DE VENTOS 42
5.7 DOMÍNIO MODELADO 46
5.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES 52
5.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS 52
5.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS 54
5.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 55
5.11.1 PORTO DE ITAQUI - BERÇO 108 58
5.11.1.1 ÓLEO COMBUSTÍVEL MARÍTIMO MF-380 58
5.11.1.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (10.000,0 M³) 59
5.11.1.1.2 VOLUME MÉDIO (200,0 M³) 71
5.11.1.1.3 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 83

5.11.1.2 ÓLEO DIESEL 95
5.11.1.2.1 VOLUME DE PIOR CASO (10.000,0 M³) 96
5.11.1.2.2 VOLUME MÉDIO (200,0 M³) 108
5.11.1.2.3 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 120
5.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 132
5.12.1 ÓLEO COMBUSTÍVEL MARÍTIMO MF-380 132
5.12.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (10.000,0 M³) 133
5.12.1.2 VOLUME MÉDIO (200,0 M³) 137
5.12.1.3 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 141
5.12.2 ÓLEO DIESEL 145
5.12.2.1 VOLUME DE PIOR CASO (10.000,0 M³) 146
5.12.2.2 VOLUME MÉDIO (200,0 M³) 150
5.12.2.3 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 154
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 158
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cartas náuticas da DHN utilizadas para obtenção dos valores batimétricos da área de estudo. 21
Tabela 2 - Dados de entrada do modelo. 37
Tabela 3: Coordenadas Geográficas para os pontos de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso. 39
Tabela 4: Características dos óleos utilizados nas simulações. 41
Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia. 44
Tabela 6 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca. 45
Tabela 7: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo. 53
Tabela 8: 12 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Berço 108 no porto de Itaqui. 54
Tabela 9: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo. 57
Tabela 10 - Resumo dos resultados probabilísticos para o Berço 108 com o produto MF-380. 58
Tabela 11 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 64
Tabela 12 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 70
Tabela 13 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 76
Tabela 14 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 82
Tabela 15 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 88
Tabela 16 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 94
Tabela 17 - Resumo dos resultados probabilísticos para o Berço 108 com o produto Óleo Diesel. 95
Tabela 18 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 101
Tabela 19 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa

no cenário. 107
Tabela 20 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 113
Tabela 21 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 119
Tabela 22 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 125
Tabela 23 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 131
Tabela 24 - Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos. 132
Tabela 25 - Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos. 145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudo. 18
Figura 2. Estrutura do Porto de Itaqui. 19
Figura 3: Grade numérica do modelo hidrodinâmico. 20
Figura 4 – Batimetria do modelo hidrodinâmico. 22
Figura 5 – Detalhe da grade e batimetria do modelo hidrodinâmico com a localização dos pontos onde serão simulados derrame de óleo. 23
Figura 6: Tabela de componentes harmônicas de maré da FEMAR para a estação de Alcântara - MA. 25
Figura 7: Localização de ponto de coleta de dados, incluindo os de 2018), usados para a calibração do modelo na grade estendida 26
Figura 8: Exemplo de calibração de modelo hidrodinâmico na região do Porto de Itaqui (ponto PI-C8), durante a quadratura. 27
Figura 9: Exemplo de calibração de modelo hidrodinâmico na região do Estreito de Coqueiros (Porto Grande, ponto EC-2), durante a quadratura. 27
Figura 10: Exemplo de calibração de modelo hidrodinâmico na região do Estreito de Coqueiros (Porto Grande, ponto EC-2), durante a sizígia. 28
Figura 11: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de enchente, durante maré de Sizígia (radial 2). 29
Figura 12: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré vazante, durante maré de Sizígia (radial 18). 29
Figura 13: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de vazante, durante maré de Sizígia (radial 31). 30
Figura 14: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré enchente, durante maré de Sizígia (radial 7). 30
Figura 15: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de enchente, durante maré de Quadratura (radial 12). 31
Figura 16: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré vazante, durante maré de Quadratura (radial 17). 31
Figura 17: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de vazante, durante maré de Quadratura (radial 22). 32
Figura 18: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré de enchente, durante maré de Quadratura (radial 10). 32

Figura 19: Campo de correntes em momento de enchente, maré de quadratura, mês de Março (cheia). 33
Figura 20: Campo de correntes em momento de vazante, maré de quadratura, mês de Março (cheia). 34
Figura 21: Campo de correntes em momento de enchente, maré de sizígia, mês de Março (cheia). 34
Figura 22: Campo de correntes em momento de vazante, maré de sizígia, mês de Março (cheia). 35
Figura 23: Localização do Berço 108 no porto de Itaqui para a simulação de derrame de óleo. 40
Figura 24 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. ... 42
Figura 25 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. ... 43
Figura 26 - Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR. 47
Figura 27 - Detalhe da batimetria junto a grade do modelo. 48
Figura 28 - Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR. 49
Figura 29 - Grid Land/Water junto a grade do modelo. 50
Figura 30 - Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem. 51
Figura 31: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 59
Figura 32: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 60
Figura 33: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 61
Figura 34: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 62
Figura 35: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 63

Figura 36 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 64
Figura 37: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 65
Figura 38: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 66
Figura 39: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 67
Figura 40: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 68
Figura 41: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 69
Figura 42 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 70
Figura 43: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 71
Figura 44: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 72
Figura 45: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 73
Figura 46: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o

mês de cheia. 74
Figura 47: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 75
Figura 48 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 76
Figura 49: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 77
Figura 50: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 78
Figura 51: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 79
Figura 52: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 80
Figura 53: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 81
Figura 54 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 82
Figura 55: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 83
Figura 56: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 84
Figura 57: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético

de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 85
Figura 58: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 86
Figura 59: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 87
Figura 60 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 88
Figura 61: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 89
Figura 62: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 90
Figura 63: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 91
Figura 64: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 92
Figura 65: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 93
Figura 66 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 94
Figura 67: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 96

Figura 68: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 97
Figura 69: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 98
Figura 70: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 99
Figura 71: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 100
Figura 72 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 101
Figura 73: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 102
Figura 74: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 103
Figura 75: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 104
Figura 76: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 105
Figura 77: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 106
Figura 78 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o

mês de seca. 107
Figura 79: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 108
Figura 80: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 109
Figura 81: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 110
Figura 82: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 111
Figura 83: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 112
Figura 84 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 113
Figura 85: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 114
Figura 86: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 115
Figura 87: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 116
Figura 88: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 117
Figura 89: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de

200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 118
Figura 90 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 119
Figura 91: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 120
Figura 92: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 121
Figura 93: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 122
Figura 94: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 123
Figura 95: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 124
Figura 96 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 125
Figura 97: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 126
Figura 98: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. . 127
Figura 99: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 128
Figura 100: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 129

Figura 101: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. .130
Figura 102 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 131
Figura 103: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia 133
Figura 104 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 134
Figura 105: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca 135
Figura 106 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 136
Figura 107: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 137
Figura 108 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 138
Figura 109: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 139
Figura 110 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 140
Figura 111: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia. 141
Figura 112 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 142
Figura 113: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo,

para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 143
Figura 114 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 144
Figura 115: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia 146
Figura 116 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 147
Figura 117: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca 148
Figura 118 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 149
Figura 119: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia 150
Figura 120 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 151
Figura 121: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 152
Figura 122 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 153
Figura 123: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia 154
Figura 124 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 155
Figura 125: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca. 156

Figura 126 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 157

1 INTRODUÇÃO

A **SLI** foi contratada **pela EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA – EMAP**, para realização de estudos de modelagem numérica hidrodinâmica e processos de dispersão de óleo. Para realização deste trabalho, foi utilizado o modelo numérico tridimensional Delft3D para geração dos campos de corrente que foram juntamente com dados de ventos importados ao modelo OSCAR para as análises probabilísticas e determinísticas da dispersão de óleo na área de estudo.

Este documento apresenta a caracterização da área de estudo, os modelos escolhidos para o desenvolvimento deste trabalho, os métodos empregados e os resultados obtidos. As simulações foram conduzidas considerando efeitos de sazonalidade de modo a clarificar as probabilidades de dispersão de um vazamento de óleo hipotético na área de estudo e de apresentar cenários críticos para a contenção do óleo que servirão de suporte para a revisão do Plano de Emergência Individual (PEI) do Porto de Itaqui, Ponta da Espera e Porto Grande, Baía de São Marcos (MA). Este documento apresenta os resultados obtidos para o Berço 108, como parte do escopo da OS nº4.

DOCUMENTOS DE REFÊRENCIA

[1]	DESCRIÇÃO DO ESCOPO DA OS Nº 04.pdf

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no litoral central do Estado do Maranhão, na principal reentrância do litoral maranhense e o grande coletor das águas e sedimentos dos rios Pindaré, Mearim, Itapecuru conhecida como Golfão Maranhense (Figura 1). O Golfão Maranhense é composto por duas baías principais, a Baía de São Marcos e a Baía de São José, separadas pela Ilha de São Luís.

Esta região faz parte de uma zona costeira marcada por estuários e reentrâncias no noroeste do Maranhão, que constitui o maior sistema contínuo de manguezais do mundo, a Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA). Só no Estado do Maranhão há cerca de 5.414 km^2 de manguezais (SOUZA FILHO, 2005).

Os manguezais do Estado do Maranhão são considerados os mais estruturalmente complexos do Brasil. Este aspecto é atribuído em parte às diversas características da linha de costa, às grandes quantidades de água doce, provenientes de extensos rios, às altas taxas de precipitação, bem como às altas amplitudes de maré (até 7,2 m), cuja propagação estende-se a mais de 200 km (REBELO-MOCHEL, 1997 *apud* TEIXEIRA e SOUZA FILHO, 2009).

A Baía de São Marcos faz parte da bacia hidrográfica do Mearim (El-Robrini *et al.,* 2006). É uma vasta zona estuarina, com orientação principal NE-SW, amplamente aberta sobre a plataforma continental com largura de 50 km na porção Norte, 15 km na região central (entre Alcântara e a Ponta de São Marcos), 25 km na altura da ilha dos Caranguejos e 4 km na foz do rio Mearim. Segundo El-Robrini et al. (2006), a região é influenciada por marés semi-diurnas, com amplitude de macro-maré (até 7,2 m), responsáveis por gerar fortes correntes de maré, com velocidades de até 2,5 m/s. Segundo Morais (1977 apud El-Robrinni et al., 2006), as ondas na Baía de São Marcos têm

características exclusivamente originadas pela ação do vento, com ondas de altura inferior a 0,2 m ocorrendo em 95% do tempo.

A região do empreendimento (Porto do Itaqui) está situada na margem leste da Baía de São Marcos, compreendida em uma região com grande extensão de áreas alagáveis, o Porto do Itaqui possui sete berços operacionais, além de um novo píer petroleiro, Berço 108 (Figura 2). Os berços possuem profundidades que variam de 12 a 19 metros.

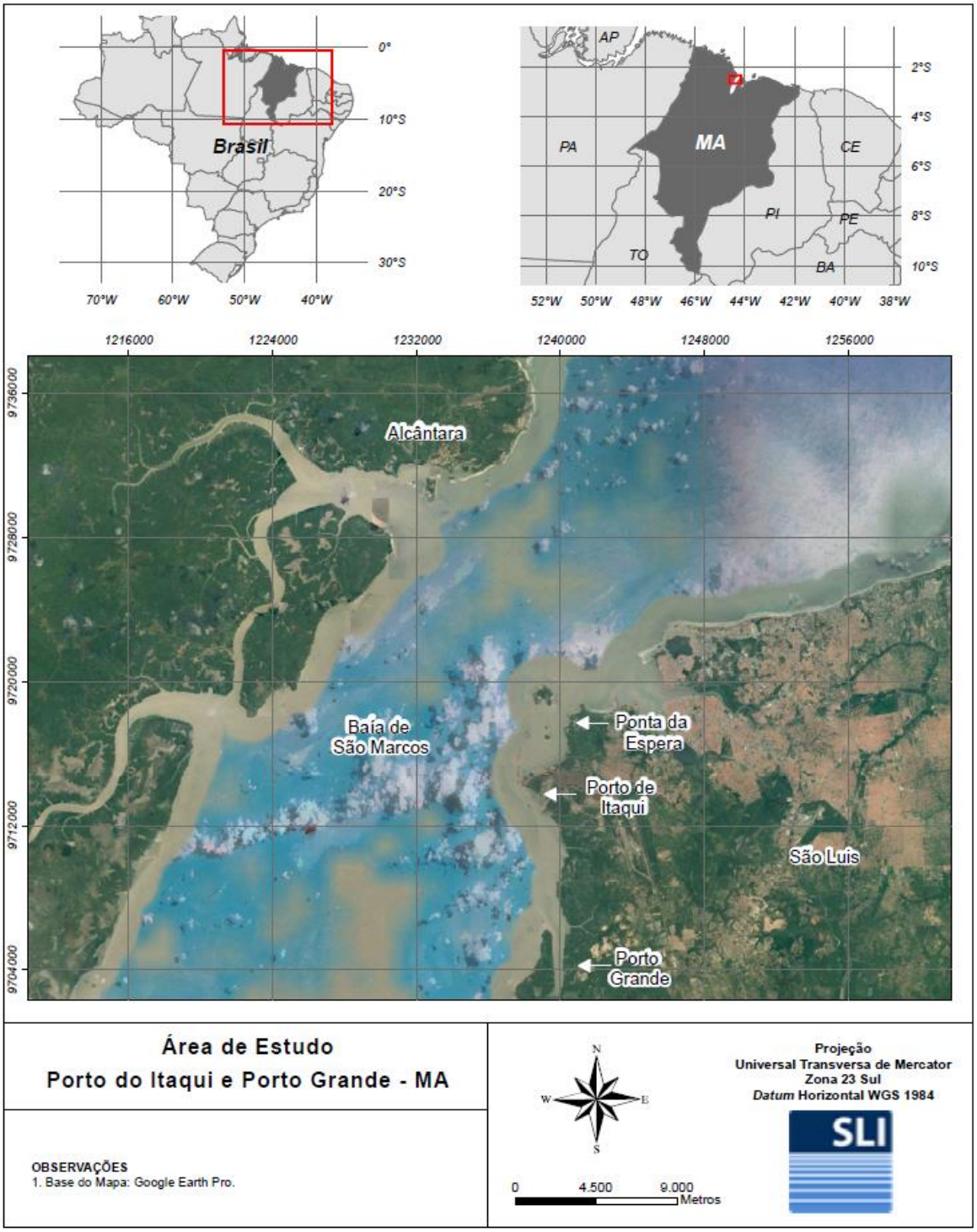


Figura 1. Área de estudo.

Figura 2. Estrutura do Porto de Itaqui.

3 MODELO HIDRODINÂMICO

O módulo utilizado para a execução desse estudo, Delft3D-FLOW, resolve um sistema de equações de águas rasas em modo bidimensional (ou integrado em vertical) e tridimensional. O sistema de equações consiste nas equações horizontais de movimento (conservação do momento), na equação de continuidade, equações de transporte para constituintes conservativos e um modelo de fechamento turbulento. A equação vertical de momento é reduzida à relação de pressão hidrostática e as acelerações verticais são assumidas como sendo pequenas em relação à aceleração da gravidade. Isso faz com que o Delft3D-FLOW seja adequado para a predição de fluxos em mares rasos, áreas costeiras, estuários, lagos, rios e lagoas.

O usuário pode escolher a resolução das equações hidrodinâmicas em grades cartesianas retangulares, curvilineares ortogonais (boundary fitted) ou esféricas (LESSER et al., 2004). Este modelo foi extensivamente calibrado e validado através de experimentos de campo e de laboratório e é considerado o estado-da-arte em modelagem hidrodinâmica.

3.1 DOMÍNIO NUMÉRICO E BATIMETRIA

Para as simulações foi utilizada uma técnica de aninhamento entre uma grade maior, e uma grade mais detalhada dentro desse domínio para resolver o comportamento dos processos locais no entorno dos berços de atracação do Porto do Itaqui. A grade numérica criada para as simulações hidrodinâmicas foi discretizada em 300 x 664 elementos de cálculo com resolução variando entre pouco mais de 60m próximo da região de interesse até 600 m nas áreas mais externas e afastadas (Figura 1), e a grade com maior detalhamento tem 298 x 141 elementos de cálculo, e resolução aproximada de 20 m na região de interesse.

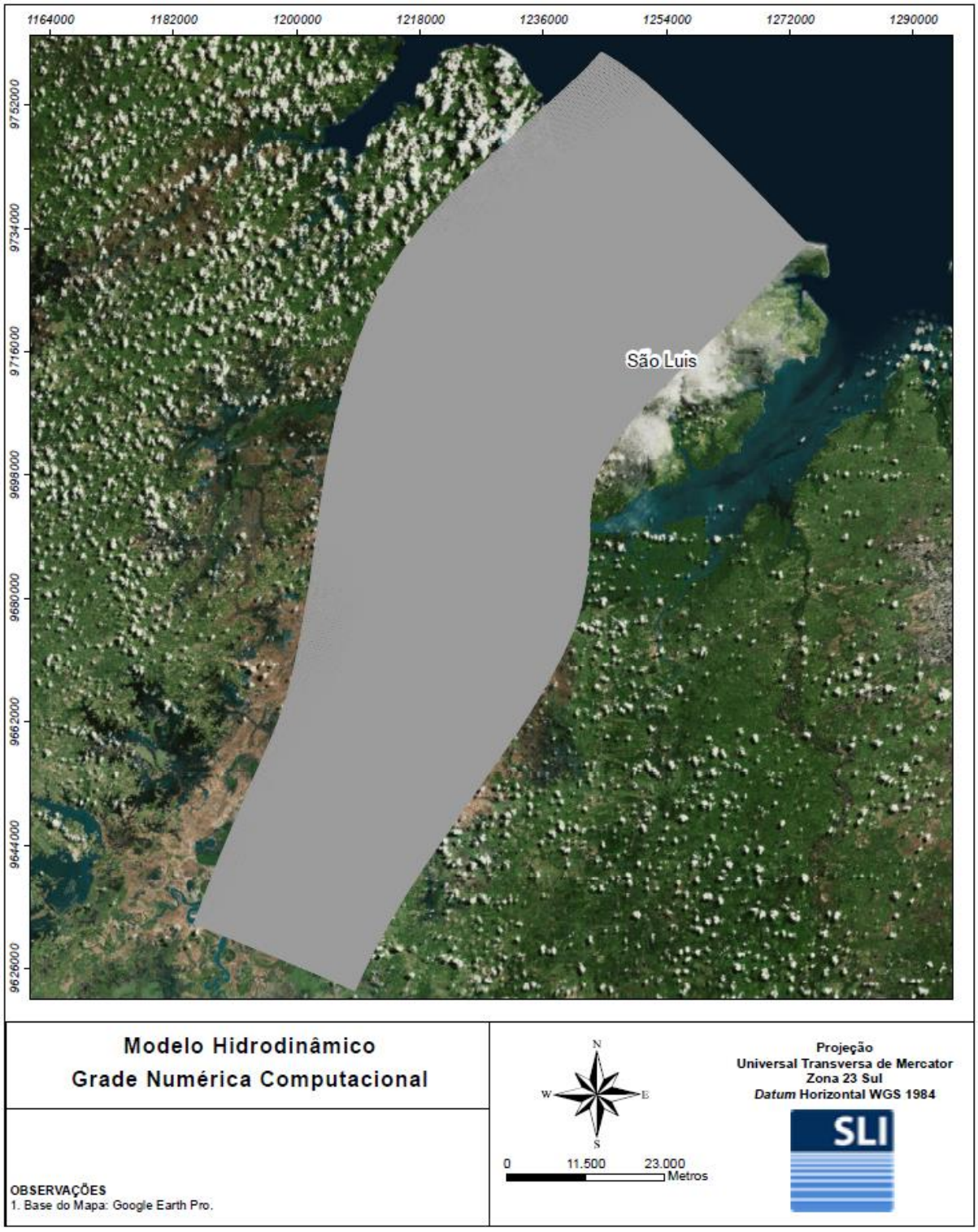


Figura 3: Grade numérica do modelo hidrodinâmico.

A batimetria utilizada nas grades foi composta por dados digitalizados das cartas náuticas fornecidas pela DHN para o local (Tabela 1) e dados fornecidos pelo cliente, abrangendo a Baía de São Marcos e estreito dos coqueiros e adjacências. A batimetria interpolada no domínio do modelo é apresentada na Figura 5.

Tabela 1: Cartas náuticas da DHN utilizadas para obtenção dos valores batimétricos da área de estudo.

Carta Náutica	Número	Escala
Da Baía do Oiapoque ao Rio Parnaíba	40	1:1.159.563
Do Cabo do Gurupi a Ilha de Santana	400-01	1:317.010
Do Cabo do Gurupi a Ilha de Santana	400-02	1:55.000
Do Cabo do Gurupi a Ilha de Santana	400-03	1:55.000
Proximidades da Baía de São Marcos	410-01	1:135.000
Proximidades da Baía de São Marcos	410-02	1:50.000
Baía de São Marcos	411	1:50.000
Baía de São Marcos Proximidades do Terminal da Ponta da Madeira e Itaqui	412	1:30.000
Terminal da Ponta da Madeira e Porto de Itaqui	413	1:15.000
Baía de Sã Marcos de Itaqui ao Terminal da Alumar	414	1:7.500
Da Ilha de Maiau a Tutoia	21600	1:300.000

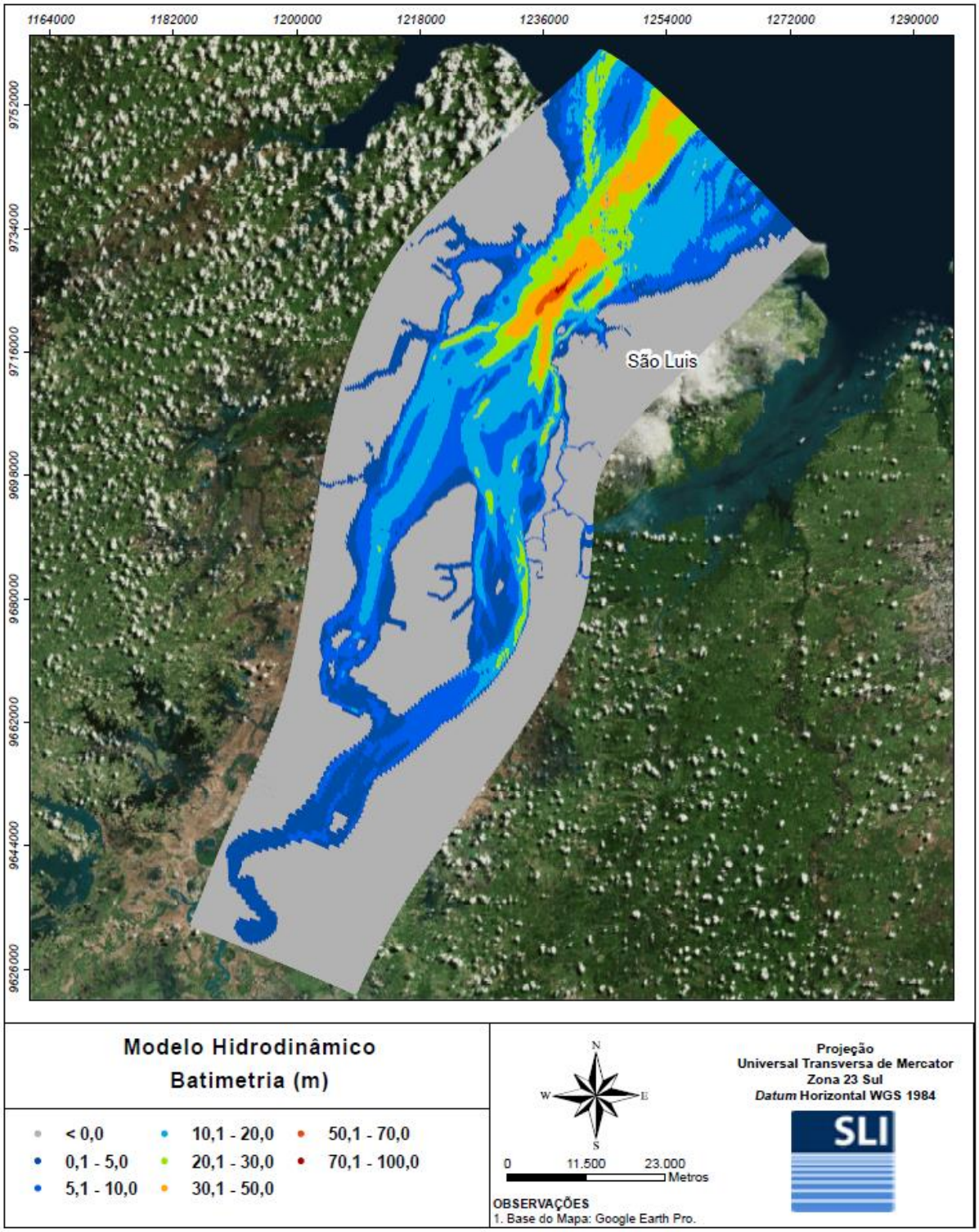


Figura 4 – Batimetria do modelo hidrodinâmico.

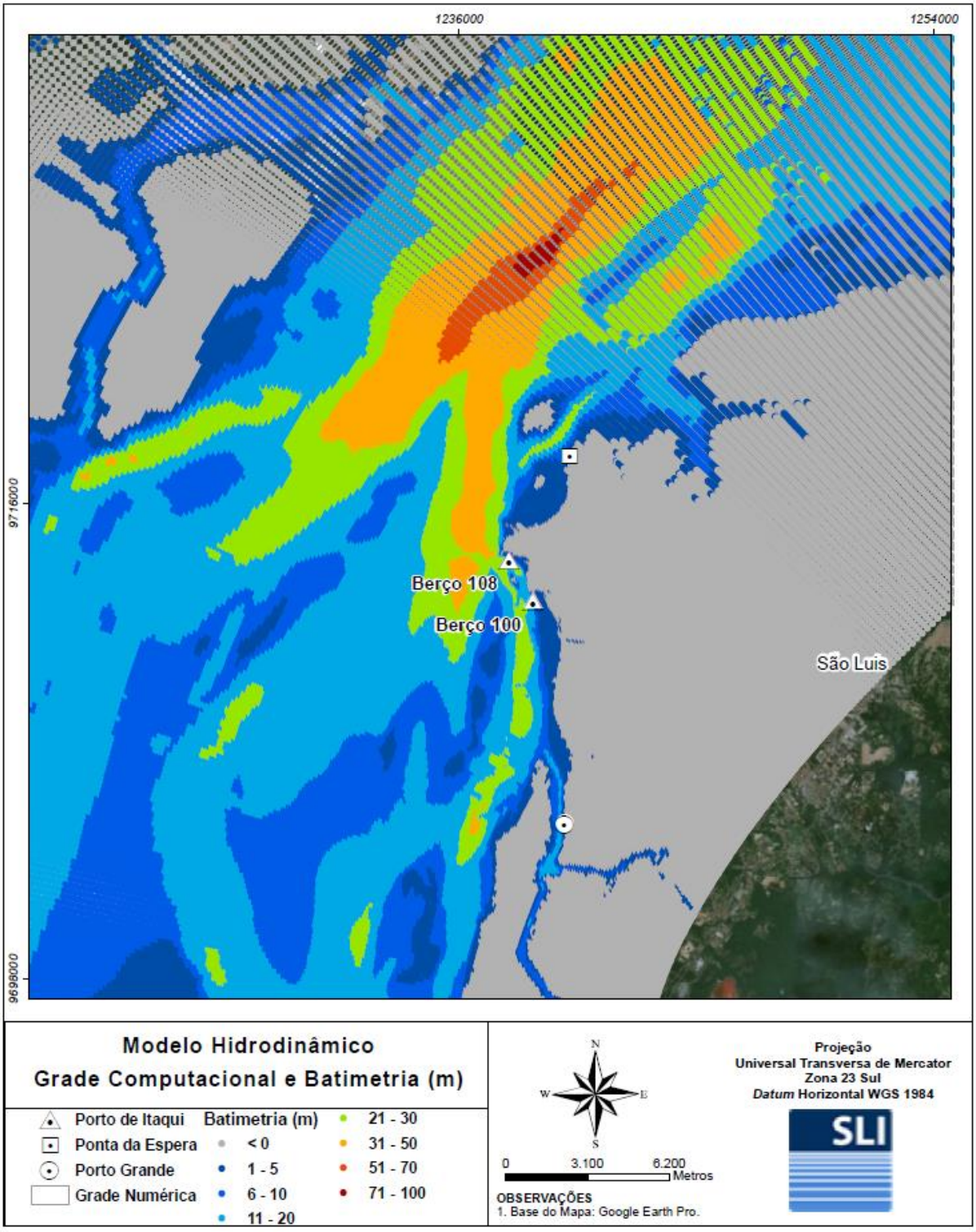


Figura 5 – Detalhe da grade e batimetria do modelo hidrodinâmico com a localização dos pontos onde serão simulados derrame de óleo.

3.2 MARÉS

3.2.1 Maré Astronômica

O regime de maré na Baía de São Marcos pode ser classificado de acordo com a importância relativa entre suas componentes diurnas e semi-diurnas, através de seu número de forma. Esse número de forma é definido como NF= (K_1 + O_1)/ (M_2 + S_2). Para a região de estudo, a maré possui NF= 0,07 e, portanto, é classificada como semi-diurna pura, possuindo duas baixa-mares e duas preamares no período de um dia lunar (24h50m).

Além disso, esta região possui regime de macro-marés, ou seja, possui amplitudes maiores que 4 m. Por isso, as marés desempenham um papel importante em toda a circulação hidrodinâmica da Baía de São Marcos, sendo responsáveis por gerar fortes correntes de maré, com velocidades superiores a 3,5 m/s.

Na estação maregráfica do Porto de Itaqui, a maré possui amplitudes que podem variar entre ≈ 3,5 m no período de quadratura e até 7 m no período de sizígia. Essa amplitude também varia ao longo da Baía, sendo amplificada à medida que se avança ao seu interior.

A amplificação da maré em direção ao interior da baía ocorre devido às distorções que a maré sofre ao propagar-se dos oceanos para águas rasas, sofrendo efeito de restrições laterais, como nas regiões estuarinas. A propagação da onda de maré em águas rasas é influenciada por processos não-lineares, ocasionados pela fricção com os contornos terrestres e constrições laterais, pela geomorfologia dos ambientes e distribuição espacial de profundidades, que impõe variações na direção dos fluxos de maré (PUGH, 1987).

Este comportamento observado, de amplificação da onda de maré, sugere que a Baía de São Marcos é um estuário hipersíncrono, onde o aumento das amplitudes está relacionado com a magnitude relativa entre os efeitos de fricção com o fundo e o estreitamento lateral do canal de acesso. Quando os efeitos de constrição do canal são dominantes e a fricção tem um papel menor, a constrição causa uma compressão lateral da onda e a conservação de energia requer que as velocidades e amplitudes da onda sejam aumentadas (Nichols & Biggs, 1985; DYER, 1997 *apud* TRUCCOLO e SCHETTINI, 1999)

Na Baía de São Marcos, o principal agente transformador são as marés. Os dados de marés utilizados no modelo numérico hidrodinâmico são provenientes do Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras (FEMAR, 2000) para a estação de Alcântara – MA (Figura 6), em conjunto com o modelo global TPXO 6.2. Este modelo foi desenvolvido na Universidade do Estado de Oregon (EUA), apresentando resolução de $1/4^0$ x $1/4^0$ (http://www.coas.oregonstate.edu/research/po/research/tide/index.html) e as componentes harmônicas foram obtidas através do pacote de ferramentas do Matlab® chamado Tidal Model Drive – TMD (L. Padman & S. Erofeeva).

Nome da Estação :	**ALCÂNTARA – MA**		
Localização :	No trapiche em frente ao Mercado Municipal		
Organ. Responsável :	DHN		
Latitude :	02° 24,6' **S**	**Longitude :**	44 ° 25,3' **W**
Período Analisado :	15/11/82 a 16/12/82	**Nº de Componentes :**	82
Análise Harmônica :	Método Almirante Santos Franco		
Classificação :	Maré Semidiurna.		
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)	VI H 51 min	**Nível Médio (Zo):**	308 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :	563 cm acima do NR.	**Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :**	449 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :	53 cm acima do NR.	**Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :**	167 cm acima do NR.

CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS

Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU_2	6,4	010
Ssa	-	-	N_2	37,8	179
Mm	12,8	176	NU_2	7,2	181
Mf	-	-	M_2	197,7	193
MTM	1,3	256	L_2	8,7	181
Msf	6,6	038	T_2	3,4	223
Q_1	2,2	191	S_2	57,0	224
O_1	8,4	183	K_2	15,5	227
M_1	2,9	240	MO_3	2,7	344
P_1	2,7	238	M_3	1,5	335
K_1	8,2	243	MK_3	3,1	093
J_1	0,6	108	MN_4	1,9	181
OO_1	1,1	233	M_4	6,2	190
MNS_2	1,7	344	SN_4	0,4	013
$2N_2$	5,0	165	MS_4	4,8	249

Referências de Nível: RN-1 na esquina da calçada em frente ao Mercado Municipal.
RN-2 na sala de passagens da loja "MARATUR".

Obs: Não há referências a outros períodos.

Código BNDO: 30108

Figura 6: Tabela de componentes harmônicas de maré da FEMAR para a estação de Alcântara - MA.

3.3 CALIBRAÇÃO HIDRODINÂMICA

A calibração de um modelo numérico consiste em avaliar a sua capacidade em representar os processos locais, comparando resultados obtidos pela modelagem com dados obtidos in situ. Uma vez calibrado, entende-se que o modelo está apto a reproduzir os padrões da área de estudo para períodos diferentes daqueles em que se possui medições, permitindo inclusive simular situações futuras para avaliação da provável resposta do ambiente para as condições de simulação.

Na calibração do modelo numérico para este estudo foram testadas diferentes configurações até que o melhor ajuste fosse obtido. Dentre eles, foram testados valores para o parâmetro de Chèzy, sendo

fundamental o mapeamento das áreas cobertas por vegetação de mangue que possuem maior rugosidade de fundo, ajustes de batimetria nas áreas não cobertas pelo levantamento batimétrico, em sua maioria áreas na zona intermareal, de forma a representar adequadamente o prisma de maré. Para a comparação entre dados modelados e dados medidos foram utilizados dados de correntes coletados por perfiladores acústicos (pontos principais de coleta apresentado na Figura 7).

Os períodos de medição de cada ponto variam, abrangendo ciclos diferentes de quadratura e de sizígia com coletas contínuas de aproximadamente 12 horas por medição. Alguns dos pontos principais são apresentados nas figuras a seguir, entre a Figura 8 e Figura 10. Nessas figuras, no lado esquerdo são apresentadas, de cima para baixo, as curvas simuladas de nível de maré, correntes no eixo E-W, correntes no eixo N-S e módulo da velocidade das correntes em vermelho e as curvas dos dados medidos em azul. Na direita são apresentadas comparações de diagramas direcionais de frequência das correntes medidas (superior) e simuladas (inferior).

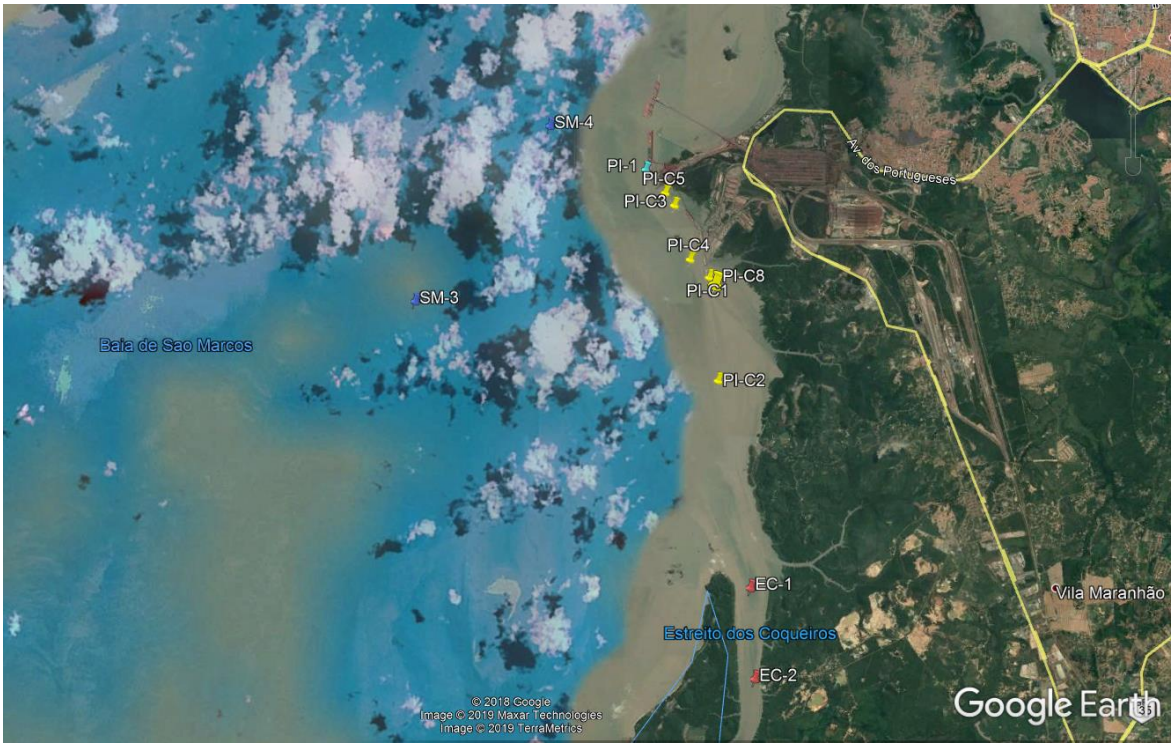


Figura 7: Localização de ponto de coleta de dados, incluindo os de 2018), usados para a calibração do modelo na grade estendida

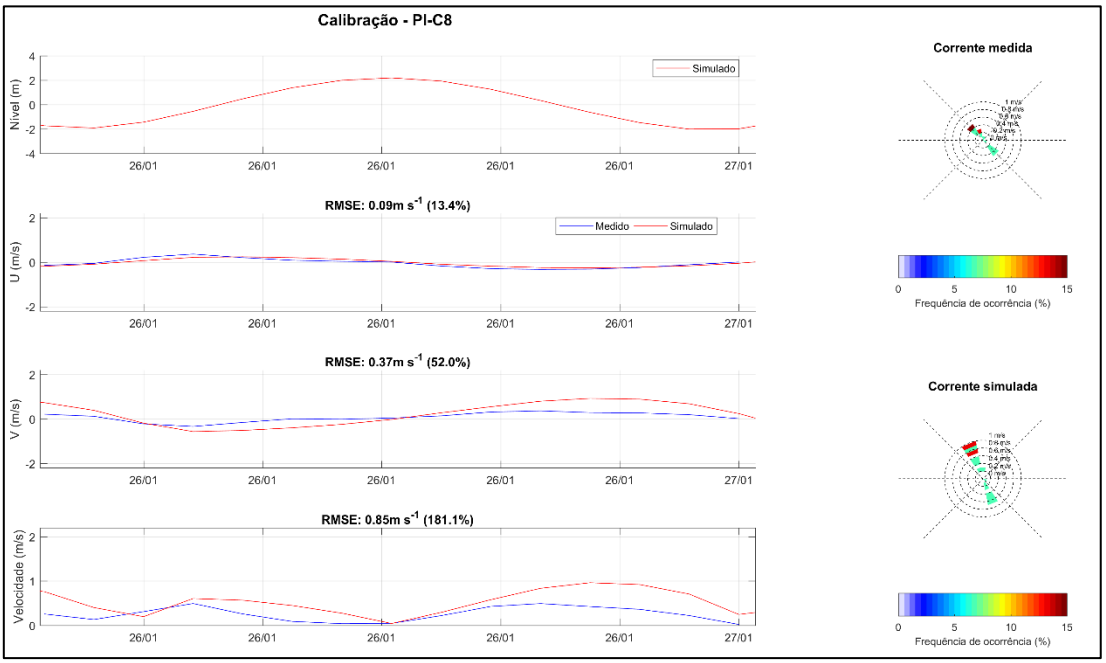


Figura 8: Exemplo de calibração de modelo hidrodinâmico na região do Porto de Itaqui (ponto PI-C8), durante a quadratura.

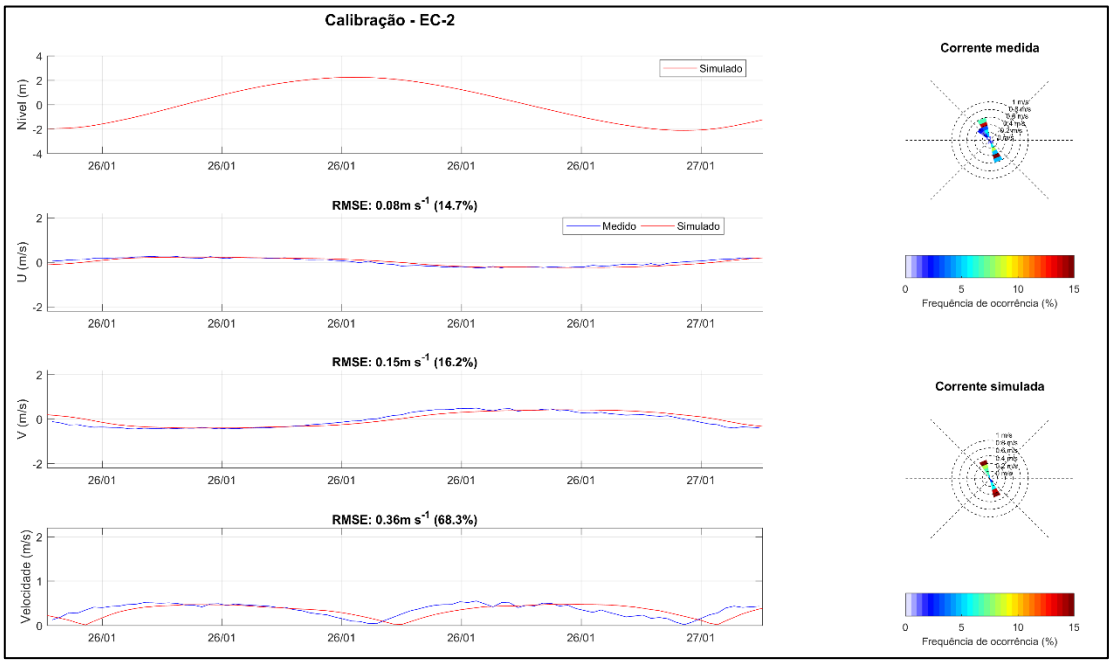


Figura 9: Exemplo de calibração de modelo hidrodinâmico na região do Estreito de Coqueiros (Porto Grande, ponto EC-2), durante a quadratura.

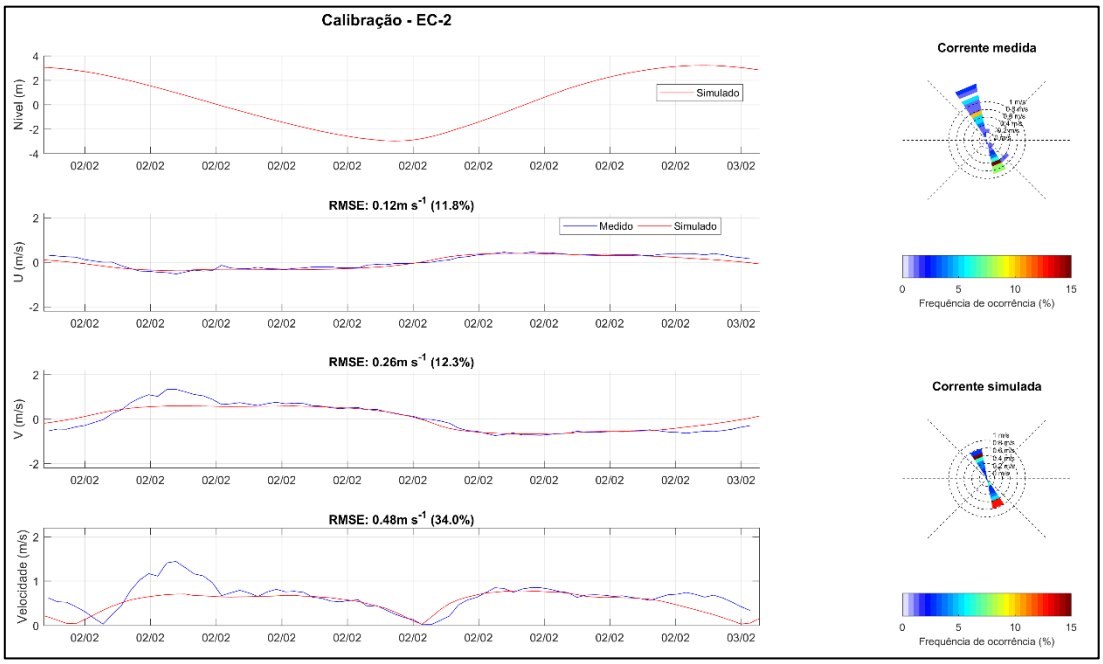


Figura 10: Exemplo de calibração de modelo hidrodinâmico na região do Estreito de Coqueiros (Porto Grande, ponto EC-2), durante a sizígia.

Além dos perfis de fundeio, foram comparados os campos de correntes da simulação (por um ciclo de maré) com dados transversais de bottom tracking próximos ao berço 101 do Porto de Itaqui, em campanha realizada em Out/2018. As figuras a seguir exemplificam os campos de correntes em instantes próximos de estofas e meia-maré de enchente e vazante, em condições de maré de Sizígia (Figura 11 a Figura 14) e Quadratura (Figura 15 a Figura 18).

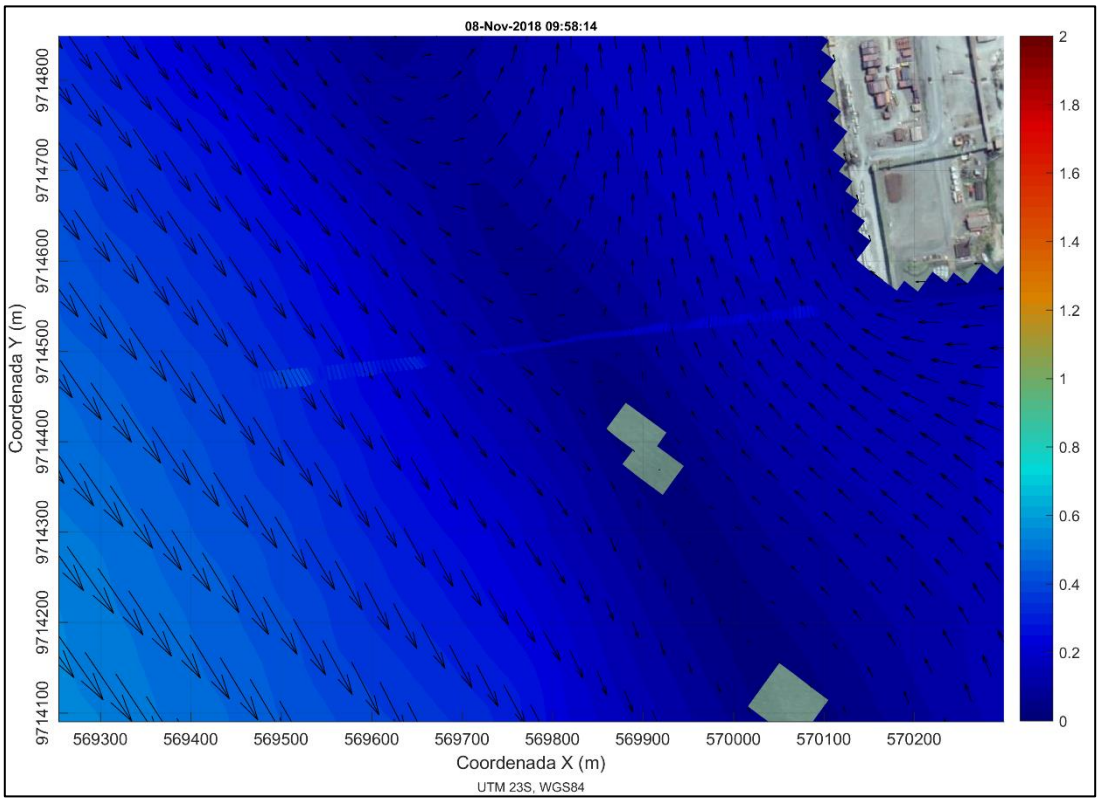


Figura 11: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de enchente, durante maré de Sizígia (radial 2).

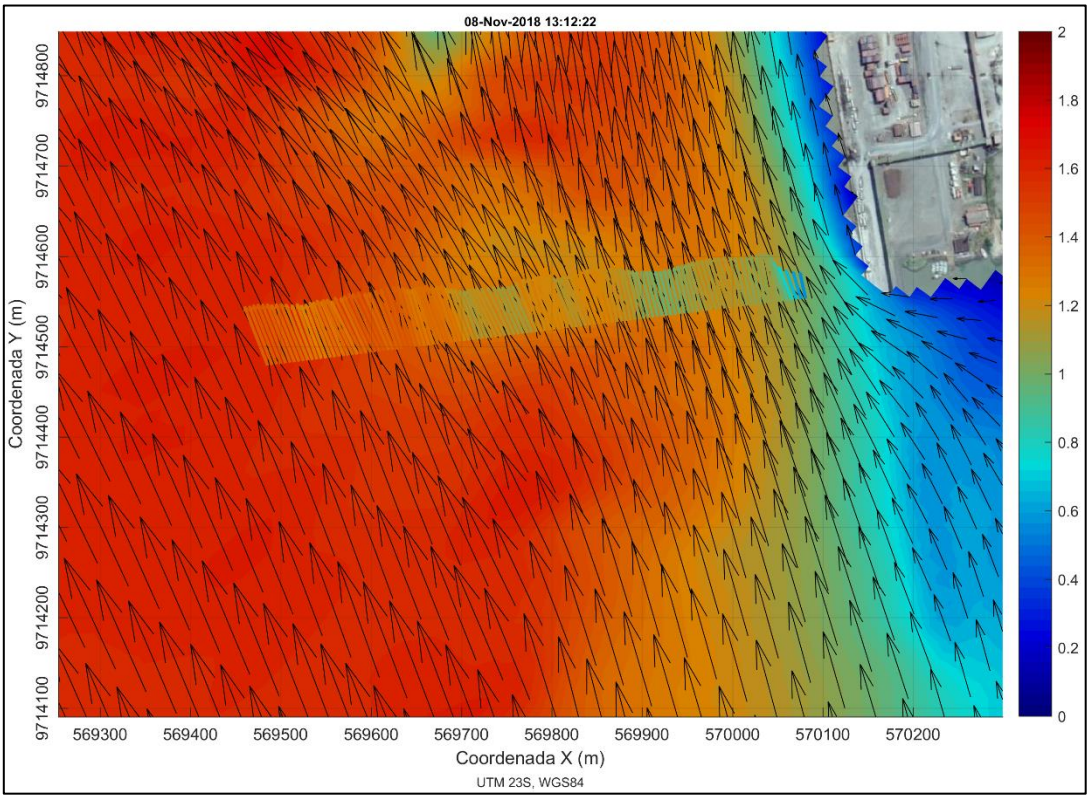


Figura 12: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré vazante, durante maré de Sizígia (radial 18).

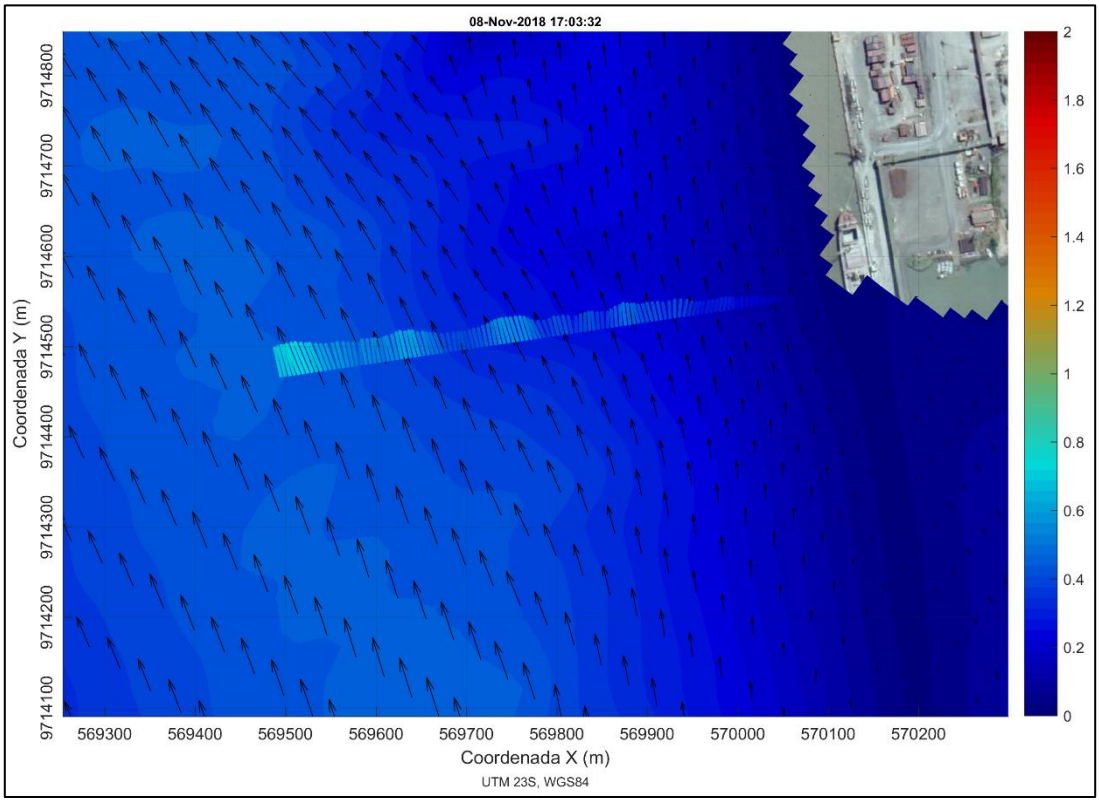


Figura 13: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de vazante, durante maré de Sizígia (radial 31).

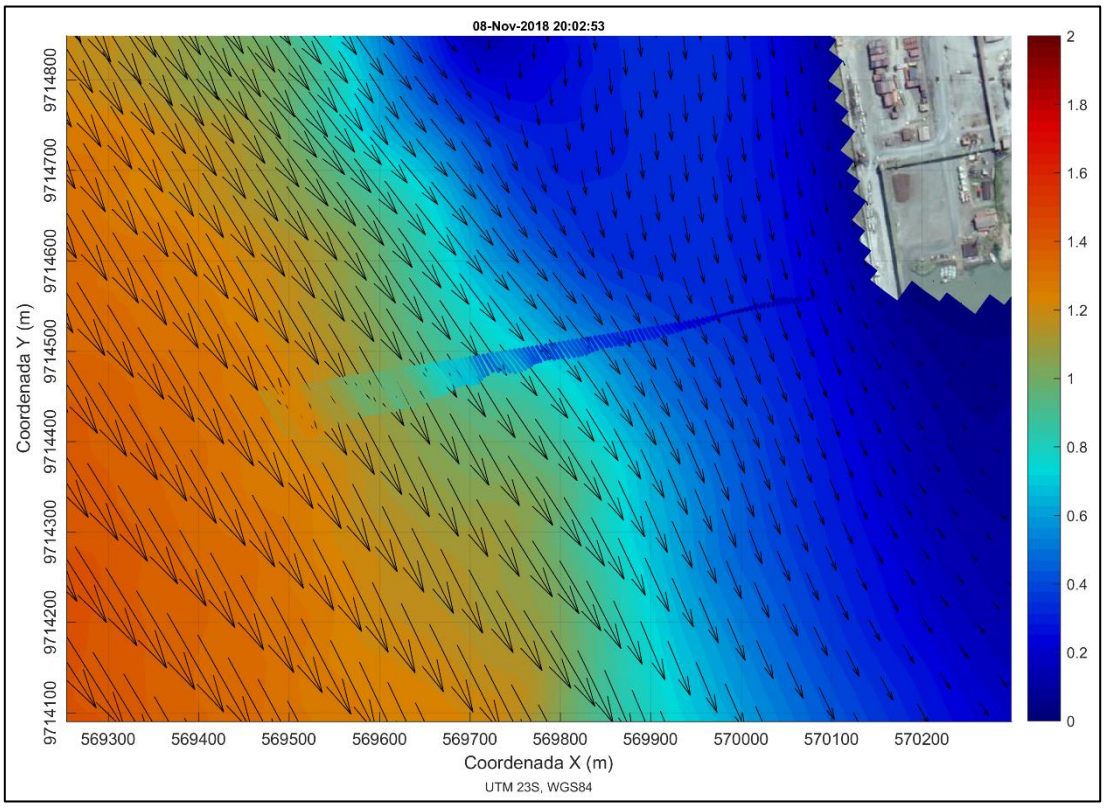


Figura 14: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré enchente, durante maré de Sizígia (radial 7).

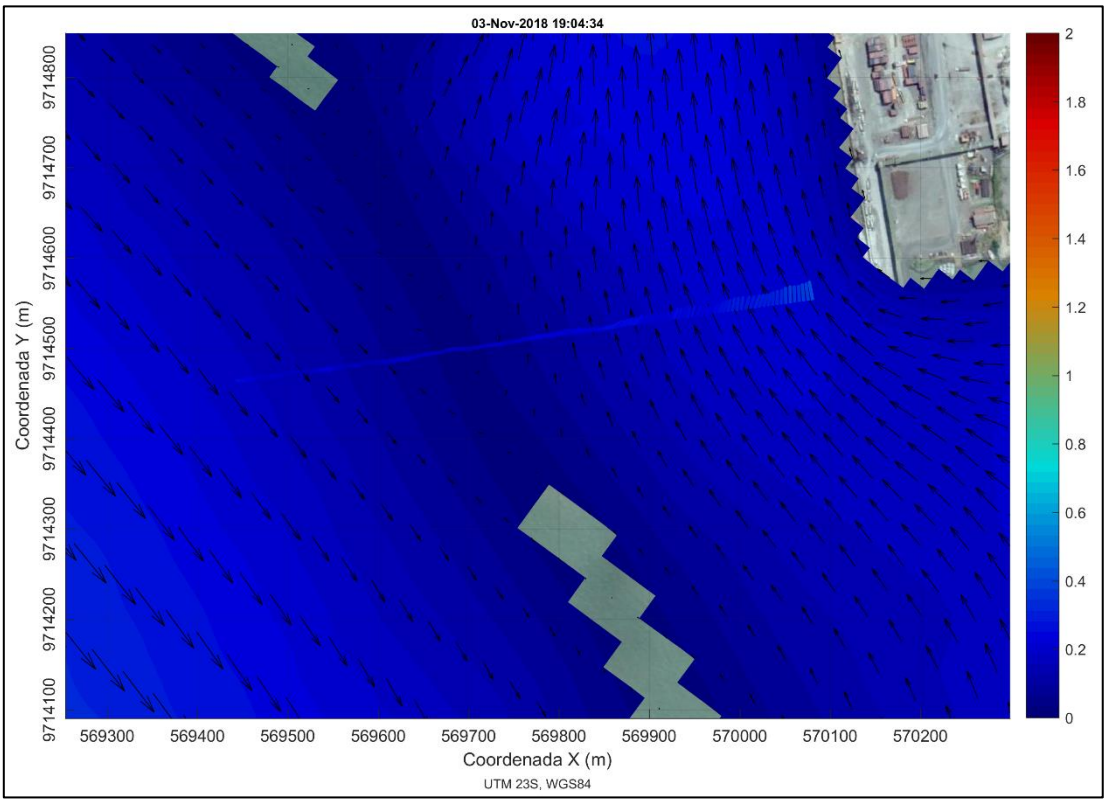


Figura 15: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de enchente, durante maré de Quadratura (radial 12).

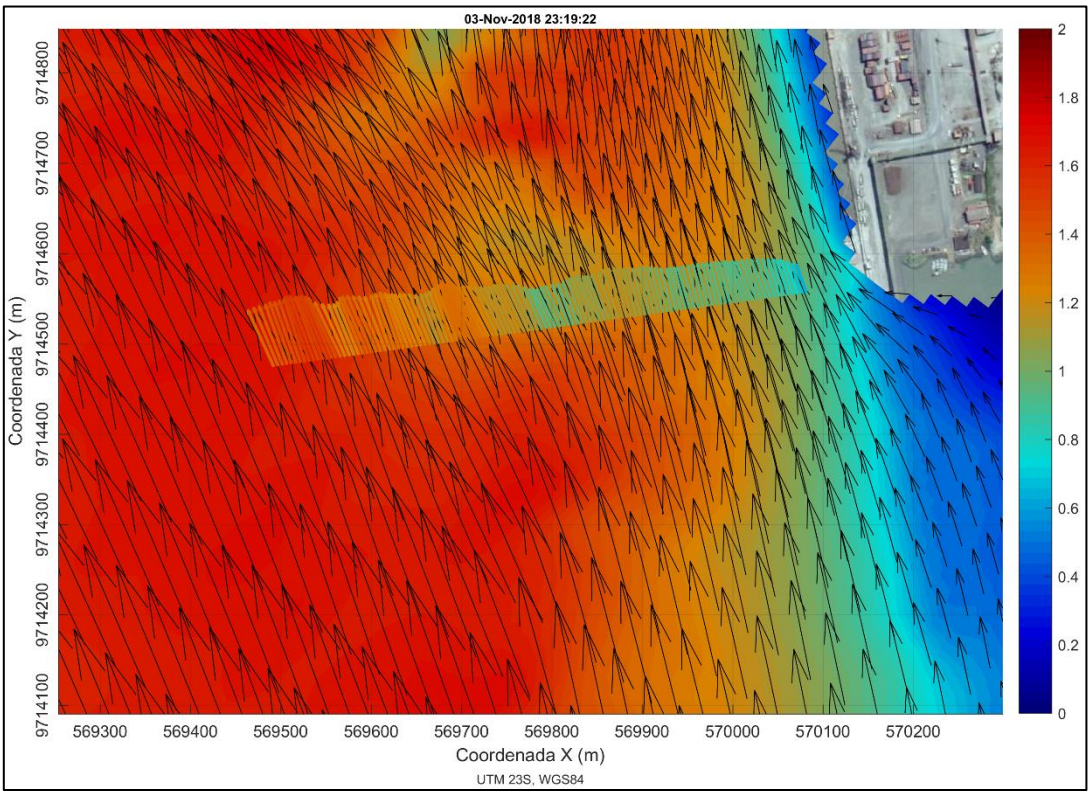


Figura 16: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré vazante, durante maré de Quadratura (radial 17).

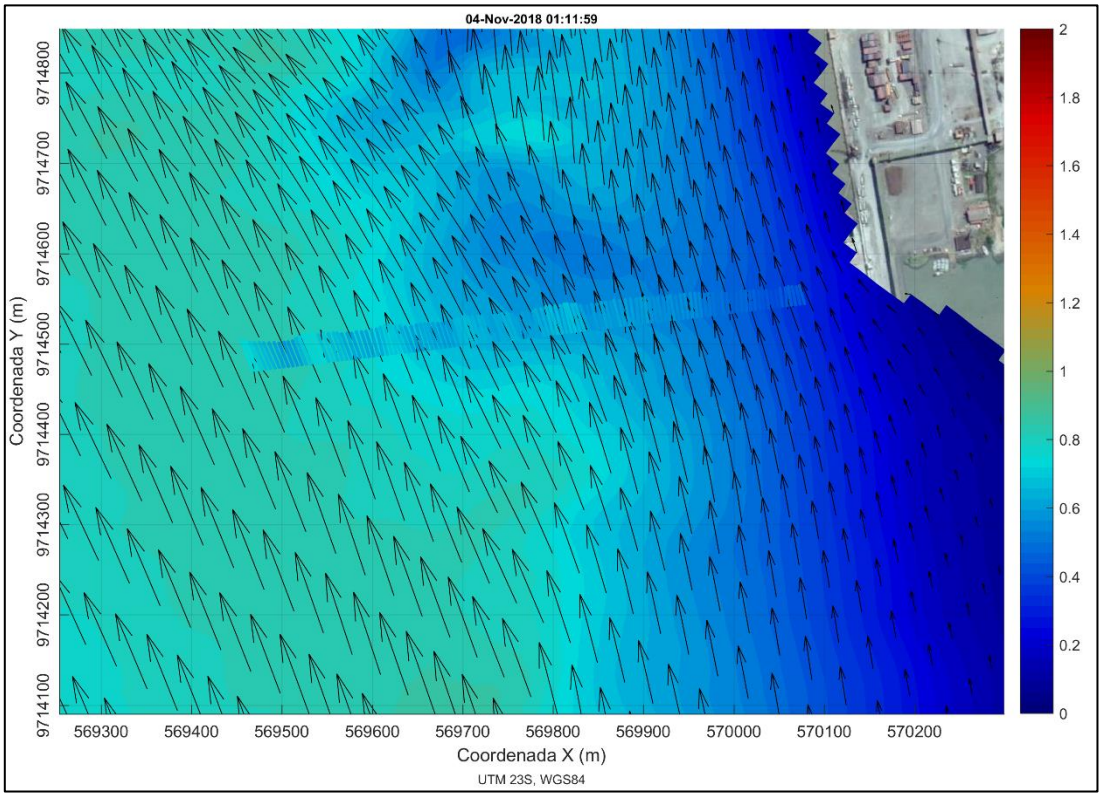


Figura 17: Exemplo de calibração, em momento próximo à estofa de vazante, durante maré de Quadratura (radial 22).

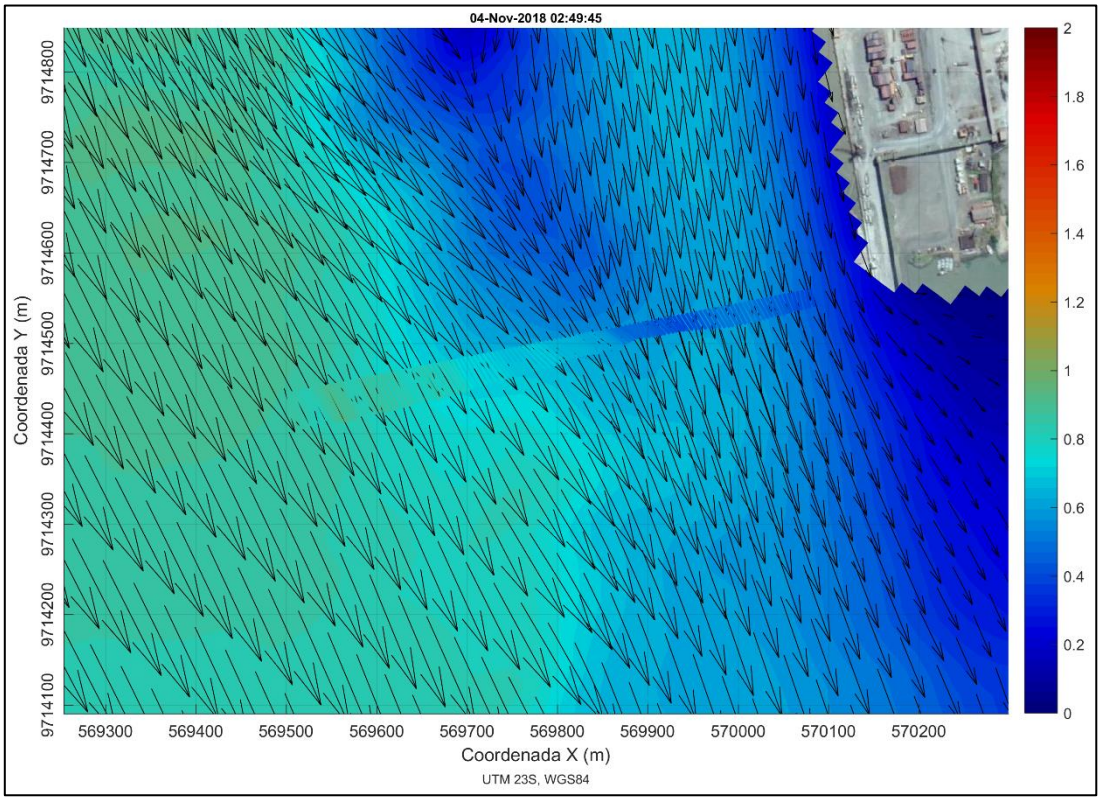


Figura 18: Exemplo de calibração, em momento próximo à meia maré de enchente, durante maré de Quadratura (radial 10).

Após a etapa de calibração, foram simulados dois períodos para caracterização das condições de correntes da região. Sendo estes, os meses de Março e Setembro, representativos da estações de cheia e seca, respectivamente.

3.4 CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA LOCAL

Como verificado na bibliografia disponível e projetos anteriores, a maré e o vento são os principais agentes da hidrodinâmica na Baía de São Marcos. Não sendo, então, observado variação significativa no campo de correntes entre as simulações do mês de Março (cheia) e Setembro (seca). A seguir, da Figura 19 à Figura 22, são apresentados mapas do campo de velocidade nos arredores do Porto Itaqui, para os instantes de meia maré, em condições de sizígia e quadratura.

No Porto de Itaqui, durante os instantes de vazante e enchente tem-se as maiores velocidades de corrente, de cerca de 1,5 m/s durante a quadratura, e chegando a mais de 2 m/s nas sizígias. Apesar da diferença nas intensidades, o padrão do campo de correntes é similar entre sizígia e quadratura, com velocidades maiores ocorrendo no centro dos canais, zonas de sombra nas ilhas na porção protegida da direção das correntes, e com dinâmica reduzida em áreas alagadas e mais próximas à costa.

É interessante notar que as correntes mudam ligeiramente o padrão durante enchente e vazante. Na região dos berços do Porto Itaqui, por exemplo, as correntes são mais intensas nas vazantes, pois o eixo central por onde flui a corrente passa mais próximo das estruturas, enquanto nas enchentes o eixo está mais afastado devido à conformação da costa, que acaba gerando uma zona de sombra na região.

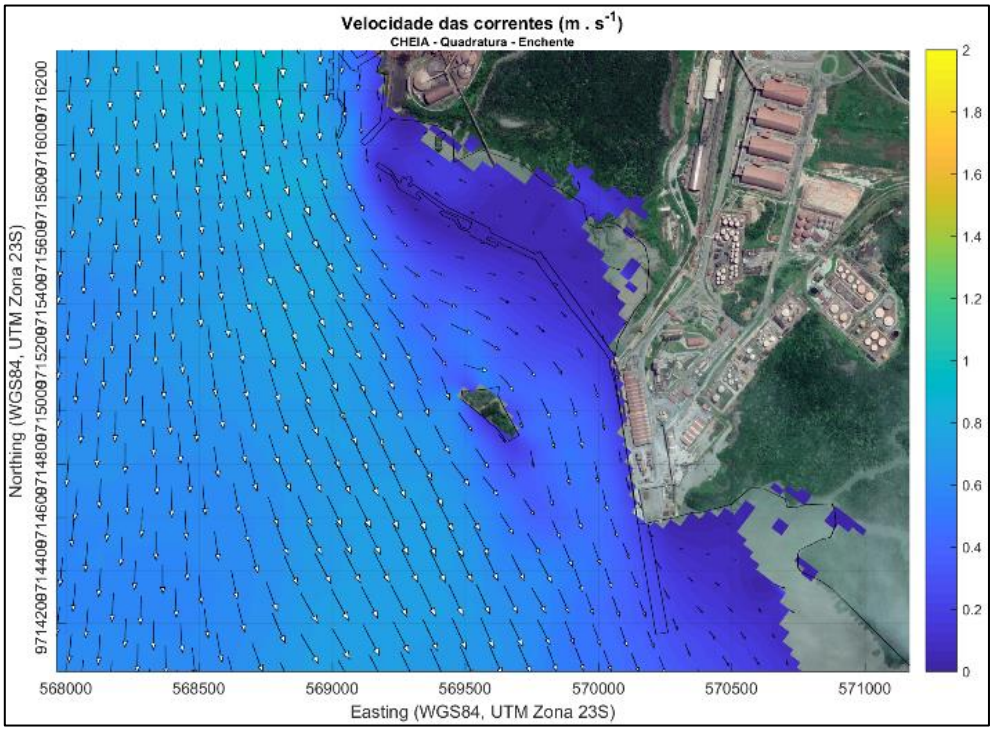


Figura 19: Campo de correntes em momento de enchente, maré de quadratura, mês de Março (cheia).

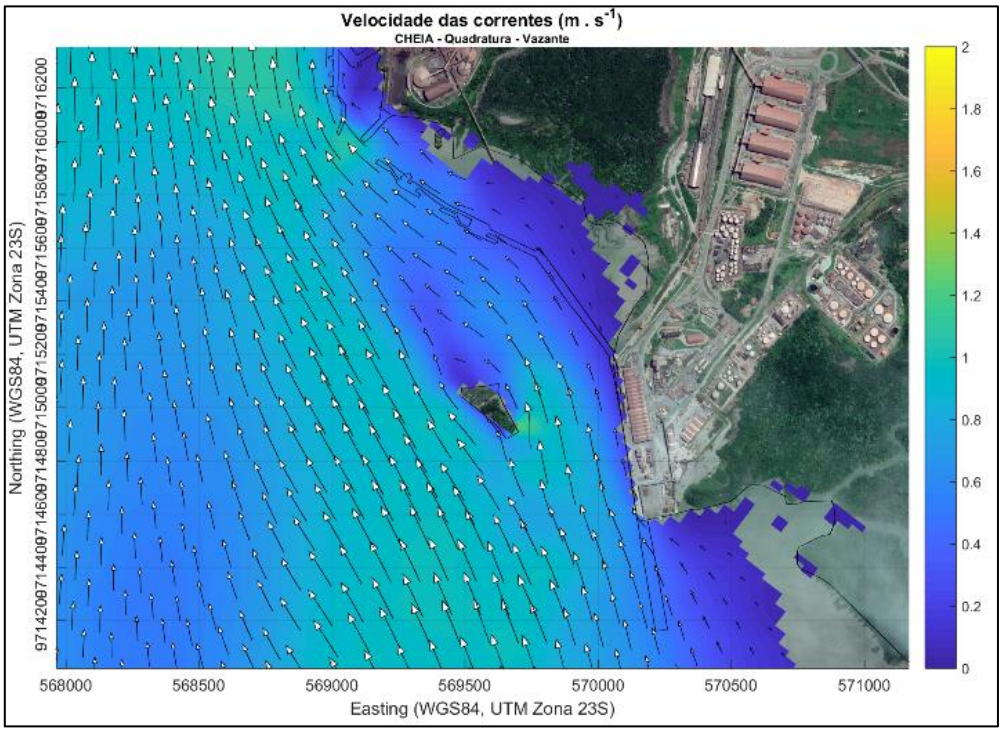


Figura 20: Campo de correntes em momento de vazante, maré de quadratura, mês de Março (cheia).

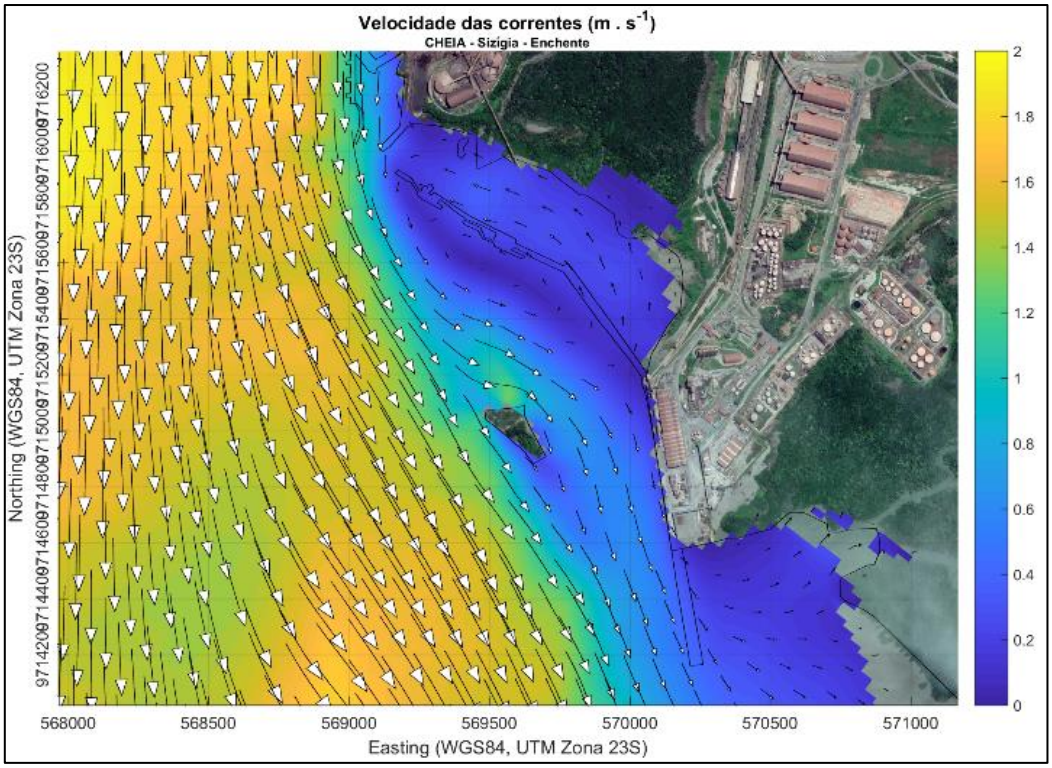


Figura 21: Campo de correntes em momento de enchente, maré de sizígia, mês de Março (cheia).

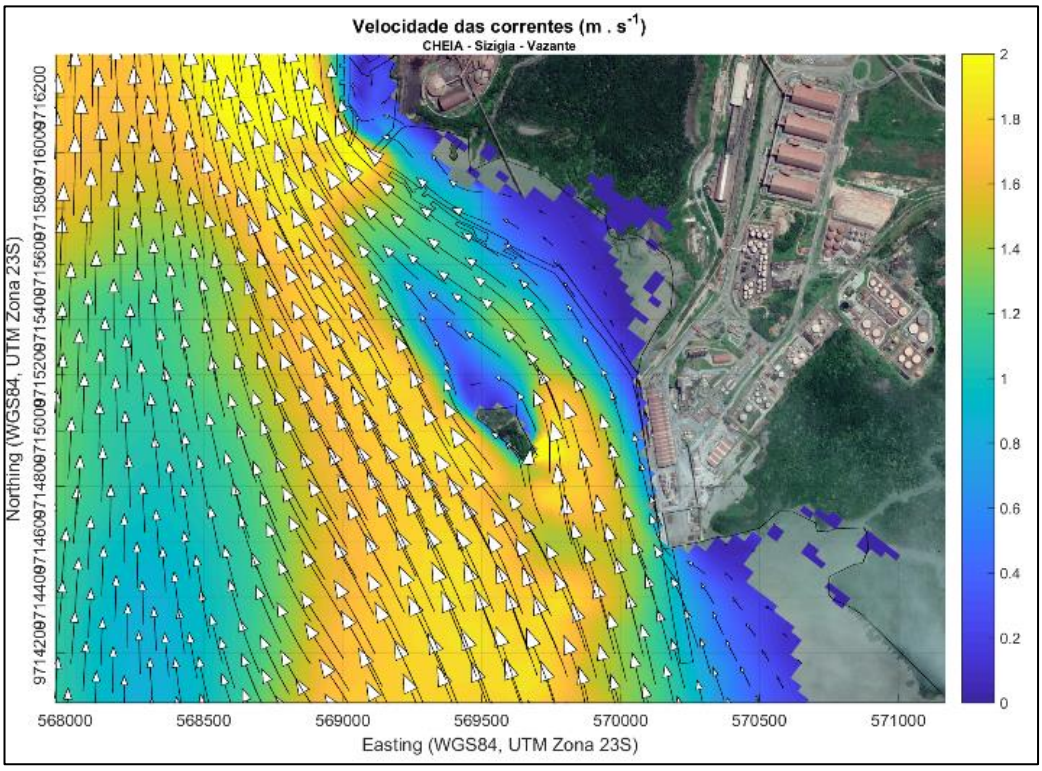


Figura 22: Campo de correntes em momento de vazante, maré de sizígia, mês de Março (cheia).

4 CONSIDERAÇÕES

A calibração do modelo hidrodinâmico se mostrou eficiente e apresentou boa correlação com os dados medidos em diversos pontos e períodos distintos, apesar de os dados disponíveis para calibração serem de curto período de tempo (um ciclo de maré). As correntes da região estão primariamente relacionadas à amplitude da maré, onde em períodos de sizígia as velocidades são maiores, acima de 2 m/s em alguns locais durante a vazante, e em períodos de quadratura, as correntes são mais brandas, em torno de 1,5 m/s nos arredores do Porto. Na região dos berços do Porto do Itaqui, as correntes durante as enchentes são menos intensas pois fluem pelo eixo principal da baía de São Marcos. Já durante a vazante, passam com mais intensidade próximo a área dos berços.

5 MODELAGEM DE ÓLEO

O risco de derramamento de óleo no ambiente marinho é uma infortuna consequência da crescente demanda por este recurso natural. Em muitas regiões, a produção, instalações de armazenamento e rotas de navegação estão próximas de zonas costeiras, onde os derrames de hidrocarbonetos podem ser potencialmente desastrosos. Um requisito fundamental para a implementação de uma resposta bem-sucedida a um derramamento de óleo é a capacidade de mobilizar os recursos adequados para as regiões costeiras em risco antes de o óleo atingir a costa. A chave fundamental

para alcançar esse objetivo é conhecer o tempo necessário para o impacto na costa, localização e extensão do impacto, bem como o estado físico do óleo provável que chegará às praias e outras regiões sensíveis. Os modelos de derramamento de óleo fornecem a ferramenta ideal para apoiar operações de combate a esses derrames, dando informações sobre a trajetória e destino de derramamentos no ambiente marinho, o impacto na costa e as propriedades físicas do óleo. Em modo operacional, os modelos se tornam uma fonte primária de informação, capaz de orientar as operações de resposta. Alternativamente, em planos de contingência, os modelos são valiosíssimos para testar a validade e a eficácia dos planos de ação propostos e o treino eficiente de pessoal através de exercícios realísticos de resposta.

Com o objetivo de dar suporte ao Porto de Itaqui na elaboração dos estudos ambientais e planos de emergência, apresenta-se neste capítulo a modelagem numérica da trajetória e intemperismo para derrames de óleo no mar, provenientes de acidentes hipotéticos.

A modelagem foi conduzida utilizando-se do software desenvolvido pela SINTEF[1], o Marine Environmental Modelling Workbench (MEMW), especificamente com seu módulo para contingenciamento e resposta a derrame no mar, ou OSCAR (do inglês Oil Spill Contingency And Response), tendo sua melhor descrição e formulação descritas em anexo a este documento. Para a realização destes estudos são necessários conhecimentos prévios detalhados da região de interesse, padrões de circulação, campos de vento, composição do produto e suas características físico-químicas.

Para este estudo considerou-se um campo de ventos variáveis no tempo e no espaço, baseados em dados da reanalise II do NCEP (CFSR), os campos de correntes foram produzidos a partir de dados medidos e modelagem numérica a partir do modelo Delft3D e mais bem descrito em capítulos anteriores. Para as simulações do transporte de óleo foram considerados um ponto de descarte, 2 produtos, três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso, seguindo-se a CONAMA 398/2008) e dois períodos sazonais representados em um mês cada. Adotou-se como critério de parada, 60 horas após o início do derrame, correspondendo ao tempo máximo de resposta estipulado em resolução CONAMA.

A partir dos resultados probabilísticos, foram selecionados cenários determinísticos críticos, baseando-se como critério a maior extensão de toque de óleo na costa.

Nos capítulos seguintes, apresentaremos o modelo, dados de entrada, os produtos derramados e suas características, e consequentemente os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas.

5.1 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- Localização geográfica do ponto de derrame;

[1] SINTEF: http://www.sintef.no/

- Duração do derrame (contínuo, intervalado, etc);
- Volume(s) derramado(s);
- Profundidade do derrame (superficial, de fundo, na coluna d'agua);
- Tipo(s) de óleo;
- Duração da simulação;
- Opções de resposta (e.g. dispersantes), não utilizados neste estudo;
- Campo de correntes;
- Campo de ventos;
- Arquivo de dados meteorológicos;
- Parâmetros de simulação;
- Número de partículas;

Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

As temperaturas médias do ar e da superfície do mar, que influenciam no comportamento físico do óleo derramado, foram definidas para os períodos de cheia e seca.

A média sazonal de temperatura do ar foi definida com base no banco de dados das médias normais climatológicas do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos: www.cptec.inpe.br/clima). De acordo com estes dados, a temperatura média do ar para os períodos de cheia e seca simulado foi de 25°C e 26°C respectivamente.

Tabela 2 - Dados de entrada do modelo.

Parâmetros	**Valor utilizado no Modelo OSCAR**	
Passo de tempo	15 minutos	
Intervalo de saída	15 minutos	
Número de Partículas por Volume	**pequeno**	1.000
	médio	6.000
	Pior Caso	15.000
Período	**CHEIA**	**SECA**
Temperatura da água (°C)[2]	26	28

[2] Valor médio próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados da NOAA.

Temperatura do ar (°C)[3]	25	26
Fator de deriva do vento	3,5%	

5.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA

Para as simulações de dispersão do óleo foi escolhido 1 mês para cada um dos períodos sazonais (cheia e seca) característicos da região. Dentre estes meses foram observados fenômenos extremos de maré de sizígia para os meses de março (cheia) e setembro(seca).

[3] Valor médio, próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados do CSFR (NCEP).

5.3 PONTO DE RISCO E VOLUME

Para este estudo foi considerado um ponto de risco, sendo este um dos berços de atracação do Porto Itaqui, identificado por berço 108. Ressalta-se a importância do ponto de simulação próximo ao berço, e não diretamente sobre este, para simples entrada de óleo no sistema do modelo. Os dados de entrada do Ponto são apresentadas na Tabela 3 e sua localização é apresentada na Figura 23.

Tabela 3: Coordenadas Geográficas para os pontos de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso.

Ponto de Risco	Latitude	Longitude	Tipo do Óleo	Descarga de Pior caso (m³)
Berço 108 Porto de Itaqui	2°34'15.92"S	44°22'36.48"O	Óleo combustível marítimo: MF-380	10.000,0
			Óleo Diesel (cru)	10.000,0

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 3 (três) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8,0 m³; médio, com até 200,0 m³ e de pior caso (10.000,0 m³), definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço. Para simulação dos cenários hipotéticos acidentais foram definidos dois tipos de produtos para a modelagem:

1) O Óleo (Cru) Diesel (OD);

2) O óleo combustível marinho MF-380 (MF).

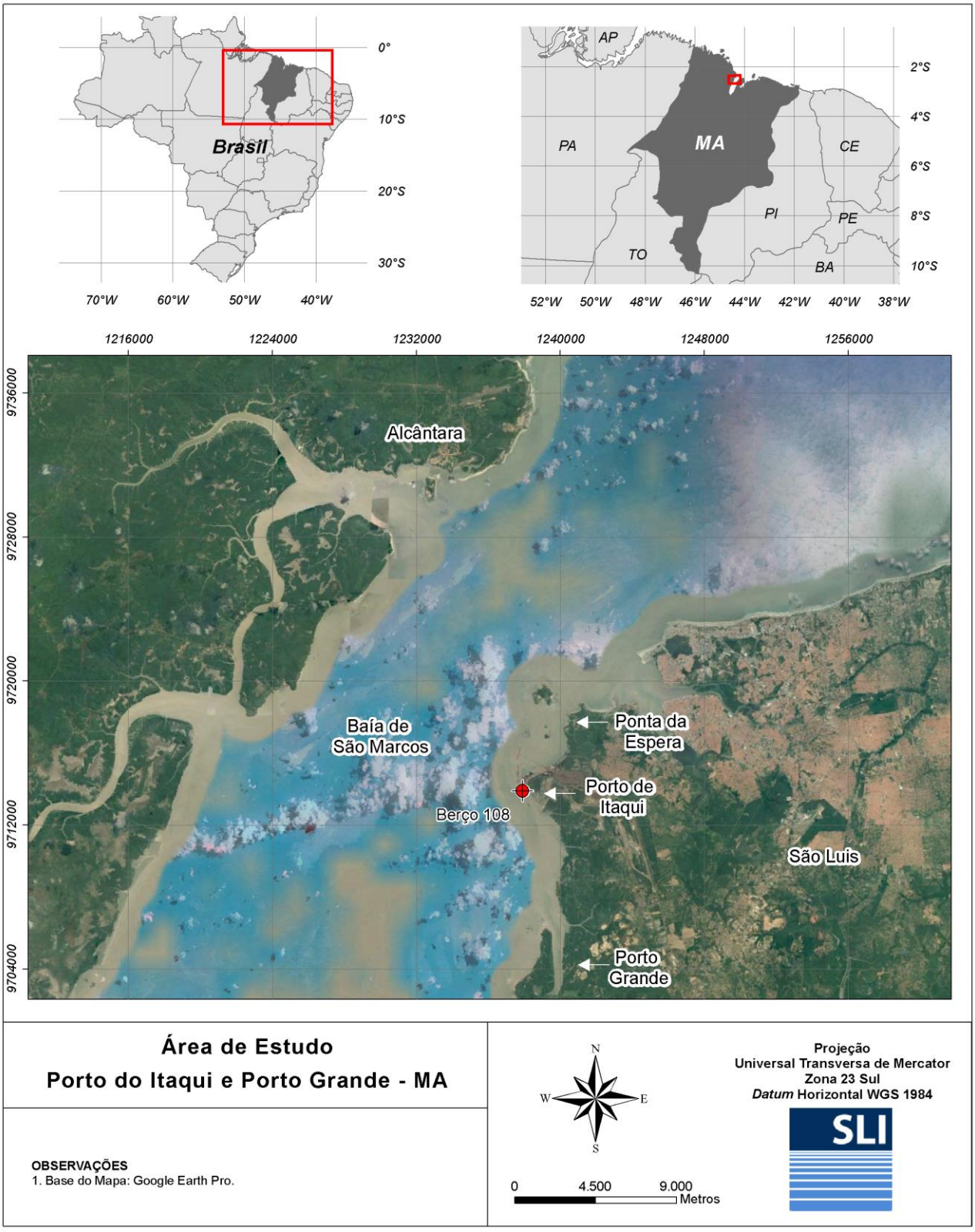


Figura 23: Localização do Berço 108 no porto de Itaqui para a simulação de derrame de óleo.

5.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTOS SELECIONADOS

As simulações numéricas de dispersão de óleo para os 3 volumes foram realizadas com dois produtos distintos: o óleo do tipo Heavy Bunker, IF-180 Shell, sendo este o tipo de óleo disponível do banco de dados do modelo *OSCAR* que melhor representa o óleo combustível (MF-380) utilizado nas embarcações, e o Balder Blend, 2010, representante de um óleo cru.. O grau API é uma grandeza utilizada mundialmente para a classificação dos tipos de petróleos em relação à densidade deles. A escolha do óleo Balder Blend, 2010 para simulação do vazamento de petróleo (óleo cru) se deu pela proximidade do grau API do óleo Balder Blend, 2010 com o grau API do tipo de óleo diesel fornecido. As características dos óleos simulados encontram-se definidas na Tabela 4.

Tabela 4: Características dos óleos utilizados nas simulações.

Parâmetro	**Óleo de Referência**	**Óleo de entrada no modelo**	**Óleo de Referência**	**Óleo de entrada no modelo**
	Óleo Combustível Marinho MF-380	*IF-180 SHELL*	*Óleo Diesel (Cru)*	*Balder Blend, 2010*
Natureza Química	Hidrocarboneto	Hidrocarboneto	Hidrocarboneto	Hidrocarboneto
Densidade (g/cm³)	0,9878	0,973	0,866	0,864
Ponto de Fulgor (°C)	60	--[4]	38	--
Grau API	~11,74[5]	14,0	31,9	32.2
Viscosidade Dinâmica (cP)	--	28000	--	32
Viscosidade Cinética (cSt) à 50°C	380	--	0,41	--
Solubilidade (na água)	Desprezível	--	Insolúvel	--

5.5 CAMPOS DE CORRENTES

Os campos de correntes e estudo hidrodinâmico já foram previamente discutidos aqui em capítulos anteriores. As correntes de input são relativas aos períodos determinados de Cheia e Seca, e reitera-se para todos os fins, correspondem ao mês de março e setembro respectivamente.

[4] Valor não fornecido, ou não consta no modelo.

[5] Valor aproximado, calculado segundo a densidade fornecida. API = (141,5 / densidade) – 131,5

5.6 CAMPOS DE VENTOS

Os campos de ventos utilizados são dados de Reanálise do NCEP (CFSR), trata-se de um conjunto de assimilação de dados em escala global, com resolução espacial de 0,5° e temporal de 6 horas, e para simulação do óleo foram utilizados dados hora a hora dessas reanalises.

Este produto é gerado pelos centros norte-americanos NCEP e NCAR (Centro Nacional para Previsão Ambiental e Centro Nacional para Pesquisa Atmosférica) e distribuído pela Central Norte-Americana de Dados Climáticos.

Neste estudo foi utilizado um recorte no domínio espacial estendendo-se de 45°W a 43°W e 1,5°S a 3,5°S e não foi realizado nenhum tipo de pós tratamento sobre os dados (como interpolações, filtros ou médias) escolheu-se o ano de 2018 em meses correspondentes ao representado no hidrodinâmico. Nas Figura 24 eFigura 25 ilustram-se instantes dos períodos mencionados, na sequência, apresentamos uma distribuição de ocorrência conjunta para ambos os períodos contemplados.

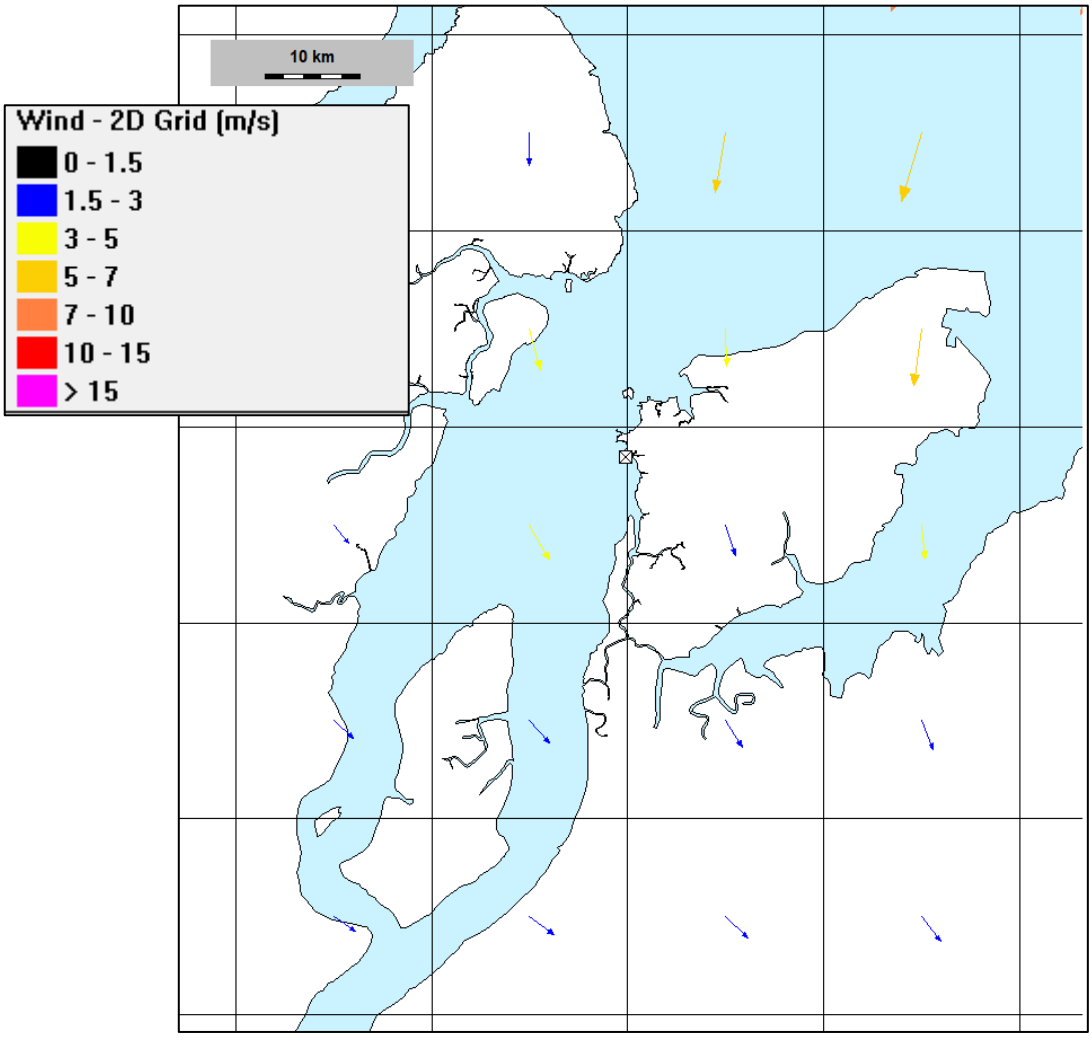


Figura 24 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

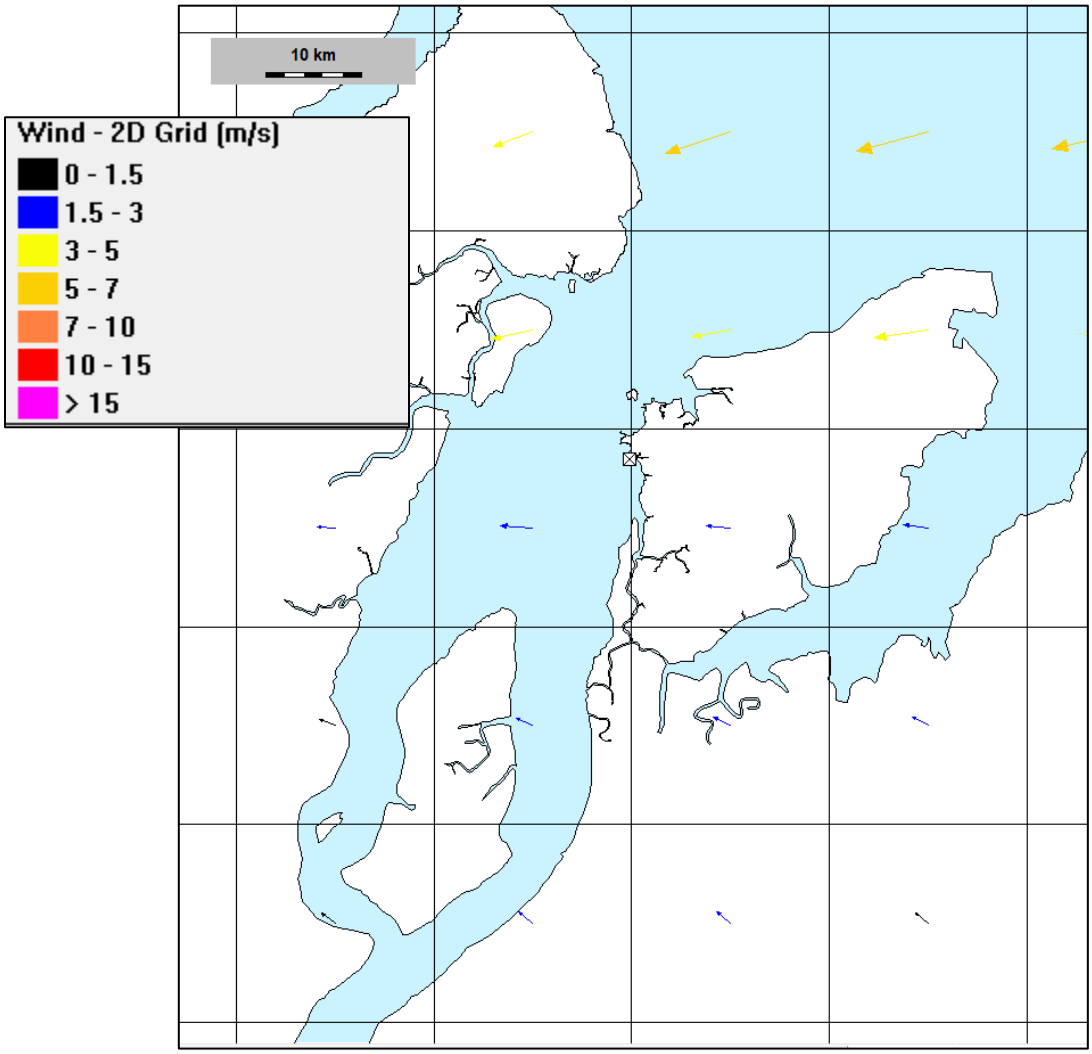


Figura 25 - Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1	2							1					1				4	3.23	0.30	0.67	0.98
1 - 2	1	3	2		1	1		3									11	8.87	1.03	1.46	1.92
2 - 3		4	14	6	3	1											28	22.58	2.04	2.50	2.96
3 - 4		2	25	19	2												48	38.71	3.08	3.54	3.99
4 - 5			12	16	1												29	23.39	4.02	4.44	4.88
5 - 6			2	2													4	3.23	5.01	5.06	5.30
Num. Casos	3	9	55	43	7	2		4					1				124				
Freq. (%)	2.42	7.26	44.35	34.68	5.65	1.61		3.23					0.81								
Vel Min	0.62	1.18	1.06	2.04	1.03	1.71		0.76					0.30								
Vel Med	0.96	2.48	3.48	3.78	2.73	1.99		1.26					0.30								
Vel Max	1.29	3.54	5.30	5.14	4.36	2.27		1.73					0.30								

MARÇO

Tabela 6 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1																					
1 - 2			1														1	0.83	1.89	1.89	1.89
2 - 3			2	4	1												7	5.83	2.10	2.78	2.96
3 - 4		4	6	8	1												19	15.83	3.09	3.56	3.99
4 - 5		2	15	20	6												43	35.83	4.01	4.51	4.99
5 - 6			12	20	7												39	32.50	5.00	5.38	5.99
6 - 7		1	5	4	1												11	9.17	6.02	6.30	6.84
Num. Casos		7	41	56	16												120				
Freq. (%)		5.83	34.17	46.67	13.33																
Vel Min		3.53	1.89	2.93	2.10																
Vel Med		4.26	4.71	4.66	4.87																
Vel Max		6.05	6.84	6.45	6.28																

SETEMBRO

5.7 DOMÍNIO MODELADO

Na modelagem de óleo foram utilizados dados batimétricos extraídos da ETOPO 1 obtido no NGDC, cartas náuticas da DHN e dados do projeto batimetria da CPRM. O OSCAR, internamente interpola os dados das bases importadas ao modelo.

A grade do modelo de óleo, como informado acima, utiliza a informação de batimetria proveniente das bases citadas acima. Assim, para a modelagem de óleo em regiões próximas à costa, o modelo de óleo utiliza informações de batimetria com melhor resolução, importando estes dados a sua resolução de grade e correntes do modelo hidrodinâmico da célula representativa do local de interesse, i.e., frente à resolução espacial da grade hidrodinâmica (já descrita em capítulos anteriores). Para os cenários simulados neste estudo foi definida uma grade habitat, considerando a quantidade máxima de pontos permitida pelo modelo de óleo (1.000 x 1.000 pontos), como temos uma maior dispersão no sentido norte-sul, orientada com o canal estimamos uma grade com (690 x 950 pontos) com dimensões de 90 m (y) X 90 m (x), e 1 camada na vertical (12 m) as Figura 29 Figura 30 apresentam detalhes da grade habitat utilizada.

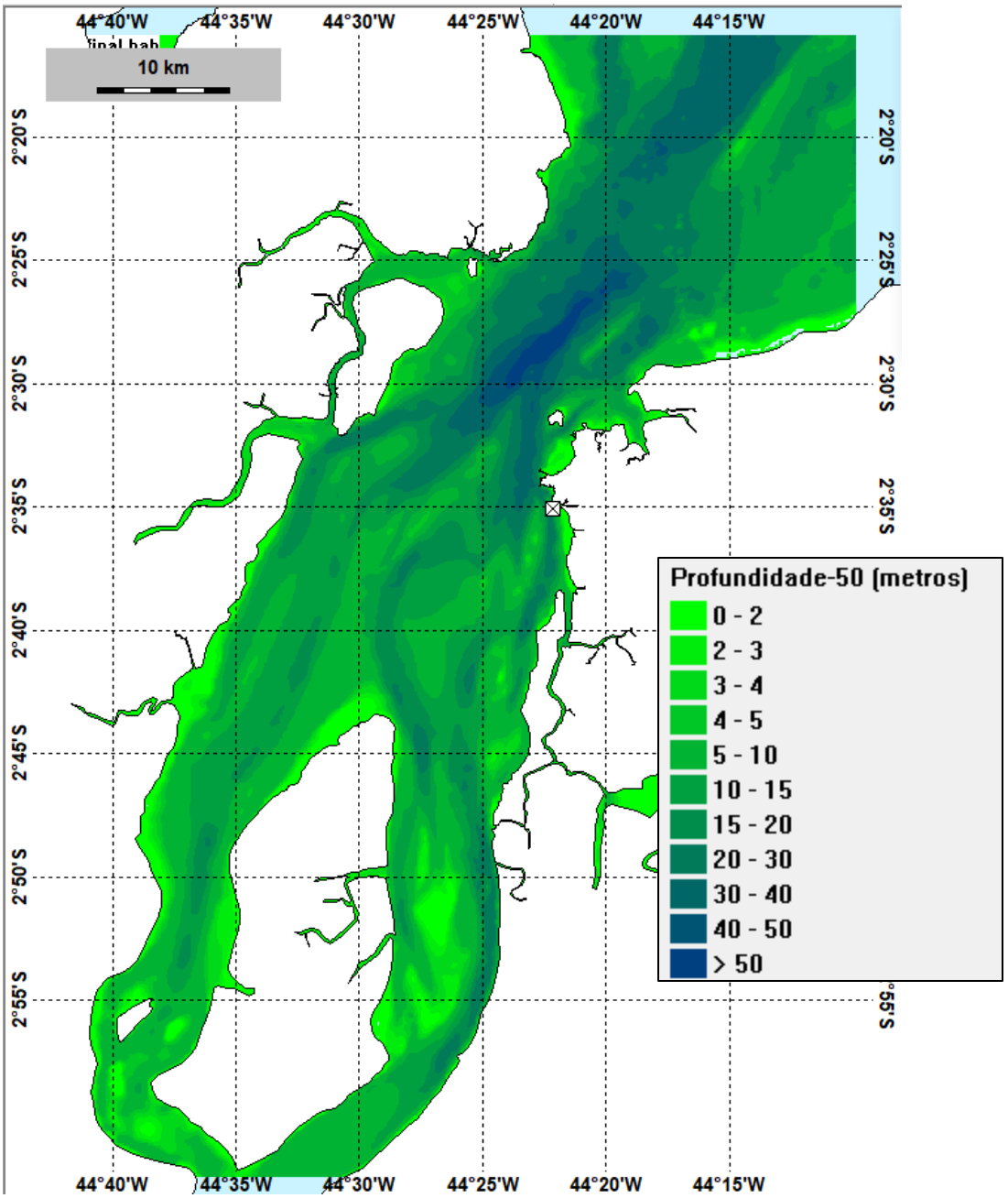


Figura 26 - Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR.

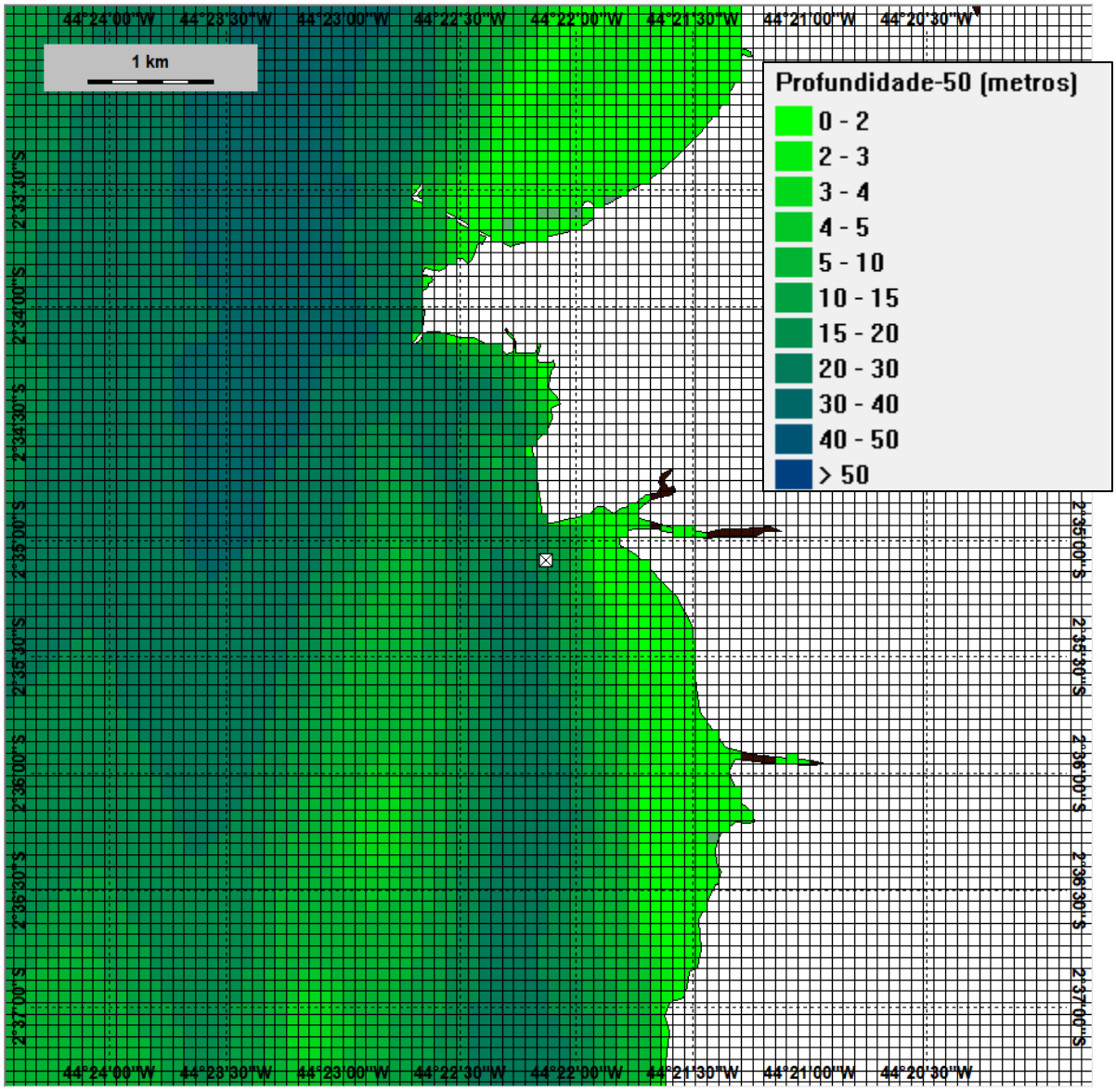


Figura 27 - Detalhe da batimetria junto a grade do modelo.

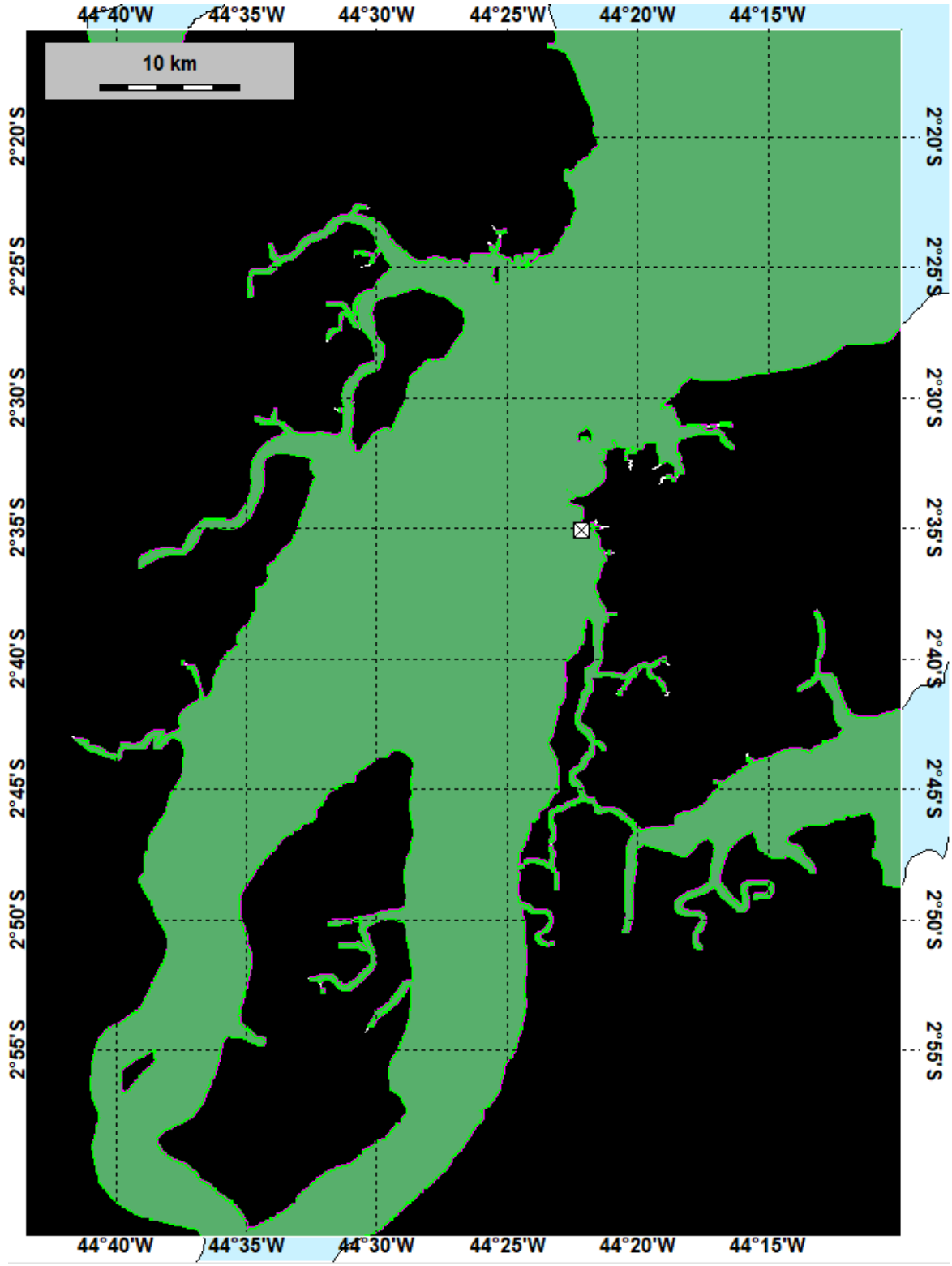


Figura 28 - Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR.

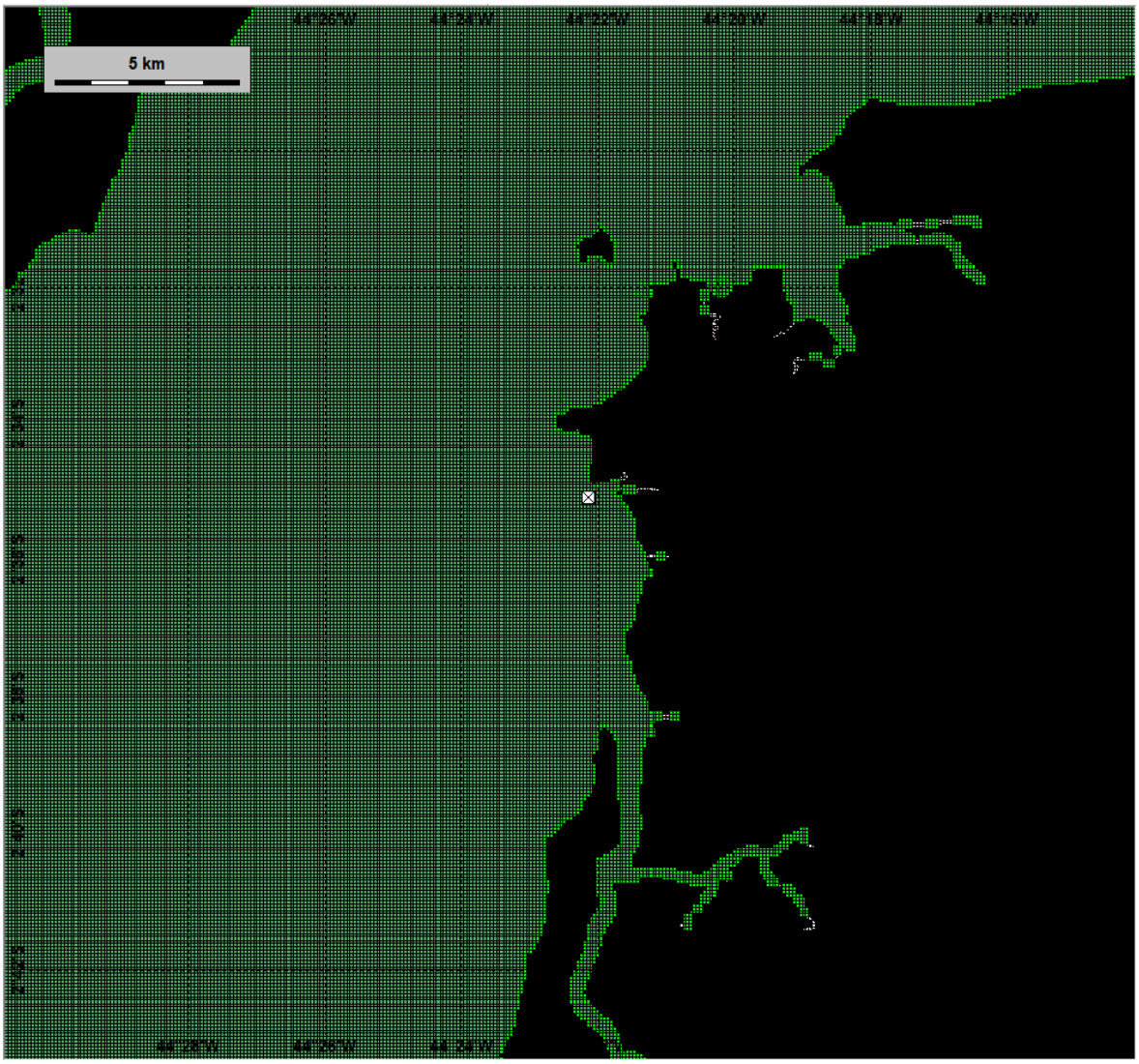


Figura 29 - Grid Land/Water junto a grade do modelo.

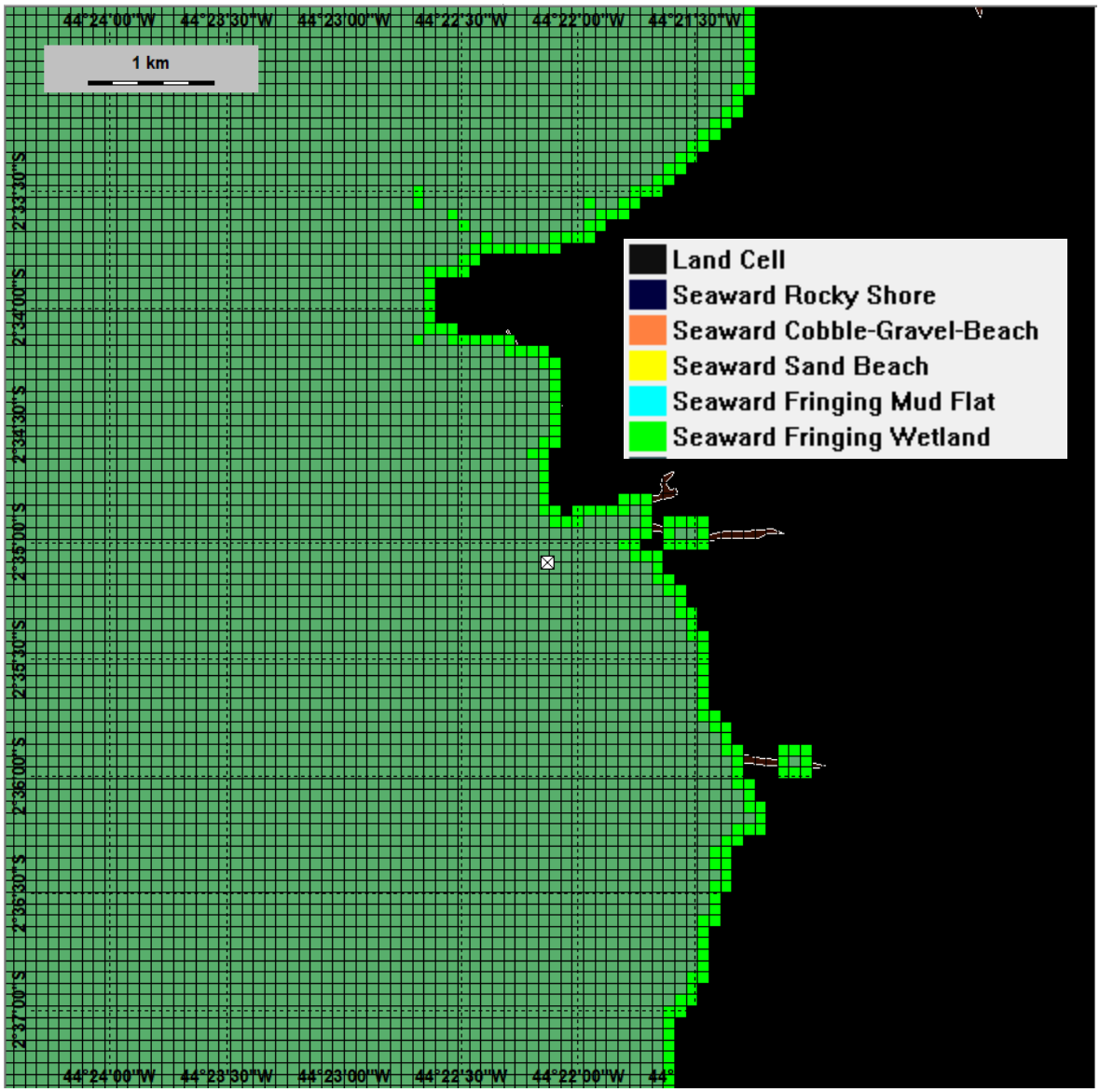


Figura 30 - Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem.

Para a definição dos tipos de costa adotados foi realizado, inicialmente, um levantamento dos possíveis tipos de costa encontrados na região (praias arenosas, mangues e costões rochosos) com base nas Cartas SAO do MMA. A linha de costa para a região da baía de São Marcos em quase sua totalidade é caracterizada por ser um mangue, com alguns pontos em ressalva, como portos, píer etc. Posteriormente, foi realizado um balizamento destas informações levantadas com os tipos de costa disponíveis no modelo de óleo6, para melhor entendimento, dentro o modelo, este traz para a resolução da grade o tipo da região, caso haja predominância de um determinado tipo, este será o "habitat" para dado elemento de grid.

[6] Praias arenosas: seaward sandbeach / Mangues: seaward fringing wetlan / Costão rochoso: seaward rocky shore

5.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES

Foi adotado nas simulações o tempo de 60 horas como critério de parada para o acompanhamento da mancha de óleo, a determinação desta interrupção se dá pelo volume hipotético de descarga do pior caso já superar a Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO) especificados na Resolução CONAMA nº 398/08 (CEDRO dpc3). Este é o tempo máximo exigido para a disponibilização de recursos de contenção e limpeza no local da ocorrência da descarga.

Com o objetivo de gerar o cenário mais conservador possível do ponto de vista ambiental, nenhum cenário simulado considerou ação de resposta ou contenção do óleo derramado durante o período de simulação.

5.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

As simulações no modo probabilístico consideram a variabilidade das forçantes ambientais. Logo, as simulações de comportamento da mancha são realizadas através da variação aleatória do início do vazamento, dentro do período para o qual se dispõe de dados ambientais (cheia/seca). Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foram realizadas 200 simulações com o modelo *OSCAR* para cada cenário probabilístico. Na Tabela 7 e são apresentados os cenários probabilísticos simulados neste estudo. Onde:

- B108MF e B108OD: representam o Ponto de Modelagem e produtos, Berço 108, MF o Óleo combustível marítimo MF-380 e OD o óleo diesel;
- PC, 200 e 8: Os volumes derramados, para Pior Caso (10.000,0 m³), médio (200,0 m³) e pequeno (8,0 m³);
- CHEIA e SECA: os períodos sazonais representativos.

Os instantes iniciais de todo o conjunto de simulações determinísticas que compõem os cenários probabilísticos são definidos automaticamente pelo modelo, através da seleção das datas de início espaçadas regularmente no tempo, ao longo do período sazonal definido. Desta forma, todas as simulações probabilísticas apresentam um mesmo conjunto de datas de início dos derrames, porém essas datas de início não se repetem.

Tabela 7: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo.

Cenários	Tipo do Produto	Volume (m^3)	Duração da descarga	Tempo de simulação (h)	Estação
B108MF_PC_CHEIA	Óleo MF-380	10.000,0	2 horas	60	Cheia
B108MF_200_CHEIA	Óleo MF-380	200,0	Instantâneo[7]	60	Cheia
B108MF_8_CHEIA	Óleo MF-380	8,0	Instantâneo	60	Cheia
B108MF_PC_SECA	Óleo MF-380	10.000,0	2 horas	60	Seca
B108MF_200_SECA	Óleo MF-380	200,0	Instantâneo	60	Seca
B108MF_8_SECA	Óleo MF-380	8,0	Instantâneo	60	Seca
B108OD_PC_CHEIA	Óleo Diesel	10.000,0	2 horas	60	Cheia
B108OD_200_CHEIA	Óleo Diesel	200,0	Instantâneo	60	Cheia
B108OD_8_CHEIA	Óleo Diesel	8,0	Instantâneo	60	Cheia
B108OD_PC_SECA	Óleo Diesel	10.000,0	2 horas	60	Seca
B108OD_200_SECA	Óleo Diesel	200,0	Instantâneo	60	Seca
B108OD_8_SECA	Óleo Diesel	8,0	Instantâneo	60	Seca

[7] Mesmo passo de tempo do modelo.

5.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS

Para as simulações determinísticas foram escolhidos os cenários que apresentavam maiores extensões de toque a costa. A seleção dos cenários foi feita com base nas simulações probabilísticas, buscando demonstrar situações em que o óleo se espalha e encalha na costa. Estes cenários foram selecionados pois os tempos de toque são muito curtos devido ao porto estar próximo à costa (toque na ordem de 30 minutos, ou segundo passo de tempo do modelo), e todavia os períodos simulados com sinais de maré (dominam a região), já caracterizado um evento extremo. Na Tabela 8 estão listados os cenários simulados. A qual segue o mesmo padrão de denominação como o do probabilístico, salve a ressalva de:

- DE: Determinístico de maior extensão.

Tabela 8: 12 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Berço 108 no porto de Itaqui.

Cenários	Data de Início	Tempo Mínimo de Toque (HH:MM)	Município de Primeiro Toque	Volume Final de óleo na Costa (m³)	Extensão de Toque ao final da simulação (km)
DE_B108MF_PC_CHEIA	04/03/2018 18:00	02:15	São Luís (MA)	3.160,0	152,21
DE_B108MF_200_CHEIA	02/03/2018 17:00	29:00	Cajapió (MA)	82,0	19,90
DE_B108MF_8_CHEIA	04/03/2018	53:30	Alcântara (MA)	5,34	14,05
DE_B108MF_PC_SECA	12/09/2018 08:00	28:00	Alcântara e Cajapió (MA)	8.960,0	104,09
DE_B108MF_200_SECA	11/09/2018 05:00	18:00	Cajapió (MA)	165,4	70,19
DE_B108MF_8_SECA	22/09/2018 03:00	32:15	Cajapió (MA)	5,76	11,24
DE_B108OD_PC_CHEIA	04/03/2018 18:00	02:15	São Luís (MA)	2.440,0	99,99
DE_B108OD_200_CHEIA	03/03/2018 17:00	19:00	Cajapió (MA)	96,0	26,20
DE_B108OD_8_CHEIA	04/03/2018 04:00	54:00	Alcântara (MA)	3,19	15,58
DE_B108OD_PC_SECA	12/09/2018 04:00	09:30	Cajapió (MA)	6.850,0	84,78
DE_B108OD_200_SECA	11/09/2018 05:00	18:00	Cajapió (MA)	118,6	77,90
DE_B108OD_8_SECA	22/09/2018 03:00	31:00	Cajapió (MA)	3,26	11,08

5.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

A seguir serão apresentados as extensões de toque na costa e área total de abrangência do óleo na superfície da água para as simulações probabilísticas dos cenários descritos na Tabela 9Tabela 7. São apresentados os resultados referentes ao vazamento de óleo para os dois tipos de produtos, primeiramente para o óleo combustível marítimo MF-380 (Figura 31 a Figura 66) e posterior o óleo diesel (Figura 67 a Figura 102**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), respeitando-se a sequência para os volumes de Pior Caso (10.000,0 m³), médio (200,0 m³) e pequeno (8,0 m³) apresentando-se os resultados dos períodos de cheia e seca, demonstrando-se primeiramente os contornos de probabilidade de ocorrência do óleo, seguidos do tempo mínimo de sua dispersão para a superfície da água, seguidos do mesmo contorno para a costa, apresentando-se para este último também a massa.

Seguidos dos contornos da área na água e linhas de resultados na costa, apresentamos uma tabela resumo dos valores mínimos, médios e máximos para cada ambiente e um boxplot com a representação dos balanços de massas dos cenários probabilísticos respectivos. Nestas figuras, as linhas centrais correspondem a mediana da porcentagem de massa dentre as simulações, os limites das caixas os quartis, as linhas aos limites dos valores englobados na média mais dois desvios-padrão e, por fim os outliers (pontos), valores acima deste limiar.

Os resultados das simulações mostram que a maiores probabilidades de dispersão do óleo para os volumes encontram-se próximo a região de derrame do material, tendo sua rápida dispersão, devido a ação dos ventos, carregando o material em direção a oeste e interior da baía, tendo com a ação presente da maré (correntes) na enchente e vazante concentrando o material nesta região central e assinalando os maiores contornos de probabilidades. Estes valores se alteram de acordo, com o volume derramado, 50-60% para os menores, 60-70% (atingindo até 80%) para os volumes médios, e até 100% para os piores casos.

Durante o período da Seca, mês de setembro, notamos um rápido espalhamento do óleo em relação ao período da Cheia (mês de março), i.e., o óleo atinge uma maior área em menor tempo (Figura 32, Figura 38, Figura 44,Figura 50, Figura 56, Figura 62), favorecido devido a ação de ventos mais intensos (Tabela 4 e Tabela 5). A ação dos ventos conjunta ao período menos chuvoso (Seca) pode favorecer a evaporação das frações de hidrocarbonetos mais leves do material, sendo esta diferença entre os períodos sutil porém apresentado nos boxplots de cada cenário (à exemplo Figura 36 e Tabela 11).

Em relação aos dois produtos, ambos tem dispersão e distribuição relativamente similares, como reportado acima, as diferenças aparecem no balanço de massa (à exemplo Figura 36 e Figura 72) destes cenários, uma vez que o óleo MF já é um subproduto refinado, este apresenta menores índices de frações de hidrocarbonetos leves (e voláteis) em relação a sua contra-parte o óleo cru (OD), podendo se notar, para o período da SECA, diferenças no alcance (maior) e dispersão do OD (mais leve) podendo ser ação devido a emulsificação das frações mais pesadas pelas mais leves , propiciando o arrasto com os ventos.

O resumo dos resultados para os cenários são apresentados nas Tabela 10 eTabela 17, nesta constam o tempo mínimo e médio (entre os cenários) para toque na costa e a probabilidade mais alta e o munícipio respectivo para cada um destes resultados.

Tabela 9: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo.

Cenários	Produto	Extensão de Toque na costa(km)	Área total na superfície d'agua (km²)
B108MF_PC_CHEIA	Óleo MF-380	135,77	1.140,78
B108MF_200_CHEIA	Óleo MF-380	117,28	1.056,29
B108MF_8_CHEIA	Óleo MF-380	72,56	944,56
B108MF_PC_SECA	Óleo MF-380	148,59	1.154,10
B108MF_200_SECA	Óleo MF-380	114,87	1.081,49
B108MF_8_SECA	Óleo MF-380	87,55	1.013,76
B108OD_PC_CHEIA	Óleo Diesel	136,22	1.141,39
B108OD_200_CHEIA	Óleo Diesel	118,58	1.056,98
B108OD_8_CHEIA	Óleo Diesel	72,28	942,30
B108OD_PC_SECA	Óleo Diesel	155,69	1.158,80
B108OD_200_SECA	Óleo Diesel	117,75	1.089,31
B108OD_8_SECA	Óleo Diesel	88,18	1.018,94

5.11.1 Porto de Itaqui - Berço 108

5.11.1.1 Óleo combustível marítimo MF-380

Tabela 10 - Resumo dos resultados probabilísticos para o Berço 108 com o produto MF-380.

PONTO	PERÍODO	VOLUME	PARÂMETRO	VALORES	MUNICÍPIOS	UF
B108MF	CHEIA	8	Prob. (%)	40.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	8.17	SÃO LUÍS	MA
		200	Prob. (%)	40.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	8.17	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	59.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	7.29	SÃO LUÍS	MA
	SECA	8	Prob. (%)	46.50	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5.07	SÃO LUÍS	MA
		200	Prob. (%)	46.50	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5.07	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	60.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5.65	SÃO LUÍS	MA

5.11.1.1.1 Volume de Pior Caso (10.000,0 m³)

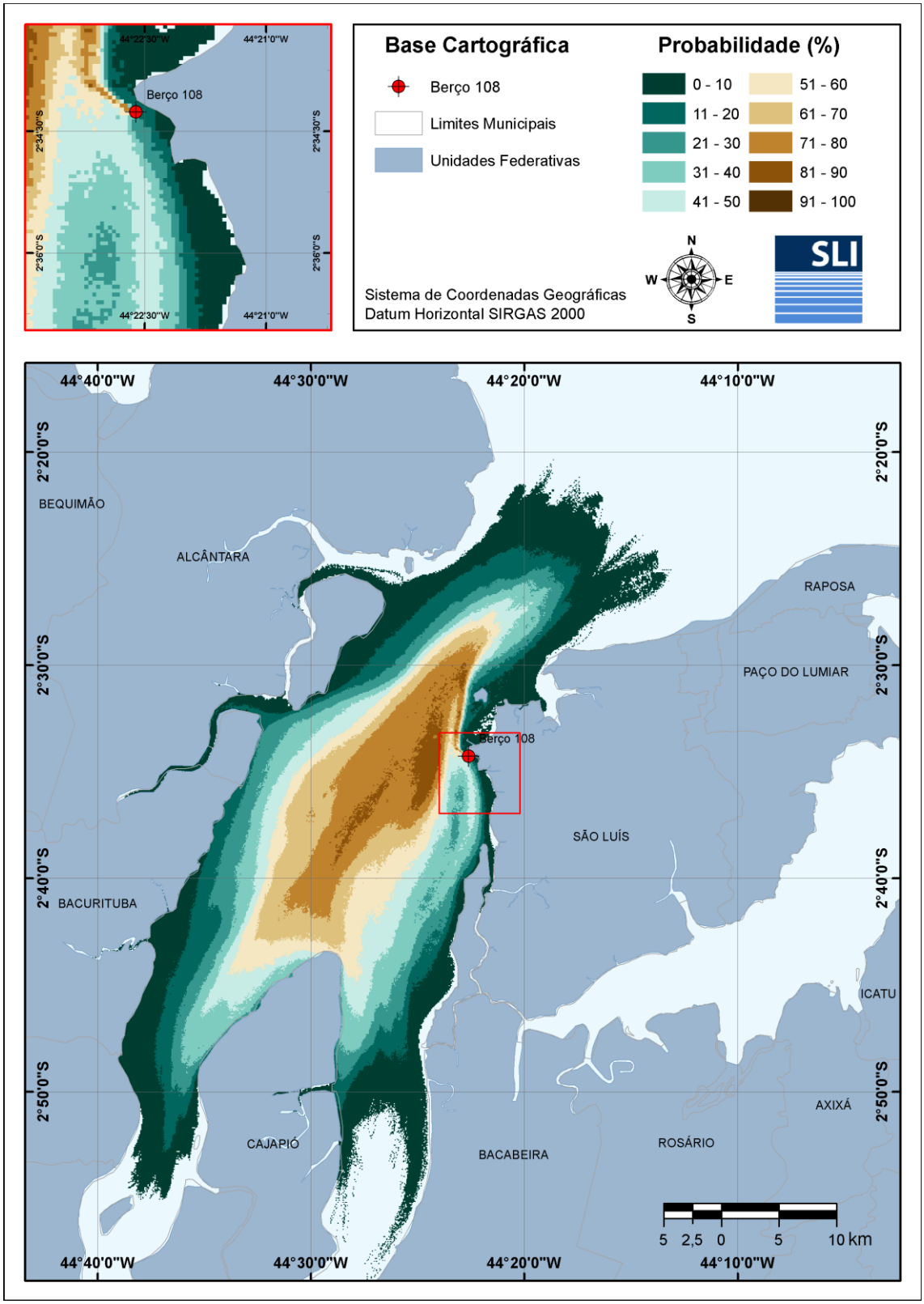


Figura 31: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

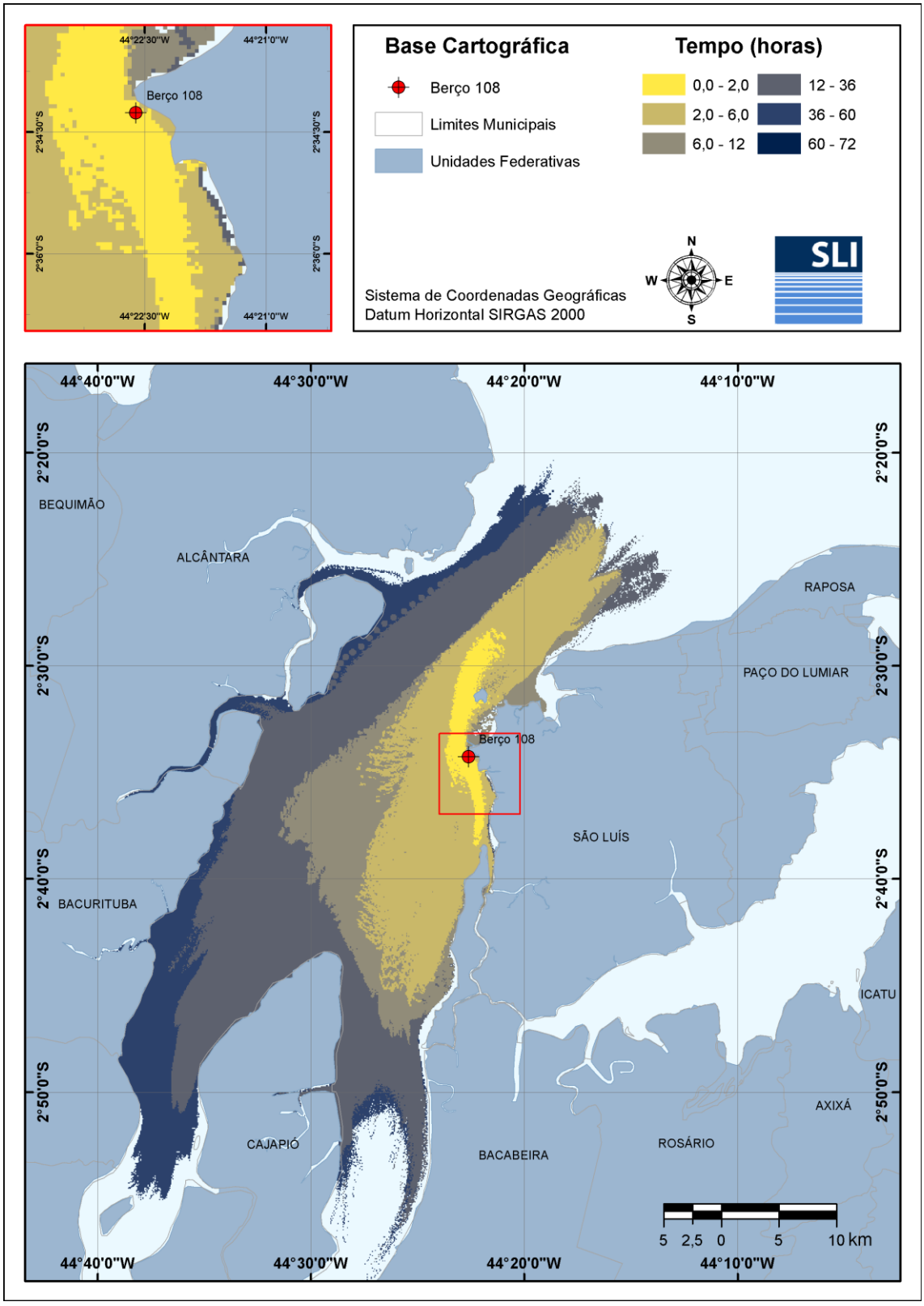


Figura 32: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (PC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

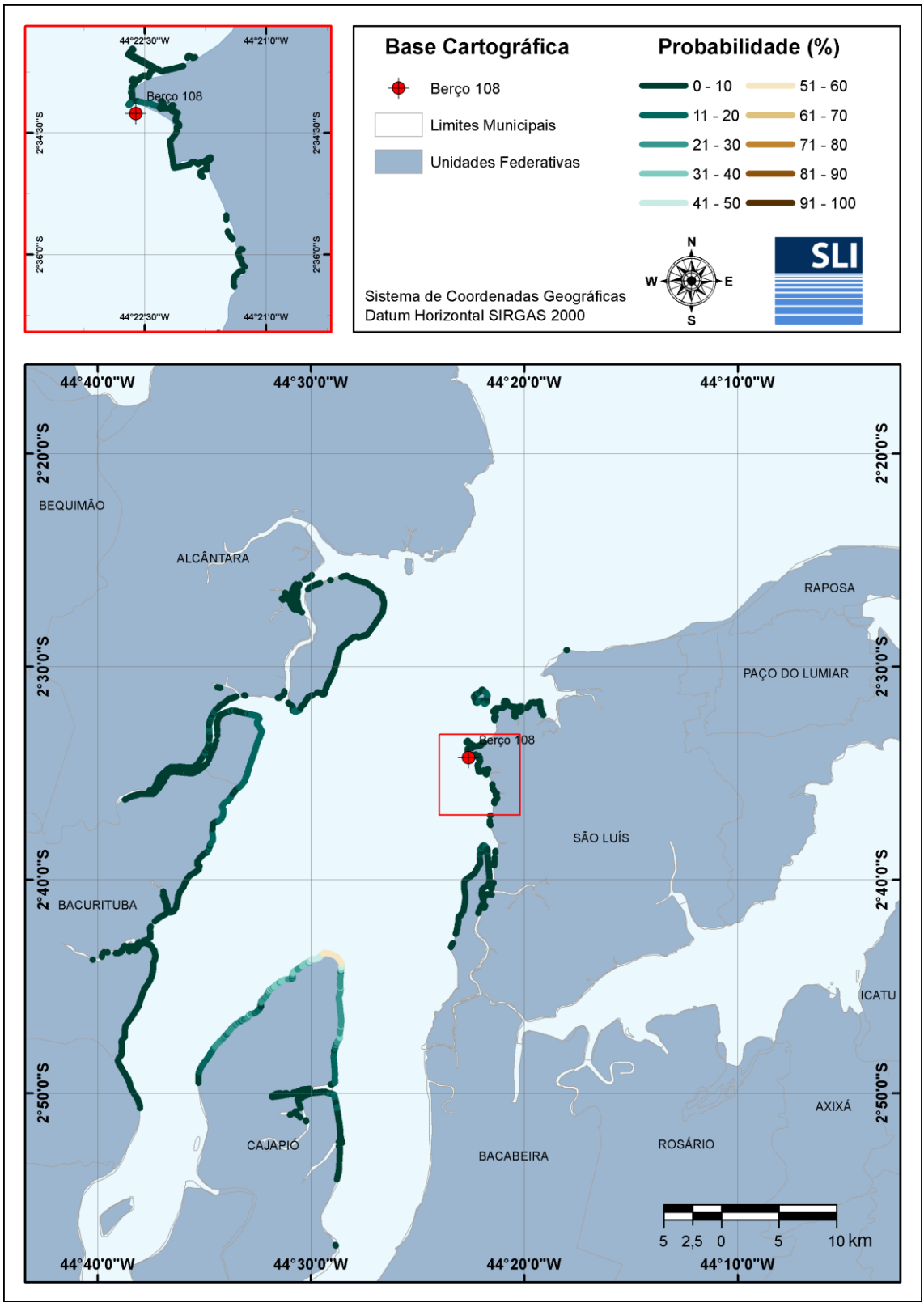


Figura 33: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

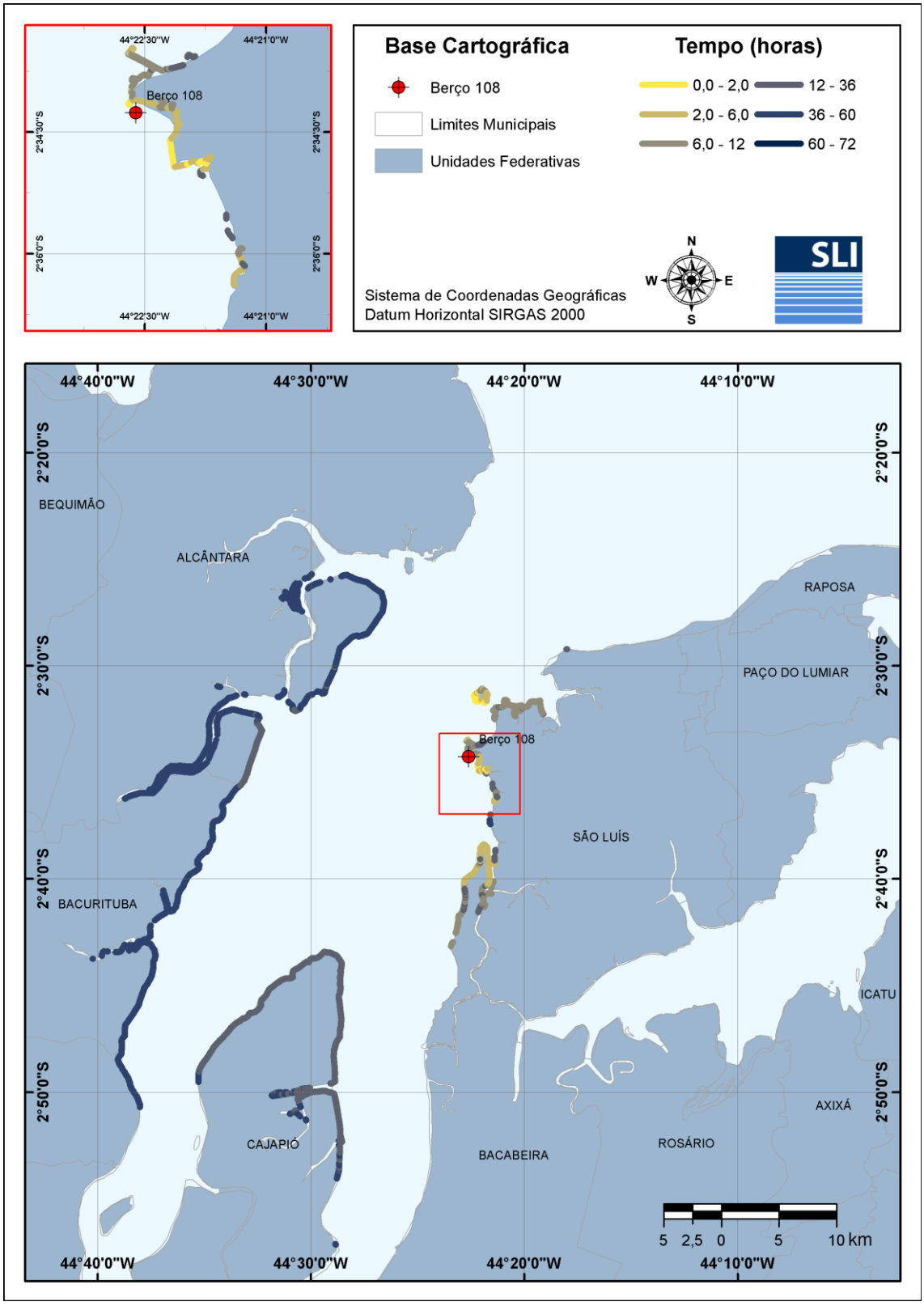


Figura 34: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

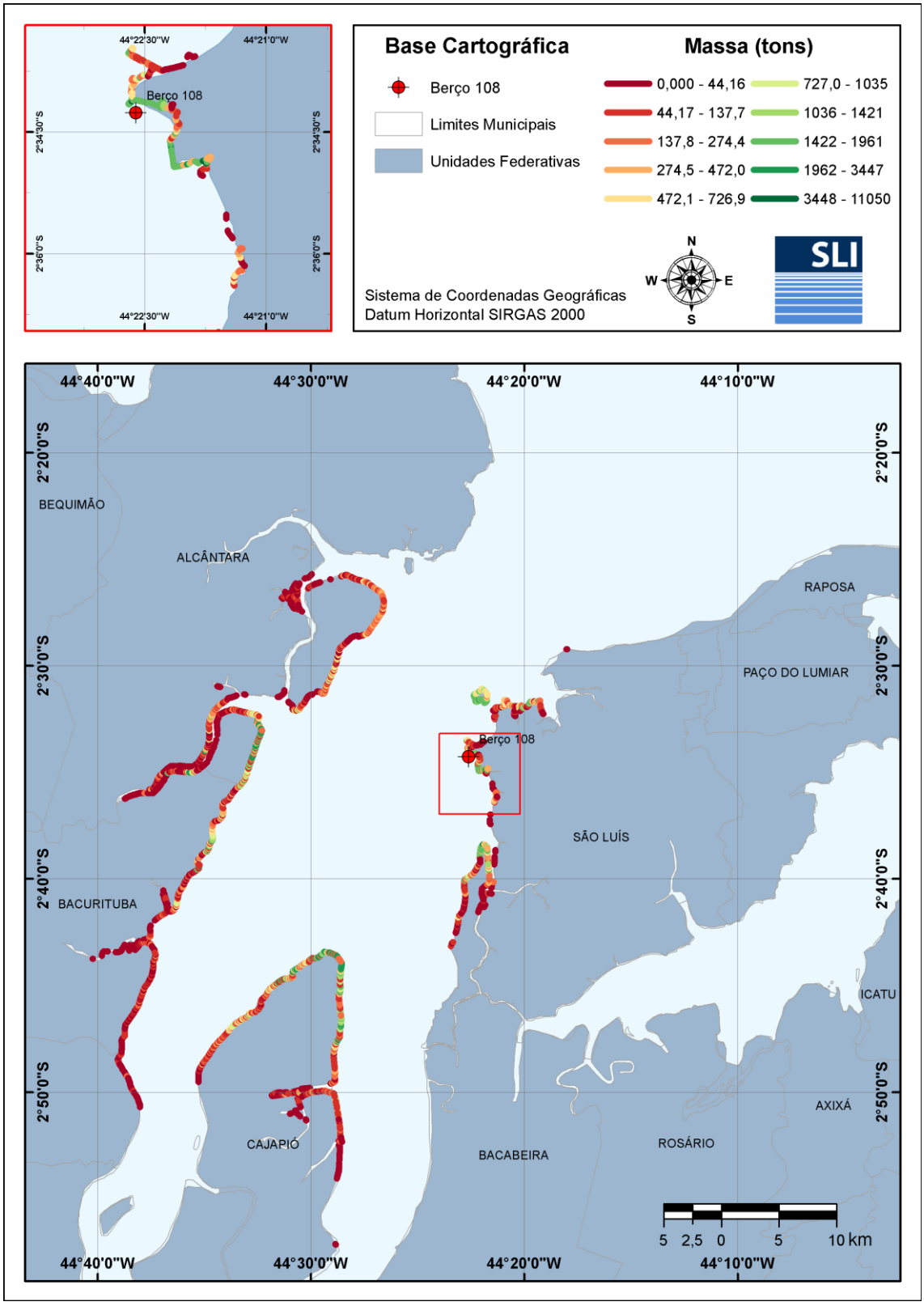


Figura 35: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 11 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	1.72%	0.00%	1.38%	0.25%
Médio	46.28%	0.10%	3.14%	0.48%
Máximo	61.44%	0.63%	4.09%	1.65%

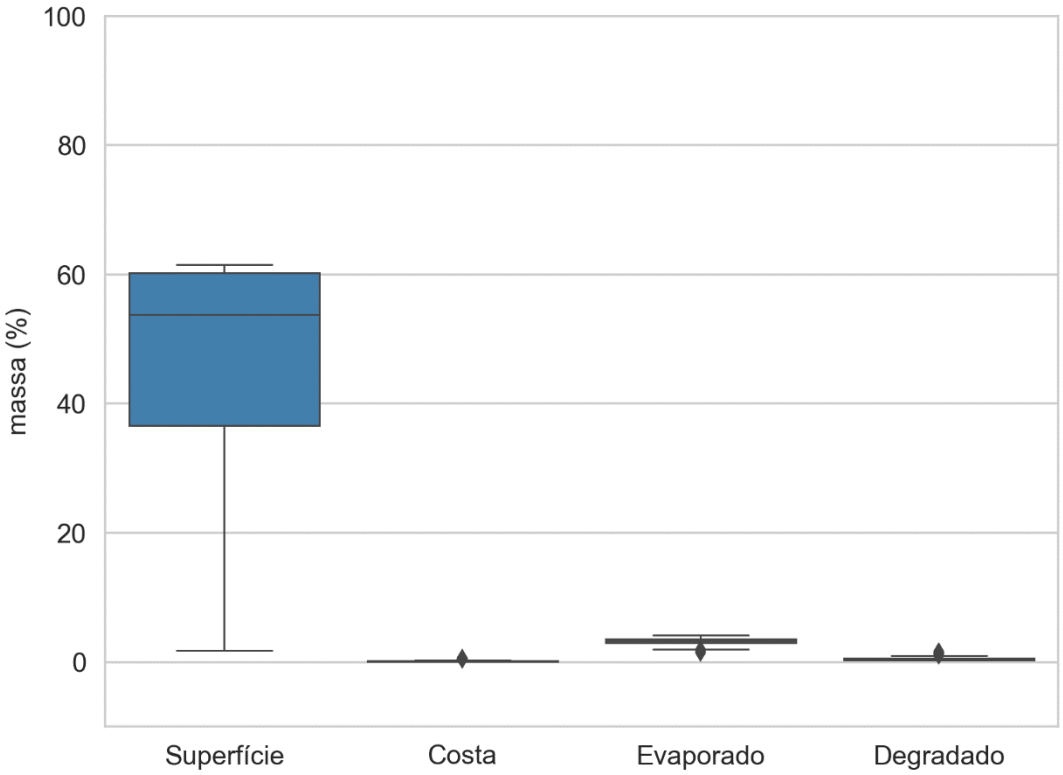


Figura 36 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

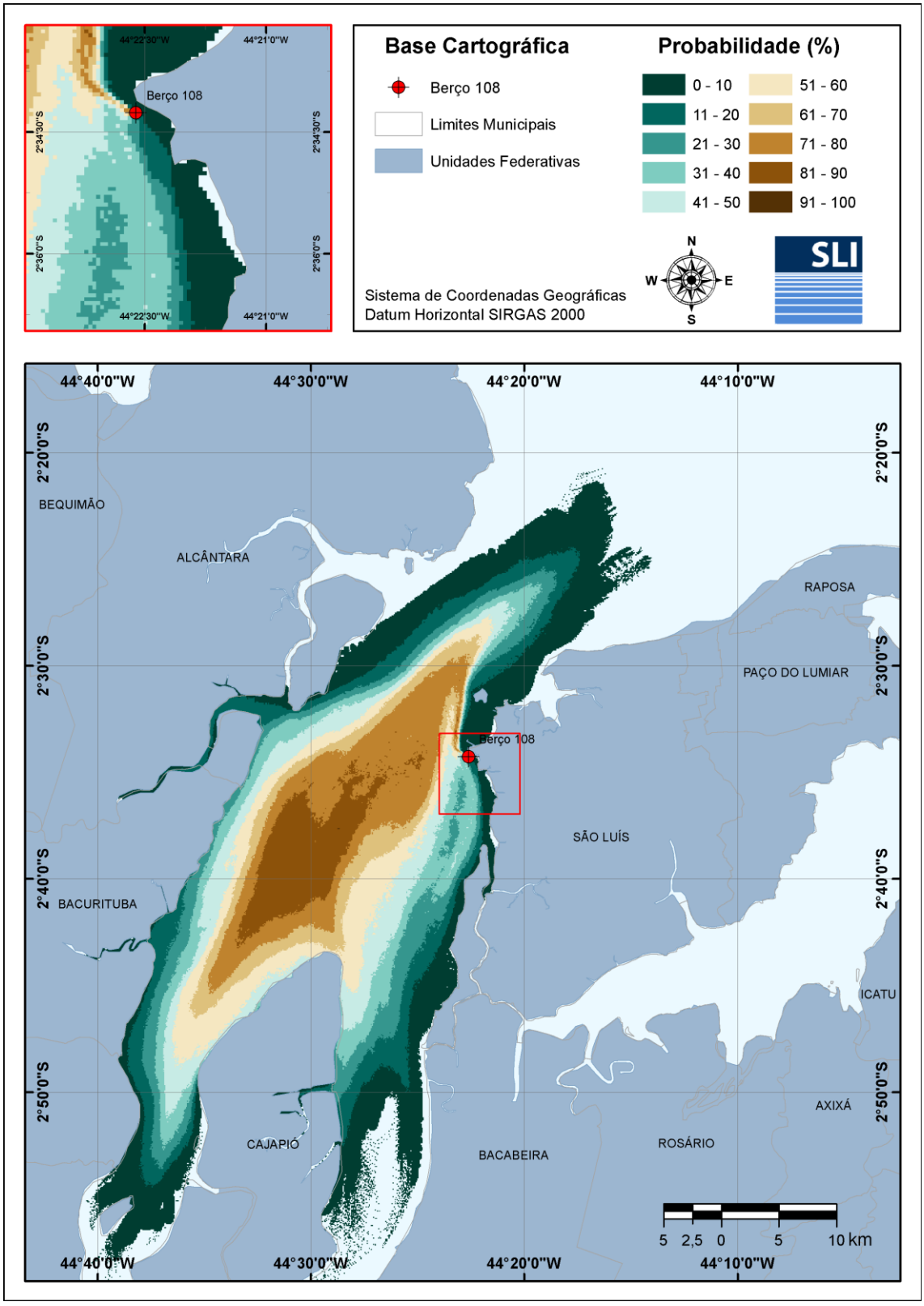


Figura 37: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

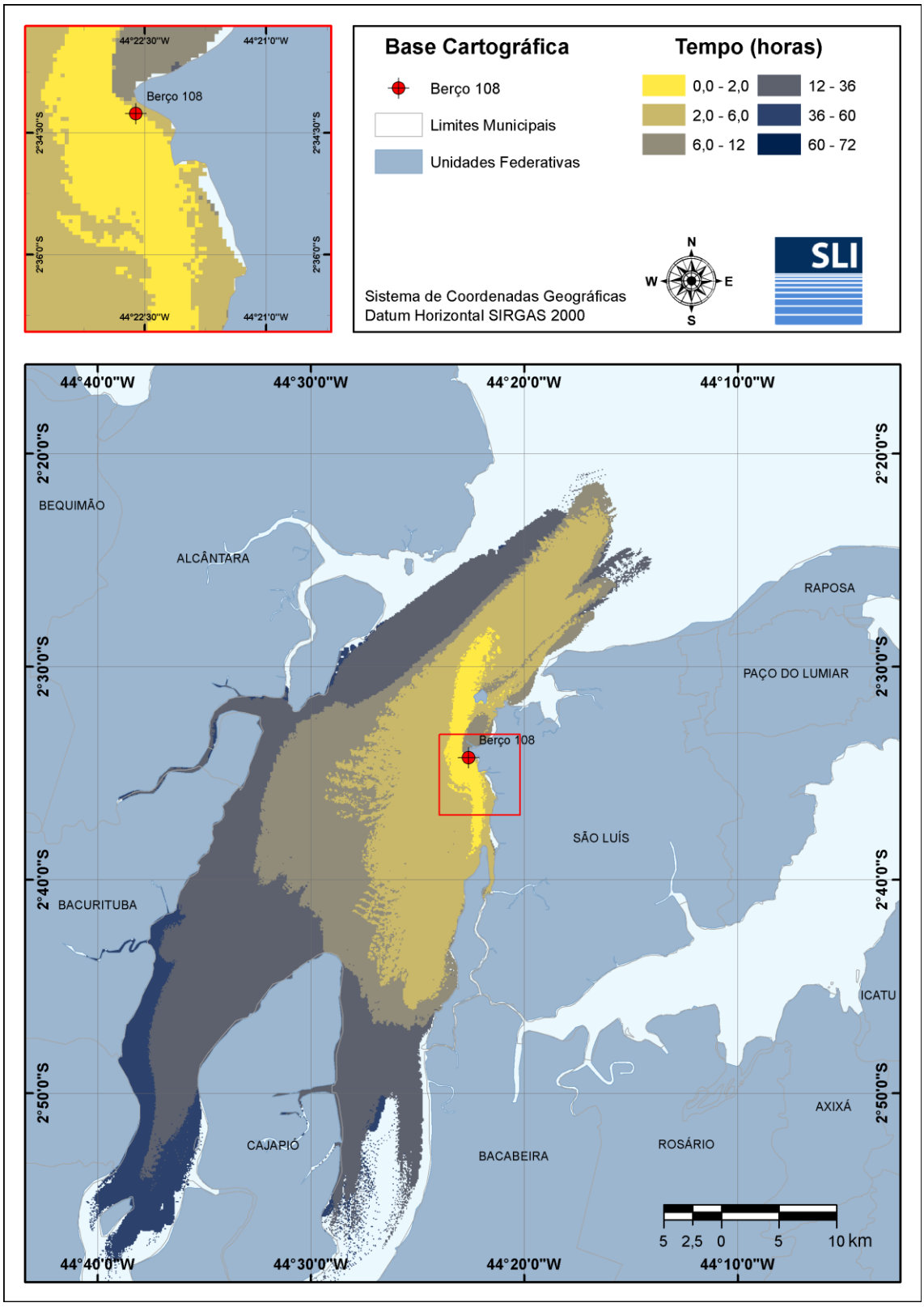


Figura 38: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

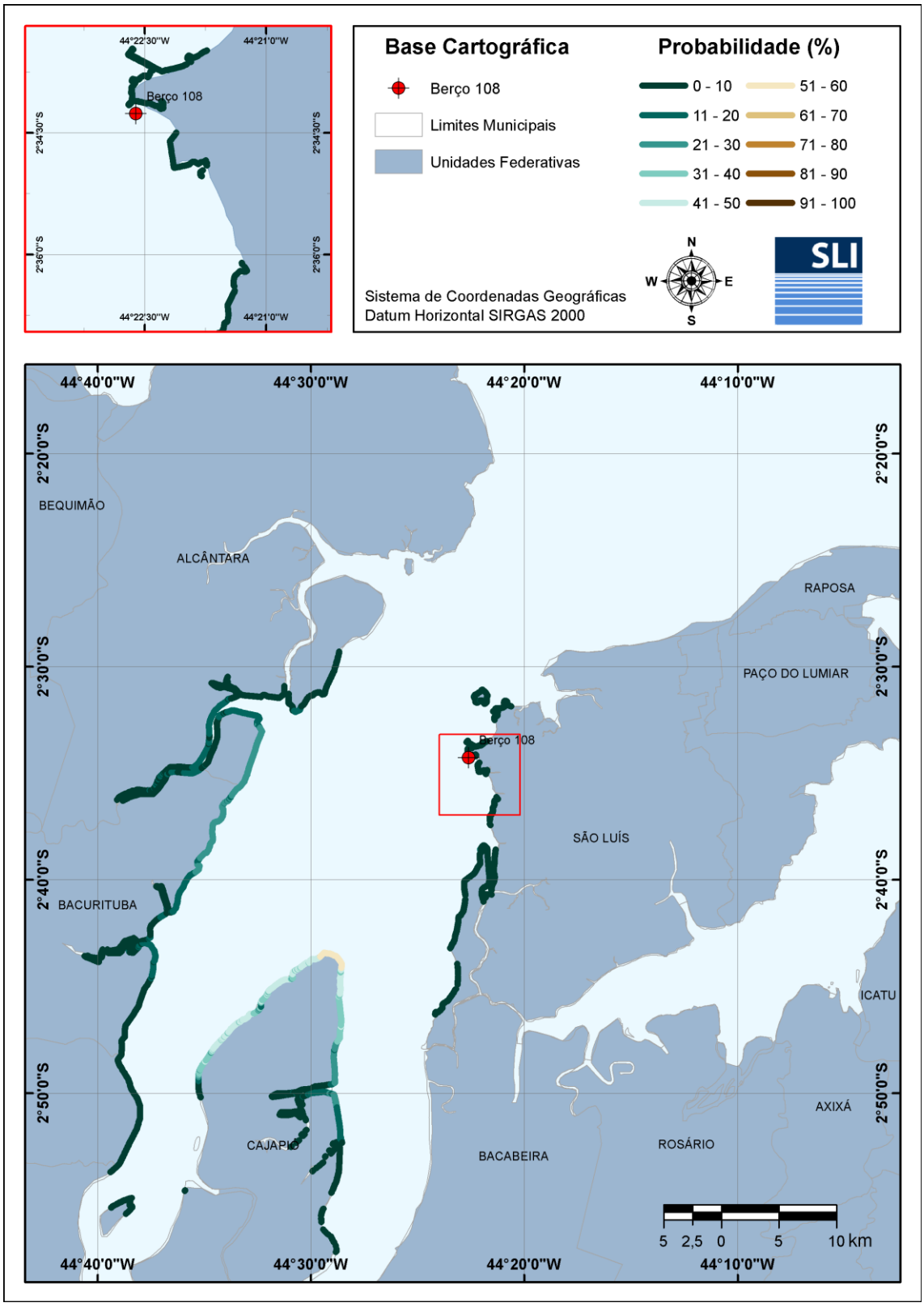


Figura 39: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

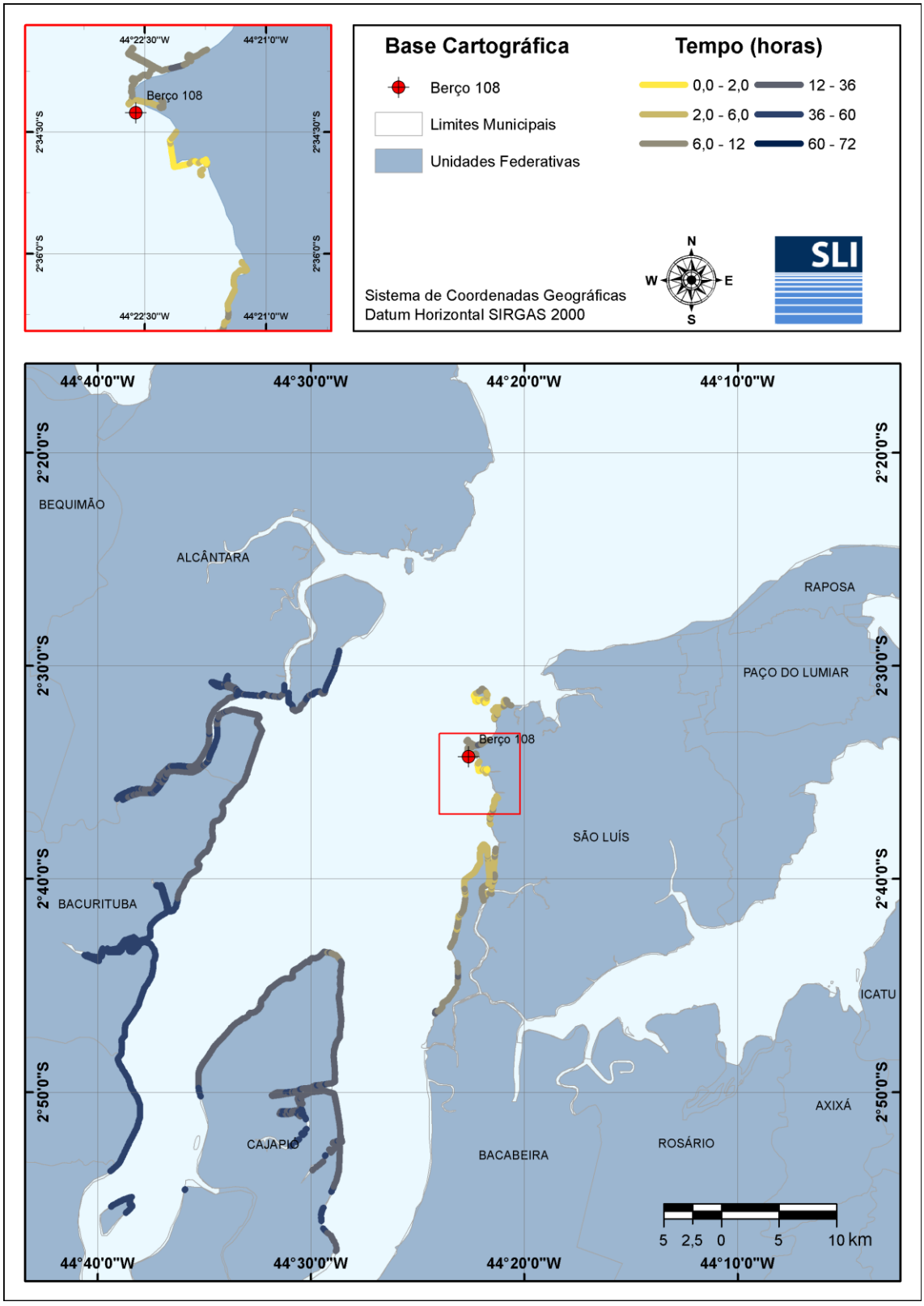


Figura 40: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

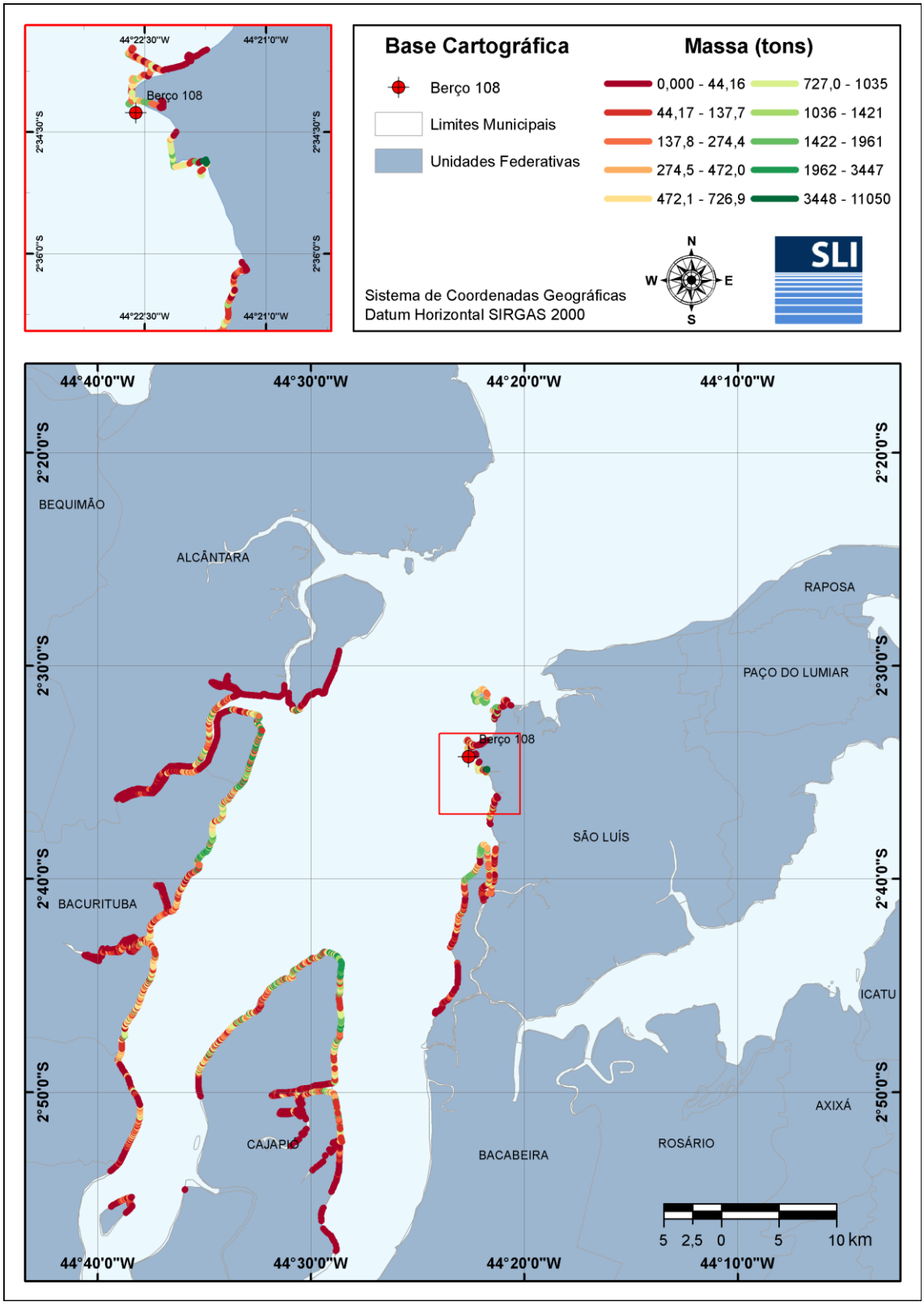


Figura 41: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 12 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.10%	0.01%	1.25%	0.32%
Médio	44.65%	0.43%	4.27%	0.65%
Máximo	72.28%	2.27%	5.66%	2.60%

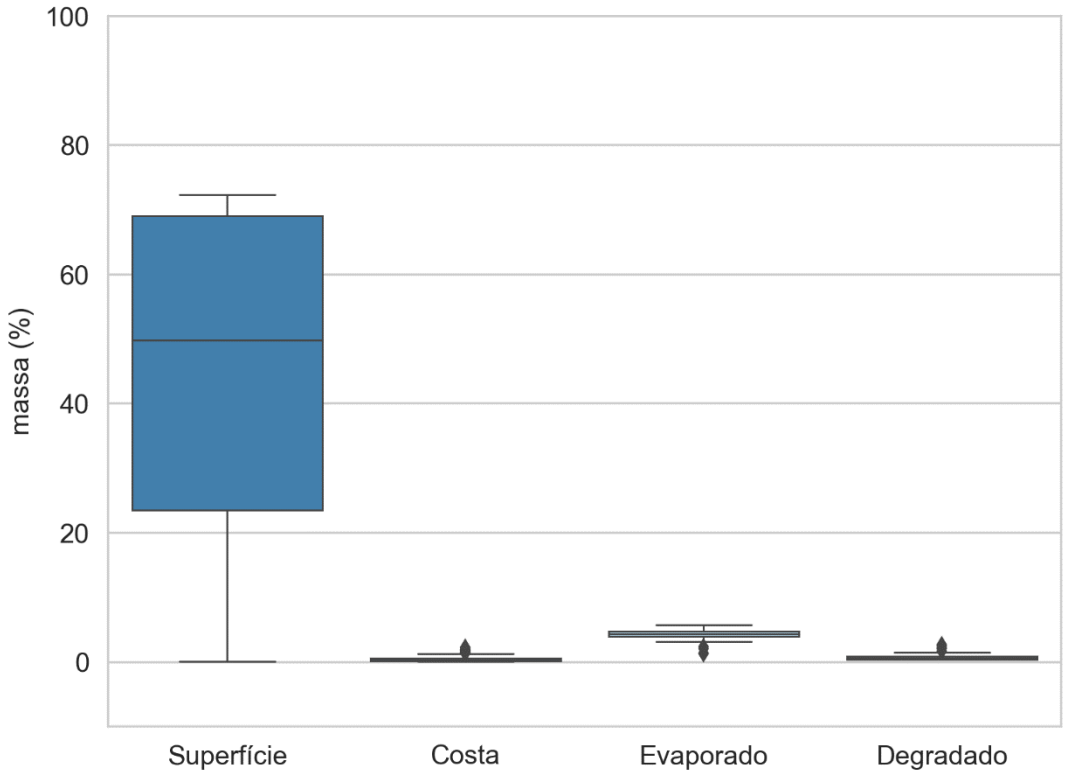


Figura 42 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

5.11.1.1.2 Volume médio (200,0 m³)

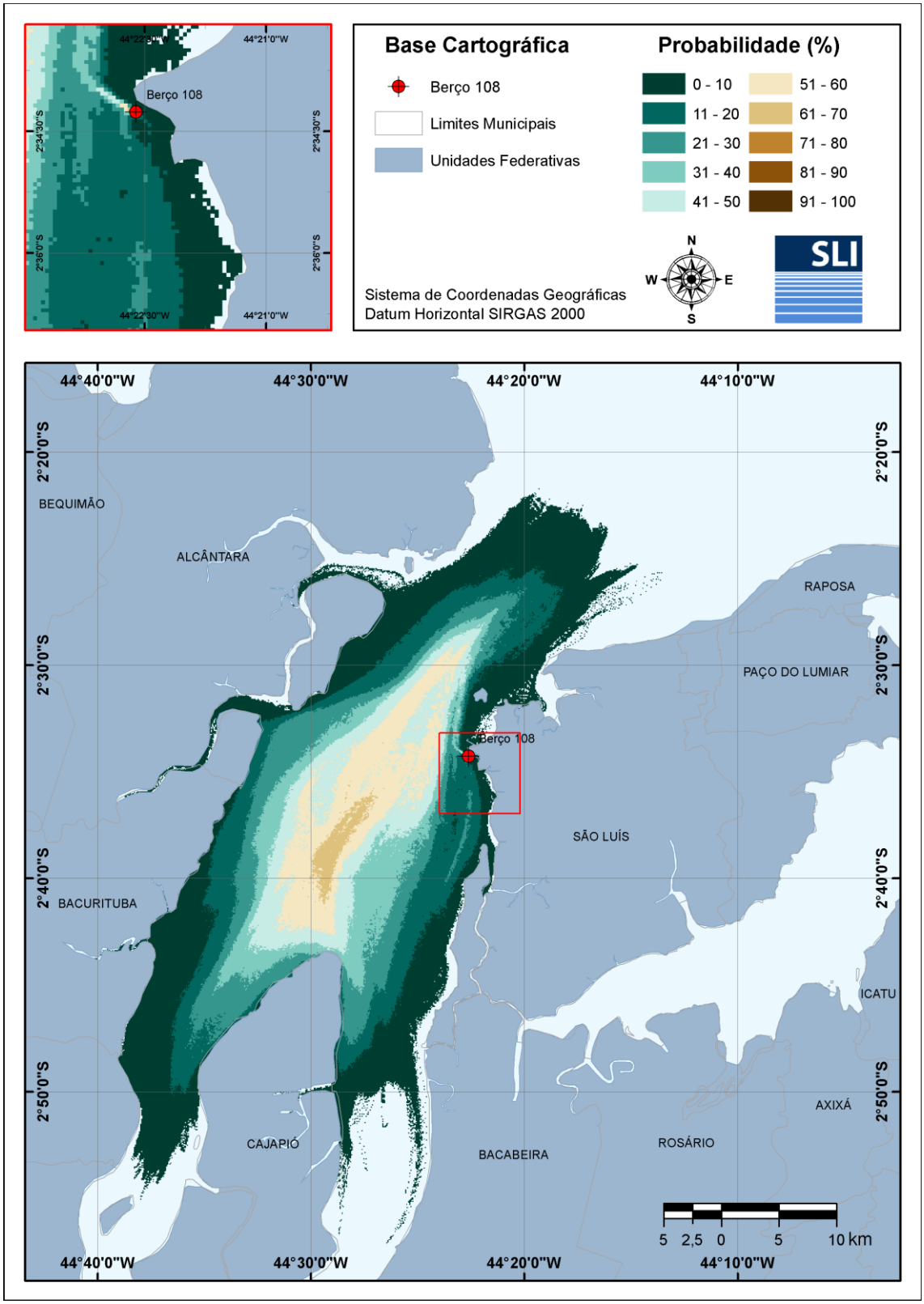


Figura 43: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

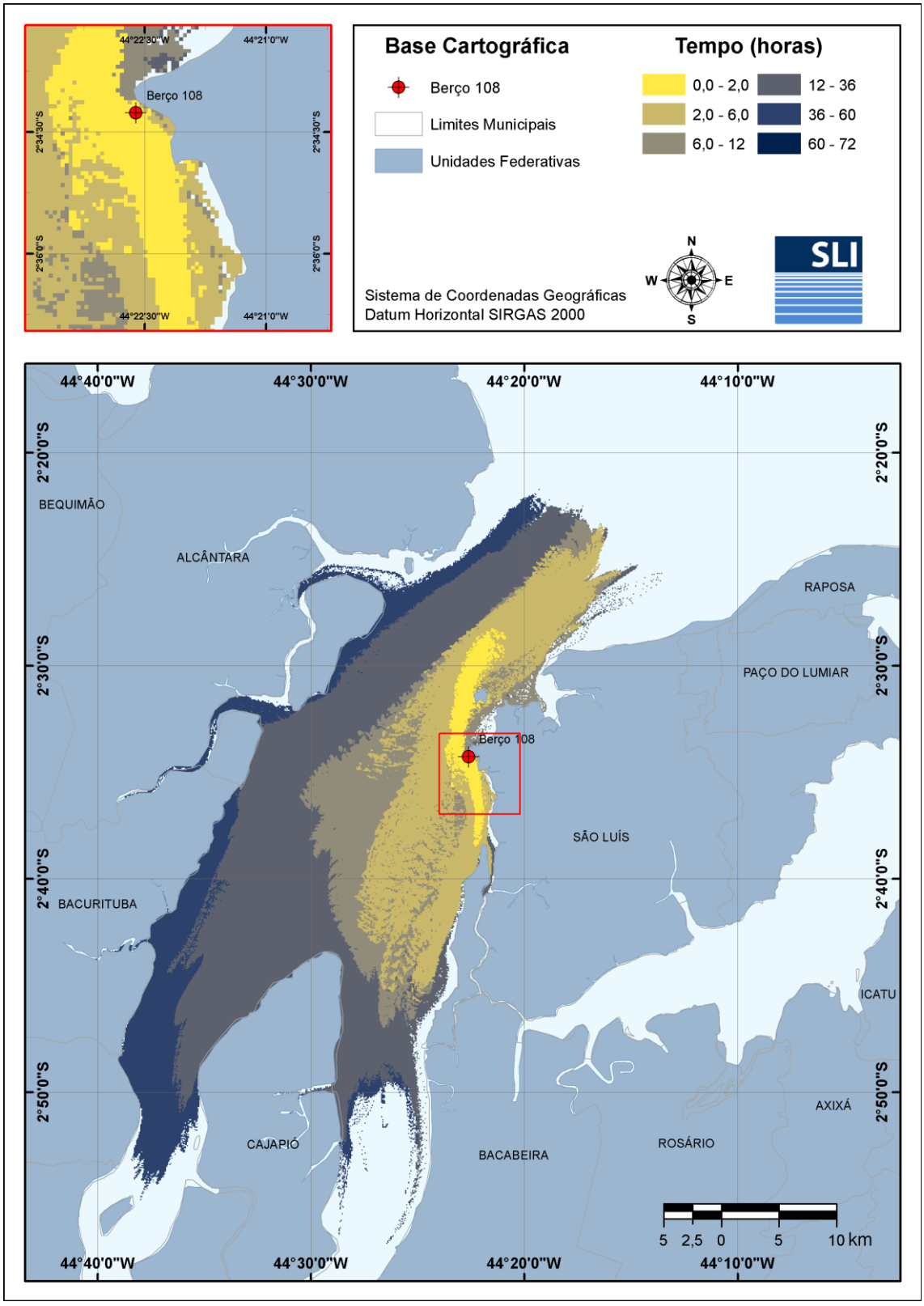


Figura 44: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

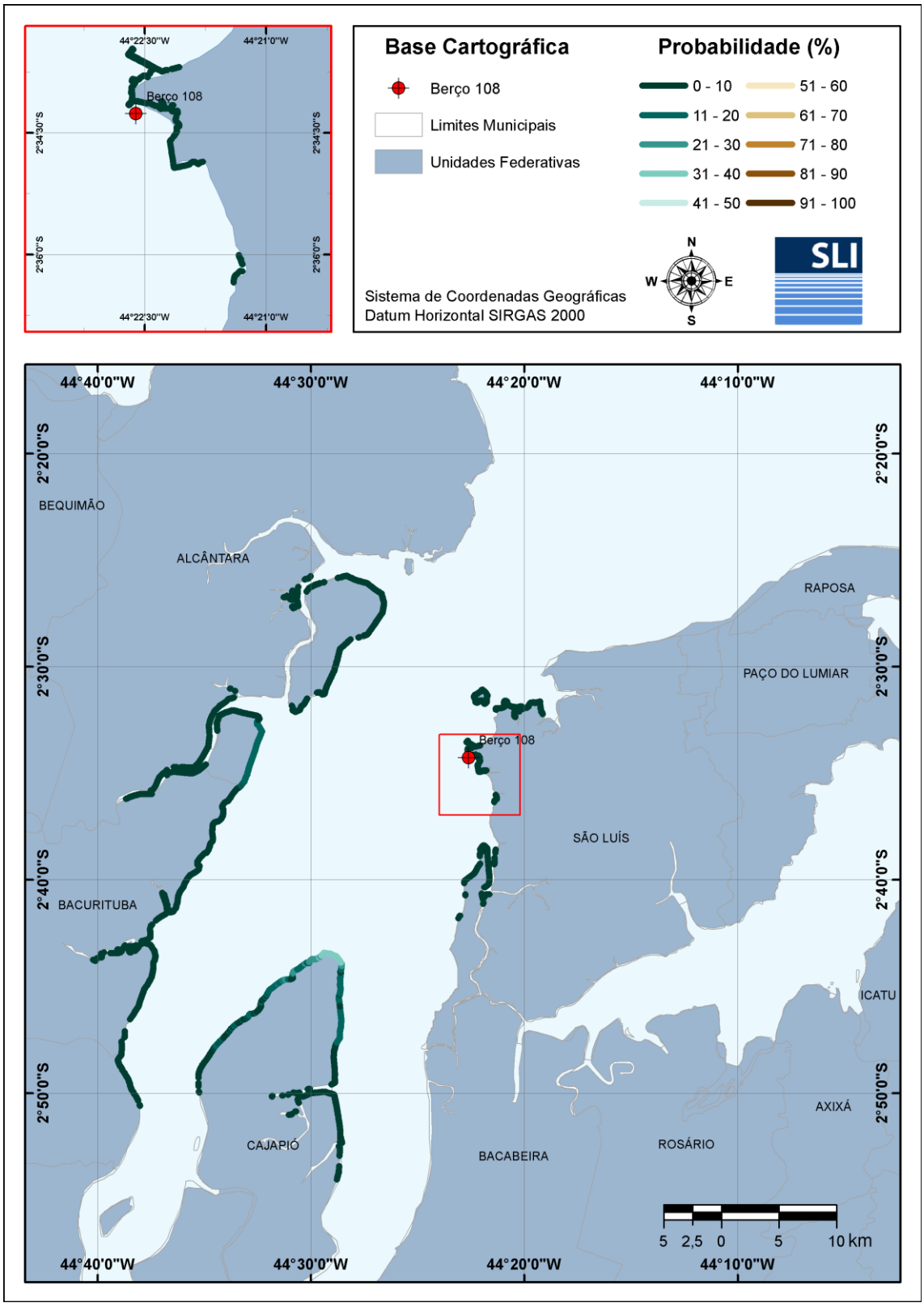


Figura 45: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

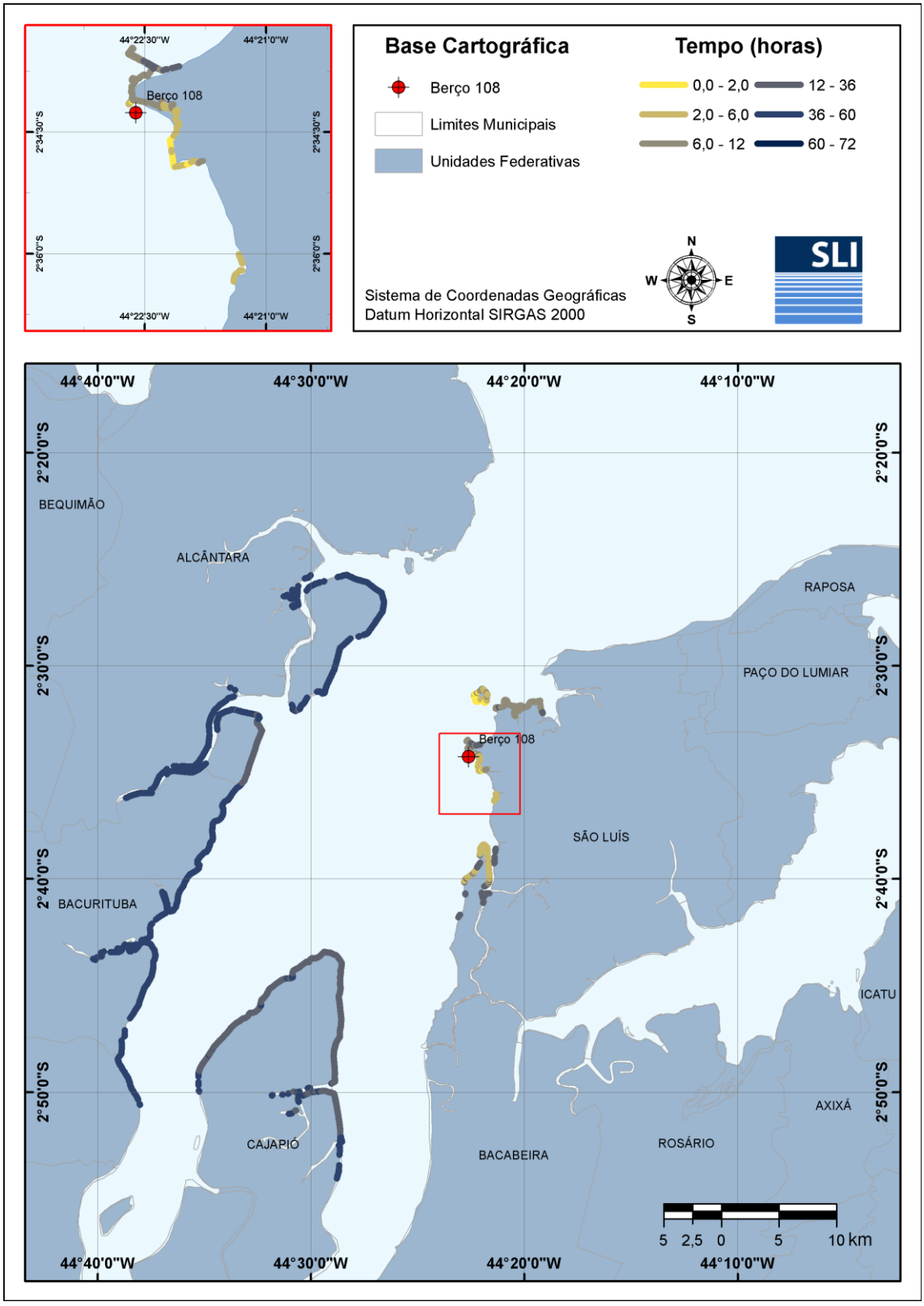


Figura 46: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

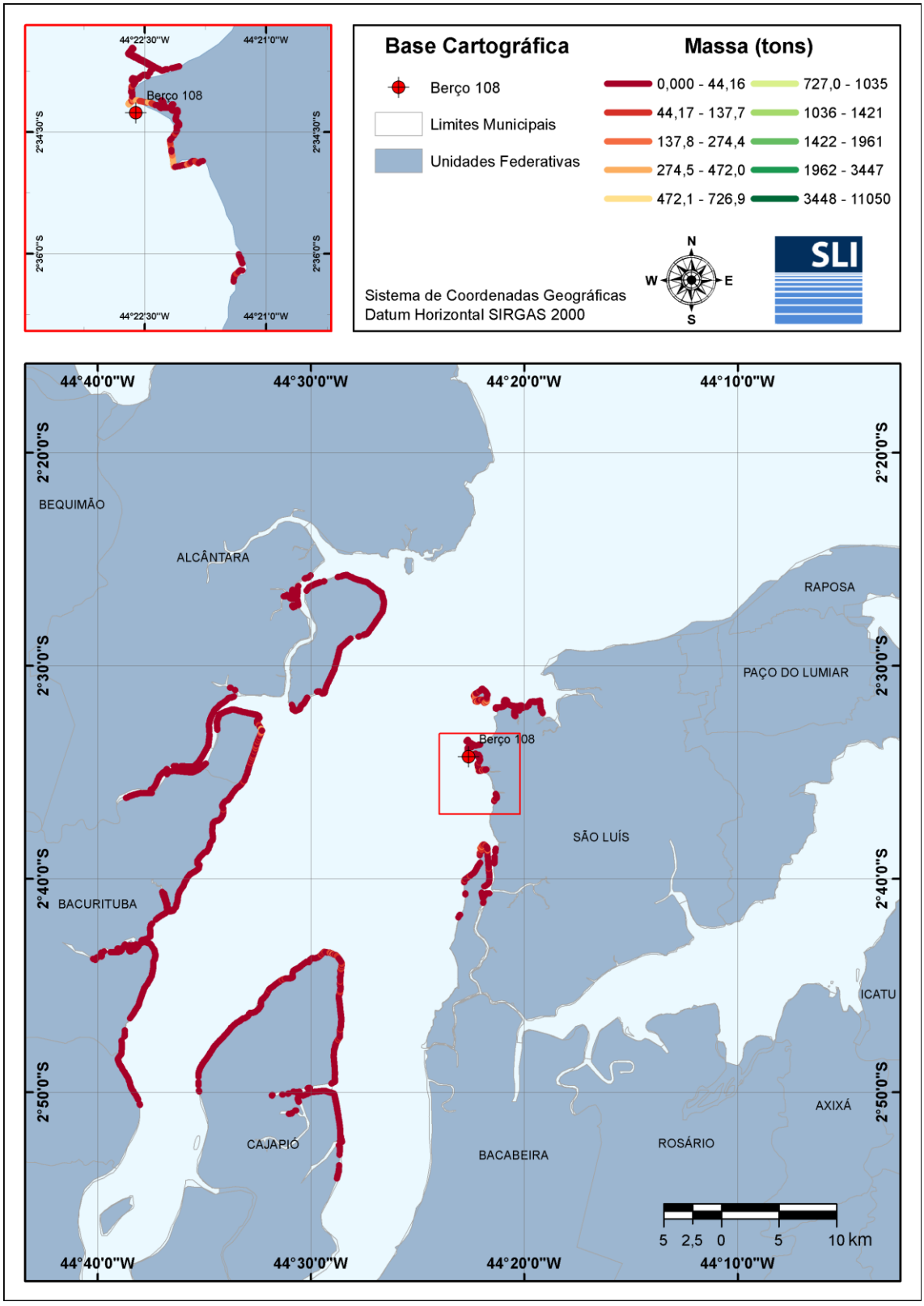


Figura 47: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 13 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	1.52%	0.00%	1.34%	0.25%
Médio	45.23%	0.35%	3.94%	0.49%
Máximo	60.61%	1.70%	5.47%	2.20%

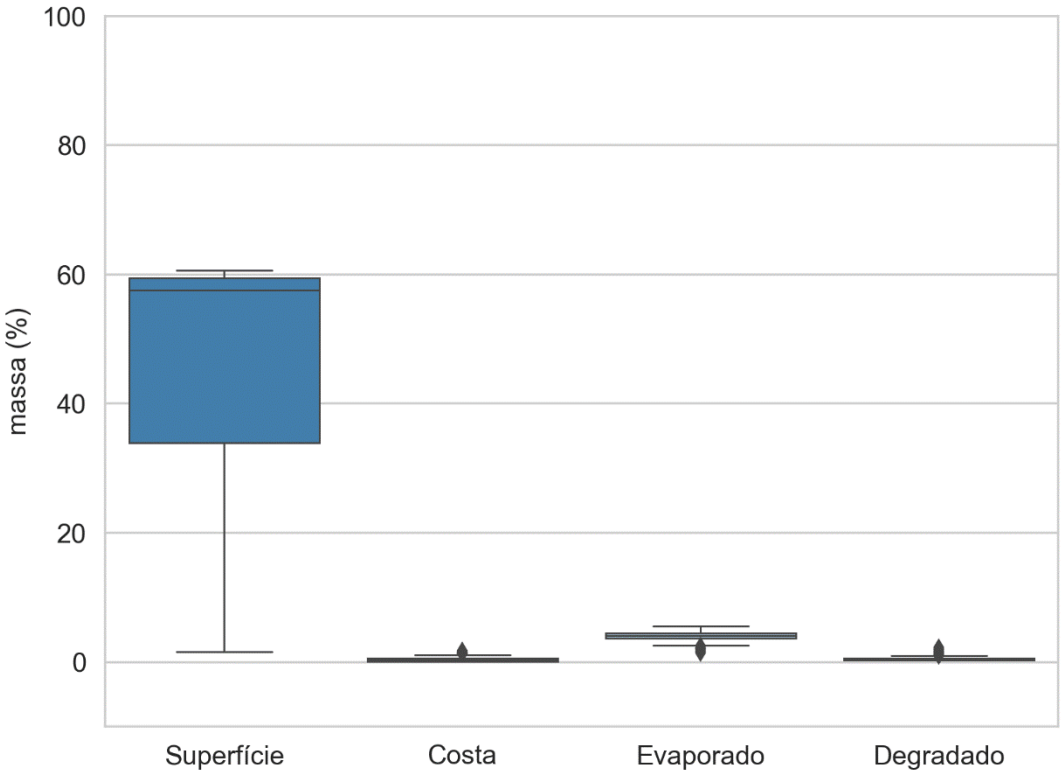


Figura 48 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

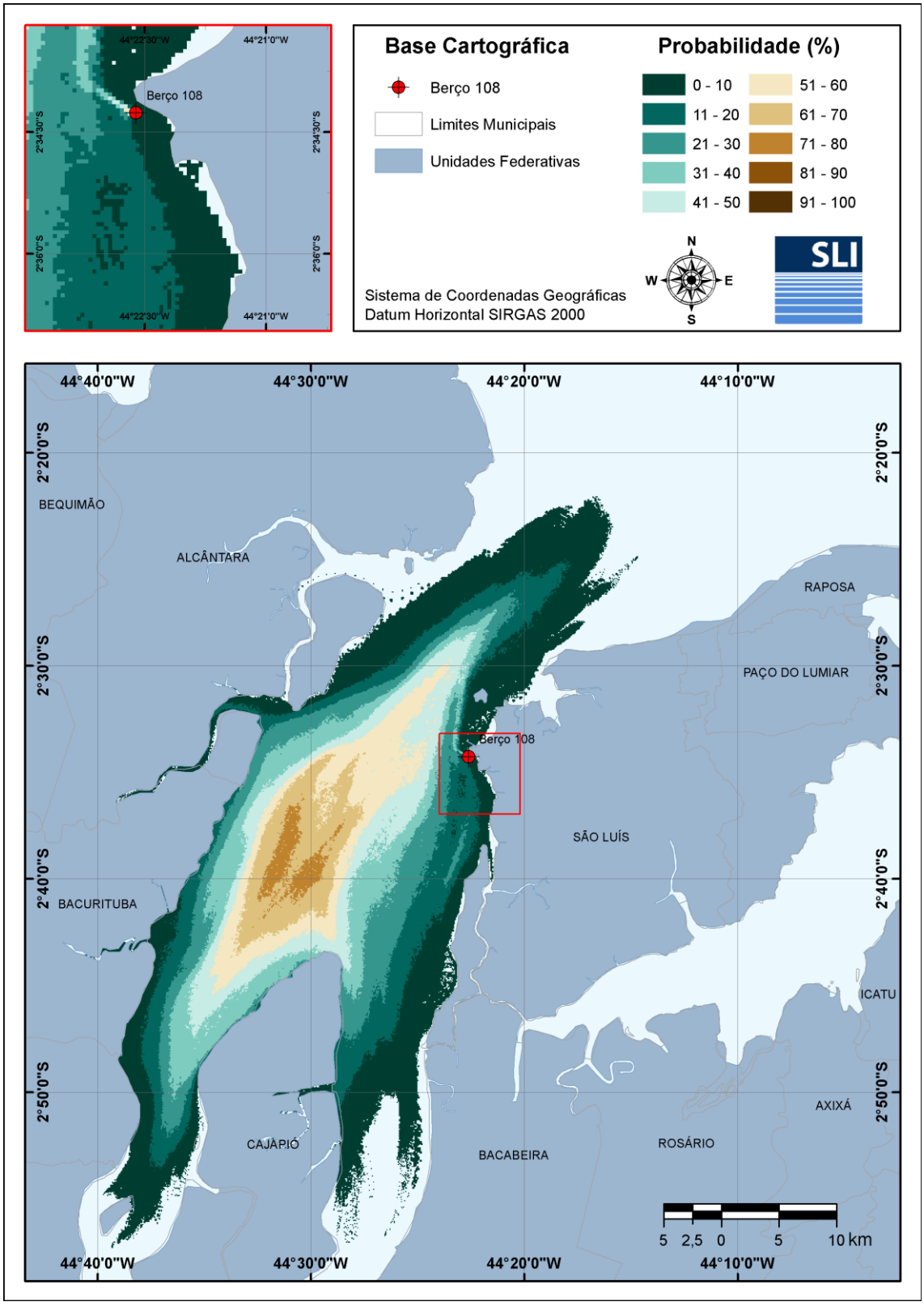


Figura 49: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

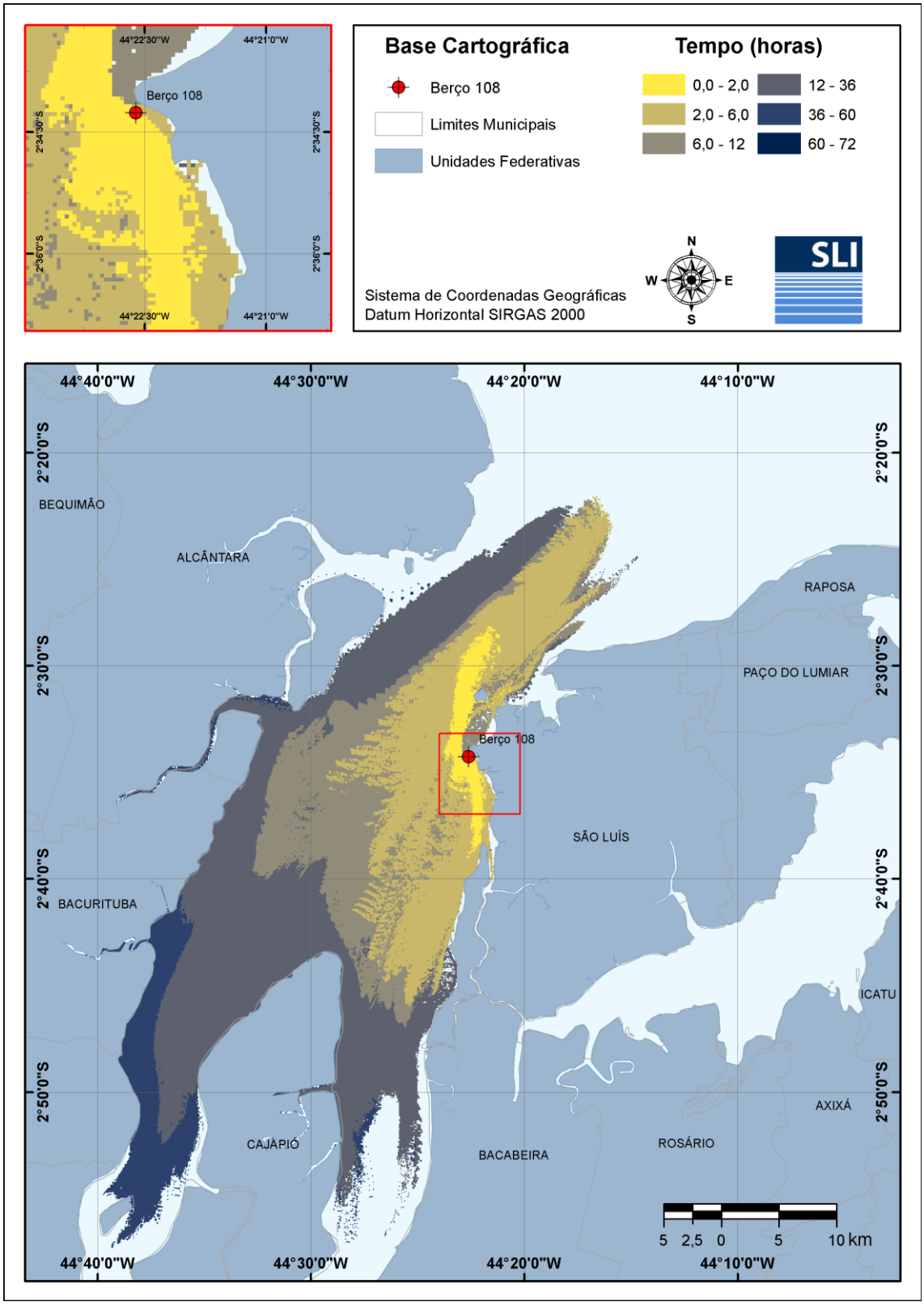


Figura 50: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

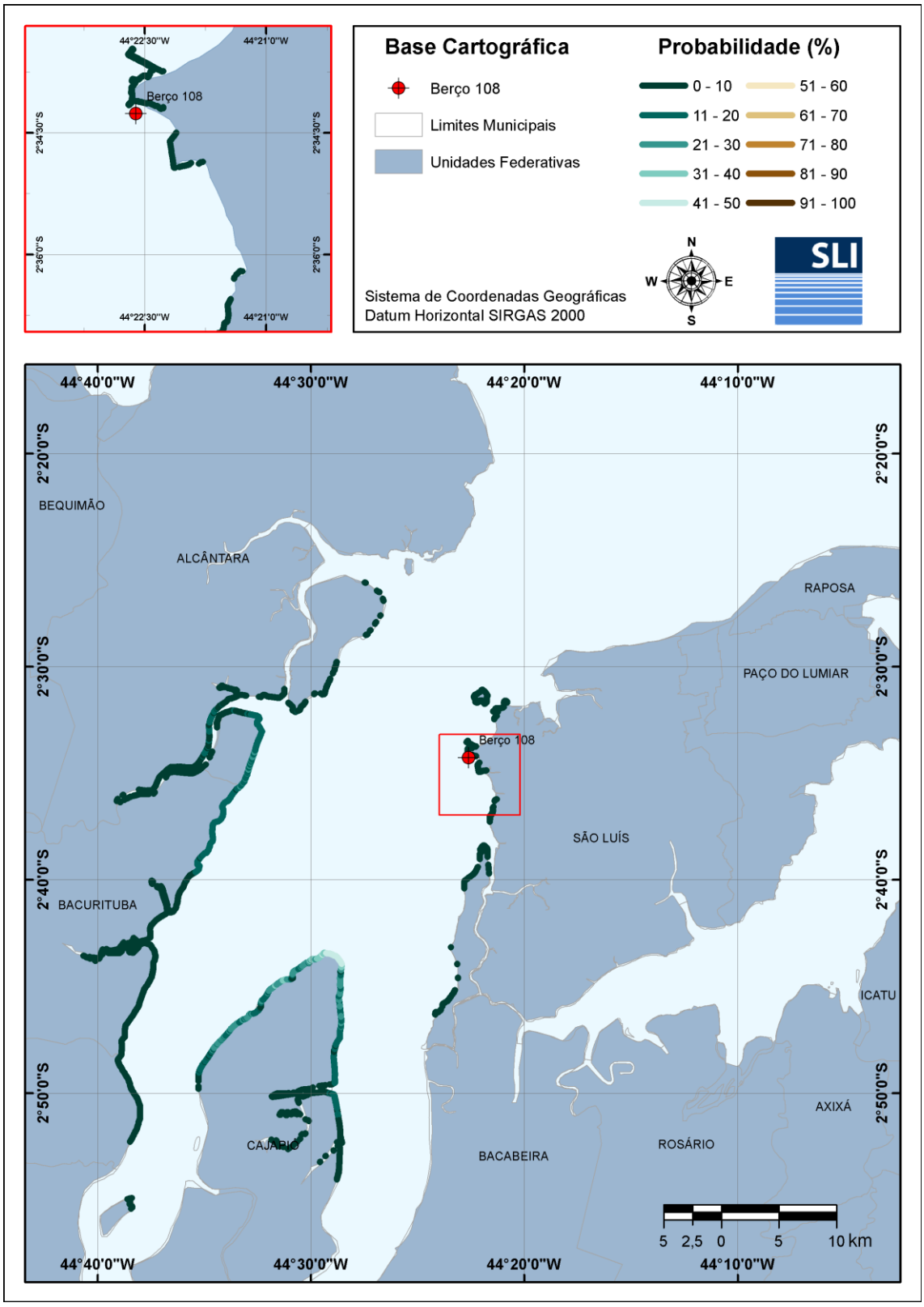


Figura 51: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

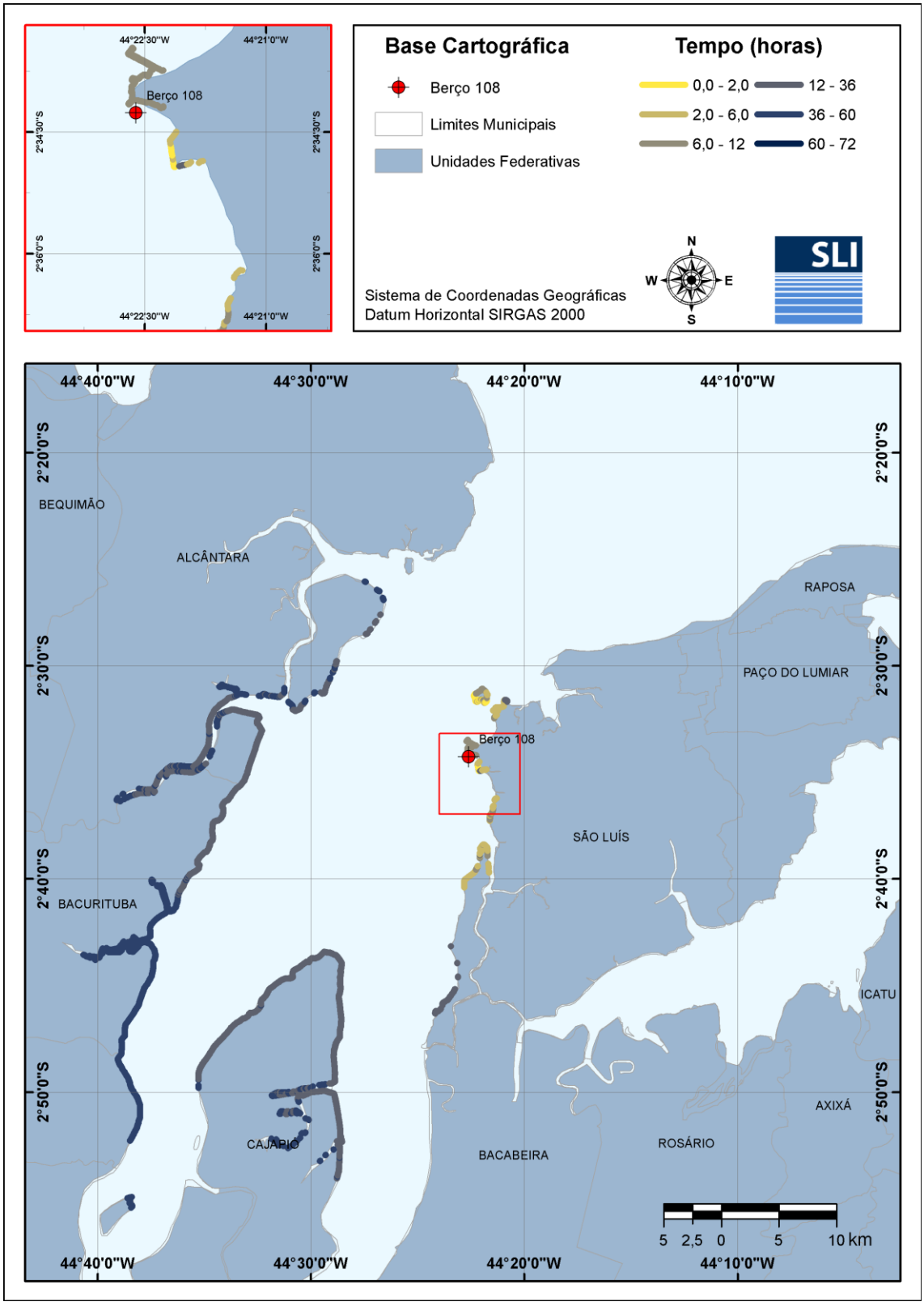


Figura 52: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

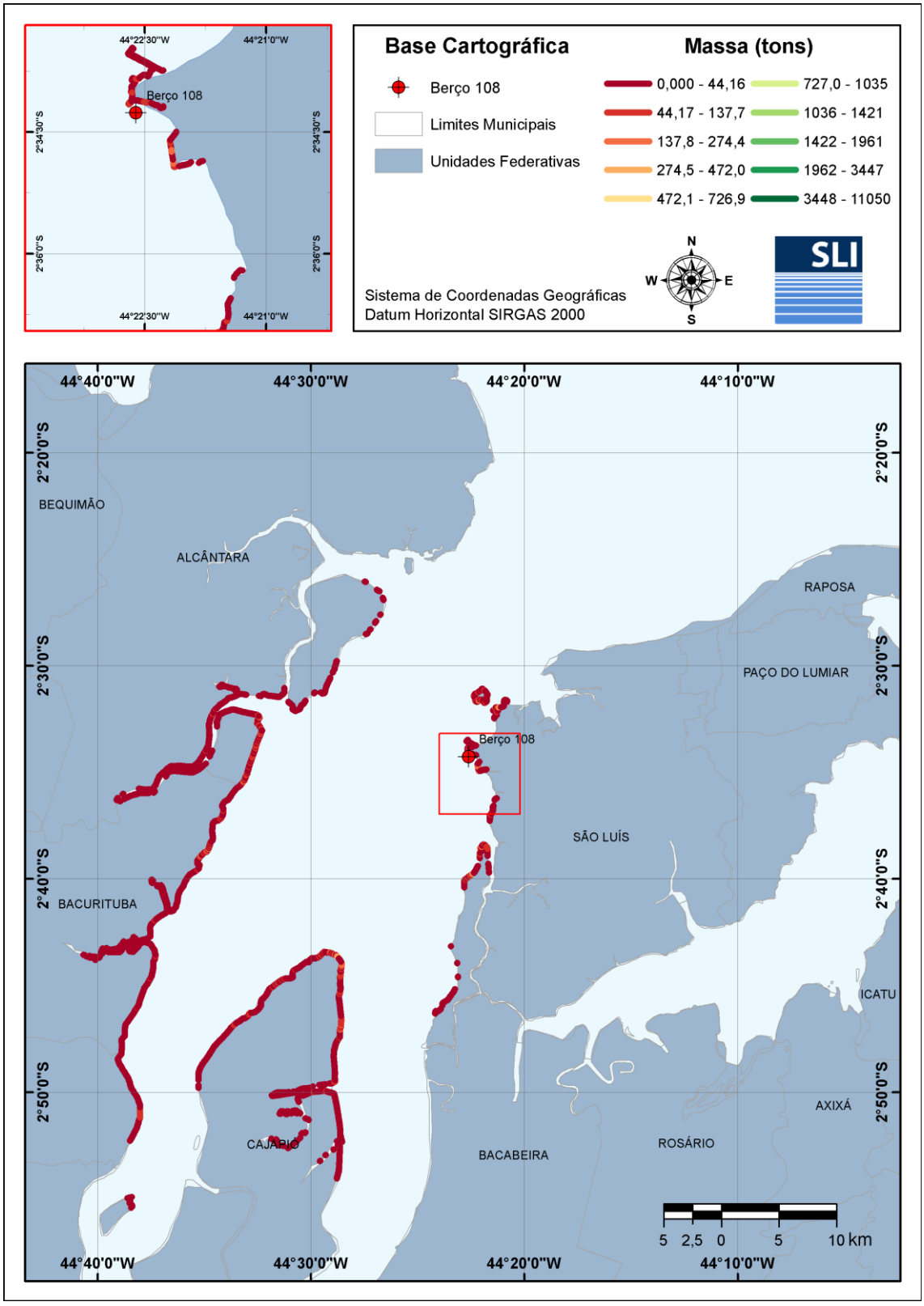


Figura 53: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 14 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.01%	0.03%	2.46%	0.32%
Médio	42.69%	1.30%	5.41%	0.60%
Máximo	68.77%	5.27%	7.50%	2.42%

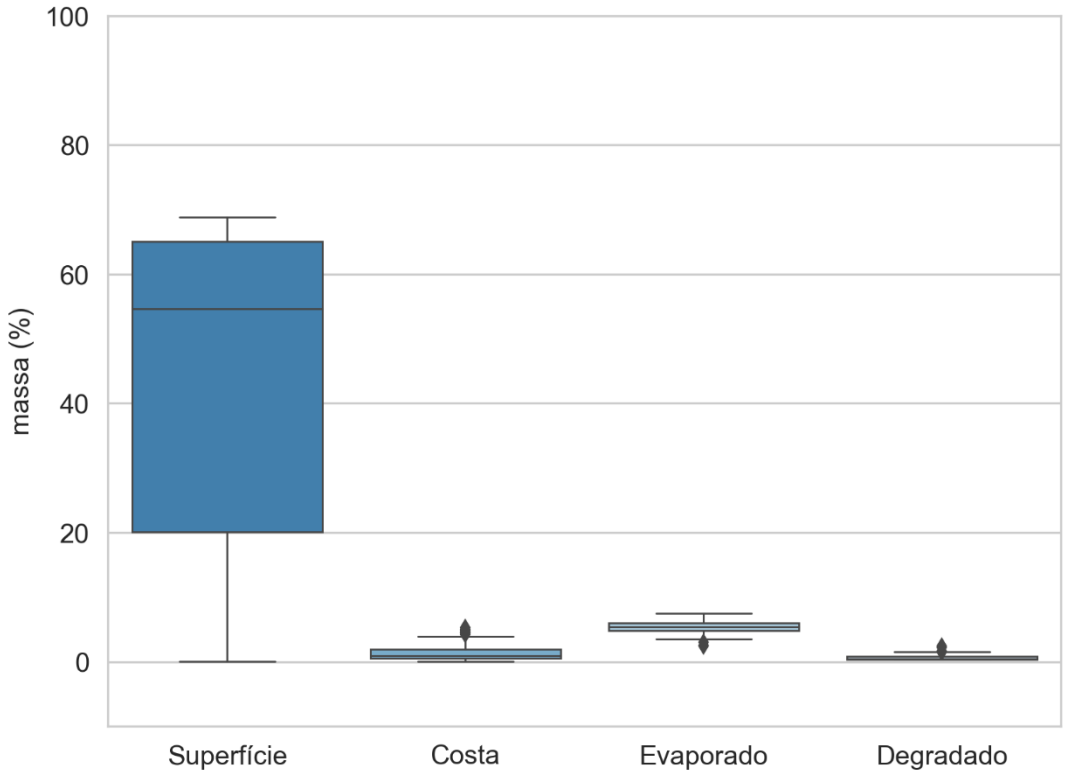


Figura 54 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

5.11.1.1.3 *Volume pequeno (8,0 m³)*

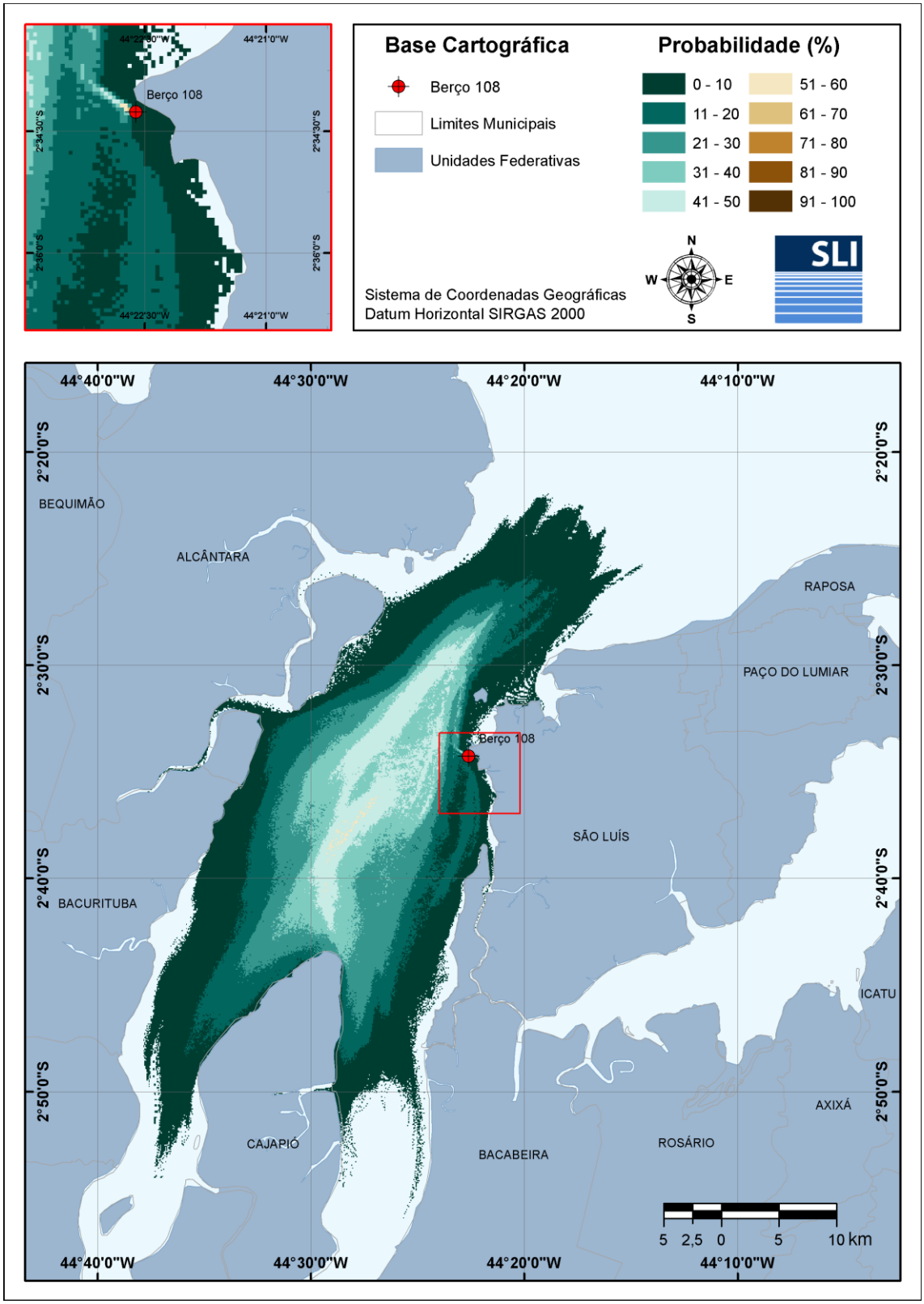


Figura 55: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

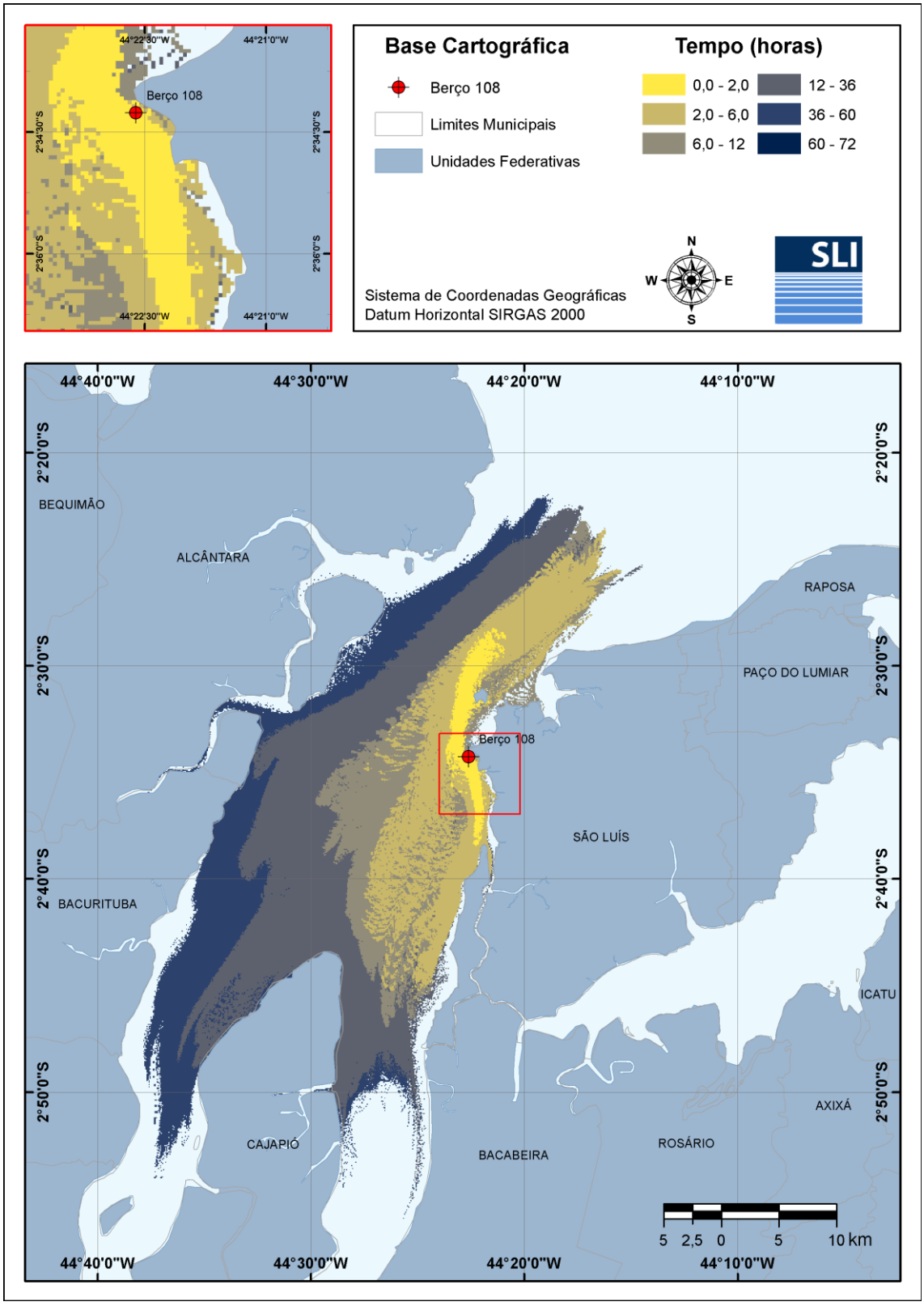


Figura 56: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

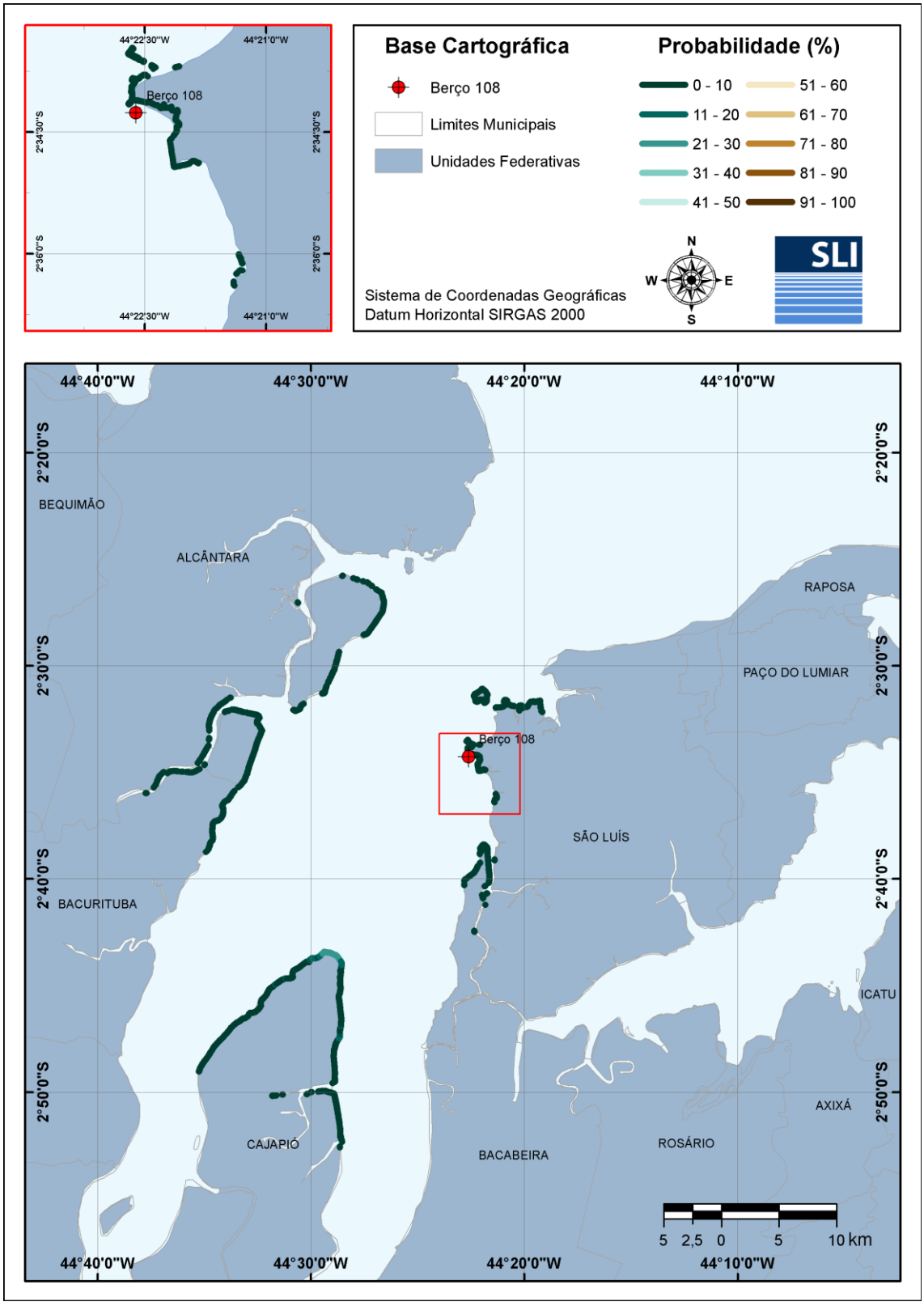


Figura 57: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

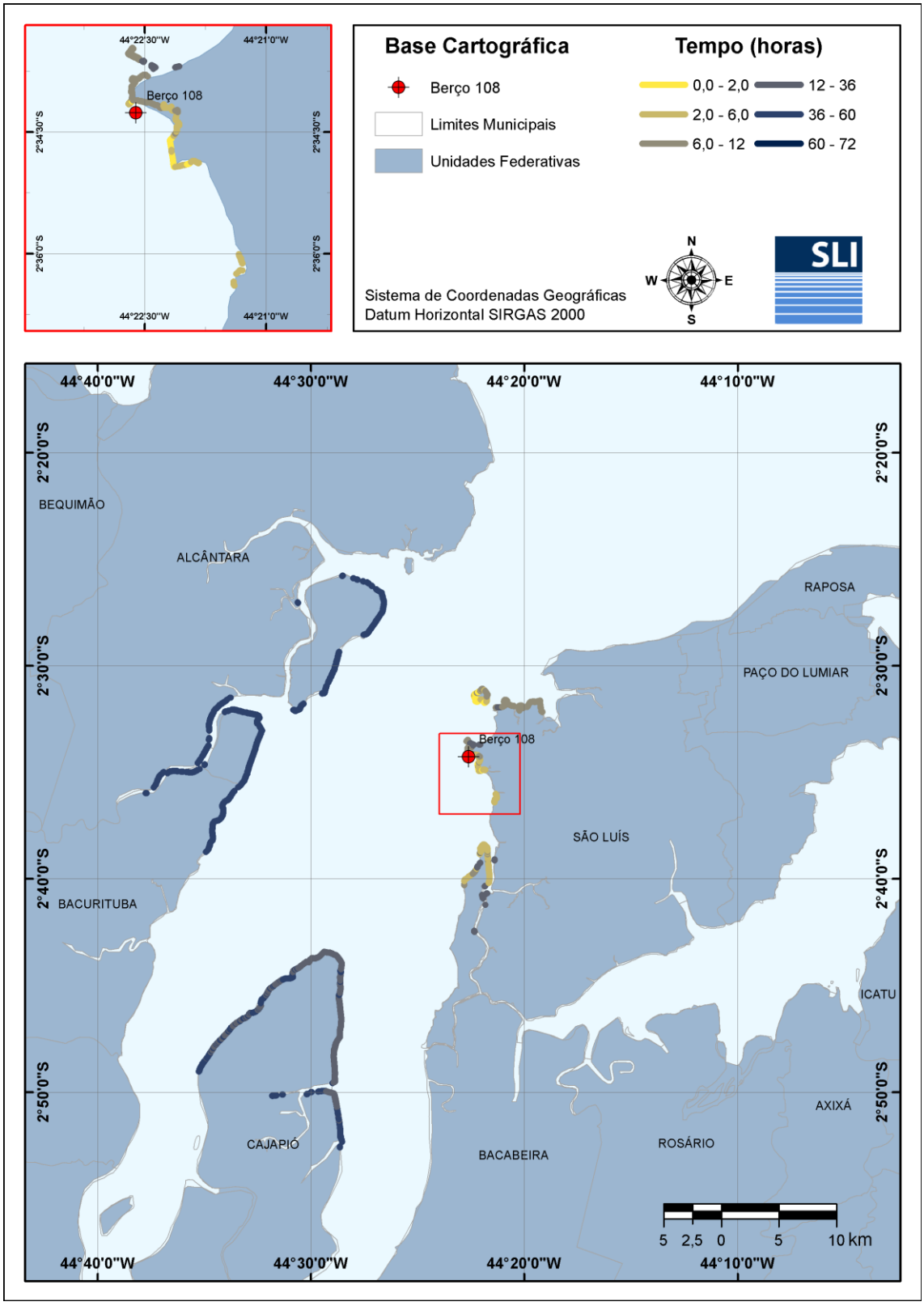


Figura 58: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

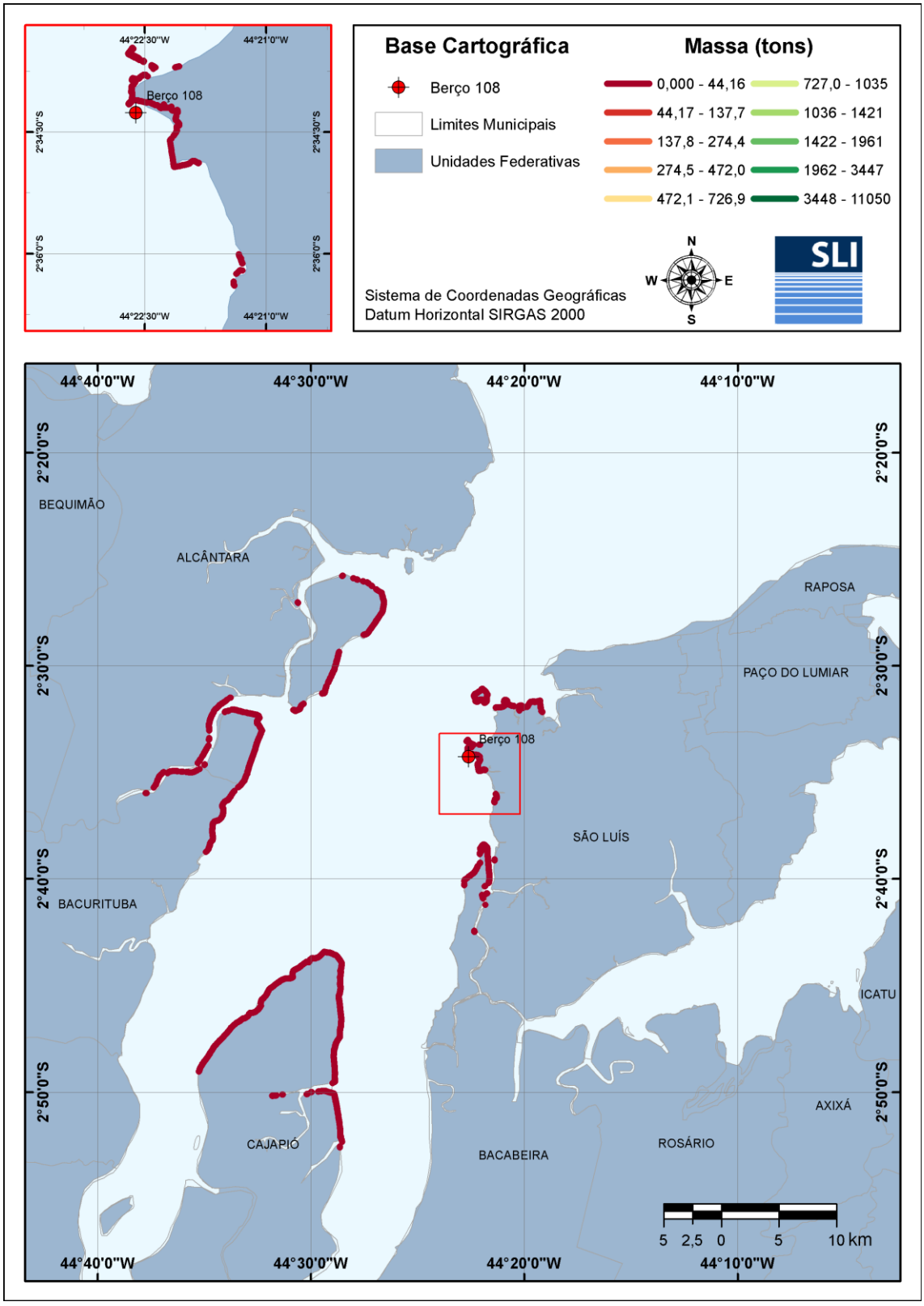


Figura 59: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 15 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.21%	0.01%	2.60%	0.25%
Médio	44.15%	0.61%	4.83%	0.41%
Máximo	53.34%	4.49%	6.10%	1.60%

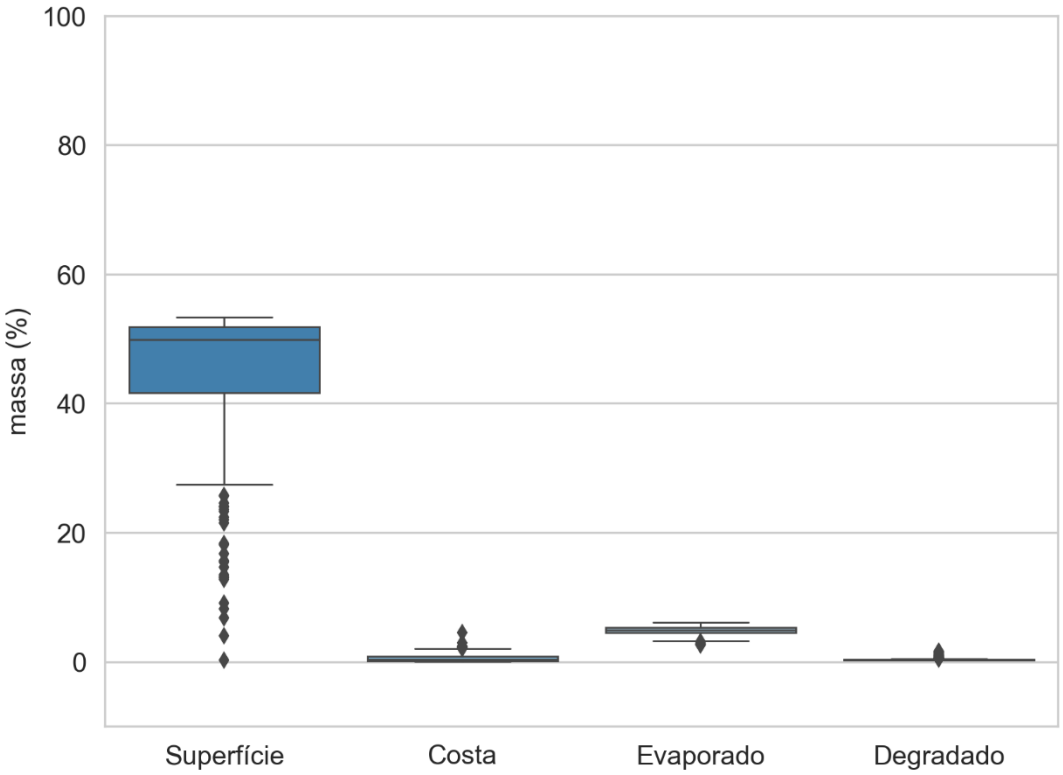


Figura 60 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

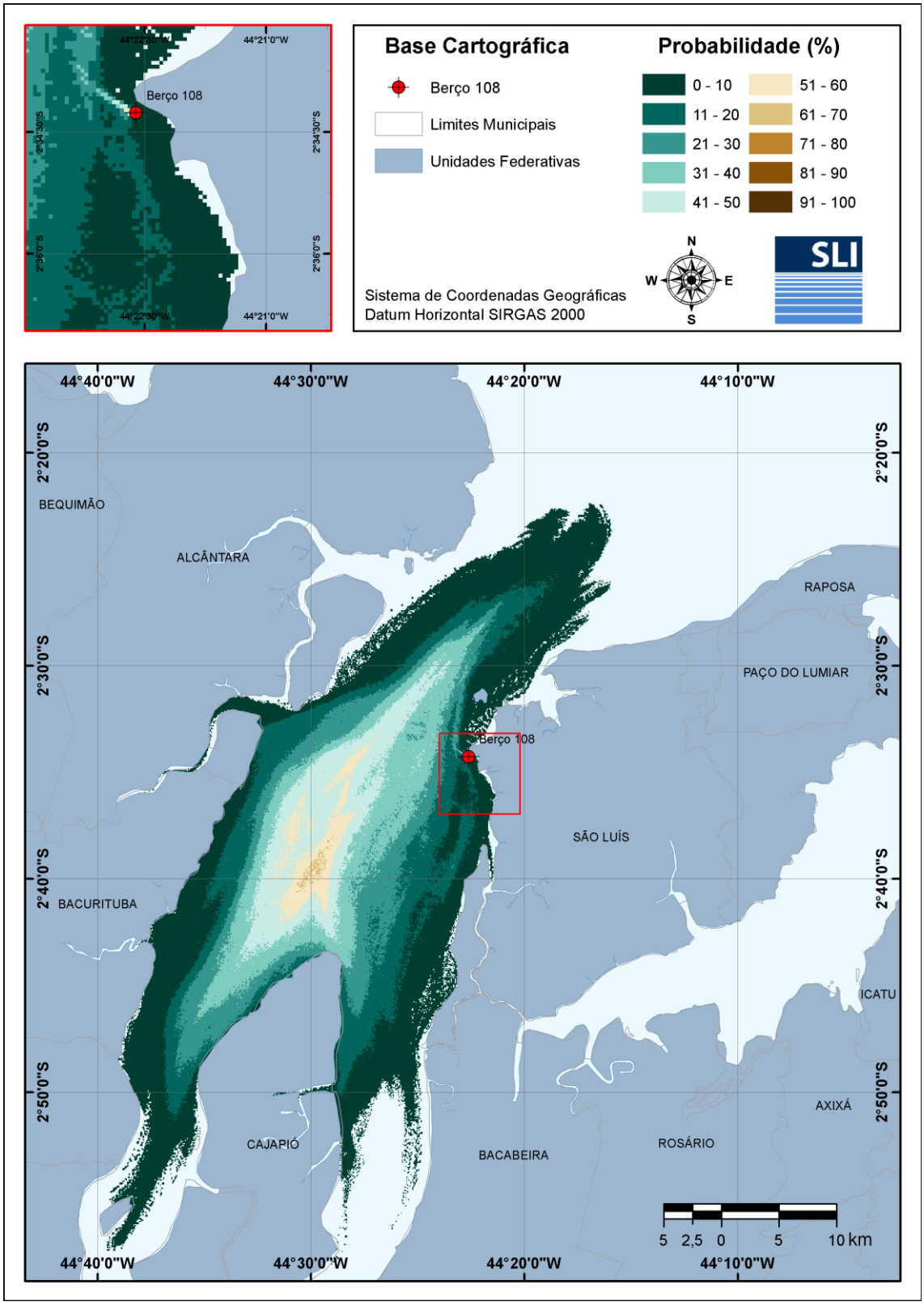


Figura 61: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

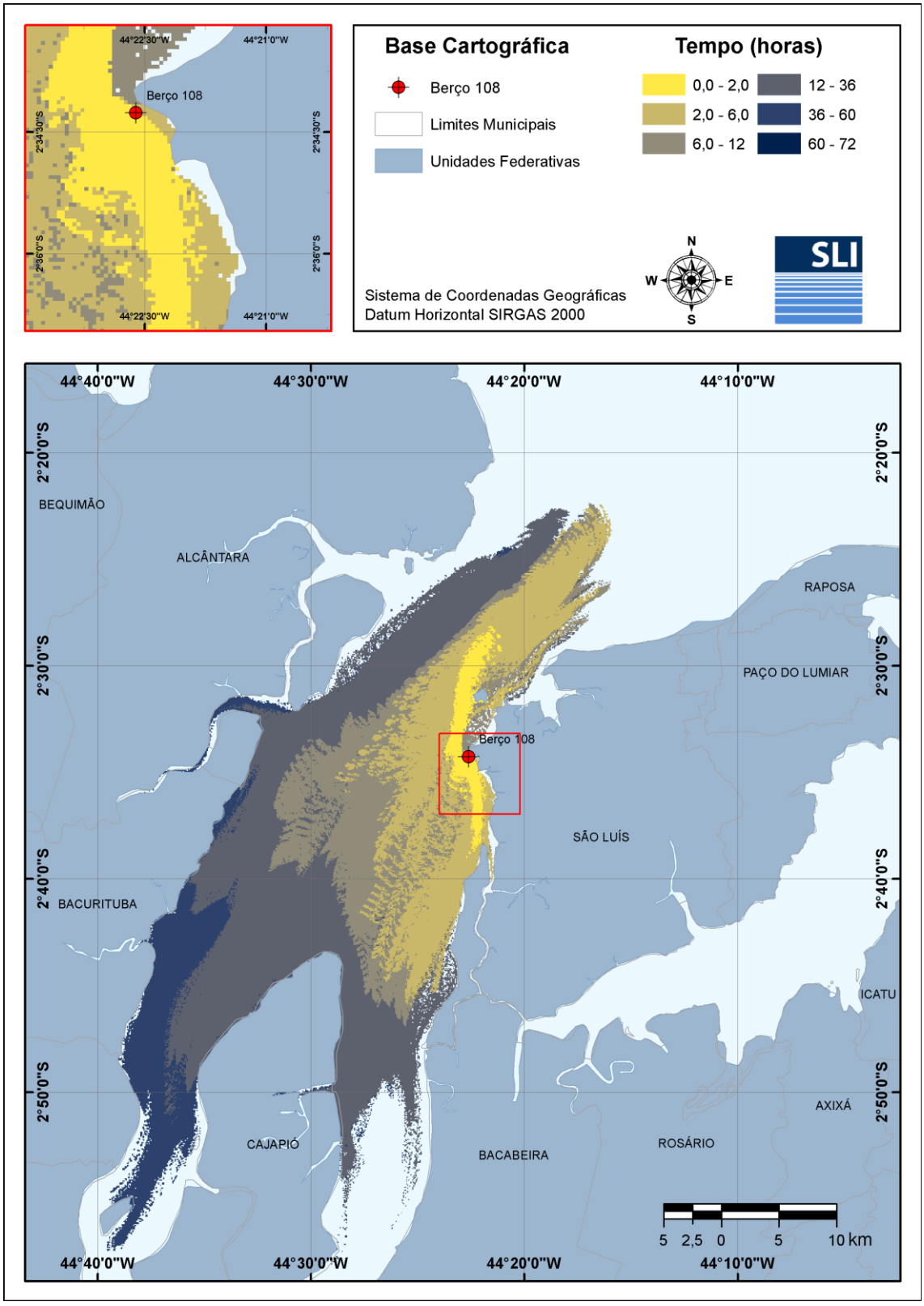


Figura 62: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

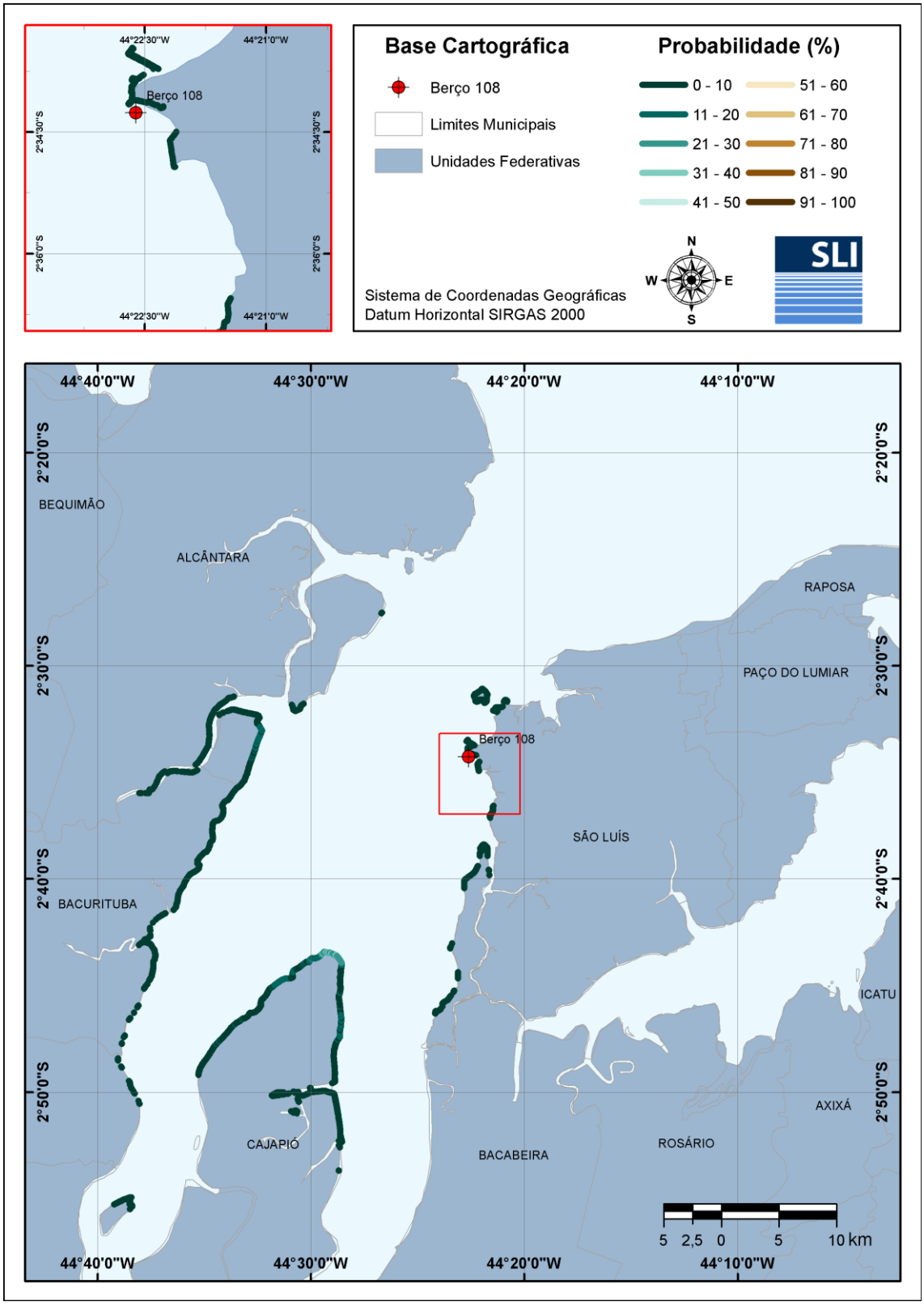


Figura 63: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

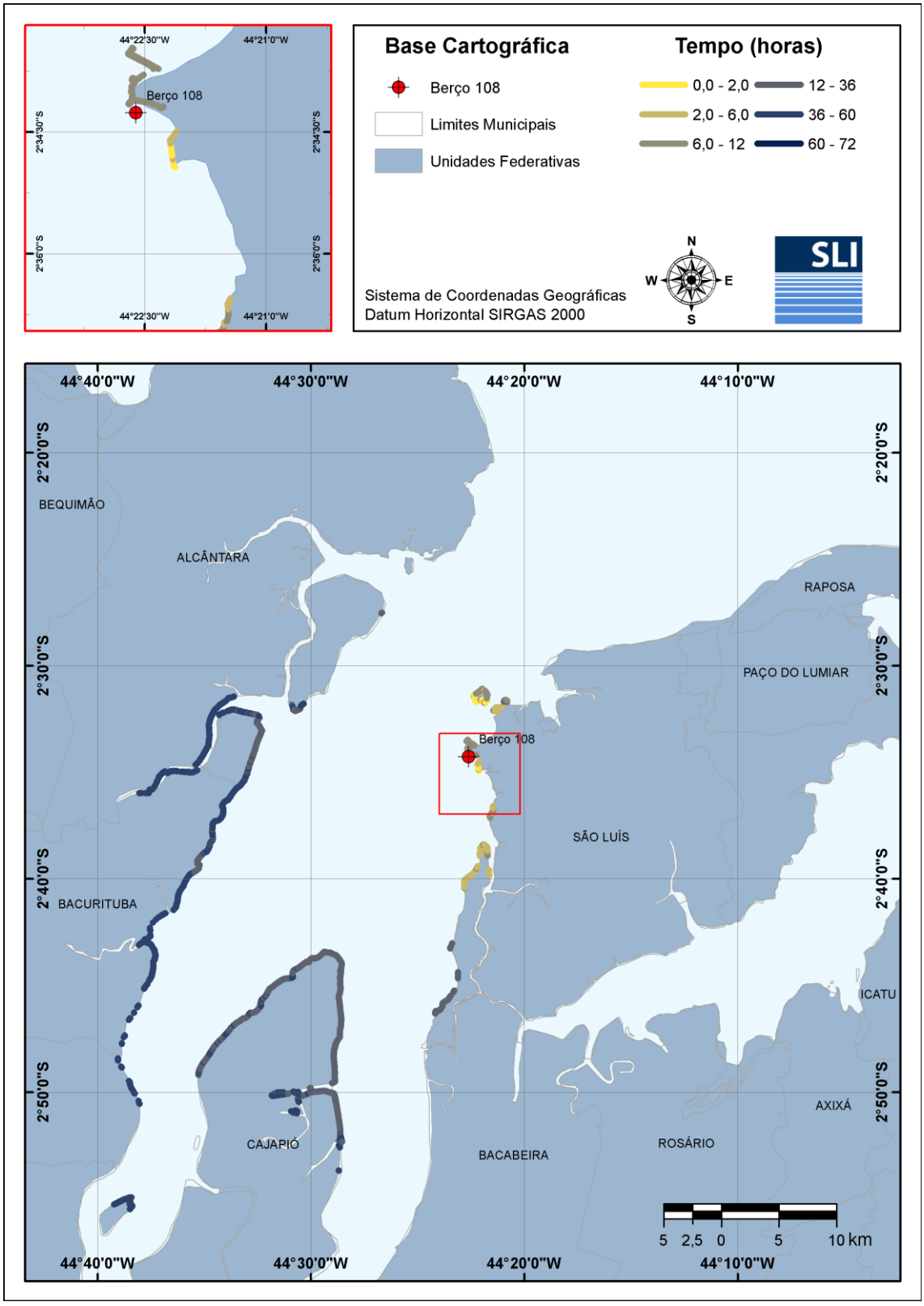


Figura 64: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

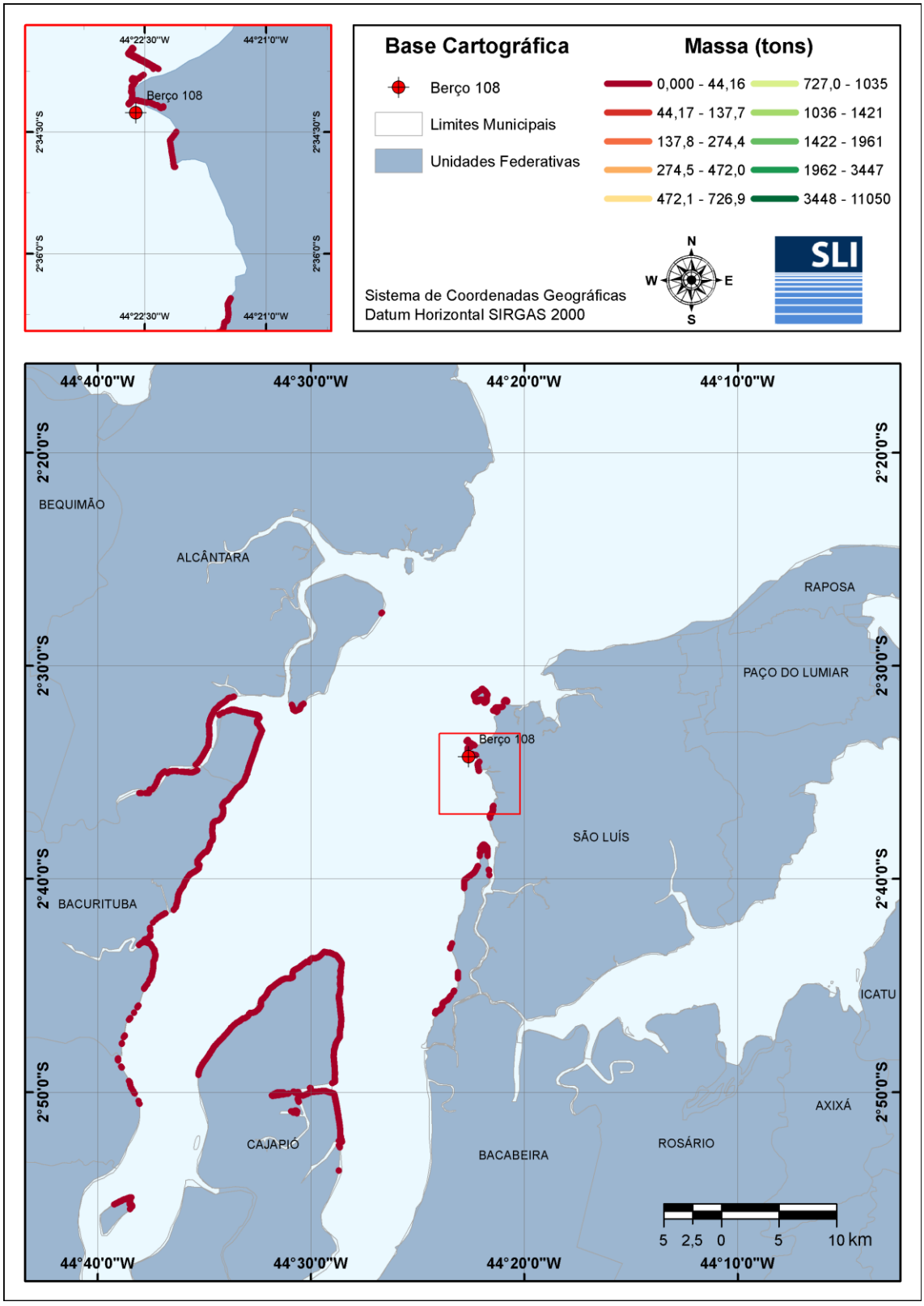


Figura 65: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 16 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.07%	3.88%	0.30%
Médio	41.48%	2.02%	6.05%	0.45%
Máximo	55.81%	7.69%	7.20%	1.52%

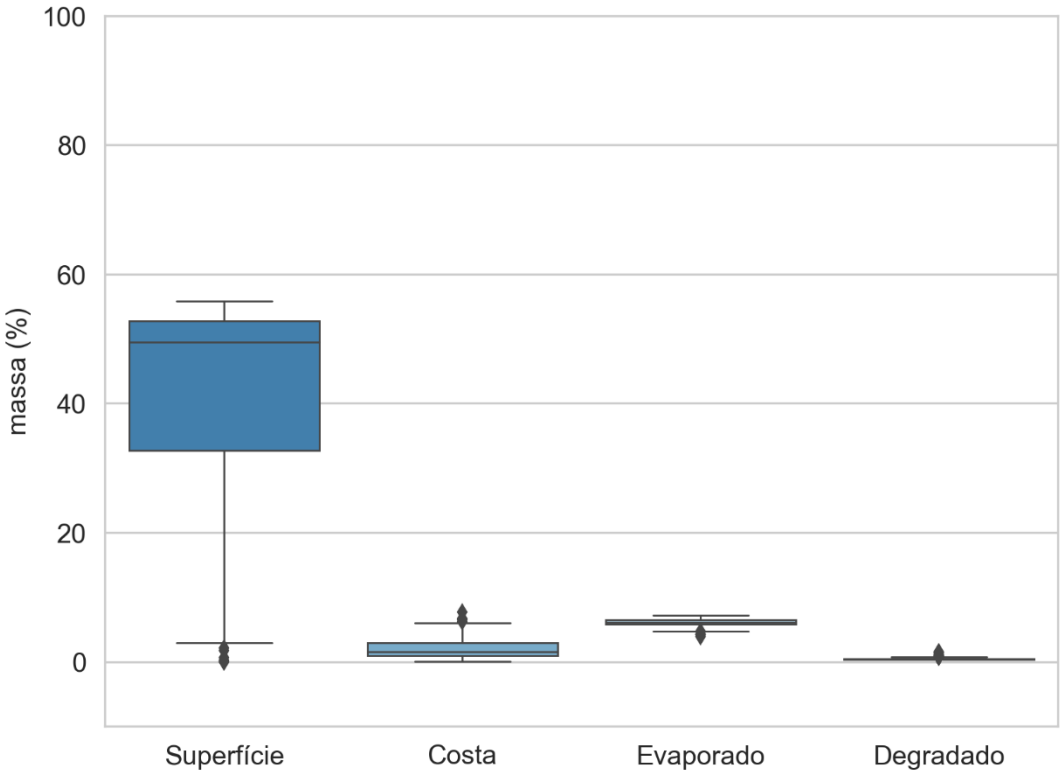


Figura 66 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo combustível Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

5.11.1.2 Óleo Diesel

Tabela 17 - Resumo dos resultados probabilísticos para o Berço 108 com o produto Óleo Diesel.

PONTO	PERÍODO	VOLUME	PARÂMETRO	VALORES	MUNICÍPIOS	UF
B108OD	CHEIA	8	Prob. (%)	41.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	8.22	SÃO LUÍS	MA
		200	Prob. (%)	41.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	8.22	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	59.50	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	7.96	SÃO LUÍS	MA
	SECA	8	Prob. (%)	46.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5.38	SÃO LUÍS	MA
		200	Prob. (%)	46.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5.38	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	60.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	1.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	5.62	SÃO LUÍS	MA

5.11.1.2.1 *Volume de Pior Caso (10.000,0 m³)*

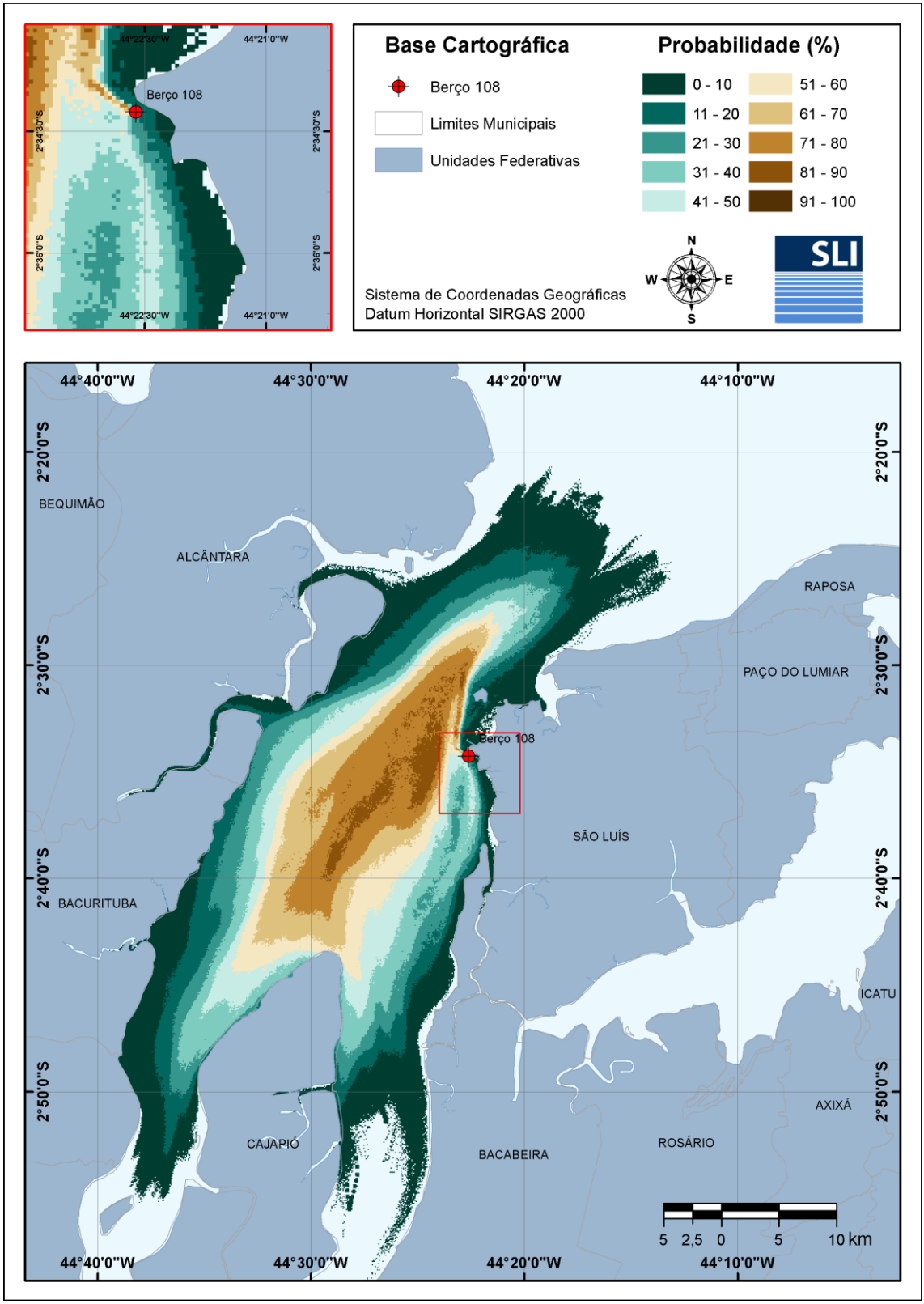


Figura 67: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

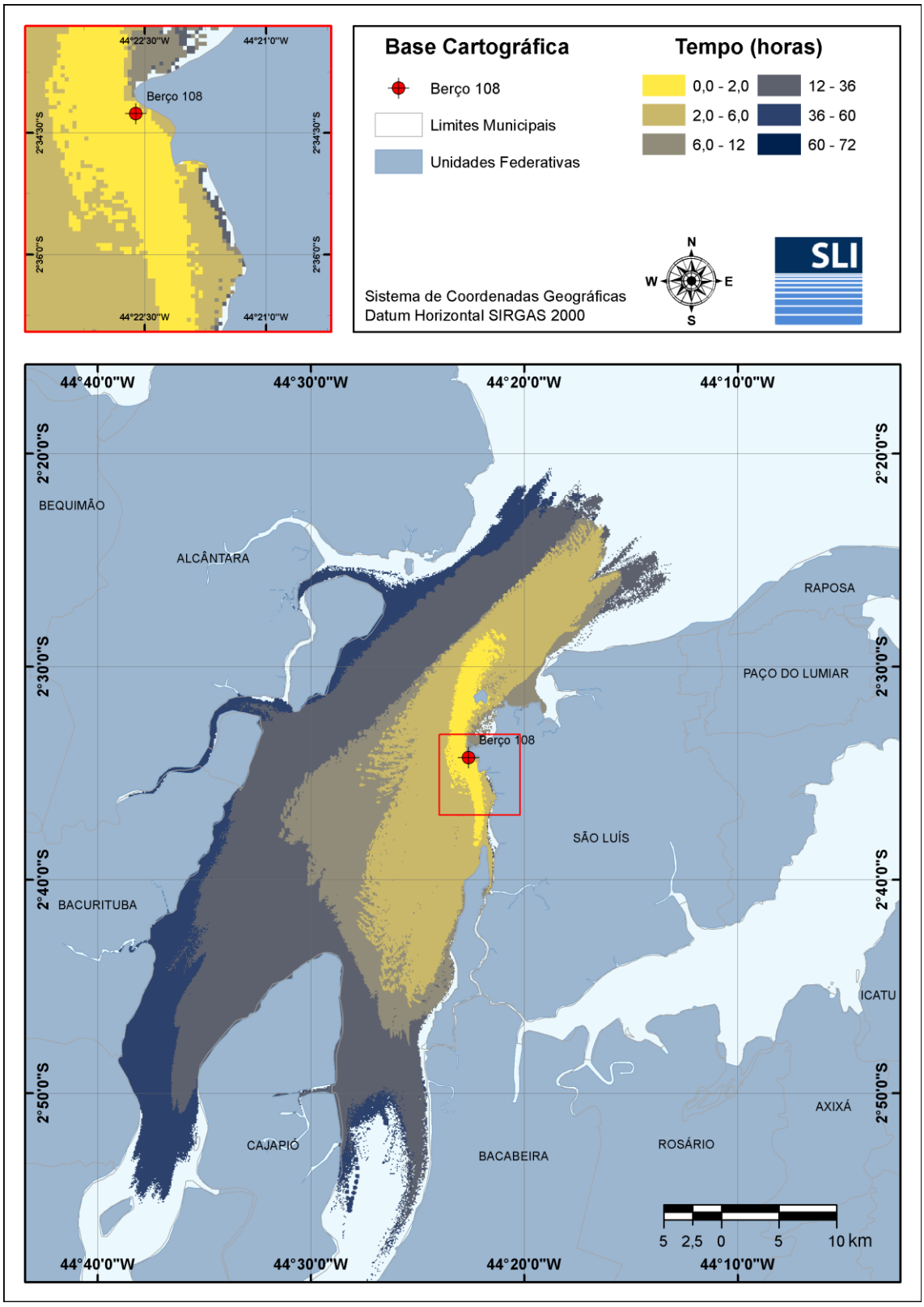


Figura 68: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

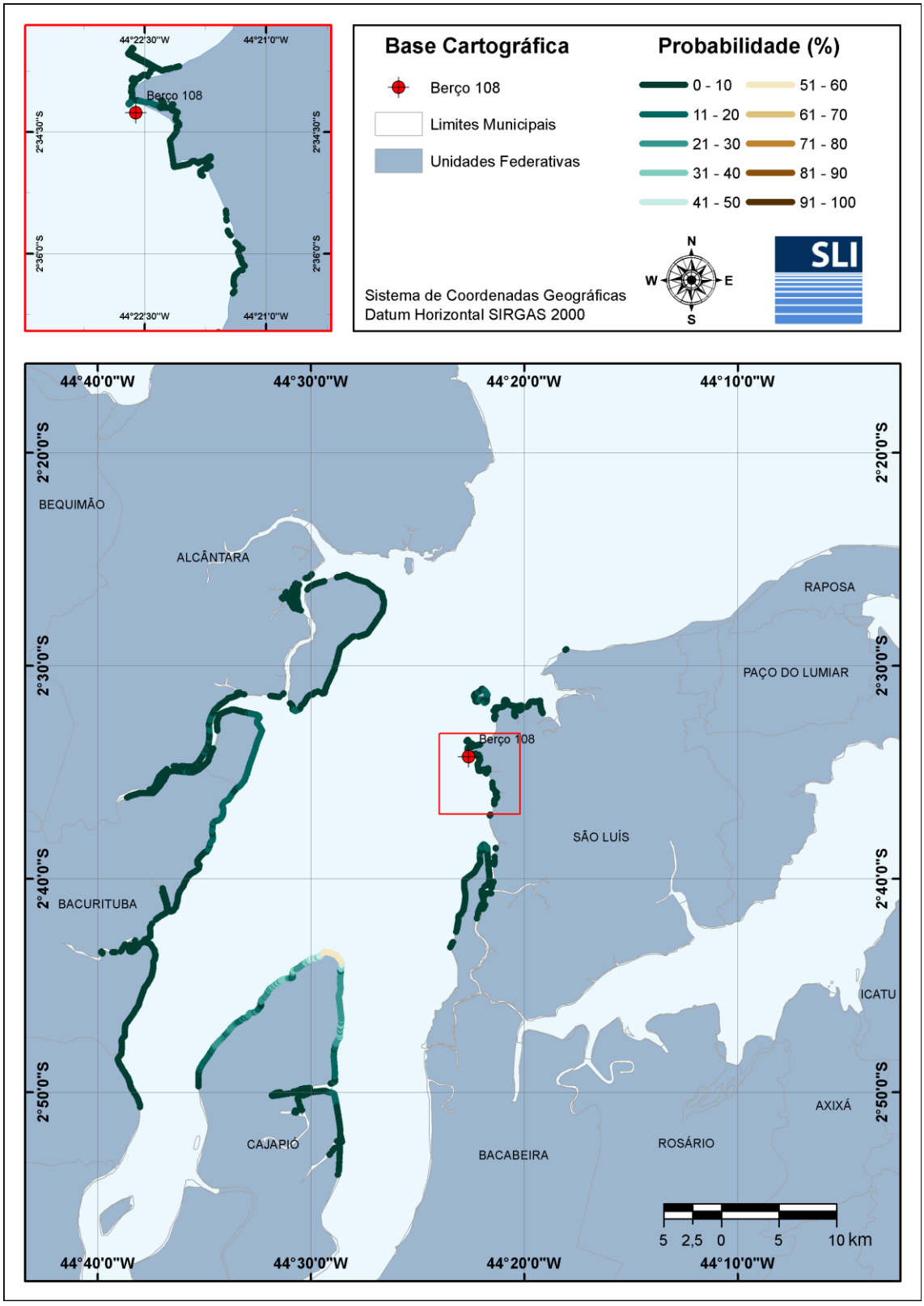


Figura 69: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

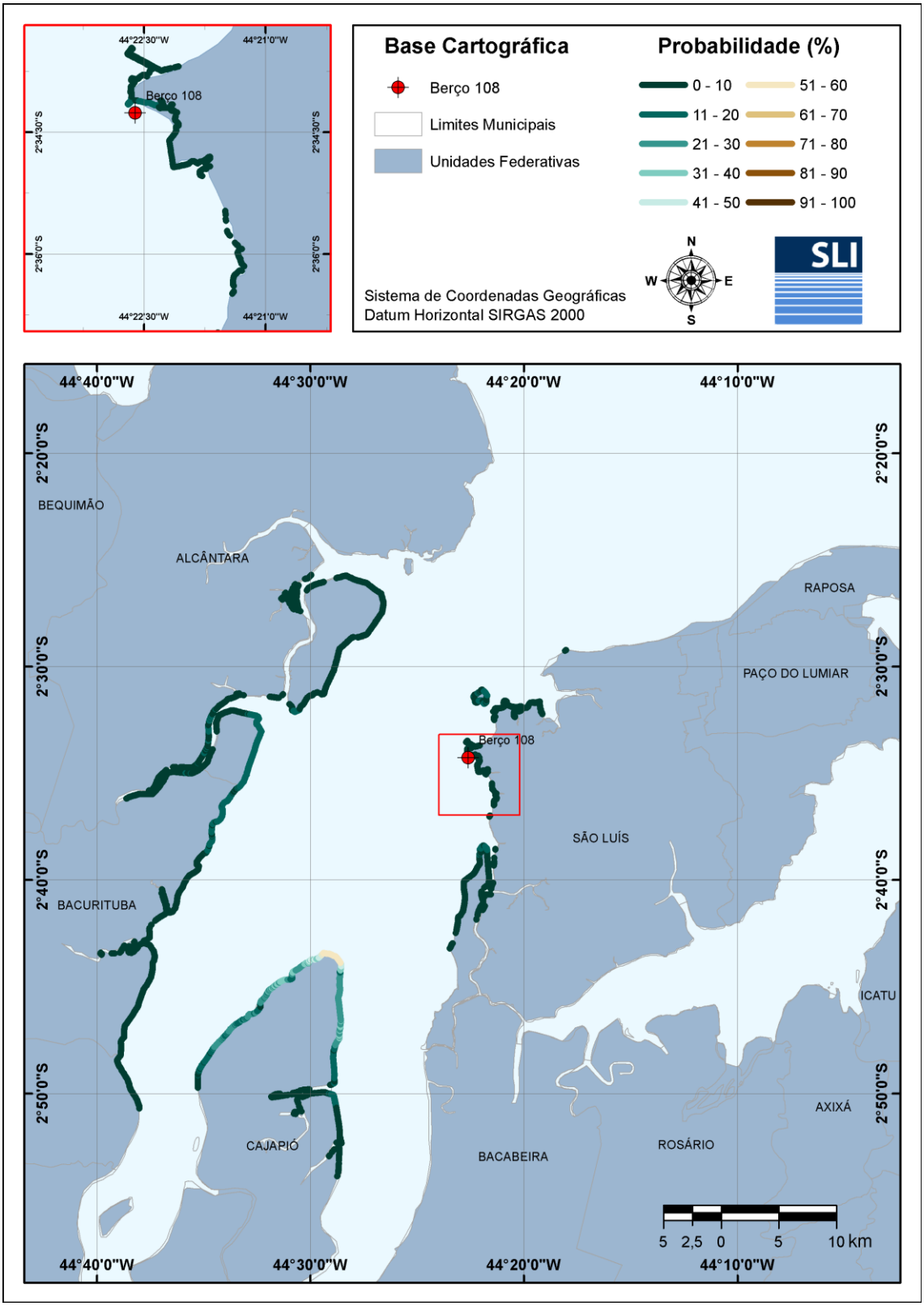


Figura 70: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

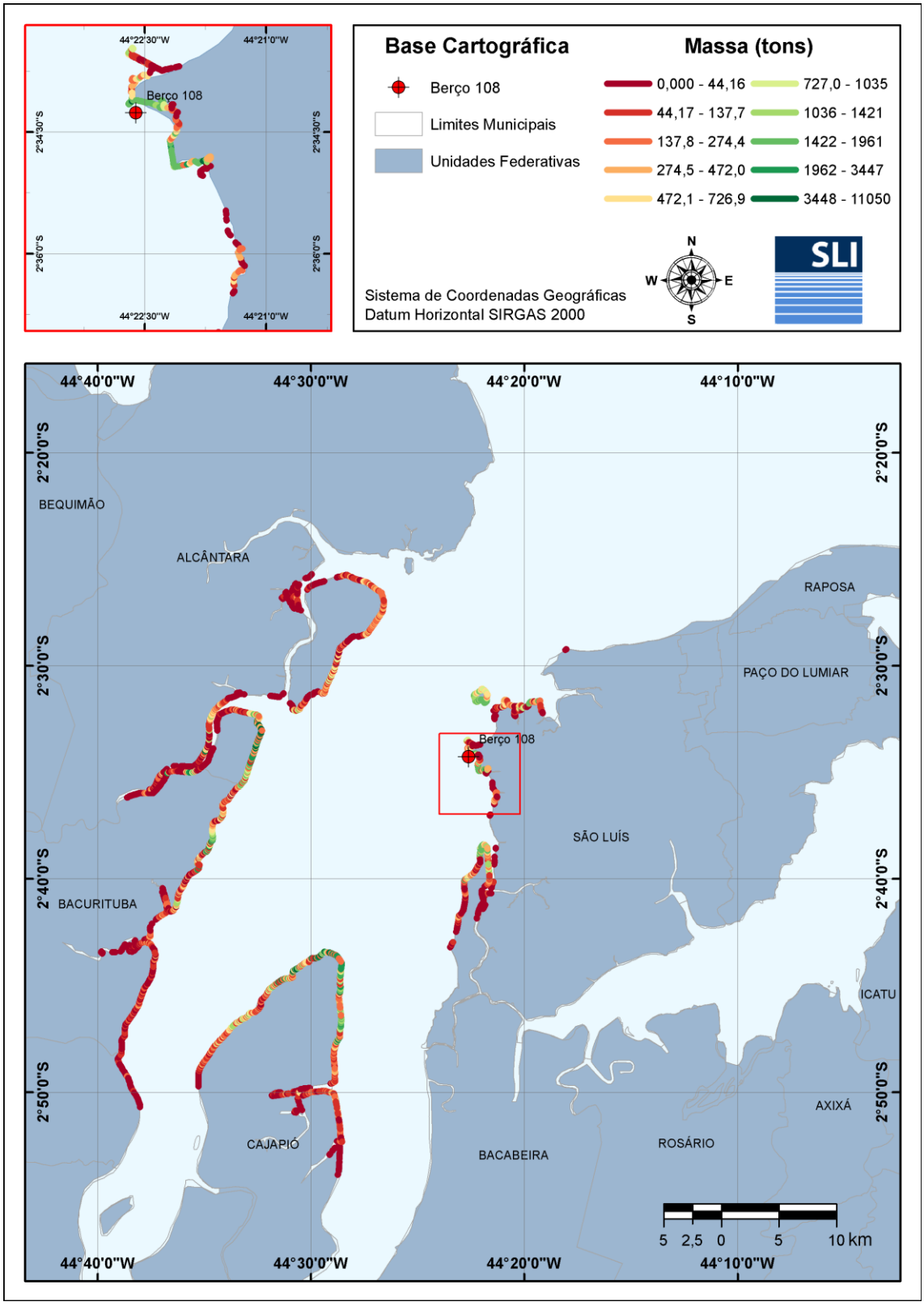


Figura 71: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 18 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.86%	0.02%	10.61%	0.37%
Médio	32.88%	0.22%	16.17%	0.73%
Máximo	45.86%	1.21%	19.69%	2.81%

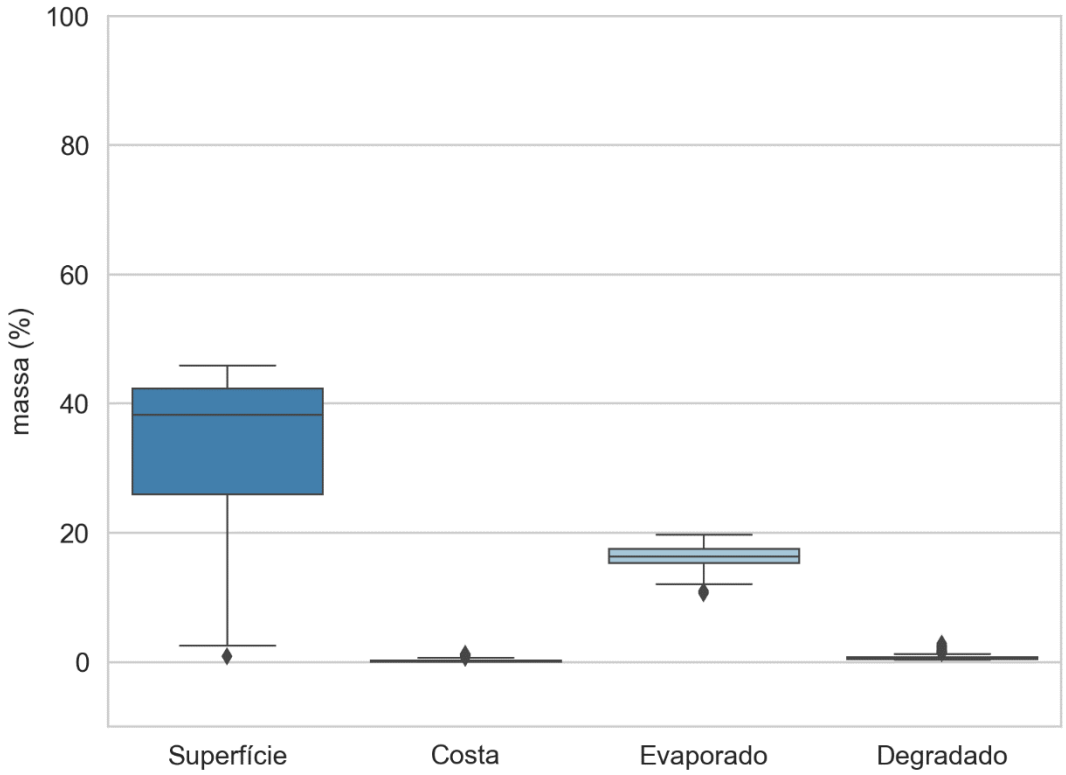


Figura 72 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

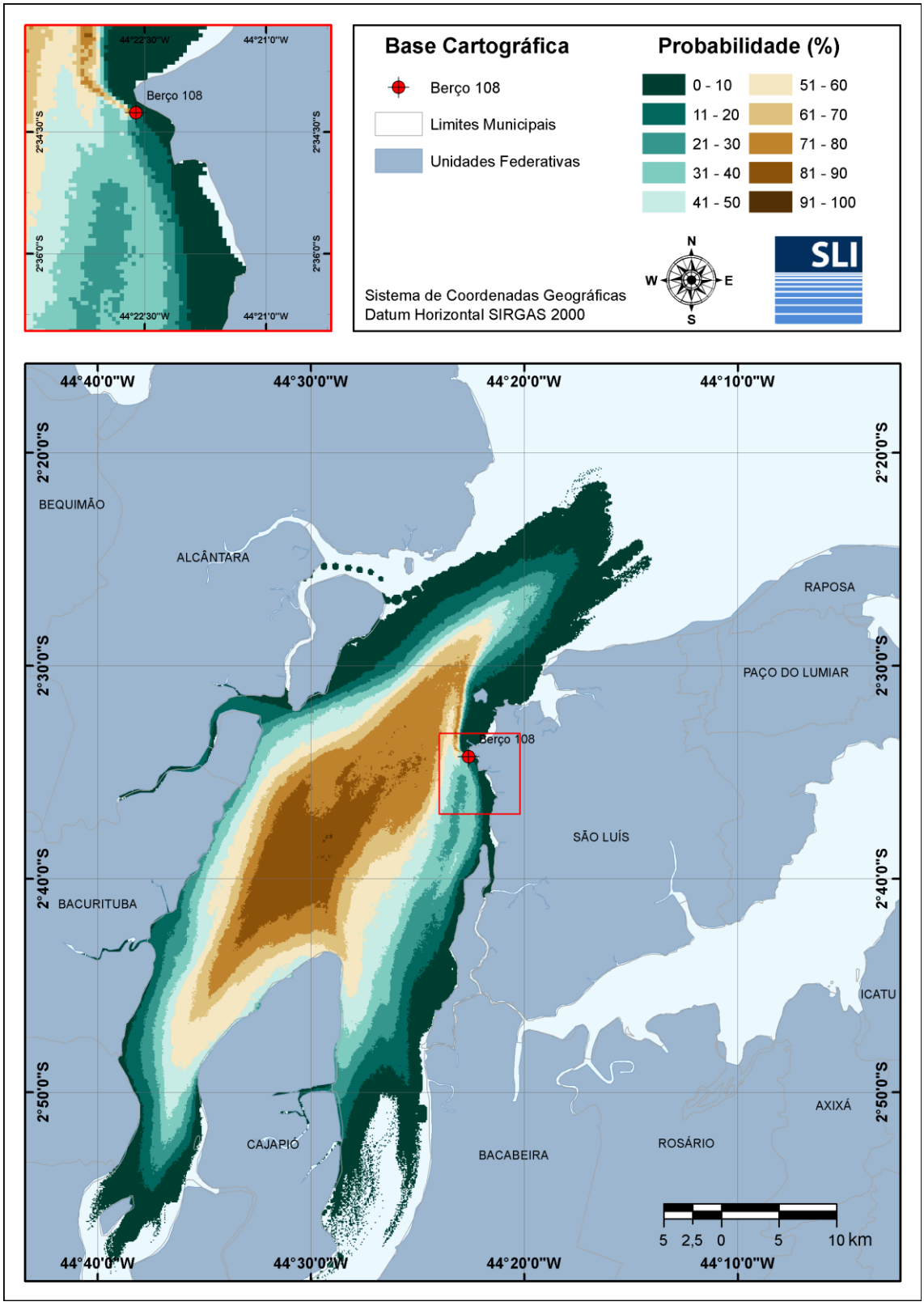


Figura 73: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

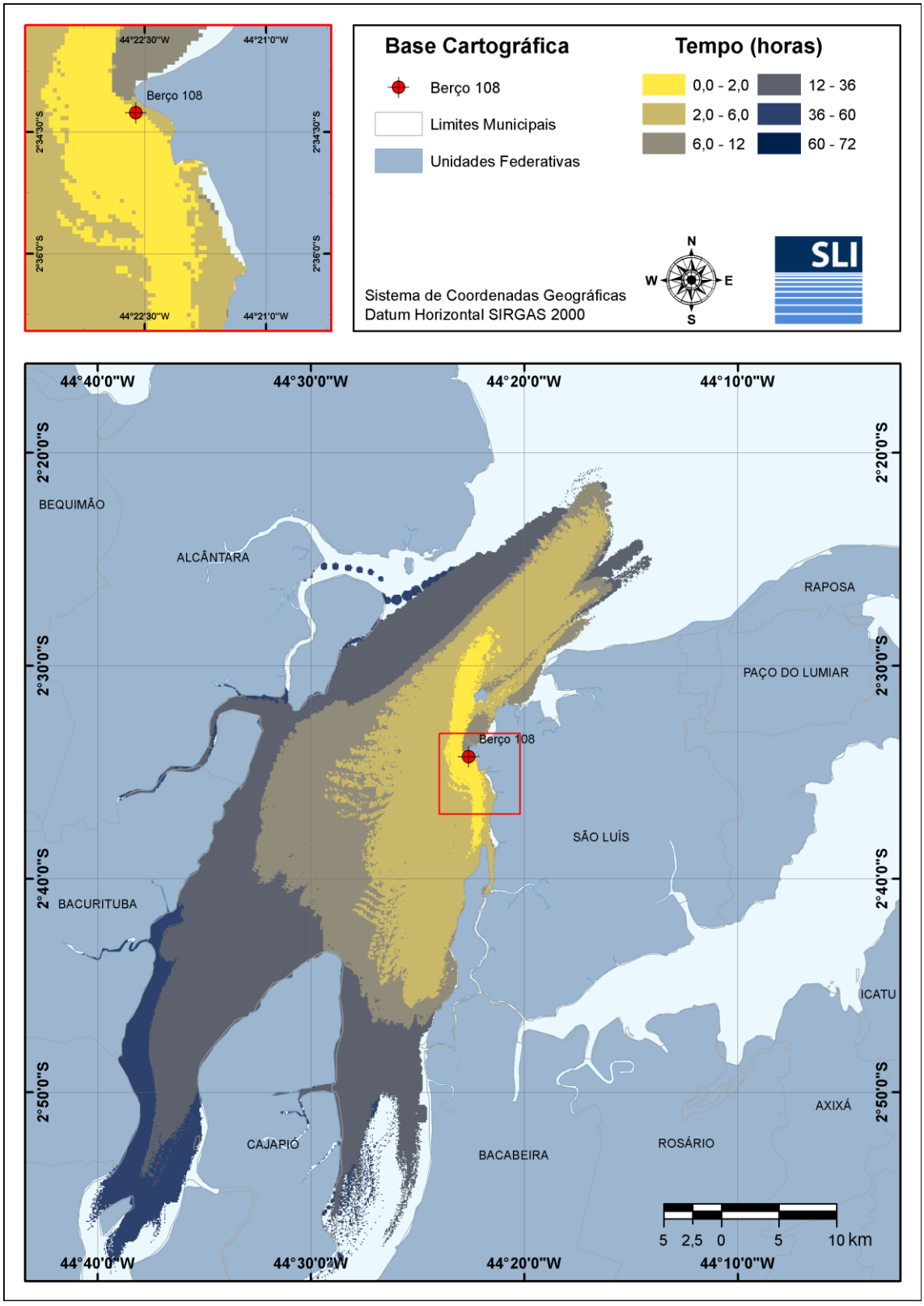


Figura 74: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

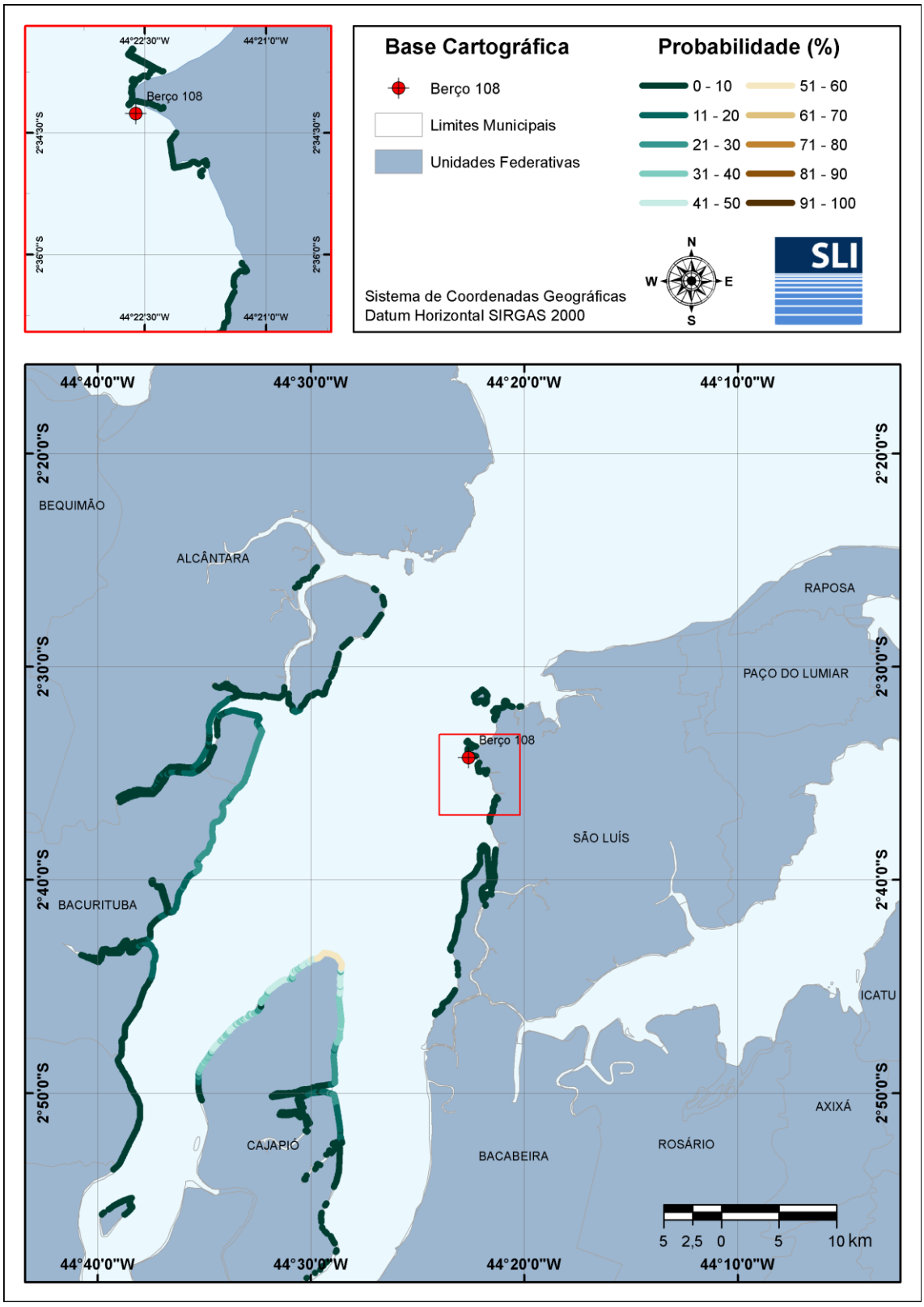


Figura 75: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

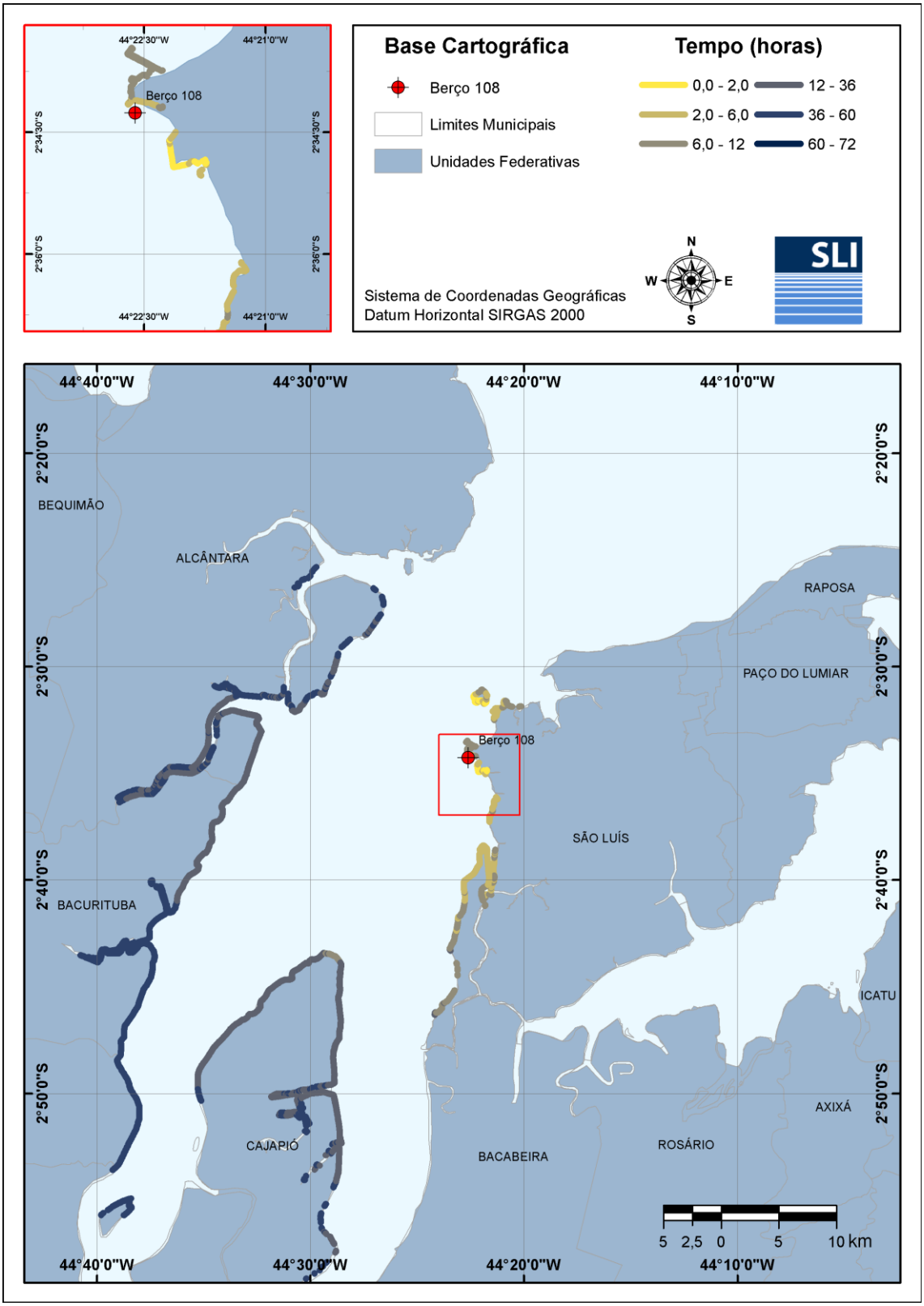


Figura 76: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

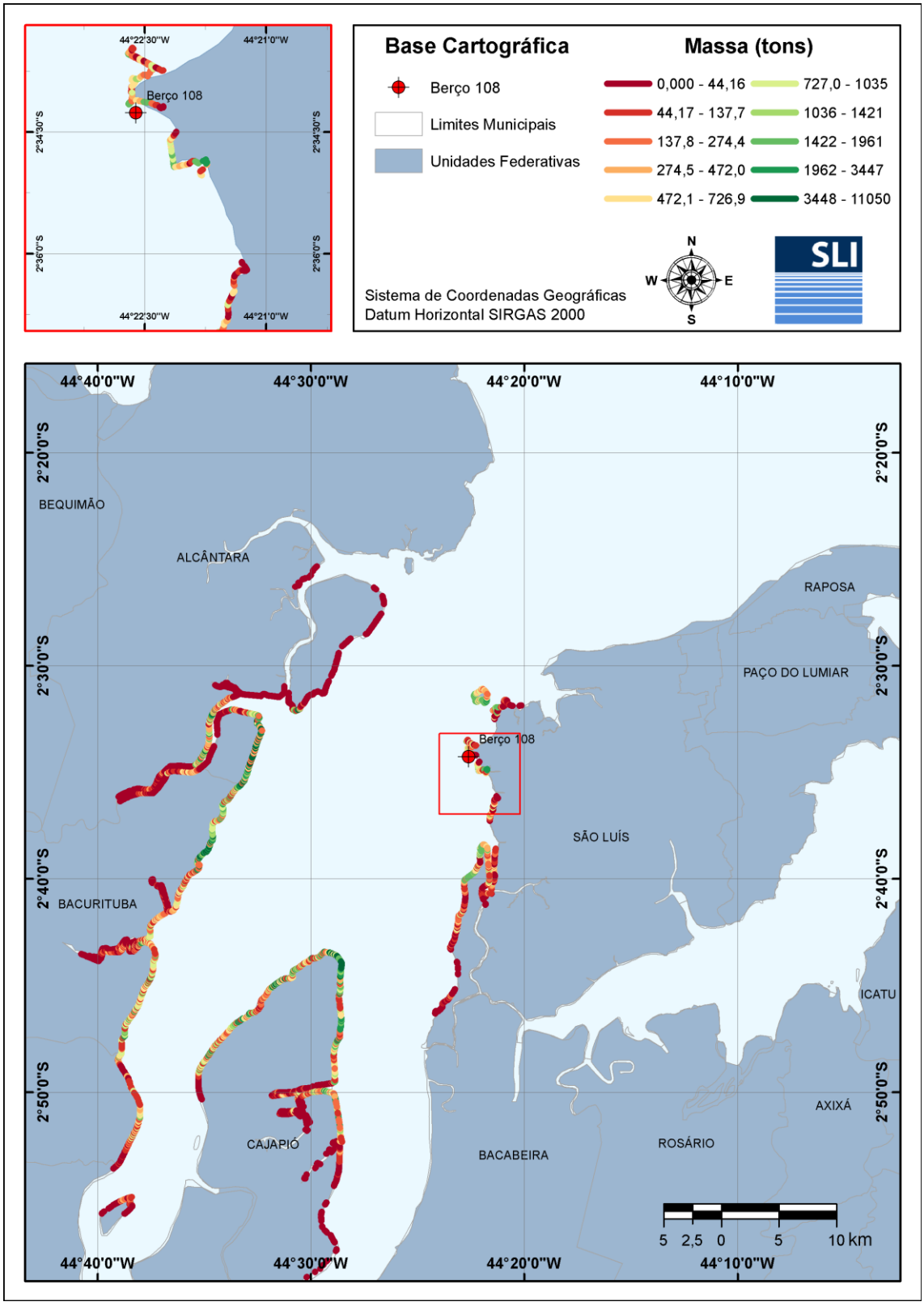


Figura 77: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 19 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.07%	0.05%	10.44%	0.48%
Médio	28.53%	0.78%	19.87%	0.83%
Máximo	50.01%	3.41%	24.46%	4.14%

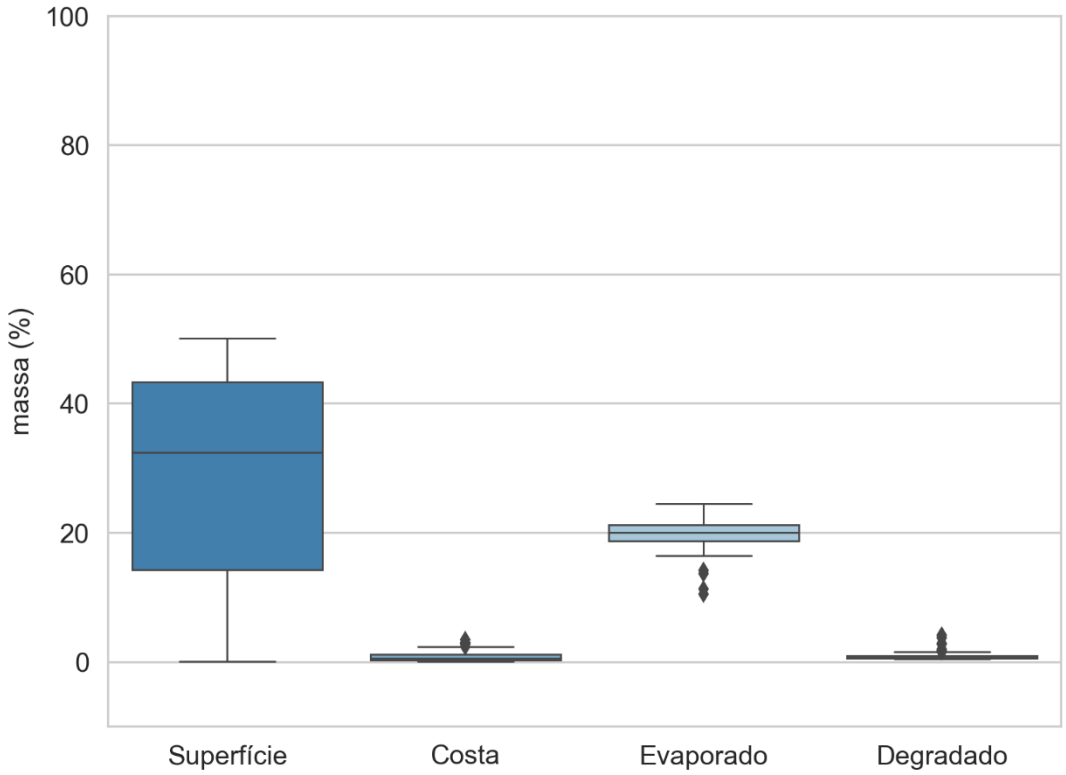


Figura 78 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (10.000,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

5.11.1.2.2 Volume médio (200,0 m³)

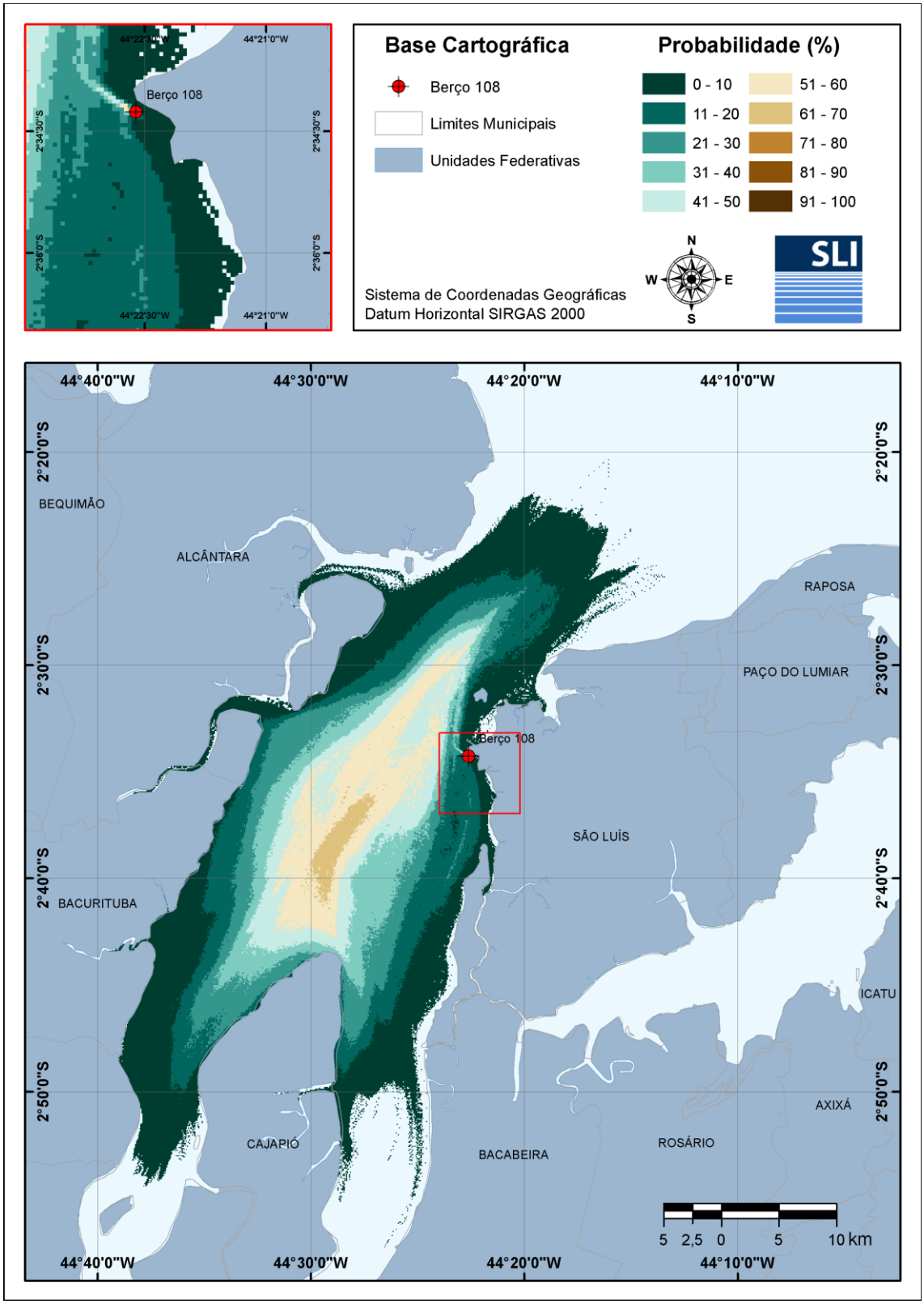


Figura 79: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

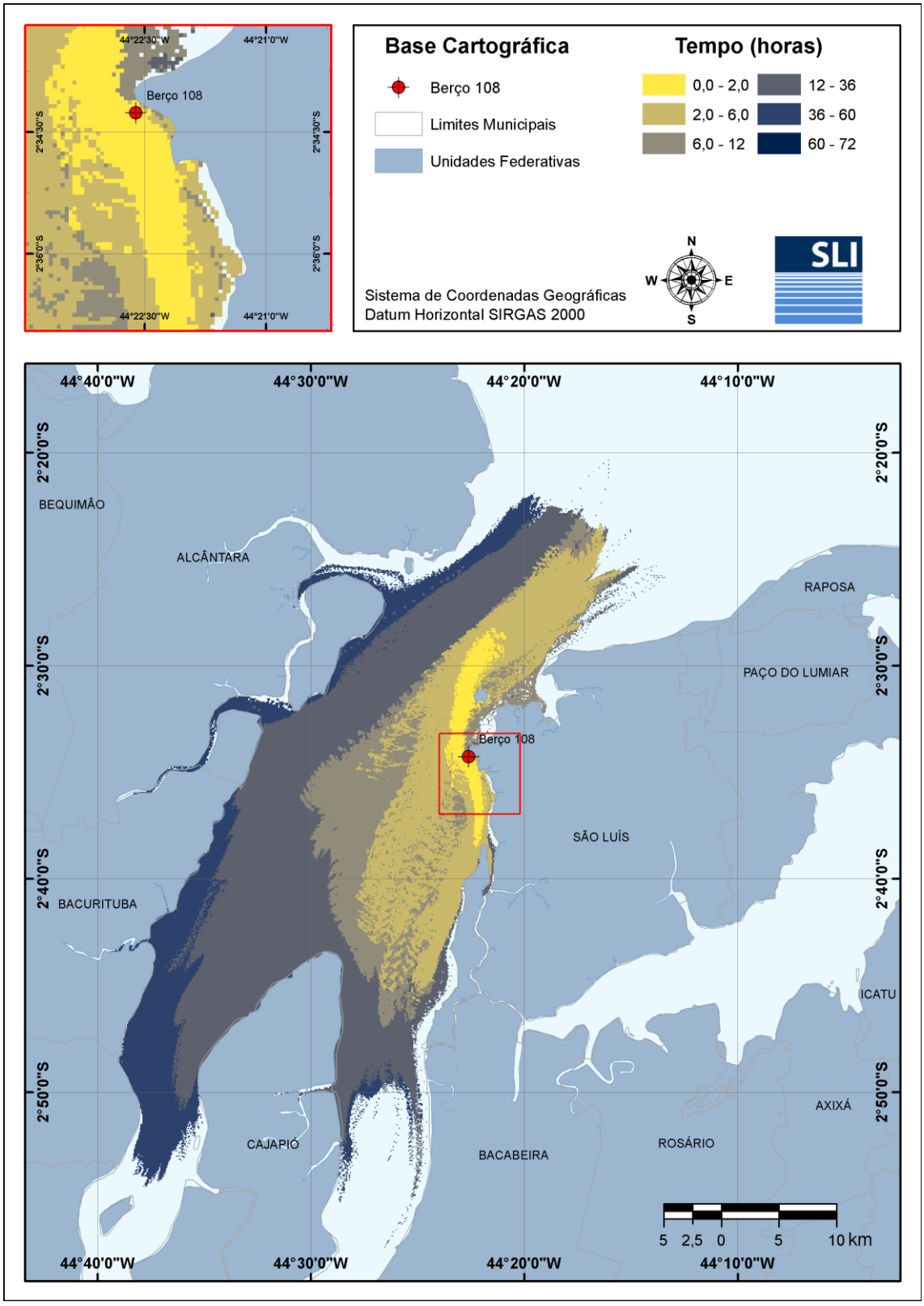


Figura 80: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

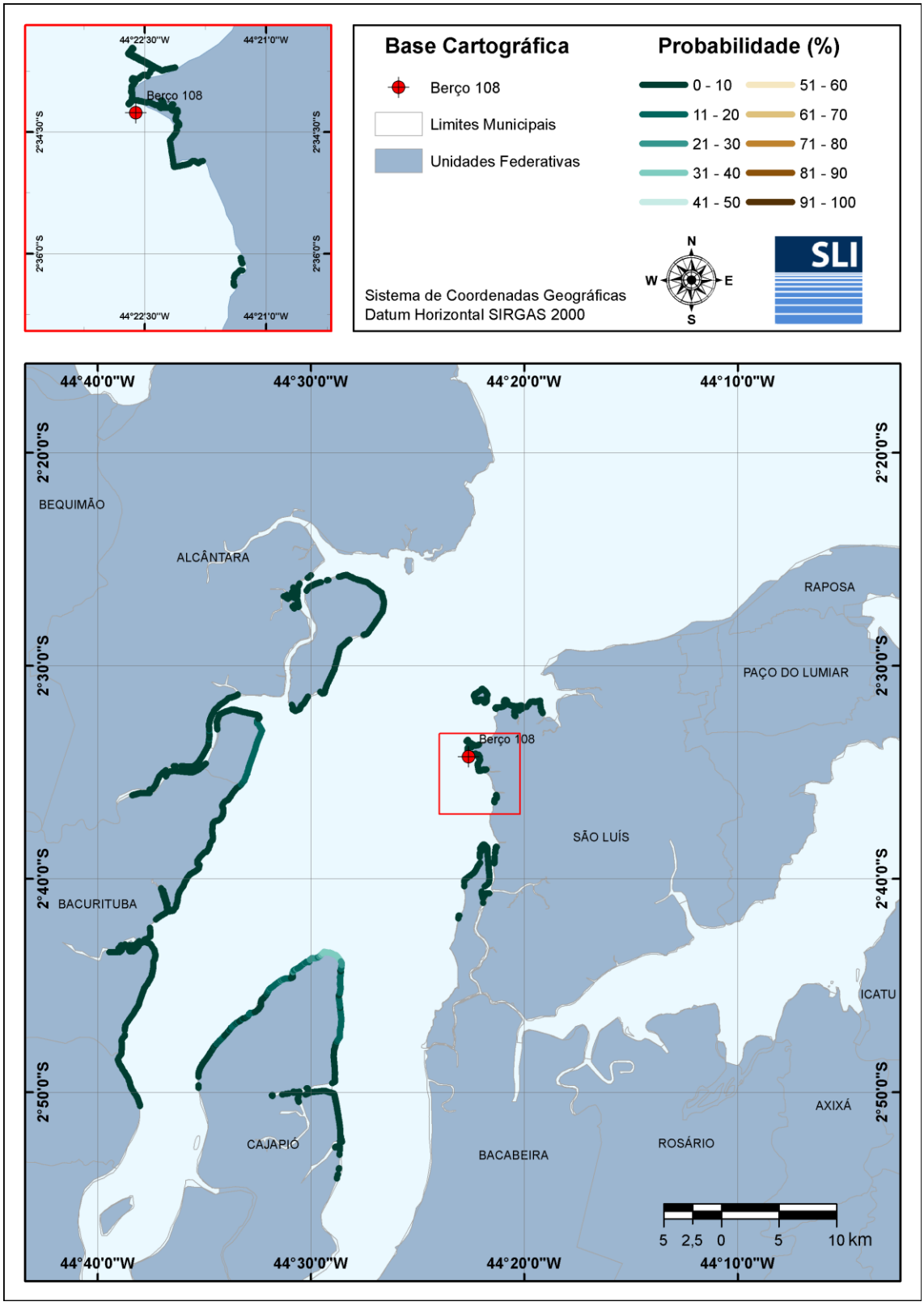


Figura 81: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

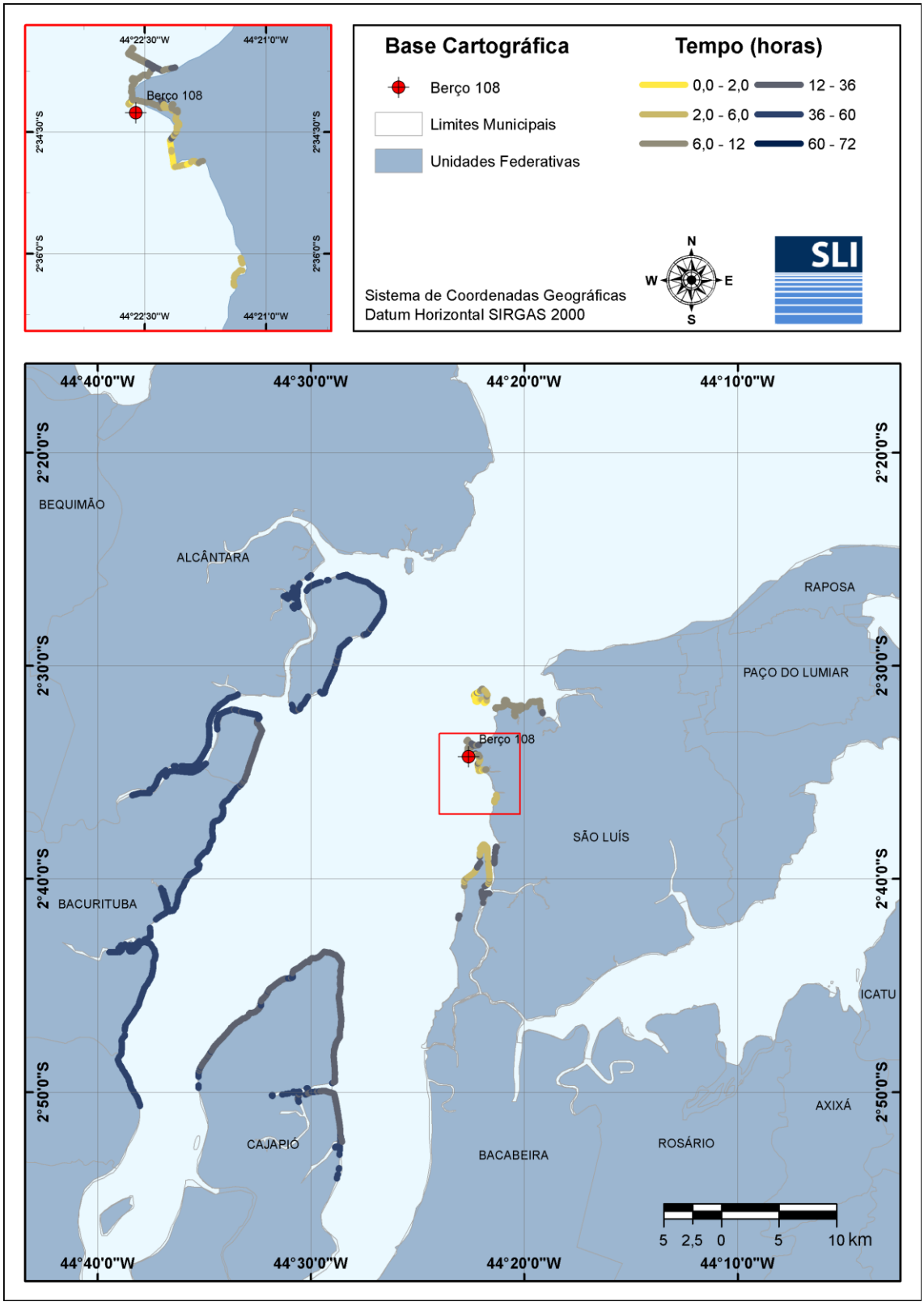


Figura 82: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

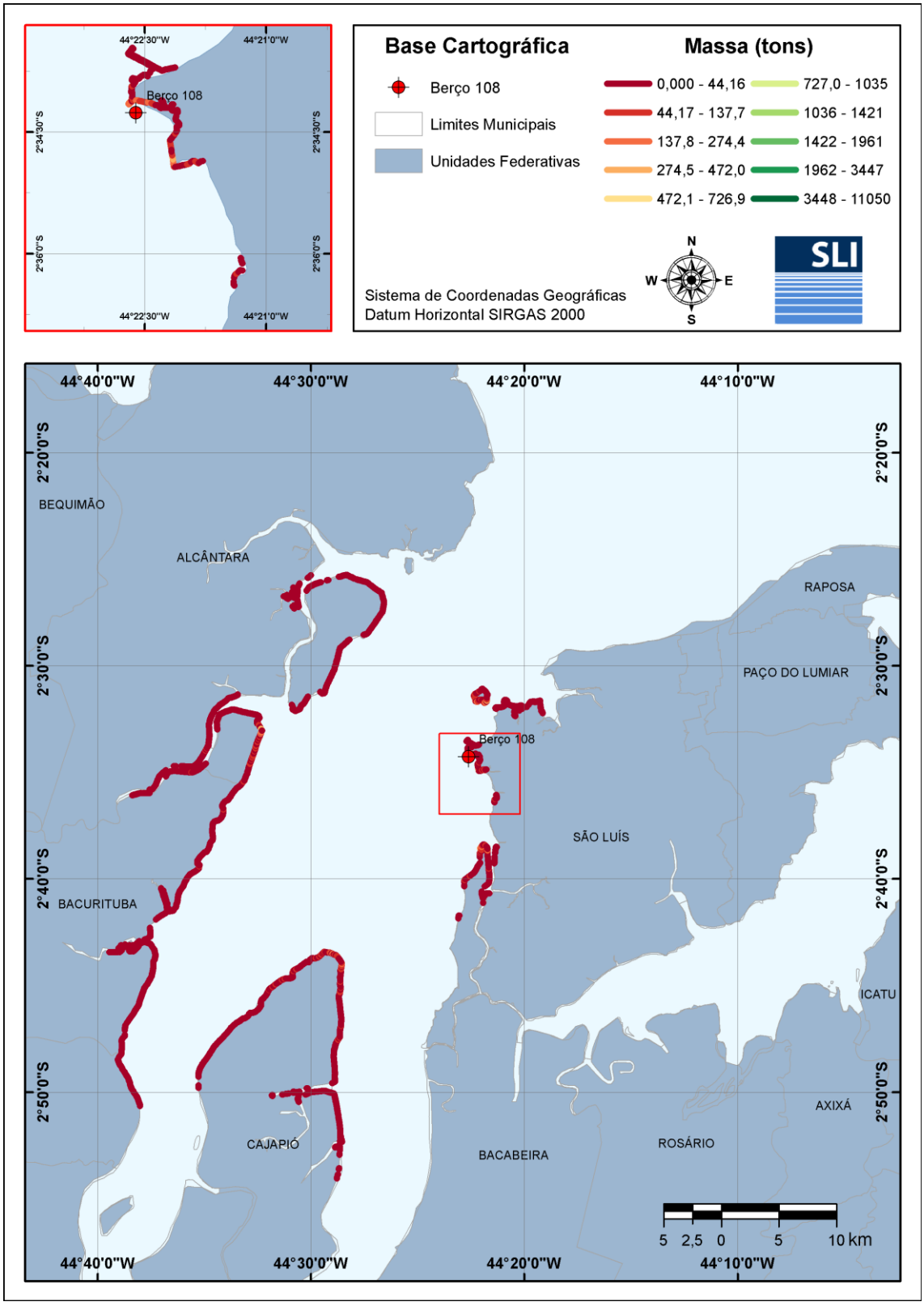


Figura 83: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 20 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.58%	0.02%	11.19%	0.39%
Médio	29.57%	0.72%	18.98%	0.73%
Máximo	43.23%	3.86%	24.61%	3.25%

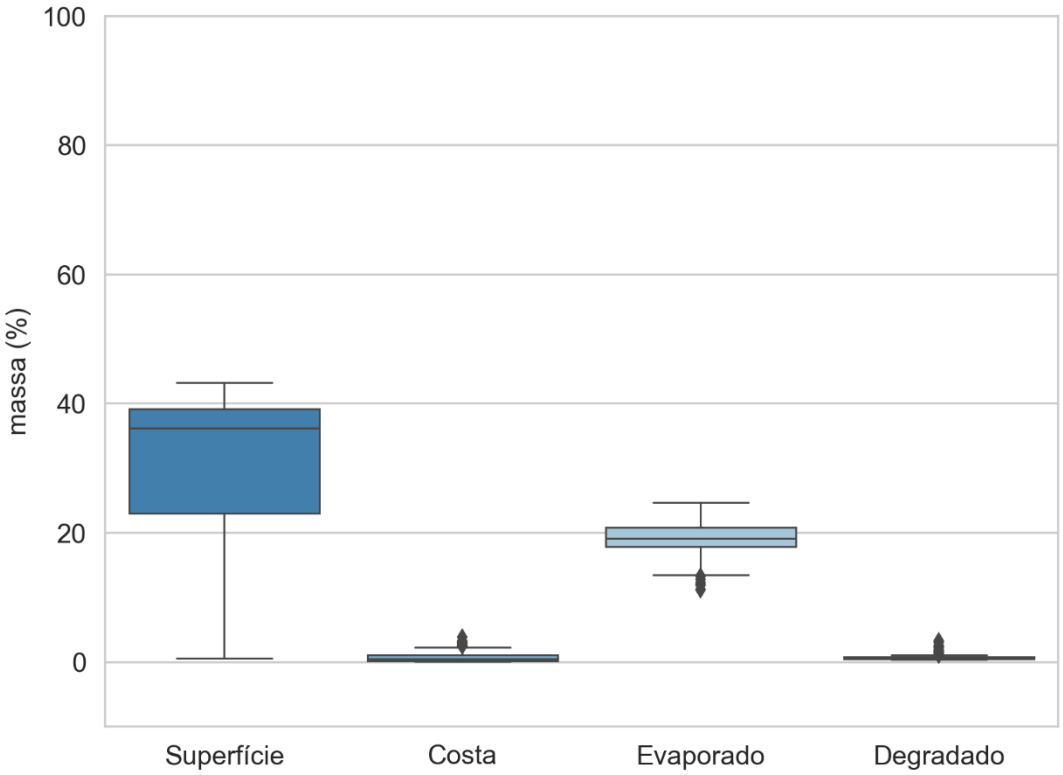


Figura 84 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

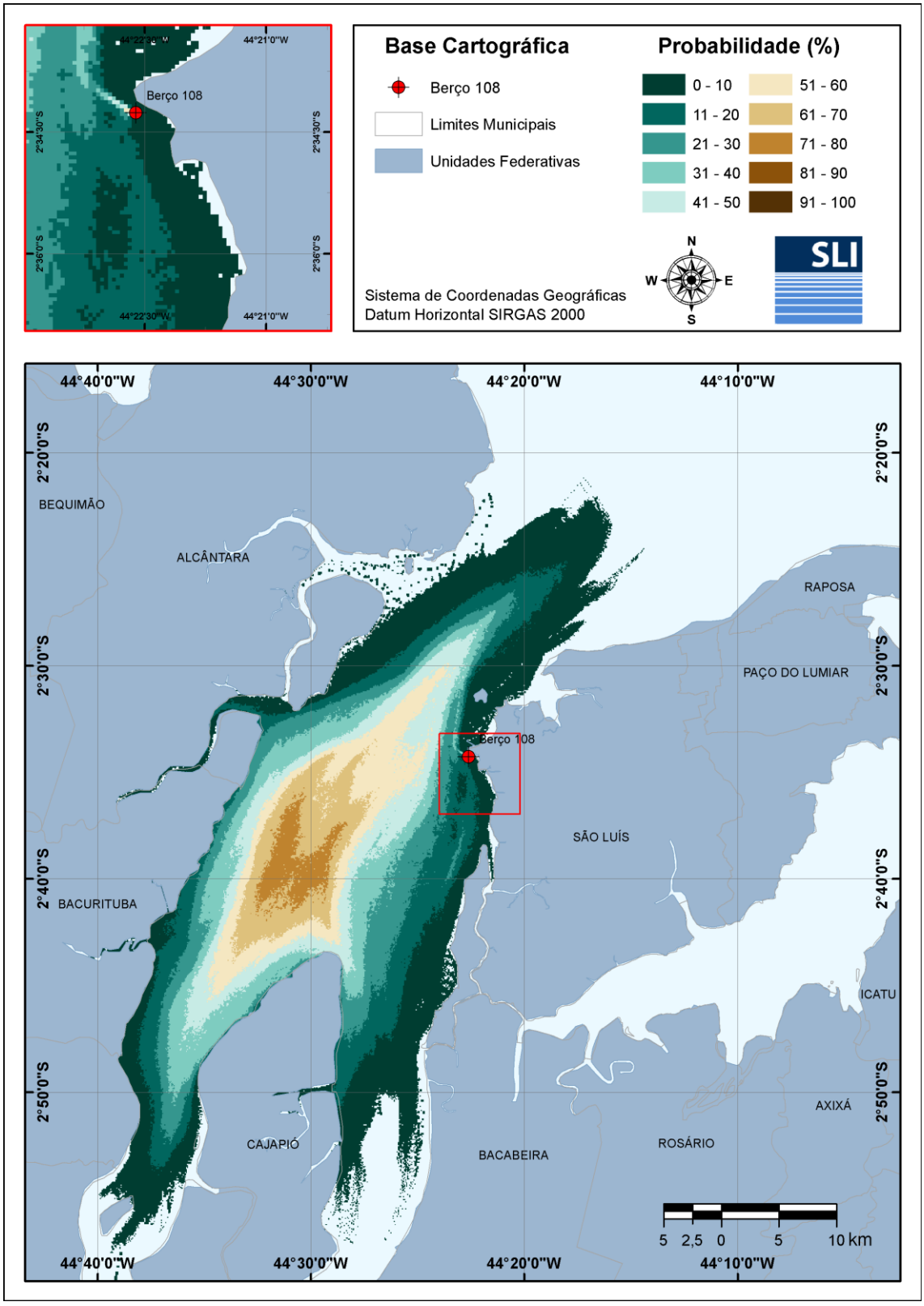


Figura 85: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

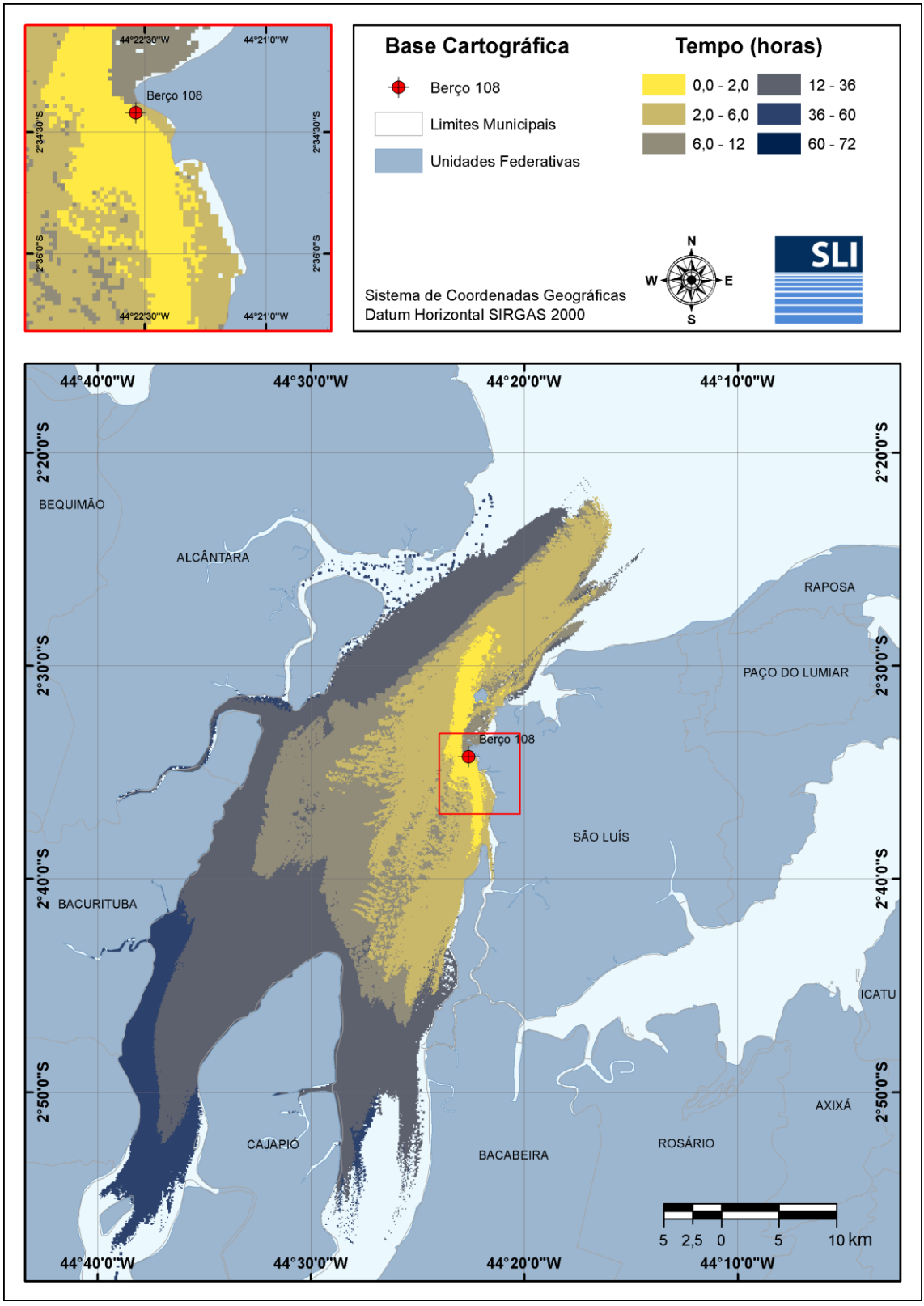


Figura 86: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

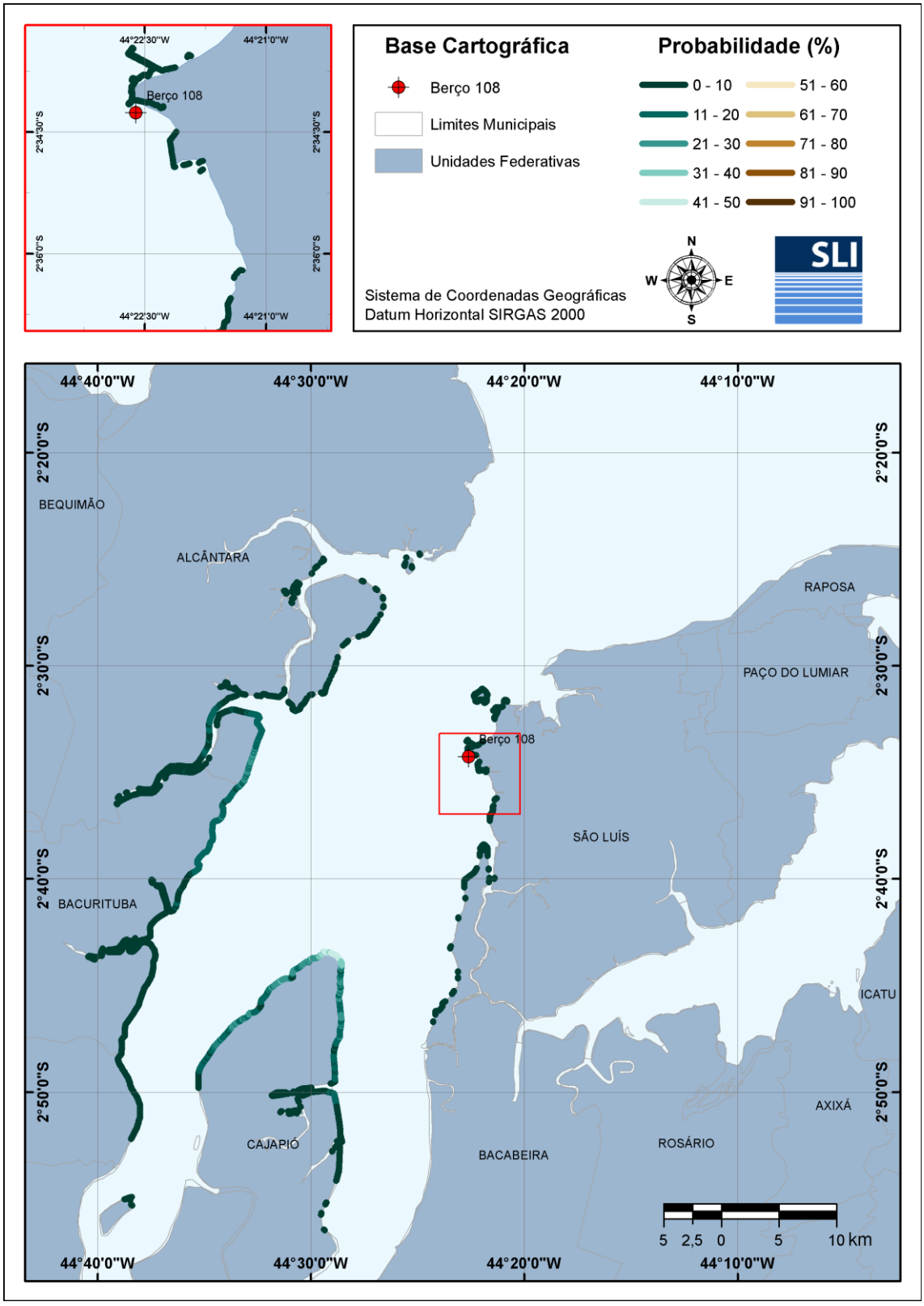


Figura 87: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

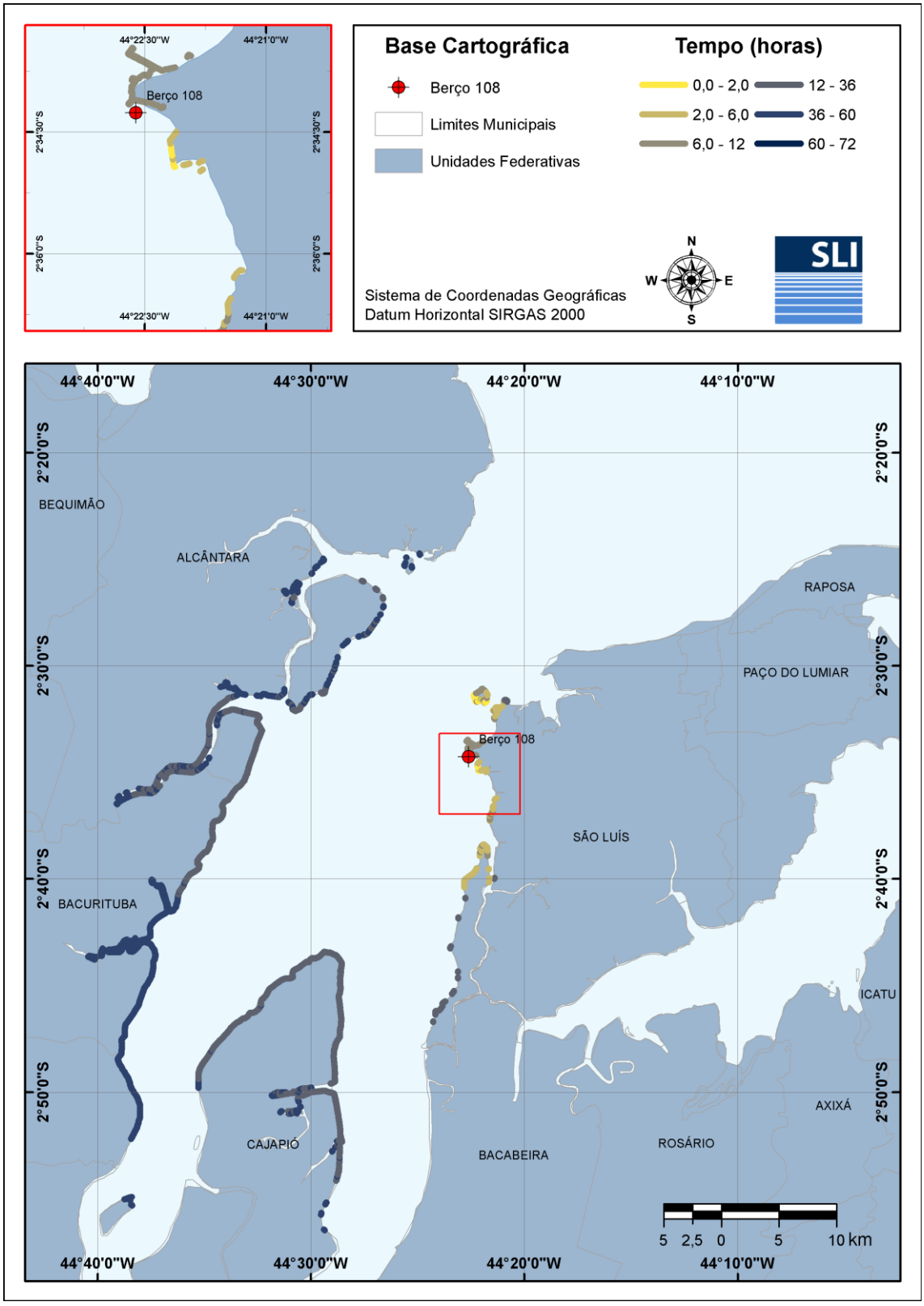


Figura 88: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

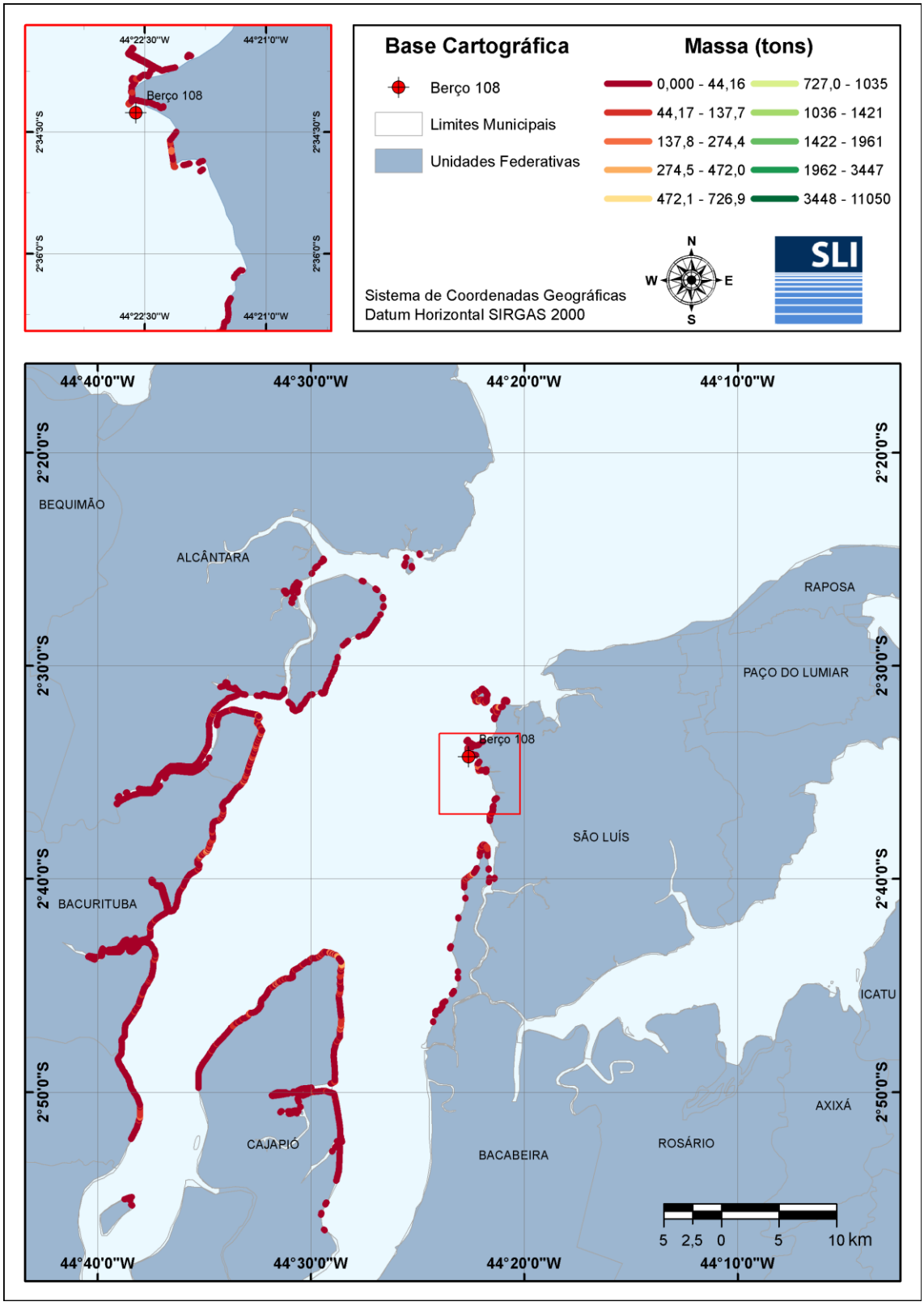


Figura 89: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 21 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.01%	0.15%	14.72%	0.51%
Médio	23.56%	2.29%	23.38%	0.76%
Máximo	45.65%	8.56%	29.69%	2.64%

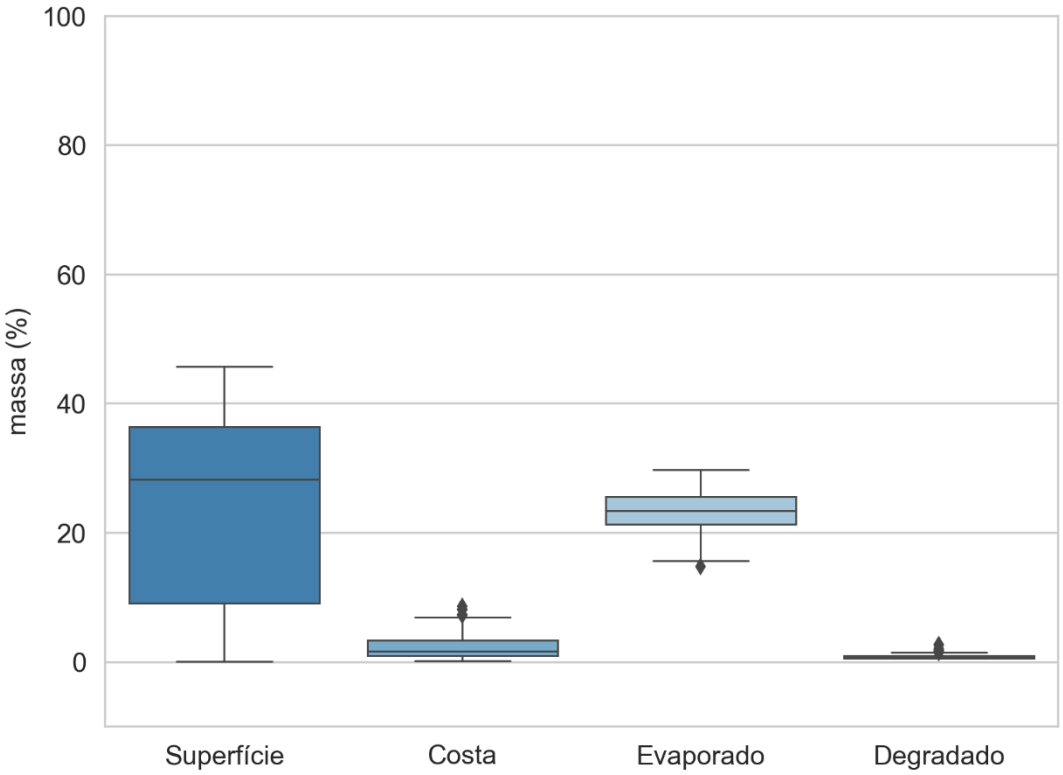


Figura 90 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário médio (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

5.11.1.2.3 Volume pequeno (8,0 m³)

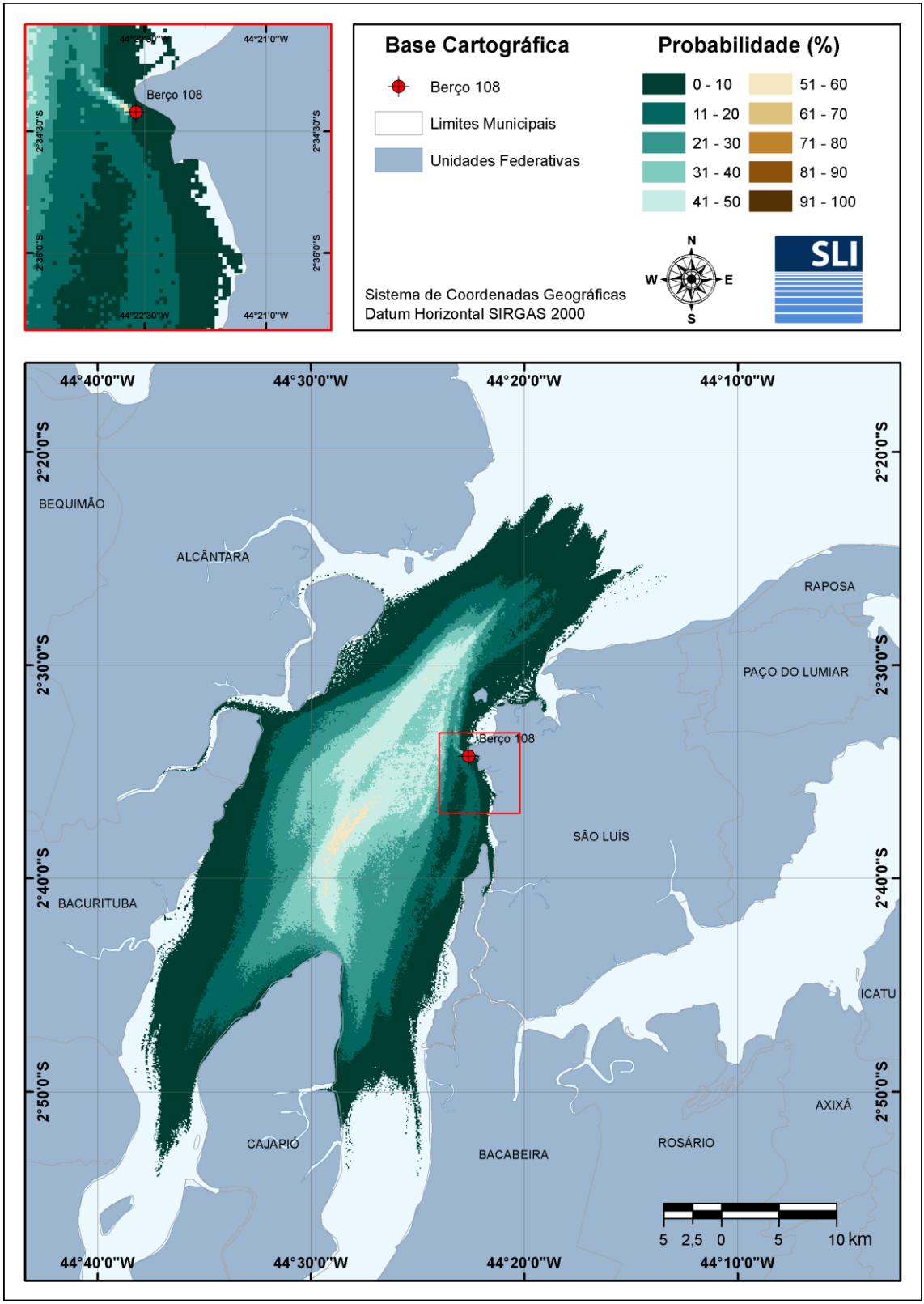


Figura 91: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

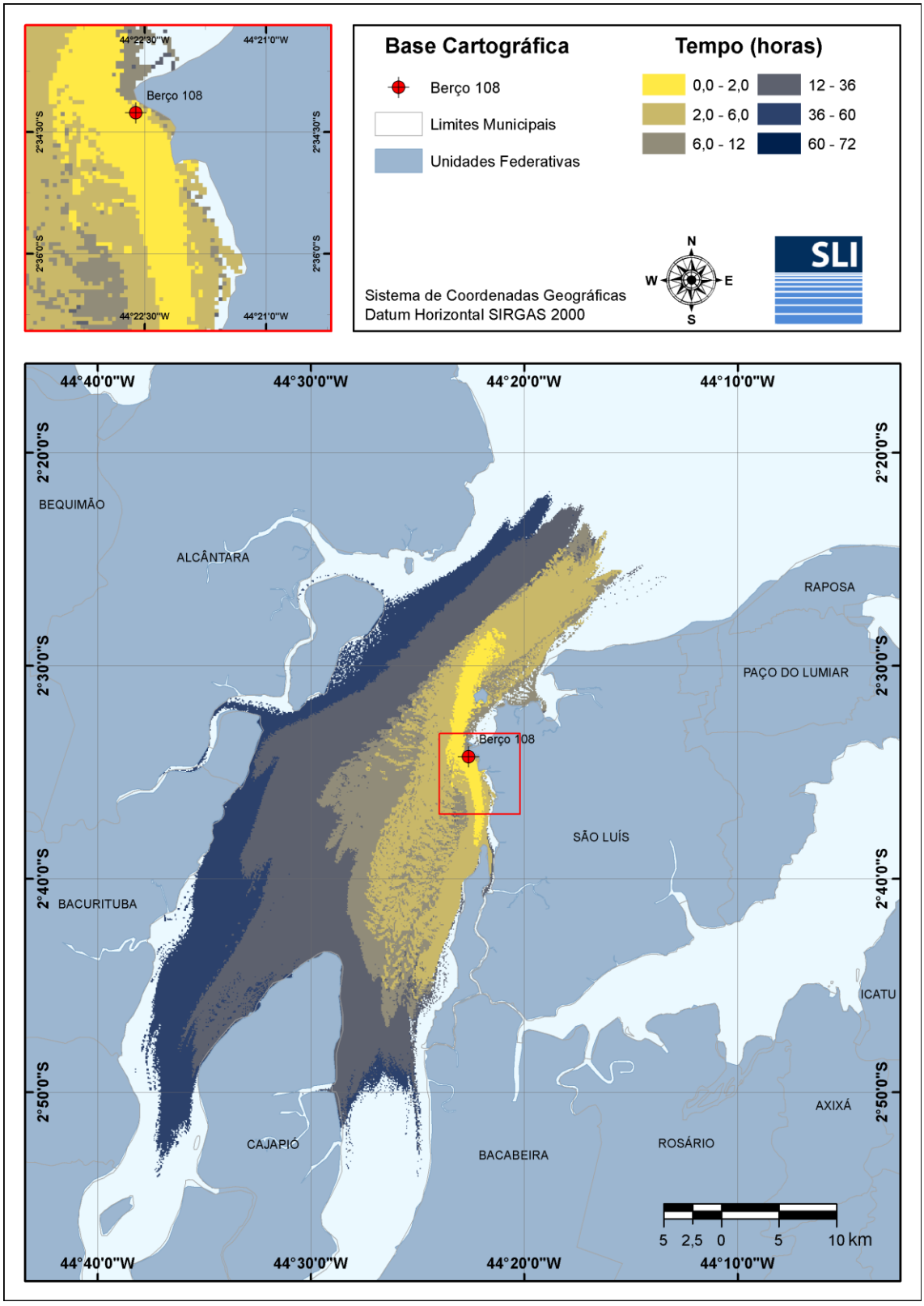


Figura 92: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

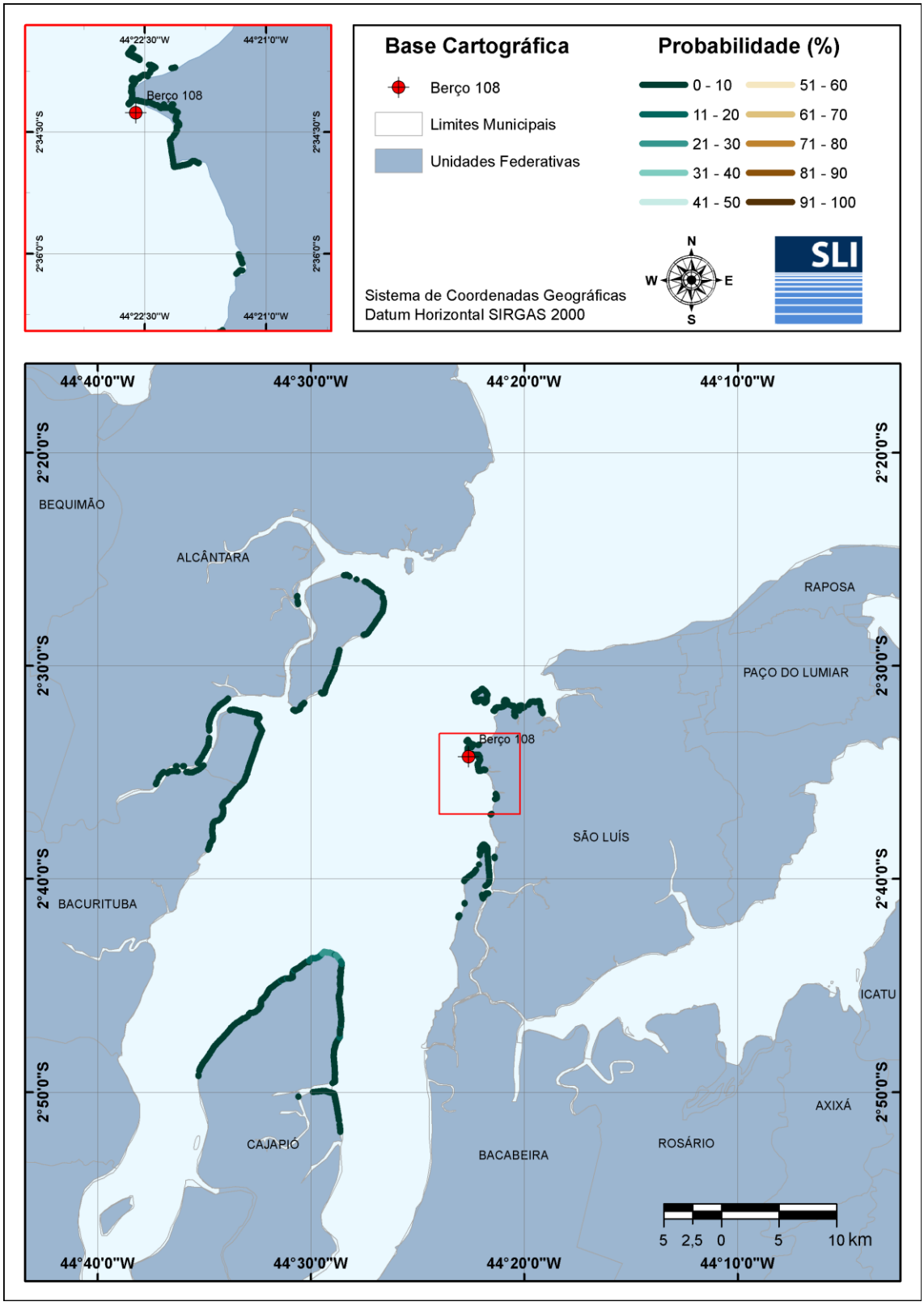


Figura 93: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

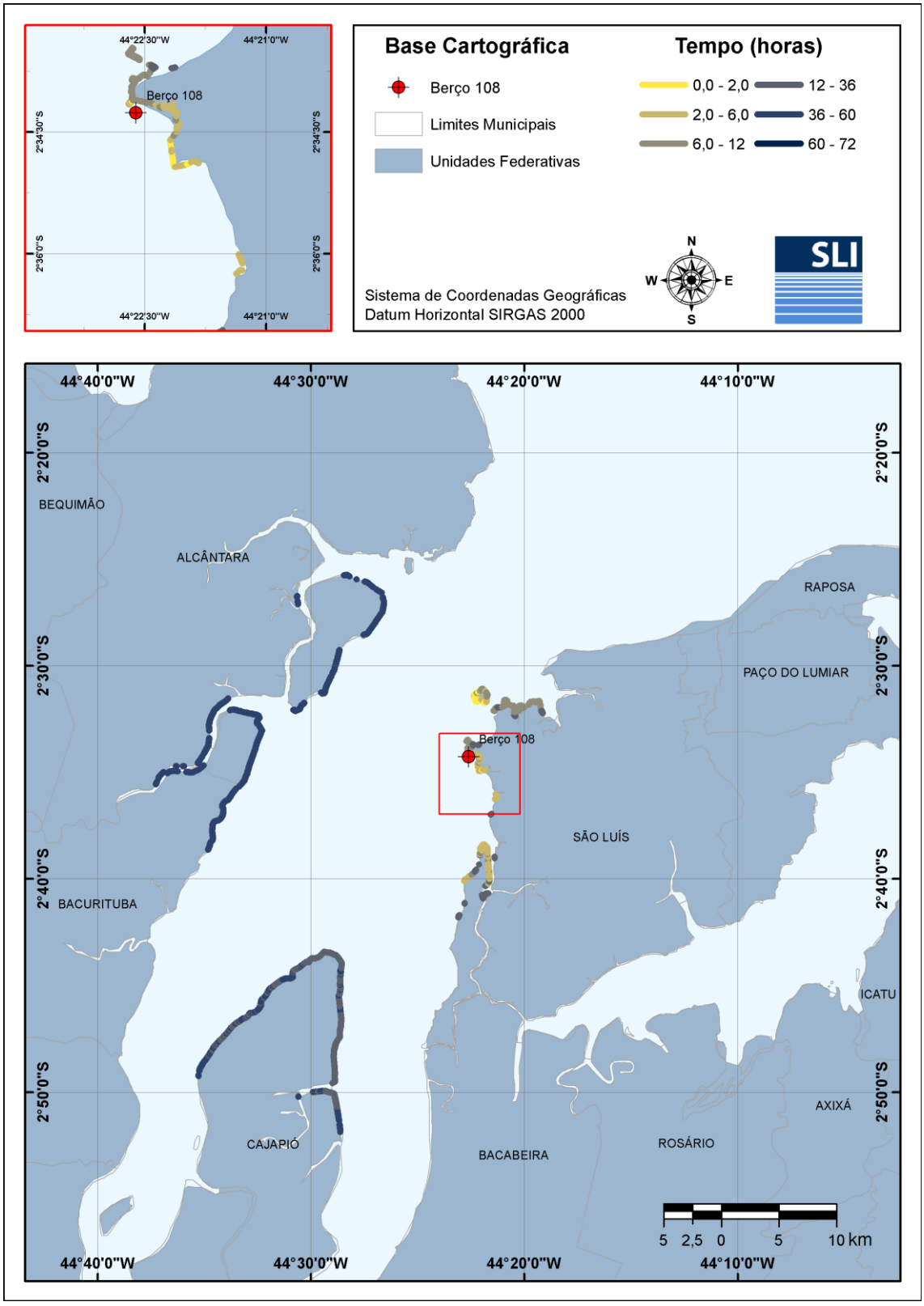


Figura 94: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

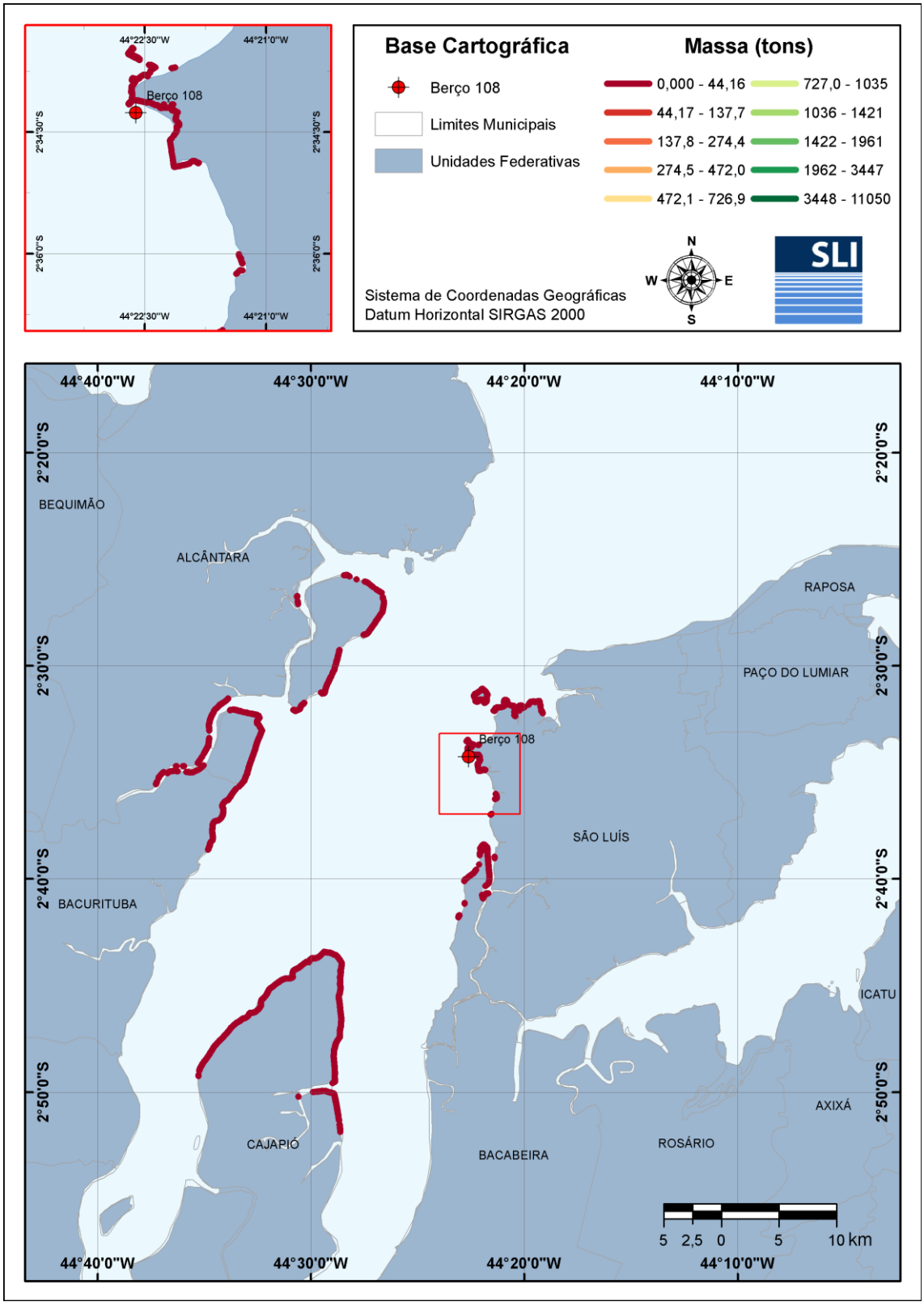


Figura 95: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

Tabela 22 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.54%	0.02%	15.88%	0.44%
Médio	25.26%	1.60%	22.43%	0.71%
Máximo	35.43%	6.41%	26.03%	1.96%

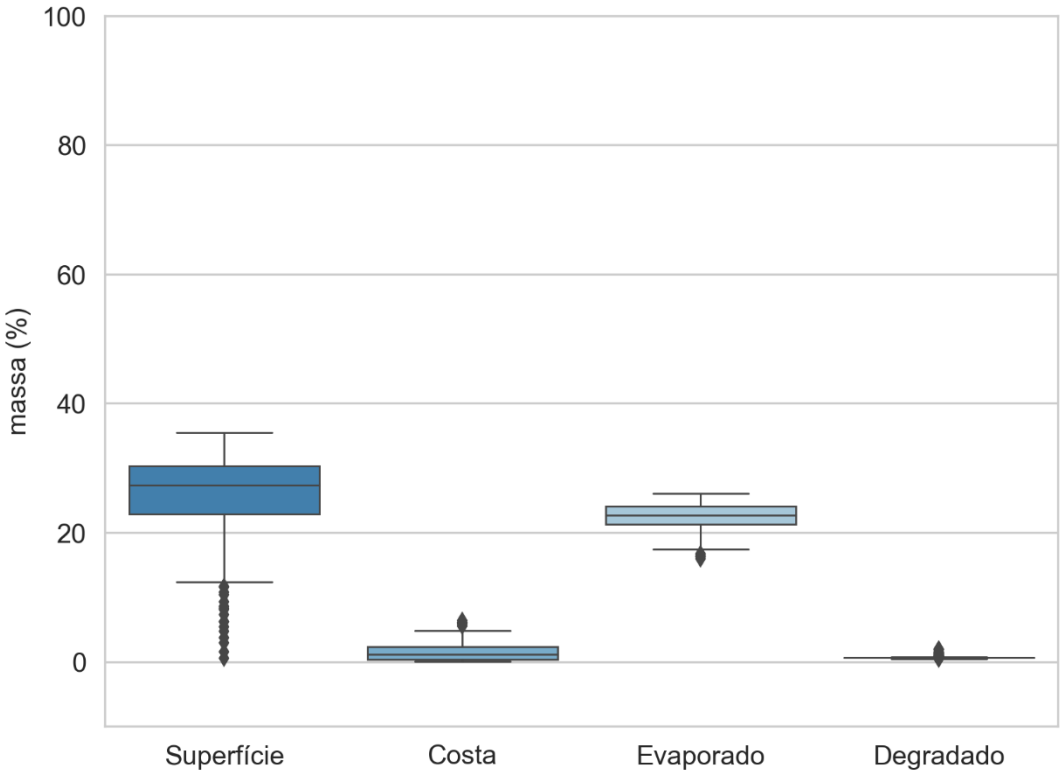


Figura 96 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

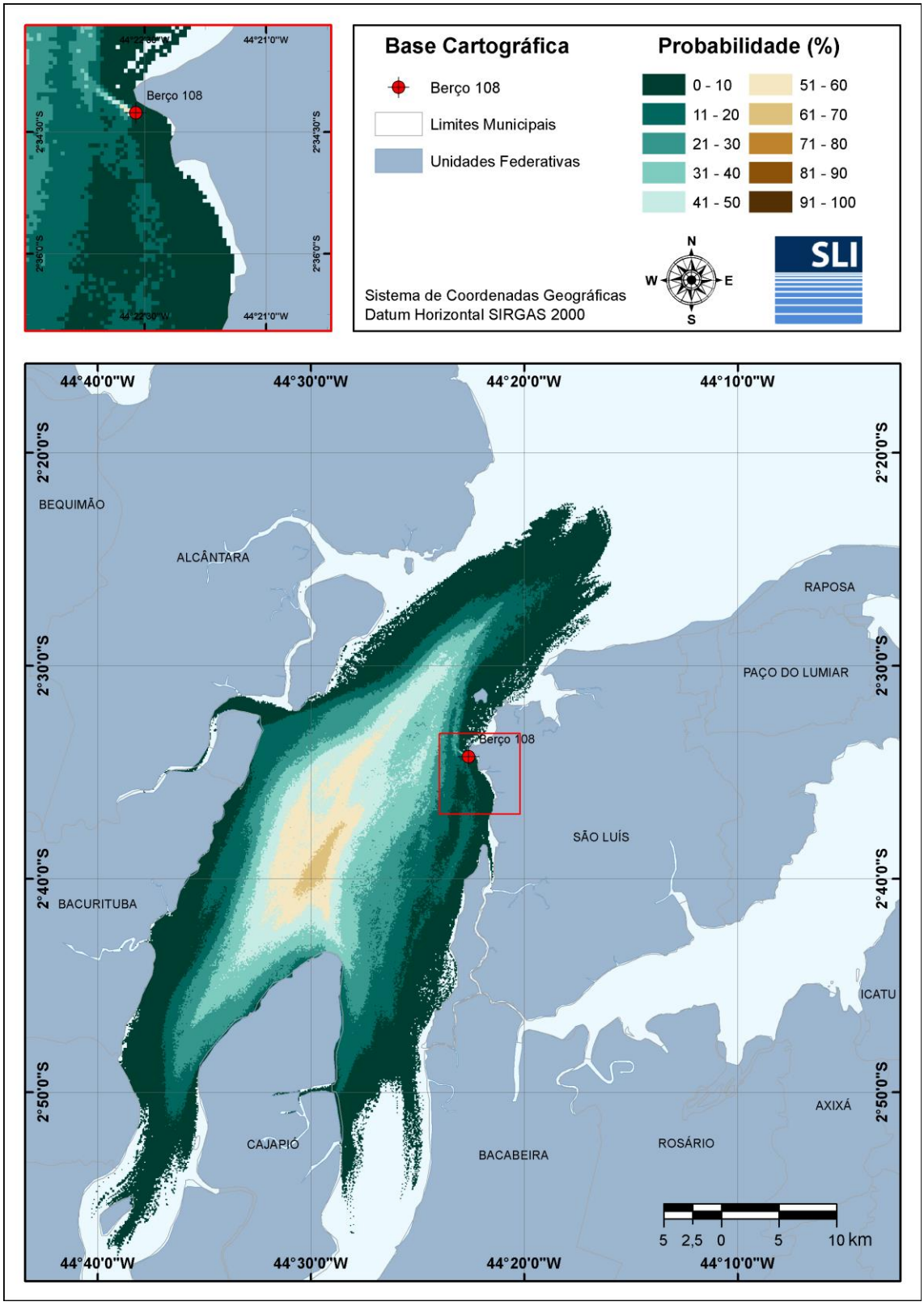


Figura 97: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

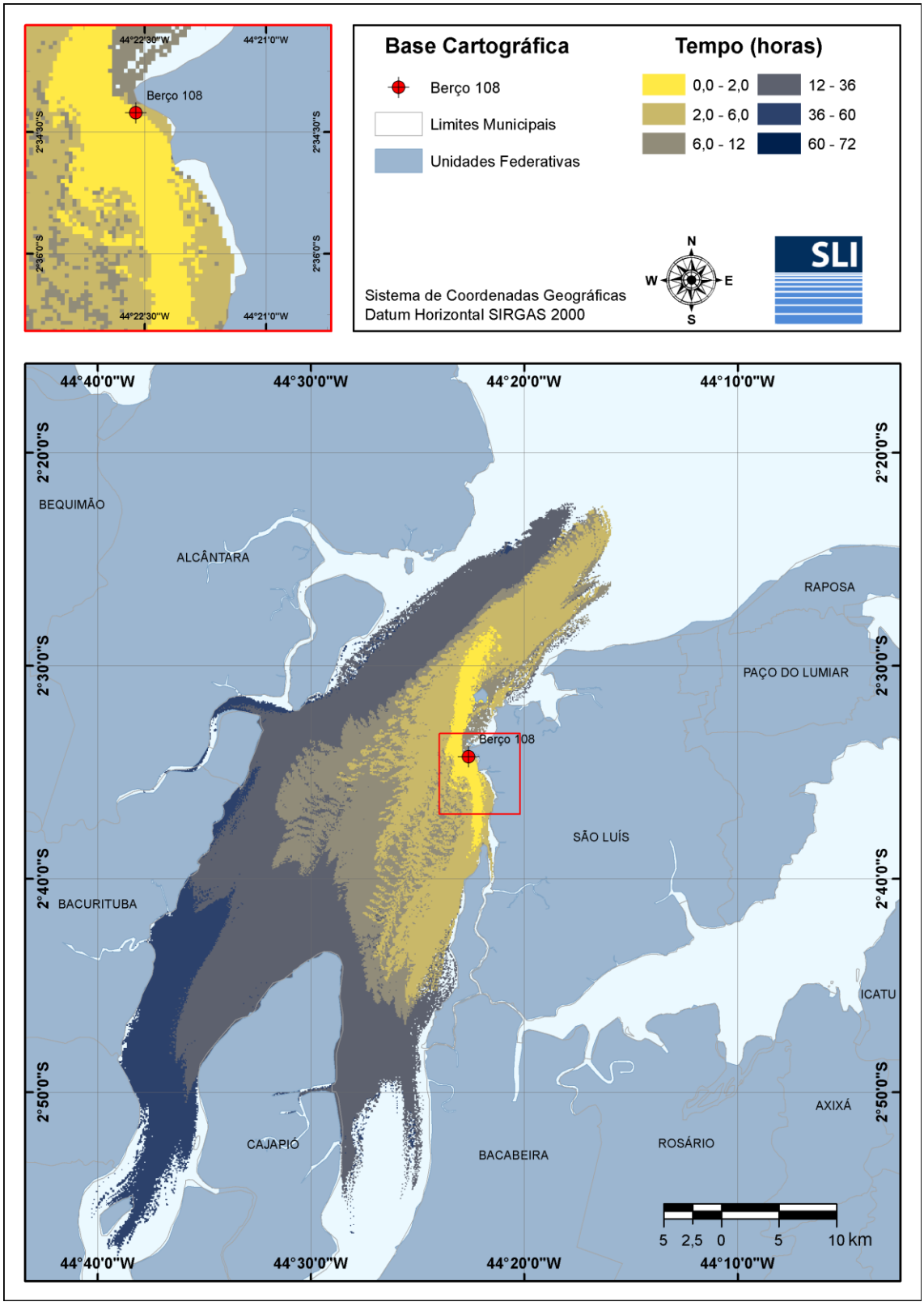


Figura 98: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

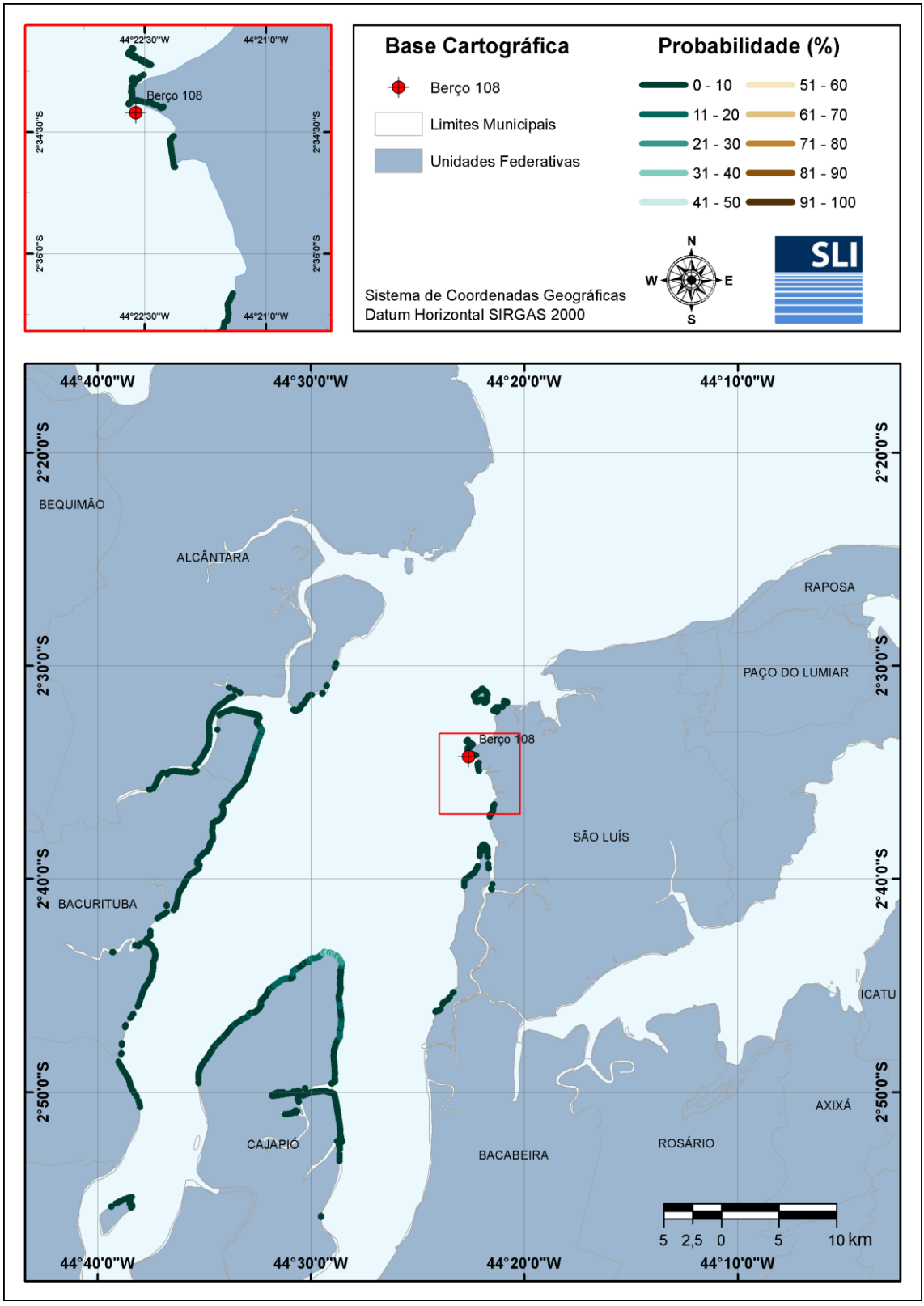


Figura 99: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

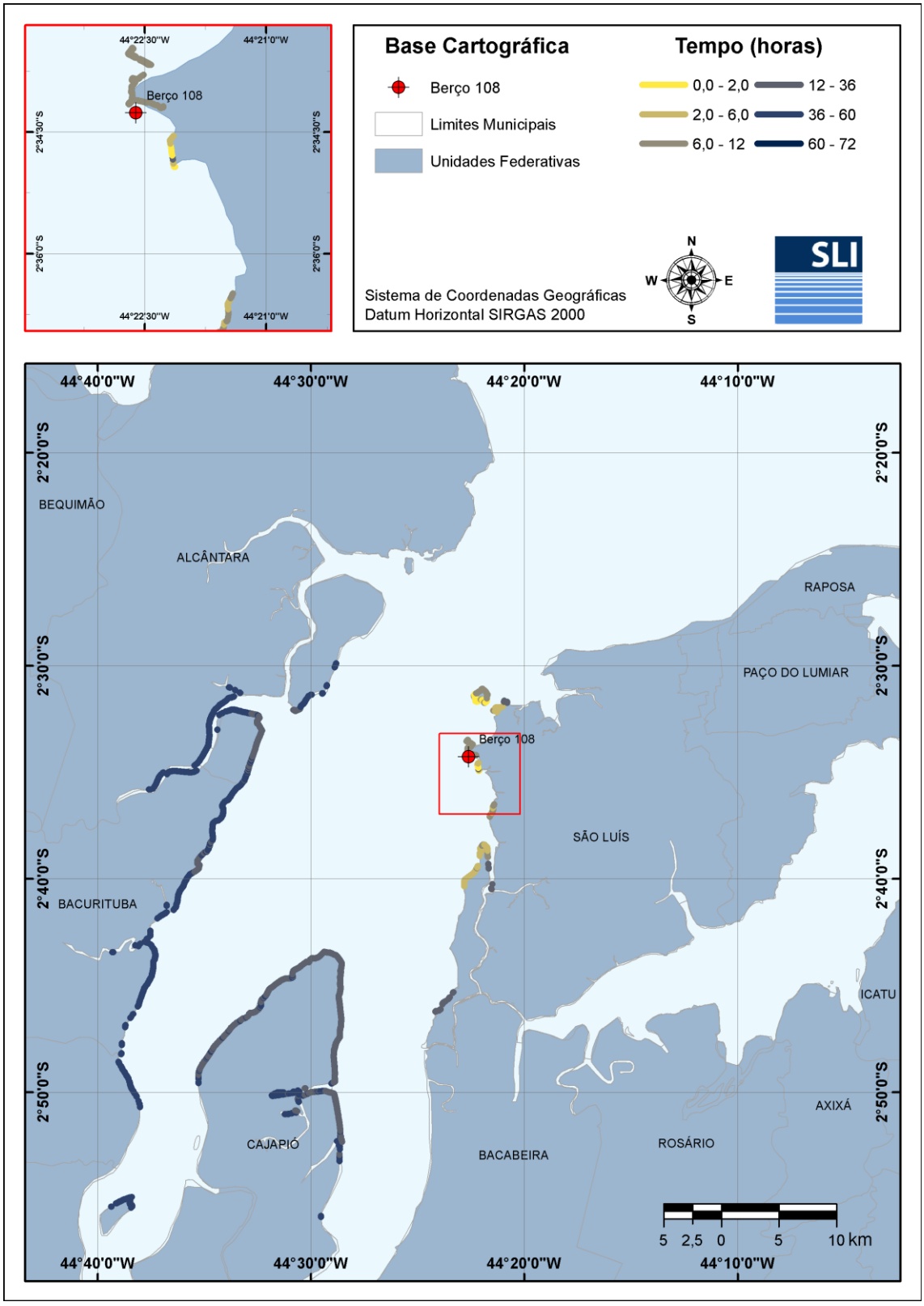


Figura 100: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

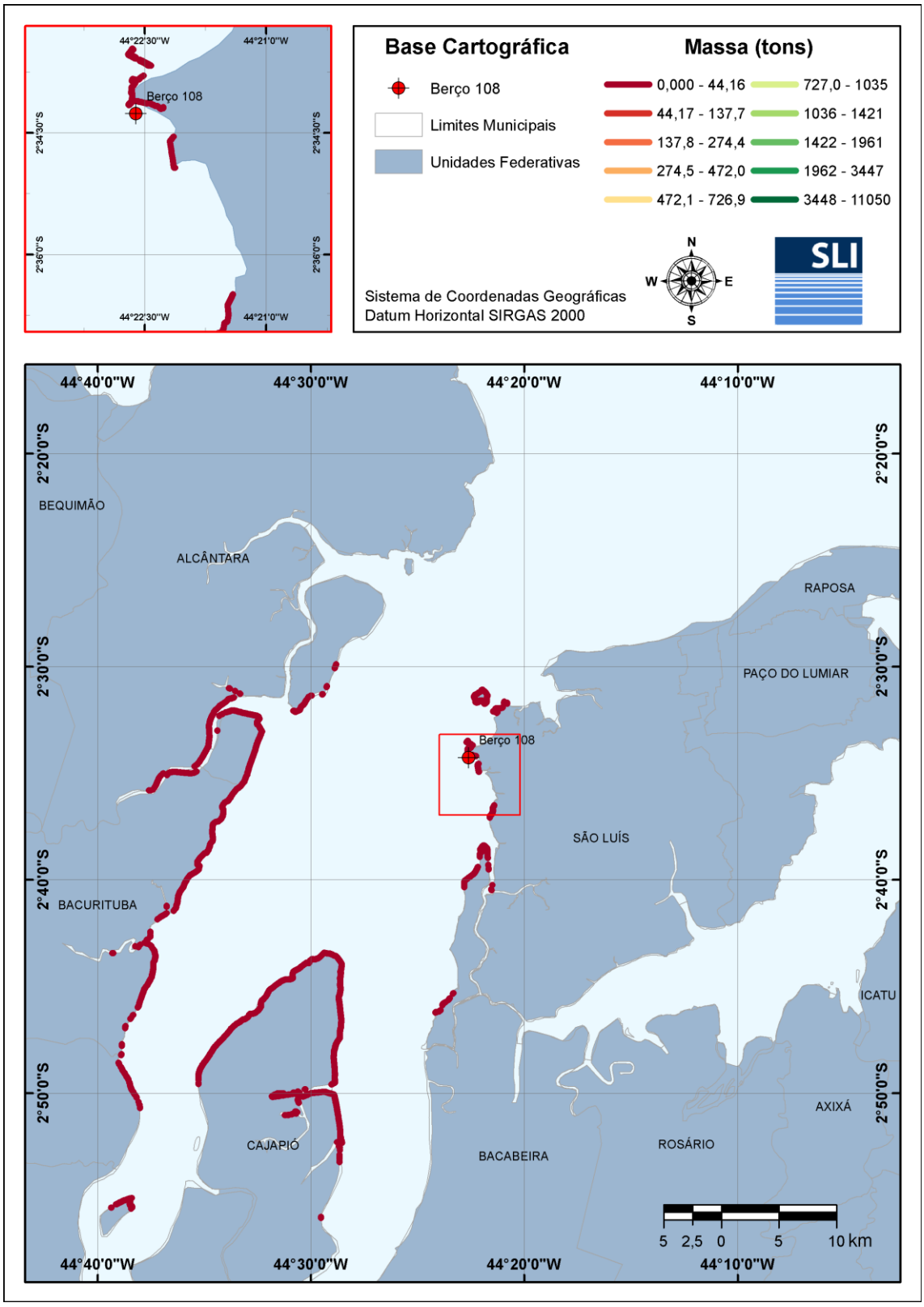


Figura 101: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

Tabela 23 - Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0,09%	0,41%	20,40%	0,60%
Médio	19,21%	4,42%	25,63%	0,75%
Máximo	31,60%	11,98%	28,26%	1,48%

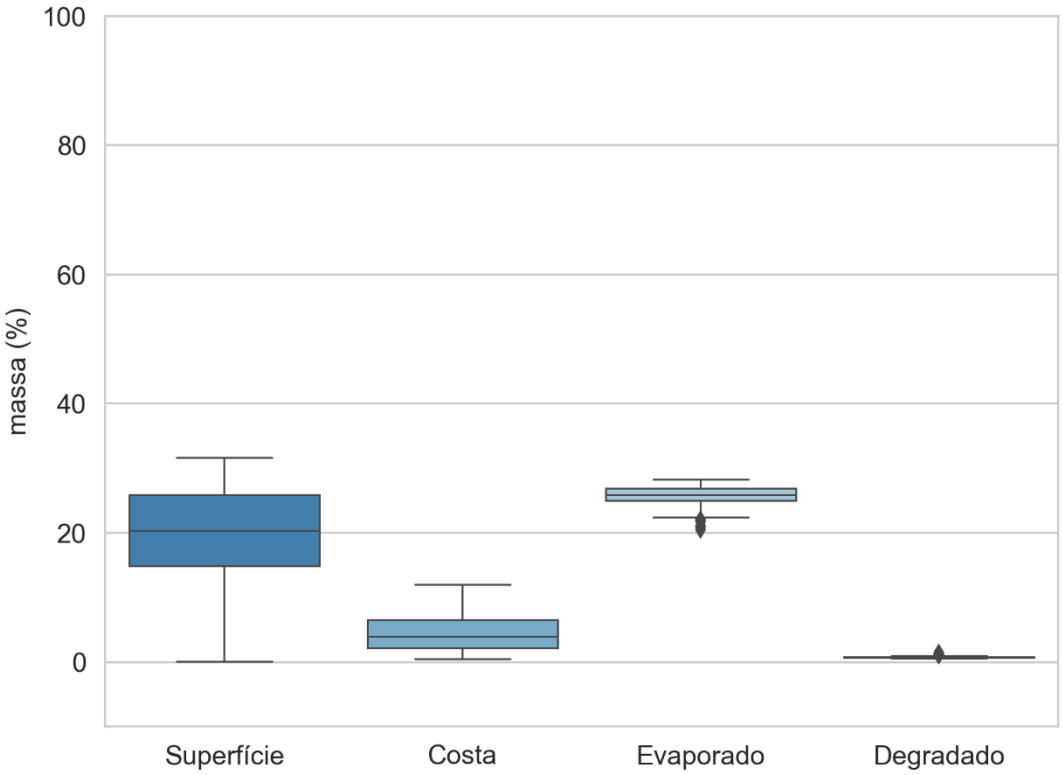


Figura 102 - Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

5.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

Os resultados das simulações determinísticas de dispersão de óleo são apresentados a seguir. A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de maior extensão. Em cada período, de todas as 200 simulações realizadas, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram a maior extensão de toque, retenção de massa na costa.

As figuras apresentam os contornos de espessuras da área varrida das partículas de óleo em elemento de grade no instante final da simulação, pois assim demonstra-se toda a região a qual o óleo esteve presente na água, conjuntamente demonstra-se os contornos em destaque (vermelho) para todo local em que houve retenção de óleo pela costa (encalhe) para todo o tempo da simulação. Por terem muitos cenários críticos de menor tempo, onde rapidamente o óleo toca a costa (em alguns em menos de meia hora), levou-se em conta, aqueles cenários com maior extensão de toque, devido a vulnerabilidade do mangue e região ao seu entorno. Além da área varrida pela mancha de óleo (em grade), é apresentado um gráfico com balanço de massa das simulações dos cenários apontados na Tabela 8, isto é, a quantidade relativa de cada porção de óleo, em determinado ambiente, ao longo do tempo, para cada um dos dois produtos simulados. Adicionalmente em anexo, são apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes nos cenários determinísticos críticos que apresentaram essa maior extensão, são mostradas as condições ambientais (vento e corrente) iniciais para cada um dos cenários aqui descritos.

5.12.1 Óleo combustível marítimo MF-380

Podemos observar nos cenários determinísticos a assinatura da intensidade dos ventos no período de SECA, transportando a maior parte do óleo em direção a costa oeste e sudoeste da baía de São Marcos em contraparte ao período de CHEIA, tendo os 3 volumes a retenção representativa de mais de 70% da massa de óleo disposta no sistema terrestre para o primeiro, e até 60% presenta na superfície d'agua para o segundo.

Tabela 24 - Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos.

Cenários	Degradado (%)	Costa (%)	Superfície (%)	Evaporado (%)
DE_B108MF_PC_CHEIA	0,86	31,60	62,71	4,83
DE_B108MF_200_CHEIA	0,79	41,09	52,49	5,64
DE_B108MF_8_CHEIA	0,63	67,09	22,90	9,38
DE_B108MF_PC_SECA	1,16	90,26	3,14	5,44
DE_B108MF_200_SECA	0,91	82,92	9,72	6,45
DE_B108MF_8_SECA	1,17	74,70	14,05	10,07

5.12.1.1 Volume de Pior Caso (10.000,0 m³)

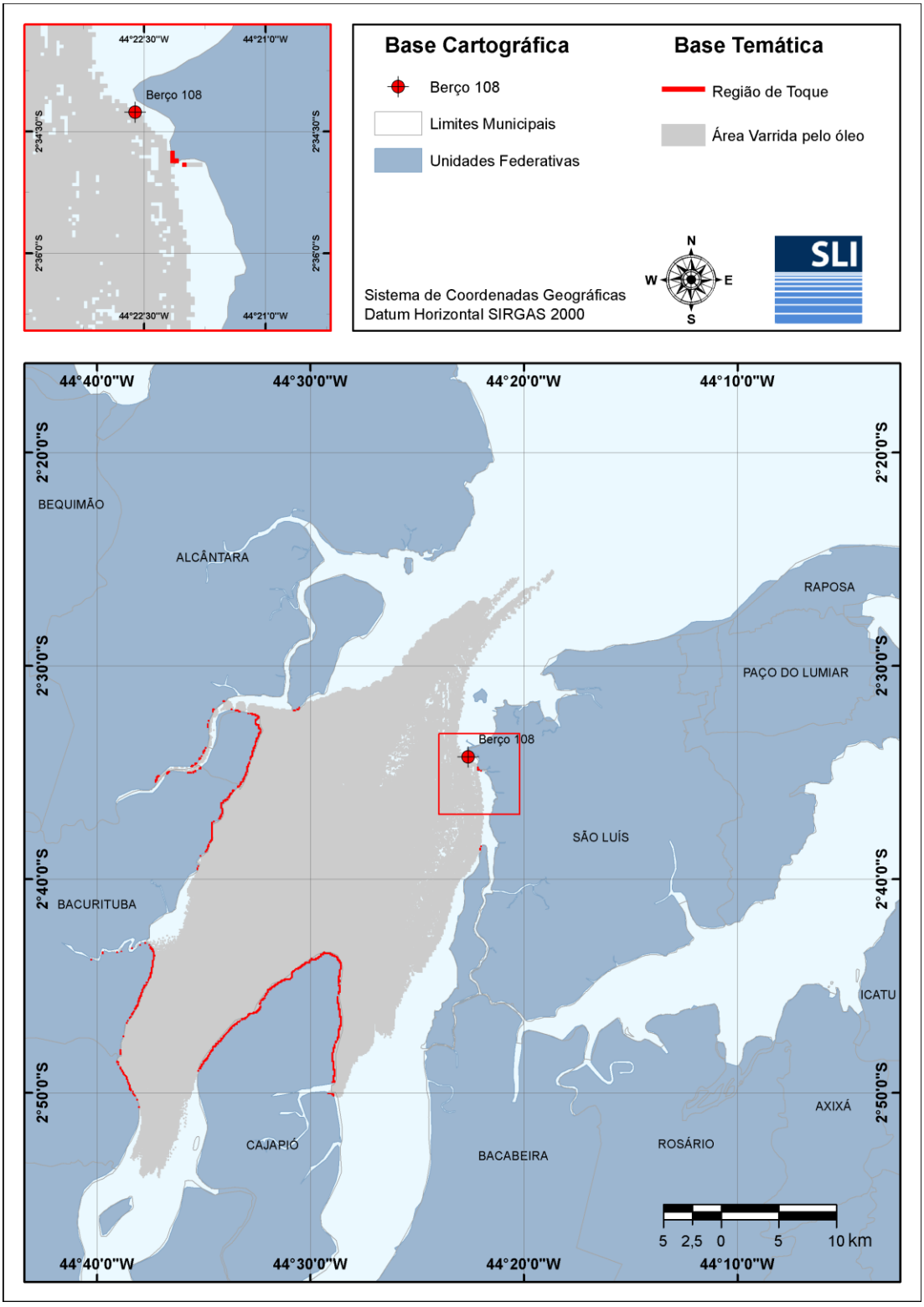


Figura 103: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia

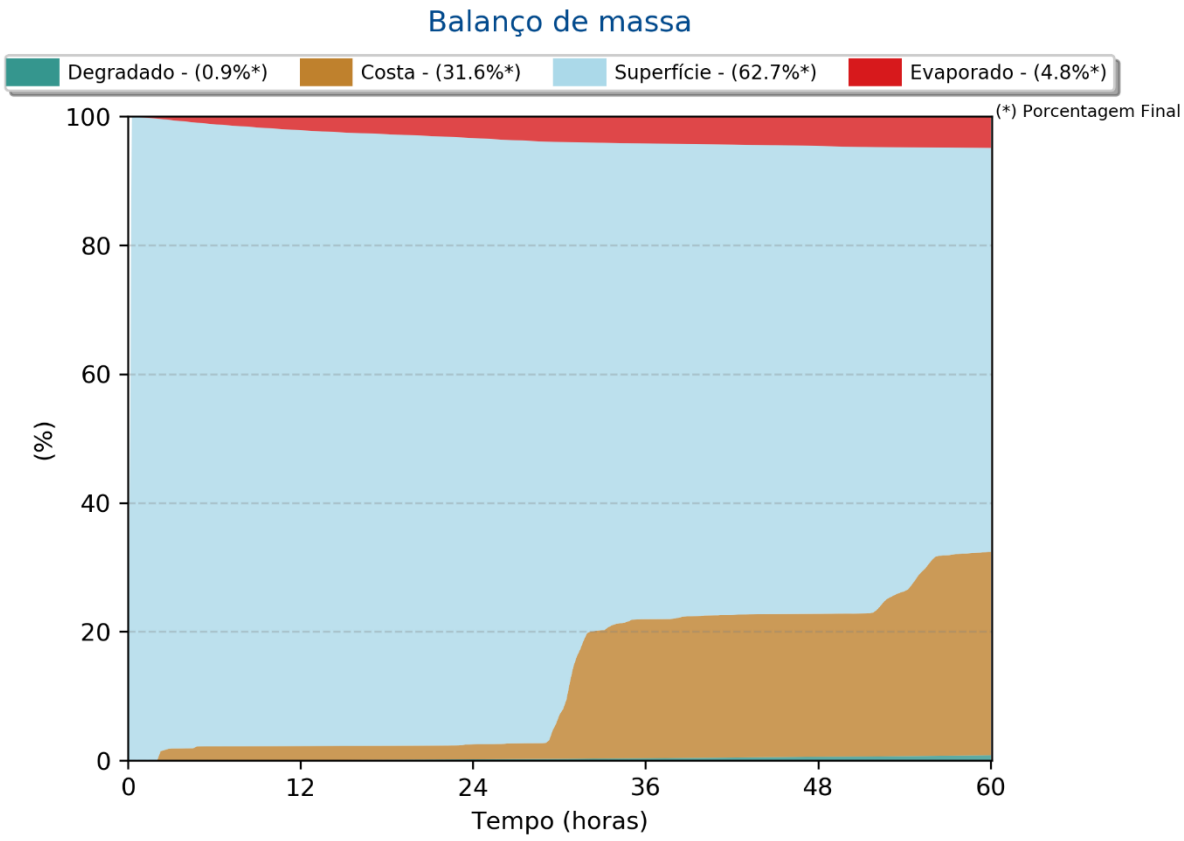


Figura 104 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

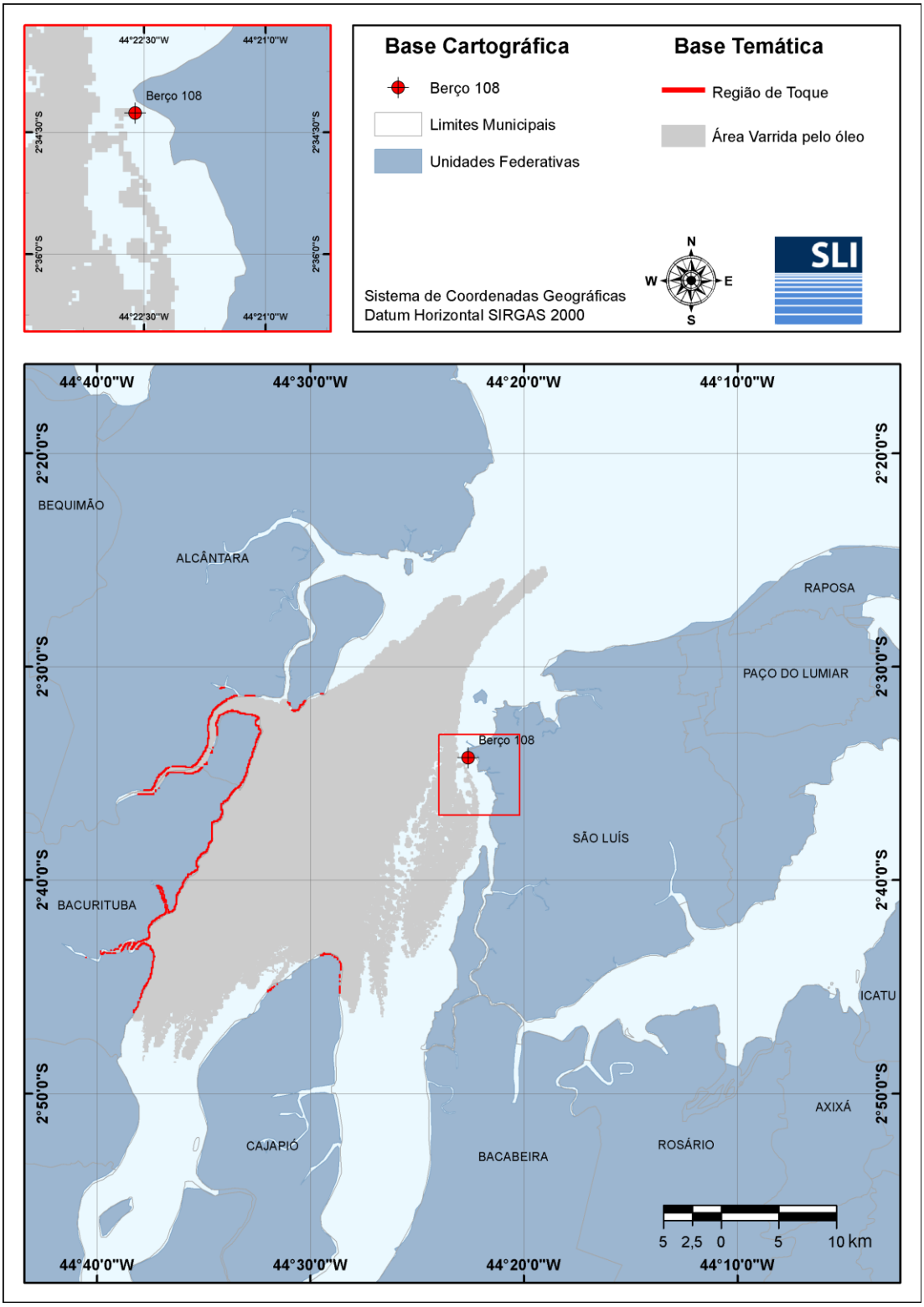


Figura 105: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca

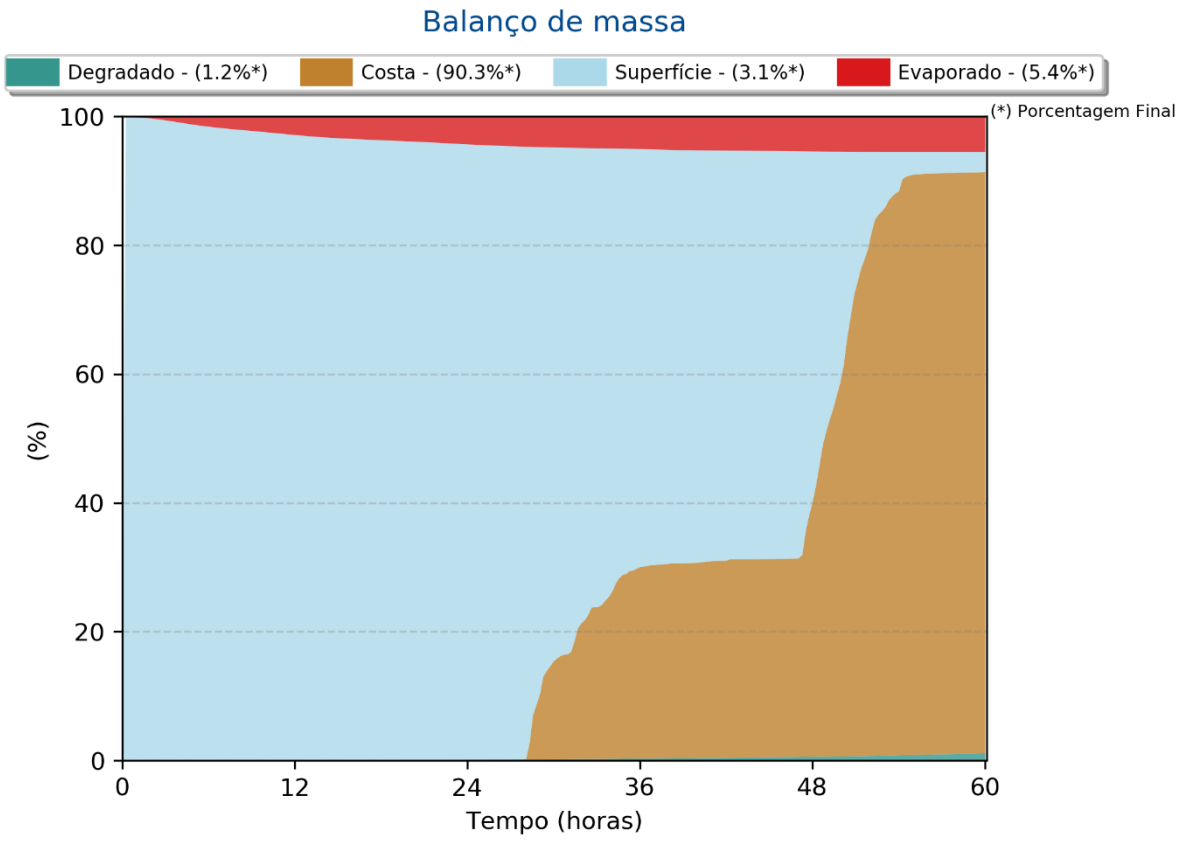


Figura 106 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

5.12.1.2 Volume médio (200,0 m³)

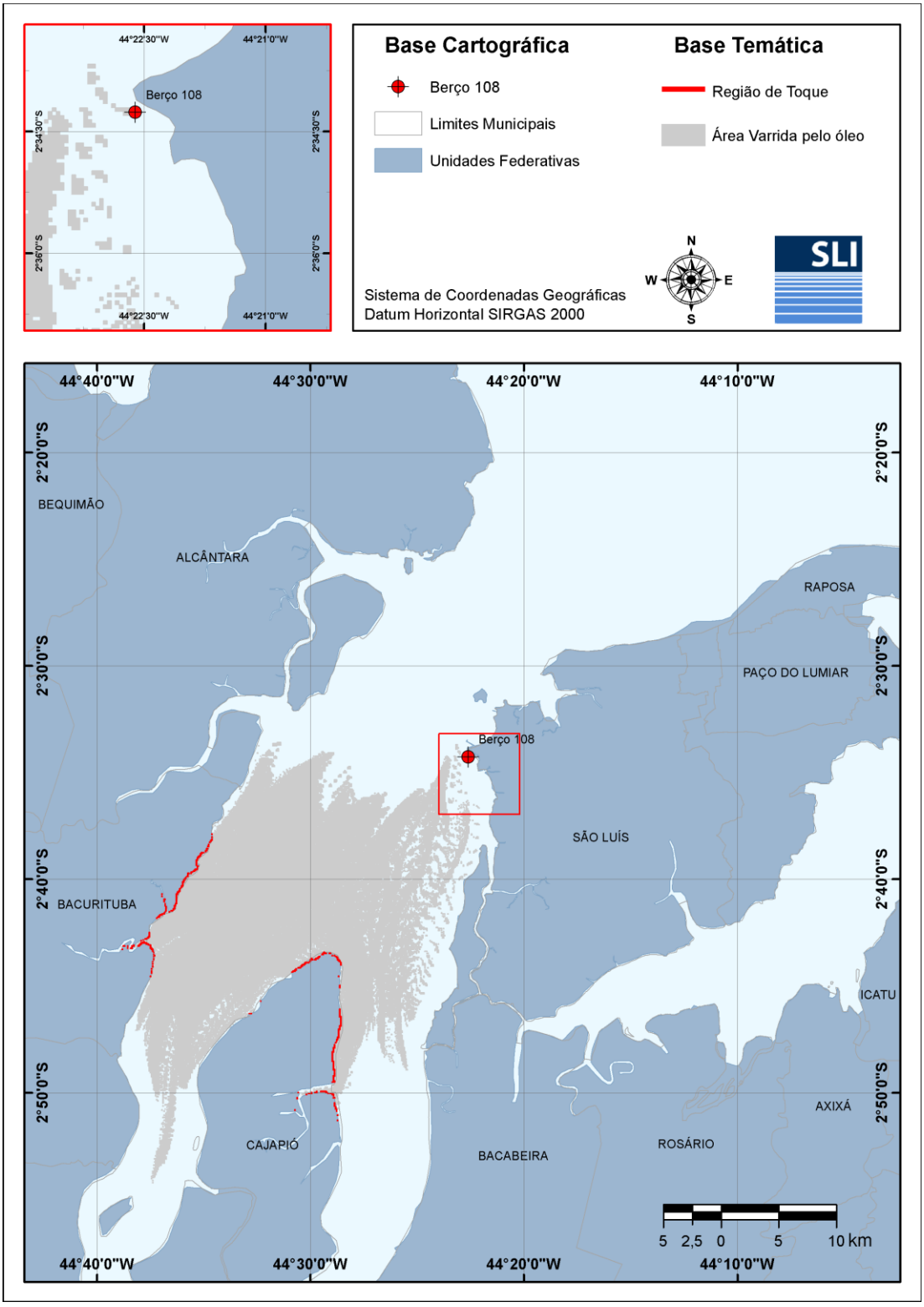


Figura 107: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

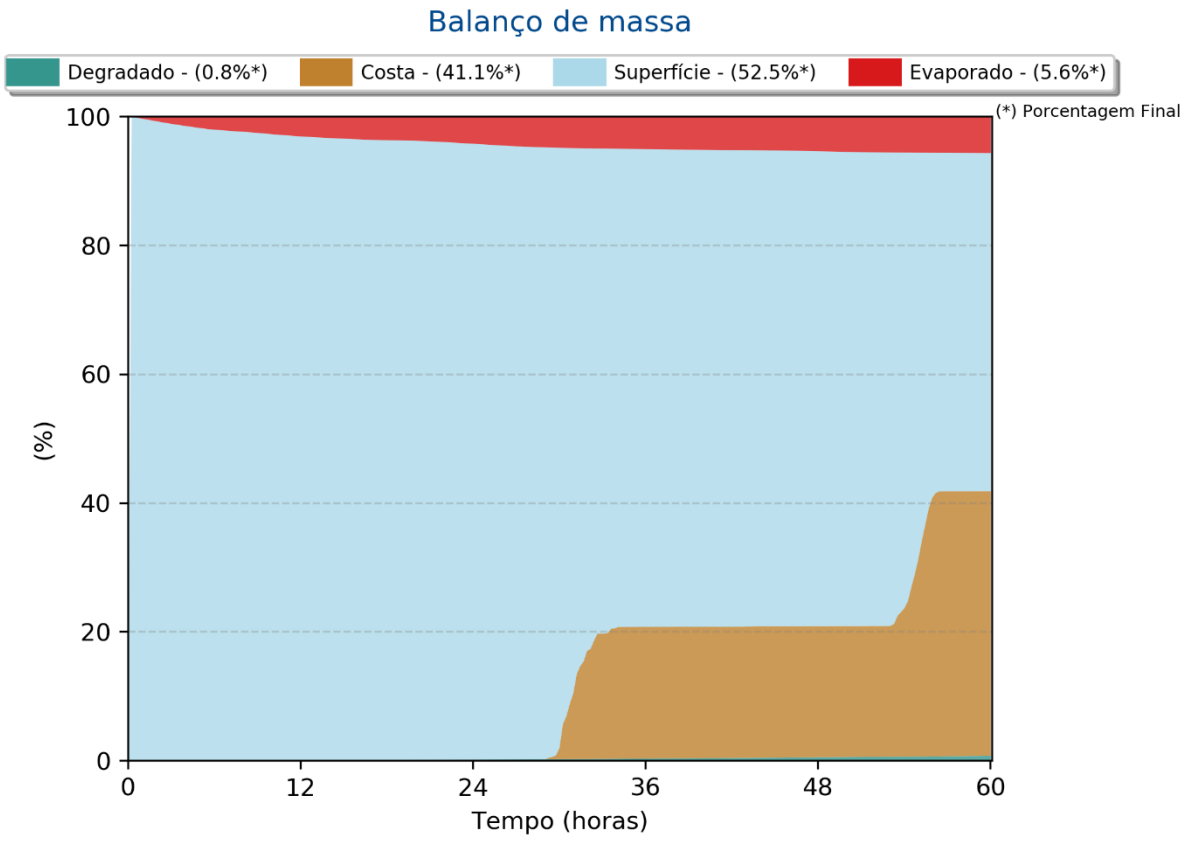


Figura 108 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

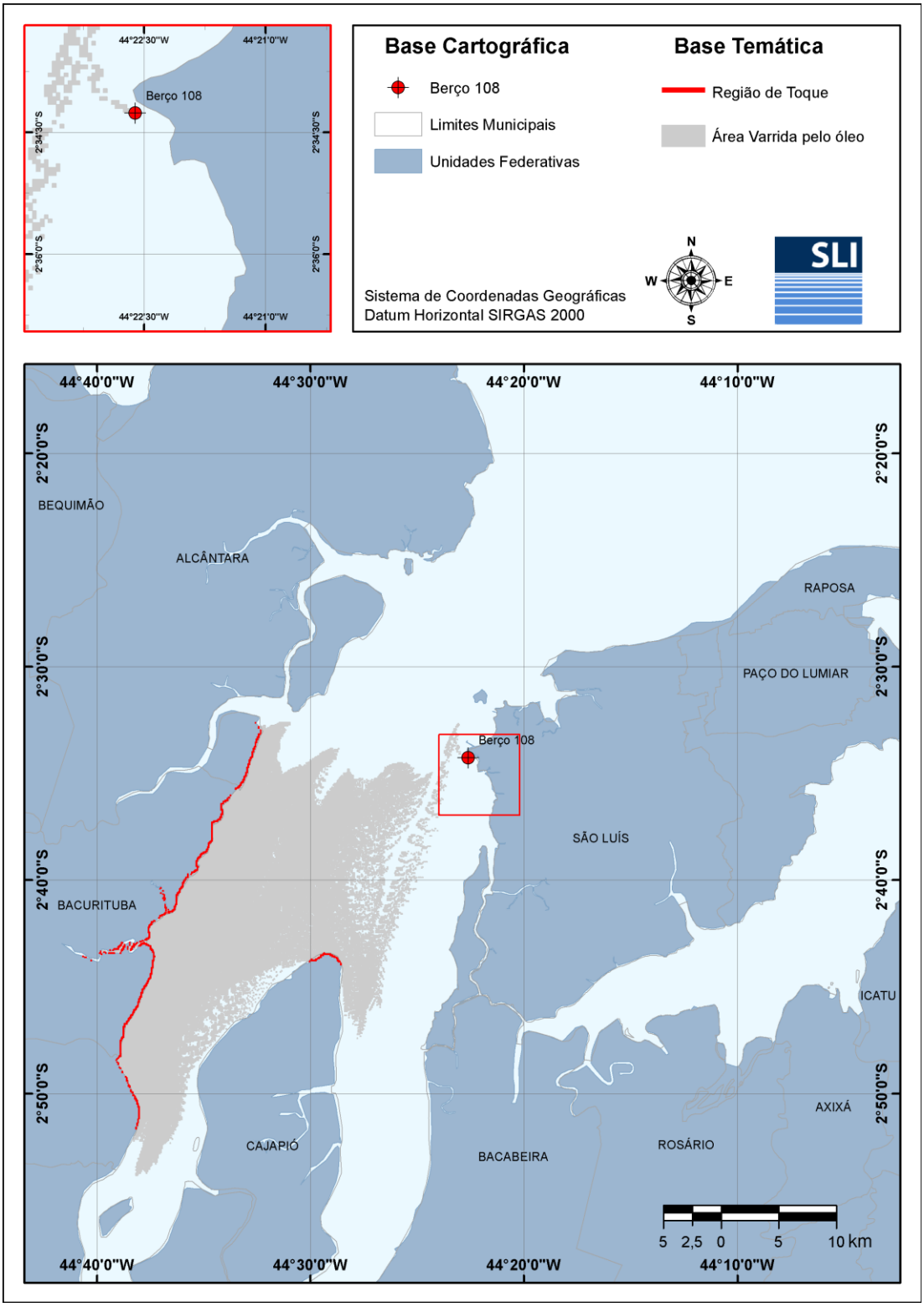


Figura 109: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

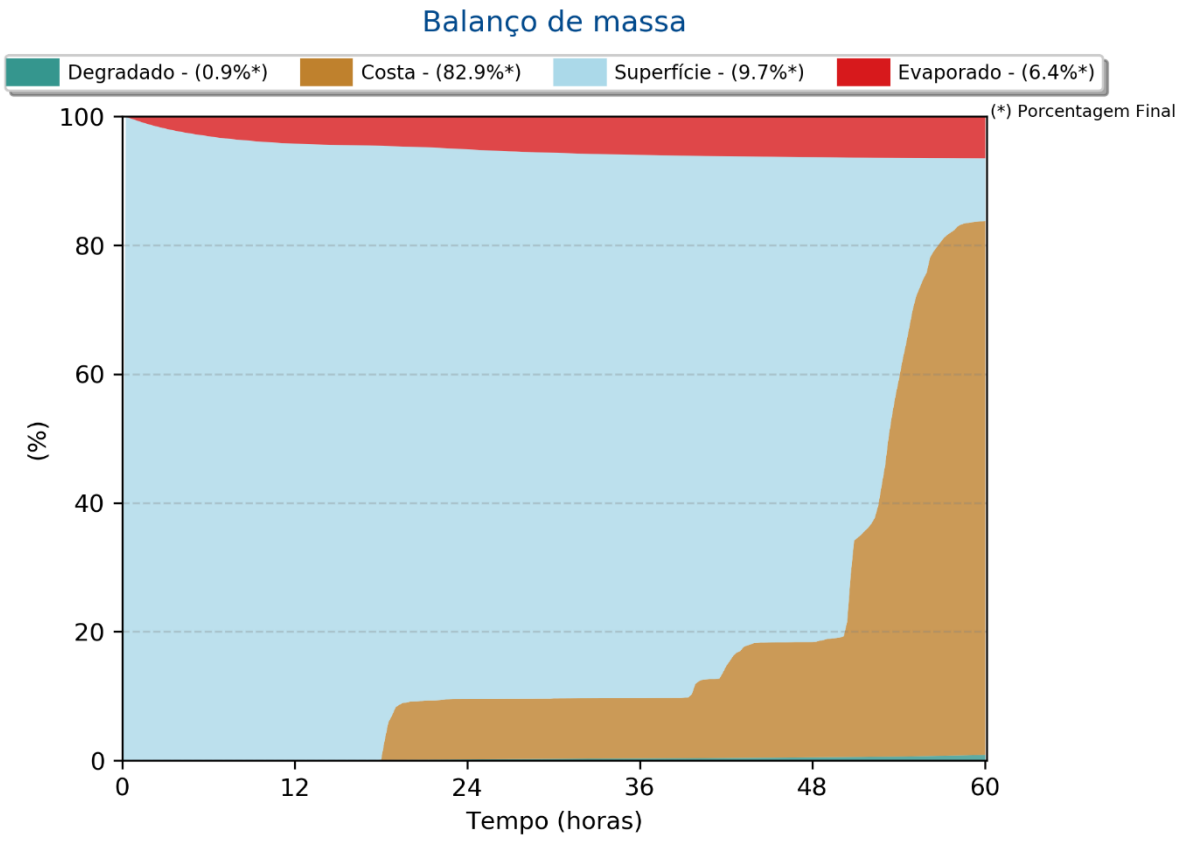


Figura 110 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

5.12.1.3 Volume pequeno (8,0 m³)

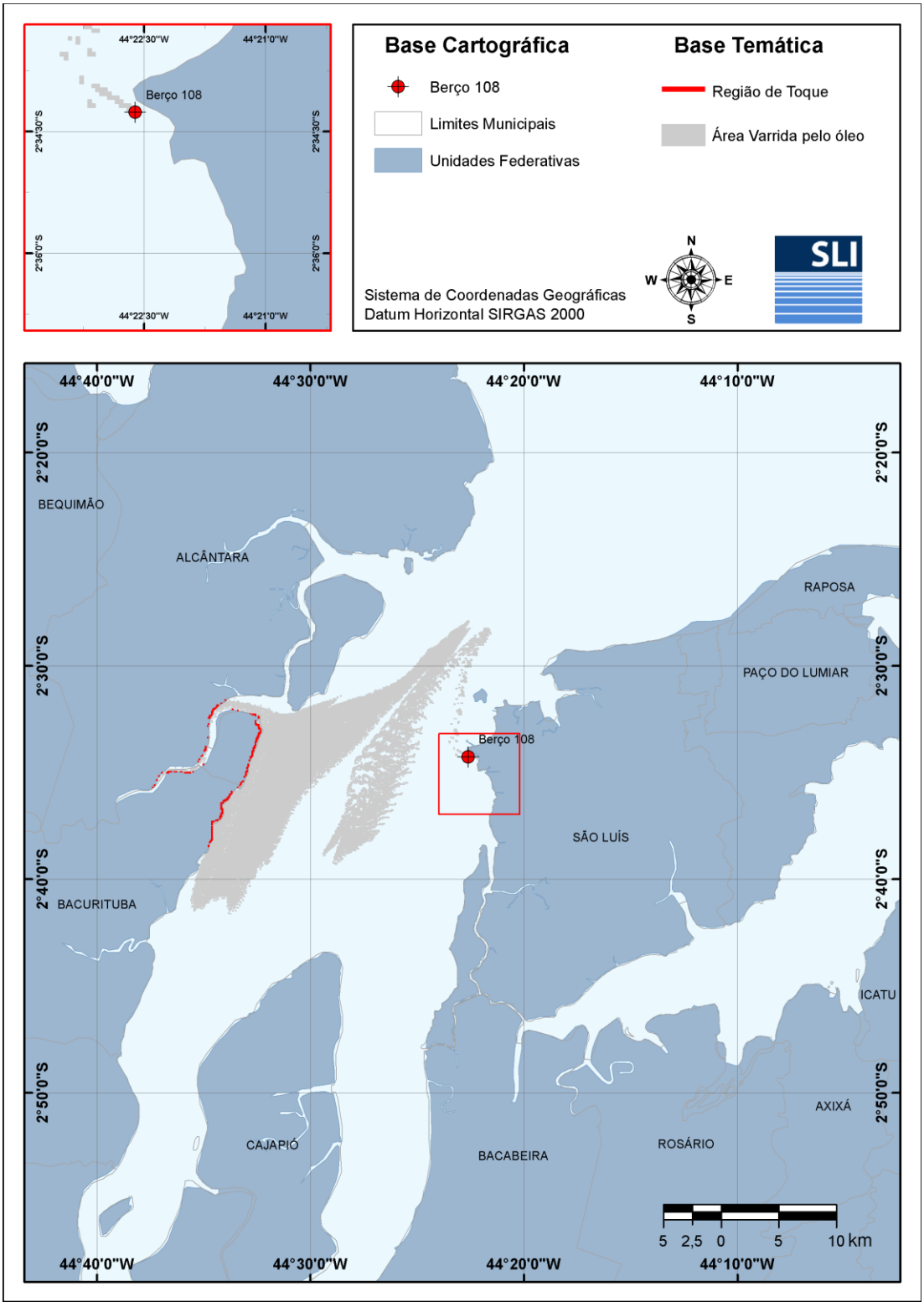


Figura 111: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

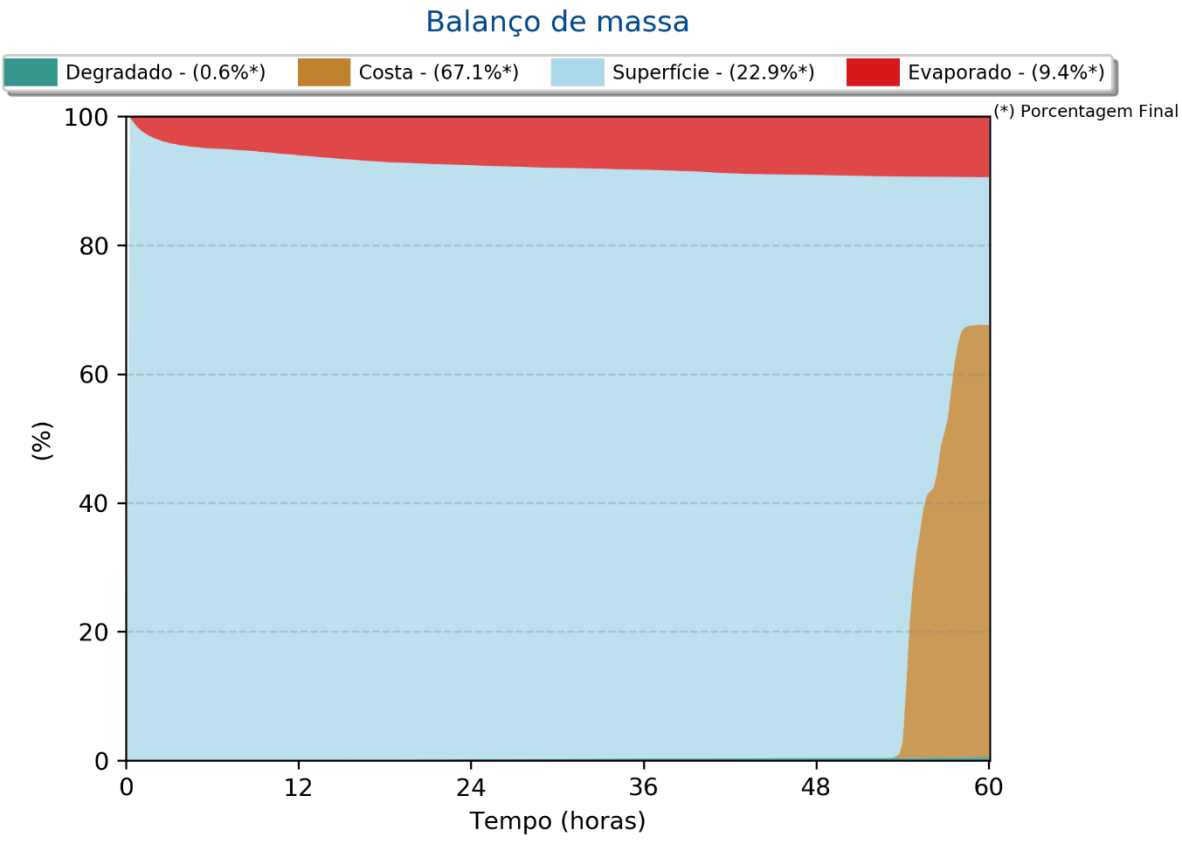


Figura 112 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

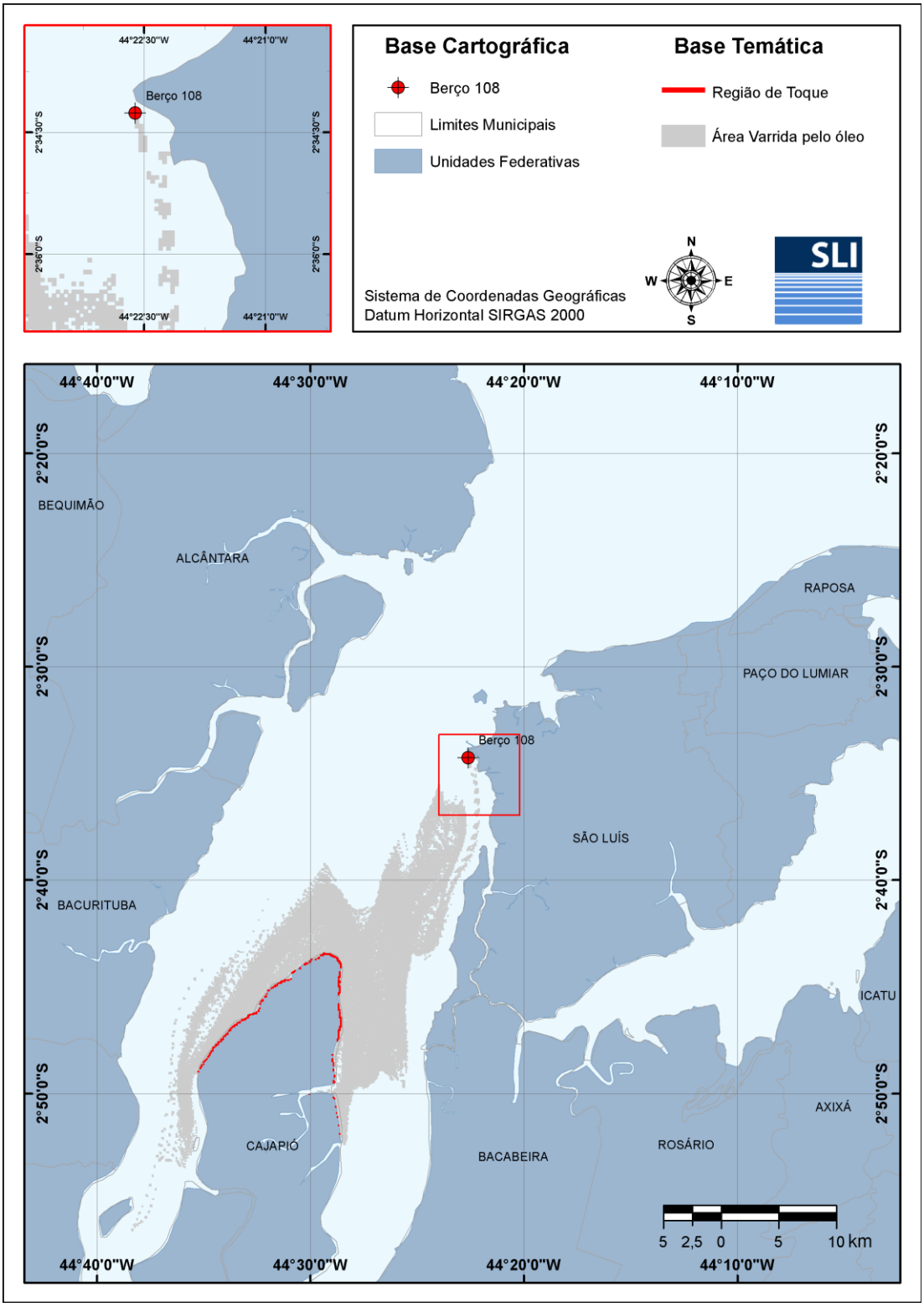


Figura 113: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Marítimo MF-380, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

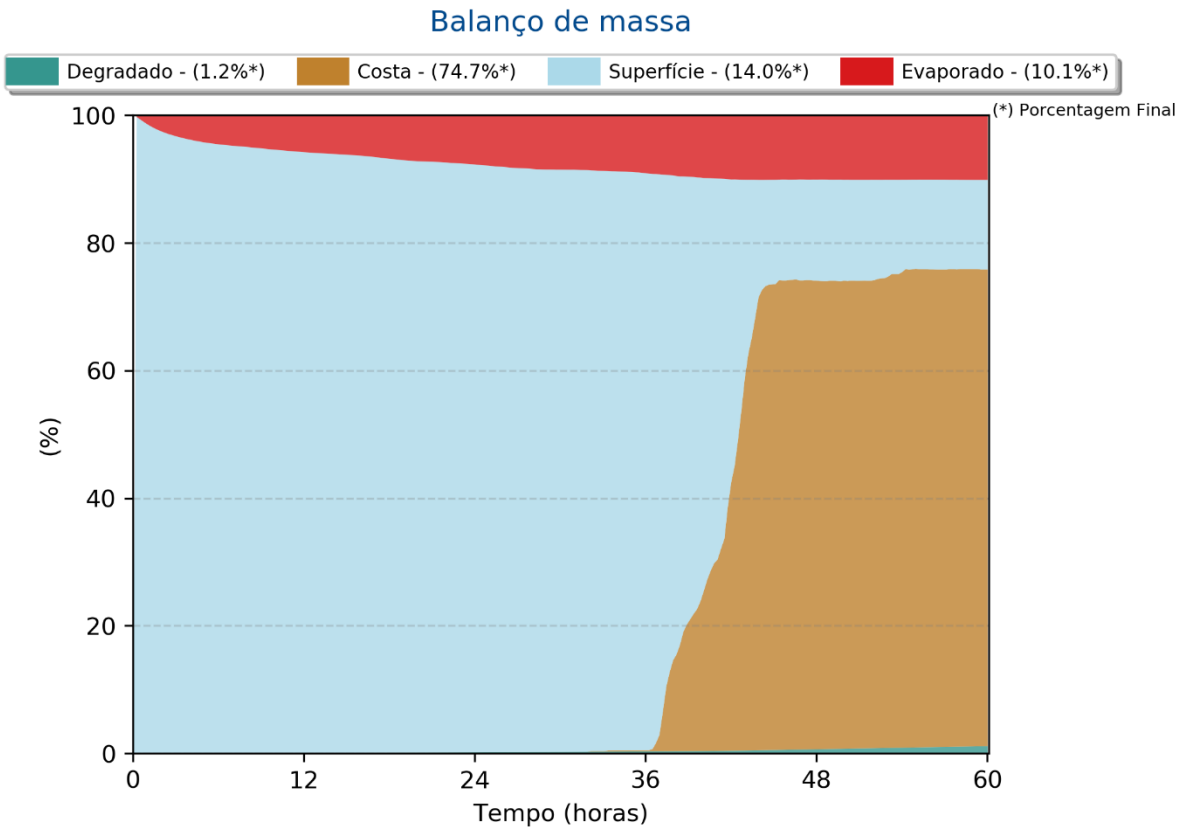


Figura 114 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

5.12.2 Óleo Diesel

Podemos observar nos cenários determinísticos para o produto do óleo diesel comportamento similar ao primeiro produto, i.e, a assinatura da intensidade dos ventos no período de SECA, transportando a maior parte do óleo em direção a costa oeste e sudoeste da baía de São Marcos em contraparte ao período de CHEIA. A exceção a este balanço, se dá devido as características do produto, por se tratar de um óleo cru, apresenta frações mais finas de hidrocarbonetos, mais suscetíveis a volatização, aumentando, portanto, as taxas de evaporação no balanço apresentado. Entre os 2 períodos, as taxas de evaporação são similares entre os volumes derramados (Pior caso em relação ao pior caso, médio ao médio, pequeno a pequeno). A distribuição da massa de óleo entre os períodos mais uma vez, tem maior encalhe/retenção no período da Seca em relação a Cheia, tendo apenas o Pior caso da cheia, uma maior representatividade na superfície da água, em comparação aos outros 2 volumes.

Tabela 25 - Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos.

Cenários	**Degradado (%)**	**Costa (%)**	**Superfície (%)**	**Evaporado (%)**
DE_B108OD_PC_CHEIA	1,25	24,47	47,83	26,46
DE_B108OD_200_CHEIA	1,17	48,30	17,54	32,99
DE_B108OD_8_CHEIA	1,22	40,84	13,50	44,44
DE_B108OD_PC_SECA	1,36	68,74	0,10	29,80
DE_B108OD_200_SECA	1,23	59,91	5,55	33,32
DE_B108OD_8_SECA	1,55	43,69	7,08	47,68

5.12.2.1 Volume de Pior Caso (10.000,0 m³)

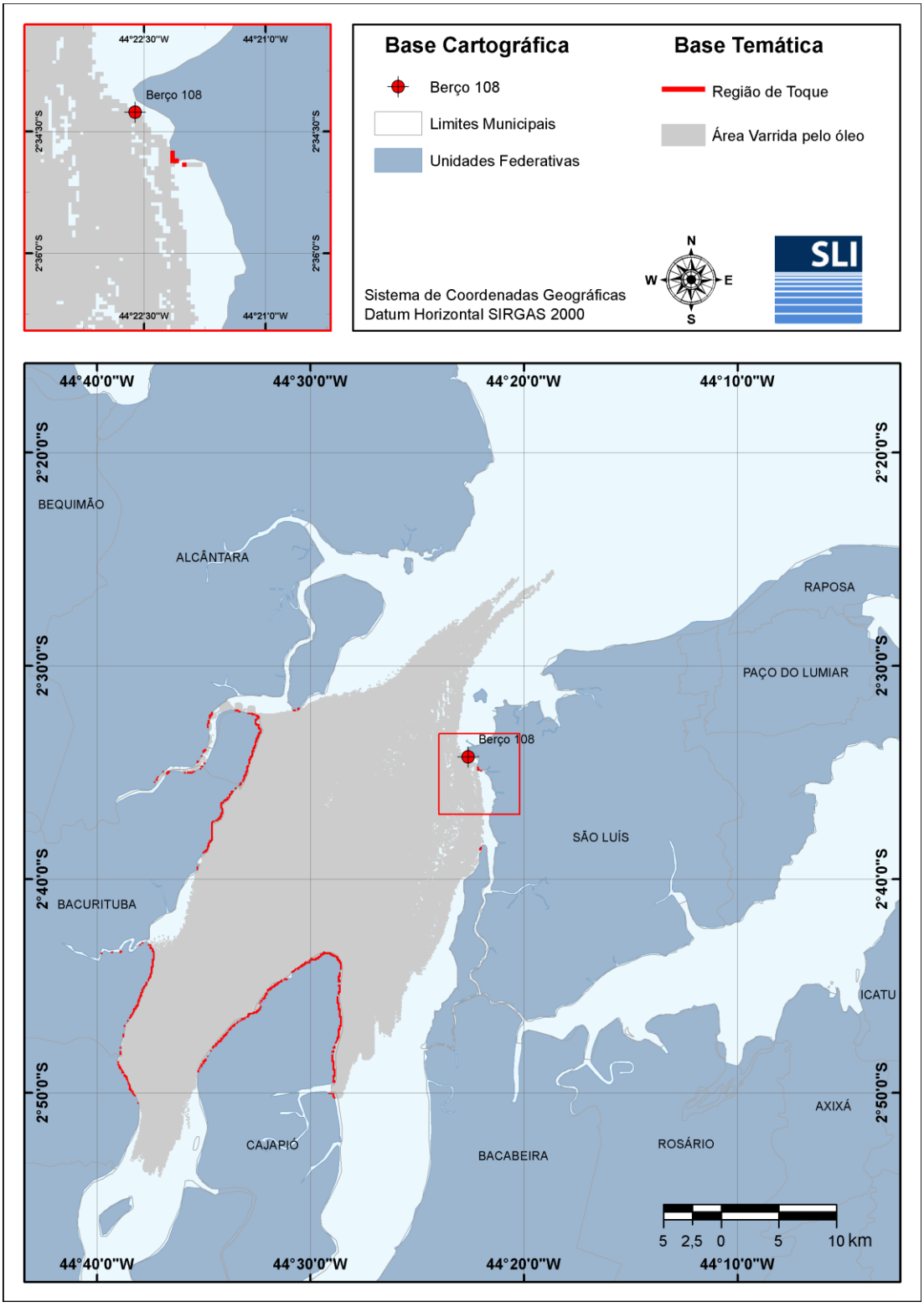


Figura 115: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia

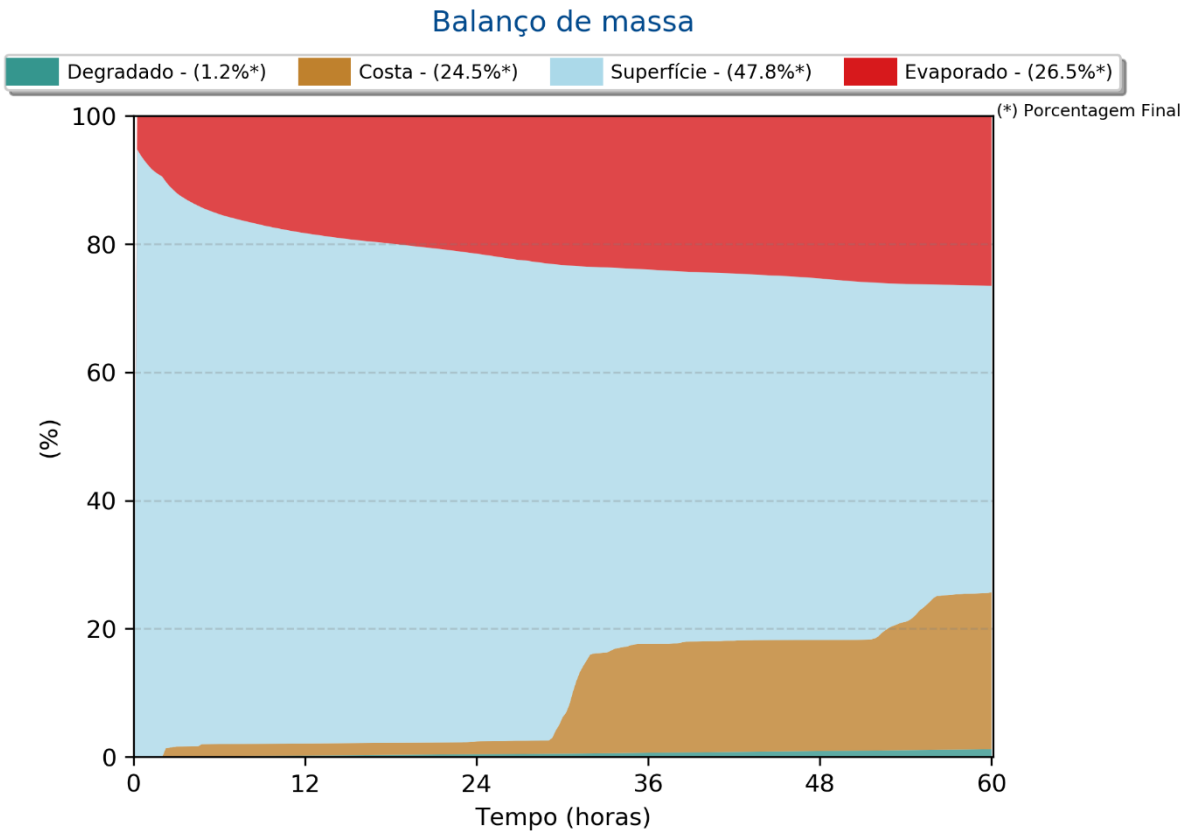


Figura 116 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

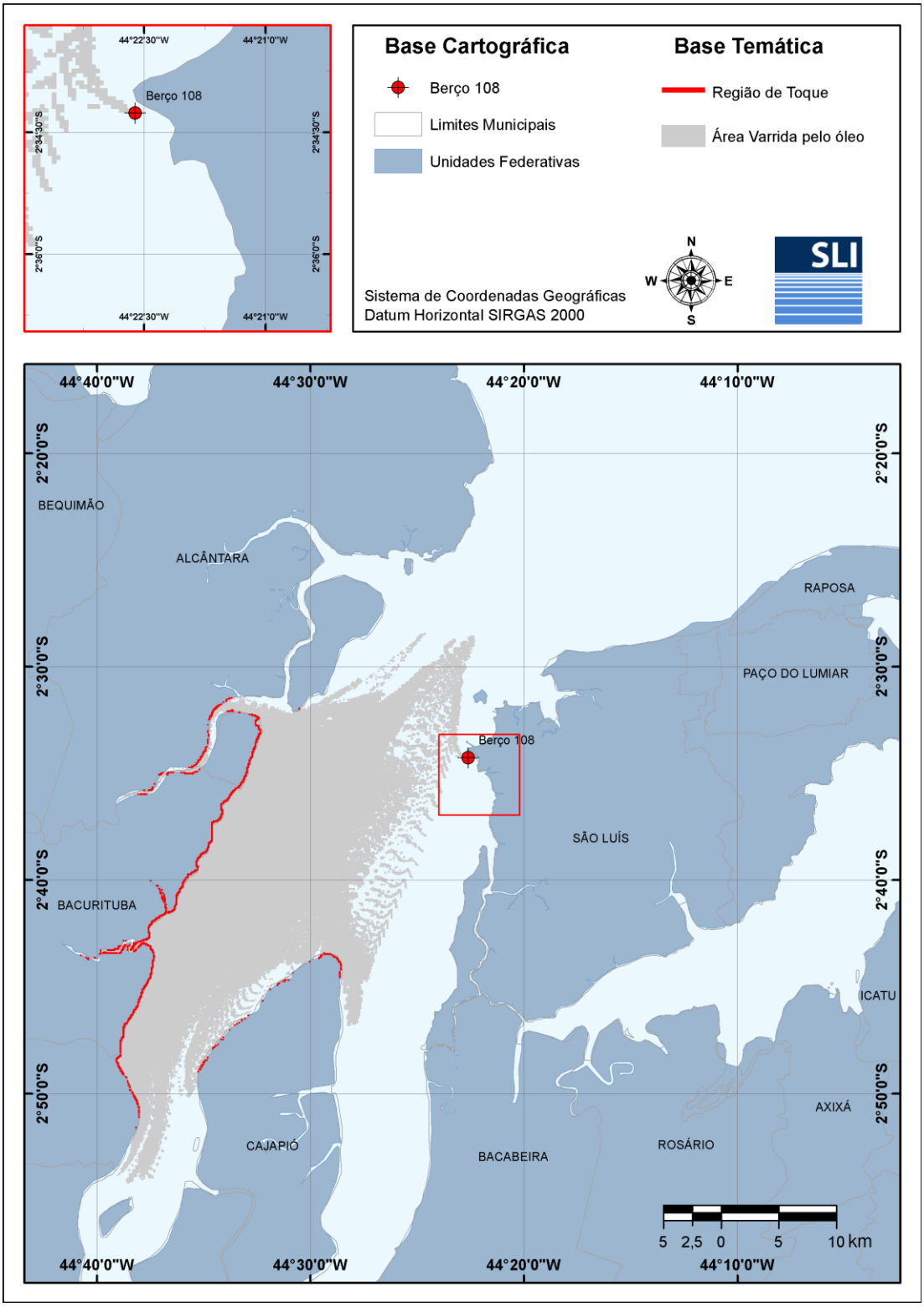


Figura 117: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 10.000,0 m³ (VPC) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca

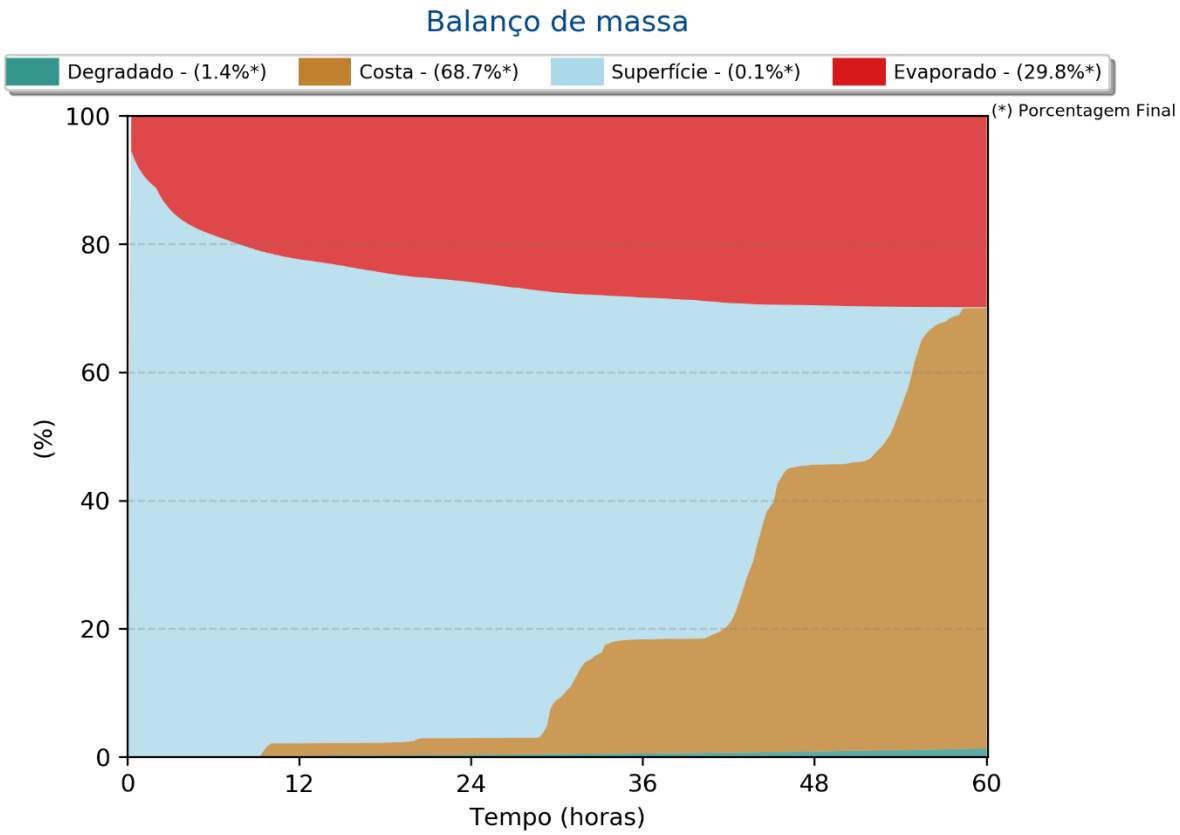


Figura 118 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

5.12.2.2 Volume médio (200,0 m³)

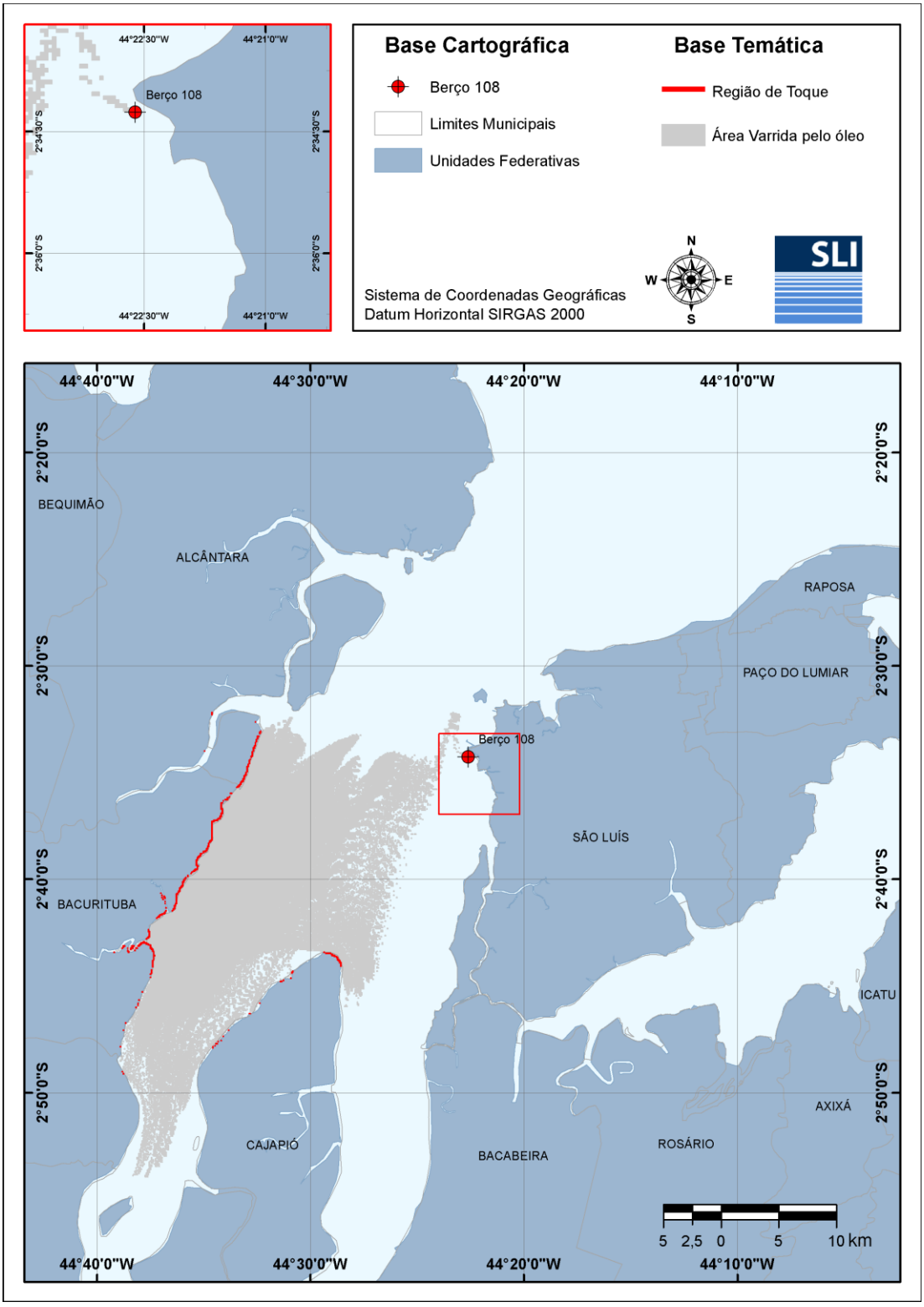


Figura 119: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

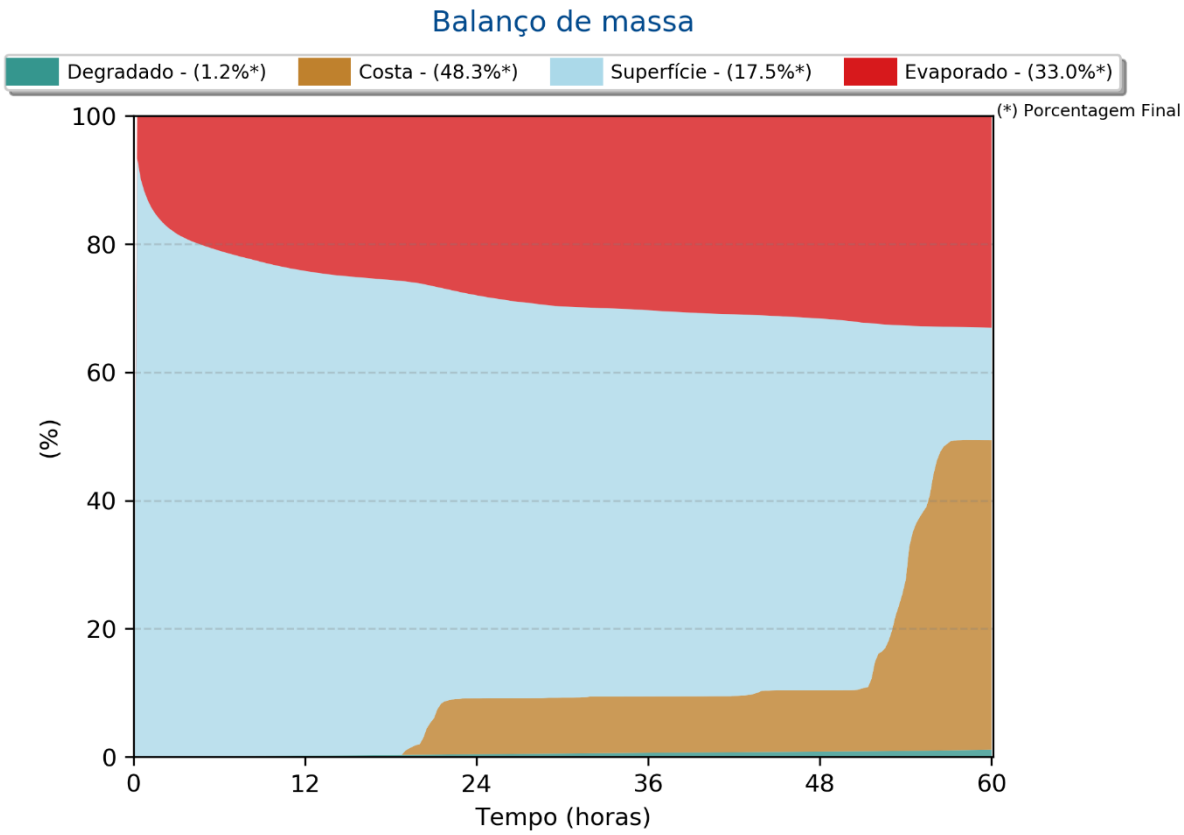


Figura 120 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

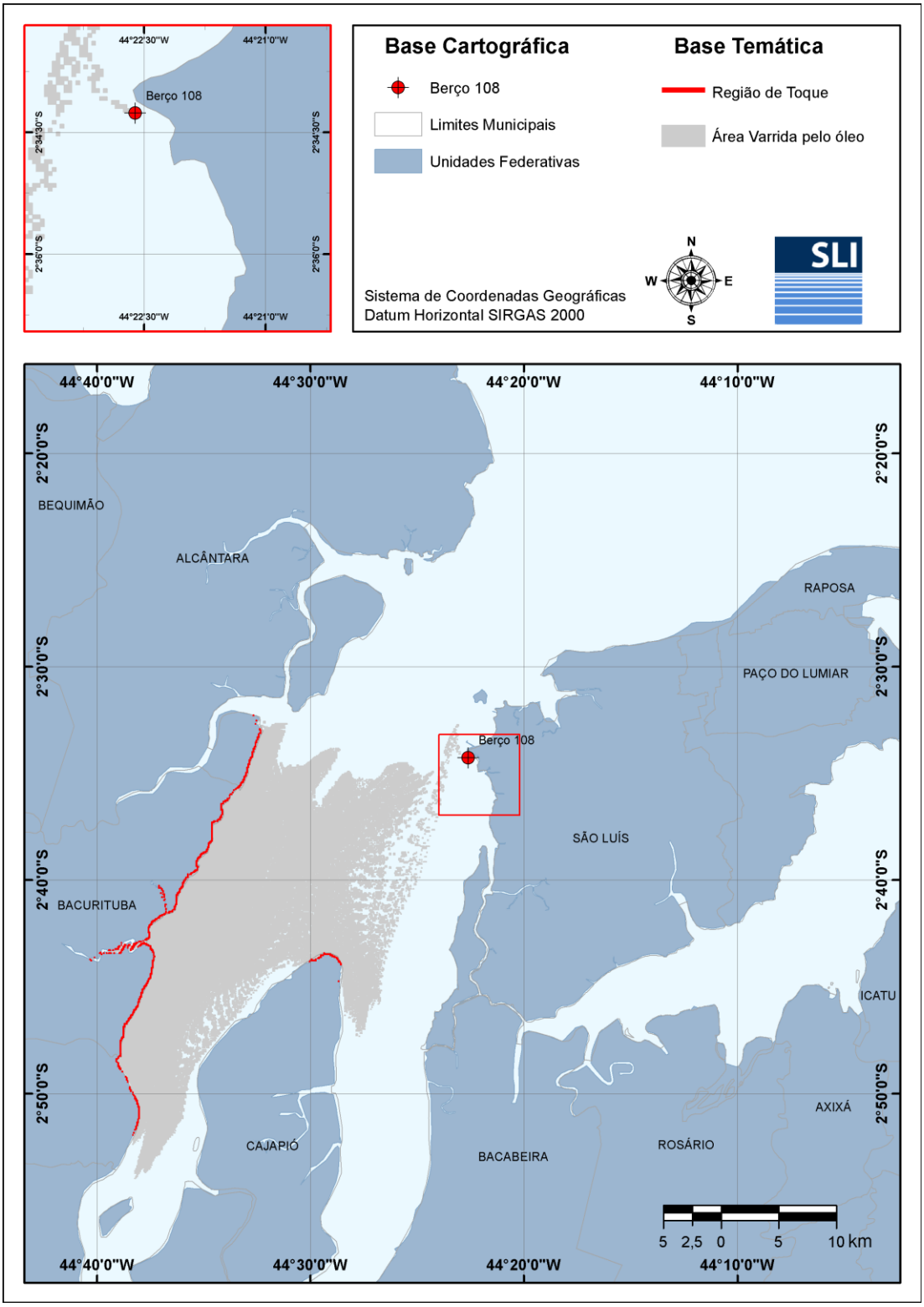


Figura 121: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (médio) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

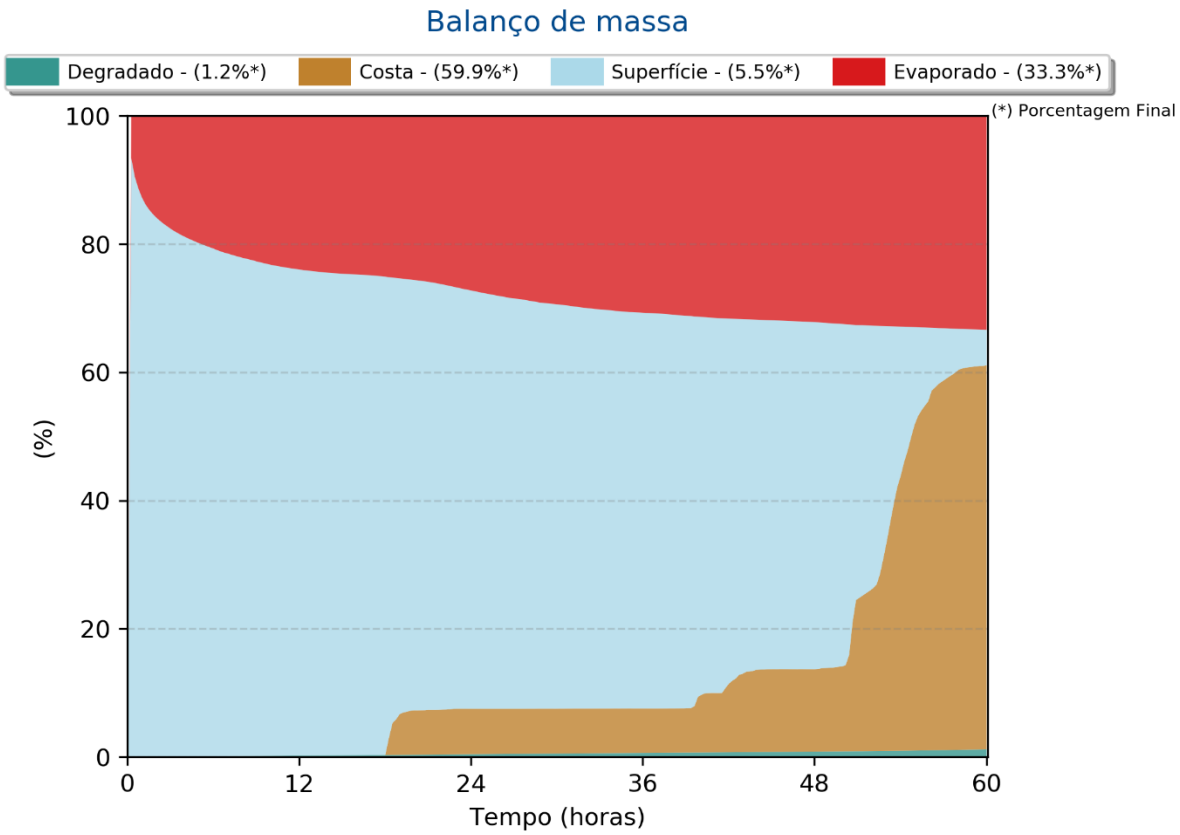


Figura 122 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

5.12.2.3 Volume pequeno (8,0 m³)

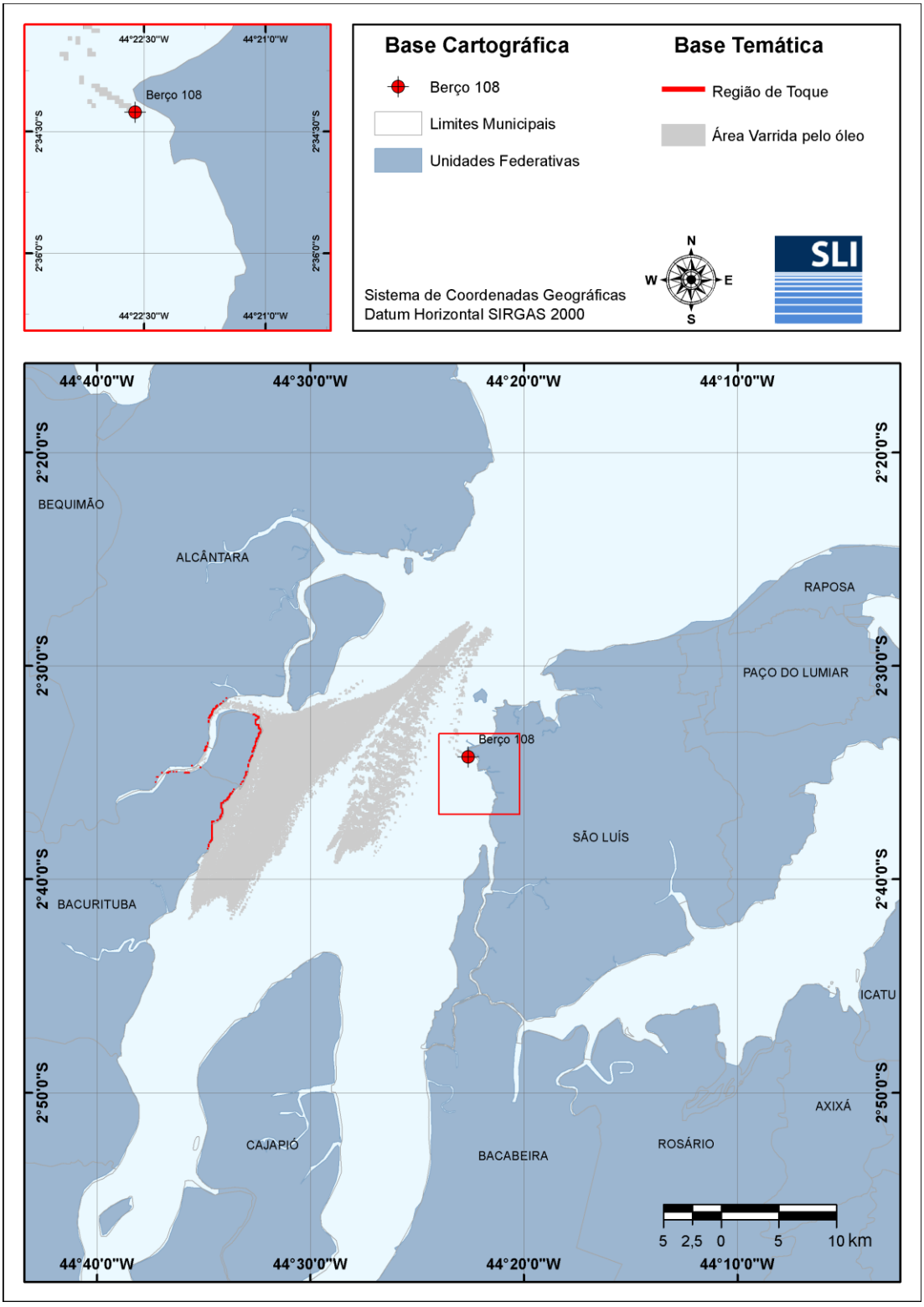


Figura 123: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de cheia.

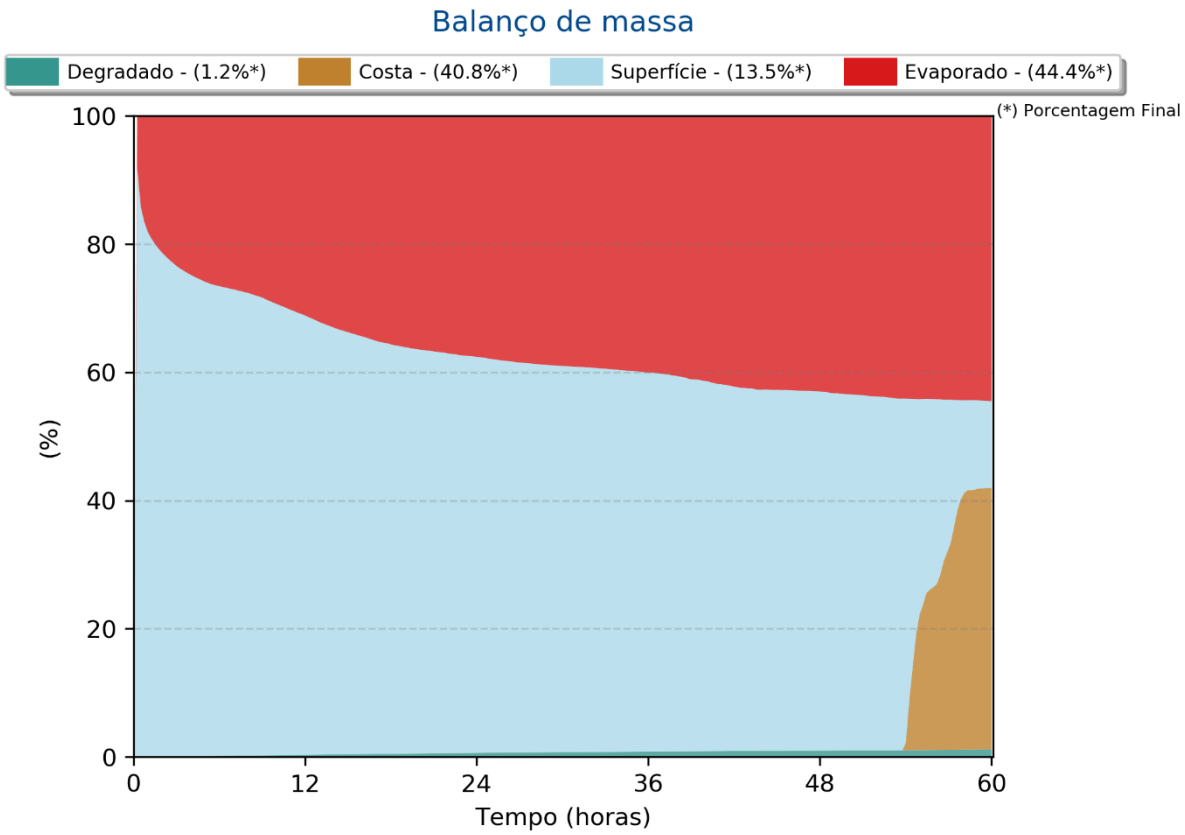


Figura 124 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

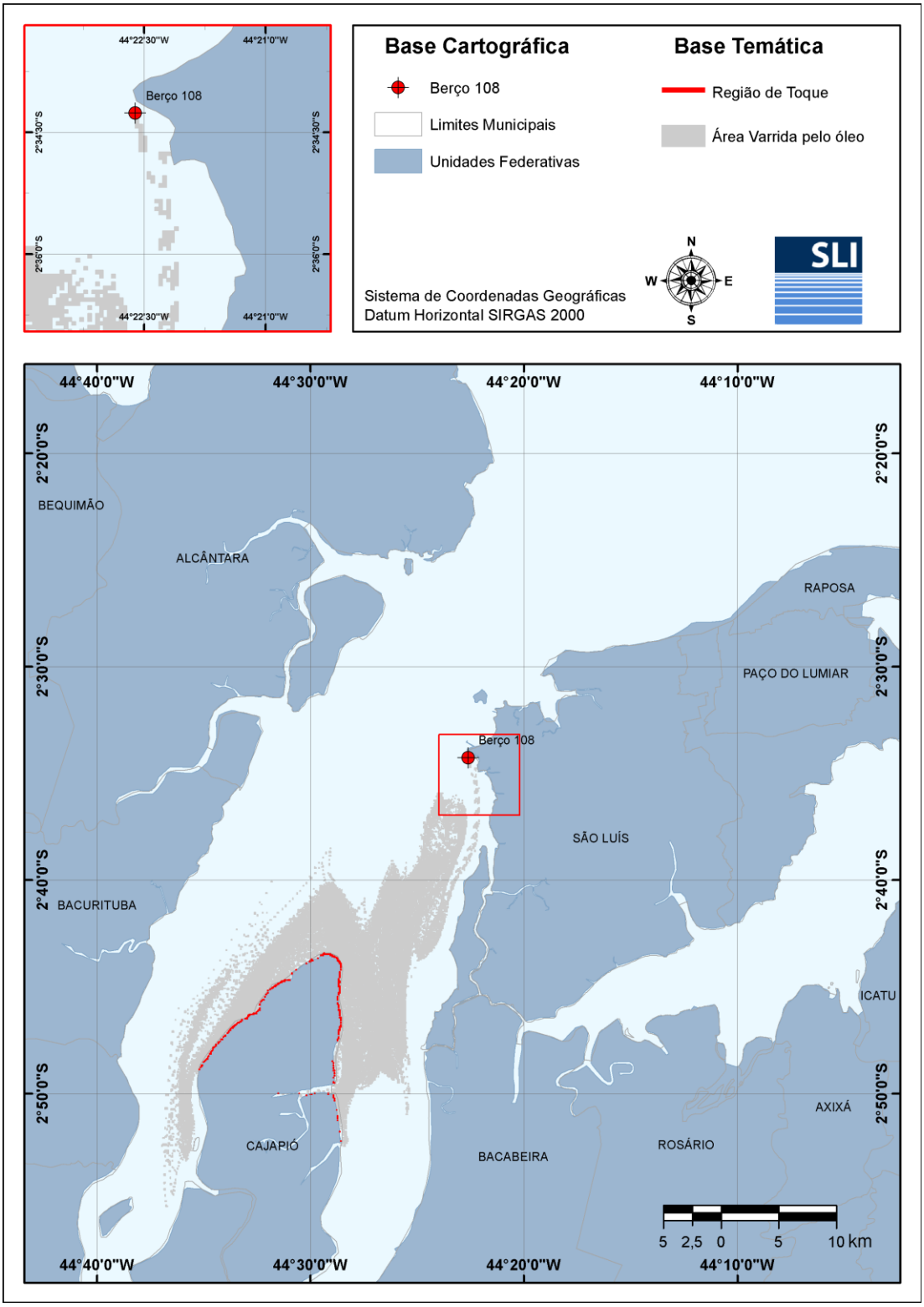


Figura 125: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do berço 108 do Porto de Itaqui durante o mês de seca.

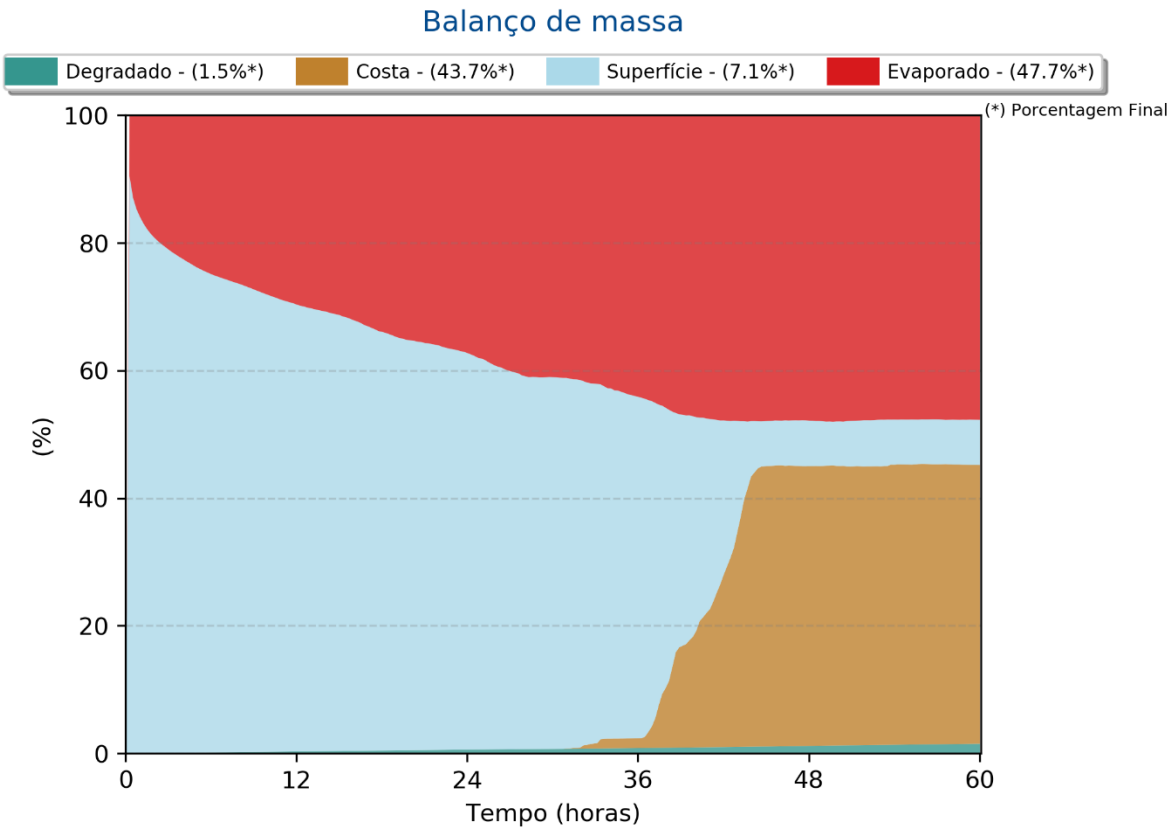


Figura 126 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

6 CONSIDERAÇÔES FINAIS

A **SLI Coastal Solutions** foi contratada pela ***Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP*** para realizar um estudo de modelagem numérica do derrame, dispersão e transporte de óleo para o Porto de Itaqui em São Luís, MA, com o objetivo de avaliar os impactos gerados por um vazamento de óleo hipotético acidental ocorrido nas proximidades do empreendimento, especificamente no Berço 108 de modo a subsidiar o plano de emergência do licenciamento ambiental do mesmo.

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 3 (três) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8 m^3; médio, com até 200 m^3 e de pior caso, definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço (quando aplicável).

Devido às características do empreendimento estudado, foram simulados 2 produtos diferentes, com 3 volumes de derramamento: 8,0 m^3, 200,0 m^3 e 10.000,0 m^3 sendo o último correspondente ao cenário de pior caso definido como o naufrágio e vazamento de toda capacidade do tanque do navio- e vazamento de toda a capacidade de carga do navio, respectivamente. Foram considerados o óleo IF-180 SHELL no modelo para representar o óleo combustível marítimo MF-380, e o Balder Blend 2010 correspondendo ao óleo diesel (cru).

As simulações foram conduzidas em modo probabilístico e determinístico, considerando os períodos sazonais de cheia (mês de março) e seca (mês de setembro) e suas variabilidades meteorológicas e oceanográficas. Com o objetivo de prever o pior cenário possível de ocorrer, não foi considerado qualquer sistema de controle ou ação de resposta aos vazamentos nas simulações, tais como uso de barreiras de contenção, *skimmers* e dispersantes, em um período de 60 horas após o vazamento.

Para a geração das bases hidrodinâmicas representativas de ambas sazonalidades foi utilizado o modelo numérico Delft-3D, desenvolvido pela Deltares (Delft Hydraulics - Holanda), considerado a ferramenta mais avançada na atualidade para simulações de ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Para a simulação dos processos de dispersão foi utilizado o módulo Oil Spill Contingency And Response (OSCAR) do MEMW desenvolvido pela SINTEF, modelo que calcula os processos advectivos e dispersivos de vários tipos de óleos derramados no mar.

Os resultados da modelagem numérica de dispersão de óleo indicam que o vento é o fator predominante no processo de dispersão de óleo para as regiões à oeste e sudoeste do porto de Itaqui. O óleo não escapa a baía de São Marcos devido a maré, e conjuntamente a ação dos ventos de leste e nordeste. Em geral, o espalhamento é maior nos cenários de Seca, devido a uma menor variabilidade de direção do vento, e maior intensidade das direções mencionadas acima. Estes ventos, junto ao tempo menos chuvoso (seca) intensifica processos de evaporação das frações finas (leves) de hidrocarbonetos, principalmente para o produto cru (OD), sendo evidenciado nos contornos de probabilidades, e nos respectivos balanços de massa apresentados. Outro ponto importante é a colaboração de cisalhamento do vento, responsável pelo transporte de energia do vento para o óleo, além das frações finas, das emulsificações destas.

Os resultados das simulações de dispersão de óleo para vazamentos no porto mostram que a maior parte do óleo atingirá região externa ao porto, o interior do restante da baía, salve alguns poucos casos atingindo área adjacente, porém com baixa probabilidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amante, C. and B.W. Eakins, 2009. **ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis**. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M. Disponível em: https://data.nodc.noaa.gov/. Acesso em: 07/12/2018.

BLOKKER, P.C., 1964. **Spreading and evaporation of petroleum products on water.** Antwerp: in Proceedings of the Ninth International Harbour Conference.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2008). **Resolução n° 398 de 11/06/2008.** Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 07/12/2018.

ELLIOTT, A.J., HURFORD, N. and PENN, C.J., 1986. **Shear Diffusion and the Spreading of Oil Slicks.** Mar.Pollut. Bull., 17 (7), 308-313.

FAY, J.A., 1971. **Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. Washington D.C**.: in Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills, pp 463-468, American Petroleum Institute.

FORRESTER, W.D, 1986. Distribution of suspended oil particles following the grounding of the oil tanker Arrow. J. Mar. Res. 29,151-170.

KANAMITSU et al., 2002. **NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2)**. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 83(11), p. 1631-1643

LEHR, W.J., FRAGA, R.J., BELEN, M.S. and CEKIRGE, H.M., 1984. **A New Technique to Estimate Initial Spill Size Using a Modified Fay-type Spreading Formula**. Mar. Pollut. Bull., 15 (9), 326-329.

LESSER, G.R.; ROELVINK. J.A.; VAN KESTER, J.A.T.M.; STELLING, G.S. 2004. **Development and Validation of a Three-Dimensional Morphological Model.** Coastal Engineering. Vol. 51. P. 883-915.

Pond, S.; Pickard, G., 1978.Introductory Dynamical Oceanography, 1ª. Ed, Oxford: Pergamon Press Ltd

LUNEL T., 1993. **Dispersion. Oil droplet size measurements at sea**. pp 1023-1056. Proceedings 16th Arctic and Marine Oil Spill Technical Seminar. Environment Canadá.

PETROBRAS, 2011. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ).**

Produto: Óleo Combustível Marítimo BUNKER C. Nº FISOQ: BR0350. 10 p.

Reed, M and coauthors, 2001. **Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000**. Proceedings of 2001 International Oil Spill Conference – Tampa, Florida. SINTEF Applied Chemistry. Department of Environmental Engineering. Trondheim, Norway

SAHA and coauthors, 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. Journal of

Climate, 27, 2185–2208. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1

THORPE S.A., 1984. On the determination of Kv in the near-surface ocean from acoustic measurements of bubbles. J. Phys. Oceanogr. 14, 855-863.

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

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

VIANA, T.V.A.; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R.R.; MOREIRA, L.G.; AZEVEDO, B.M.; VIANA, S.S.A. Análise estocástica dos déficits e dos excedentes hídricos mensais em Fortaleza, CE. Revista Ciência Agronômica, v.36, n.3, p.391-395, 2005

I.A Anexo I – Análise das Condições Meteorológicas e Oceanográficas Iniciais para os cenários determinísticos

Óleo combustível marítimo MF-380

Volume de Pior Caso

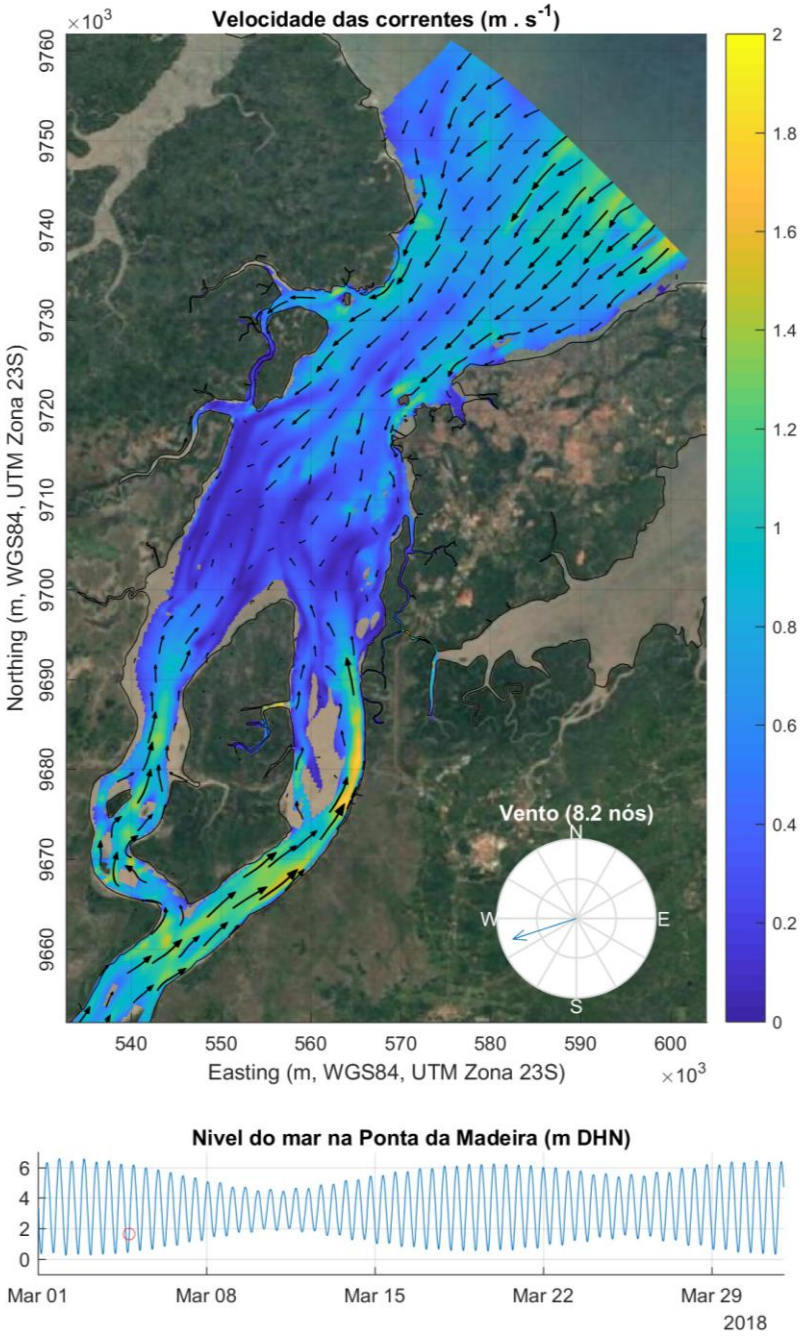


Figura I.A 1 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto MF-380 no período da Cheia.

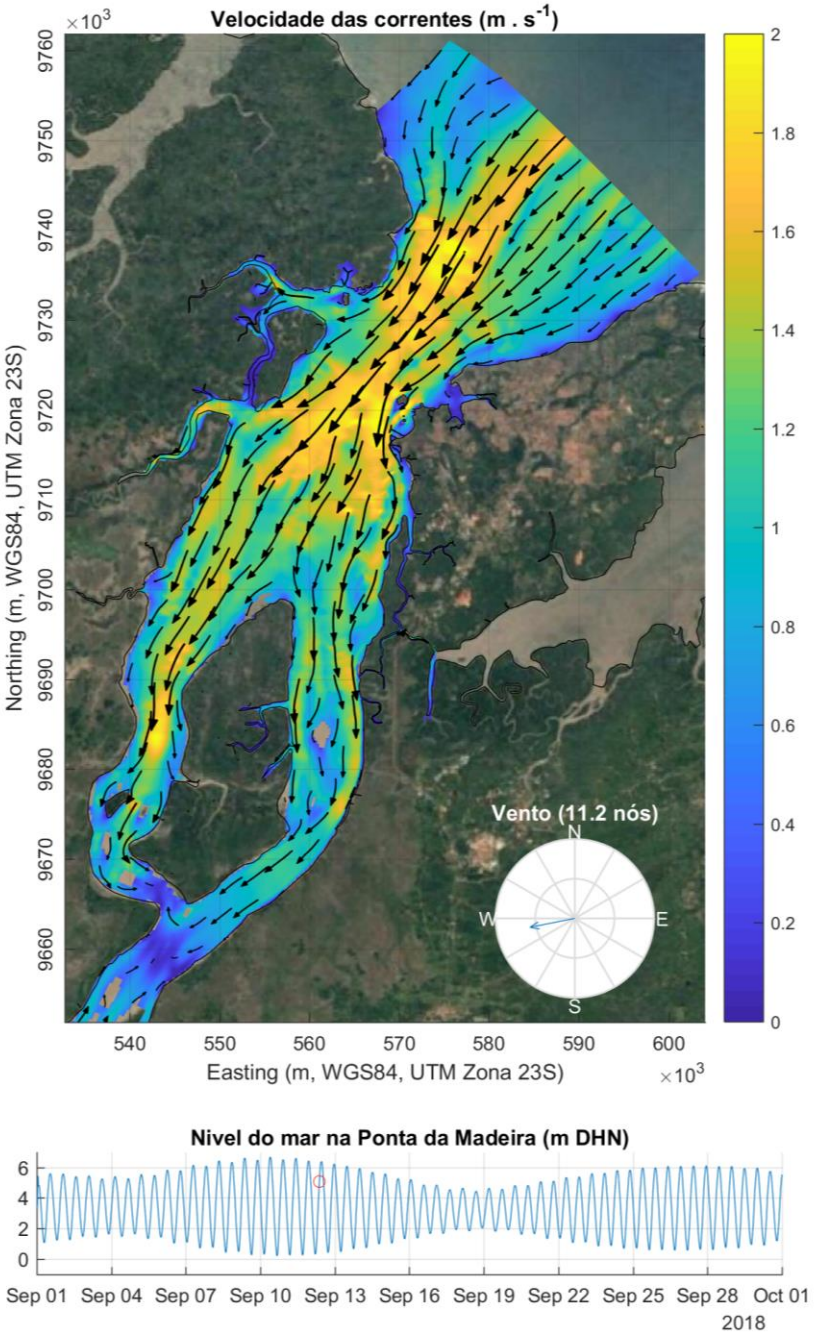


Figura I.A 2 - - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto MF-380 no período da Seca.

Volume Médio

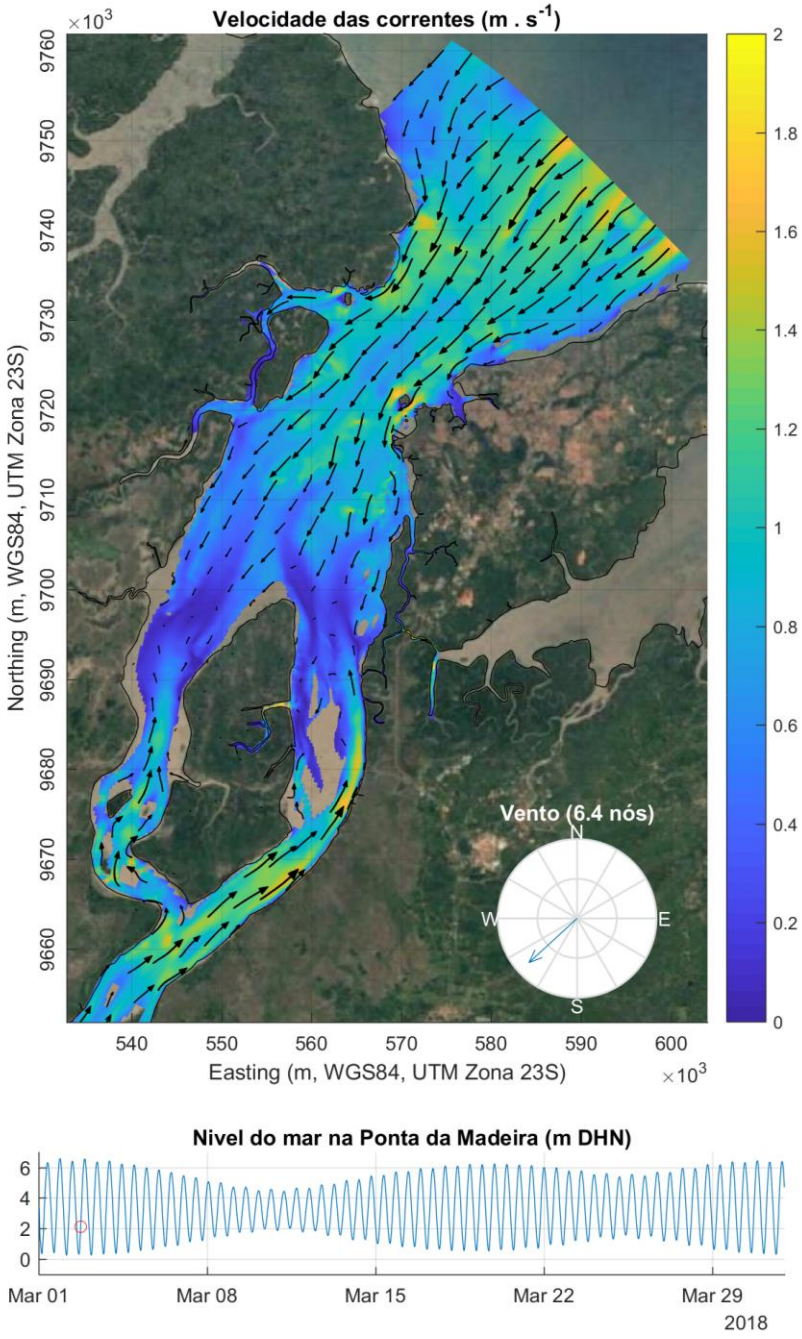


Figura I.A 3 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume médio do Produto MF-380 no período da Cheia.

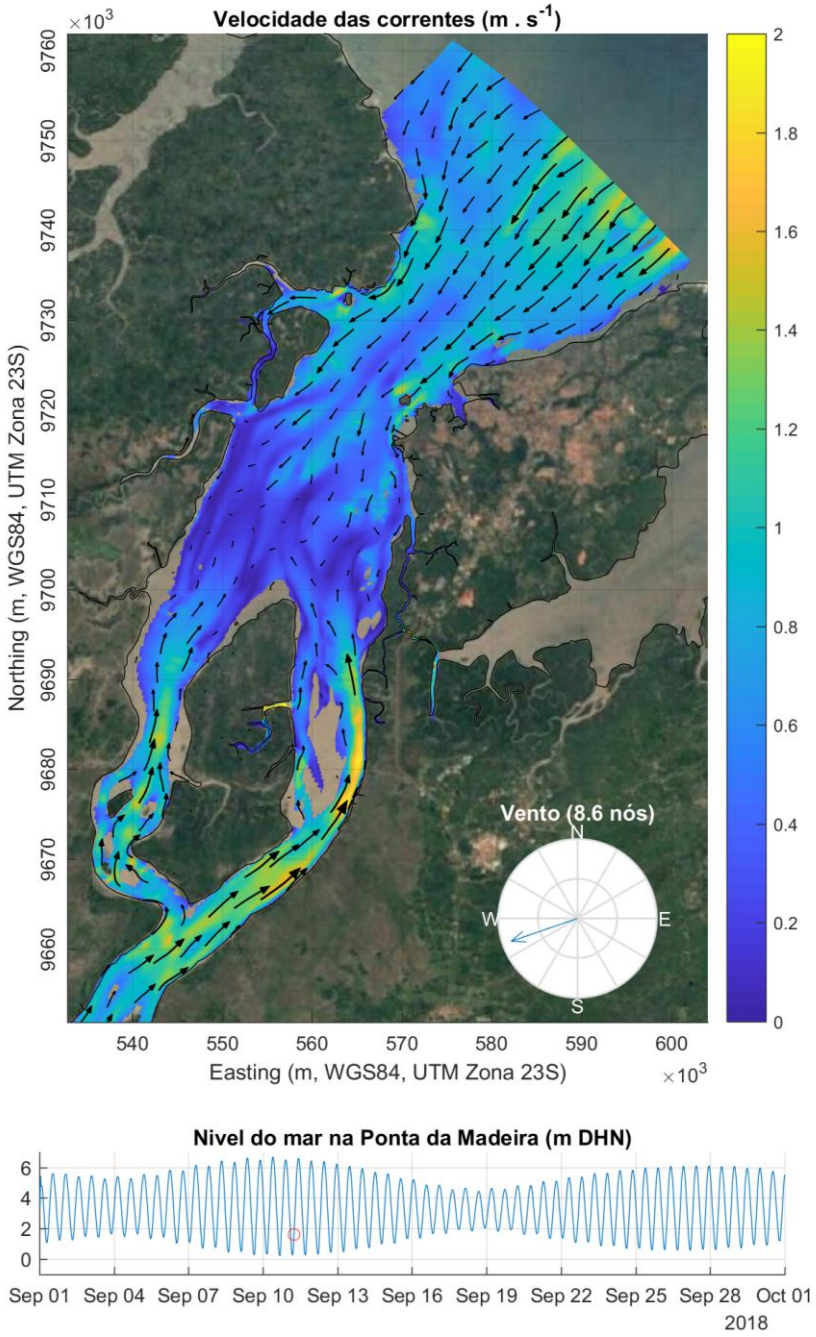


Figura I.A 4 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume médio do Produto MF-380 no período da Seca.

Volume Pequeno

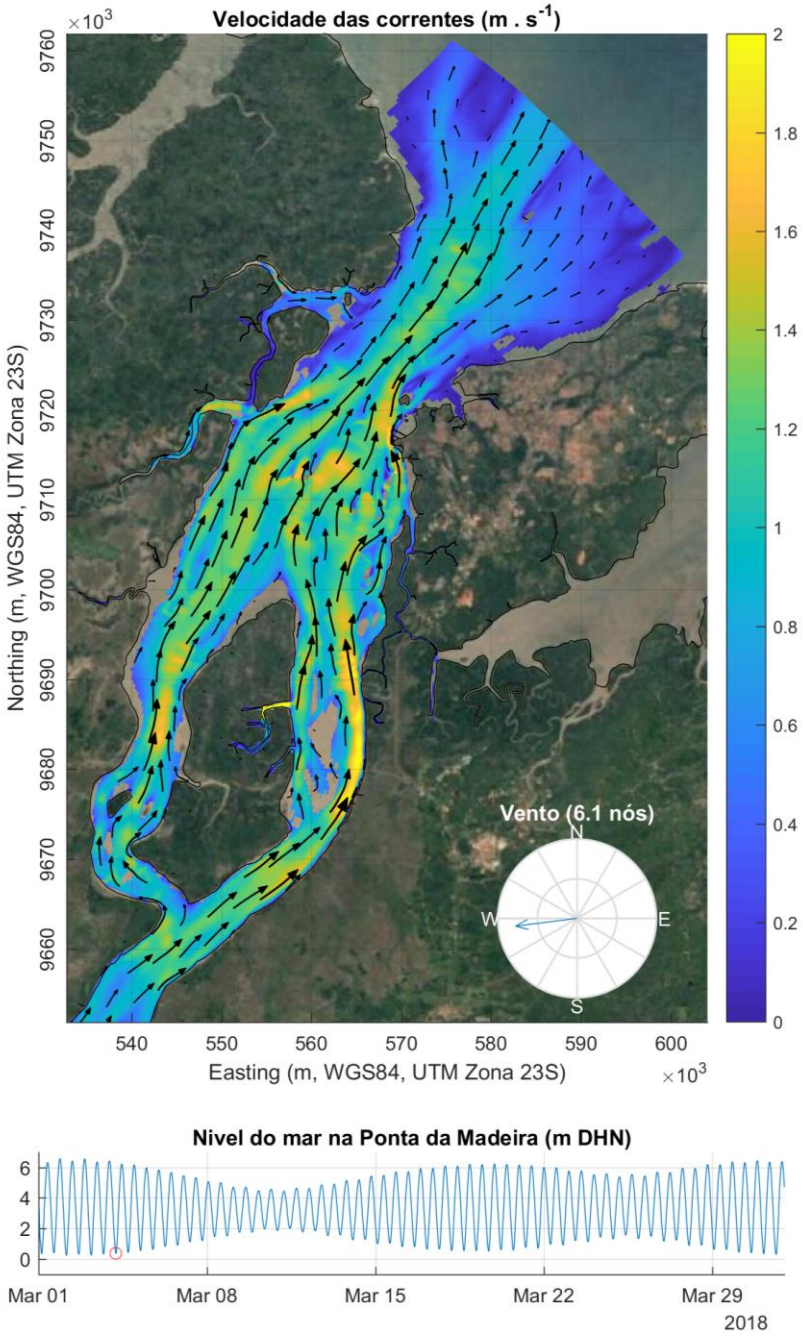


Figura I.A 5 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto MF-380 no período da Cheia.

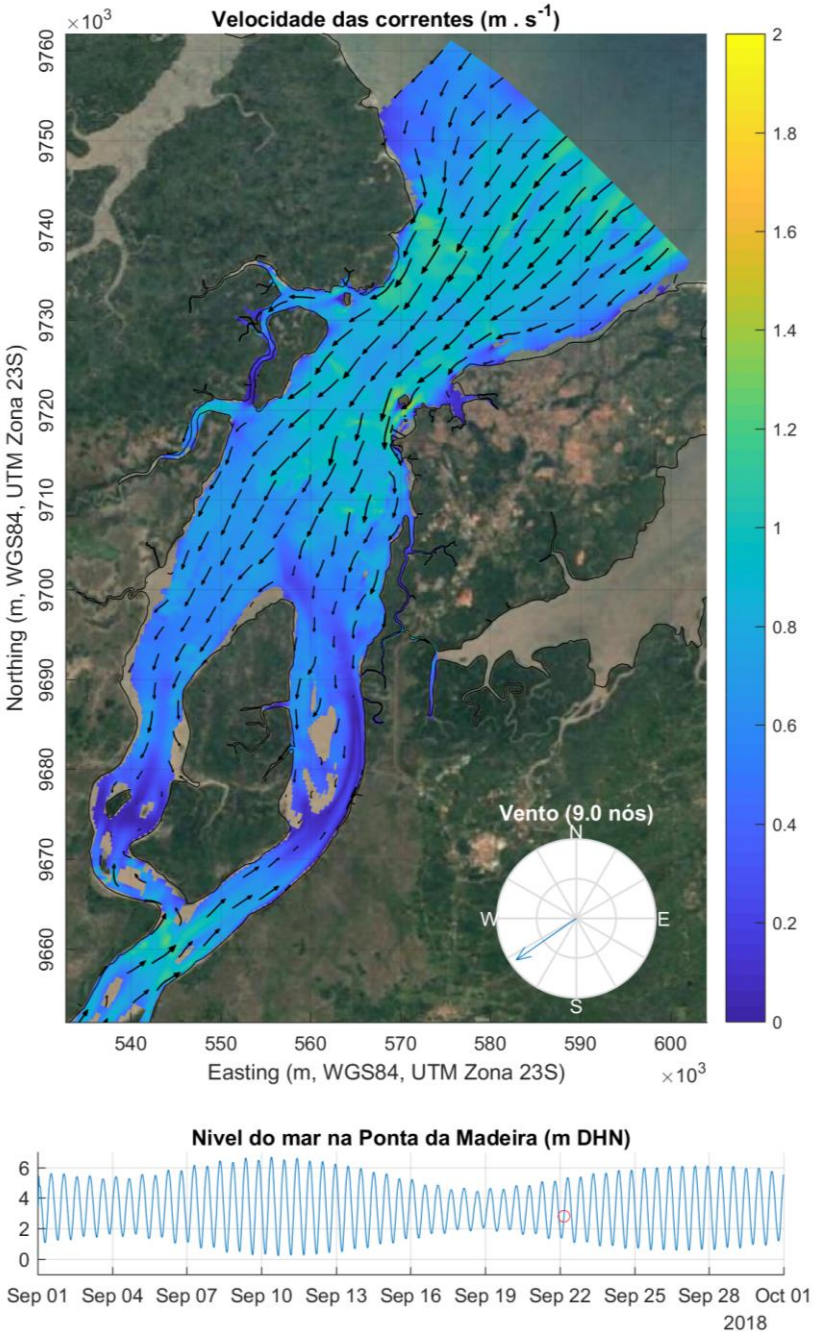


Figura I.A 6 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto MF-380 no período da Seca.

Óleo Diesel

Volume de Pior Caso

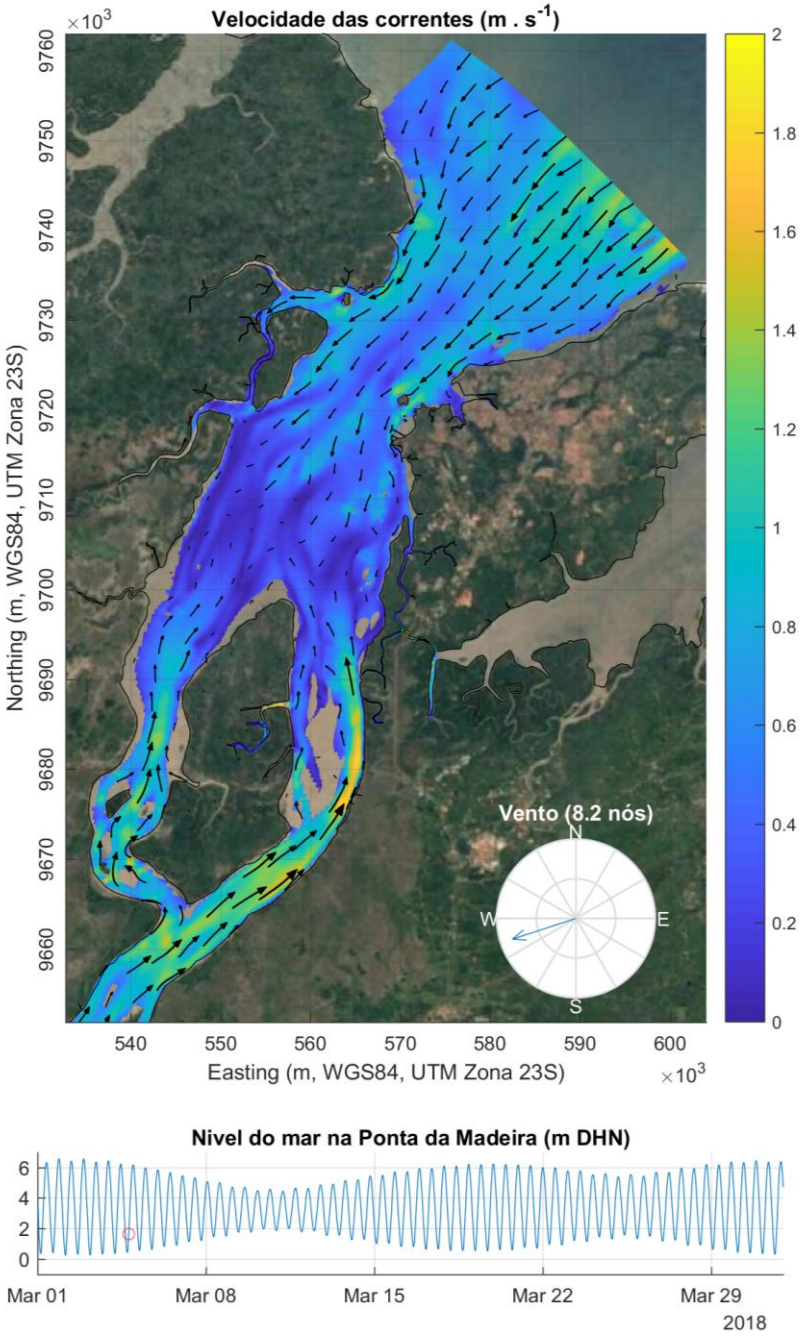


Figura I.A 7 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto Óleo Diesel no período da Cheia.

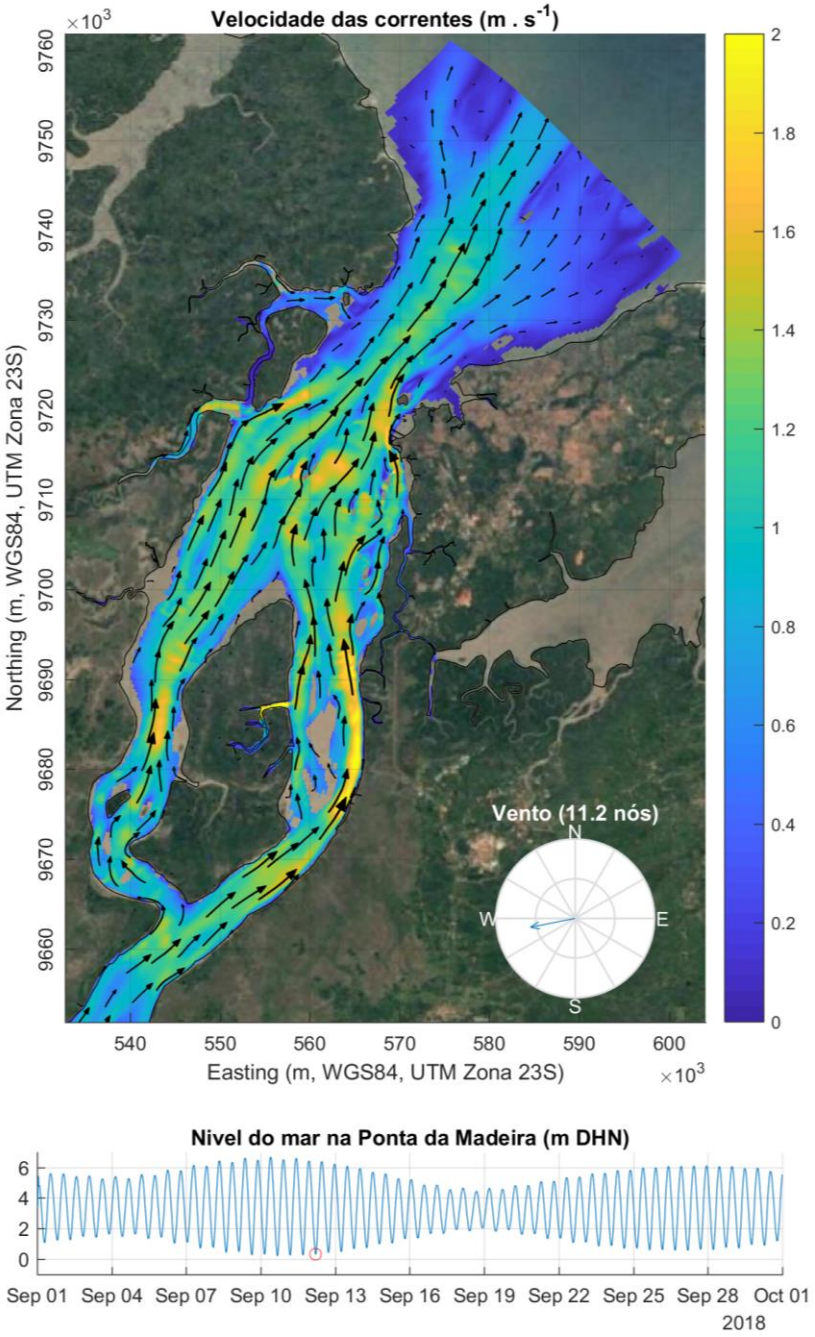


Figura I.A 8 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume Pior Caso do Produto Óleo Diesel no período da Seca.

Volume Médio

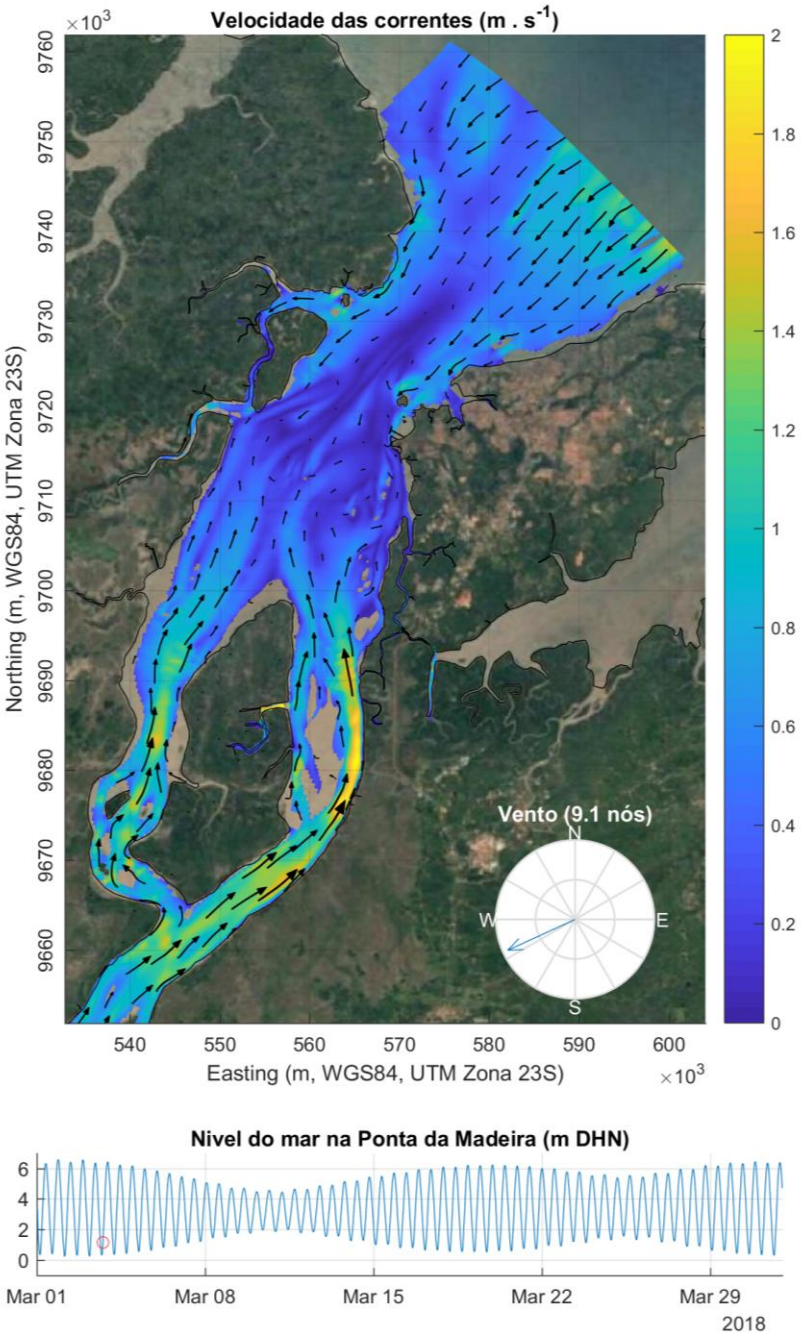


Figura I.A 9 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume médio do Produto Óleo Diesel no período da Cheia.

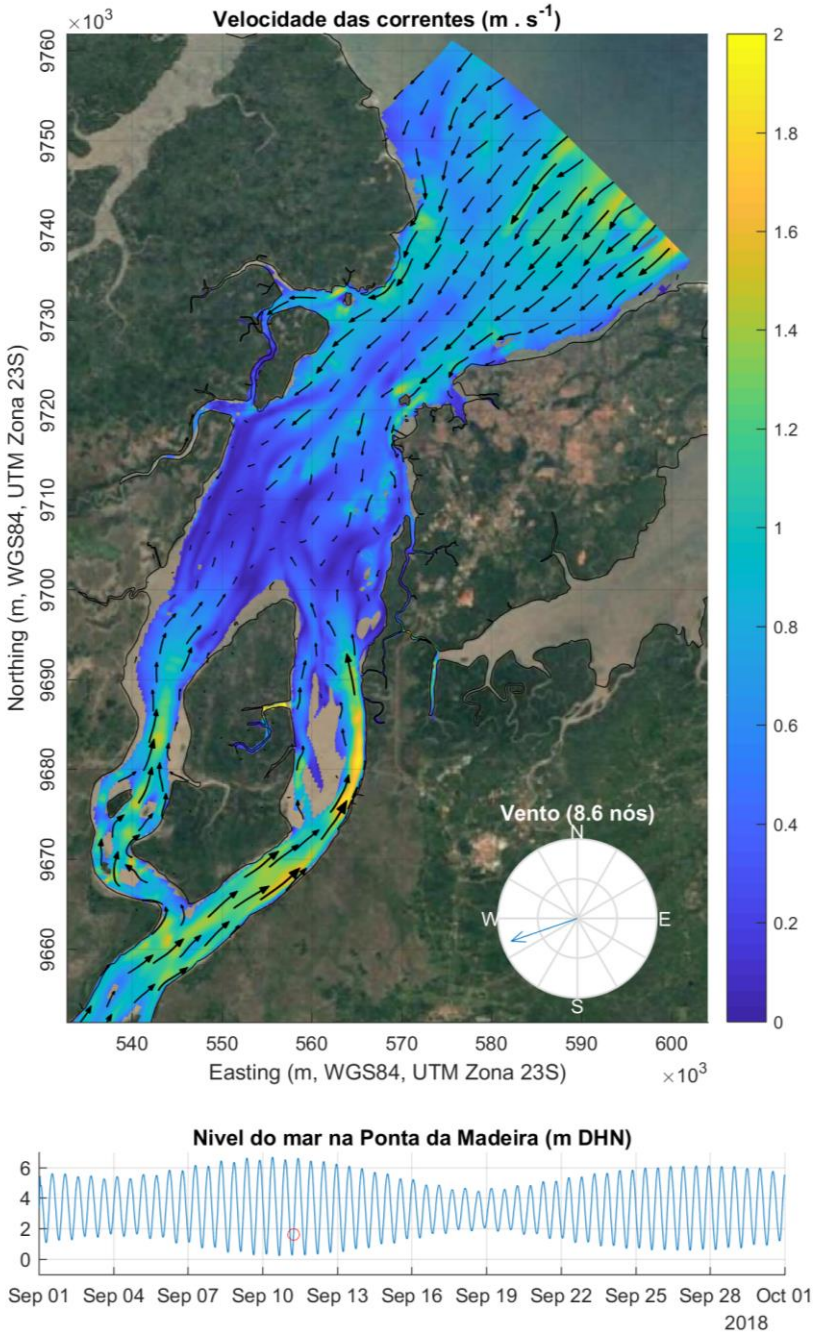


Figura I.A 10 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume médio do Produto Óleo Diesel no período da Seca.

Volume Pequeno

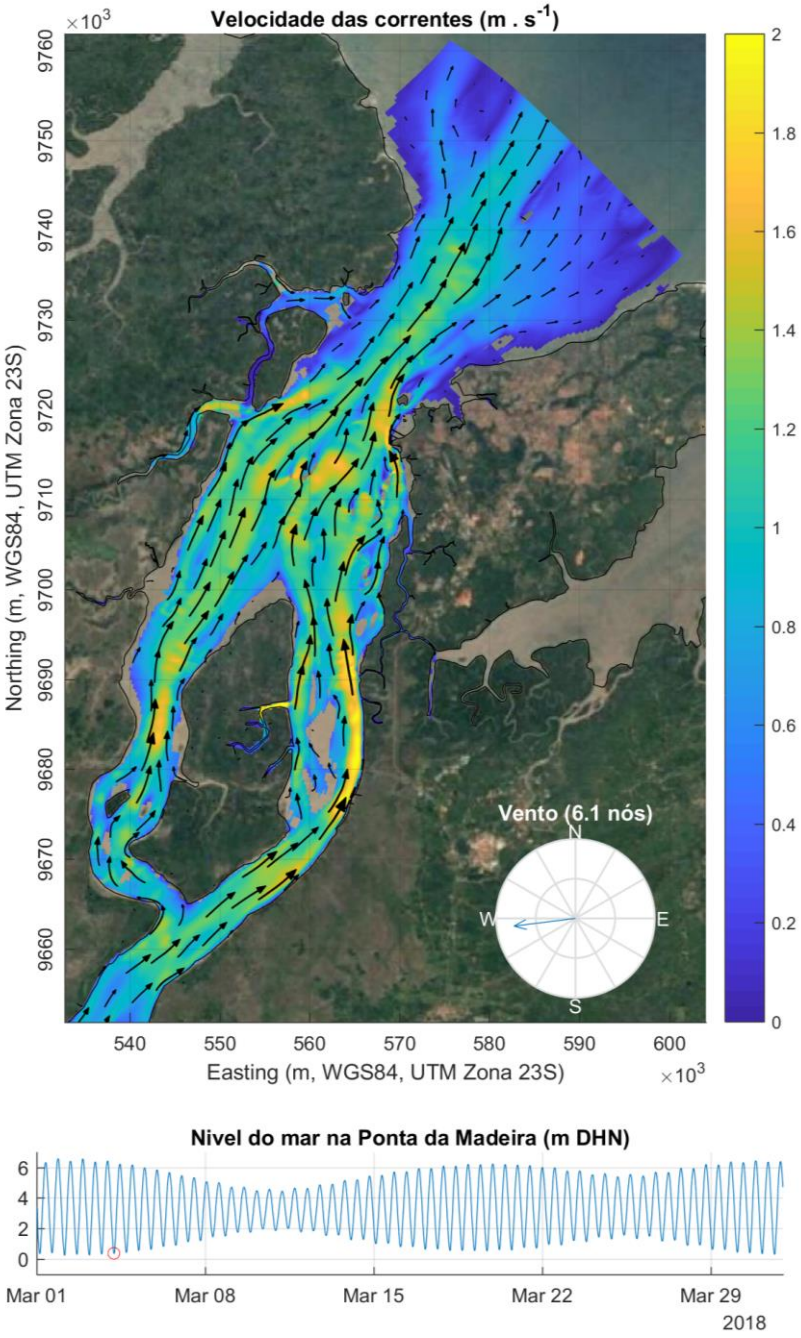


Figura I.A 11 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto Óleo Diesel no período da Cheia.

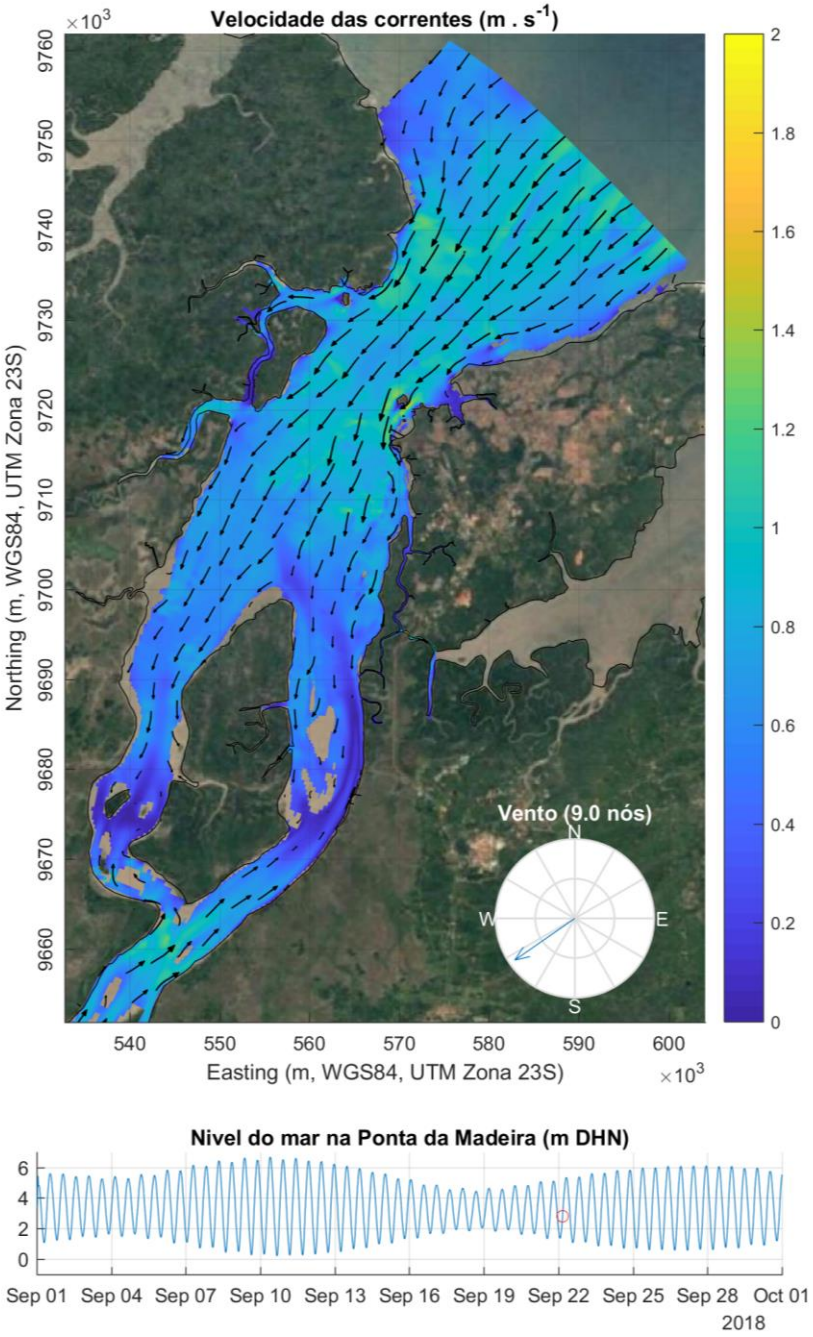


Figura I.A 12 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto Óleo Diesel no período da Seca

ESTUDOS DE MODELAGEM NUMÉRICA DE PROCESSOS COSTEIROS E ESTUARINOS, MANOBRAS DE NAVIO E ENSAIOS DE AMARRAÇÃO PARA AS ÁREAS DE INTERESSE DA EMAP

TERMINAL DA PONTA DA ESPERA

RELATÓRIO TÉCNICO – MODELAGEM DE DERRAMO DE ÓLEO

OS n°04

Cliente : EMAP
Operação: FERRYBOATS DO TERMINAL DA PONTA DA ESPERA

Rev.	Data	Descrição da revisão	Elaborado por	Verificado por	Aprovado por	CE
00	09/07/2019	Emissão Inicial	BM	LB	LM	B
						B
						B
						B

CE - Códigos de emissão

A – Preliminar
B – Para Aprovação
C – Para Conhecimento
D – Para Cotação
E – Para Construção
F – Conforme Comprado
G – Conforme Construído
H – Cancelado

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA SLI, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DE SUA FINALIDADE.

A IMPRESSÃO OU REPRODUÇÃO DESTE DOCUMENTO TORNA A CÓPIA NÃO CONTROLADA.

SUMÁRIO

1 MODELAGEM DE ÓLEO 8
1.1 DADOS DE ENTRADA 9
1.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA 10
1.3 PONTO DE RISCO E VOLUME 11
1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO SELECIONADO 13
1.5 CAMPOS DE CORRENTES 13
1.6 CAMPOS DE VENTOS 14
1.7 DOMÍNIO MODELADO 18
1.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES 24
1.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS 25
1.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS 26
1.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 27
1.11.1 TERMINAL DA PONTA DA ESPERA 28
1.11.1.1 ÓLEO DIESEL 28
1.11.1.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (21,0 M³) 29
1.11.1.1.2 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 41
1.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 53
1.12.1 ÓLEO DIESEL 53
1.12.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (21,0 M³) 54
1.12.1.2 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 58
2 CONSIDERAÇÕES FINAIS 62
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de entrada do modelo. 10
Tabela 2: Coordenadas Geográficas para o ponto de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso. 11
Tabela 3: Características dos óleos utilizados nas simulações. 13
Tabela 4 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia. .. 16
Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca. 17
Tabela 6: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo. 25
Tabela 7: 4 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Terminal da Ponta da Espera. 26
Tabela 8: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo. 27
Tabela 9 – Resumo dos resultados probabilísticos para o Terminal da Ponta da Espera. .. 28
Tabela 10 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 34
Tabela 11 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 40
Tabela 14 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 46
Tabela 15 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 52
Tabela 16 – Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos. 53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Terminal da Ponta da Espera para a simulação de derrame de óleo. 12
Figura 2 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. 14
Figura 3 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. 15
Figura 4 – Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR. 19
Figura 5 – Detalhe da batimetria junto a grade do modelo. 20
Figura 6 – Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR. 21
Figura 7 – Grid Land/Water junto a grade do modelo. 22
Figura 8 – Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem. 23
Figura 9: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 29
Figura 10: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 30
Figura 11: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 31
Figura 12: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 32
Figura 13: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 33
Figura 14 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (21,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 34
Figura 15: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 35
Figura 16: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de

21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 36
Figura 17: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 37
Figura 18: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 38
Figura 19: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 39
Figura 20 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (21,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 40
Figura 21: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 41
Figura 22: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. . 42
Figura 23: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 43
Figura 24: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 44
Figura 25: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 45
Figura 26 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 46
Figura 27: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês

de seca. 47
Figura 28: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. .. 48
Figura 29: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 49
Figura 30: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 50
Figura 31: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 51
Figura 32 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca. 52
Figura 33: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia 54
Figura 34 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 55
Figura 35: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca 56
Figura 36 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 57
Figura 37: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia. 58
Figura 38 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 59
Figura 39: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da

Ponta da Espera durante o mês de seca. 60
Figura 40 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 61

1 MODELAGEM DE ÓLEO

O risco de derramamento de óleo no ambiente marinho é uma infortuna consequência da crescente demanda por este recurso natural. Em muitas regiões, a produção, instalações de armazenamento e rotas de navegação estão próximas de zonas costeiras, onde os derrames de hidrocarbonetos podem ser potencialmente desastrosos. Um requisito fundamental para a implementação de uma resposta bem-sucedida a um derramamento de óleo é a capacidade de mobilizar os recursos adequados para as regiões costeiras em risco antes de o óleo atingir a costa. A chave fundamental para alcançar esse objetivo é conhecer o tempo necessário para o impacto na costa, localização e extensão do impacto, bem como o estado físico do óleo provável que chegará às praias e outras regiões sensíveis. Os modelos de derramamento de óleo fornecem a ferramenta ideal para apoiar operações de combate a esses derrames, dando informações sobre a trajetória e destino de derramamentos no ambiente marinho, o impacto na costa e as propriedades físicas do óleo. Em modo operacional, os modelos se tornam uma fonte primária de informação, capaz de orientar as operações de resposta. Alternativamente, em planos de contingência, os modelos são valiosíssimos para testar a validade e a eficácia dos planos de ação propostos e o treino eficiente de pessoal através de exercícios realísticos de resposta.

Com o objetivo de dar suporte a Empresa de Maranhense de Administração Portuária (EMAP) na elaboração dos estudos ambientais e planos de emergência, apresenta-se neste capítulo a modelagem numérica da trajetória e intemperismo para derrames de óleo no mar, provenientes de acidentes hipotéticos.

A modelagem foi conduzida utilizando-se do software desenvolvido pela SINTEF[1], o Marine Environmental Modelling Workbench (MEMW), especificamente com seu módulo para contingenciamento e resposta a derrame no mar, ou OSCAR (do inglês Oil Spill Contingency And Response), tendo sua melhor descrição e formulação descritas em anexo a este documento. Para a realização destes estudos são necessários conhecimentos prévios detalhados da região de interesse, padrões de circulação, campos de vento, composição do produto e suas características físico-químicas.

Para este estudo considerou-se um campo de ventos variáveis no tempo e no espaço, baseados em dados da reanalise II do NCEP (CFSR), os campos de correntes foram produzidos a partir de dados medidos e modelagem numérica a partir do modelo Delft3D e mais bem descrito por SLI (2018a). Para as simulações do transporte de óleo foram considerados um ponto de descarte, 1 produto, dois volumes de derrame (pequeno e pior caso, seguindo-se a CONAMA 398/2008) e dois períodos sazonais representados por um mês cada. Adotou-se como critério de parada, 60 horas após o início do derrame, correspondendo ao tempo máximo de resposta estipulado em resolução CONAMA.

A partir dos resultados probabilísticos, foram selecionados cenários determinísticos críticos, baseando-se como critério a maior extensão de toque de óleo na costa.

[1] SINTEF: http://www.sintef.no/

Nos capítulos seguintes, apresentaremos o modelo, dados de entrada, os produtos derramados e suas características, e consequentemente os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas.

1.1 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- Localização geográfica do ponto de derrame;
- Duração do derrame (contínuo, intervalado, etc);
- Volume(s) derramado(s);
- Profundidade do derrame (superficial, de fundo, na coluna d'agua);
- Tipo(s) de óleo;
- Duração da simulação;
- Opções de resposta (e.g. dispersantes), não utilizados neste estudo;
- Campo de correntes;
- Campo de ventos;
- Arquivo de dados meteorológicos;
- Parâmetros de simulação;
- Número de partículas;

Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

As temperaturas médias do ar e da superfície do mar, que influenciam no comportamento físico do óleo derramado, foram definidas para os períodos de cheia e seca.

A média sazonal de temperatura do ar foi definida com base no banco de dados das médias normais climatológicas do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos: www.cptec.inpe.br/clima). De acordo com estes dados, a temperatura média do ar para os períodos de cheia e seca simulado foi de 25°C e 26°C respectivamente.

Tabela 1 - Dados de entrada do modelo.

Parâmetros	Valor utilizado no Modelo OSCAR	
Passo de tempo	15 minutos	
Intervalo de saída	15 minutos	
Número de Partículas por Volume	**pequeno**	1.000
	Pior Caso	2.000
Período	**CHEIA**	**SECA**
Temperatura da água (°C)[2]	26	28
Temperatura do ar (°C)[3]	25	26
Fator de deriva do vento	3,5%	

1.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA

Para as simulações de dispersão do óleo foi escolhido 1 mês para cada um dos períodos sazonais (cheia e seca) característicos da região. Dentre estes meses foram observados fenômenos extremos de maré de sizígia para os meses de março (cheia) e setembro (seca).

[2] Valor médio próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados da NOAA.

[3] Valor médio, próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados do CSFR (NCEP).

1.3 PONTO DE RISCO E VOLUME

Para este estudo foi considerado um ponto de risco, sendo o terminal de Ferryboat da Ponta da Espera em São Luís do Maranhão. Ressalta-se a importância do ponto de simulação próximo ao berço, e não diretamente sobre este, para simples entrada de óleo no sistema do modelo. Os dados de entrada do Ponto são apresentadas na Tabela 2 e sua localização é apresentada na Figura 1.

Tabela 2: Coordenadas Geográficas para o ponto de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso.

Ponto de Risco	Latitude	Longitude	Tipo do Óleo	Descarga de Pior caso (m³)
Ponta da Espera	2°32'7.84"S	44°21'23.45"O	Óleo Diesel (cru)	21,0

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 2 (duas) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8,0 m³ e de pior caso (21,0 m³), definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço. Para simulação dos cenários hipotéticos acidentais definiu-se o produto para a modelagem:

1) O Óleo (Cru) Diesel (OD);

Tendo suas características apresentadas a seguir.

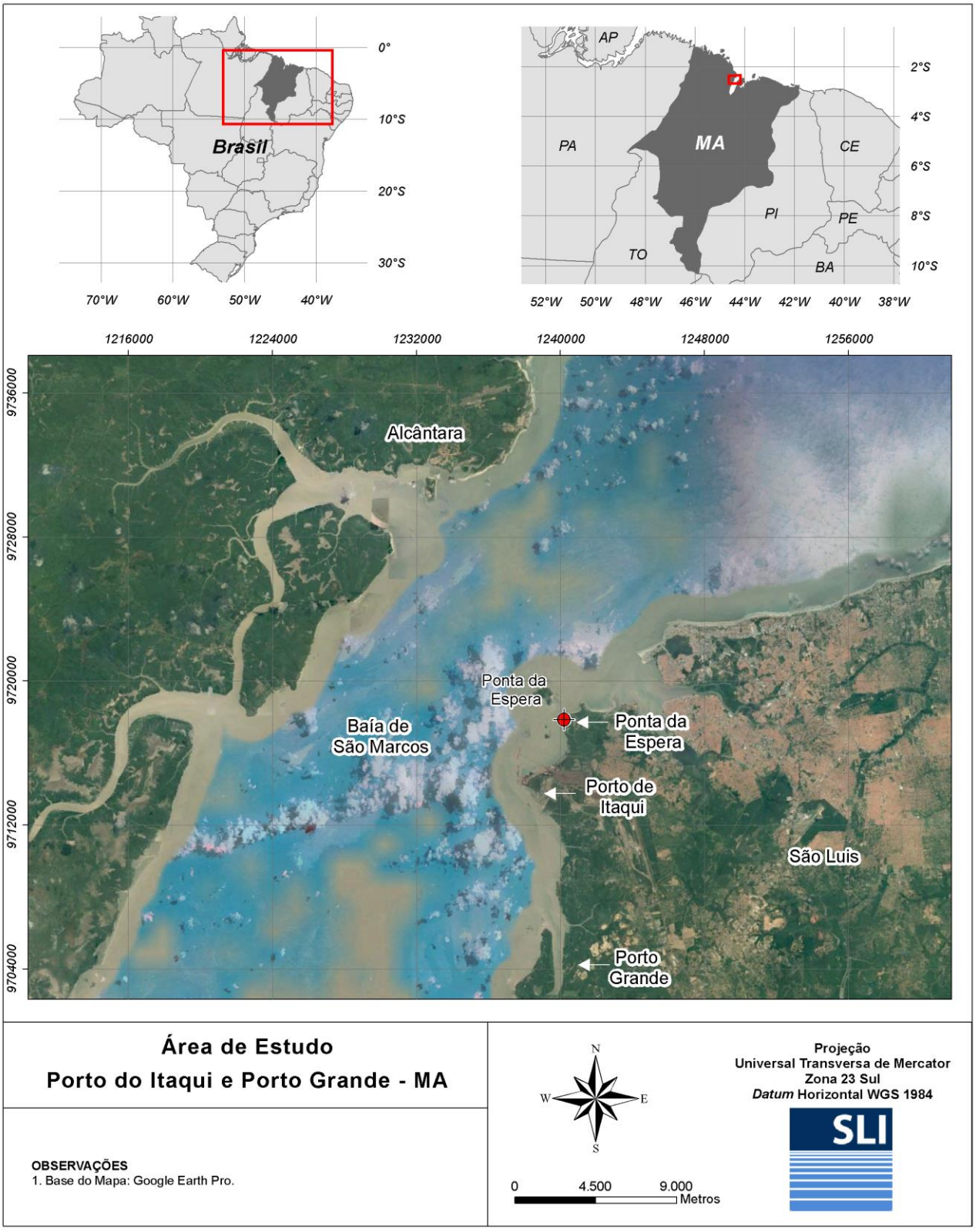


Figura 1: Localização do Terminal da Ponta da Espera para a simulação de derrame de óleo.

1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO SELECIONADO

As simulações numéricas de dispersão de óleo para os 2 volumes foram realizadas com apenas um produto, o óleo *Balder Blend, 2010*, sendo este o tipo de óleo disponível do banco de dados do modelo *OSCAR* que melhor representa o óleo diesel (cru). O grau API é uma grandeza utilizada mundialmente para a classificação dos tipos de petróleos em relação à densidade deles. A escolha do óleo Balder Blend, 2010 para simulação do vazamento de petróleo (óleo cru) se deu pela proximidade do grau API do óleo Balder Blend, 2010 com o grau API do tipo de óleo diesel fornecido. As características do óleo simulado encontram-se definidas na Tabela 3.

Tabela 3: Características dos óleos utilizados nas simulações.

Parâmetro	**Óleo de Referência**	**Óleo de entrada no modelo**
	Óleo Diesel (Cru)	*Balder Blend, 2010*
Natureza Química	Hidrocarboneto	Hidrocarboneto
Densidade (g/cm³)	0,866	0,864
Ponto de Fulgor (°C)	38	--
Grau API	31,9	32.2
Viscosidade Dinâmica (cP)	--	32
Viscosidade Cinética (cSt) à 50°C	0,41	--
Solubilidade (na água)	Insolúvel	--

1.5 CAMPOS DE CORRENTES

Os campos de correntes e estudo hidrodinâmico já foram previamente discutidos em relatório SLI (2018ª). As correntes de input são relativas aos períodos determinados de Cheia e Seca, e reitera-se para todos os fins, correspondem ao mês de março e setembro respectivamente.

1.6 CAMPOS DE VENTOS

Os campos de ventos utilizados são dados de Reanálise do NCEP (CFSR), trata-se de um conjunto de assimilação de dados em escala global, com resolução espacial de 0,5° e temporal de 6 horas a cada hora, e para simulação do óleo foram utilizados dados dos produtos hora a hora contemplando uma variabilidade temporal adequada para as simulações.

Este produto é gerado pelos centros norte-americanos NCEP e NCAR (Centro Nacional para Previsão Ambiental e Centro Nacional para Pesquisa Atmosférica) e distribuído pela Central Norte-Americana de Dados Climáticos.

Neste estudo foi utilizado um recorte no domínio espacial estendendo-se de 45°W a 43°W e 1,5°S a 3,5°S e não foi realizado nenhum tipo de pós tratamento sobre os dados (como interpolações, filtros ou médias) escolheu-se o ano de 2018 em meses correspondentes ao representado no hidrodinâmico. Nas Figura 2 e Figura 3 ilustram-se instantes dos períodos mencionados, na sequência, apresentamos uma distribuição de ocorrência conjunta para ambos os períodos contemplados.

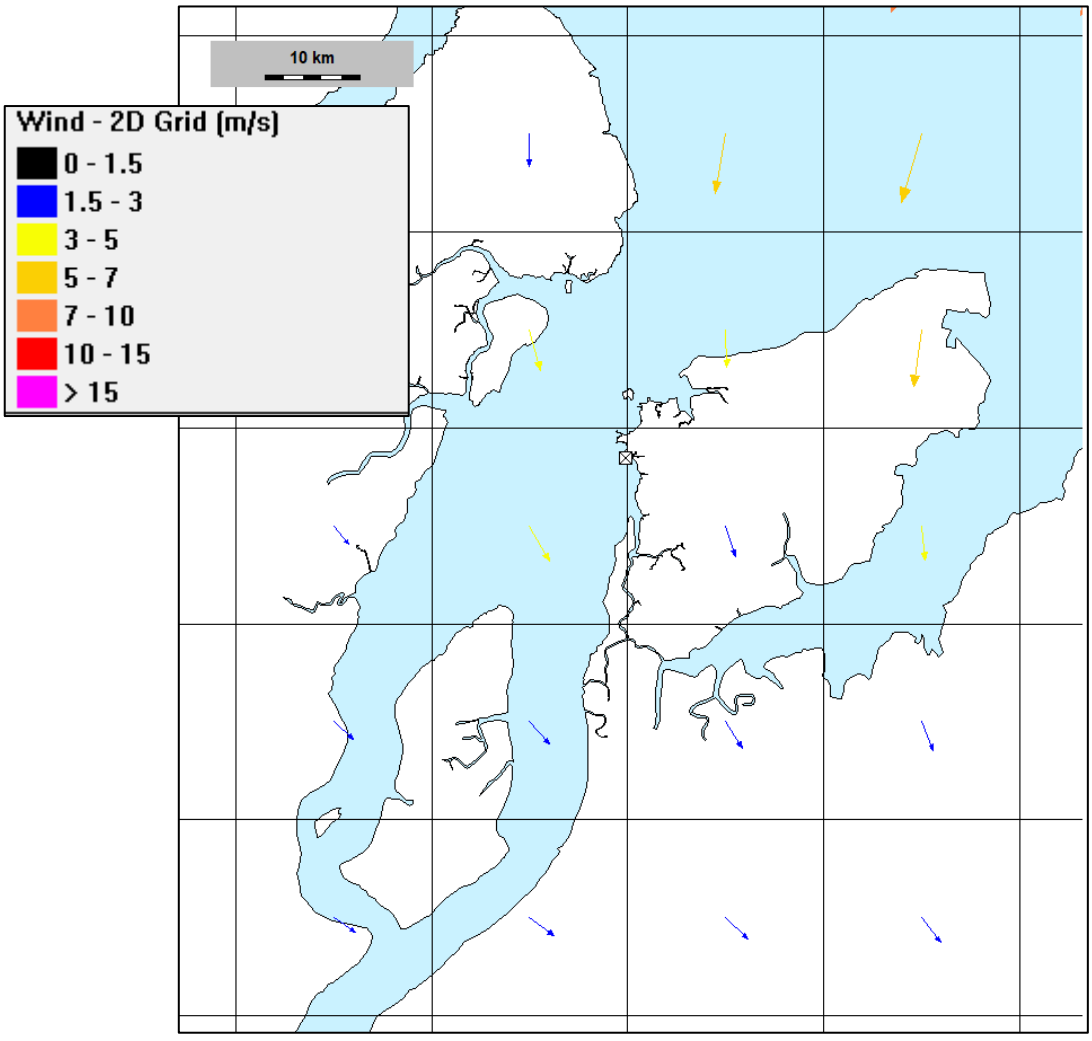


Figura 2 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

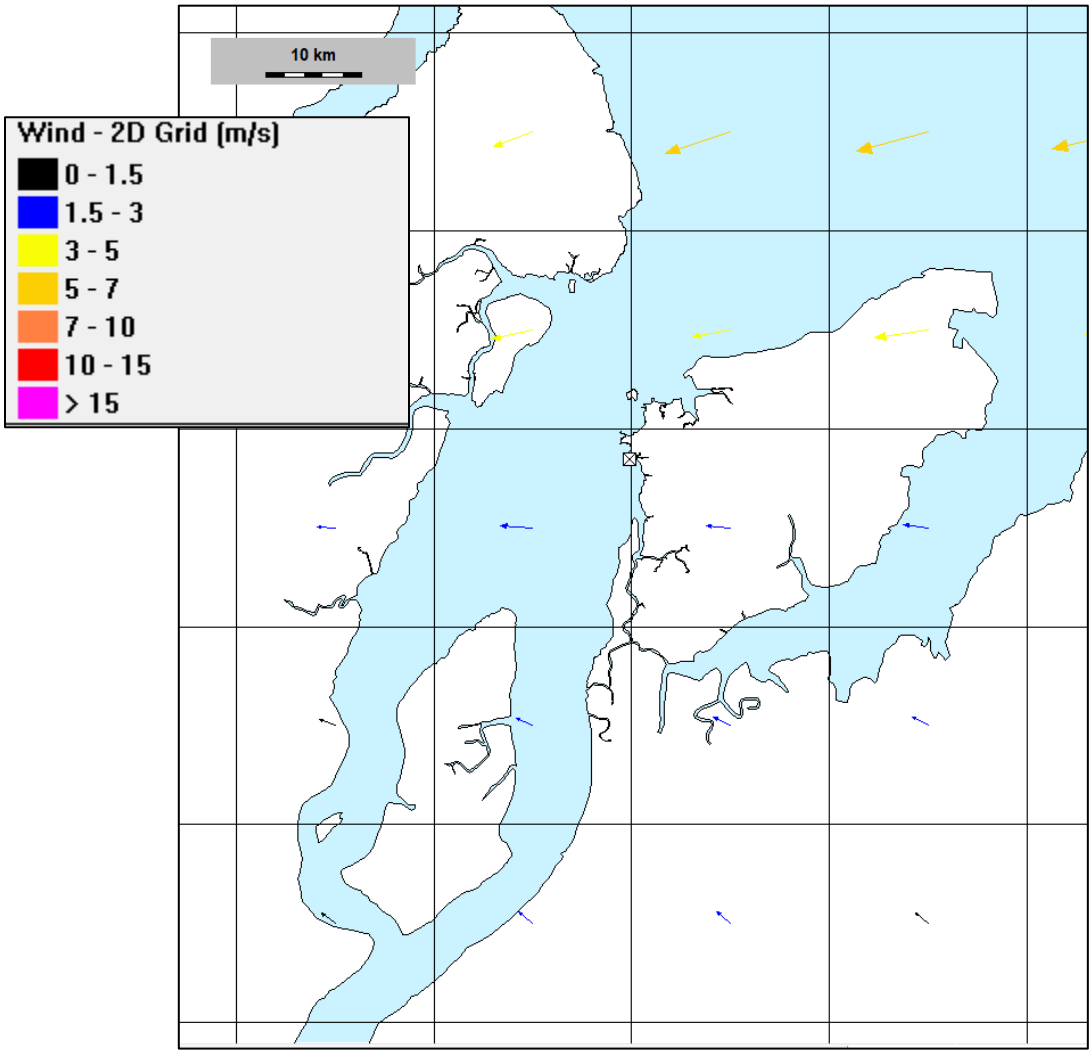


Figura 3 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

Tabela 4 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1	2							1					1				4	3.23	0.30	0.67	0.98
1 - 2	1	3	2		1	1		3									11	8.87	1.03	1.46	1.92
2 - 3		4	14	6	3	1											28	22.58	2.04	2.50	2.96
3 - 4		2	25	19	2												48	38.71	3.08	3.54	3.99
4 - 5			12	16	1												29	23.39	4.02	4.44	4.88
5 - 6			2	2													4	3.23	5.01	5.06	5.30
Num. Casos	3	9	55	43	7	2		4					1				124				
Freq. (%)	2.42	7.26	44.35	34.68	5.65	1.61		3.23					0.81								
Vel Min	0.62	1.18	1.06	2.04	1.03	1.71		0.76					0.30								
Vel Med	0.96	2.48	3.48	3.78	2.73	1.99		1.26					0.30								
Vel Max	1.29	3.54	5.30	5.14	4.36	2.27		1.73					0.30								

MARÇO

Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1																					
1 - 2			1														1	0.83	1.89	1.89	1.89
2 - 3			2	4	1												7	5.83	2.10	2.78	2.96
3 - 4		4	6	8	1												19	15.83	3.09	3.56	3.99
4 - 5		2	15	20	6												43	35.83	4.01	4.51	4.99
5 - 6			12	20	7												39	32.50	5.00	5.38	5.99
6 - 7		1	5	4	1												11	9.17	6.02	6.30	6.84
Num. Casos		7	41	56	16												120				
Freq. (%)		5.83	34.17	46.67	13.33																
Vel Min		3.53	1.89	2.93	2.10																
Vel Med		4.26	4.71	4.66	4.87																
Vel Max		6.05	6.84	6.45	6.28																

SETEMBRO

1.7 DOMÍNIO MODELADO

Na modelagem de óleo foram utilizados dados batimétricos extraídos da ETOPO 1 (AMANTE & ATKINS, 2009) obtido no NGDC, cartas náuticas da DHN e dados do projeto batimetria (CPRM e ANP, 2013). O OSCAR, internamente interpola os dados das bases importadas ao modelo.

A grade do modelo de óleo, como informado acima, utiliza a informação de batimetria proveniente das bases citadas acima. Assim, para a modelagem de óleo em regiões próximas à costa, o modelo de óleo utiliza informações de batimetria com melhor resolução, importando estes dados a sua resolução de grade e correntes do modelo hidrodinâmico da célula representativa do local de interesse, i.e., frente à resolução espacial da grade hidrodinâmica (já descrita em capítulos anteriores). Para os cenários simulados neste estudo foi definida uma grade habitat, considerando a quantidade máxima de pontos permitida pelo modelo de óleo (1.000 x 1.000 pontos), como temos uma maior dispersão na direção norte-sul, orientada com o canal utilizou-se uma grade com (690 x 950 pontos) com resolução espacial de 90 m (x) X 90 m (y), e 1 camada (mínimo exigido pelo modelo) vertical de 12 m, as Figura 7 e Figura 8 apresentam detalhes da grade habitat utilizada.

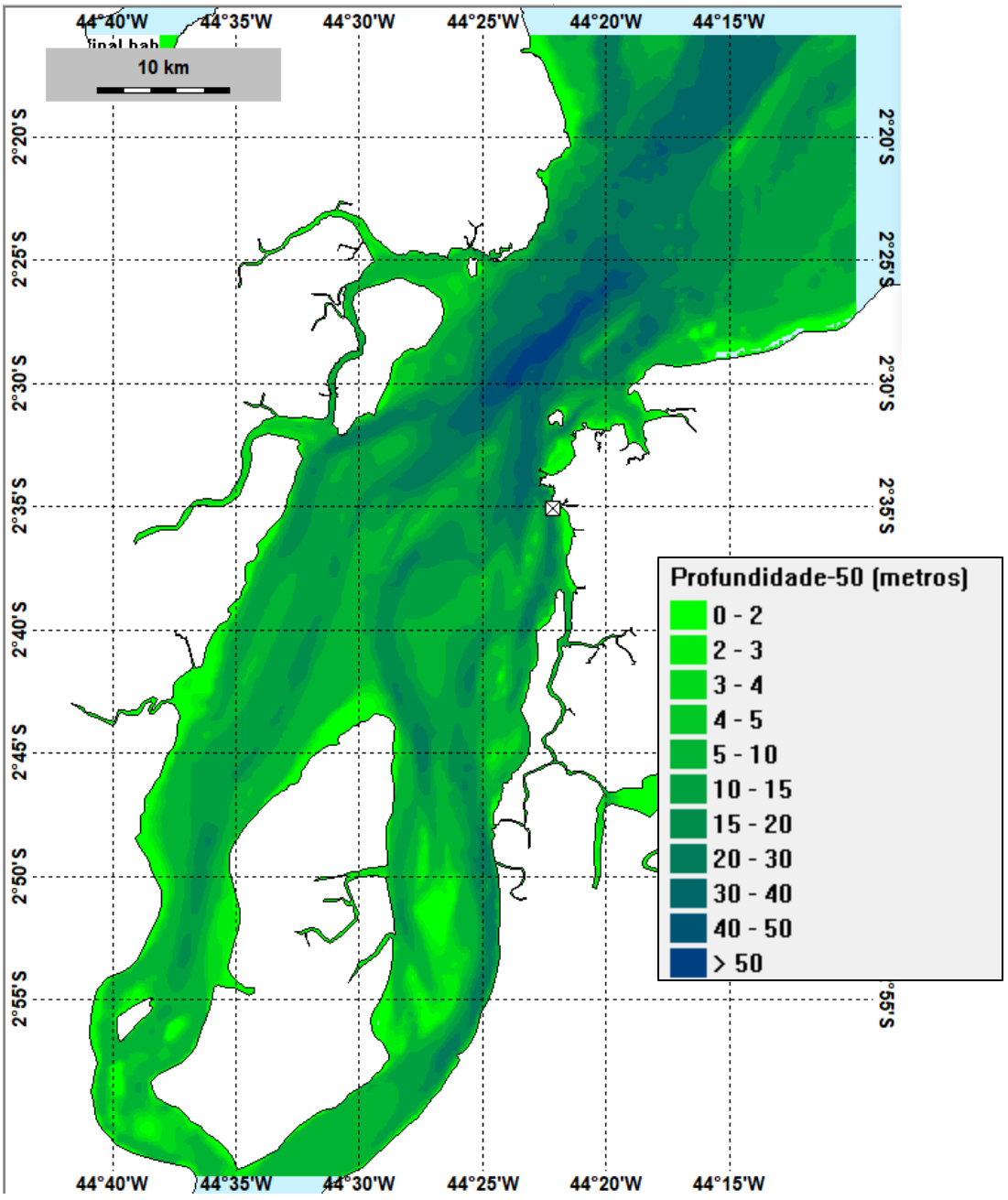


Figura 4 – Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR.

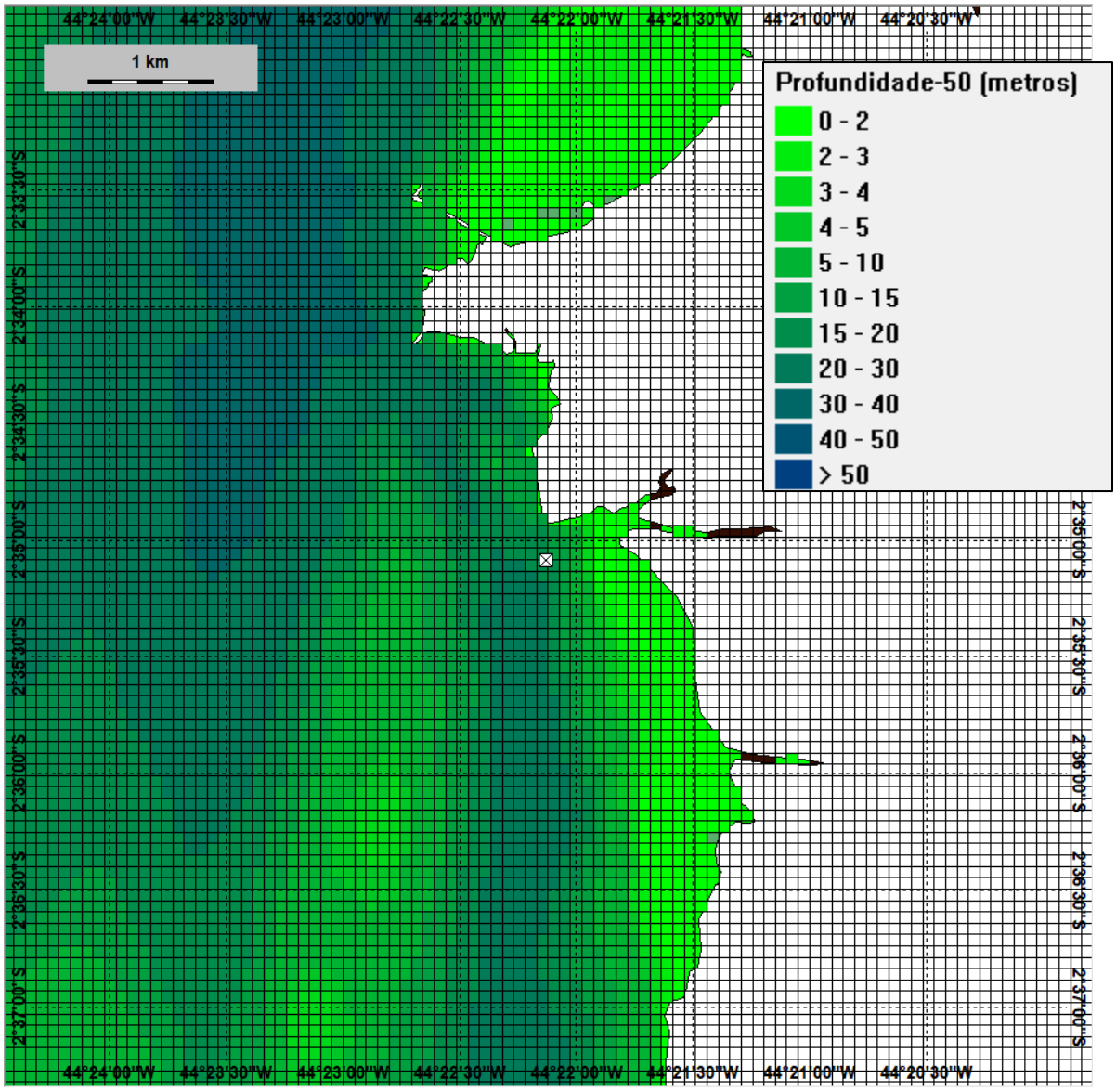


Figura 5 – Detalhe da batimetria junto a grade do modelo.

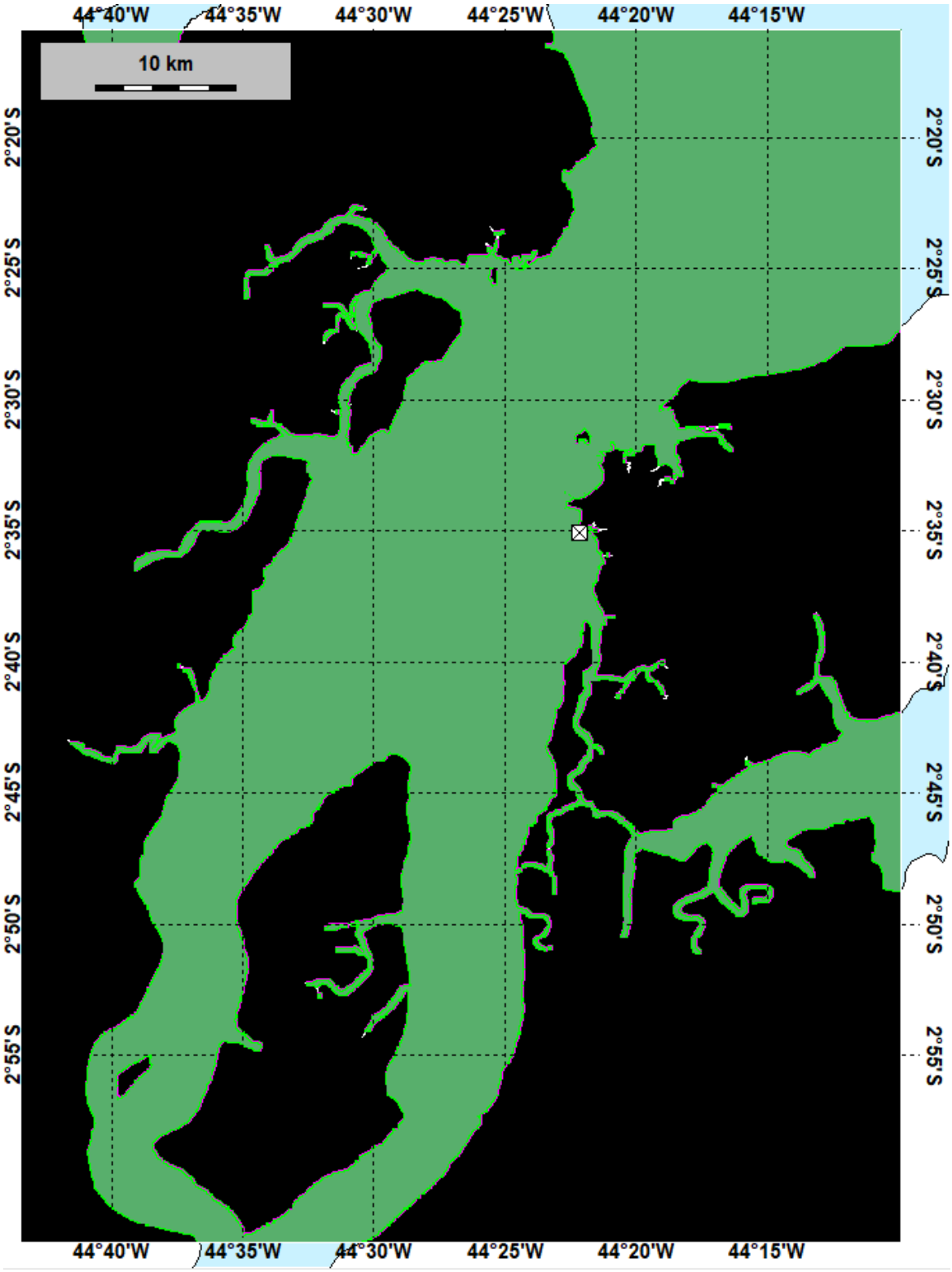


Figura 6 – Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR.

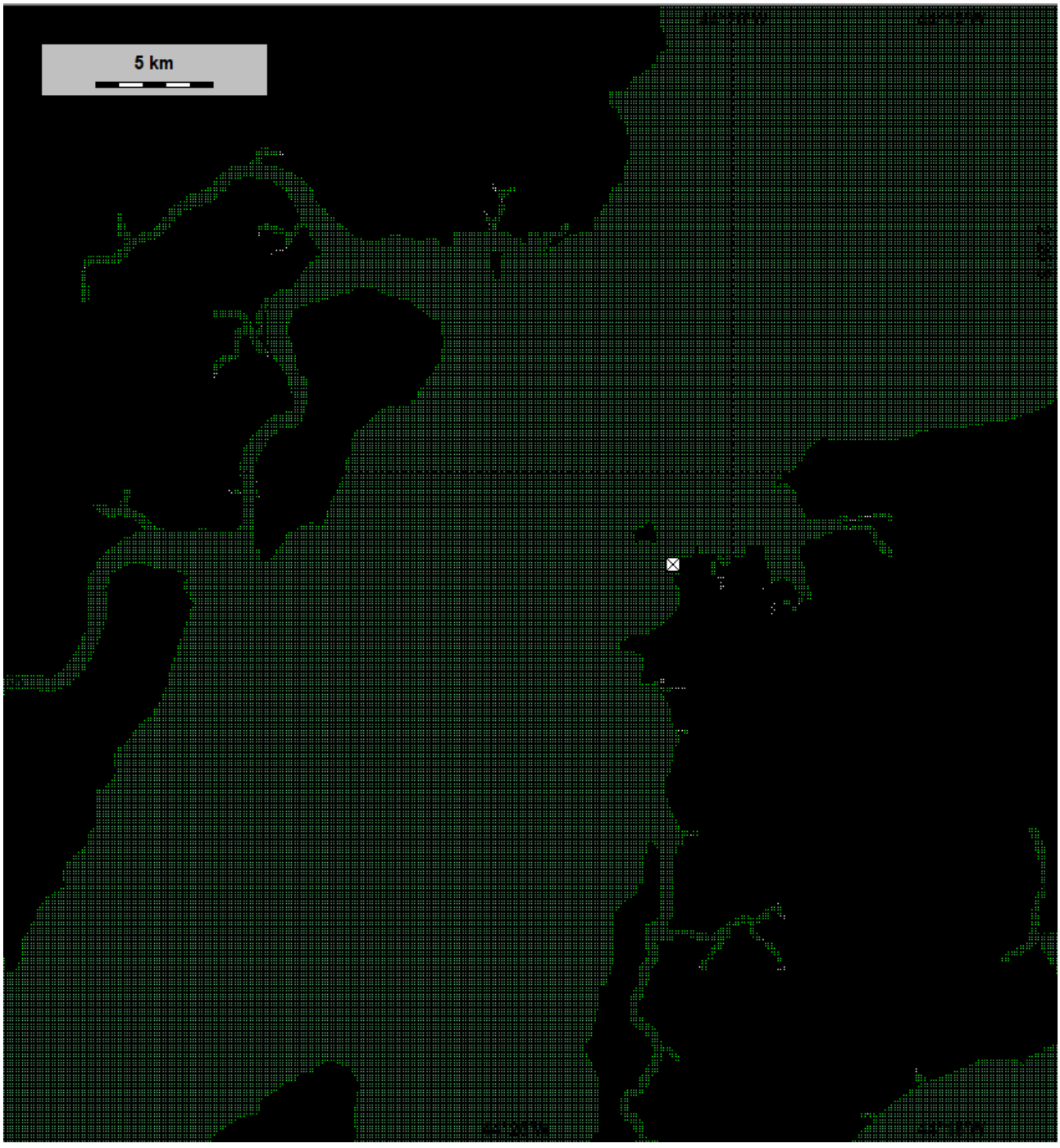


Figura 7 – Grid Land/Water junto a grade do modelo.

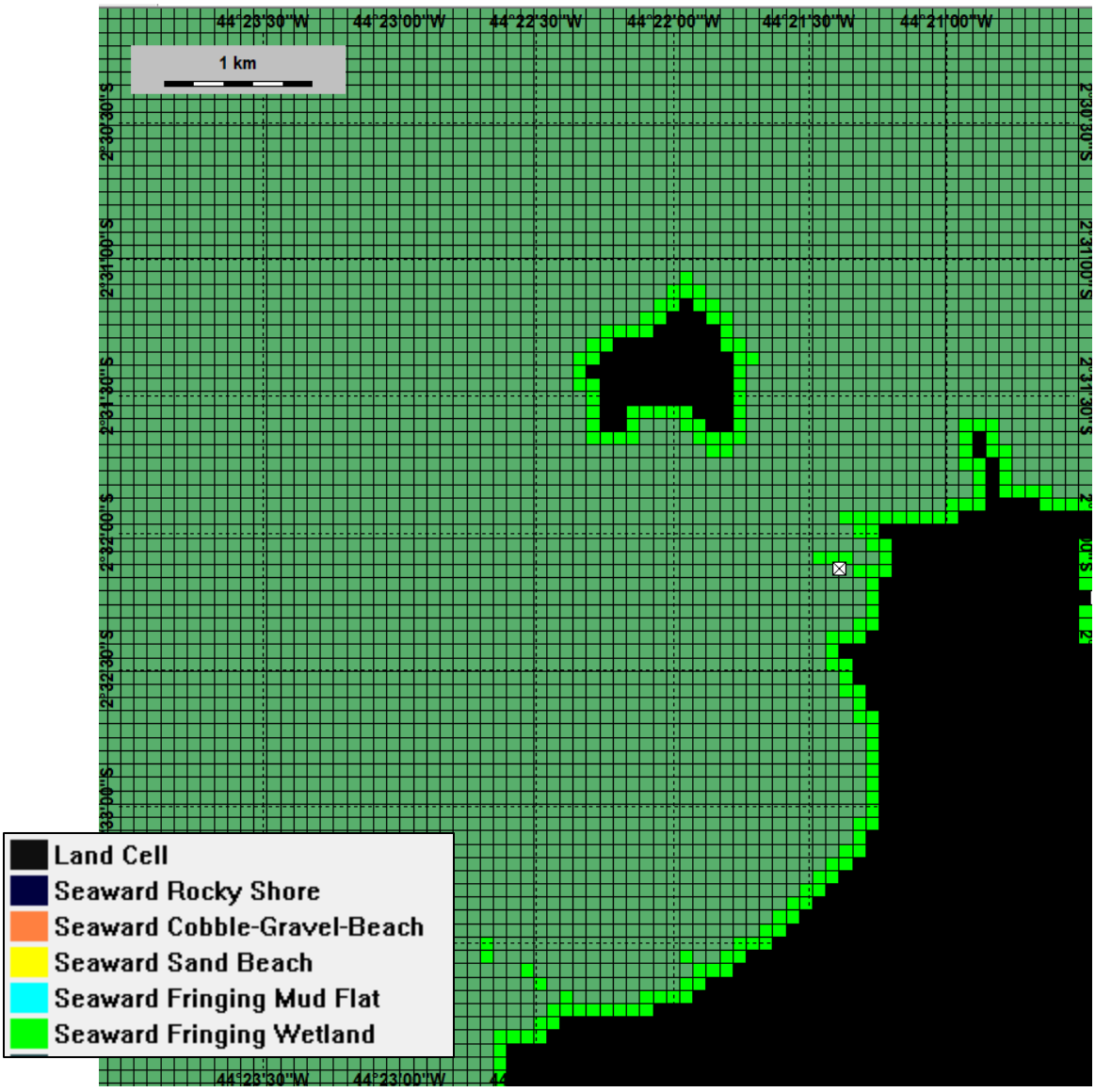


Figura 8 – Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem.

Para a definição dos tipos de costa adotados foi realizado, inicialmente, um levantamento dos possíveis tipos de costa encontrados na região (praias arenosas, mangues e costões rochosos) com base nas Cartas de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de Óleo (Cartas SAO) para a bacia sedimentar marinha do Pará-Maranhão/Barreirinhas (MMA, 2017) e ao projeto MAREM (IBP, 2016). A linha de costa para a região da baía de São Marcos em quase sua totalidade é caracterizada por ser um mangue, com alguns pontos em ressalva, como portos, píer etc. Posteriormente, foi realizado um balizamento destas informações levantadas com os tipos de costa disponíveis no modelo de óleo4, para melhor entendimento, dentro o modelo, este traz para a resolução da grade o tipo da região, caso haja predominância de um determinado tipo, este será o "habitat" para dado elemento de grid.

[4] Praias arenosas: seaward sandbeach / Mangues: seaward fringing wet-land / Costão rochoso: seaward rocky shore

1.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES

Foi adotado nas simulações o tempo de 60 horas como critério de parada para o acompanhamento da mancha de óleo, a determinação desta interrupção se dá pelo volume hipotético de descarga do pior caso já superar a Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO) especificados na Resolução CONAMA nº 398/08 (CEDRO dpc3) para os demais pontos simulados no porto de Itaqui (SLI, 2018b), de tal maneira criando-se um parâmetro de comparação. Este é o tempo máximo exigido para a disponibilização de recursos de contenção e limpeza no local da ocorrência da descarga.

Com o objetivo de gerar o cenário mais conservador possível do ponto de vista ambiental, nenhum cenário simulado considerou ação de resposta ou contenção do óleo derramado durante o período de simulação.

1.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

As simulações no modo probabilístico consideram a variabilidade das forçantes ambientais. Logo, as simulações de comportamento da mancha são realizadas através da variação aleatória do início do vazamento, dentro do período para o qual se dispõe de dados ambientais (cheia/seca). Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foram realizadas 200 simulações com o modelo *OSCAR* para cada cenário probabilístico. Na Tabela 6 e são apresentados os cenários probabilísticos simulados neste estudo. Onde a devida denominação para o cenário se dá na forma:

- PEOD: PE representa o terminal da Ponta da Espera e OD o produto simulado Óleo diesel respectivamente;
- PC e 8: Os volumes derramados para Pior Caso (21,0 m³) e pequeno (8,0 m³);
- CHEIA e SECA: os períodos sazonais representativos pelo mês de Março e Setembro respectivamente.

Os instantes iniciais de todo o conjunto de simulações determinísticas que compõem os cenários probabilísticos são definidos automaticamente pelo modelo, através da seleção das datas de início espaçadas regularmente no tempo, ao longo do período sazonal definido. Desta forma, todas as simulações probabilísticas apresentam um mesmo conjunto de datas de início dos derrames, porém essas datas de início não se repetem.

Tabela 6: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo.

Cenários	Tipo do Produto	Volume (m³)	Duração da descarga	Tempo de simulação (h)	Estação
PEOD_PC_CHEIA	Óleo Diesel	21,0	2 horas	60	Cheia
PEOD _8_CHEIA	Óleo Diesel	8,0	Instantâneo	60	Cheia
PEOD _PC_SECA	Óleo Diesel	21,0	2 horas	60	Seca
PEOD _8_SECA	Óleo Diesel	8,0	Instantâneo	60	Seca

1.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS

Para as simulações determinísticas foram escolhidos os cenários que apresentavam maiores extensões de toque a costa. A seleção dos cenários foi feita com base nas simulações probabilísticas, buscando demonstrar situações em que o óleo se espalha e encalha na costa. Estes cenários foram selecionados pois os tempos de toque são muito curtos devido ao terminal estar próximo à costa (toque na ordem de 30 minutos, ou segundo passo de tempo do modelo), e todavia os períodos simulados com sinais de maré (dominam a região), já caracterizado um evento extremo. Na Tabela 7 estão listados os cenários simulados. A qual segue o mesmo padrão de denominação como o do probabilístico, salve a ressalva de:

- DE: Determinístico de maior extensão.

Tabela 7: 4 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Terminal da Ponta da Espera.

Cenários	Data de Início	Tempo Mínimo de Toque (HH:MM)	Município de Primeiro Toque	Volume Final de óleo na Costa (m³)[5]	Extensão de Toque ao final da simulação (km)[6]
DE_PEOD_PC_CHEIA	21/03/2018 17:00	00:45	São Luís (MA)*	9,51	33,05
DE_PEOD_8_CHEIA	02/03/2018 15:00	04:45	São Luís (MA)	3,04	16,77
DE_PEOD_PC_SECA	12/09/2018 04:00	00:30	São Luís (MA)*	2,96	52,38
DE_PEOD_8_SECA	12/09/2018 04:00	00:30	São Luís (MA)*	3,85	57,54

***Toque no próprio píer da Ponta da Espera**

[5] Valor calculado de acordo com o balanço de massa (%) da simulação em relação ao volume inicial descartado.

[6] O valor é referente a toda extensão alcançada, e não ao município em destaque.

1.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

A seguir serão apresentados as extensões de toque na costa e área total de abrangência do óleo na superfície da água para as simulações probabilísticas dos cenários descritos na Tabela 6. São apresentados os resultados referentes na Tabela 8 ao vazamento de óleo, entre as Figura 9 e Figura 32, respeitando-se a sequência para os volumes de Pior Caso (21,0 m³) e pequeno (8,0 m³) apresentando-se os resultados dos períodos de cheia e seca, demonstrando-se primeiramente os contornos de probabilidade de ocorrência do óleo, seguidos do tempo mínimo de sua dispersão para a superfície da água, seguidos do mesmo contorno para a costa, apresentando-se para este último também a massa.

Seguidos dos contornos da área na água e linhas de resultados na costa, apresentamos uma tabela resumo dos valores mínimos, médios e máximos para cada ambiente e um boxplot com a representação dos balanços de massas dos cenários probabilísticos respectivos. Nestas figuras, as linhas centrais correspondem a mediana da porcentagem de massa dentre as simulações, os limites das caixas os quartis, as linhas aos limites dos valores englobados na média mais dois desvios-padrão e, por fim os outliers (pontos), valores acima deste limiar.

Os resultados das simulações mostram que a maiores probabilidades de dispersão do óleo para os volumes encontram-se próximo a região interna da baía de São Marcos, tendo alguma assinatura em seu trajeto e rápida dispersão devido a ação dos ventos, carregando o material em direção a oeste e interior da baía, tendo com a ação presente da maré (correntes) na enchente e vazante concentrando o material nesta área central e assinalando os maiores contornos de probabilidades. Estes valores na superfície d'agua externo ao ponto de modelagem se alteram de acordo, com o volume derramado, 70% para os menores, com um transporte predominante para oeste na cheia e sudoeste na seca para estes derrames instantâneos, e até a faixa do 90-100% para os piores casos com o segundo período tendo de novo um maior espalhamento em direção ao sudoeste.

Durante o período da Seca, mês de setembro, notamos um rápido espalhamento do óleo em relação ao período da Cheia (mês de março), i.e., o óleo atinge uma maior área em menor tempo (Figura 10, Figura 16, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**Figura 22, Figura 28), favorecido devido a ação de ventos mais intensos (Tabela 4 e Tabela 5). A ação dos ventos conjunta ao período menos chuvoso (Seca) pode favorecer a evaporação das frações de hidrocarbonetos mais leves do material, sendo esta diferença sutil entre os períodos porém apresentado nos boxplots de cada cenário (à exemplo Figura 14 e Tabela 10).

O resumo dos resultados para os cenários são apresentados na Tabela 9, nesta constam o tempo mínimo e médio (entre os cenários) para toque na costa e a probabilidade mais alta e o munícipio respectivo para cada um destes resultados.

Tabela 8: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo.

Cenários	Produto	Extensão de Toque na costa(km)	Área total na superfície d'agua (km²)
PEOD_PC_CHEIA	Óleo Diesel	61,27	958,78
PEOD_8_CHEIA	Óleo Diesel	69,13	971,72
PEOD_PC_SECA	Óleo Diesel	93,43	1.044,25

PEOD_8_SECA	Óleo Diesel	94,65	1.006,04

1.11.1 Terminal da Ponta da Espera

1.11.1.1 Óleo Diesel

Tabela 9 – Resumo dos resultados probabilísticos para o Terminal da Ponta da Espera.

PONTO	PERÍODO	VOLUME	PARÂMETRO	VALORES	MUNICÍPIOS	UF
PEOD	CHEIA	8	Prob. (%)	28.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	6.30	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	52.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	8.71	SÃO LUÍS	MA
	SECA	8	Prob. (%)	41.00	CAJAPIÓ	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	6.07	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	100.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	1.56	SÃO LUÍS	MA

1.11.1.1.1 *Volume de Pior Caso (21,0 m³)*

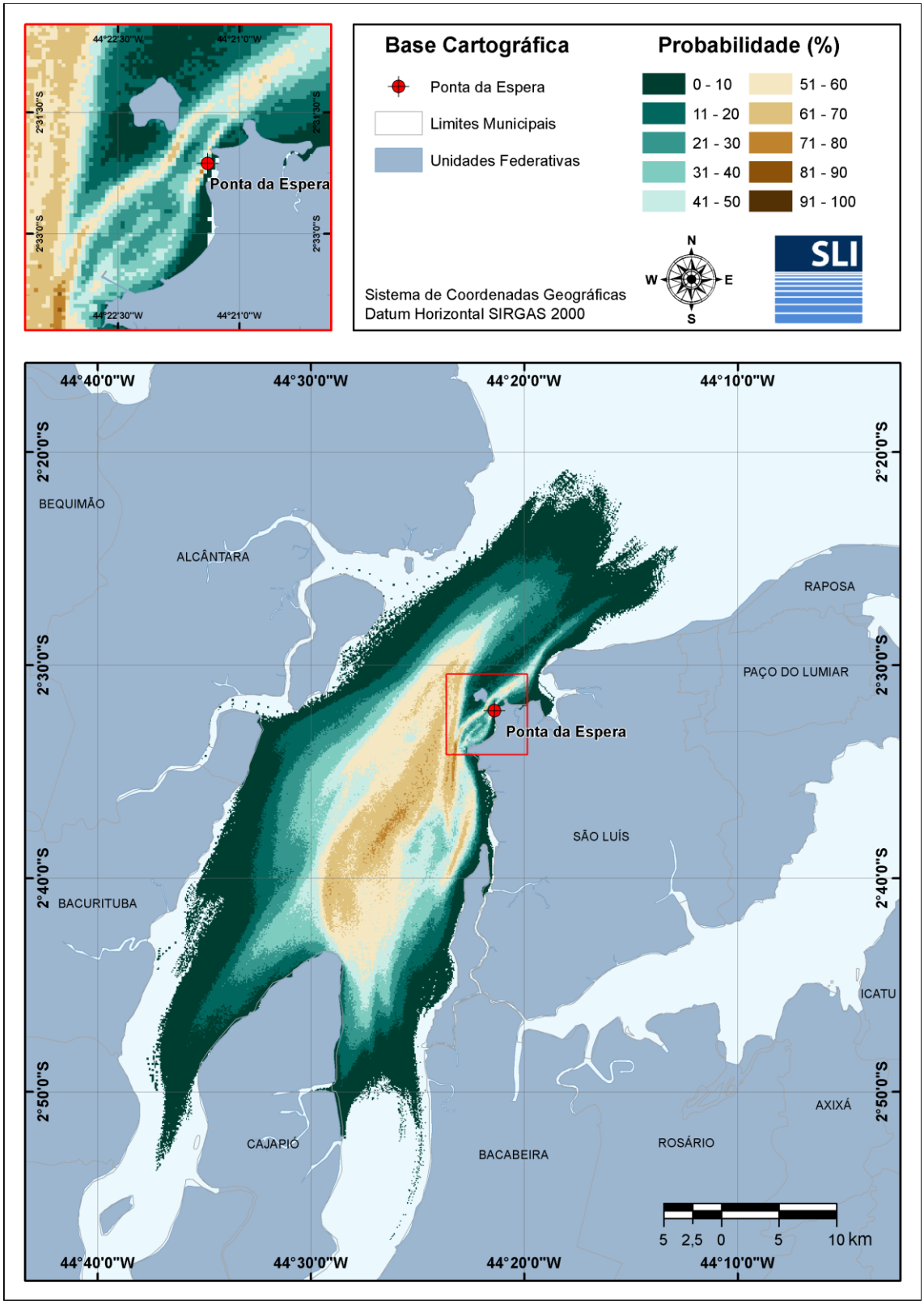


Figura 9: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

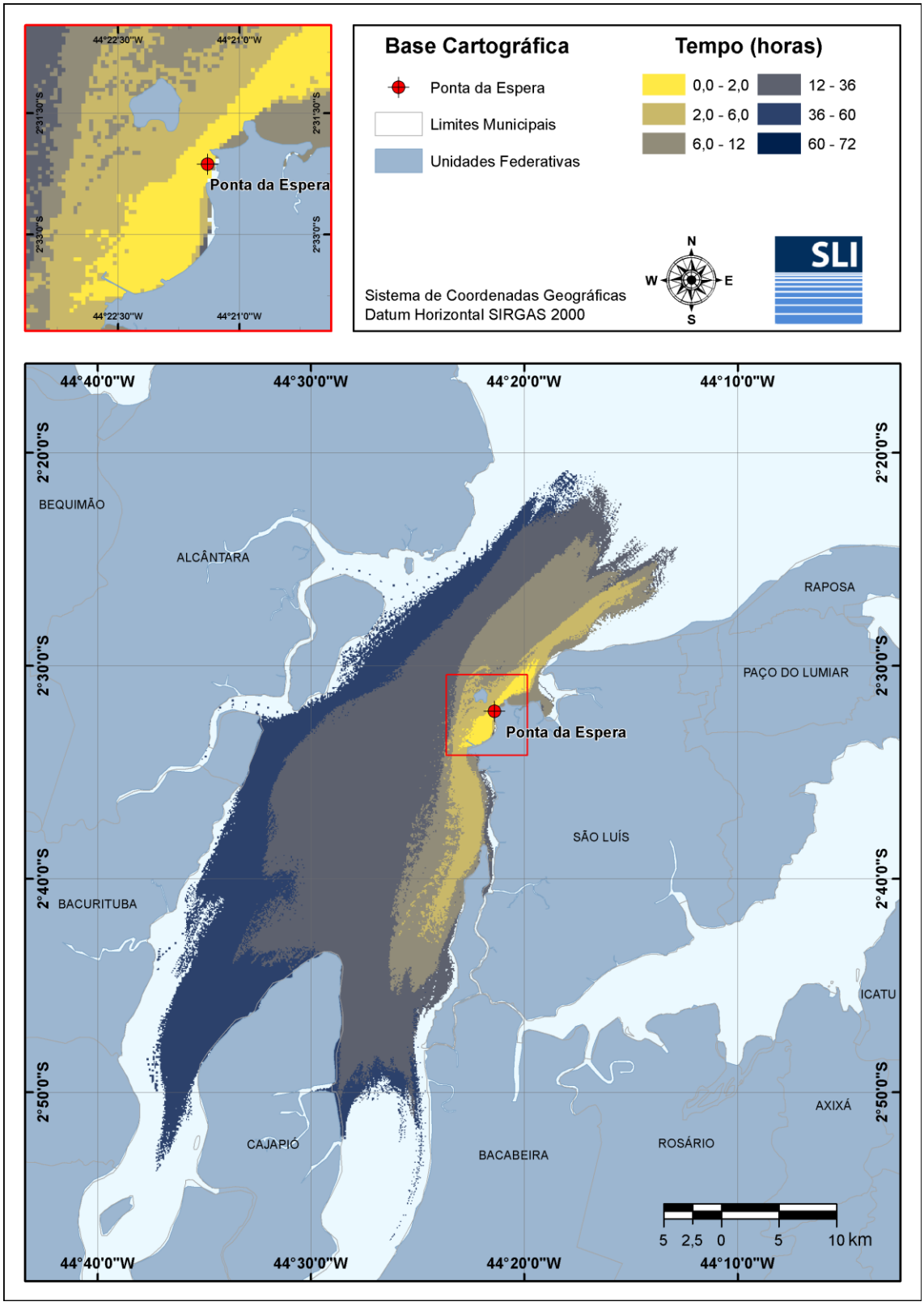


Figura 10: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

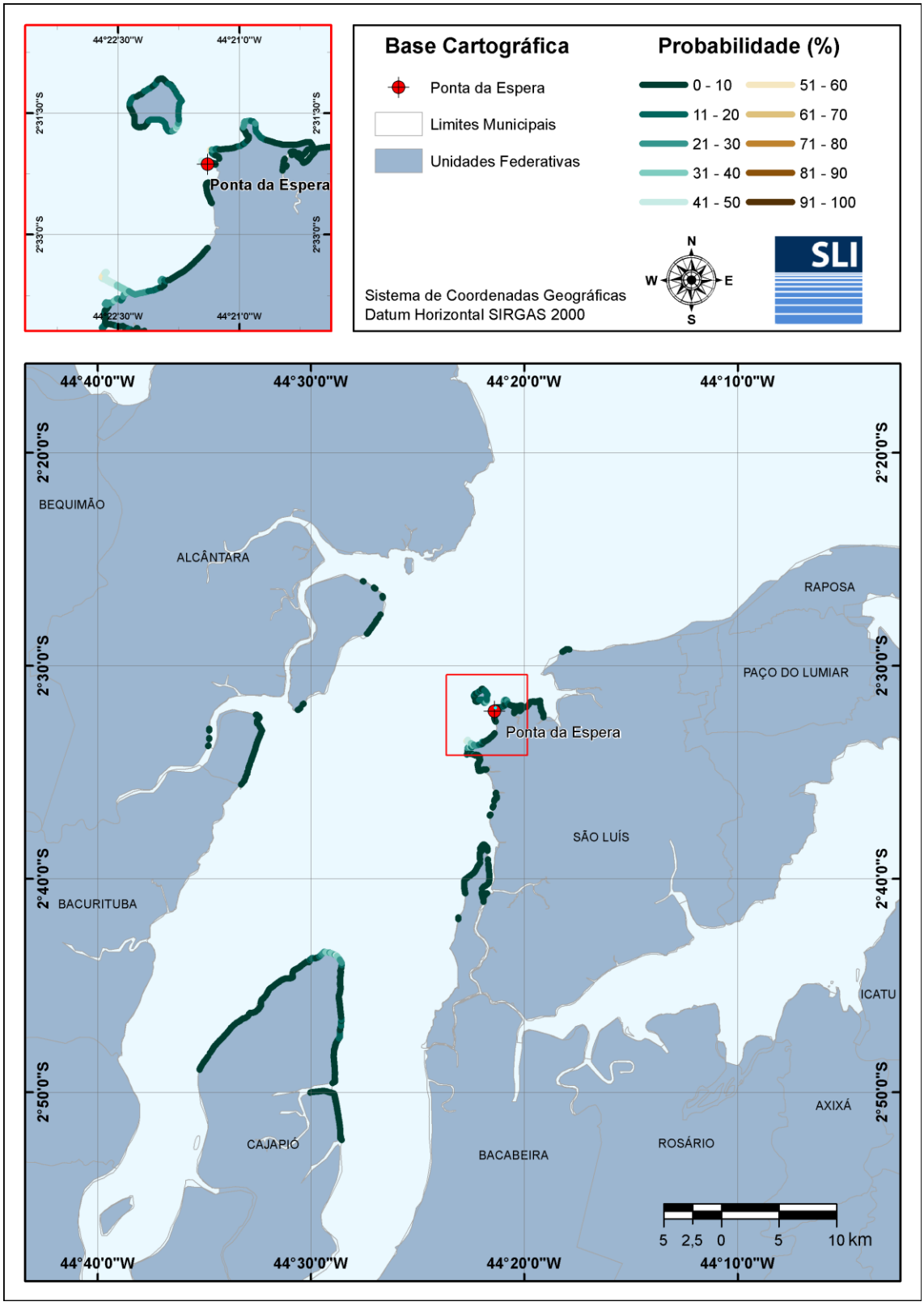


Figura 11: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

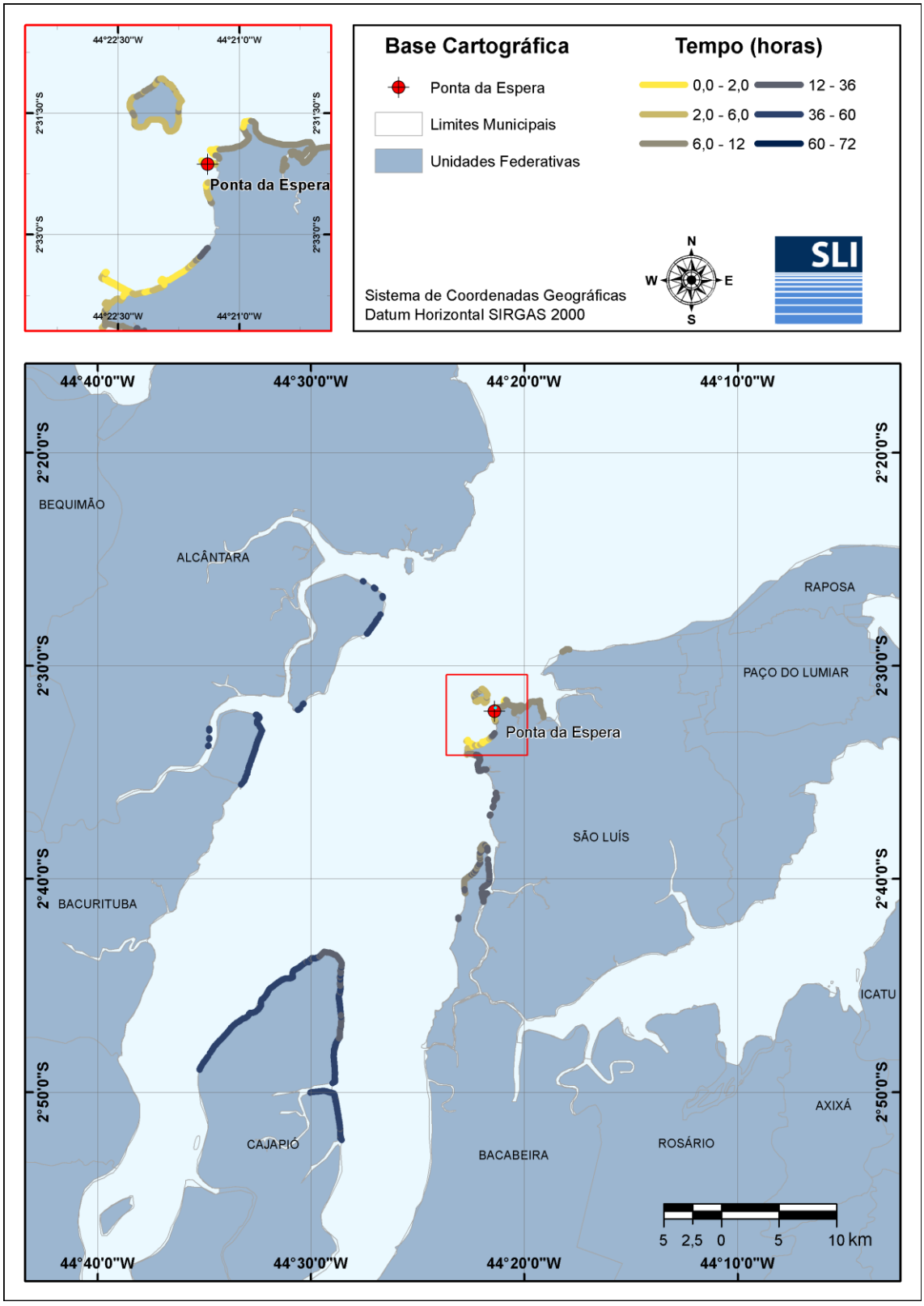


Figura 12: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

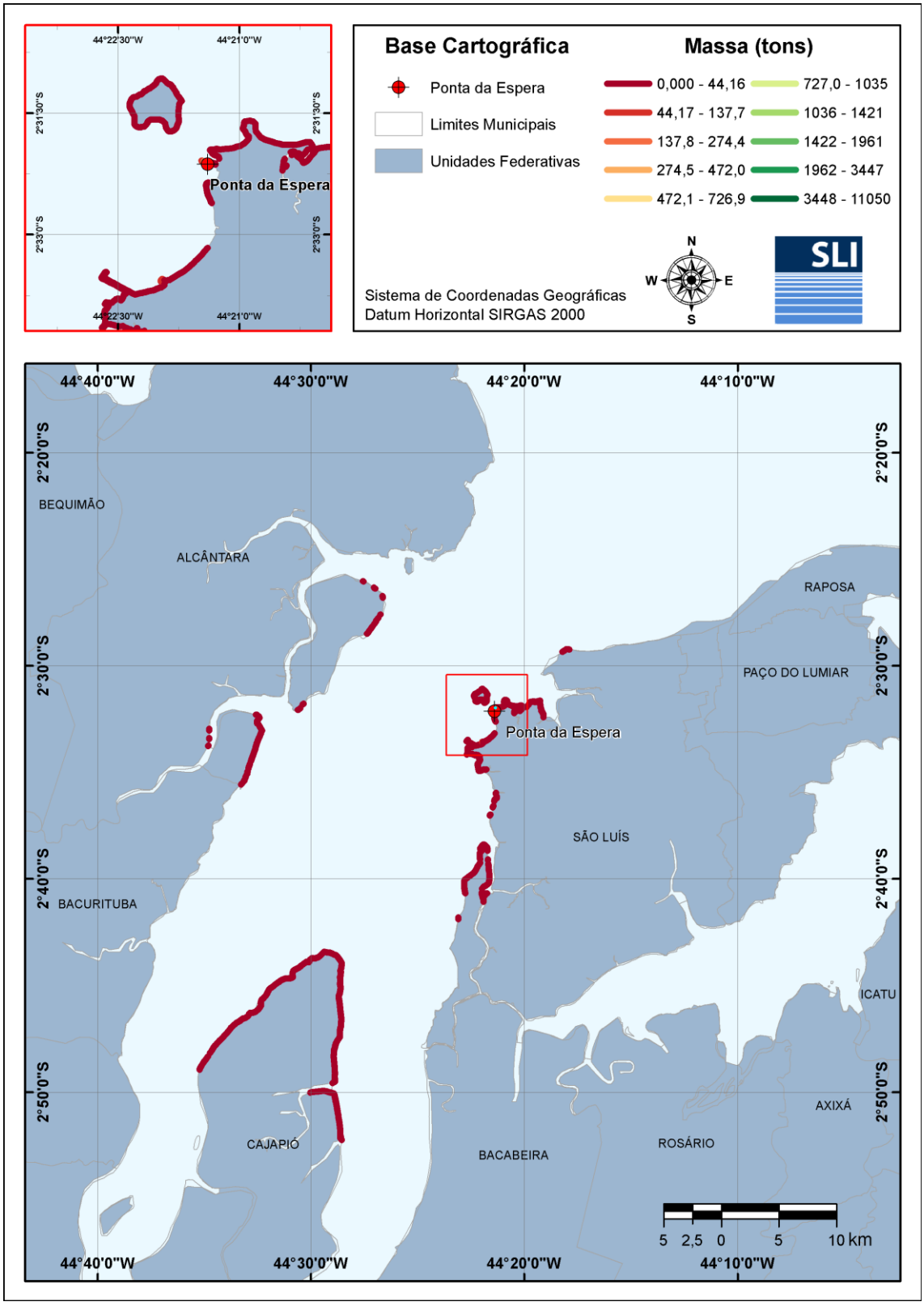


Figura 13: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

Tabela 10 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.05%	0.01%	10.96%	0.97%
Médio	20.40%	1.04%	25.76%	2.80%
Máximo	44.89%	8.58%	36.30%	6.73%

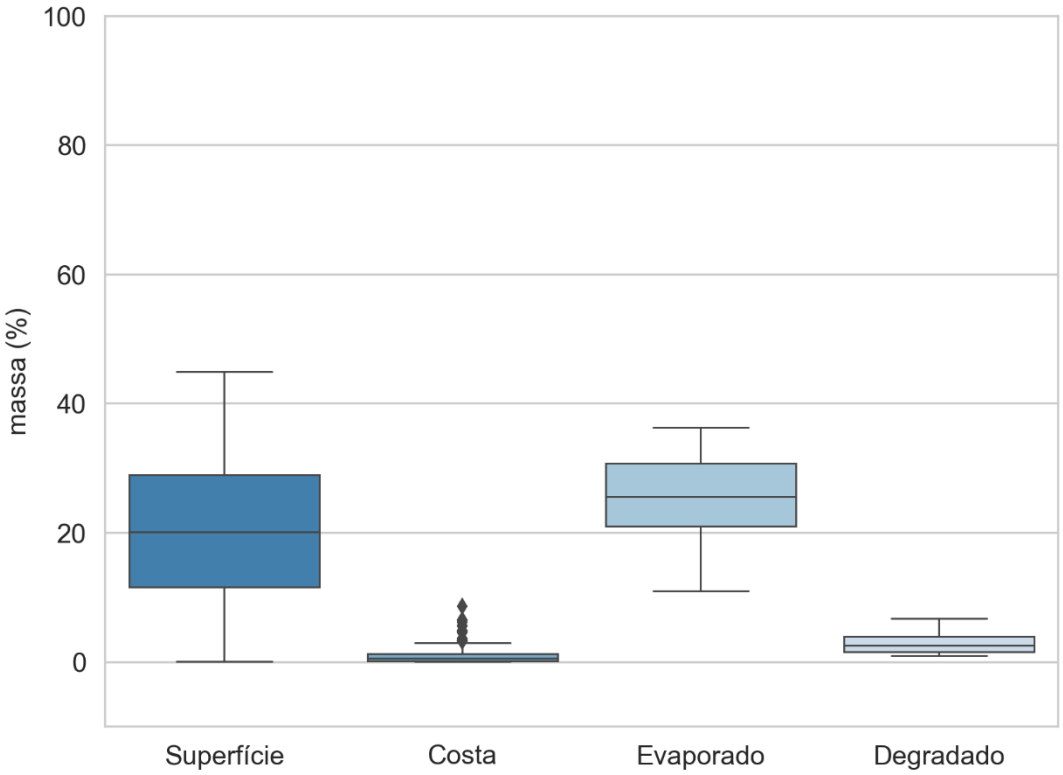


Figura 14 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (21,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

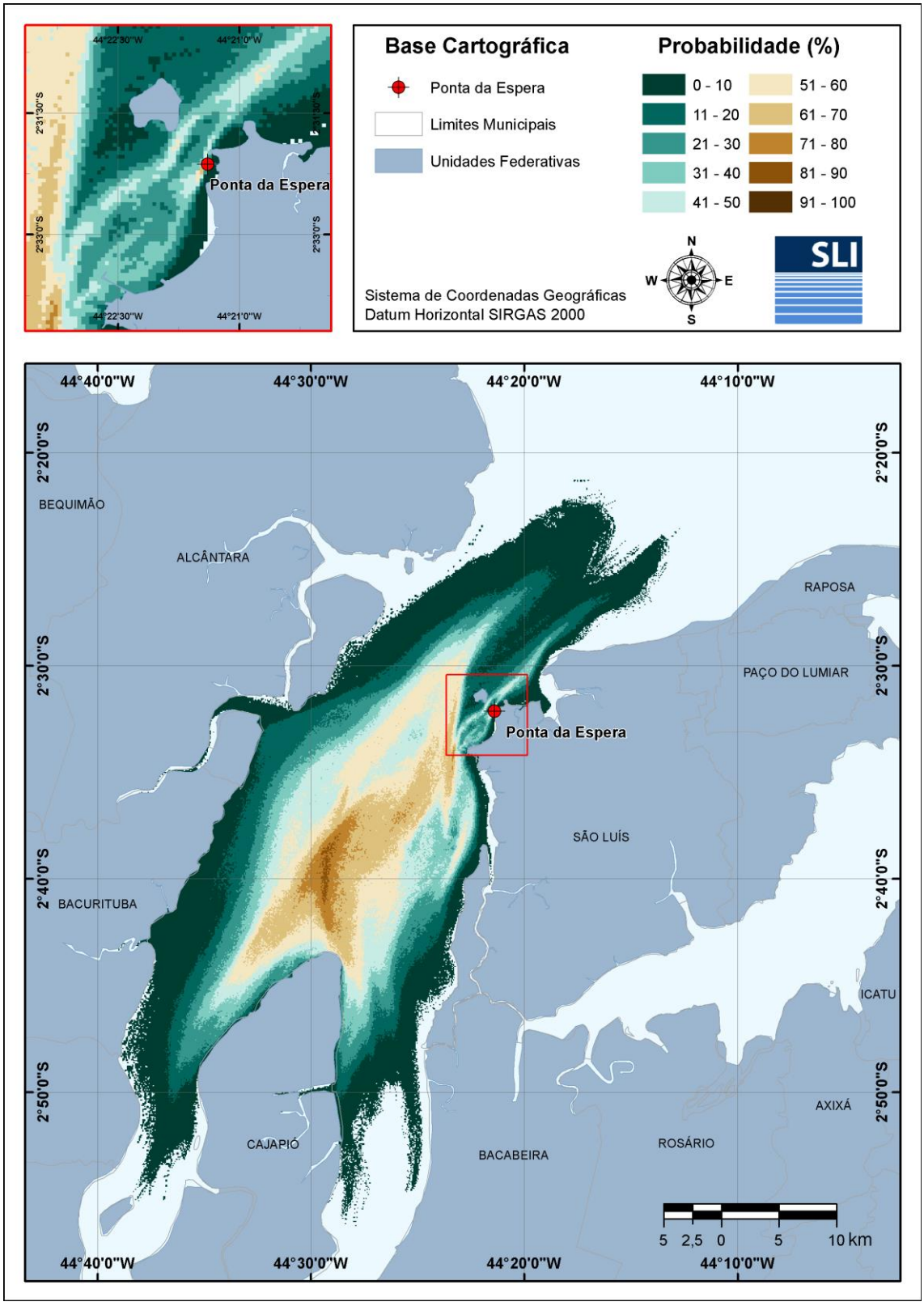


Figura 15: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

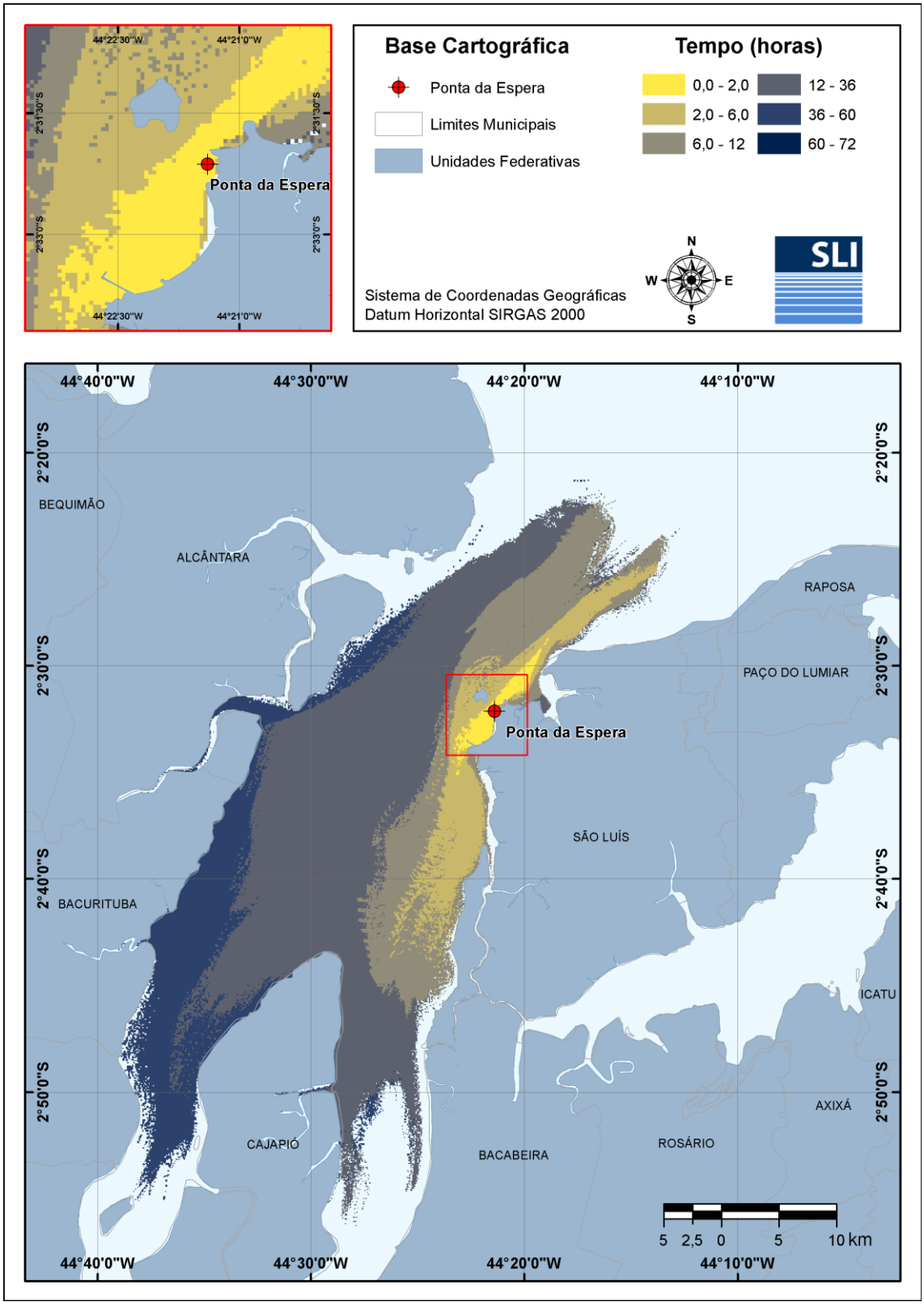


Figura 16: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

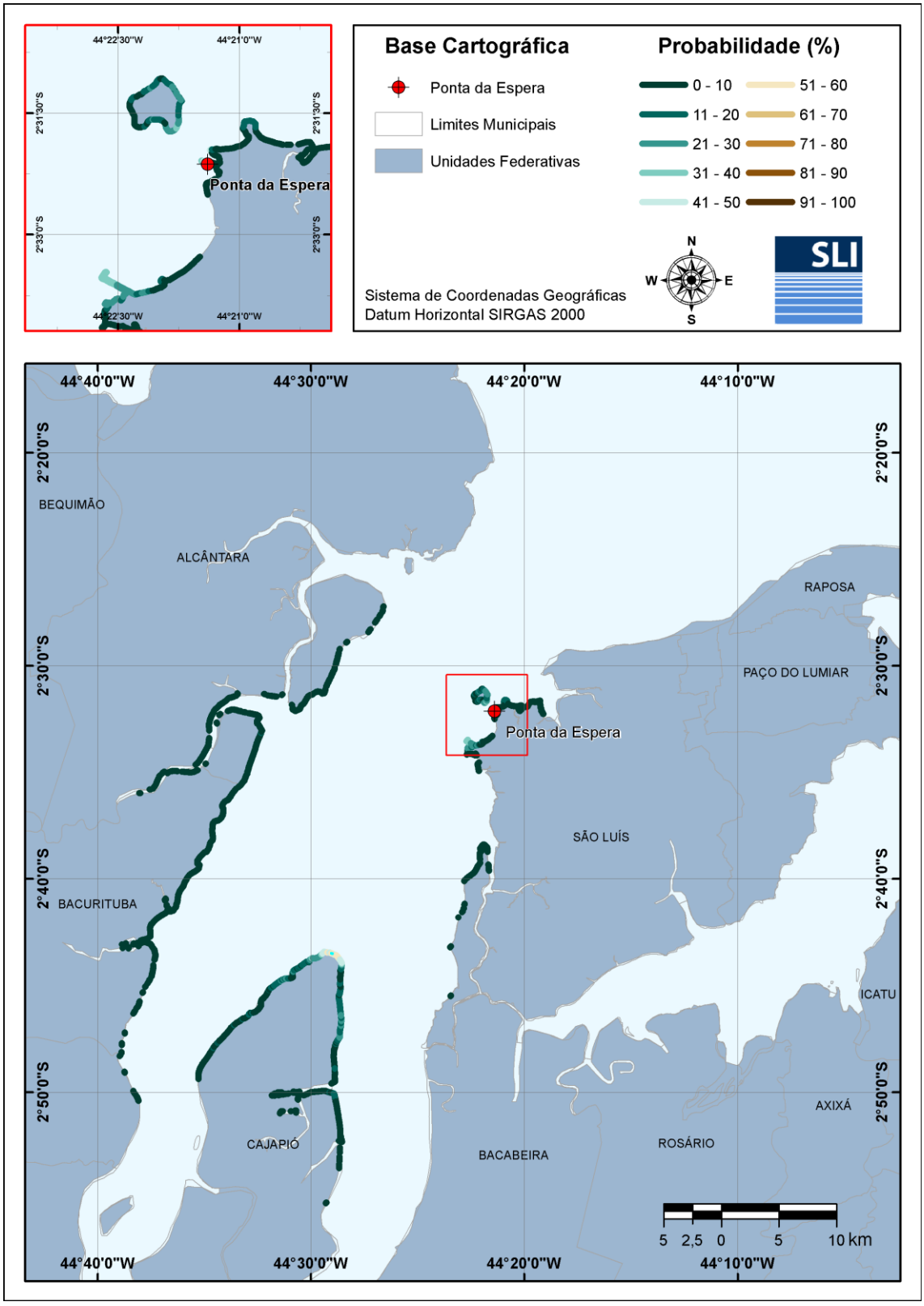


Figura 17: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

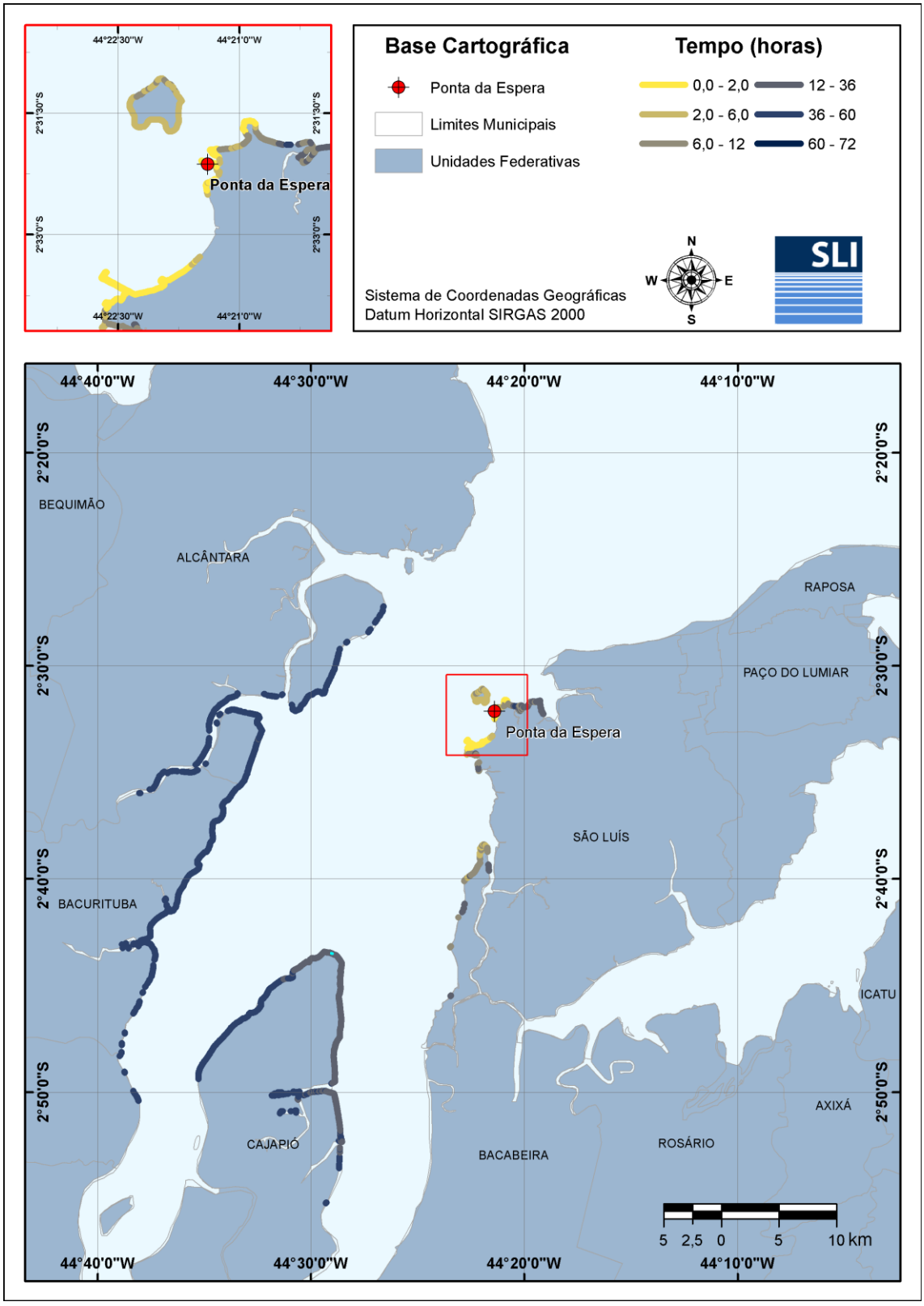


Figura 18: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

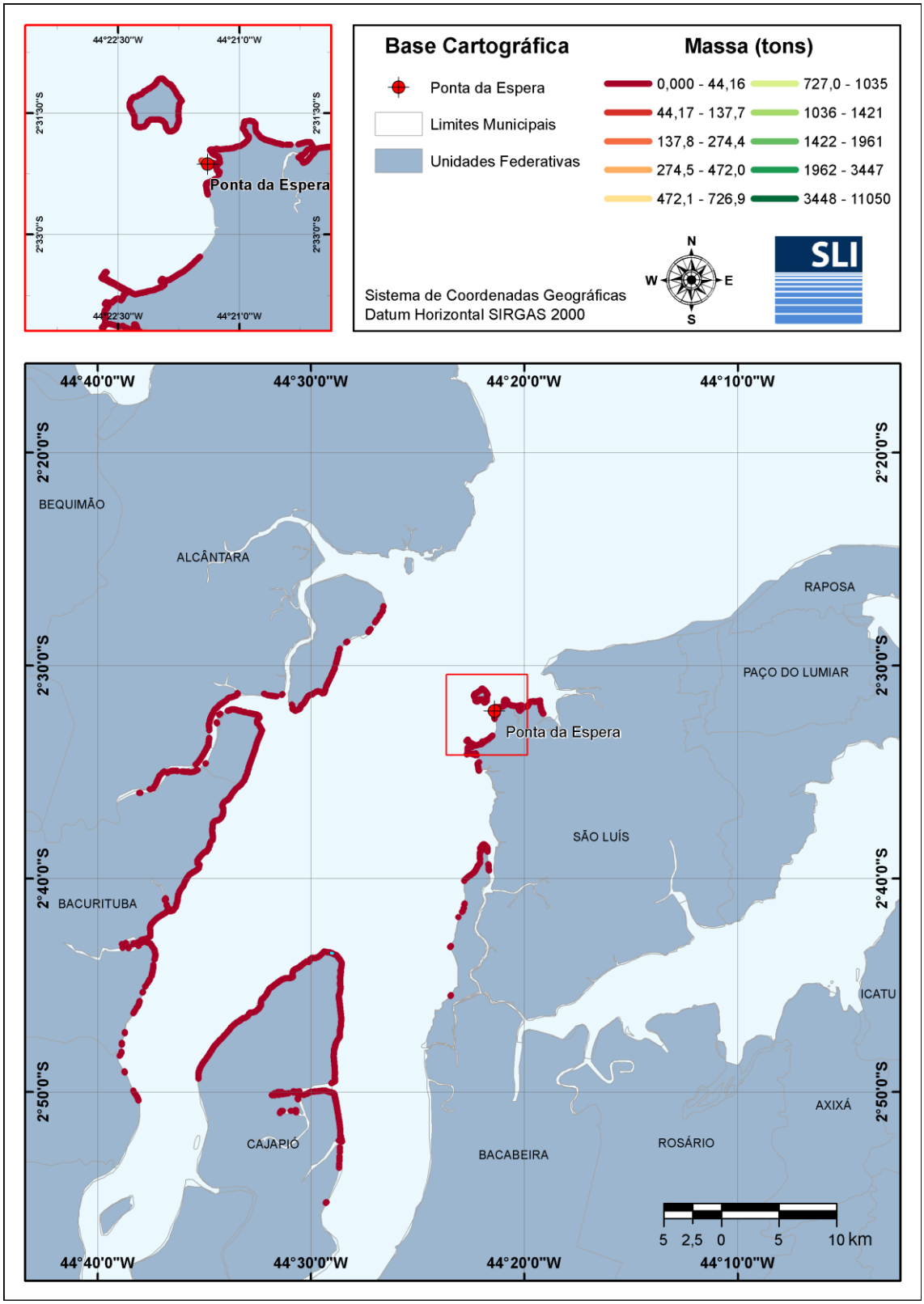


Figura 19: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

Tabela 11 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.01%	11.69%	0.96%
Médio	16.39%	2.88%	28.21%	2.52%
Máximo	40.52%	12.44%	37.93%	6.42%

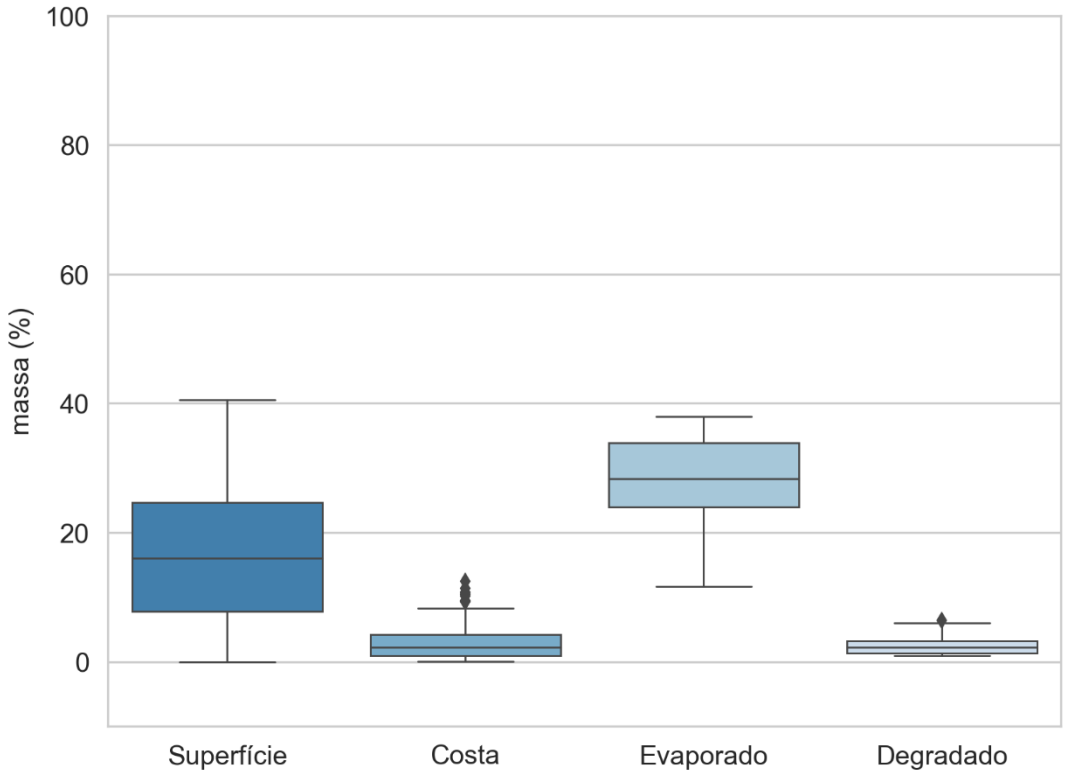


Figura 20 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (21,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

1.11.1.1.2 Volume pequeno (8,0 m³)

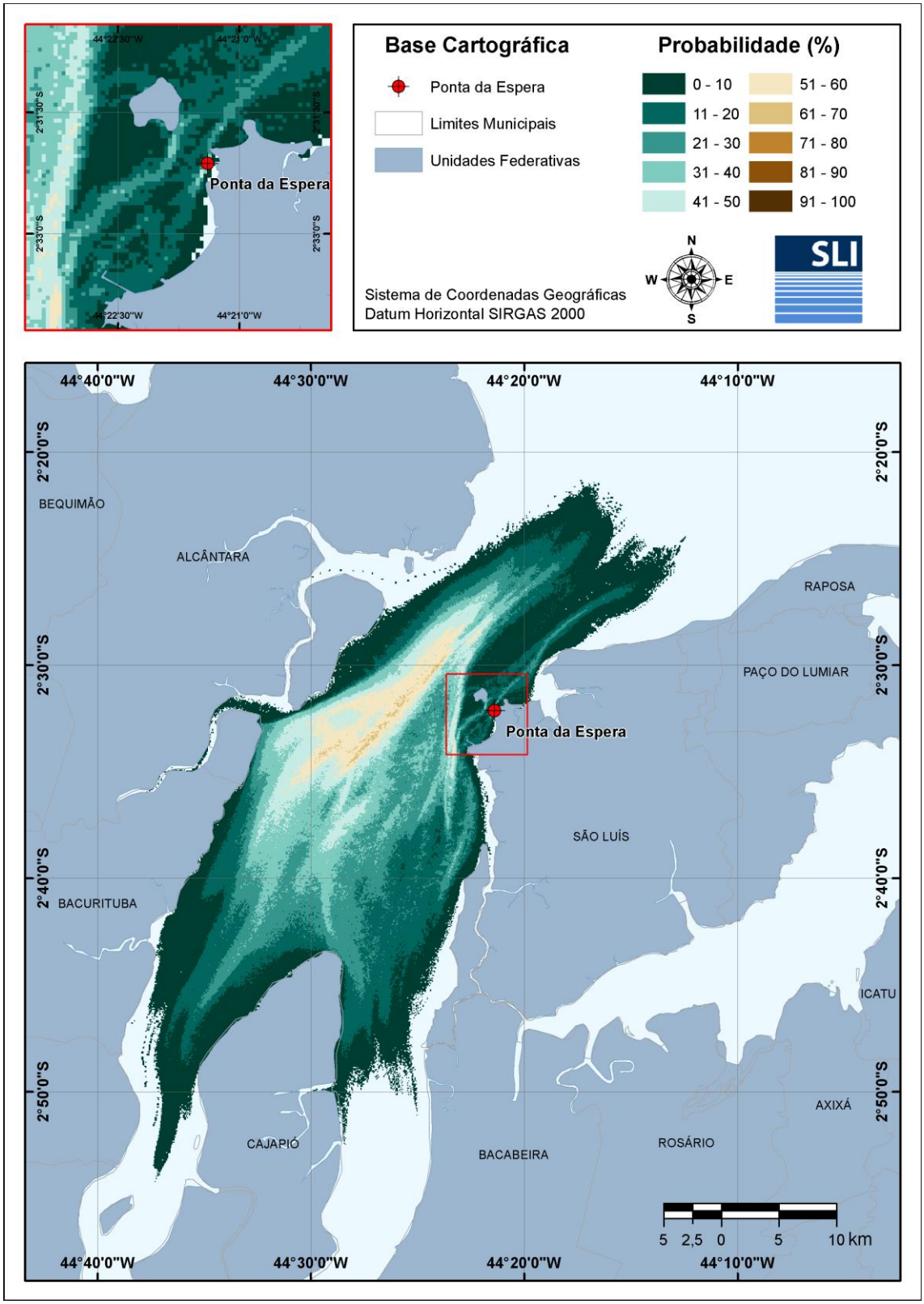


Figura 21: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

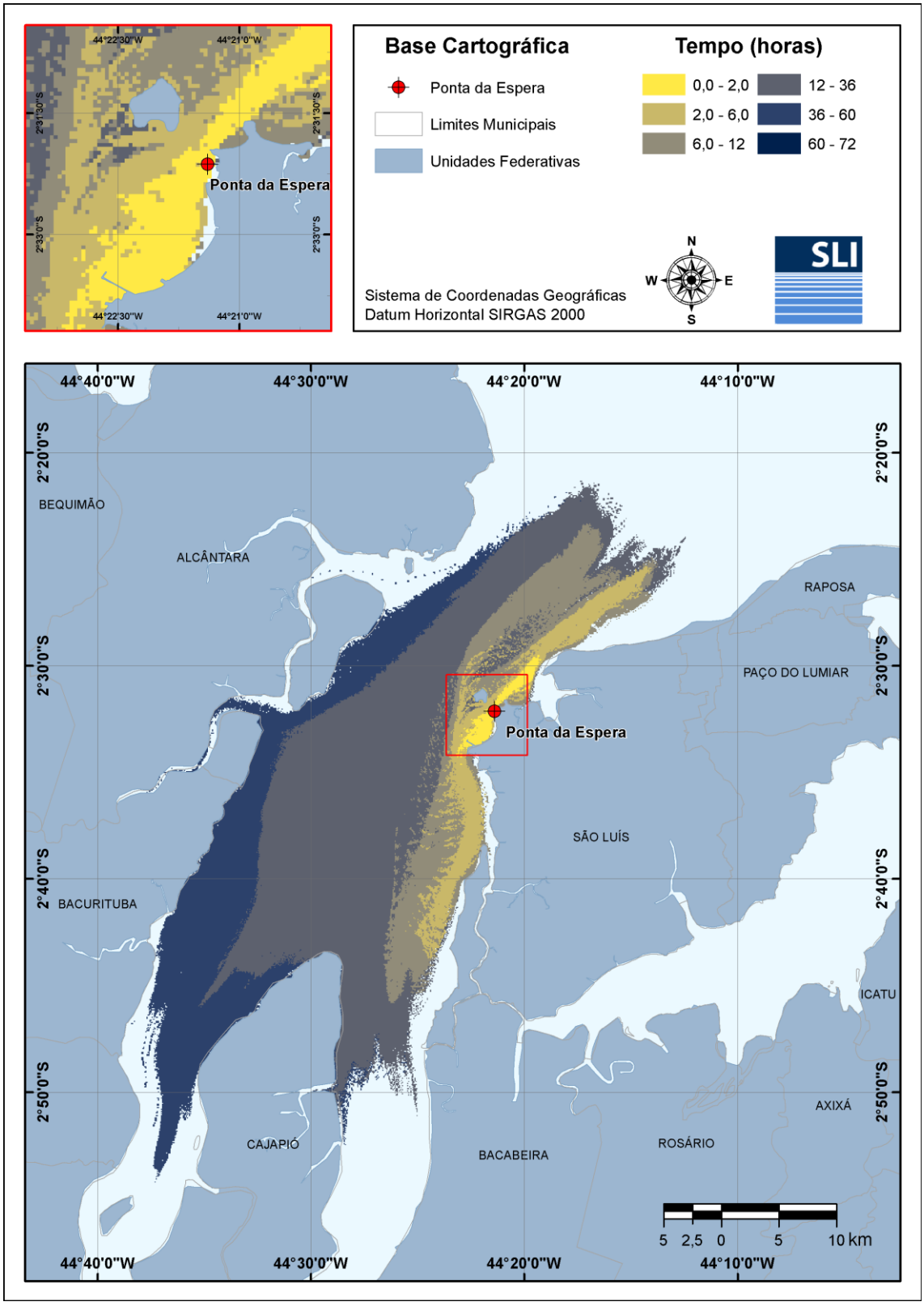


Figura 22: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

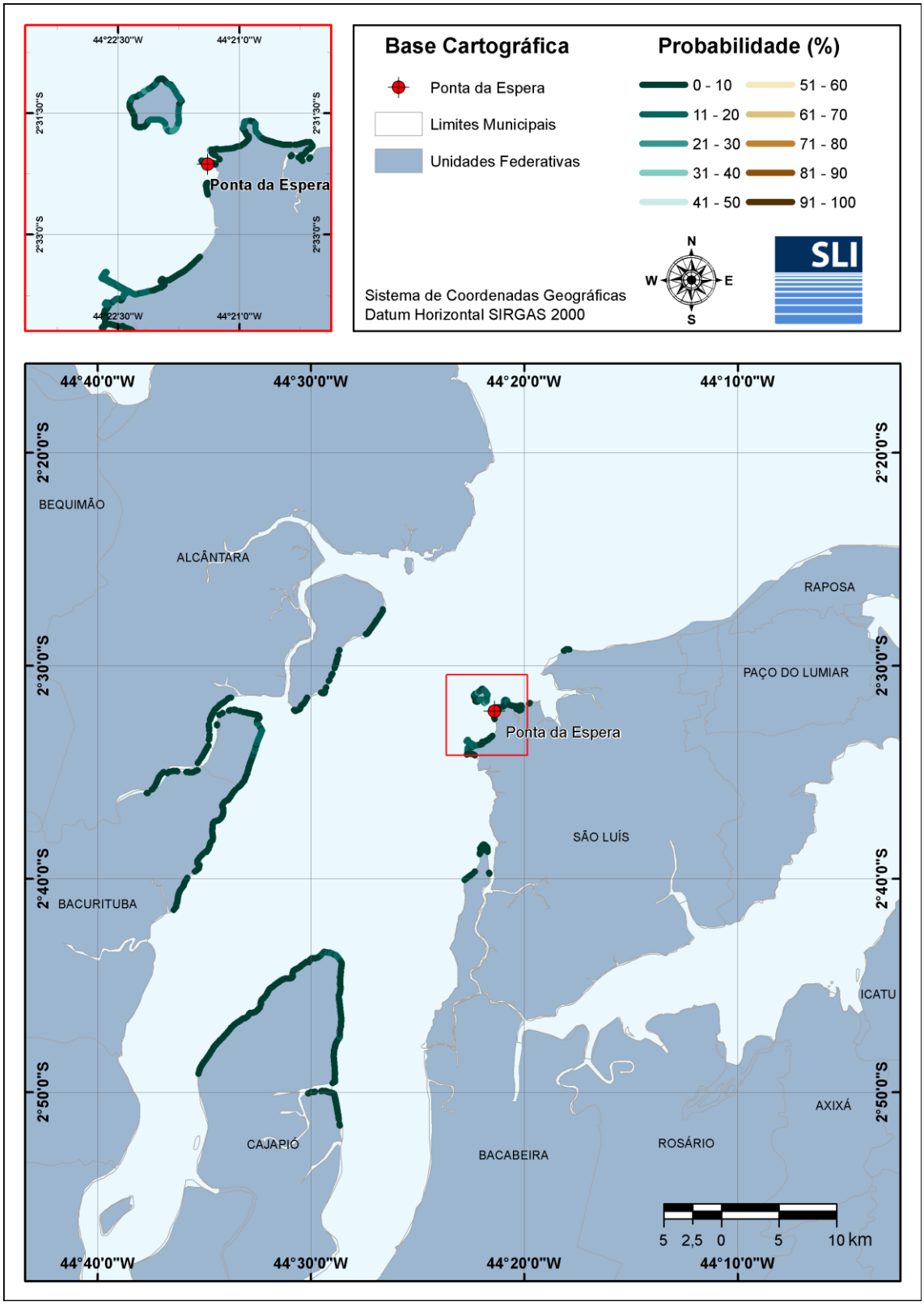


Figura 23: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

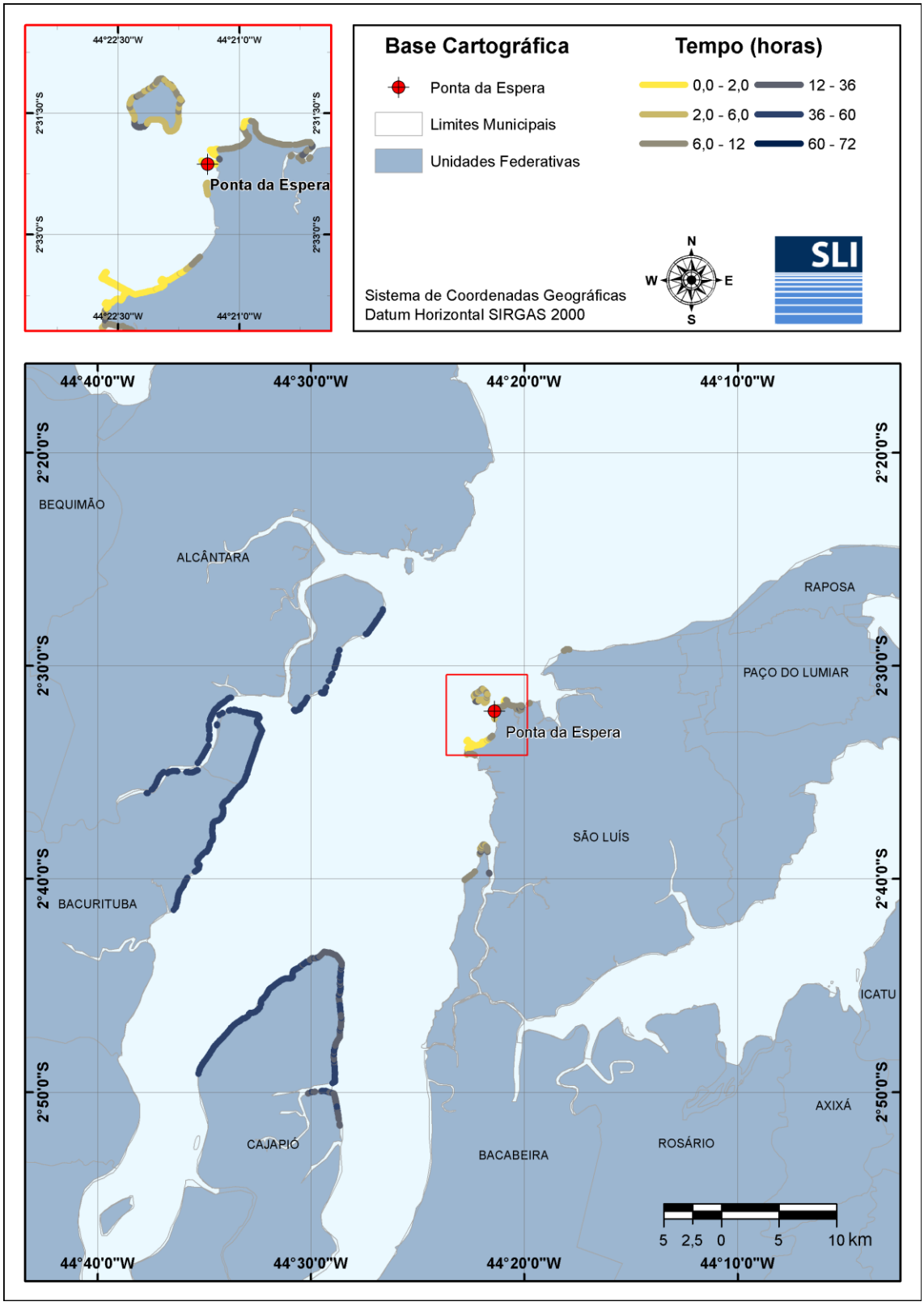


Figura 24: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

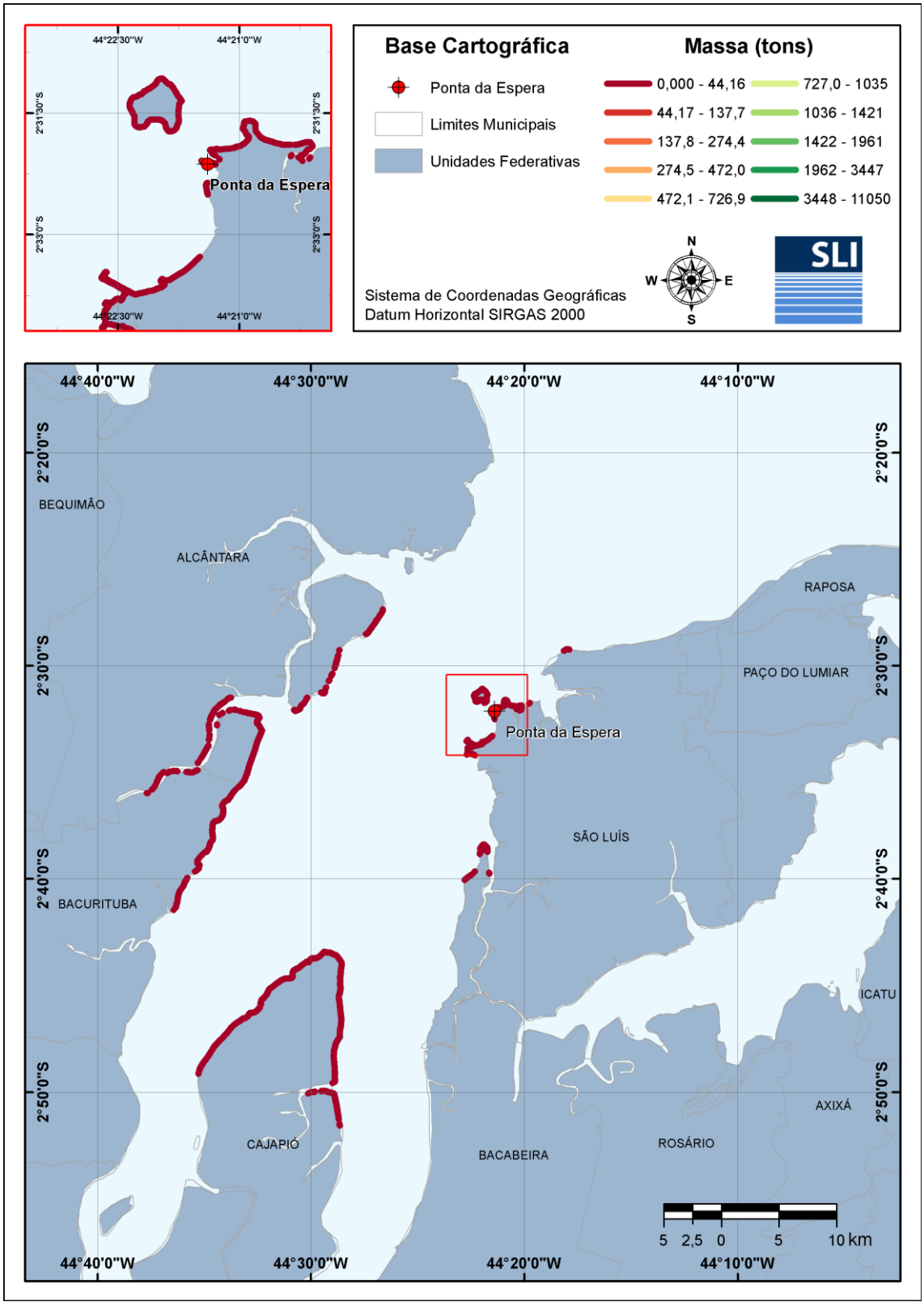


Figura 25: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

Tabela 12 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	11.44%	0.83%
Médio	19.01%	2.02%	26.56%	2.42%
Máximo	48.01%	8.12%	36.64%	6.34%

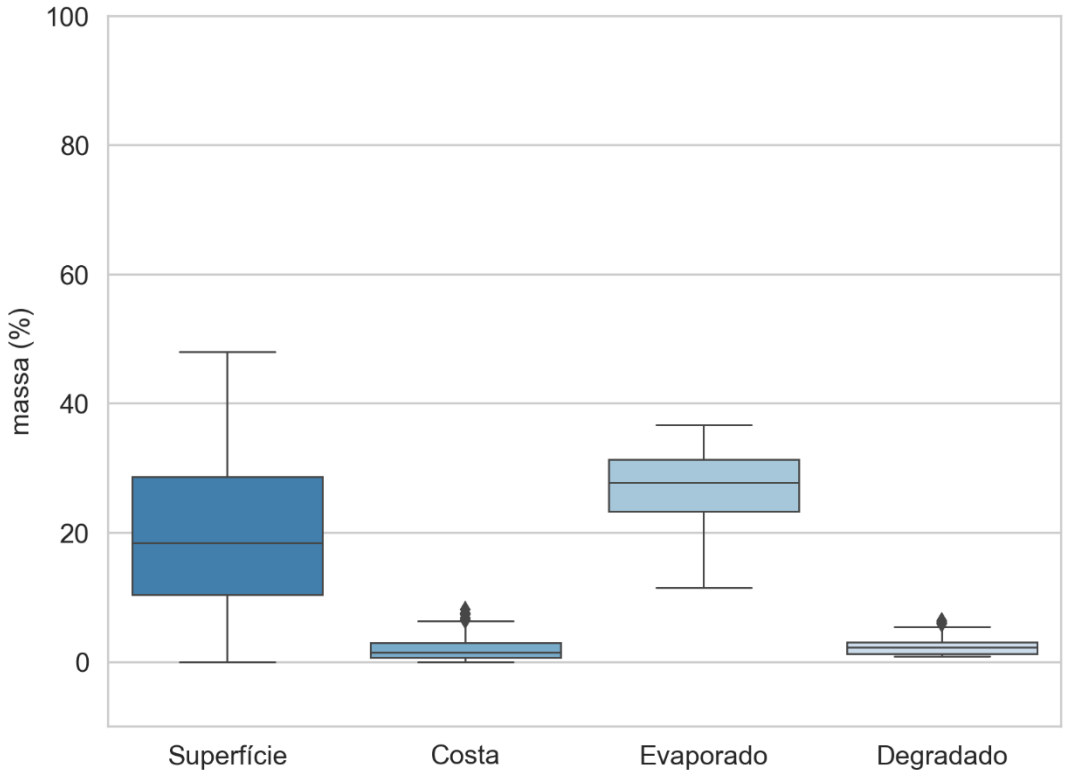


Figura 26 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

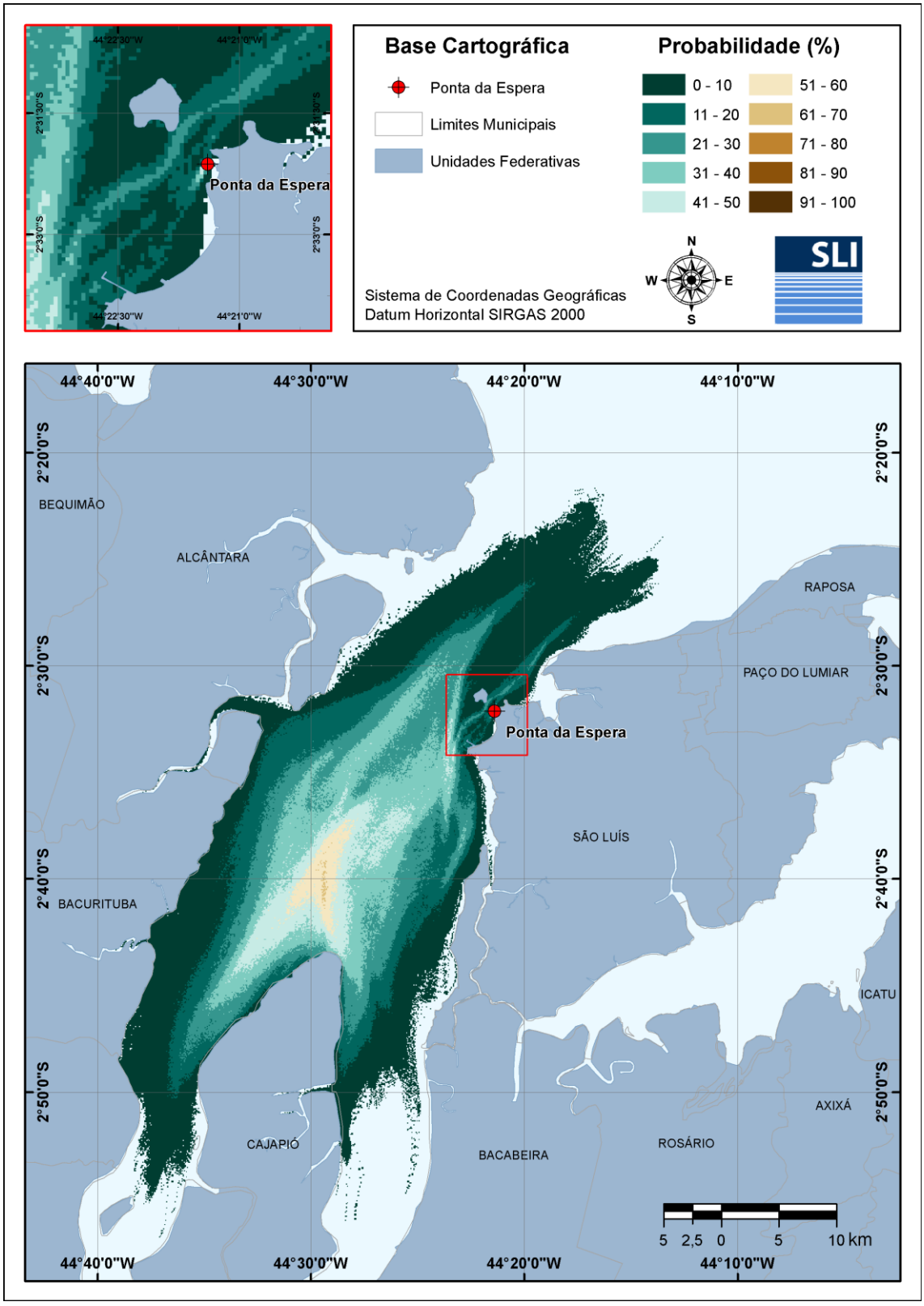


Figura 27: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

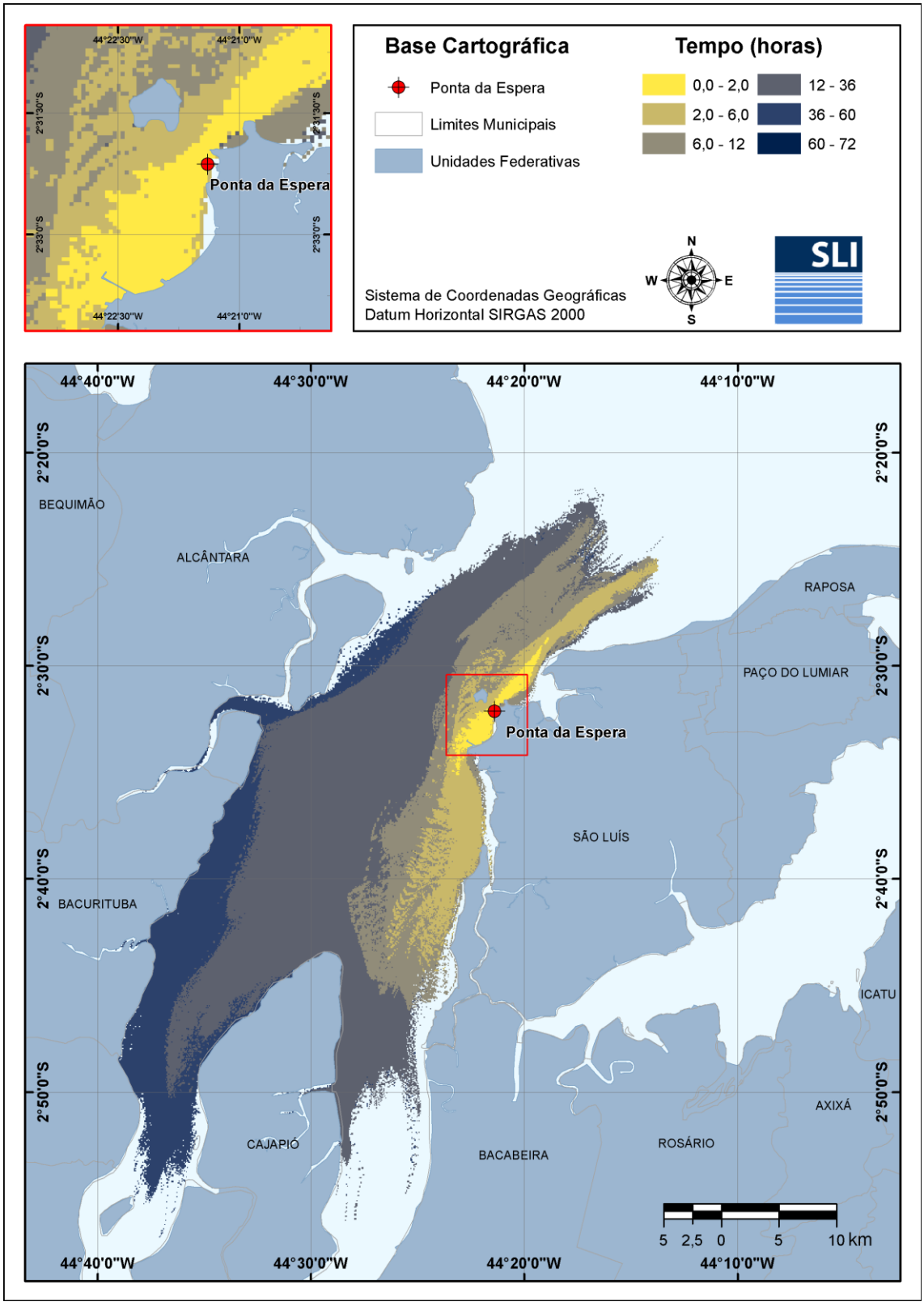


Figura 28: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

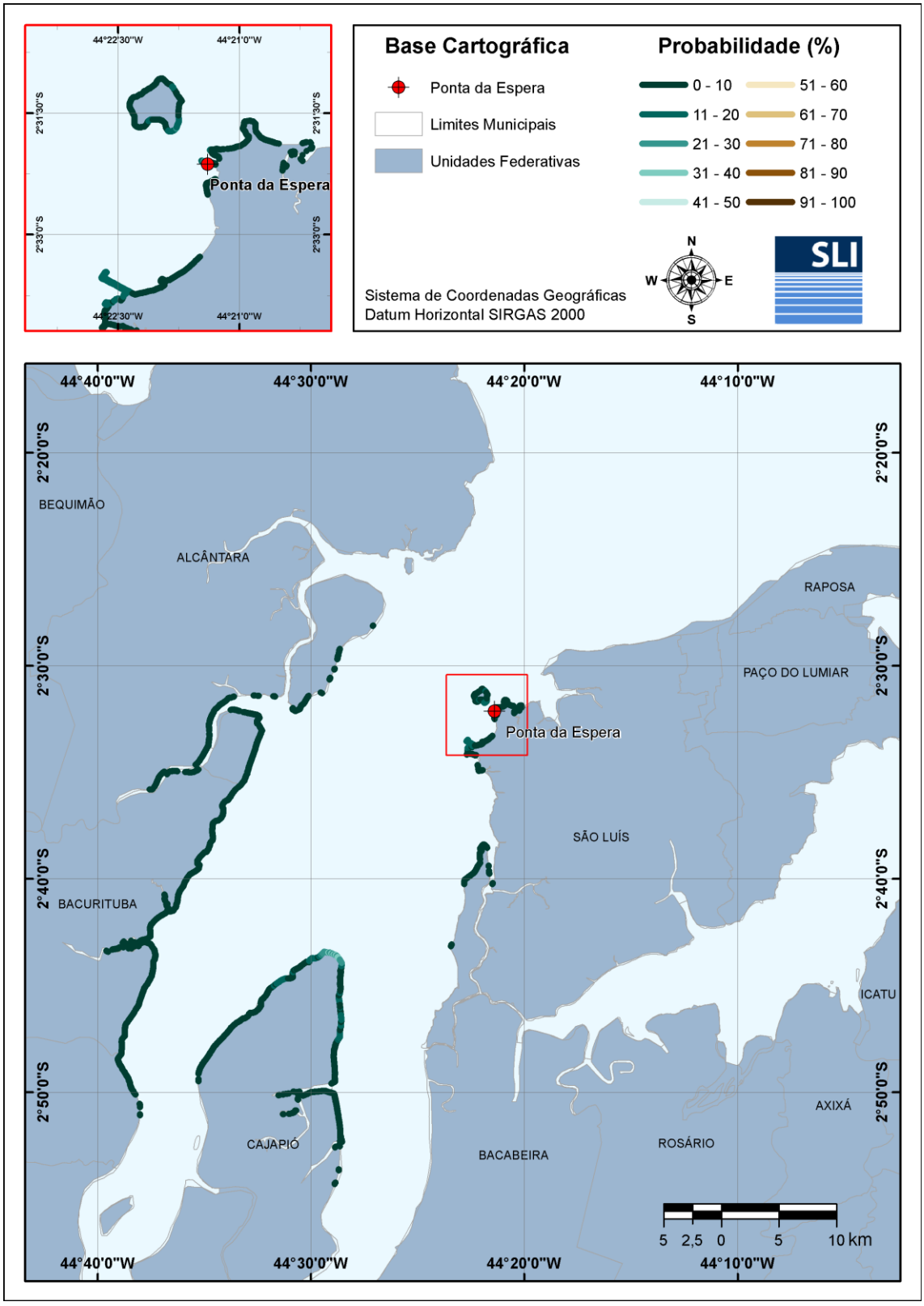


Figura 29: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

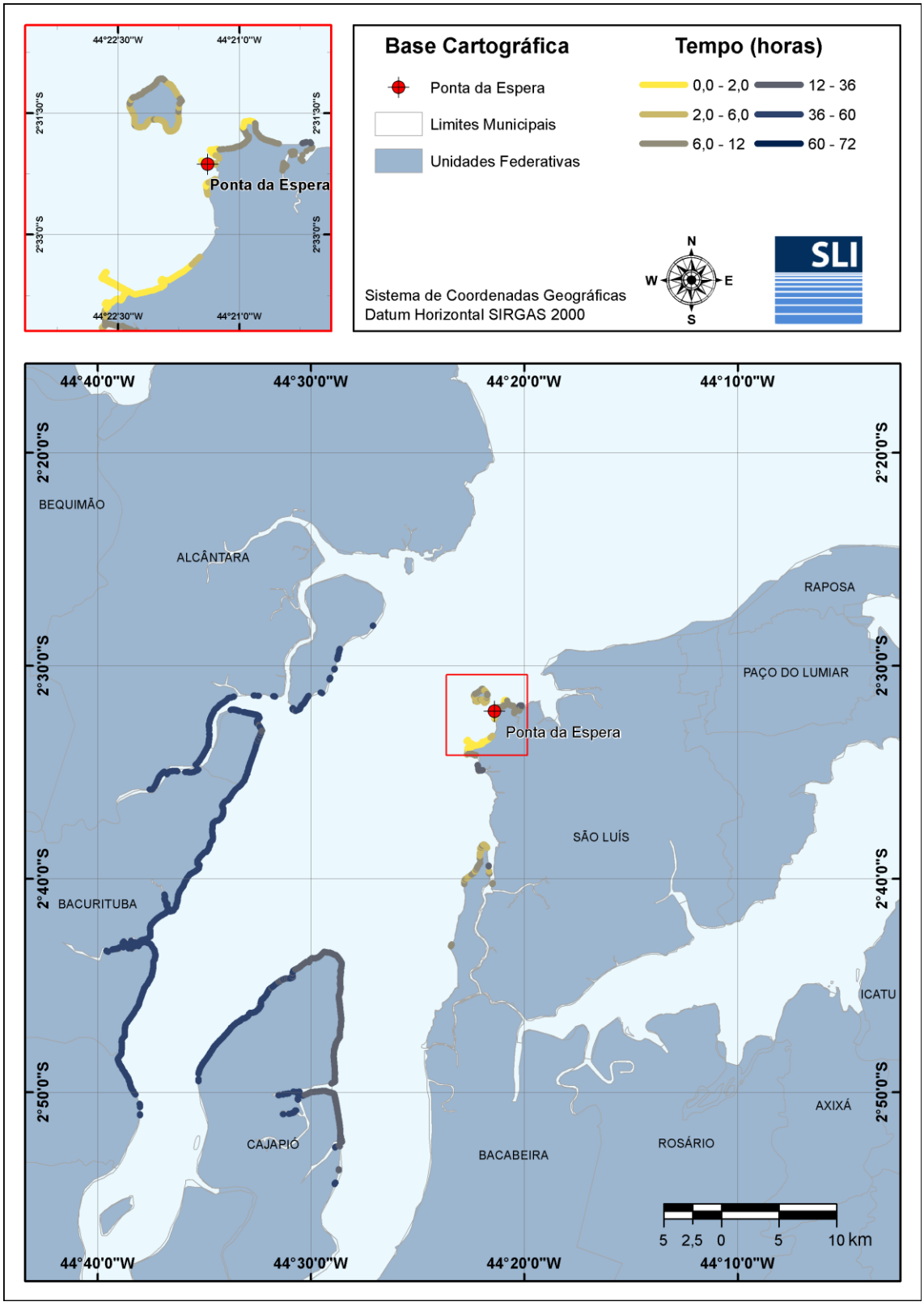


Figura 30: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

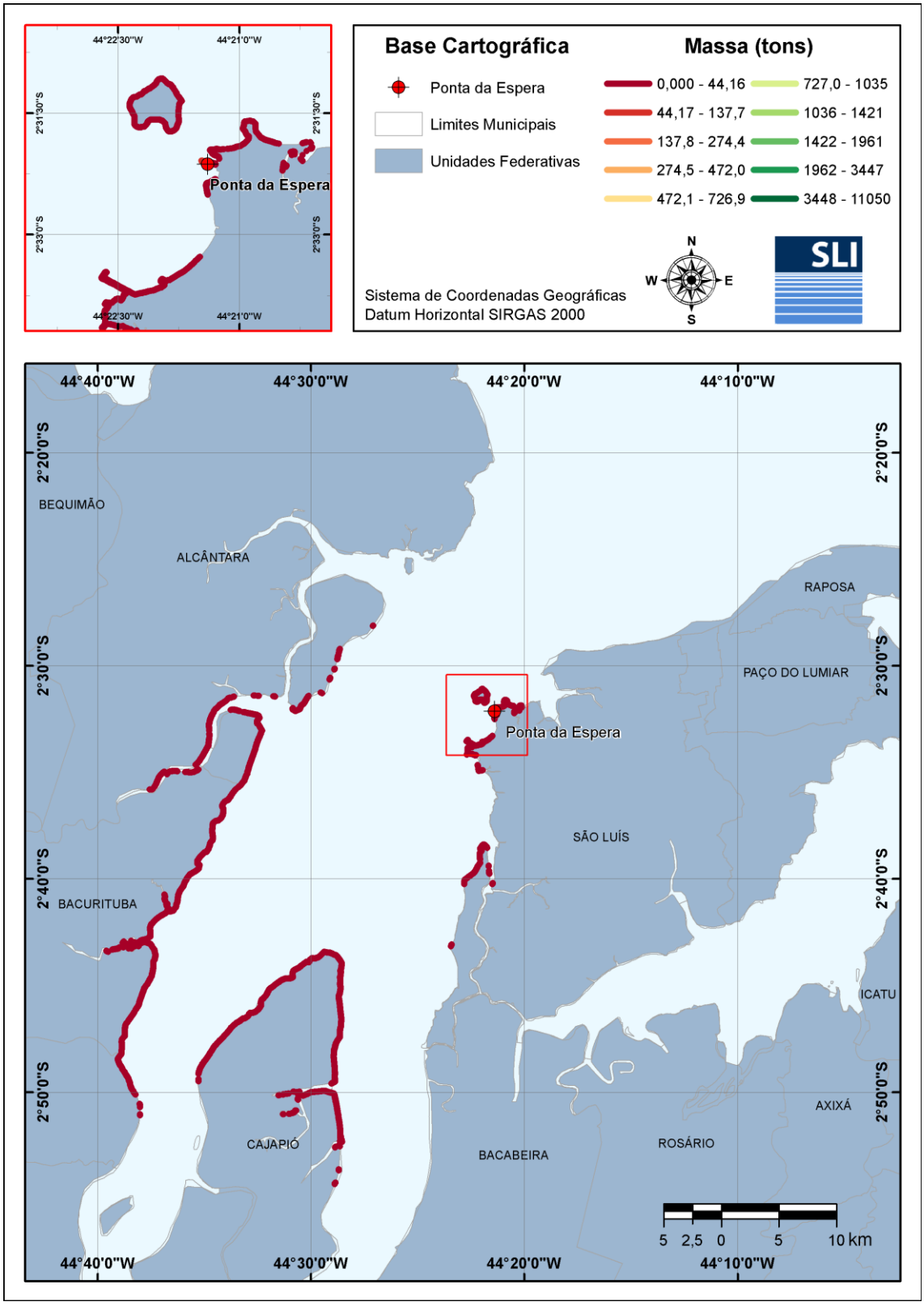


Figura 31: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

Tabela 13 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	12.40%	0.89%
Médio	15.12%	3.84%	28.77%	2.28%
Máximo	40.14%	16.24%	39.18%	5.97%

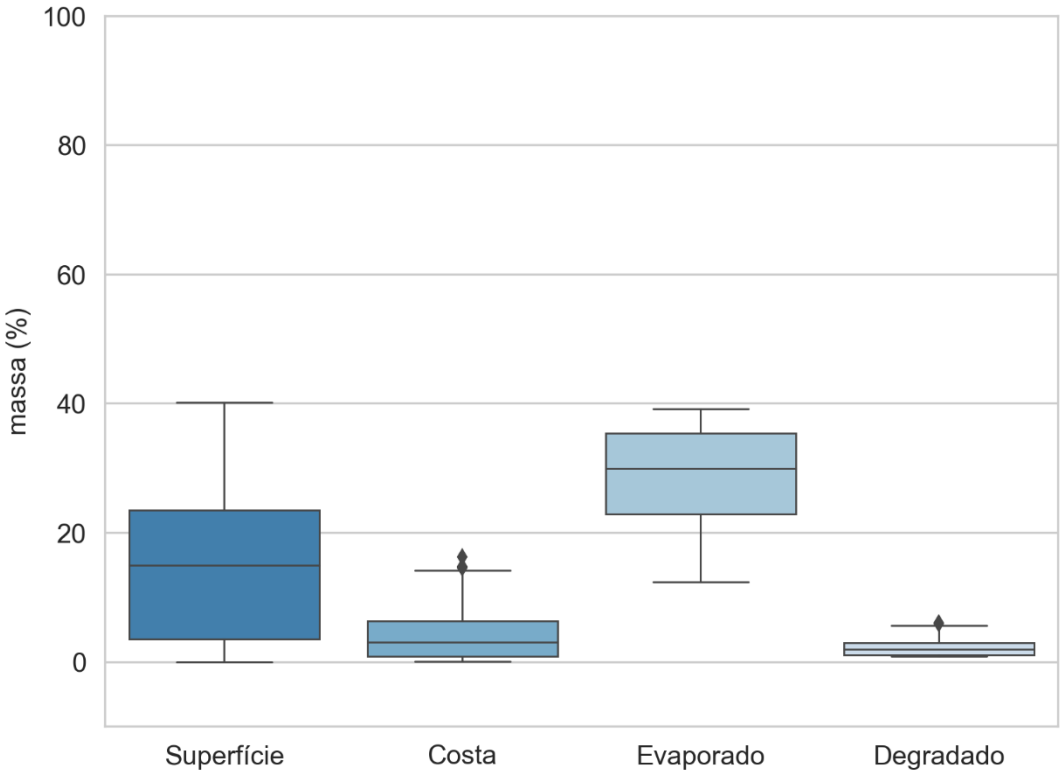


Figura 32 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

1.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

Os resultados das simulações determinísticas de dispersão de óleo são apresentados a seguir. A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de maior extensão. Em cada período, de todas as 200 simulações realizadas, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram a maior extensão de toque, com retenção de massa na costa.

As figuras apresentam os contornos de espessuras da área varrida das partículas de óleo em elemento de grade no instante final da simulação, pois assim demonstra-se toda a região a qual o óleo esteve presente na água, conjuntamente demonstra-se os contornos em destaque (vermelho) para todo local em que houve retenção de óleo pela costa (encalhe) para todo o tempo da simulação, dando o devido tempo para os processos de intemperismo ocorrerem. Por terem muitos cenários críticos de menor tempo, onde rapidamente o óleo toca a costa (em alguns em menos de meia hora), levou-se em conta, aqueles cenários com maior extensão de toque, devido a vulnerabilidade do mangue e região ao seu entorno. Além da área varrida pela mancha de óleo (em grade), é apresentado um gráfico com balanço de massa das simulações dos cenários apontados na Tabela 7, isto é, a quantidade relativa de cada porção de óleo, em determinado ambiente, ao longo do tempo, para cada um dos dois produtos simulados. Adicionalmente em anexo, são apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes nos cenários determinísticos críticos que apresentaram essa maior extensão, são mostradas as condições ambientais (vento e corrente) iniciais para cada um dos cenários aqui descritos.

1.12.1 Óleo Diesel

Podemos observar nos cenários determinísticos a assinatura da intensidade dos ventos, impulsionando o óleo para a região oeste da baía de São Marcos em direção à costa dos municípios de Bacurituba e Cajapió, tendo apenas o crítico para o cenário do volume de pior caso no período de cheia, transportando a maior parte do óleo ao sul da baía, atingingo apenas a costa norte de Cajapió, tendo as simulações uma retenção representativa de aproximadamente de 40 a 50% da massa de óleo disposta no sistema terrestre, e até ~40% do seu material volatilizado para a atmosfera.

Tabela 14 – Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos.

Cenários	Degradado (%)	Costa (%)	Superfície (%)	Evaporado (%)
DE_PEOD_PC_CHEIA	2,49	45,51	18,16	33,84
DE_PEOD_8_CHEIA	1,56	38,52	23,42	36,49
DE_PEOD_PC_SECA	1,75	38,60	15,70	43,95
DE_PEOD_8_SECA	2,02	51,02	4,64	42,32

1.12.1.1 Volume de Pior Caso (21,0 m³)

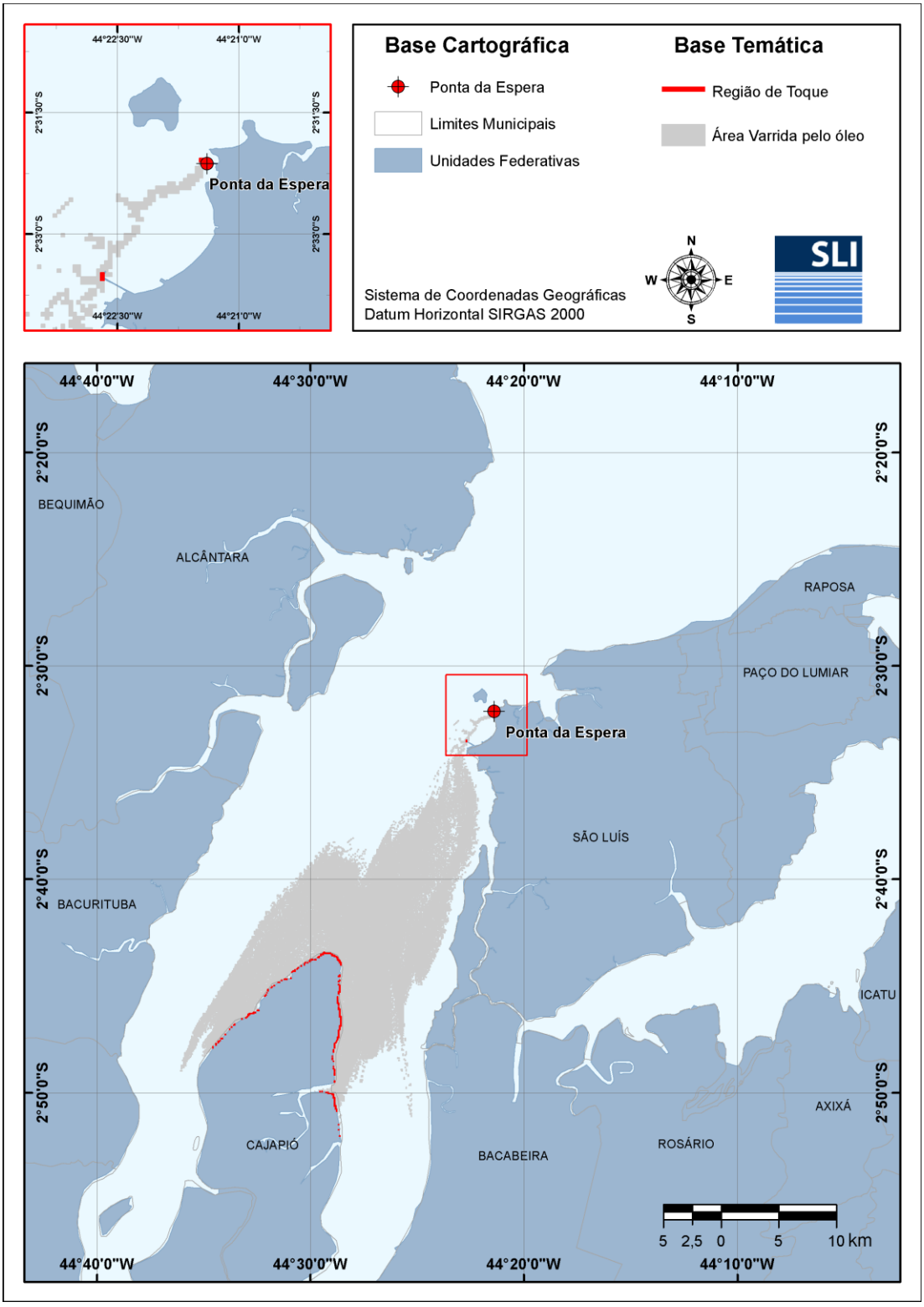


Figura 33: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia

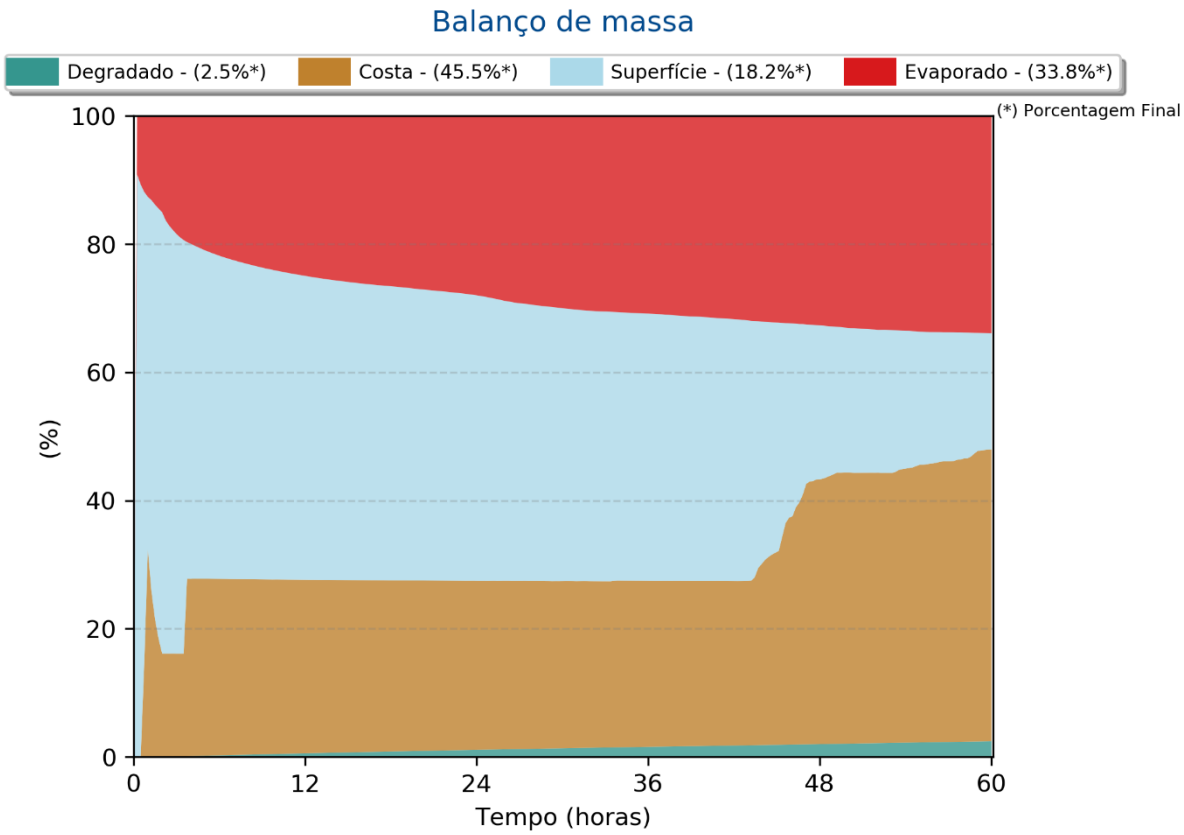


Figura 34 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

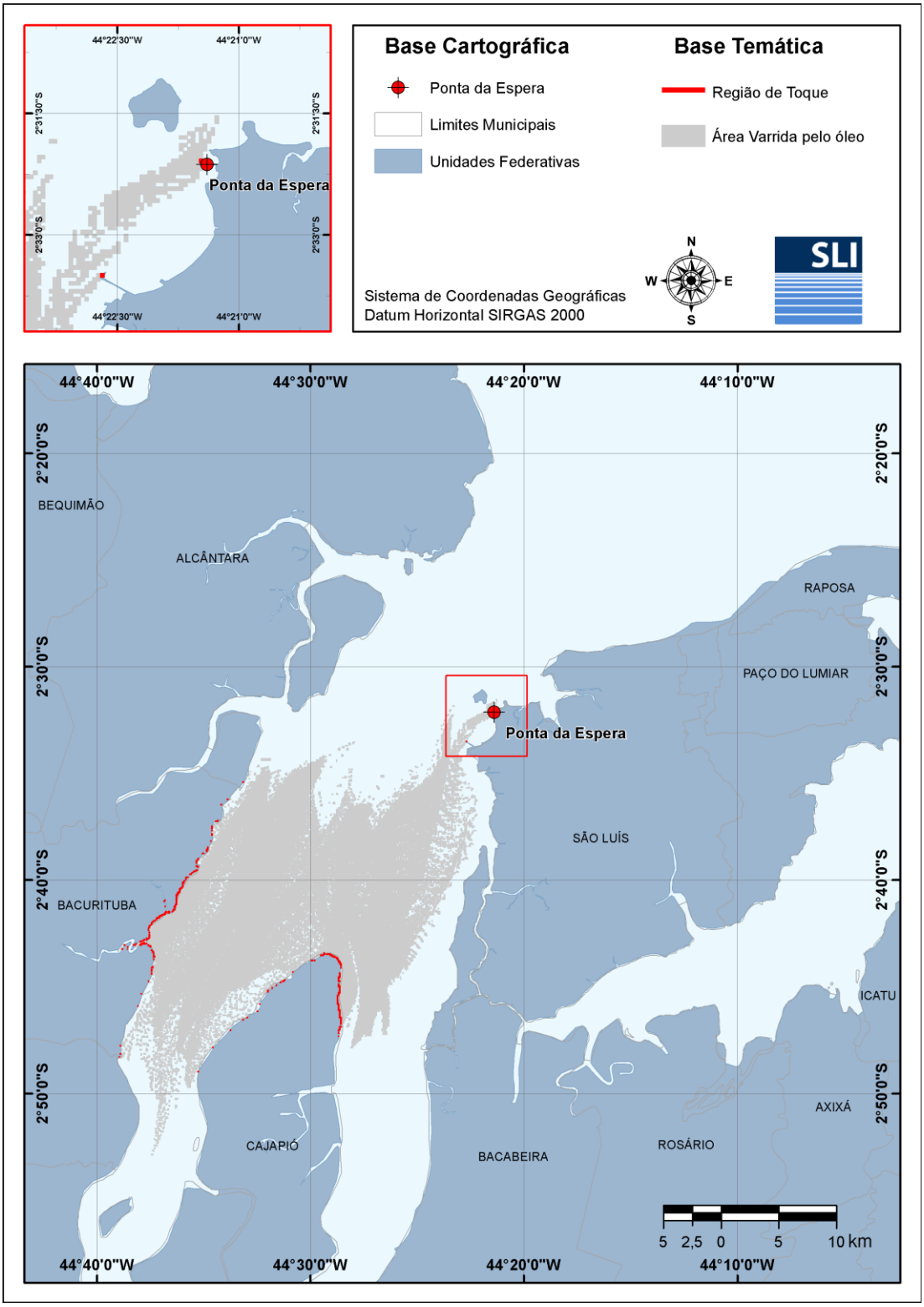


Figura 35: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 21,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca

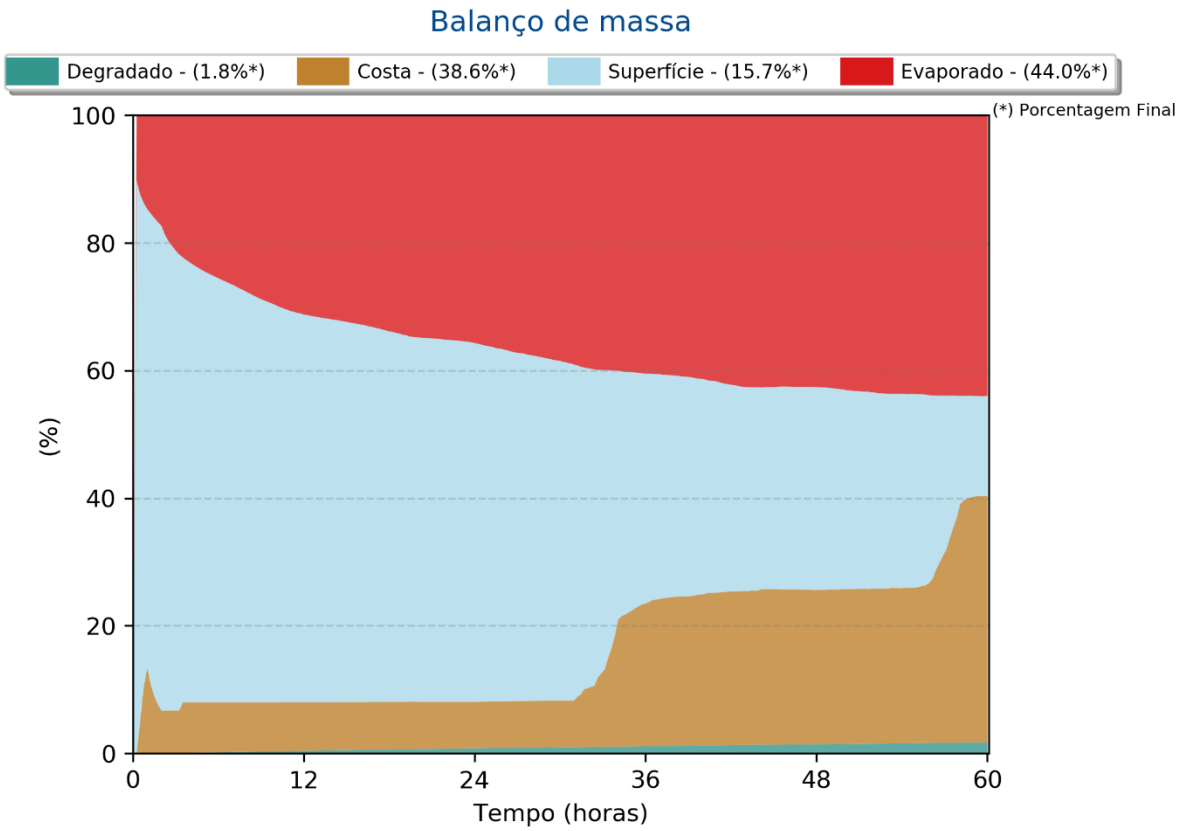


Figura 36 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

1.12.1.2 Volume pequeno (8,0 m³)

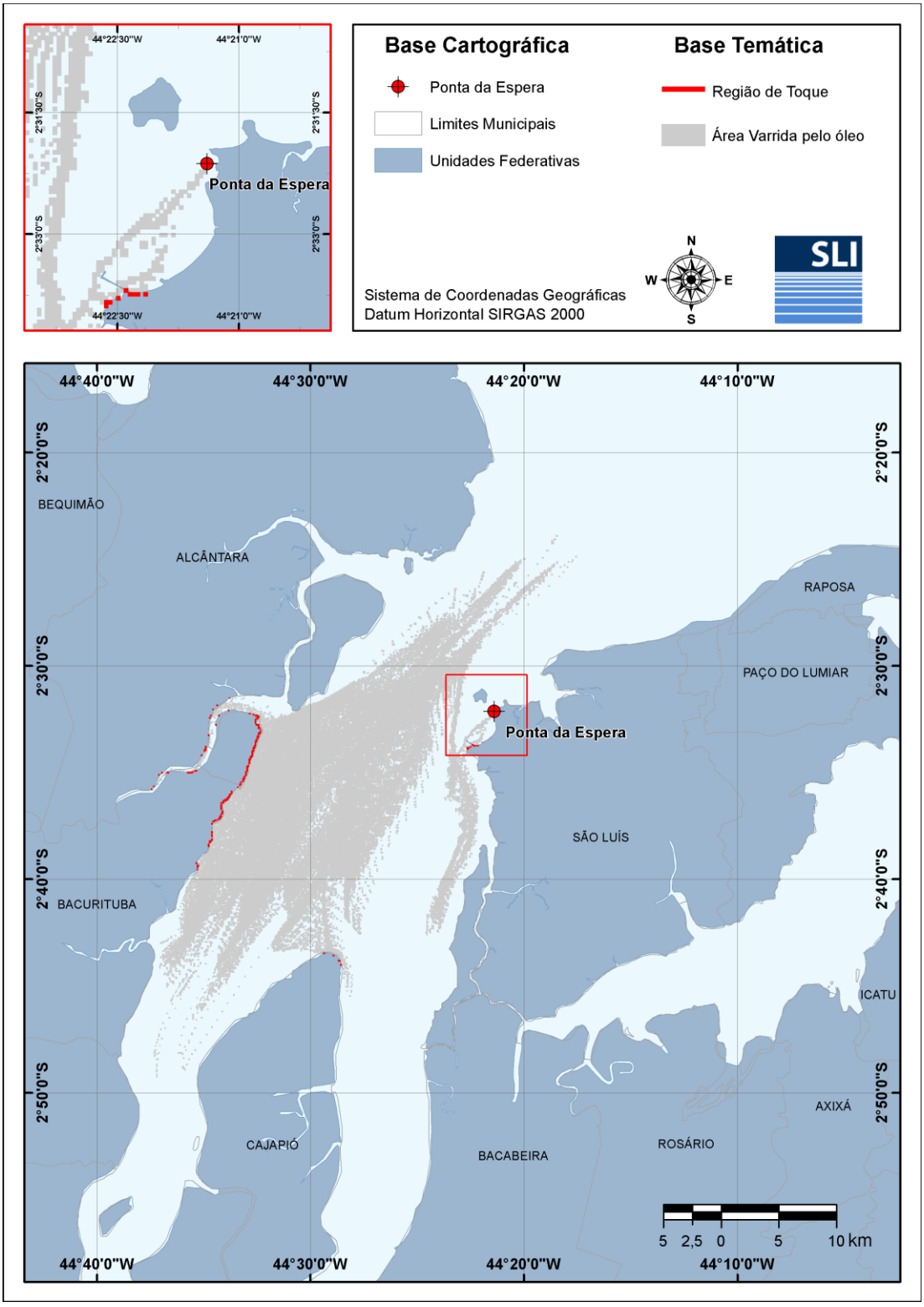


Figura 37: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de cheia.

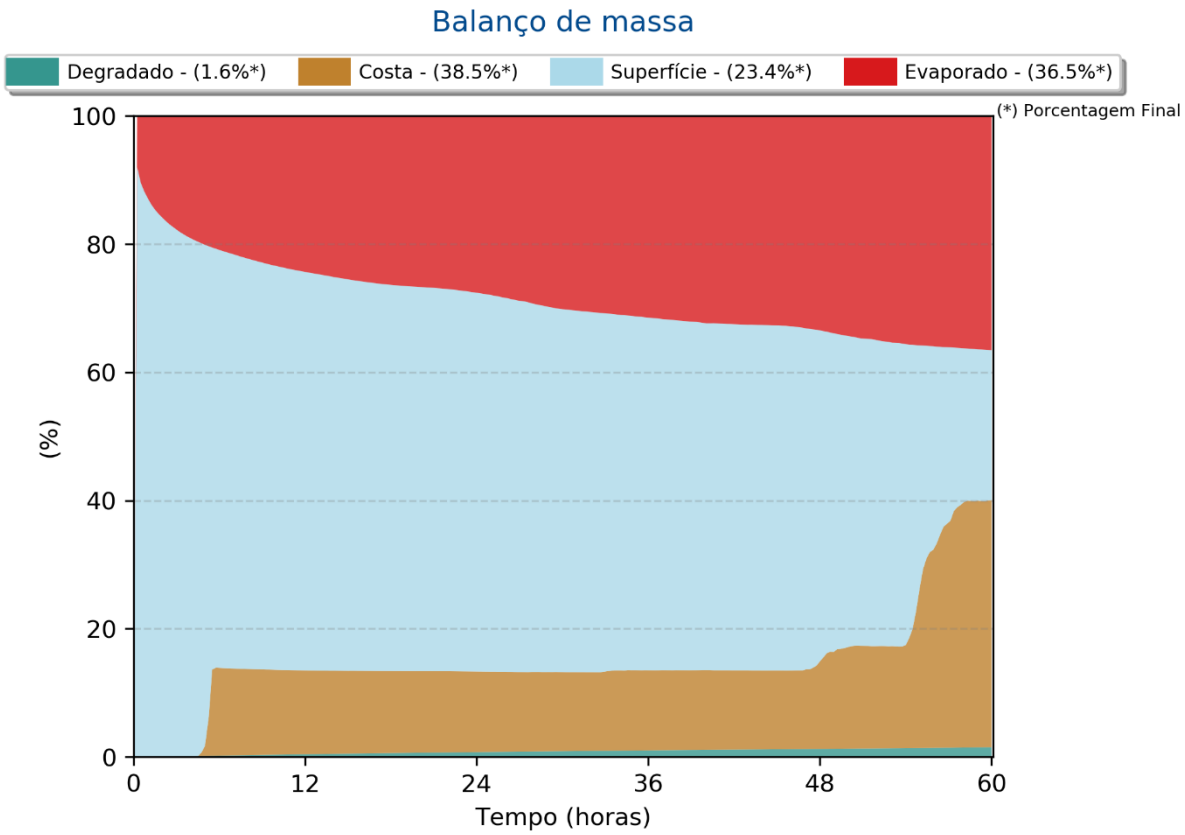


Figura 38 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

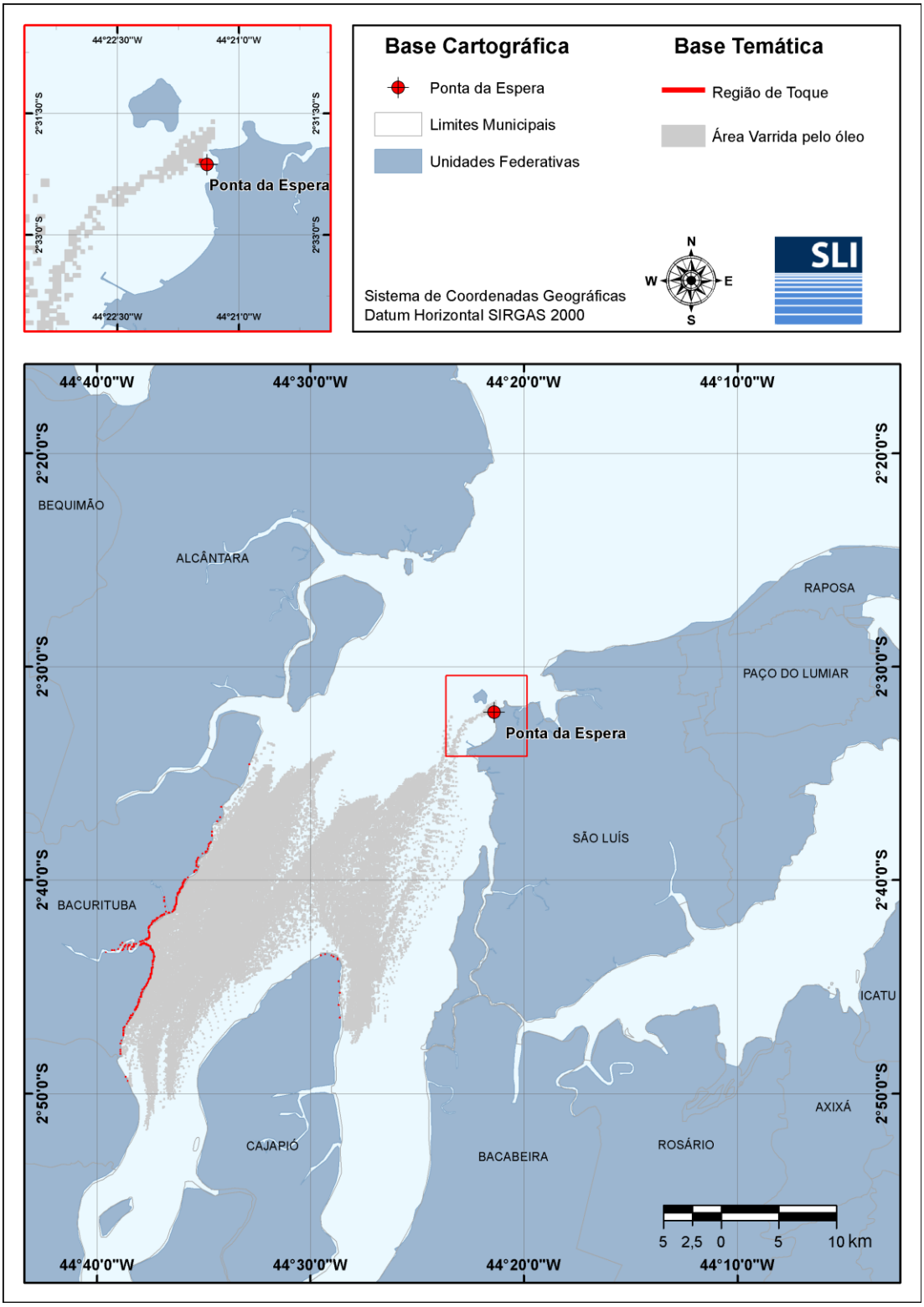


Figura 39: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Terminal da Ponta da Espera durante o mês de seca.

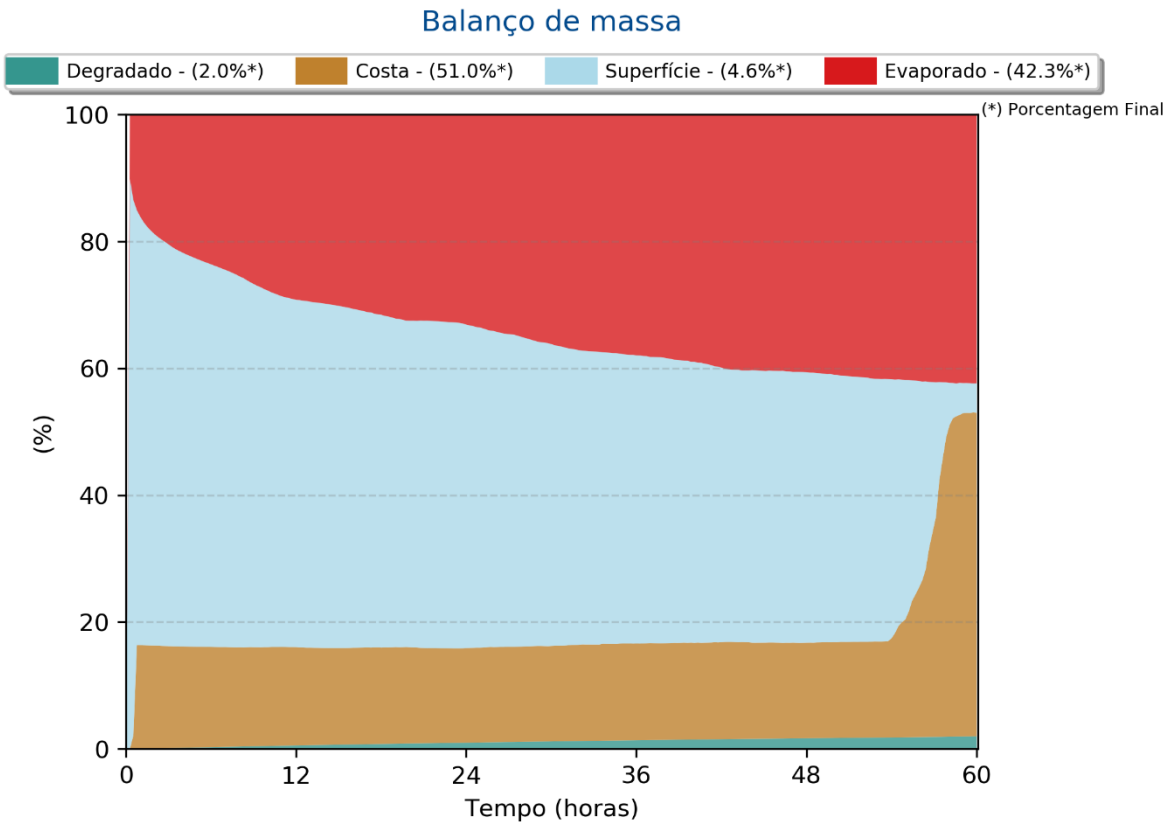


Figura 40 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

2 CONSIDERAÇÔES FINAIS

A **SLI Coastal Solutions** foi contratada pela ***Empresa Maranhense de Administração Portuária – EMAP*** para realizar um estudo de modelagem numérica do derrame, dispersão e transporte de óleo para acidentes durante as atividades desempenhadas pelo Ferryboat no Terminal da Ponta da Espera em São Luís, MA. Tendo por objetivo avaliar os impactos gerados por um vazamento de óleo hipotético acidental ocorrido nas proximidades do empreendimento, de modo a subsidiar o plano de emergência do licenciamento ambiental do mesmo.

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 2 (duas) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8 m^3; e de pior caso (21,0 m^3), definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço (quando aplicável).

Devido às características do empreendimento estudado, foram simulados 2 volumes de derramamento: 8,0 m^3 e 21,0 m^3 sendo o último correspondente ao cenário de pior caso definido como o naufrágio e vazamento de toda capacidade do tanque do navio para o produto do Óleo Diesel. Foi considerado o óleo *Balder Blend, 2010* no modelo para representar o Óleo Diesel.

As simulações foram conduzidas em modo probabilístico e determinístico, considerando os períodos sazonais de cheia (mês de março) e seca (mês de setembro) e suas variabilidades meteorológicas e oceanográficas. Com o objetivo de prever o pior cenário possível de ocorrer, não foi considerado qualquer sistema de controle ou ação de resposta aos vazamentos nas simulações, tais como uso de barreiras de contenção, *skimmers* e dispersantes, em um período de 60 horas após o vazamento.

Para a geração das bases hidrodinâmicas representativas de ambas sazonalidades foi utilizado o modelo numérico Delft-3D, desenvolvido pela Deltares (Delft Hydraulics – Holanda), considerado a ferramenta mais avançada na atualidade para simulações de ambientes costeiros, estuarinos e fluviais (SLI, 2018a). Para a simulação dos processos de dispersão foi utilizado o módulo Oil Spill Contingency And Response (OSCAR) do MEMW desenvolvido pela SINTEF, modelo que calcula os processos advectivos e dispersivos de vários tipos de óleos derramados no mar.

Os resultados da modelagem numérica de dispersão de óleo indicam que o vento é o fator predominante no processo de dispersão de óleo para as regiões à oeste e sudoeste do terminal da Ponta da Espera. O óleo não escapa a baía de São Marcos devido a maré, e conjuntamente a ação dos ventos de leste e nordeste. Em geral, o espalhamento é maior nos cenários de Seca, devido a uma menor variabilidade de direção do vento, e maior intensidade das direções mencionadas acima. Outro ponto importante é a colaboração de cisalhamento do vento, responsável pelo transporte de energia do vento para o óleo, além das frações finas, das emulsificações destas.

Os resultados das simulações de dispersão de óleo para vazamentos no terminal mostram que a maior parte do óleo atingirá região externa a este, ou em casos rápidos as estruturas do próprio terminal da Ponta da Espera, porém com baixa probabilidade, e consequentemente o interior do restante da baía.

Por fim, reitera-se em nenhum cenário simulado considerou ação de resposta ou contenção do óleo derramado durante o período de simulação.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amante, C. and B.W. Eakins, 2009. **ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis**. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M. Disponível em: https://data.nodc.noaa.gov/. Acesso em: 07/12/2018.

BLOKKER, P.C., 1964. **Spreading and evaporation of petroleum products on water.** Antwerp: in Proceedings of the Ninth International Harbour Conference.

Centro de Pesquisas em Recursos Minerais (CPRM) e Agência Nacional de Petróleo (ANP). 2013. Acordo de Cooperação técnica. Projeto Batimetria. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Marinha/Projeto-Batimetria-3224.html. Acesso em: 07/12/2018.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2008). **Resolução n° 398 de 11/06/2008.** Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 07/12/2018.

Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dhn/. Acesso em: 28/03/2018.

ELLIOTT, A.J., HURFORD, N. and PENN, C.J., 1986. **Shear Diffusion and the Spreading of Oil Slicks.** Mar.Pollut. Bull., 17 (7), 308-313.

FAY, J.A., 1971. **Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. Washington D.C.**: in Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills, pp 463-468, American Petroleum Institute.

FORRESTER, W.D, 1986. **Distribution of suspended oil particles following the grounding of the oil tanker** Arrow. J. Mar. Res. 29,151-170.

IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis), 2016. Mapeamento Ambiental para Resposta à Emergência no Mar – MAREM: Banco de Dados Geográficos. Rio de Janeiro, 2016. Escala indeterminável. Disponível em: <http://www.marem-br.com.br/>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

KANAMITSU et al., 2002. **NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2)**. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 83(11), p. 1631-1643

LEHR, W.J., FRAGA, R.J., BELEN, M.S. and CEKIRGE, H.M., 1984. **A New Technique to Estimate Initial Spill Size Using a Modified Fay-type Spreading Formula**. Mar. Pollut. Bull., 15

(9), 326-329.

LESSER, G.R.; ROELVINK. J.A.; VAN KESTER, J.A.T.M.; STELLING, G.S. 2004. **Development and Validation of a Three-Dimensional Morphological Model.** Coastal Engineering. Vol. 51. P. 883-915.

LUNEL T., 1993. **Dispersion. Oil droplet size measurements at sea**. pp 1023-1056. Proceedings 16th Arctic and Marine Oil Spill Technical Seminar. Environment Canadá.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Cartas de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de Óleo (Cartas SAO). Bacia Sedimentar Marinha do Pará-Maranhão/Barreirinhas, 2017. Disponível em: http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo/. Acesso em: 15 Maio de 2019.

Pond, S.; Pickard, G., 1978.Introductory Dynamical Oceanography, 1ª. Ed, Oxford: Pergamon Press Ltd

PETROBRAS, 2011. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ).** Produto: Óleo Combustível Marítimo BUNKER C. Nº FISOQ: BR0350. 10 p.

Reed, M and coauthors, 2001. **Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000**. Proceedings of 2001 International Oil Spill Conference – Tampa, Florida. SINTEF Applied Chemistry. Department of Environmental Engineering. Trondheim, Norway

SAHA and coauthors, 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. Journal of Climate, 27, 2185–2208. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1

SLI Coastal Solutions, 2018a. Relatório Técnico número 1050002-RL-M-0003-B108-Rev00. Rev. 00.173p.

SLI Coastal Solutions, 2018b. Relatório Técnico número 1050002-RL-M-0004-B100-Rev00. Rev. 00.88p.

THORPE S.A., 1984**. On the determination of Kv in the near-surface ocean from acoustic measurements of bubbles.** J. Phys. Oceanogr. 14, 855-863.

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

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

VIANA, T.V.A.; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R.R.; MOREIRA, L.G.; AZEVEDO, B.M.; VIANA, S.S.A. Análise estocástica dos déficits e dos excedentes hídricos mensais em Fortaleza, CE. Revista Ciência Agronômica, v.36, n.3, p.391-395, 2005

I.A Anexo I – Análise das Condições Meteorológicas e Oceanográficas Iniciais para os cenários determinísticos

Óleo Diesel

Volume de Pior Caso

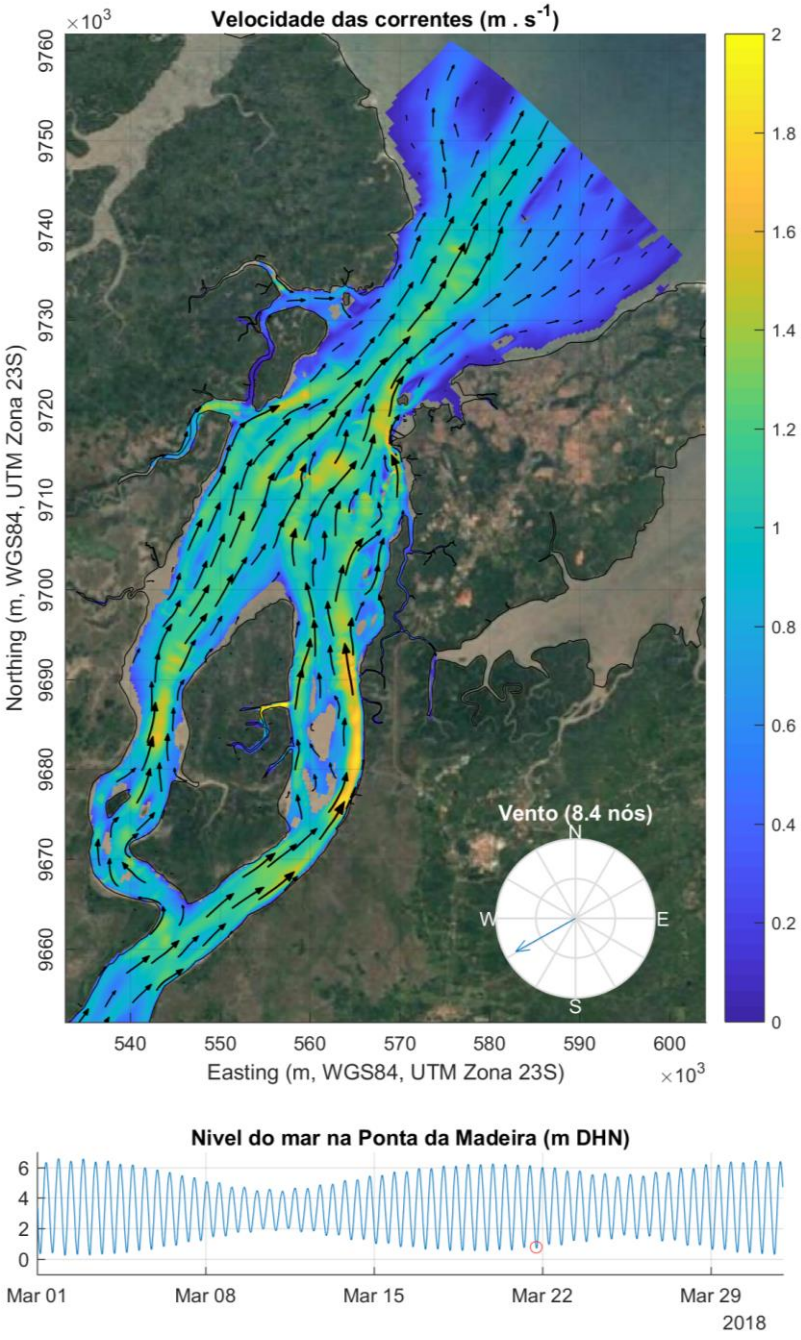


Figura I.A 1 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto Óleo Diesel no período da Cheia.

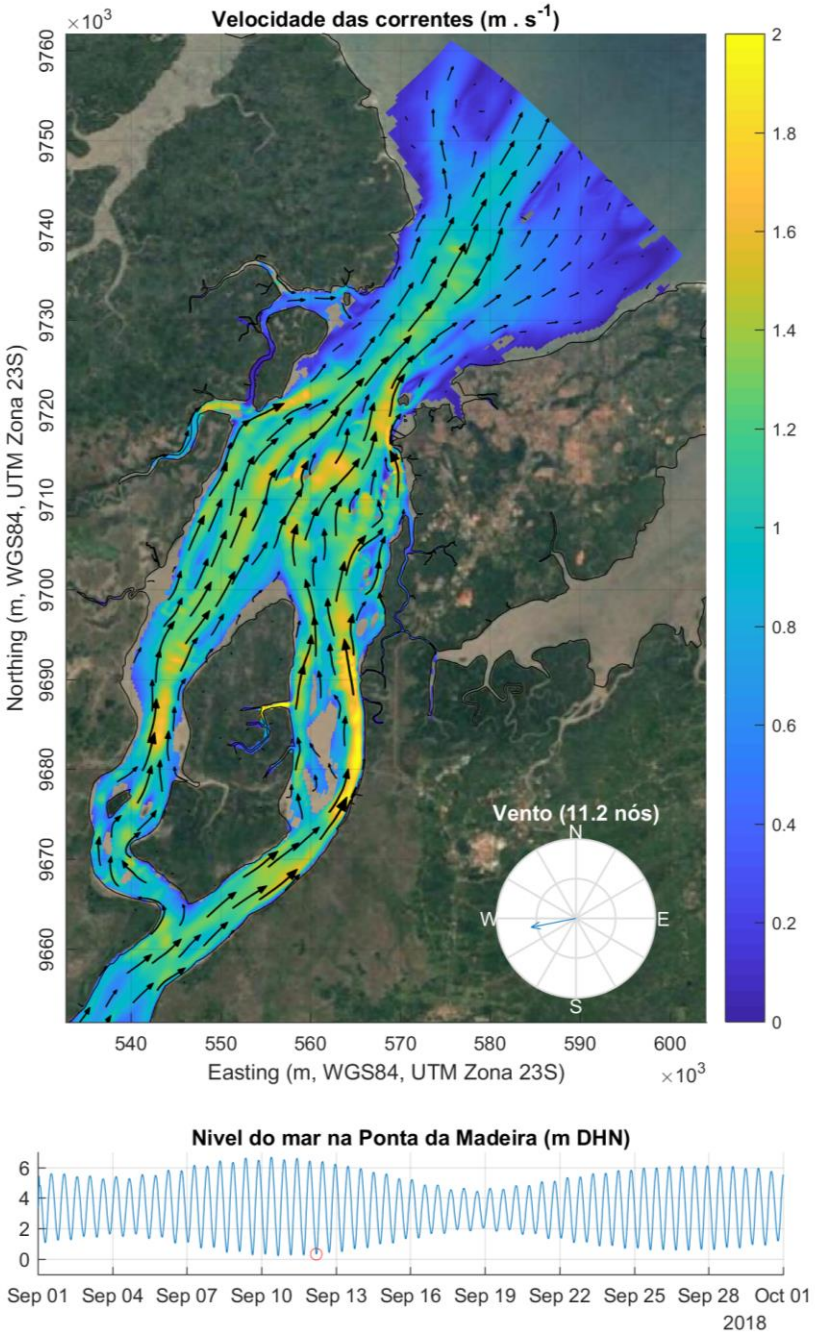


Figura I.A 2 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto Óleo Diesel no período da Seca.

Volume Pequeno

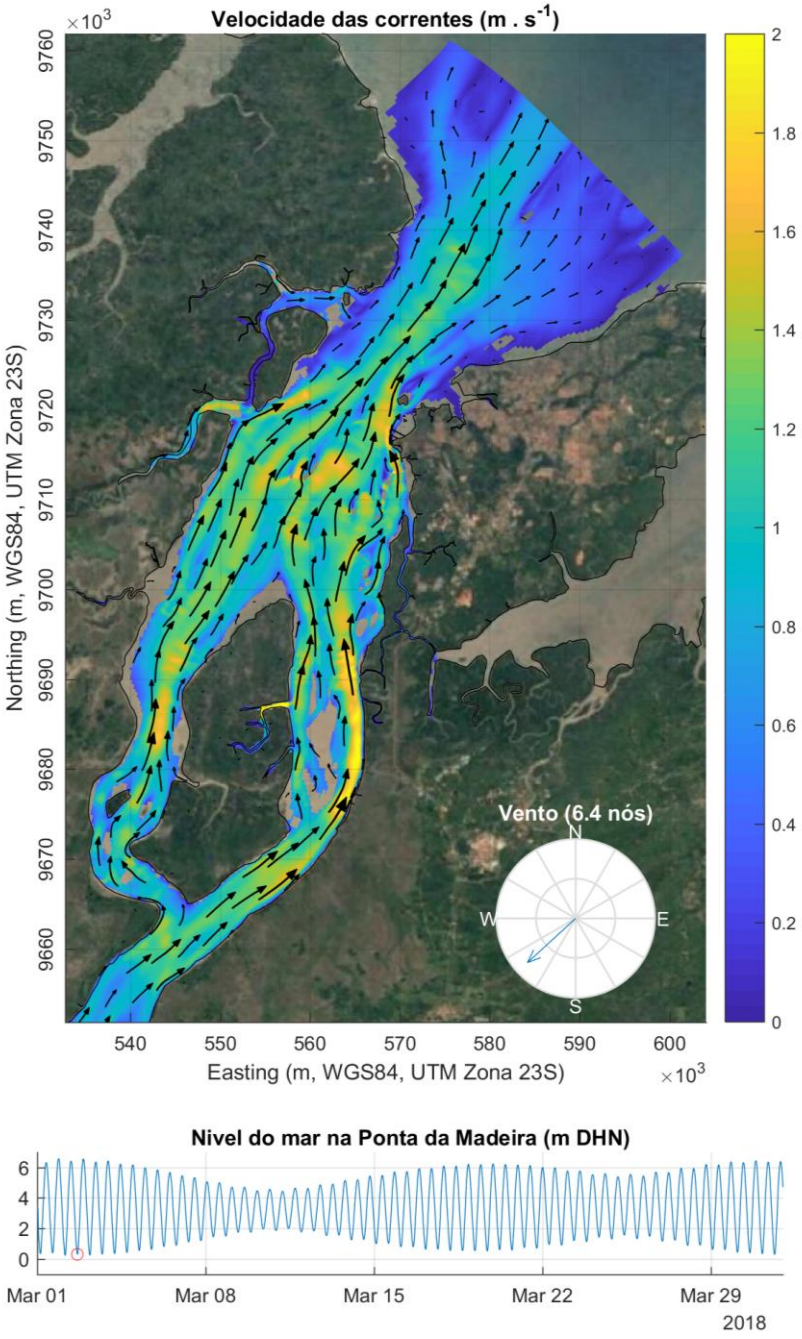


Figura I.A 3 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto Óleo Diesel no período da Cheia.

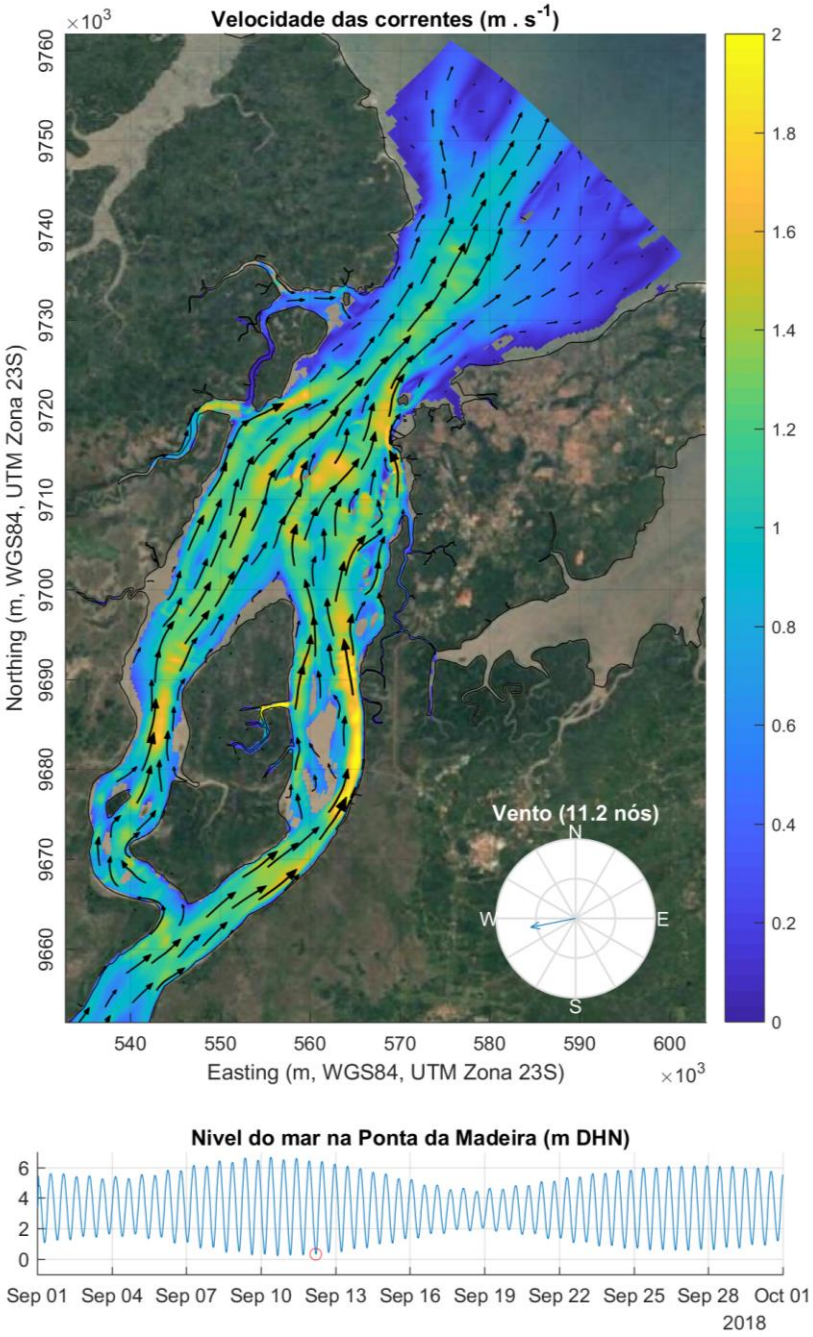


Figura I.A 4 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto Óleo Diesel no período da Seca.

ESTUDOS DE MODELAGEM NUMÉRICA DE PROCESSOS COSTEIROS E ESTUARINOS, MANOBRAS DE NAVIO E ENSAIOS DE AMARRAÇÃO PARA AS ÁREAS DE INTERESSE DA EMAP

PORTO GRANDE

RELATÓRIO TÉCNICO – MODELAGEM DE DERRAMO DE ÓLEO

OS n°04

Cliente : EMAP
Operação: PORTO GRANDE

Rev.	Data	Descrição da revisão	Elaborado por	Verificado por	Aprovado por	CE
00	10/07/2019	Emissão Inicial	BM	LB	LM	B
						B
						B
						B

CE - Códigos de emissão

A – Preliminar
B – Para Aprovação
C – Para Conhecimento
D – Para Cotação
E – Para Construção
F – Conforme Comprado
G – Conforme Construído
H – Cancelado

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA SLI, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DE SUA FINALIDADE.

A IMPRESSÃO OU REPRODUÇÃO DESTE DOCUMENTO TORNA A CÓPIA NÃO CONTROLADA.

SUMÁRIO

1 MODELAGEM DE ÓLEO 7
1.1 DADOS DE ENTRADA 8
1.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA 9
1.3 PONTO DE RISCO E VOLUME 10
1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO SELECIONADO 12
1.5 CAMPOS DE CORRENTES 12
1.6 CAMPOS DE VENTOS 13
1.7 DOMÍNIO MODELADO 18
1.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES 24
1.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS 25
1.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS 26
1.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 27
1.11.1 PORTO GRANDE 28
1.11.1.1 ÓLEO DIESEL 28
1.11.1.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (200,0 M³) 29
1.11.1.1.2 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 41
1.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO 53
1.12.1 ÓLEO DIESEL 53
1.12.1.1 VOLUME DE PIOR CASO (200,0 M³) 54
1.12.1.2 VOLUME PEQUENO (8,0 M³) 58
2 CONSIDERAÇÕES FINAIS 62
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de entrada do modelo. 9
Tabela 2: Coordenadas Geográficas para o ponto de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso. 10
Tabela 3: Características dos óleos utilizados nas simulações. 12
Tabela 4 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia. .. 16
Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca. 17
Tabela 6: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo. 25
Tabela 7: 4 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Porto Grande. 26
Tabela 8: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo. 27
Tabela 9 – Resumo dos resultados probabilísticos para o Porto Grande. 28
Tabela 10 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 34
Tabela 11 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 40
Tabela 14 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 46
Tabela 15 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário. 52
Tabela 16 – Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos. 53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Porto Grande para a simulação de derrame de óleo. 11
Figura 2 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. 14
Figura 3 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia. 15
Figura 4 – Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR. 19
Figura 5 – Detalhe da batimetria junto a grade do modelo. 20
Figura 6 – Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR. 21
Figura 7 – Grid Land/Water junto a grade do modelo. 22
Figura 8 – Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem. 23
Figura 9: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 29
Figura 10: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 30
Figura 11: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 31
Figura 12: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 32
Figura 13: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 33
Figura 14 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. ... 34
Figura 15: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 35
Figura 16: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 36
Figura 17: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 37
Figura 18: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 38
Figura 19: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de

200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 39
Figura 20 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 40
Figura 21: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 41
Figura 22: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 42
Figura 23: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. .. 43
Figura 24: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. .. 44
Figura 25: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 45
Figura 26 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 46
Figura 27: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 47
Figura 28: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 48
Figura 29: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 49
Figura 30: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 50
Figura 31: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 51
Figura 32 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 52
Figura 33: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística,

com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia 54
Figura 34 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 55
Figura 35: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca 56
Figura 36 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 57
Figura 37: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia. 58
Figura 38 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 59
Figura 39: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca. 60
Figura 40 Balanço de massa para o cenário apresentado acima. 61

1 MODELAGEM DE ÓLEO

O risco de derramamento de óleo no ambiente marinho é uma infortuna consequência da crescente demanda por este recurso natural. Em muitas regiões, a produção, instalações de armazenamento e rotas de navegação estão próximas de zonas costeiras, onde os derrames de hidrocarbonetos podem ser potencialmente desastrosos. Um requisito fundamental para a implementação de uma resposta bem-sucedida a um derramamento de óleo é a capacidade de mobilizar os recursos adequados para as regiões costeiras em risco antes de o óleo atingir a costa. A chave fundamental para alcançar esse objetivo é conhecer o tempo necessário para o impacto na costa, localização e extensão do impacto, bem como o estado físico do óleo provável que chegará às praias e outras regiões sensíveis. Os modelos de derramamento de óleo fornecem a ferramenta ideal para apoiar operações de combate a esses derrames, dando informações sobre a trajetória e destino de derramamentos no ambiente marinho, o impacto na costa e as propriedades físicas do óleo. Em modo operacional, os modelos se tornam uma fonte primária de informação, capaz de orientar as operações de resposta. Alternativamente, em planos de contingência, os modelos são valiosíssimos para testar a validade e a eficácia dos planos de ação propostos e o treino eficiente de pessoal através de exercícios realísticos de resposta.

Com o objetivo de dar suporte a ***Empresa de Maranhense de Administração Portuária – EMAP -*** na elaboração dos estudos ambientais e planos de emergência, apresenta-se neste capítulo a modelagem numérica da trajetória e intemperismo para derrames de óleo no mar, provenientes de acidentes hipotéticos.

A modelagem foi conduzida utilizando-se do software desenvolvido pela SINTEF[1], o Marine Environmental Modelling Workbench (MEMW), especificamente com seu módulo para contingenciamento e resposta a derrame no mar, ou OSCAR (do inglês Oil Spill Contingency And Response), tendo sua melhor descrição e formulação descritas em anexo (ANEXO A.II) a este documento. Para a realização destes estudos são necessários conhecimentos prévios detalhados da região de interesse, padrões de circulação, campos de vento, composição do produto e suas características físico-químicas.

Para este estudo considerou-se um campo de ventos variáveis no tempo e no espaço, baseados em dados da reanalise II do NCEP (CFSR) (KANAMITSU *et al*, 2002), os campos de correntes foram produzidos a partir de dados medidos e modelagem numérica a partir do modelo Delft3D e mais bem descrito por SLI (2018a). Para as simulações do transporte de óleo foram considerados um ponto de descarte, 1 produto, dois volumes de derrame (pequeno e pior caso), seguindo-se a CONAMA 398/2008 e dois períodos sazonais representados por um mês cada. Adotou-se como critério de parada, 72 horas após o início do derrame, tendo uma abordagem conservativa por apresentar-se 12 horas além do tempo máximo de resposta estipulado em resolução supracitada.

A partir dos resultados probabilísticos, foram selecionados cenários determinísticos críticos, baseando-se como critério a maior extensão de toque de óleo na costa.

[1] SINTEF: http://www.sintef.no/

Nos capítulos seguintes, apresentaremos o modelo, dados de entrada, os produtos derramados e suas características, e consequentemente os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas.

1.1 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- Localização geográfica do ponto de derrame;
- Duração do derrame (contínuo, intervalado, etc);
- Volume(s) derramado(s);
- Profundidade do derrame (superficial, de fundo, na coluna d'agua);
- Tipo(s) de óleo;
- Duração da simulação;
- Opções de resposta (e.g. dispersantes), não utilizados neste estudo;
- Campo de correntes;
- Campo de ventos;
- Arquivo de dados meteorológicos;
- Parâmetros de simulação;
- Número de partículas;

Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

As temperaturas médias do ar e da superfície do mar, que influenciam no comportamento físico do óleo derramado, foram definidas para os períodos de cheia e seca.

A média sazonal de temperatura do ar foi definida com base no banco de dados das médias normais climatológicas do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos: www.cptec.inpe.br/clima). De acordo com estes dados, a temperatura média do ar para os períodos de cheia e seca simulado foi de 25°C e 26°C respectivamente.

Tabela 1 - Dados de entrada do modelo.

Parâmetros	Valor utilizado no Modelo OSCAR	
Passo de tempo	15 minutos	
Intervalo de saída	15 minutos	
Número de Partículas por Volume	**pequeno**	1.000
	Pior Caso	6.000
Período	**CHEIA**	**SECA**
Temperatura da água (°C)[2]	26	28
Temperatura do ar (°C)[3]	25	26
Fator de deriva do vento	3,5%	

1.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – CHEIA E SECA

Para as simulações de dispersão do óleo foi escolhido 1 mês para cada um dos períodos sazonais (cheia e seca) característicos da região. Dentre estes meses foram observados fenômenos extremos de maré de sizígia para os meses de março (cheia) e setembro (seca).

[2] Valor médio próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados da NOAA.

[3] Valor médio, próximo ao ponto de modelagem, de acordo com dados do CSFR (NCEP).

1.3 PONTO DE RISCO E VOLUME

Para este estudo foi considerado um ponto de risco, sendo o terminal de Porto Grande em São Luís do Maranhão. Ressalta-se a importância do ponto de simulação próximo ao berço, e não diretamente sobre este, para simples entrada de óleo no sistema do modelo. Os dados de entrada do Ponto são apresentadas na Tabela 2 e sua localização é apresentada na Figura 1.

Tabela 2: Coordenadas Geográficas para o ponto de simulação de vazamento de óleo, tipo do produto e descarga considerada para o Pior Caso.

Ponto de Risco	Latitude	Longitude	Tipo do Óleo	Descarga de Pior caso (m³)
Porto Grande	2°39'39.55"S	44°21'26.06"O	Óleo Diesel	200,0

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 2 (duas) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8,0 m³ e de médio (ou Pior Caso) de até 200,0 m³, definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço. Para simulação dos cenários hipotéticos acidentais definiu-se o produto para a modelagem:

1) O Óleo Diesel (OD);

Tendo suas características apresentadas a seguir.

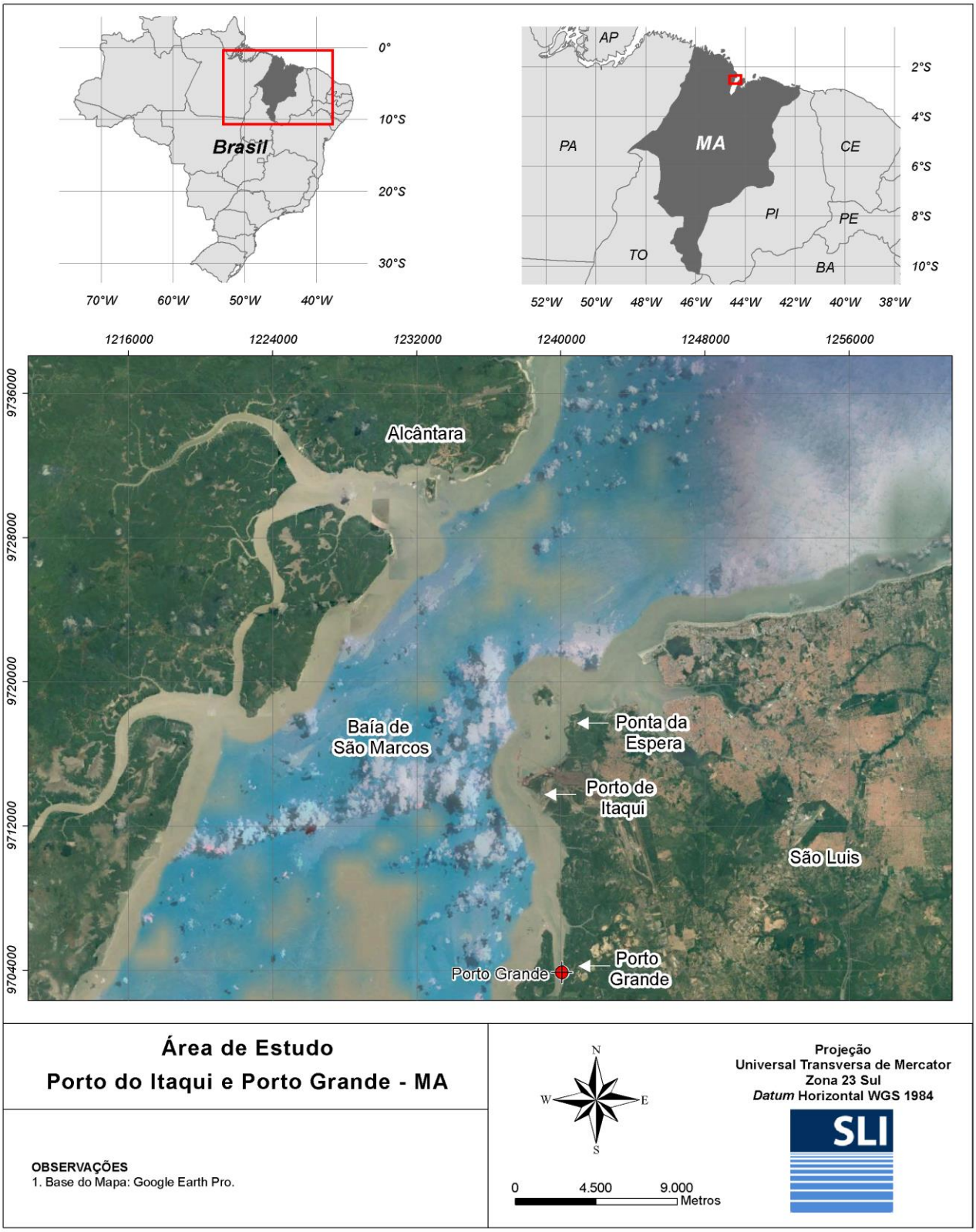


Figura 1: Localização do Porto Grande para a simulação de derrame de óleo.

1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO SELECIONADO

As simulações numéricas de dispersão de óleo para os 2 volumes foram realizadas com apenas um produto, o óleo *Balder Blend, 2010*, sendo este o tipo de óleo disponível do banco de dados do modelo *OSCAR* que melhor representa o óleo diesel (cru). O grau API é uma grandeza utilizada mundialmente para a classificação dos tipos de petróleos em relação à densidade deles. A escolha do óleo Balder Blend, 2010 para simulação do vazamento de petróleo (óleo cru) se deu pela proximidade do grau API do óleo Balder Blend, 2010 com o grau API do tipo de óleo diesel fornecido. As características do óleo simulado encontram-se definidas na Tabela 3.

Tabela 3: Características dos óleos utilizados nas simulações.

Parâmetro	**Óleo de Referência**	**Óleo de entrada no modelo**
	Óleo Diesel (Cru)	*Balder Blend, 2010*
Natureza Química	Hidrocarboneto	Hidrocarboneto
Densidade (g/cm³)	0,866	0,864
Ponto de Fulgor (°C)	38	--
Grau API	31,9	32.2
Viscosidade Dinâmica (cP)	--	32
Viscosidade Cinética (cSt) à 50°C	0,41	--
Solubilidade (na água)	Insolúvel	--

1.5 CAMPOS DE CORRENTES

Os campos de correntes e estudo hidrodinâmico já foram previamente discutidos em relatório SLI (2018a). As correntes de input são relativas aos períodos determinados de Cheia e Seca, e reitera-se para todos os fins, correspondem ao mês de março e setembro respectivamente.

1.6 CAMPOS DE VENTOS

Os campos de ventos utilizados são dados de Reanálise do NCEP (CFSR), trata-se de um conjunto de assimilação de dados em escala global, com resolução espacial de 0,5° e temporal de 6 horas a cada hora, e para simulação do óleo foram utilizados dados dos produtos hora a hora contemplando uma variabilidade temporal adequada para as simulações (KANAMITSU *et al*, 2002; SAHA *et al*, 2014).

Este produto é gerado pelos centros norte-americanos NCEP e NCAR (Centro Nacional para Previsão Ambiental e Centro Nacional para Pesquisa Atmosférica) e distribuído pela Central Norte-Americana de Dados Climáticos.

Neste estudo foi utilizado um recorte no domínio espacial estendendo-se de 45°W a 43°W e 1,5°S a 3,5°S e não foi realizado nenhum tipo de pós tratamento sobre os dados (como interpolações, filtros ou médias) escolheu-se o ano de 2018 em meses correspondentes ao representado no hidrodinâmico. Nas Figura 2 e Figura 3 ilustram-se instantes dos períodos mencionados, na sequência, apresentamos uma distribuição de ocorrência conjunta para ambos os períodos contemplados.

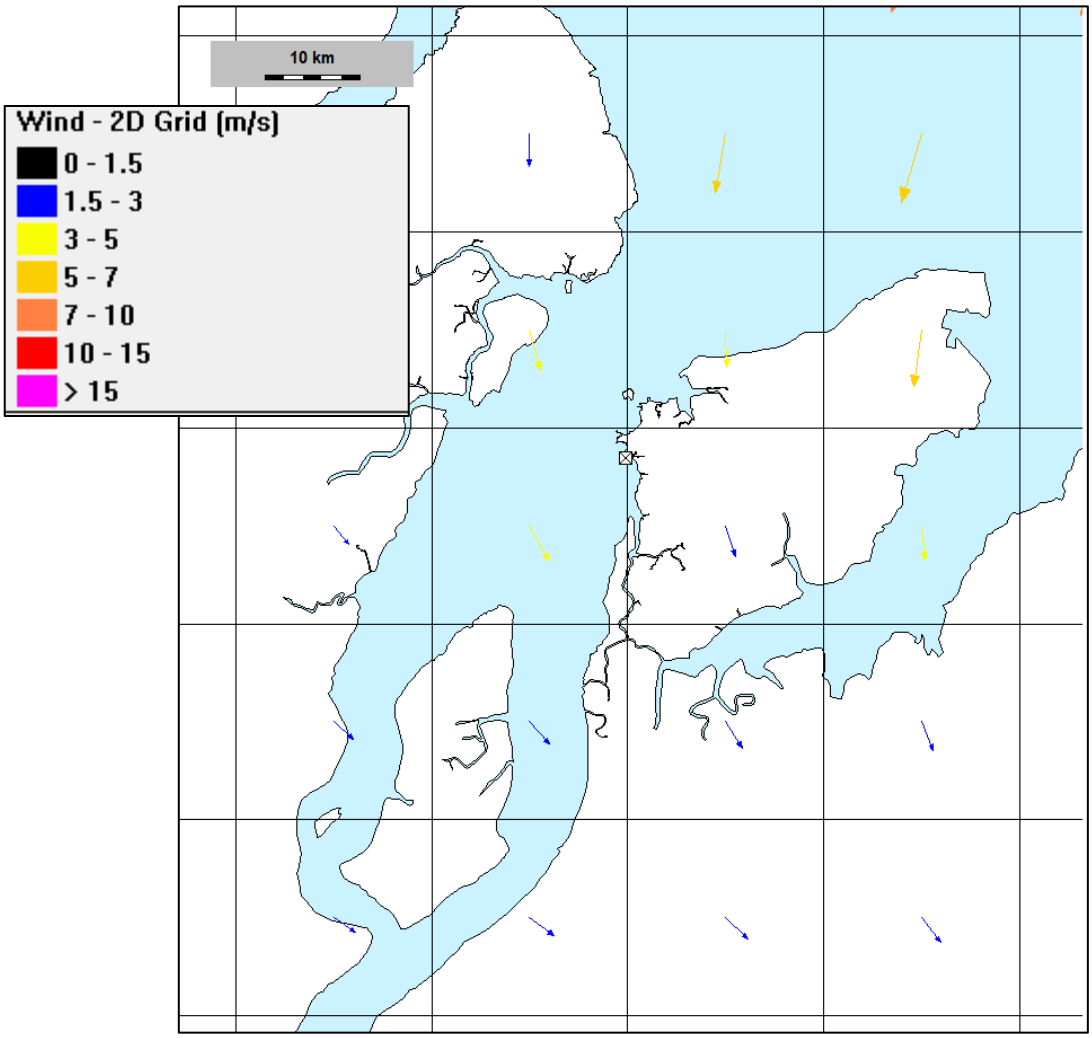


Figura 2 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

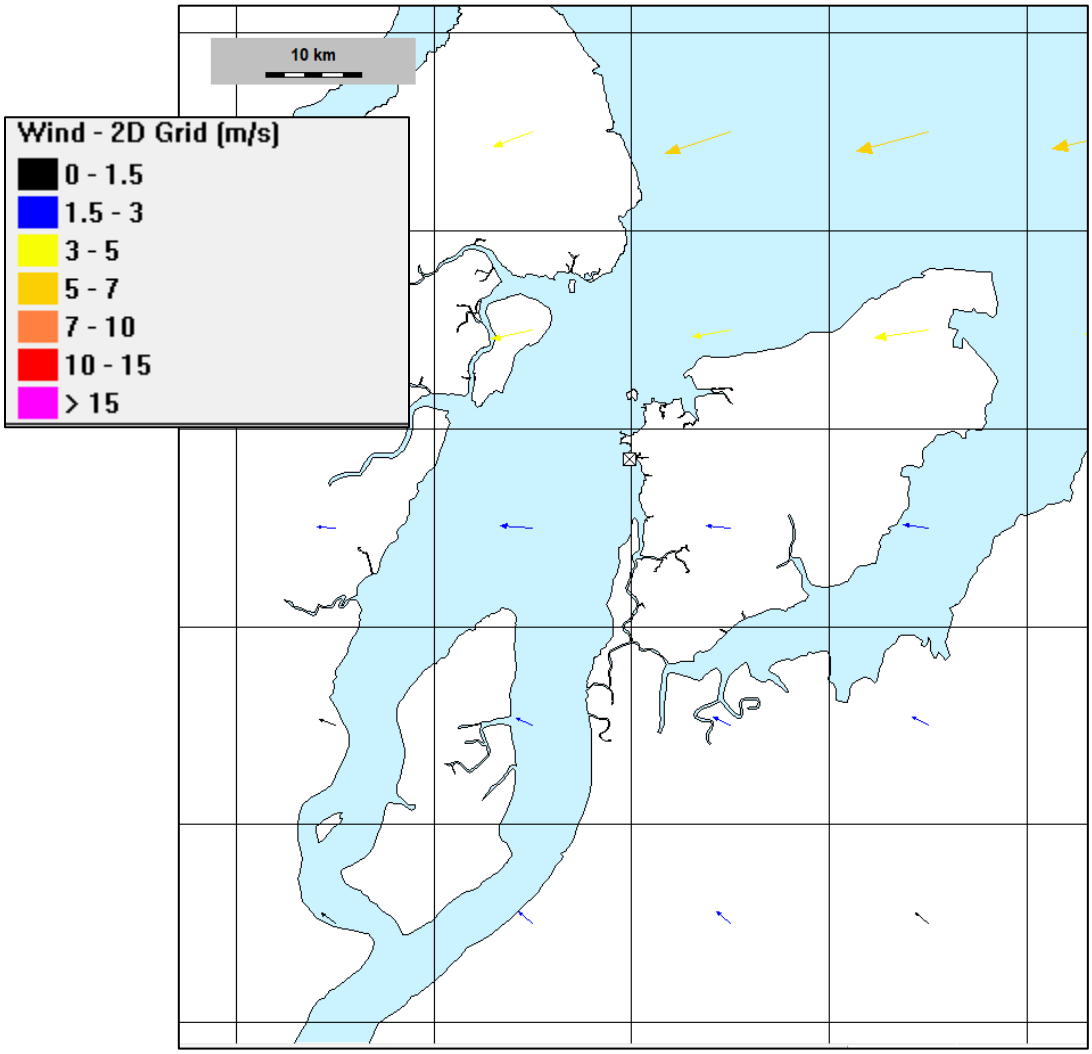


Figura 3 – Demonstrativo de um instante de tempo para o vento no período da Cheia.

Tabela 4 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de março, período da Cheia.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1	2							1					1				4	3.23	0.30	0.67	0.98
1 - 2	1	3	2		1	1		3									11	8.87	1.03	1.46	1.92
2 - 3		4	14	6	3	1											28	22.58	2.04	2.50	2.96
3 - 4		2	25	19	2												48	38.71	3.08	3.54	3.99
4 - 5			12	16	1												29	23.39	4.02	4.44	4.88
5 - 6			2	2													4	3.23	5.01	5.06	5.30
Num. Casos	3	9	55	43	7	2		4					1				124				
Freq. (%)	2.42	7.26	44.35	34.68	5.65	1.61		3.23					0.81								
Vel Min	0.62	1.18	1.06	2.04	1.03	1.71		0.76					0.30								
Vel Med	0.96	2.48	3.48	3.78	2.73	1.99		1.26					0.30								
Vel Max	1.29	3.54	5.30	5.14	4.36	2.27		1.73					0.30								

MARÇO

Tabela 5 - Distribuição de ocorrência conjunta para o mês de setembro, período da Seca.

Vel \ Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Num. Casos	Freq. (%)	Vel Min	Vel Med	Vel Max
0 - 1																					
1 - 2			1														1	0.83	1.89	1.89	1.89
2 - 3			2	4	1												7	5.83	2.10	2.78	2.96
3 - 4		4	6	8	1												19	15.83	3.09	3.56	3.99
4 - 5		2	15	20	6												43	35.83	4.01	4.51	4.99
5 - 6			12	20	7												39	32.50	5.00	5.38	5.99
6 - 7		1	5	4	1												11	9.17	6.02	6.30	6.84
Num. Casos		7	41	56	16												120				
Freq. (%)		5.83	34.17	46.67	13.33																
Vel Min		3.53	1.89	2.93	2.10																
Vel Med		4.26	4.71	4.66	4.87																
Vel Max		6.05	6.84	6.45	6.28																

SETEMBRO

1.7 DOMÍNIO MODELADO

Na modelagem de óleo foram utilizados dados batimétricos extraídos da ETOPO 1 (AMANTE & ATKINS, 2009) obtido no NGDC, cartas náuticas da DHN e dados do projeto batimetria (CPRM e ANP, 2013). O OSCAR, internamente interpola os dados das bases importadas ao modelo.

A grade do modelo de óleo, como informado acima, utiliza a informação de batimetria proveniente das bases citadas acima. Assim, para a modelagem de óleo em regiões próximas à costa, o modelo de óleo utiliza informações de batimetria com melhor resolução, importando estes dados a sua resolução de grade e correntes do modelo hidrodinâmico da célula representativa do local de interesse, i.e., frente à resolução espacial da grade hidrodinâmica (já descrita em capítulos anteriores). Para os cenários simulados neste estudo foi definida uma grade habitat, considerando a quantidade máxima de pontos permitida pelo modelo de óleo (1.000 x 1.000 pontos), como temos uma maior dispersão na direção norte-sul, orientada com o canal utilizou-se uma grade com (690 x 950 pontos) com resolução espacial de 90 m (x) X 90 m (y), e 1 camada (mínimo exigido pelo modelo) vertical de 12 m, as Figura 7 e Figura 8 apresentam detalhes da grade habitat utilizada.

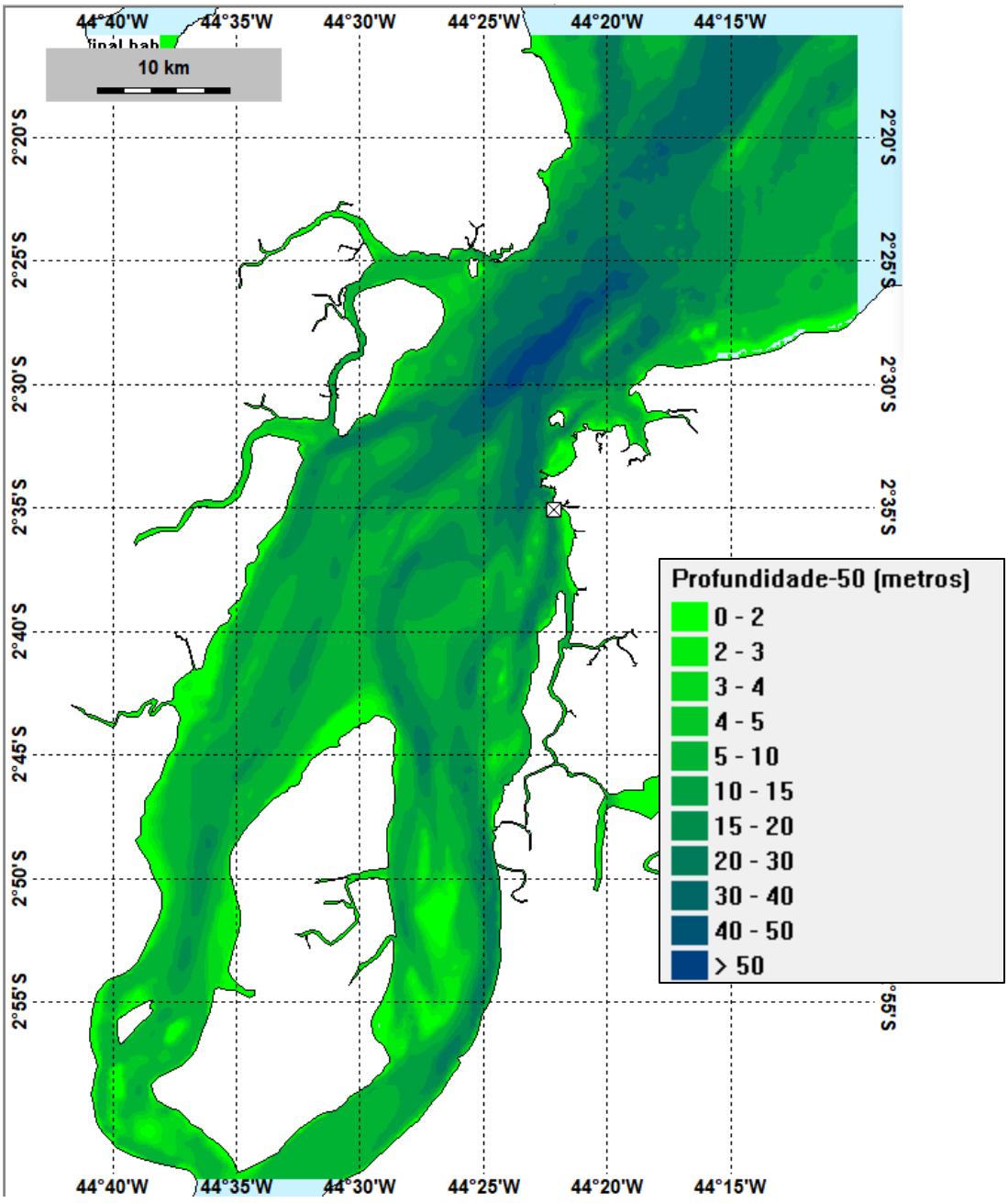


Figura 4 – Batimetria importada para as simulações no modelo OSCAR.

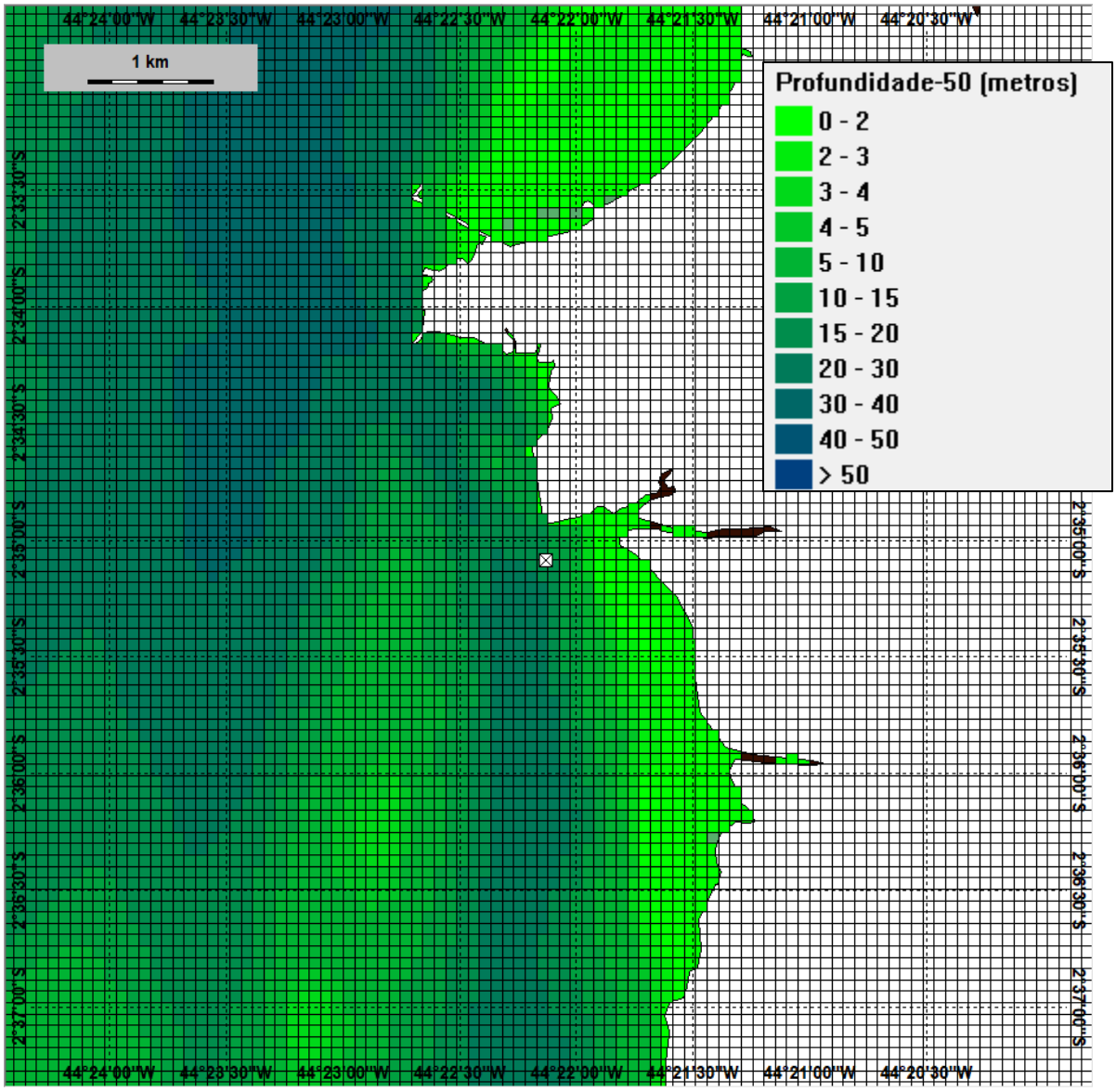


Figura 5 – Detalhe da batimetria junto a grade do modelo.

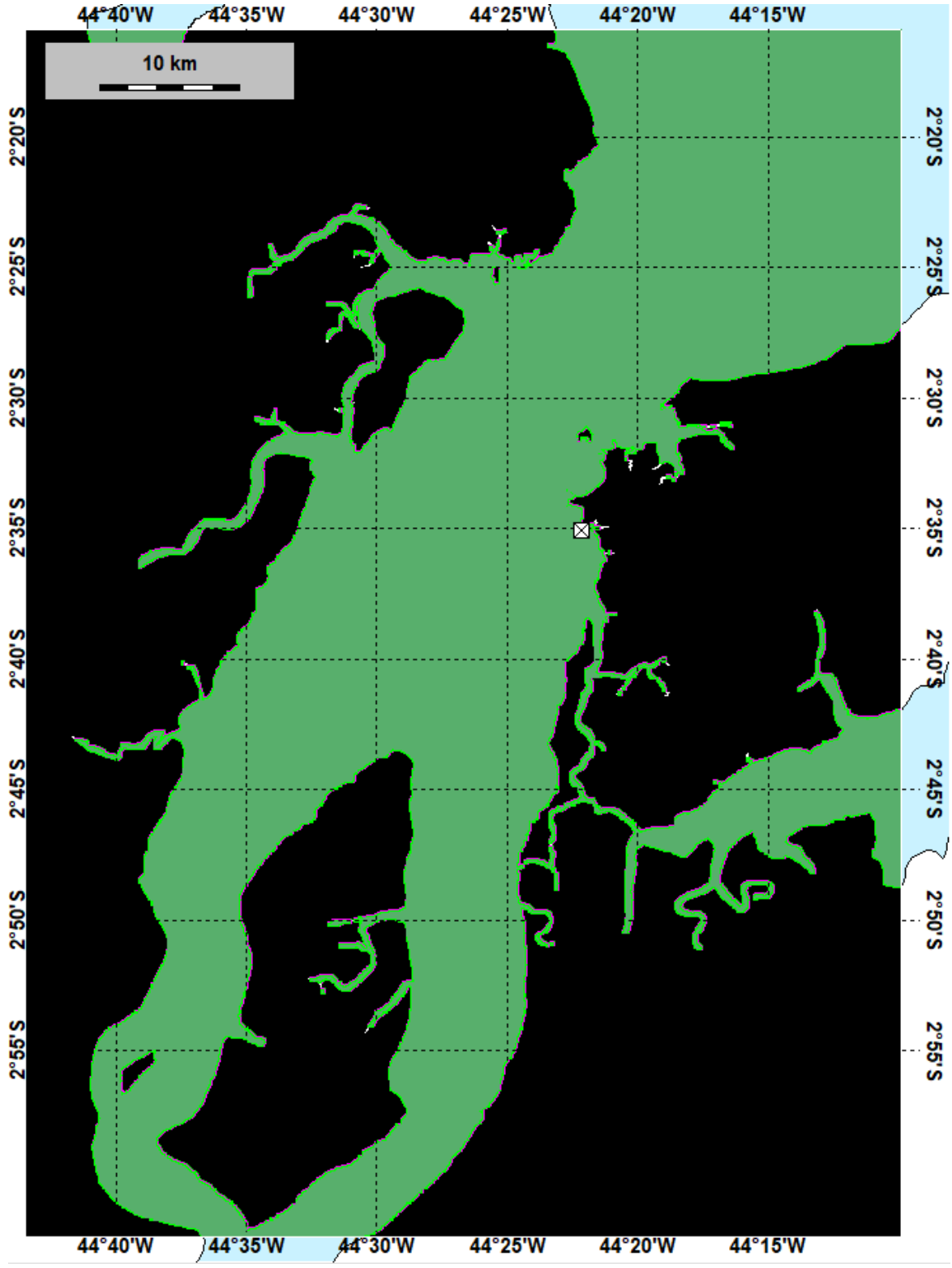


Figura 6 – Gird Habitat Land/Water do modelo OSCAR.

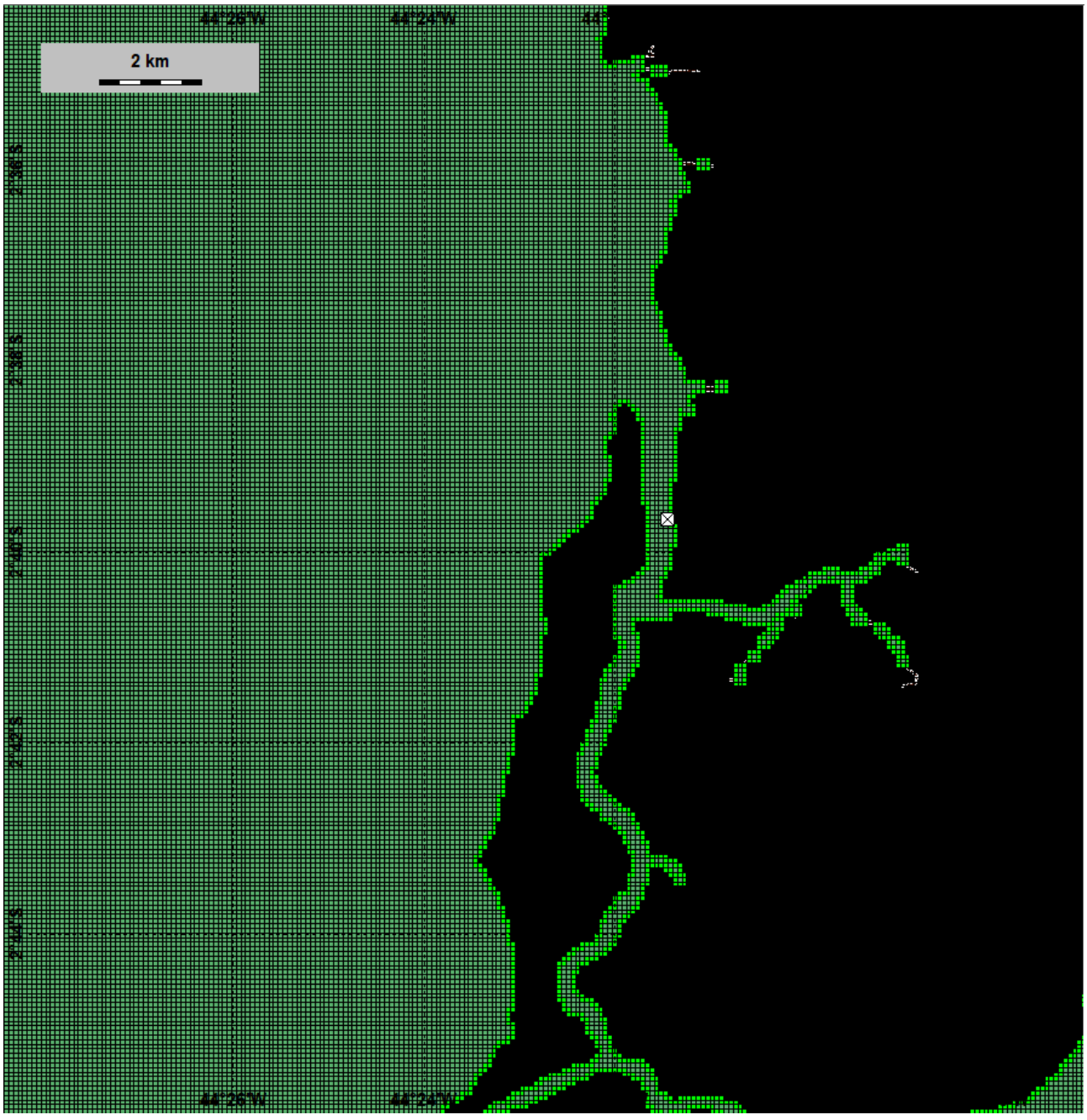


Figura 7 – Grid Land/Water junto a grade do modelo.

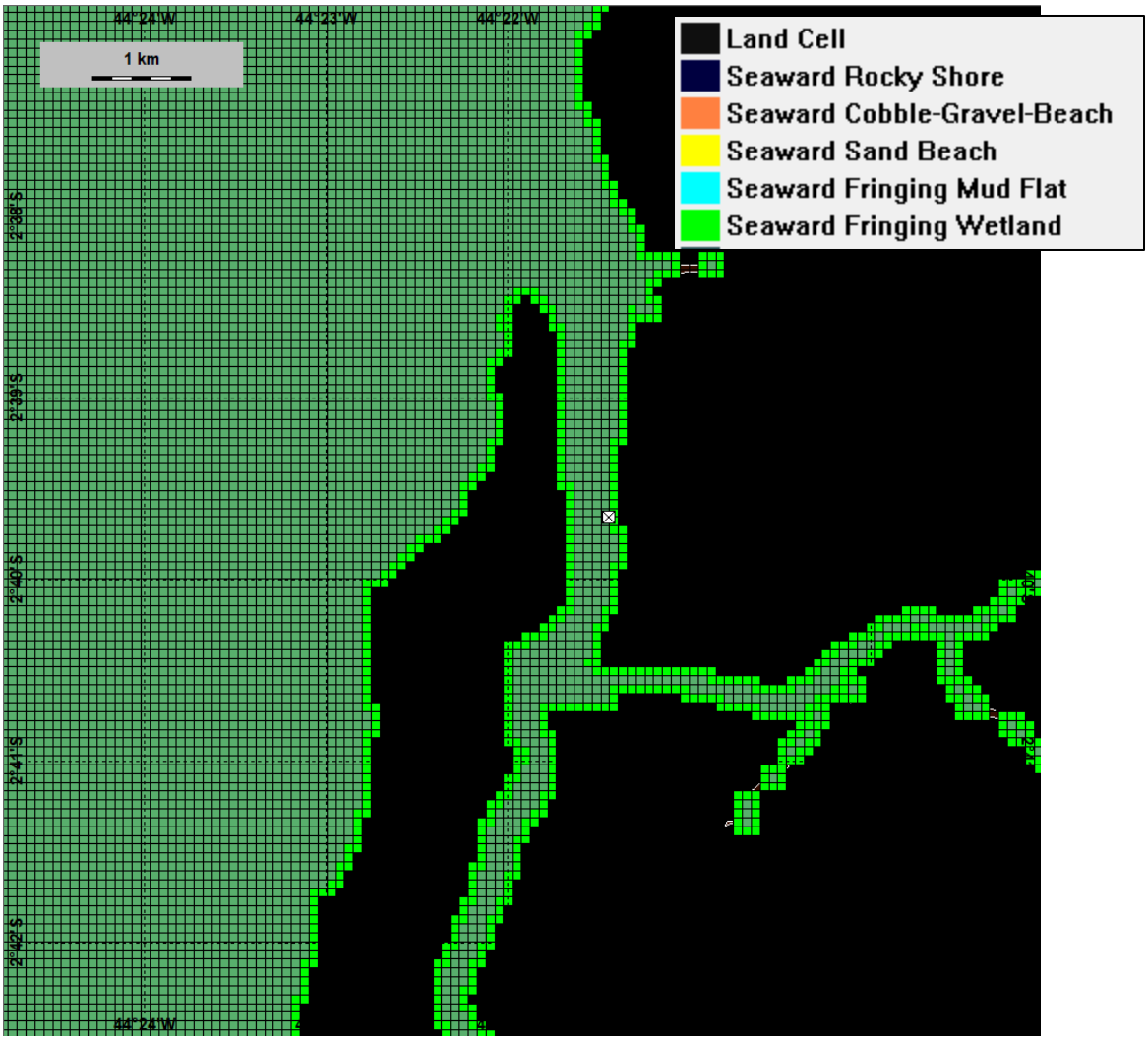


Figura 8 – Maior detalhe do grid land/water próximo ao ponto de modelagem.

Para a definição dos tipos de costa adotados foi realizado, inicialmente, um levantamento dos possíveis tipos de costa encontrados na região (praias arenosas, mangues e costões rochosos) com base nas Cartas de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de Óleo (Cartas SAO) para a bacia sedimentar marinha do Pará-Maranhão/Barreirinhas (MMA, 2017) e ao projeto MAREM (IBP, 2016). A linha de costa para a região da baía de São Marcos em quase sua totalidade é caracterizada por ser um mangue, com alguns pontos em ressalva, como portos, píer etc. Posteriormente, foi realizado um balizamento destas informações levantadas com os tipos de costa disponíveis no modelo de óleo[4], para melhor entendimento, dentro o modelo, este traz para a resolução da grade o tipo da região, caso haja predominância de um determinado tipo, este será o "habitat" para dado elemento de grid.

[4] Praias arenosas: seaward sandbeach / Mangues: seaward fringing wet-land / Costão rochoso: seaward rocky shore

1.8 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES

À caráter conservativo, foi adotado 12 horas além do estipulado para acompanhamento da mancha de volume hipotético de descarga de pior caso, i.e., Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO) especificados na Resolução CONAMA nº 398/08 (CEDRO dpc3) que é de 60 horas, este é o tempo máximo exigido para a disponibilização de recursos de contenção e limpeza no local da ocorrência da descarga. De tal maneira realizou-se a interrupção nas simulações somente decorrido 72 horas após o vazamento.

Com o objetivo de gerar o cenário mais conservador possível do ponto de vista ambiental, nenhum cenário simulado considerou ação de resposta ou contenção do óleo derramado durante o período de simulação.

1.9 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

As simulações no modo probabilístico consideram a variabilidade das forçantes ambientais. Logo, as simulações de comportamento da mancha são realizadas através da variação aleatória do início do vazamento, dentro do período para o qual se dispõe de dados ambientais (cheia/seca). Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foram realizadas 200 simulações com o modelo *OSCAR* para cada cenário probabilístico. Na Tabela 6 e são apresentados os cenários probabilísticos simulados neste estudo. Onde a devida denominação para o cenário se dá na forma:

- PGOD: PG representa o Porto Grande e OD o produto simulado Óleo diesel respectivamente;
- PC e 8: Os volumes derramados para Pior Caso (200,0 m³) e pequeno (8,0 m³);
- CHEIA e SECA: os períodos sazonais representativos pelo mês de Março e Setembro respectivamente.

Os instantes iniciais de todo o conjunto de simulações determinísticas que compõem os cenários probabilísticos são definidos automaticamente pelo modelo, através da seleção das datas de início espaçadas regularmente no tempo, ao longo do período sazonal definido. Desta forma, todas as simulações probabilísticas apresentam um mesmo conjunto de datas de início dos derrames, porém essas datas de início não se repetem.

Tabela 6: Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo.

Cenários	Tipo do Produto	Volume (m³)	Duração da descarga	Tempo de simulação (h)	Estação
PGOD_PC_CHEIA	Óleo Diesel	200,0	12 horas	72	Cheia
PGOD_8_CHEIA	Óleo Diesel	8,0	Instantâneo	72	Cheia
PGOD_PC_SECA	Óleo Diesel	200,0	12 horas	72	Seca
PGOD_8_SECA	Óleo Diesel	8,0	Instantâneo	72	Seca

1.10 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS

Para as simulações determinísticas foram escolhidos os cenários que apresentavam maiores extensões de toque a costa. A seleção dos cenários foi feita com base nas simulações probabilísticas, buscando demonstrar situações em que o óleo se espalha e encalha na costa. Estes cenários foram selecionados pois os tempos de toque são muito curtos devido ao terminal estar próximo à costa (toque na ordem de 30 minutos, ou segundo passo de tempo do modelo), e todavia os períodos simulados com sinais de maré (dominam a região), já caracterizado um evento extremo. Na Tabela 7 estão listados os cenários simulados. A qual segue o mesmo padrão de denominação como o do probabilístico, salve a ressalva de:

- DE: Determinístico de maior extensão.

Tabela 7: 4 Cenários considerados nas simulações determinísticas de derrames de óleo para o Porto Grande.

Cenários	Data de Início	Tempo Mínimo de Toque (HH:MM)	Município de Primeiro Toque	Volume Final de óleo na Costa (m^3)[5]	Extensão de Toque ao final da simulação (km)[6]
DE_PGOD_PC_CHEIA	18/03/2018 05:00	01:45	São Luís (MA)*	107,4	953,10
DE_PGOD_8_CHEIA	04/03/2018 01:00	03:30	São Luís (MA)*	3,70	840,88
DE_PGOD_PC_SECA	11/09/2018 22:00	00:45	São Luís (MA)*	125,4	949,42
DE_PGOD_8_SECA	10/09/2018 23:00	04:45	São Luís (MA)*	4,02	864,08

***Toque em região próxima ao porto.**

[5] Valor calculado de acordo com o balanço de massa (%) da simulação em relação ao volume inicial descartado.

[6] O valor é referente a toda extensão alcançada, e não ao município em destaque.

1.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

A seguir serão apresentados as extensões de toque na costa e área total de abrangência do óleo na superfície da água para as simulações probabilísticas dos cenários descritos na Tabela 6. São apresentados os resultados referentes na Tabela 8 ao vazamento de óleo, entre as Figura 9 e Figura 32, respeitando-se a sequência para os volumes de Pior Caso (200,0 m³) e pequeno (8,0 m³) apresentando-se os resultados dos períodos de cheia e seca, demonstrando-se primeiramente os contornos de probabilidade de ocorrência do óleo, seguidos do tempo mínimo de sua dispersão para a superfície da água, seguidos do mesmo contorno para a costa, apresentando-se para este último também a massa.

Seguidos dos contornos da área na água e linhas de resultados na costa, apresentamos uma tabela resumo dos valores mínimos, médios e máximos para cada ambiente e um boxplot com a representação dos balanços de massas dos cenários probabilísticos respectivos. Nestas figuras, as linhas centrais correspondem a mediana da porcentagem de massa dentre as simulações, os limites das caixas os quartis, as linhas aos limites dos valores englobados na média mais dois desvios-padrão e, por fim os outliers (pontos), valores acima deste limiar.

Os resultados das simulações mostram que a maiores probabilidades de dispersão do óleo para os volumes-encontram-se próximo ao porto, área do Estreito de Coqueiros onde se localiza o porto, e parte adentrando o rio dos Cachorros, com probabilidades de 90 a 100% nos piores casos, e acima de 50% para os menores. Parte do material terá um maior espalhamento e dispersão do produto para a região interna da baía de São Marcos devido a maior variabilidade da ação dos ventos (e direções) no período da cheia, ao contrário do período de seca aprisionando o material no estreito. Além disso, a dispersão de óleo na cheia tende a aprisionar-se na região ao norte da Ilha de Caranguejo em Cajapió (MA), próximo ao braço leste do rio Mearim, nota-se com os altos contornos de probabilidade de ocorrência.

No período da seca (mês de setembro), o óleo atinge uma maior área à oeste da baía, inclusive regiões mais ao sul no braço oeste do rio Mearim, em menor tempo (Figura 10, Figura 16, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**Figura 22, Figura 28), favorecido devido a ação de ventos mais intensos (Tabela 4 e Tabela 5). A ação dos ventos conjunta ao período menos chuvoso (Seca) pode favorecer a evaporação das frações de hidrocarbonetos mais leves do material, sendo esta diferença sutil entre os períodos porém apresentado nos boxplots de cada cenário (à exemplo Figura 14 e Tabela 10).

O resumo dos resultados para os cenários são apresentados na Tabela 9, nesta constam o tempo mínimo e médio (entre os cenários) para toque na costa e a probabilidade mais alta e o munícipio respectivo para cada um destes resultados.

Tabela 8: Cenários e resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo.

Cenários	Produto	Extensão de Toque na costa(km)	Área total na superfície d'agua (km²)
PGOD_PC_CHEIA	Óleo Diesel	99,13	953,11
PGOD_8_CHEIA	Óleo Diesel	85,59	840,88
PGOD_PC_SECA	Óleo Diesel	133,57	949,42

PGOD_8_SECA	Óleo Diesel	111,29	864,08

1.11.1 Porto Grande

1.11.1.1 Óleo Diesel

Tabela 9 – Resumo dos resultados probabilísticos para o Porto Grande.

PONTO	PERÍODO	VOLUME	PARÂMETRO	VALORES	MUNICÍPIOS	UF
PGOD	CHEIA	8	Prob. (%)	25.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	3.41	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	99.50	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	6.03	SÃO LUÍS	MA
	SECA	8	Prob. (%)	30.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	3.83	SÃO LUÍS	MA
		PC	Prob. (%)	98.00	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Min. (horas)	0.25	SÃO LUÍS	MA
			Tempo Méd. (horas)	6.10	SÃO LUÍS	MA

1.11.1.1.1 Volume de Pior Caso (200,0 m³)

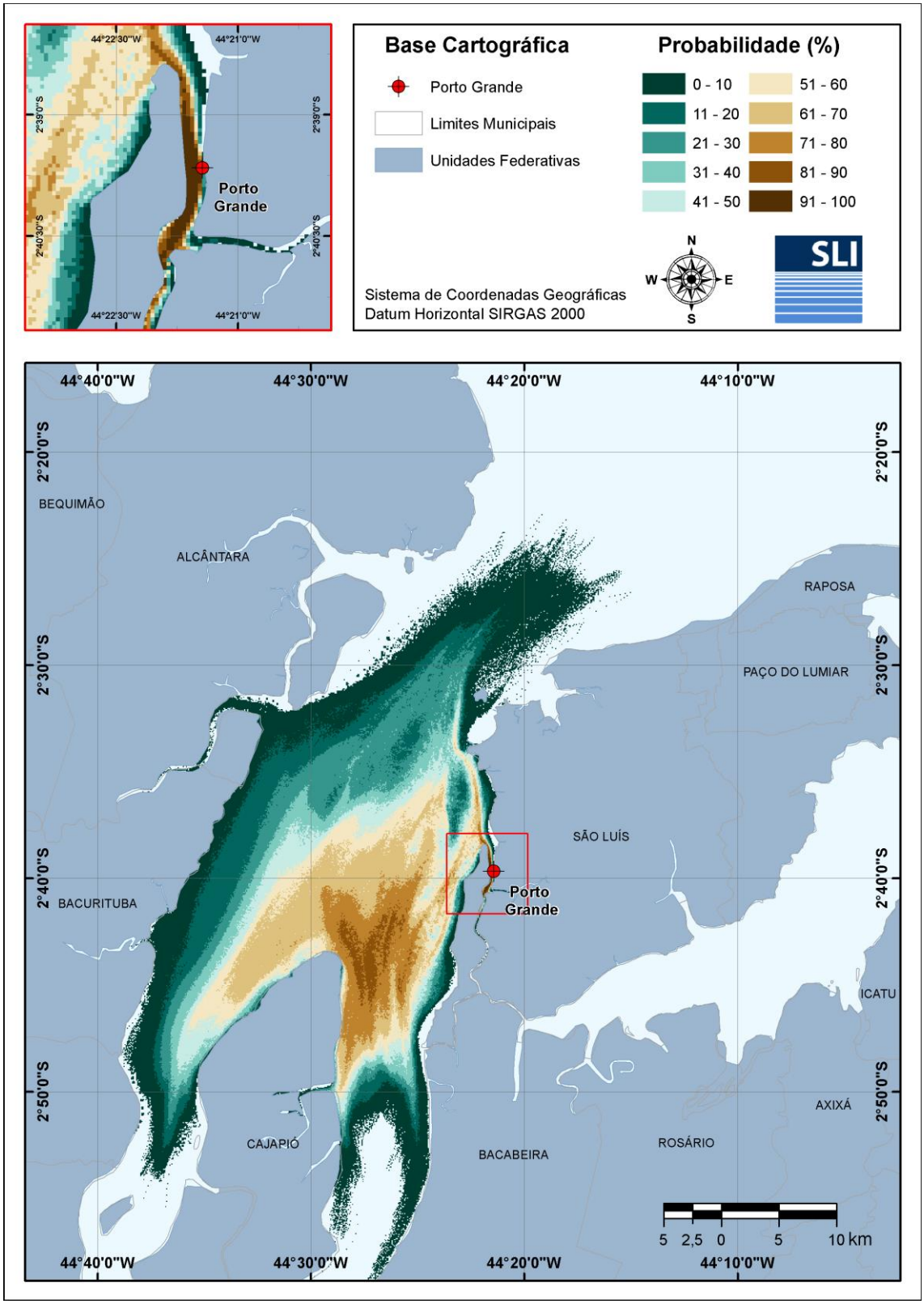


Figura 9: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

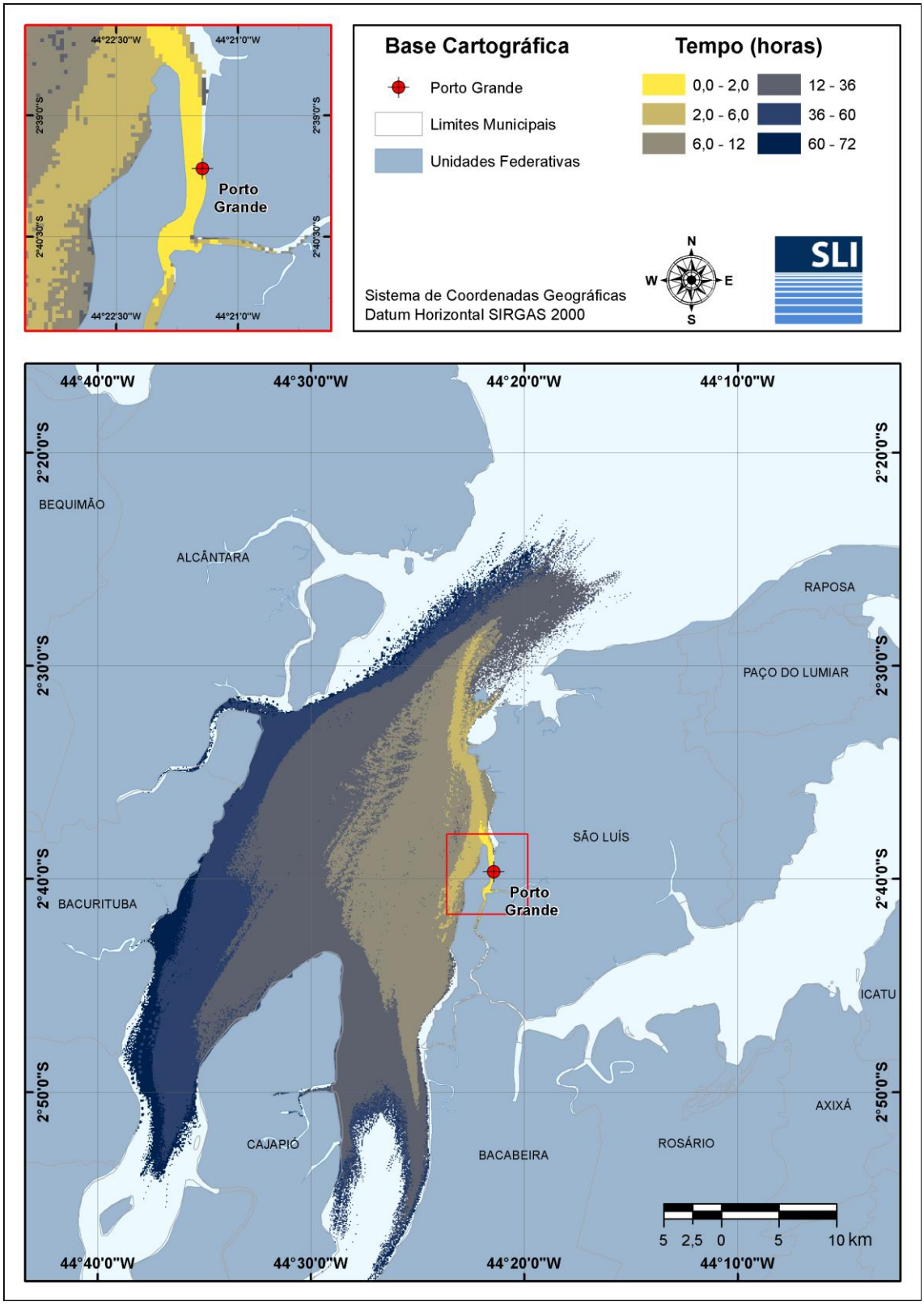


Figura 10: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

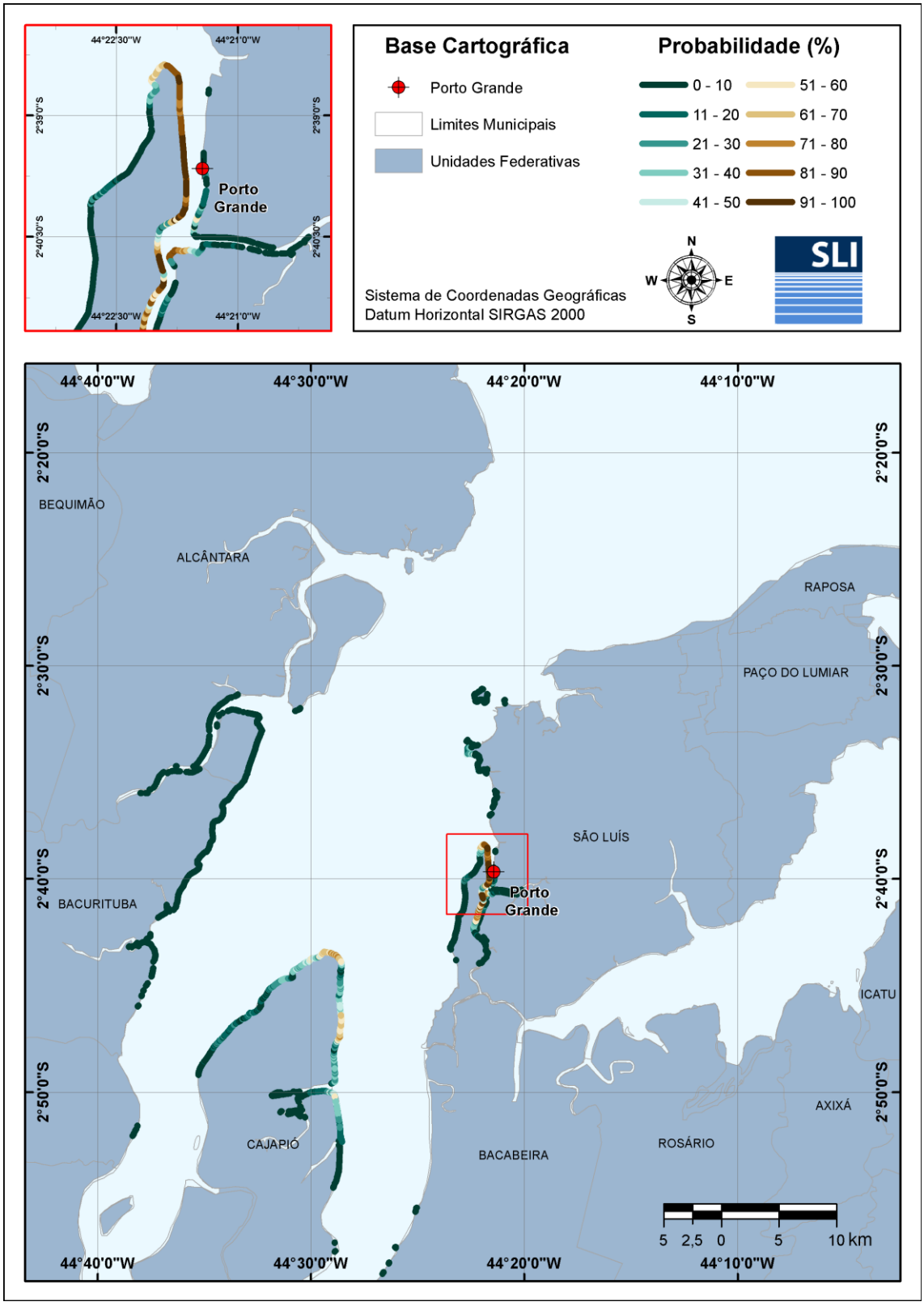


Figura 11: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

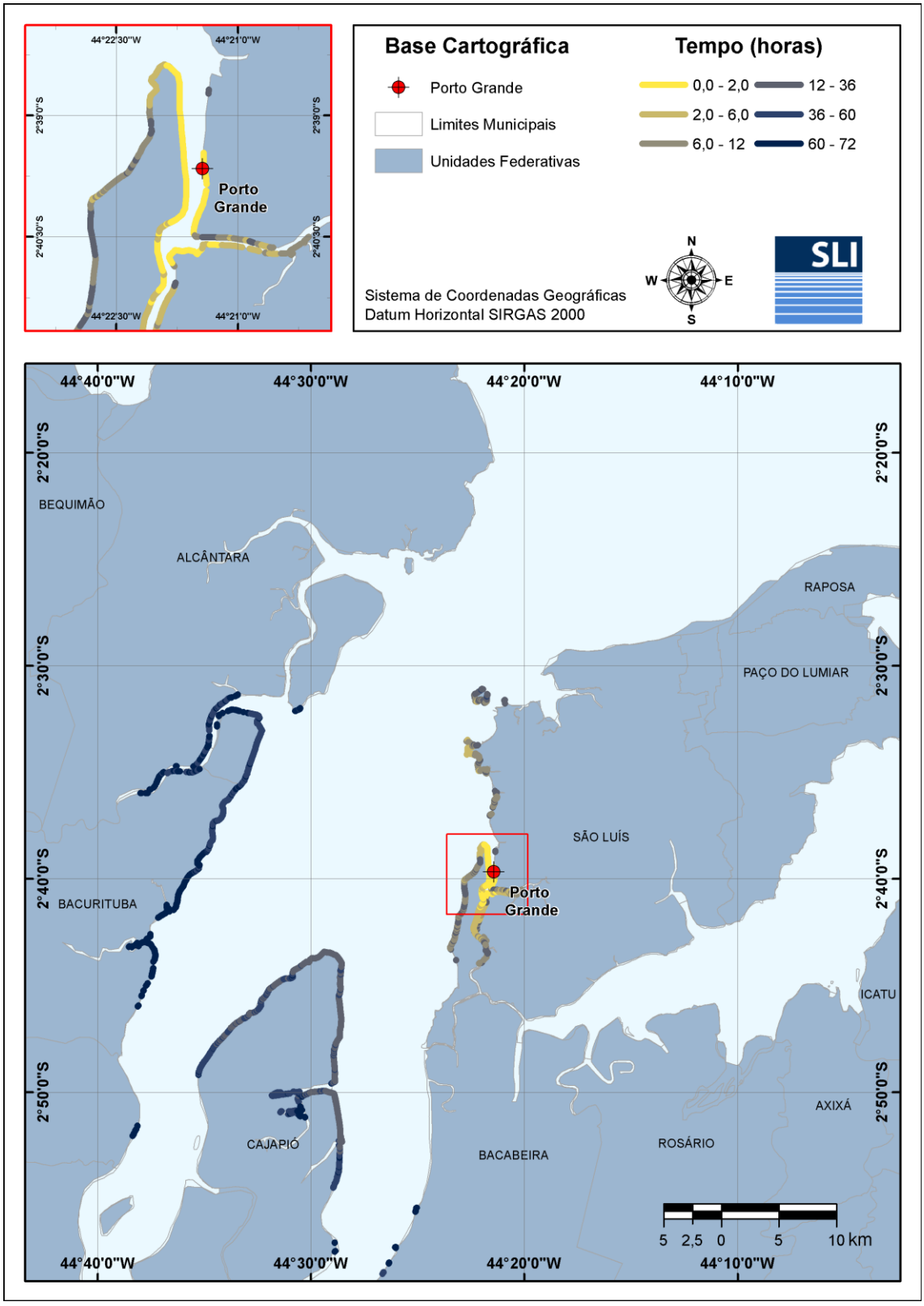


Figura 12: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

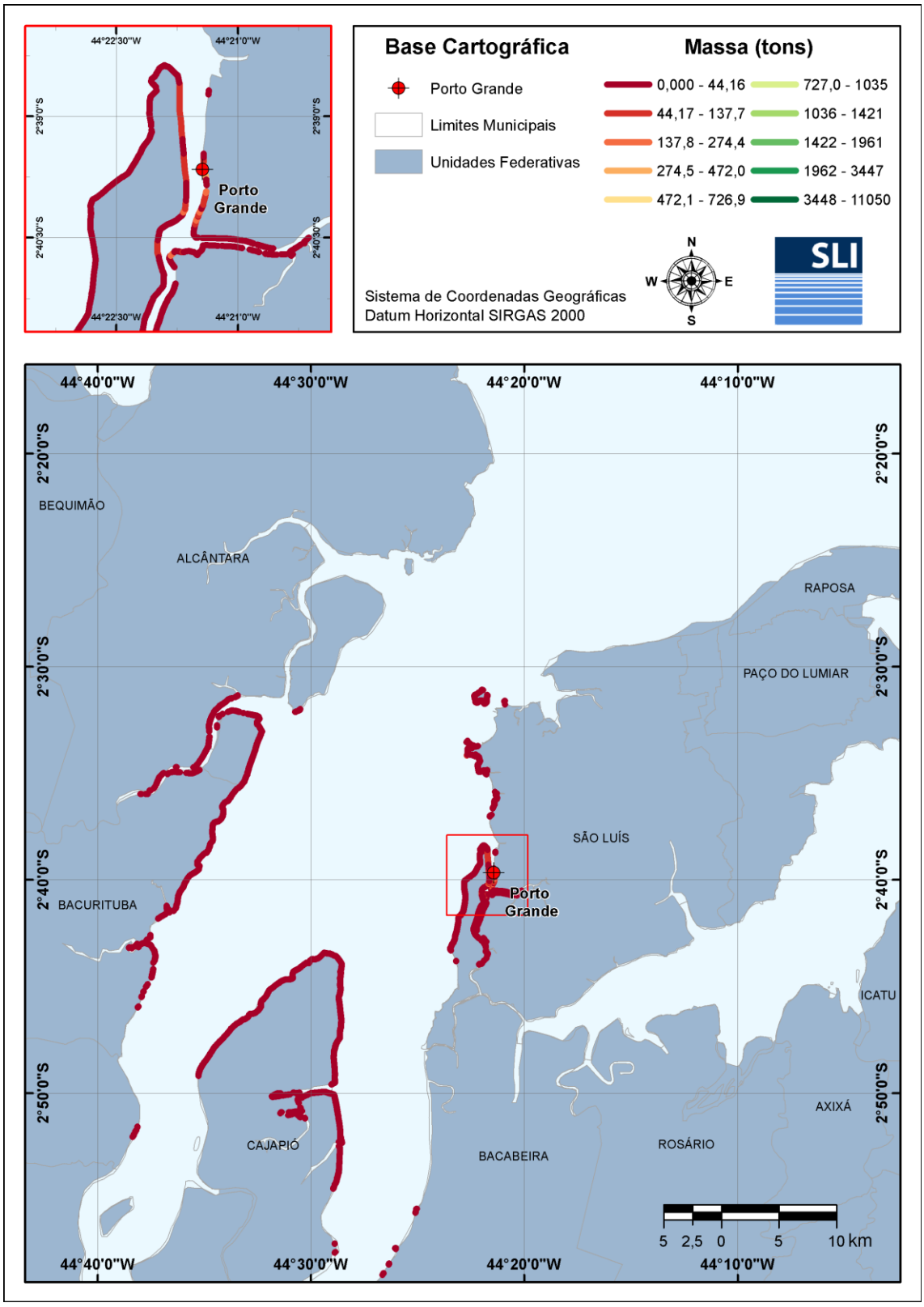


Figura 13: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

Tabela 10 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	13.47%	4.37%
Médio	10.90%	0.16%	32.89%	6.05%
Máximo	31.00%	0.86%	39.57%	13.36%

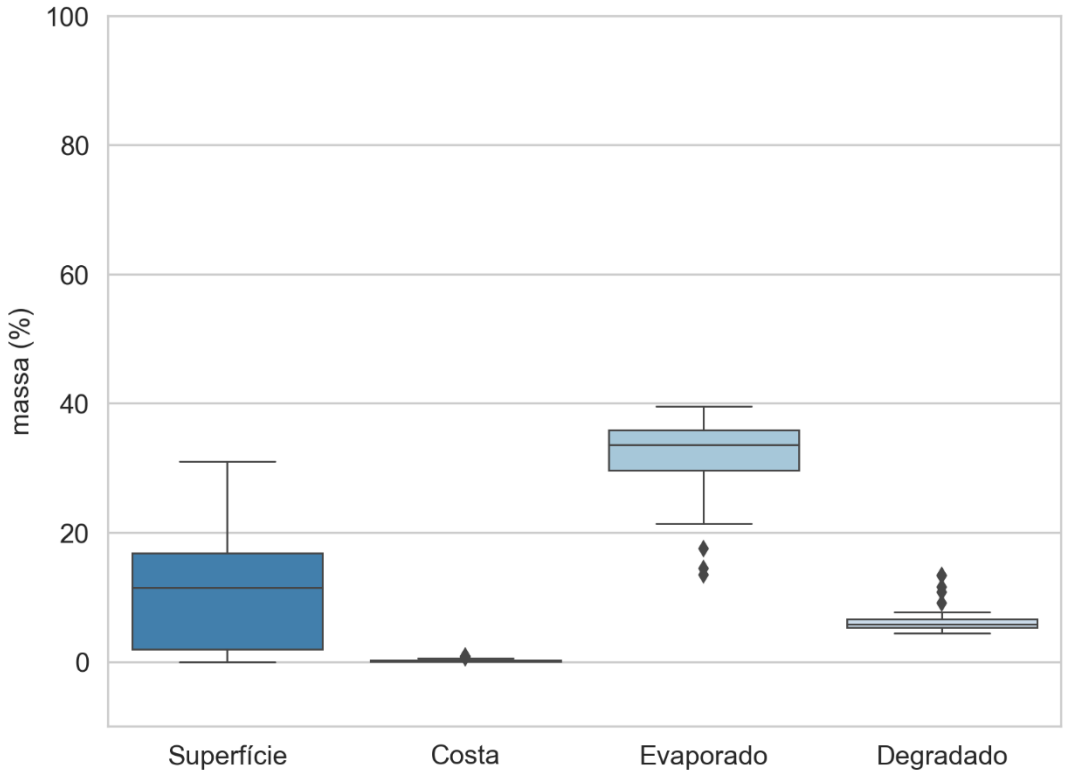


Figura 14 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

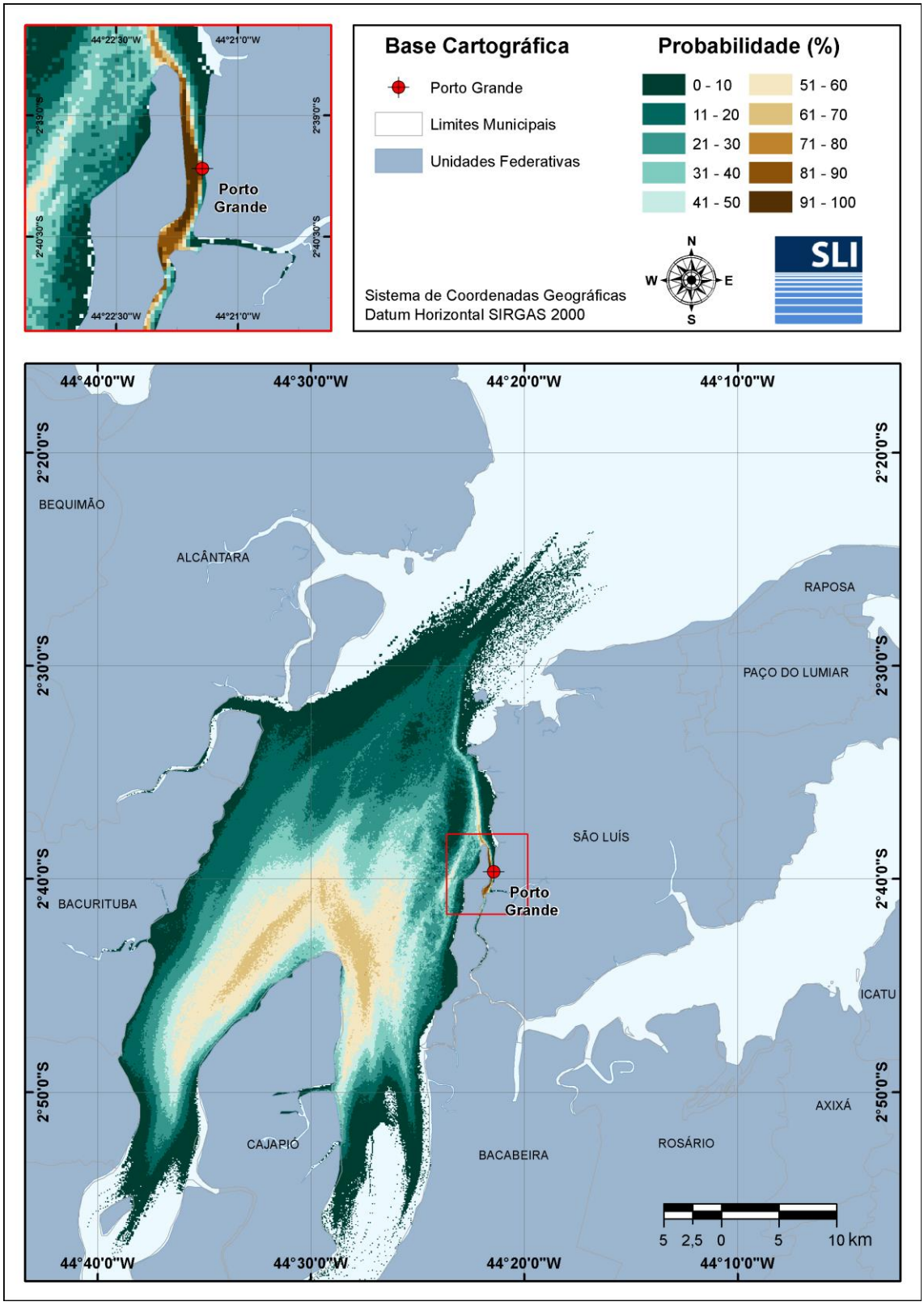


Figura 15: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

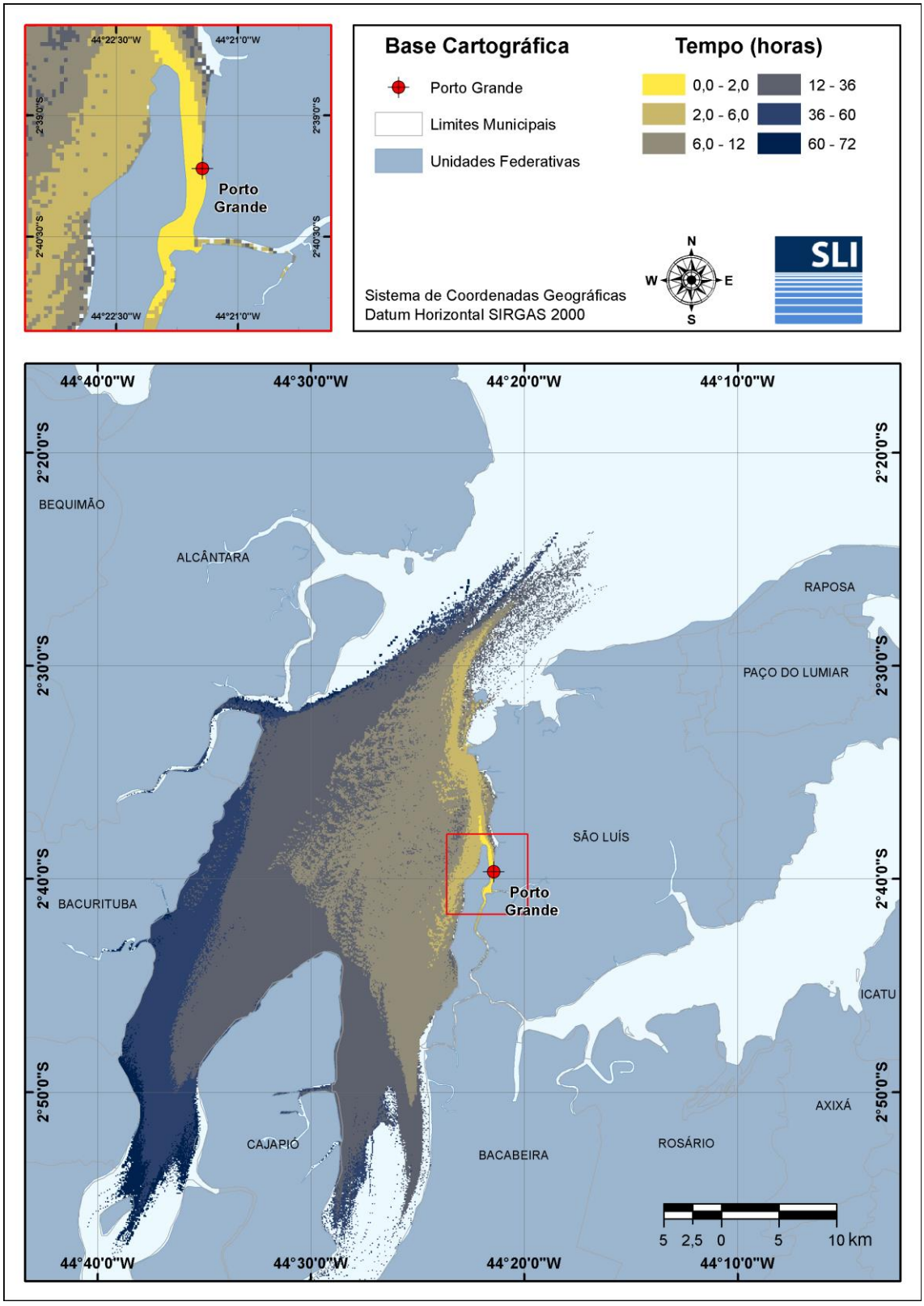


Figura 16: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

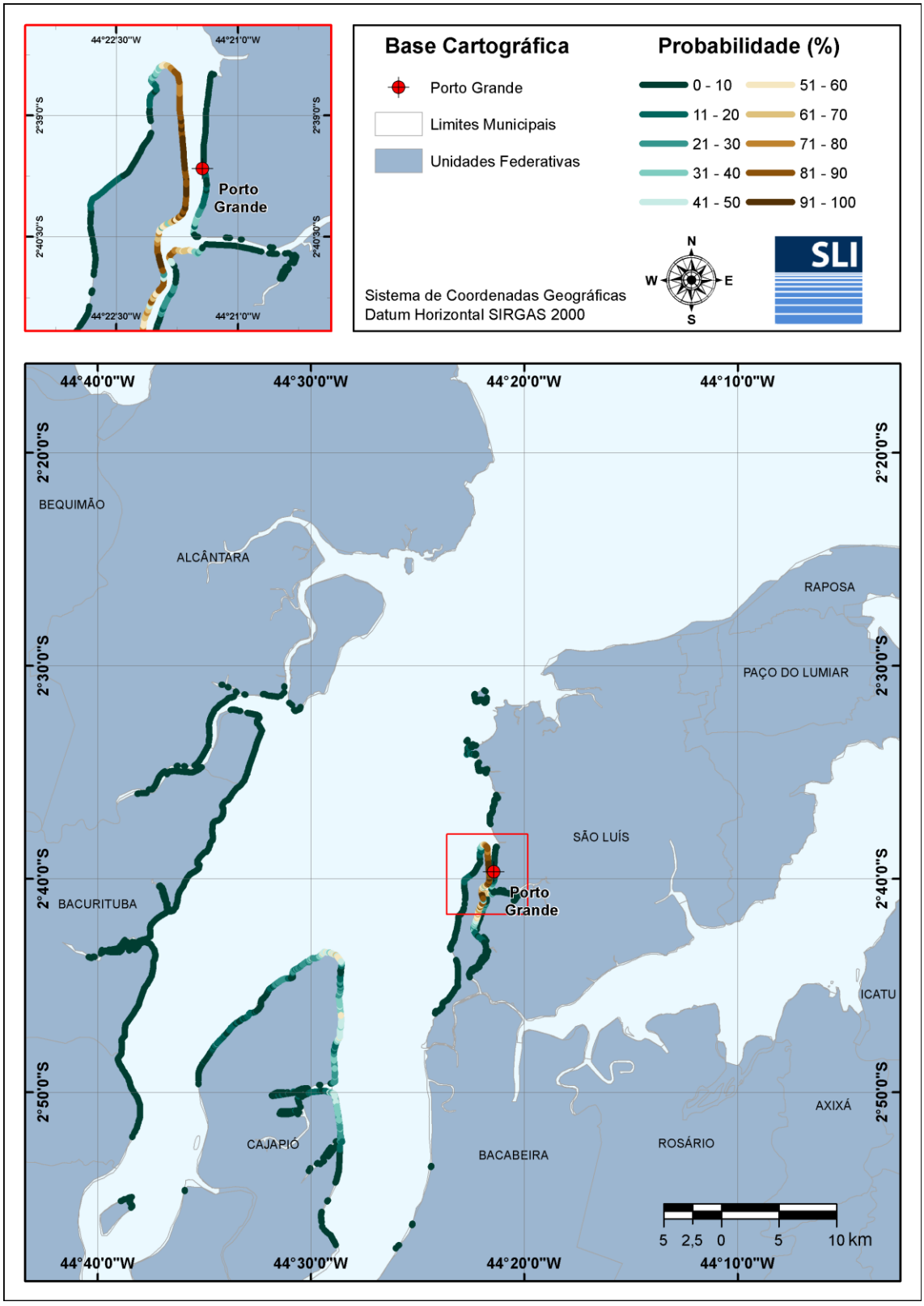


Figura 17: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

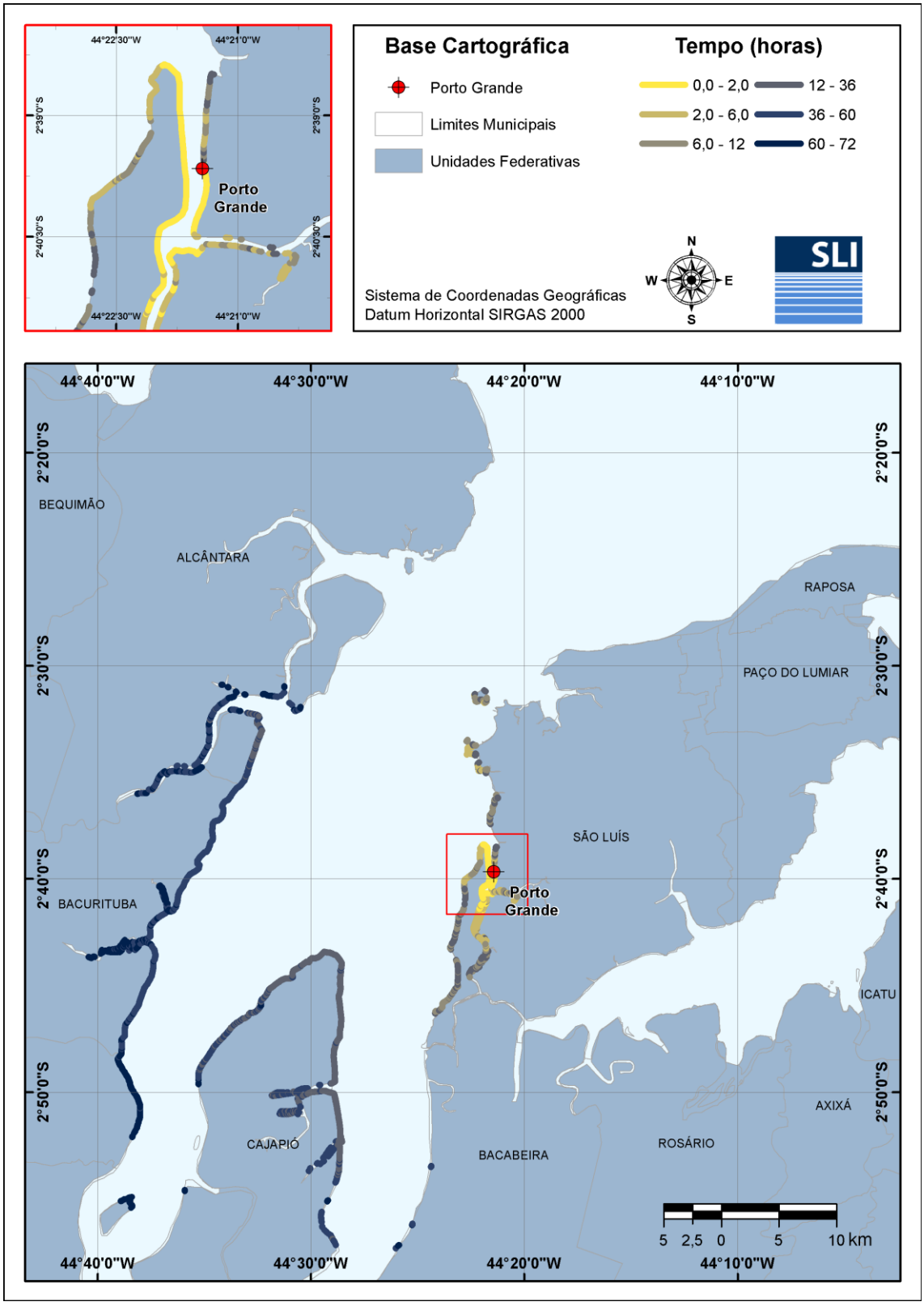


Figura 18: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

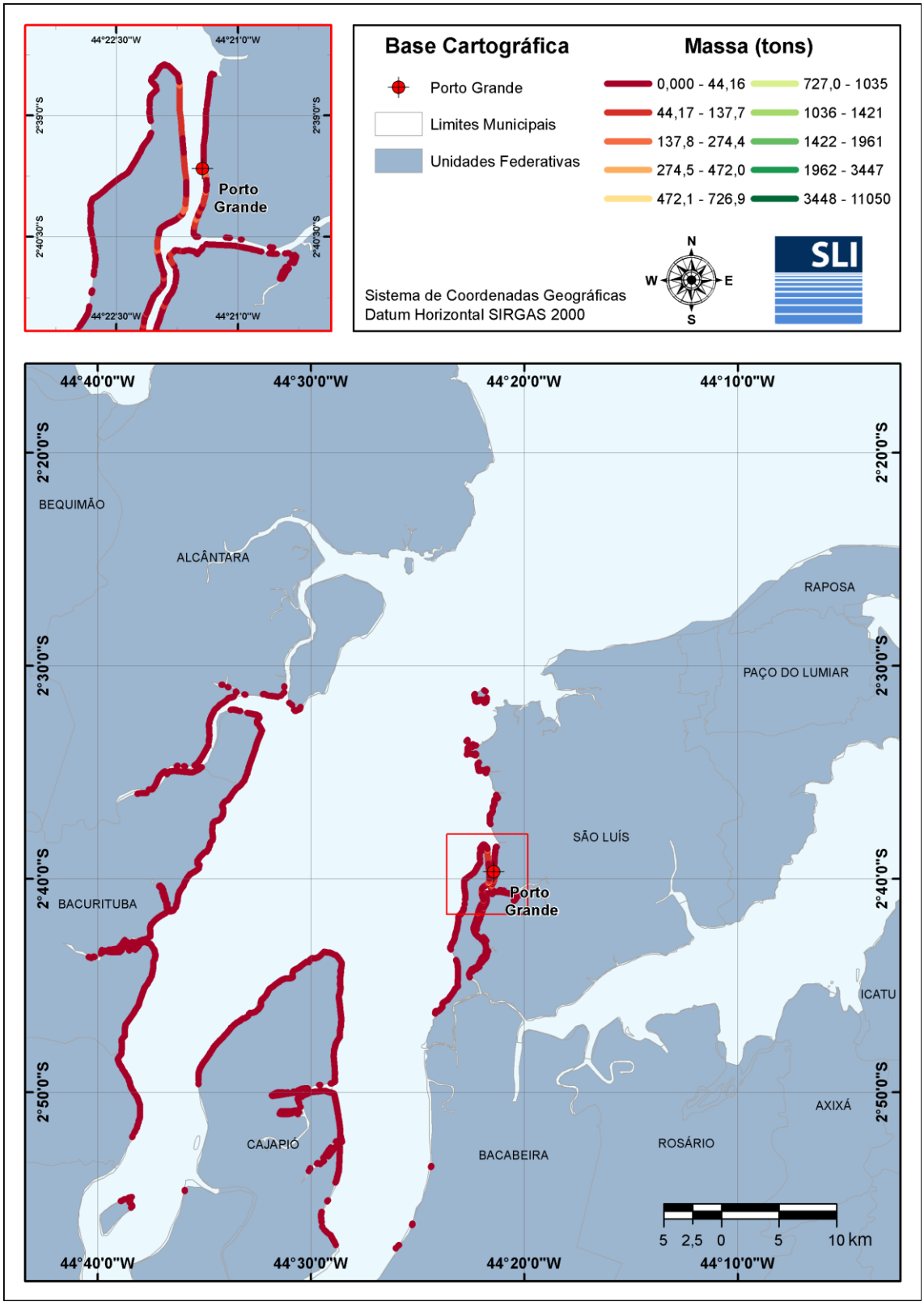


Figura 19: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

Tabela 11 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.01%	26.04%	5.05%
Médio	5.13%	0.23%	37.39%	7.24%
Máximo	26.35%	1.66%	47.41%	11.56%

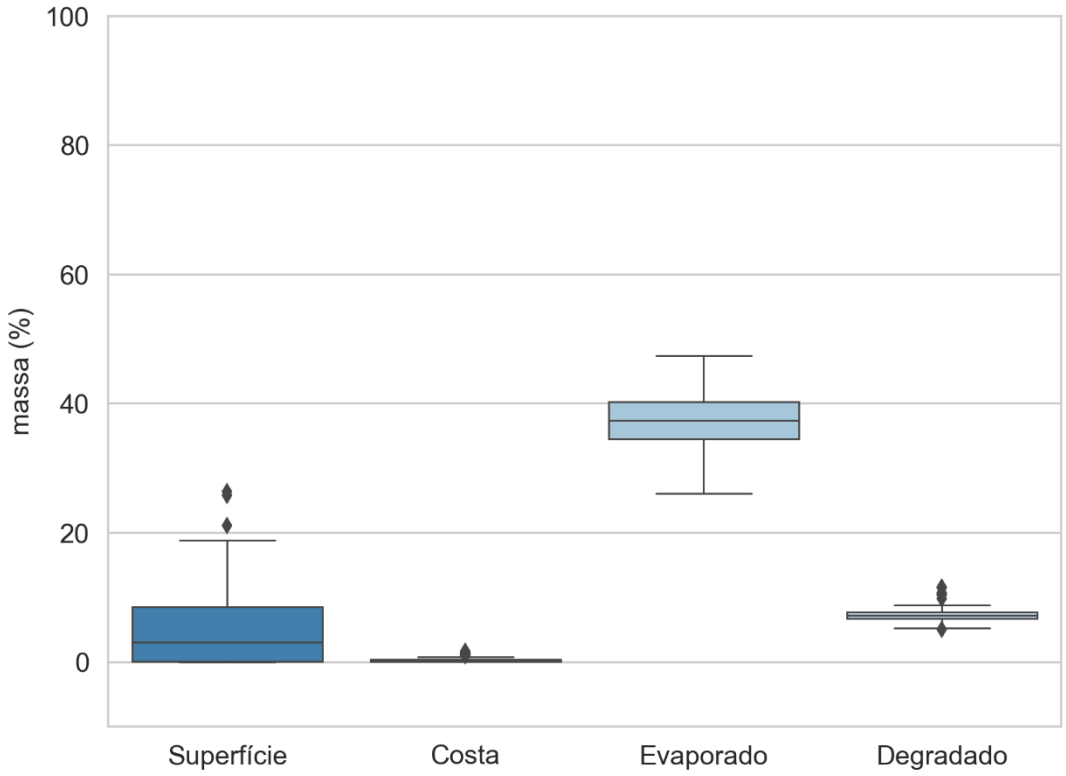


Figura 20 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de Pior Caso (200,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

1.11.1.1.2 Volume pequeno (8,0 m³)

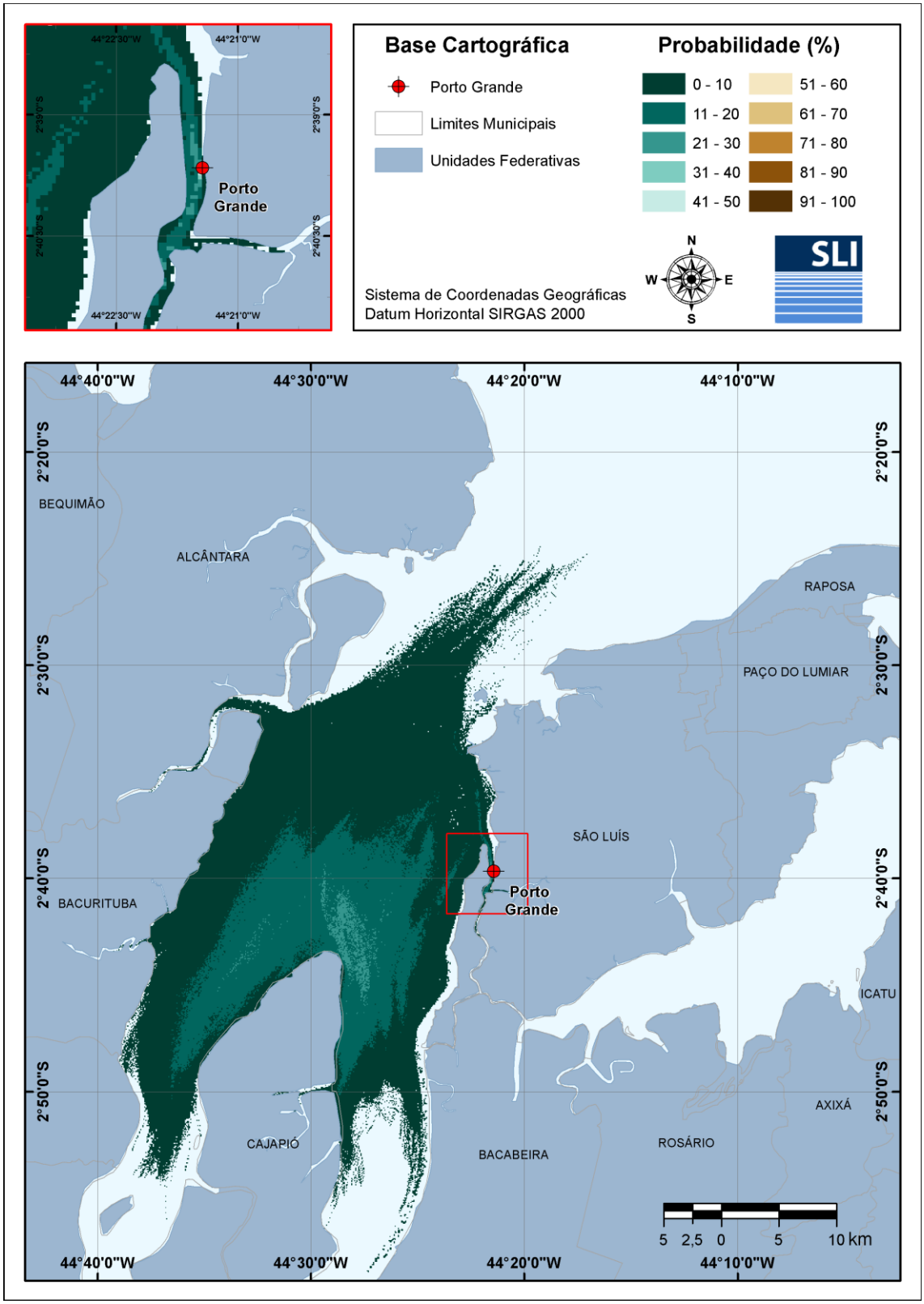


Figura 21: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

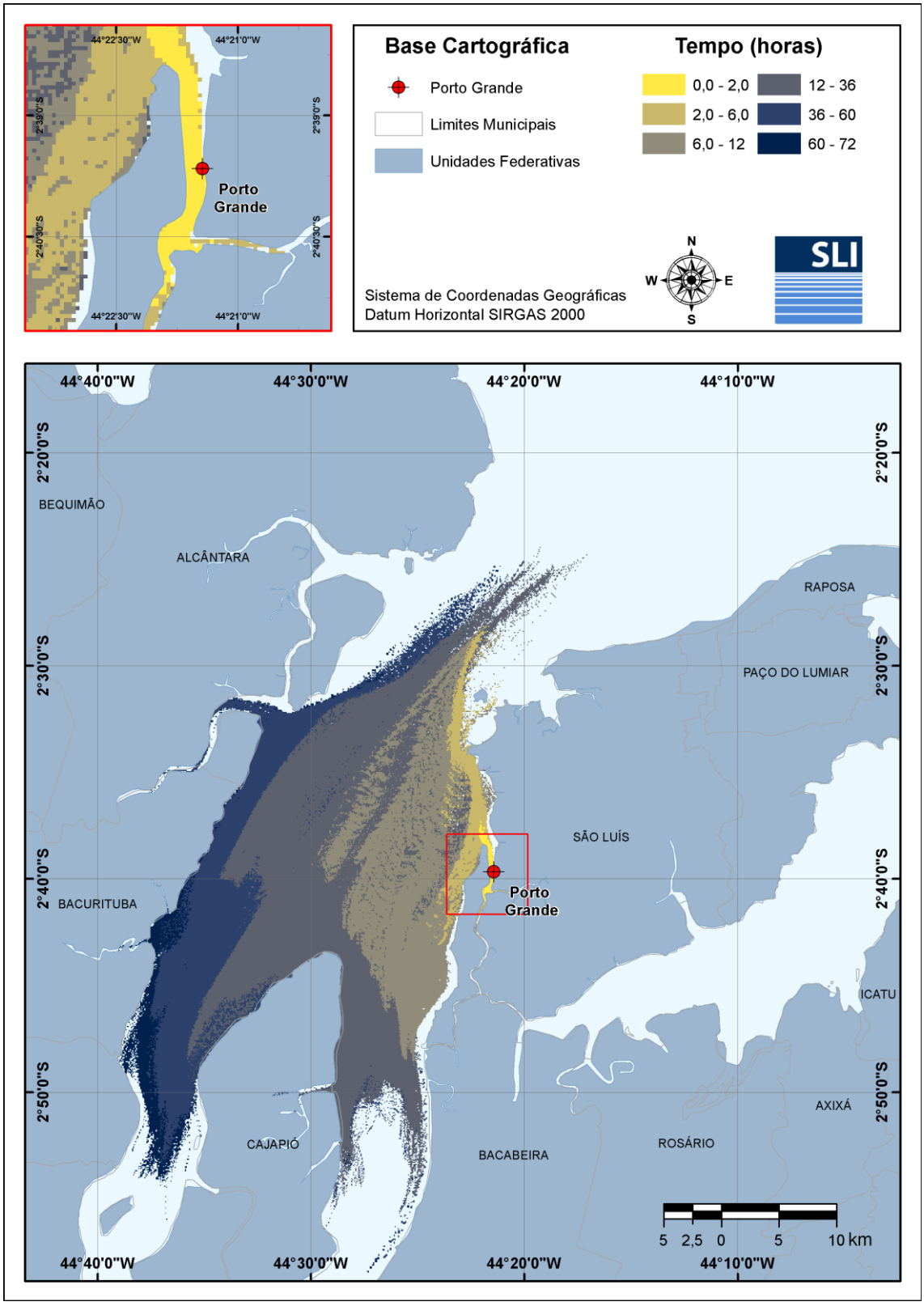


Figura 22: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

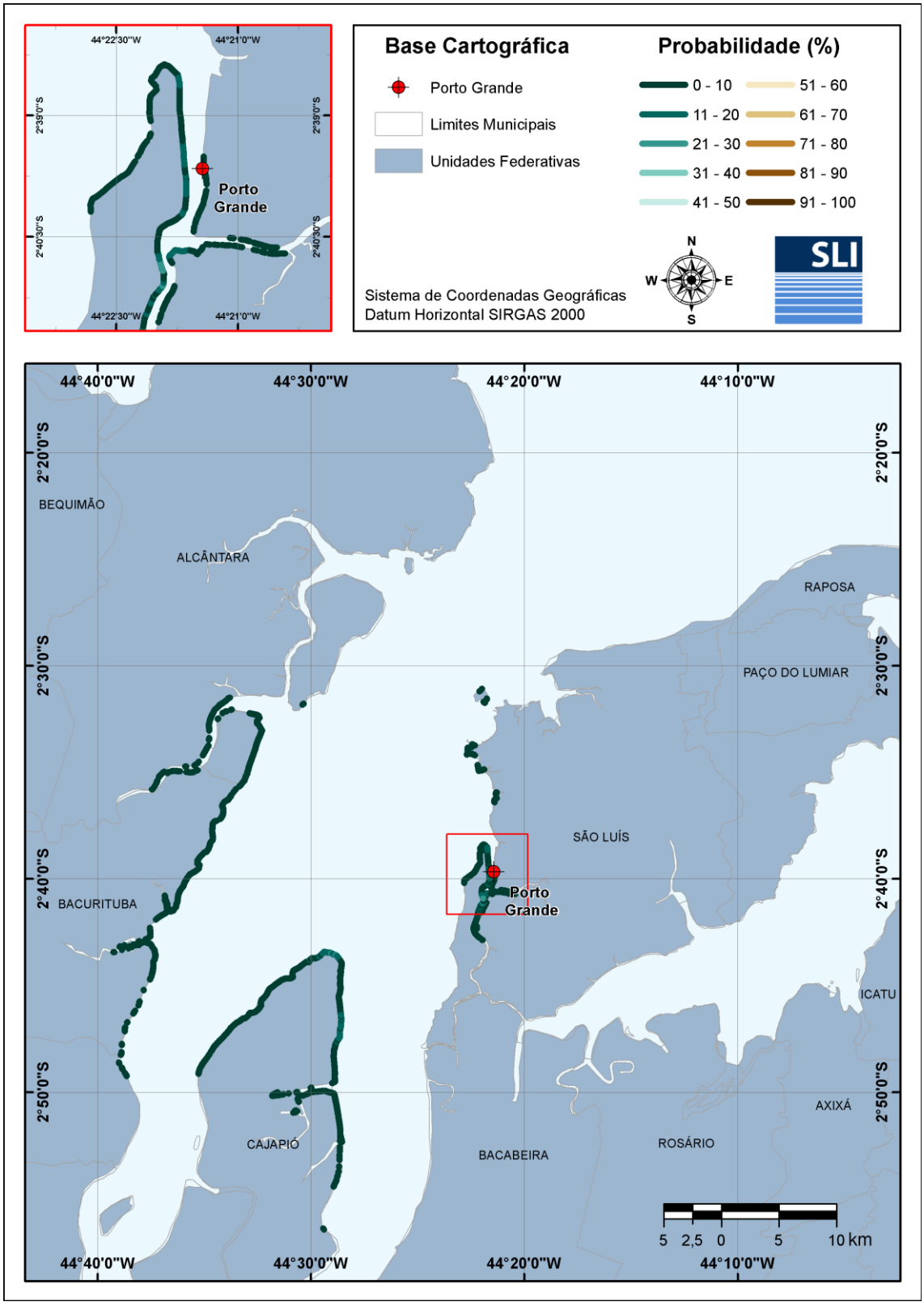


Figura 23: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

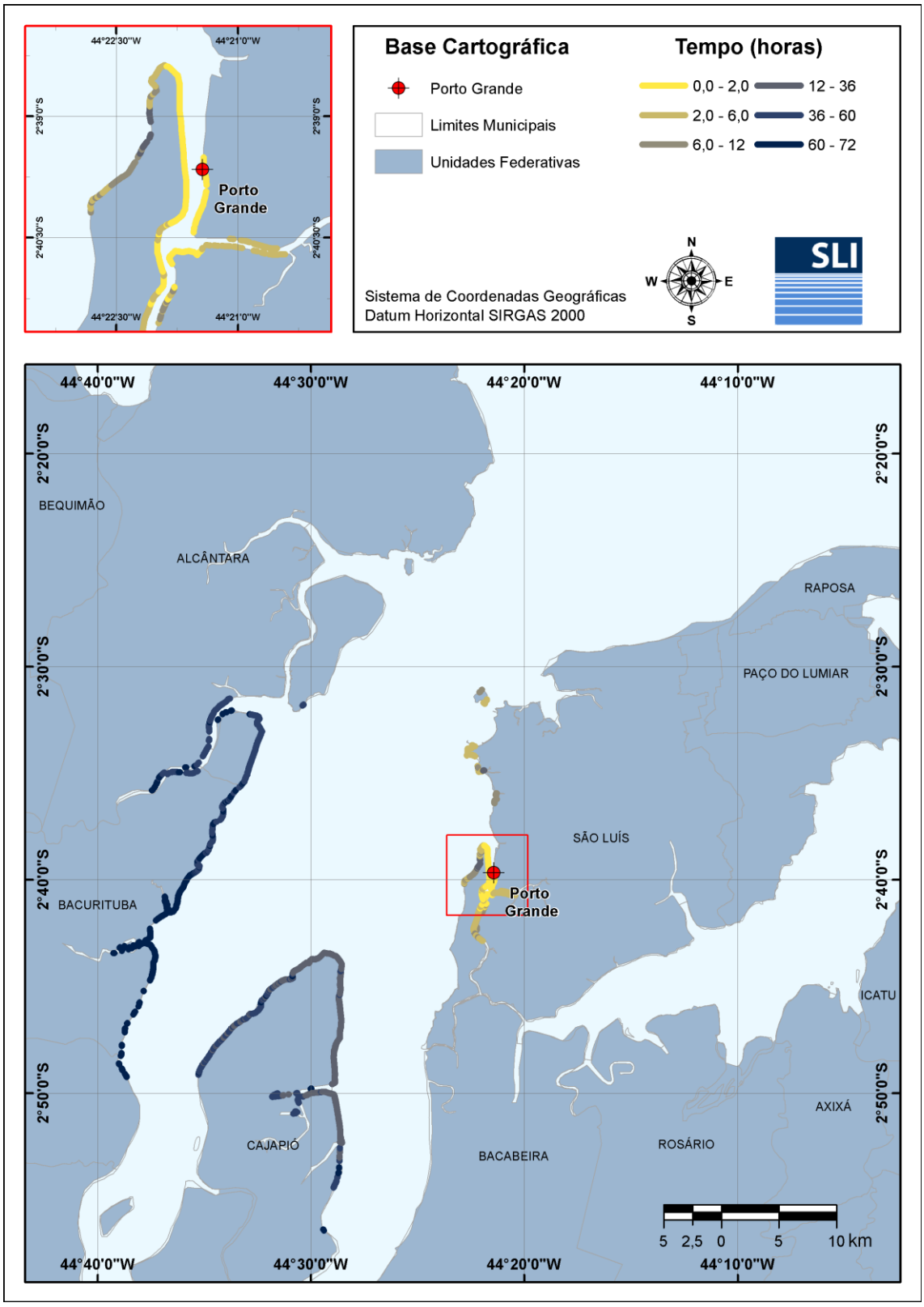


Figura 24: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

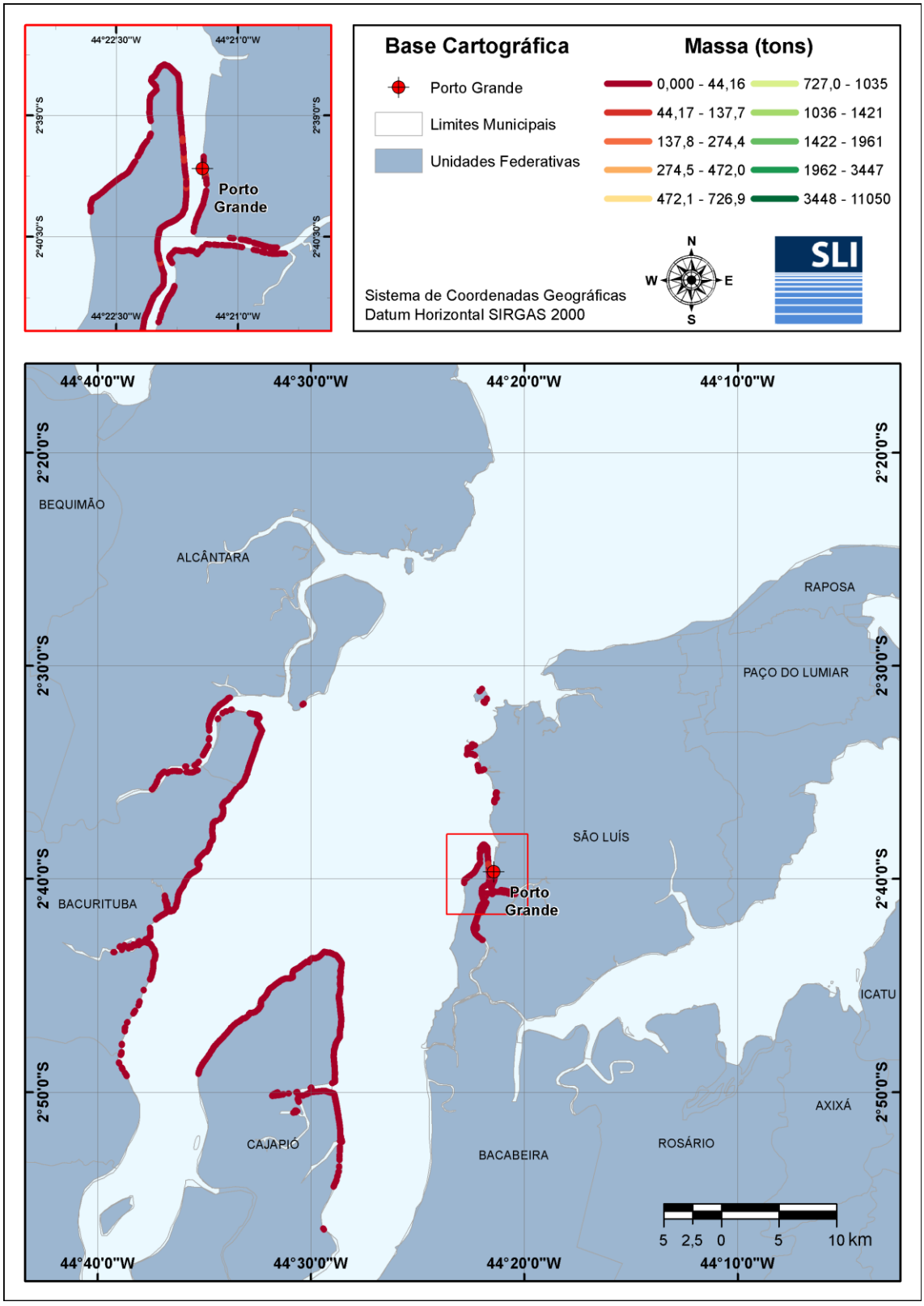


Figura 25: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

Tabela 12 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	16.03%	1.44%
Médio	8.66%	0.31%	34.46%	6.57%
Máximo	84.98%	6.05%	59.48%	13.79%

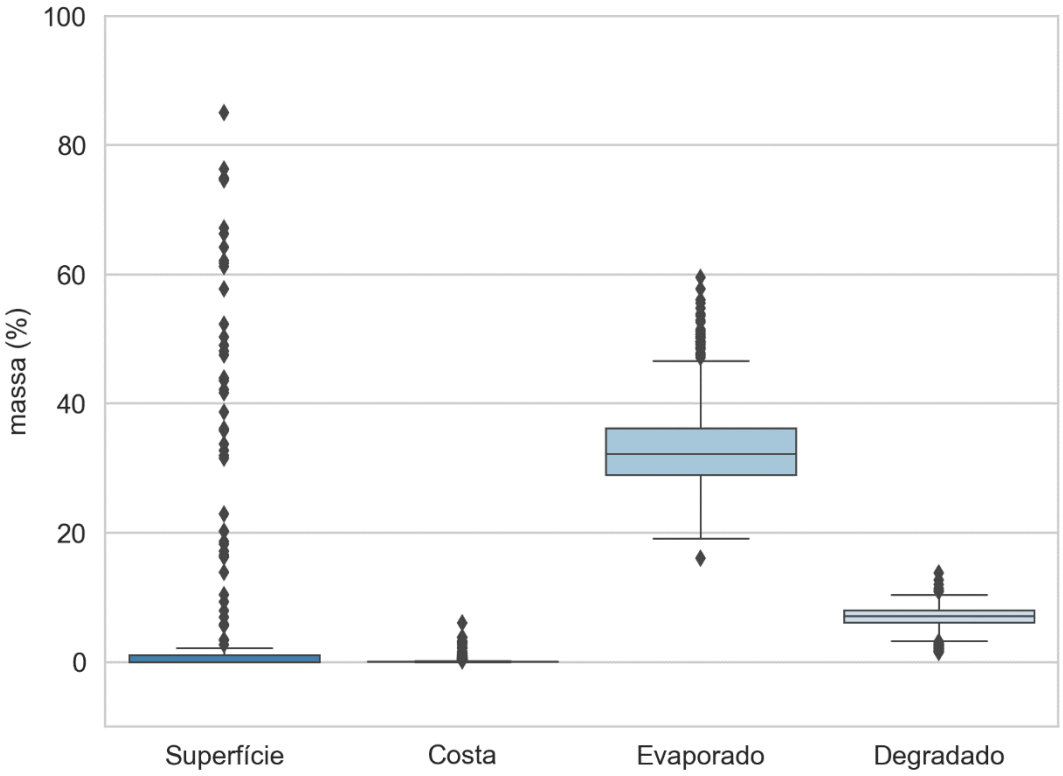


Figura 26 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

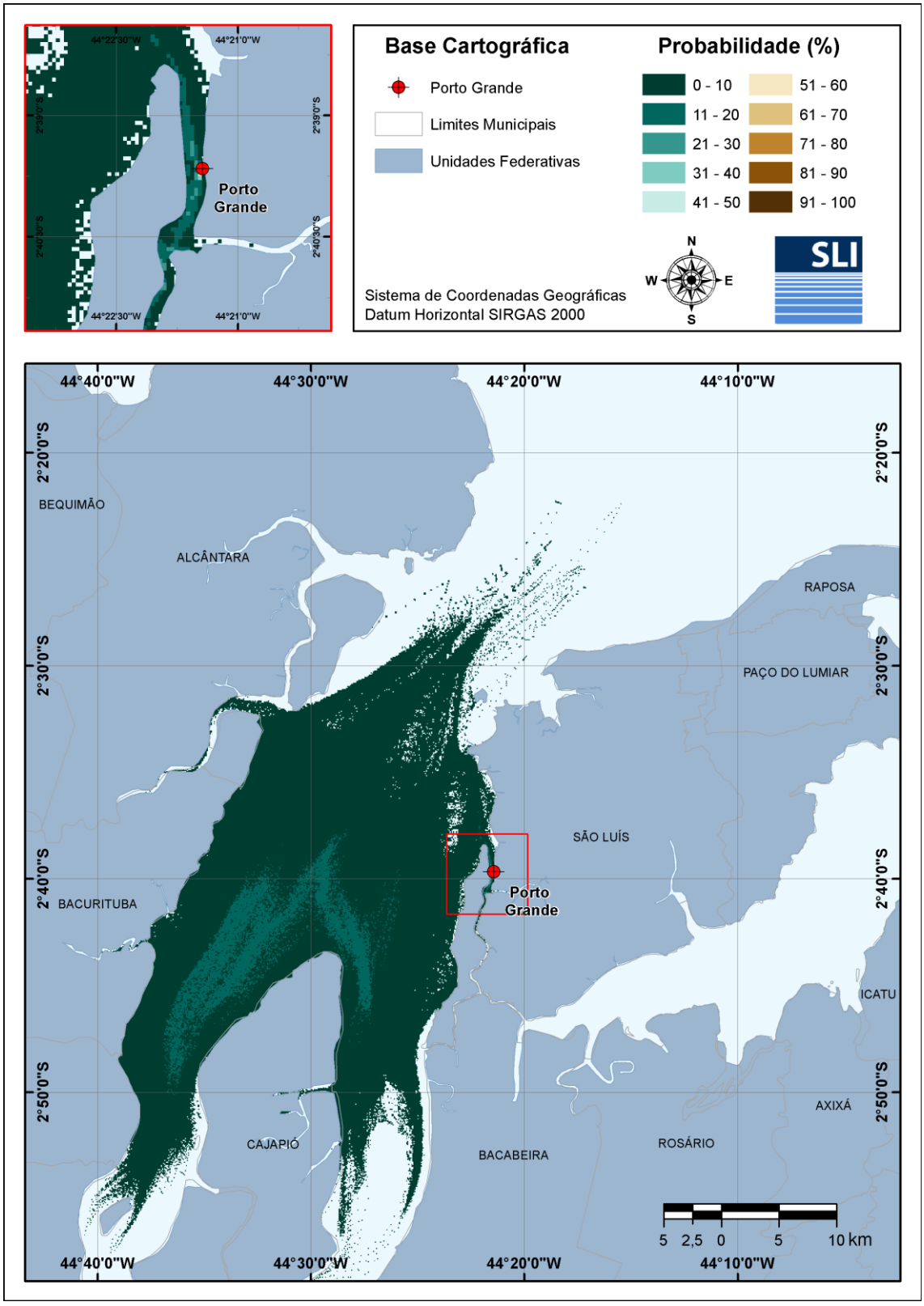


Figura 27: Contornos de probabilidade de alcance do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

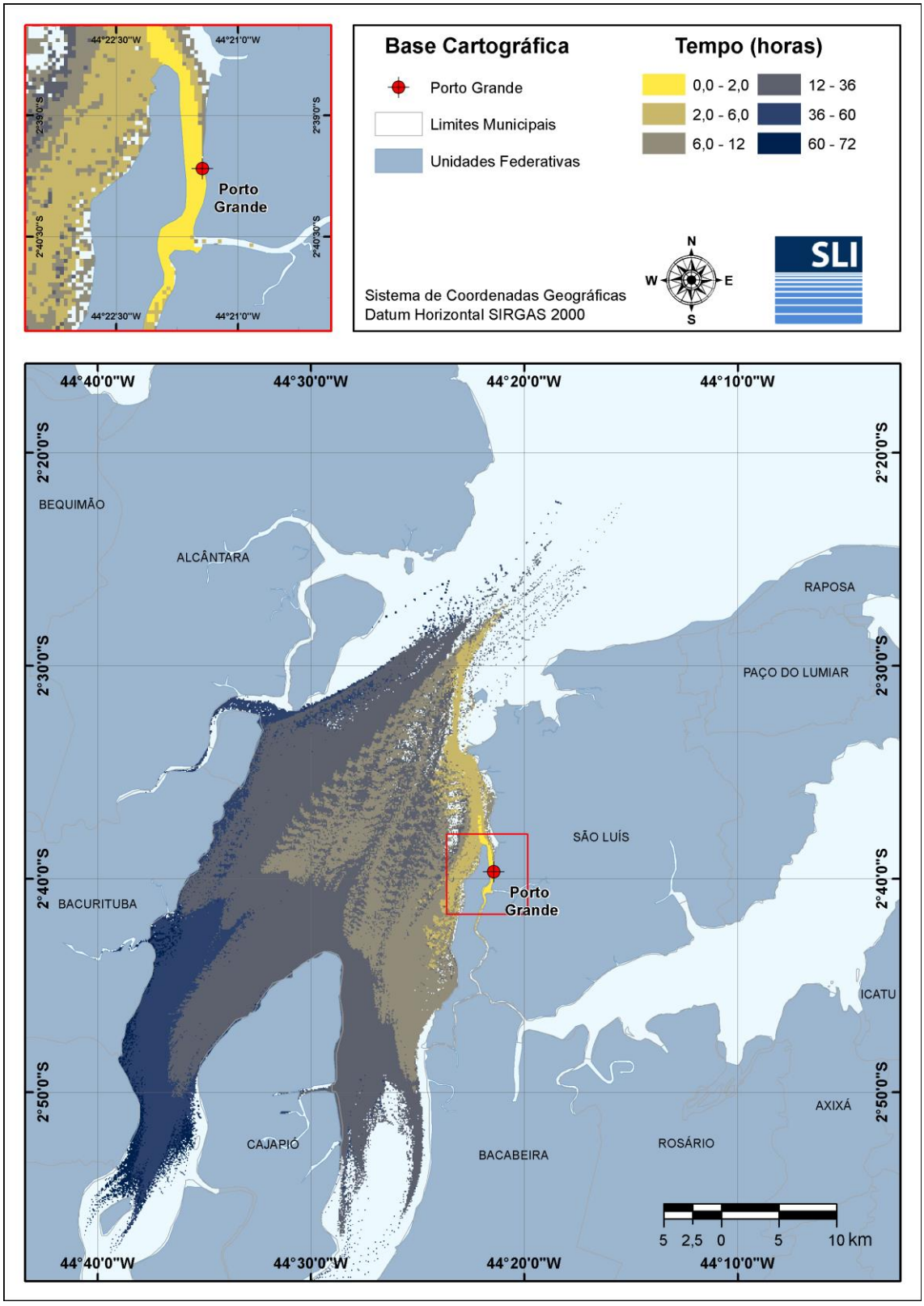


Figura 28: Contornos de tempo mínimo do óleo na água para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

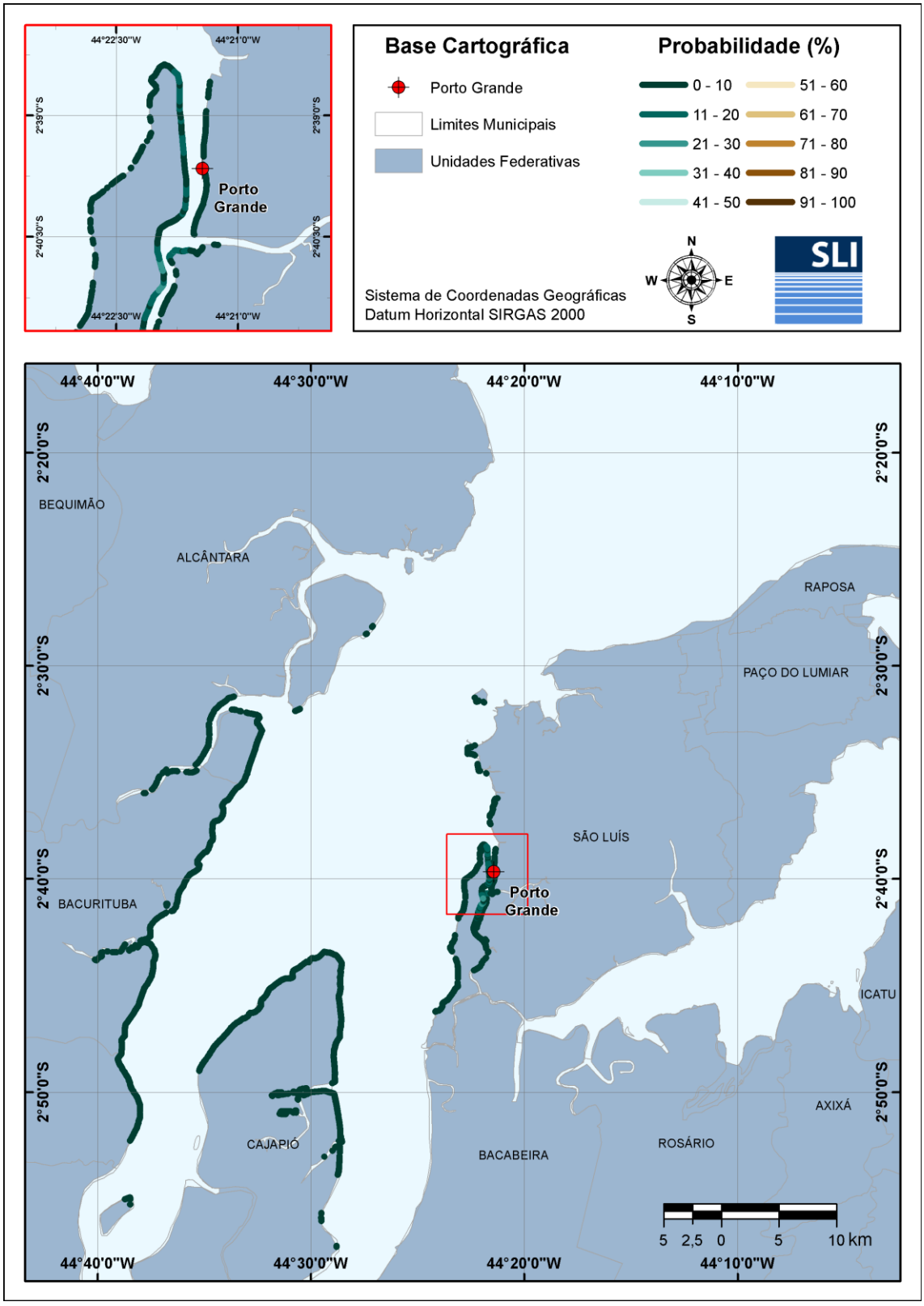


Figura 29: Contornos de probabilidade do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

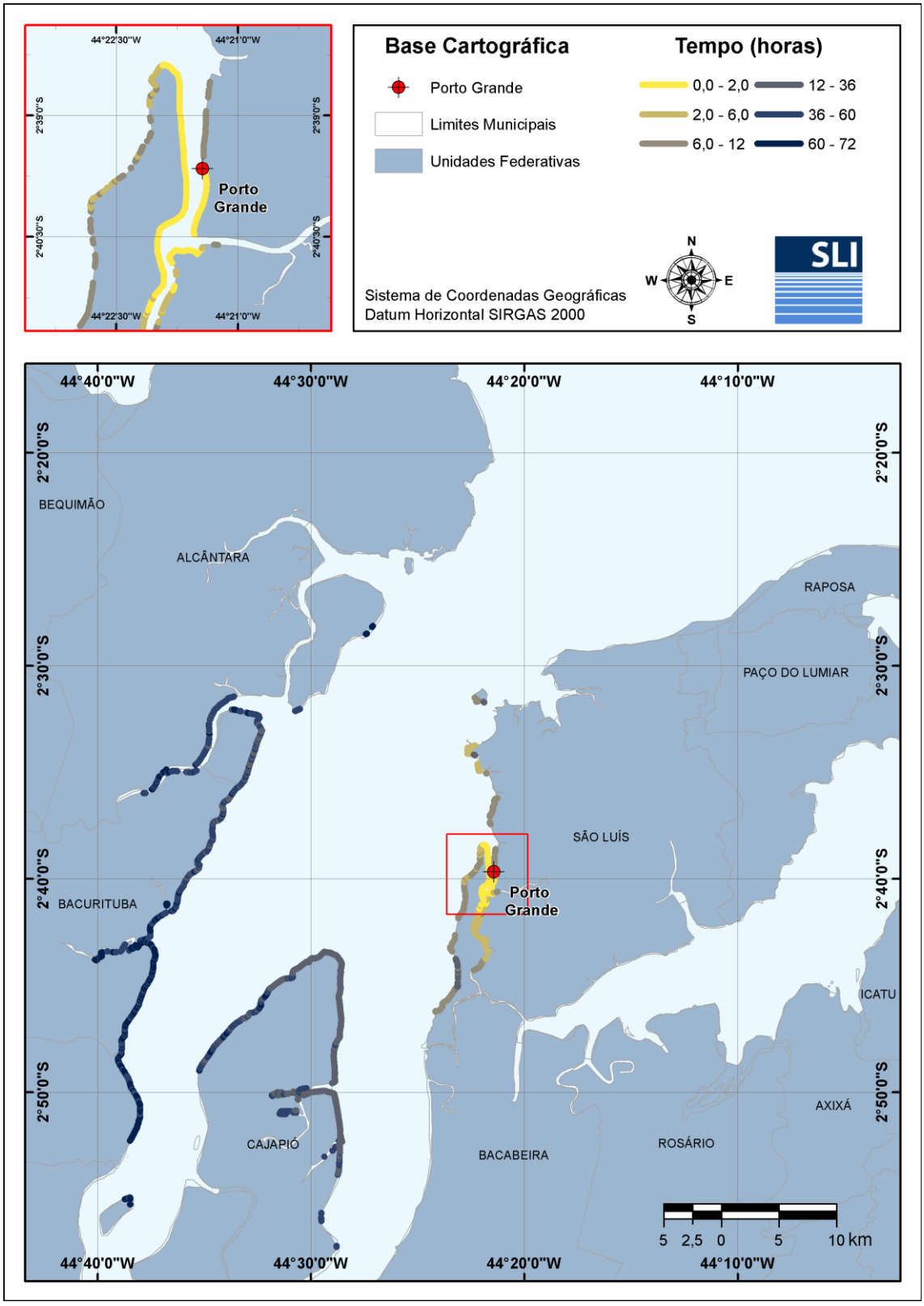


Figura 30: Contornos de tempo mínimo do óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

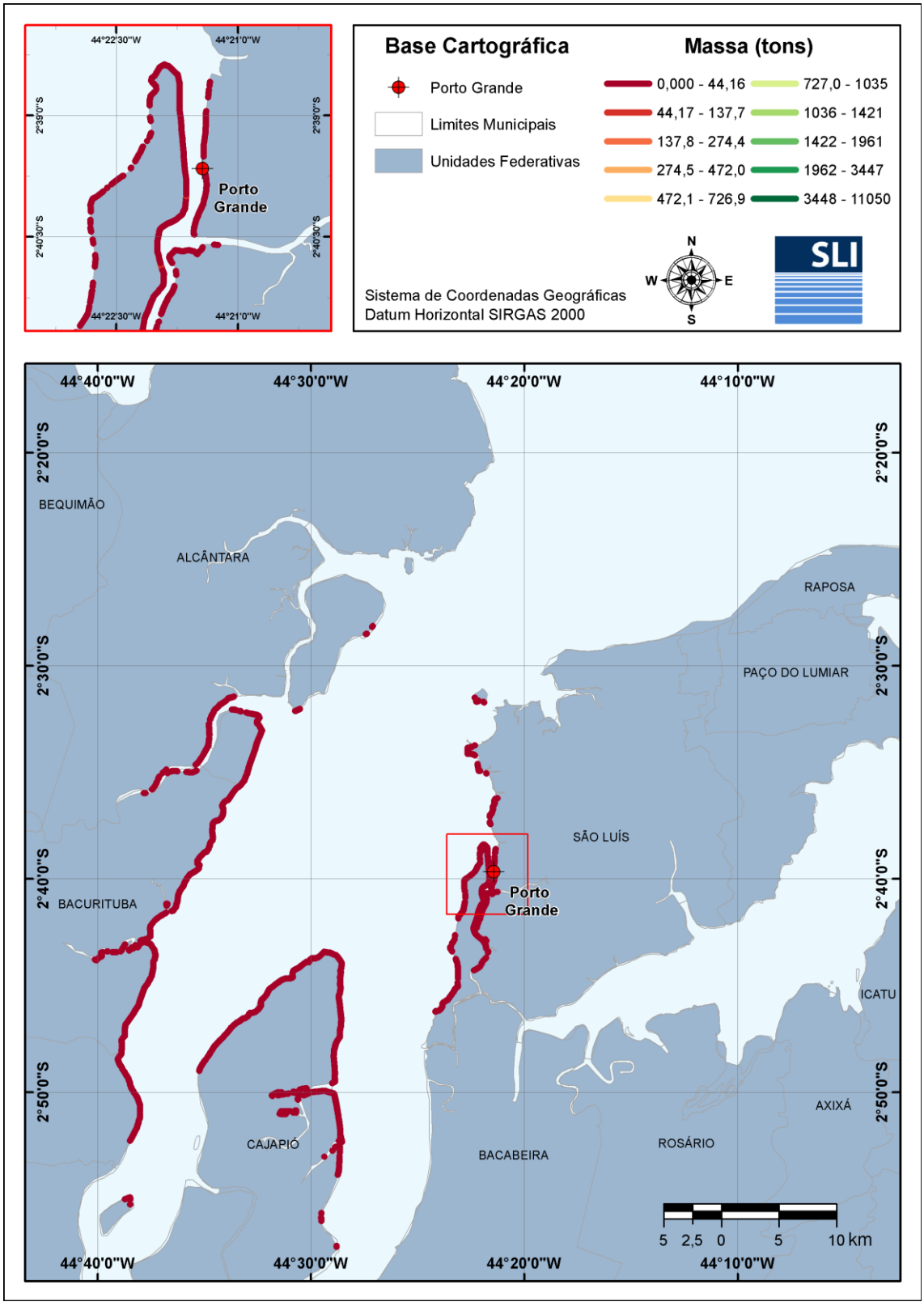


Figura 31: Contornos de massa de óleo retido na costa para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

Tabela 13 – Percentis máximos, médios e mínimos alcançados pela distribuição de massa no cenário.

	Superfície	Costa	Evaporado	Degradado
Mínimo	0.00%	0.00%	20.48%	1.74%
Médio	3.70%	0.35%	38.61%	7.34%
Máximo	81.97%	10.08%	68.60%	13.91%

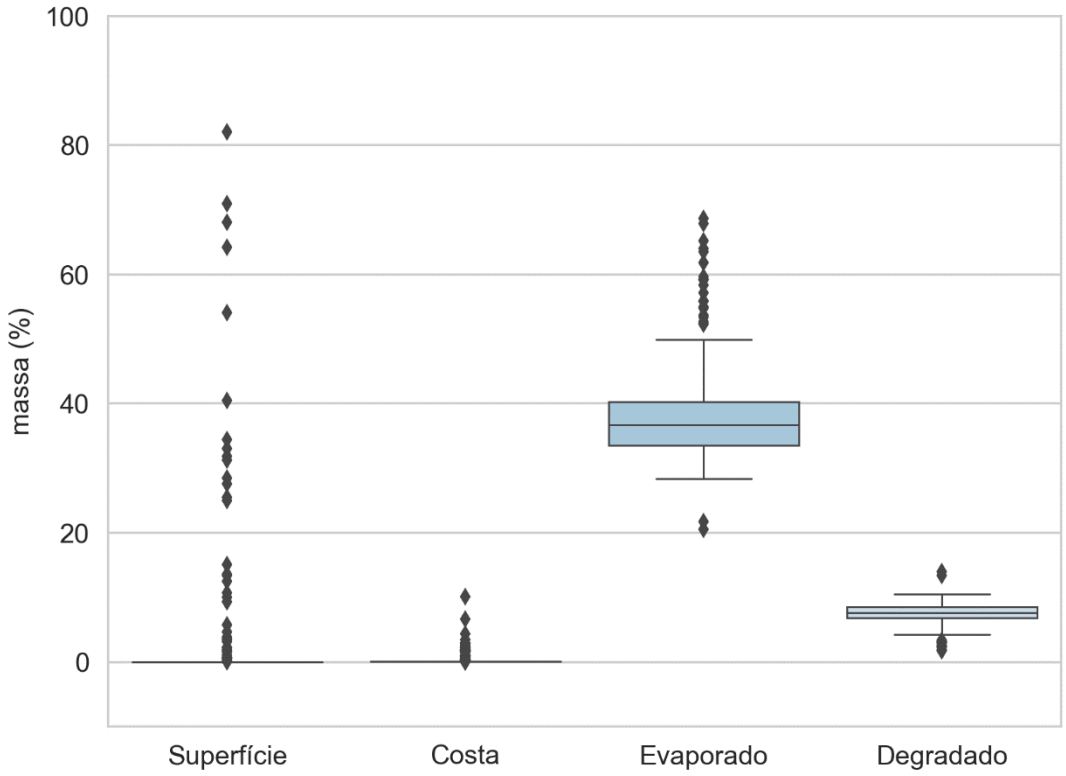


Figura 32 – Diagrama Boxplot para a representação do balanço de massa para o cenário de volume pequeno (8,0 m³) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

1.12 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS DE DERRAME DE ÓLEO

Os resultados das simulações determinísticas de dispersão de óleo são apresentados a seguir. A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de maior extensão. Em cada período, de todas as 200 simulações realizadas, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram a maior extensão de toque, com retenção de massa na costa.

As figuras apresentam os contornos de espessuras da área varrida das partículas de óleo em elemento de grade no instante final da simulação, pois assim demonstra-se toda a região a qual o óleo esteve presente na água, conjuntamente demonstra-se os contornos em destaque (vermelho) para todo local em que houve retenção de óleo pela costa (encalhe) para todo o tempo da simulação, dando o devido tempo para os processos de intemperismo ocorrerem. Por terem muitos cenários críticos de menor tempo, onde rapidamente o óleo toca a costa (em alguns em menos de meia hora), levou-se em conta, aqueles cenários com maior extensão de toque, devido a vulnerabilidade do mangue e região ao seu entorno. Além da área varrida pela mancha de óleo (em grade), é apresentado um gráfico com balanço de massa das simulações dos cenários apontados na Tabela 7, isto é, a quantidade relativa de cada porção de óleo, em determinado ambiente, ao longo do tempo, para cada um dos dois produtos simulados. Adicionalmente em anexo (ANEXO A.I.), são apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes nos cenários determinísticos críticos que apresentaram essa maior extensão, são mostradas as condições ambientais (vento e corrente) iniciais para cada um dos cenários aqui descritos.

1.12.1 Óleo Diesel

Podemos observar nos cenários determinísticos a assinatura da intensidade dos ventos, impulsionando o óleo para a região oeste da baía de São Marcos em direção à costa dos municípios de Bacurituba, Alcântara e costa norte da ilha de Caranguejo em Cajapió, tendo apenas o crítico para o cenário do volume de pior caso no período de cheia, transportando a maior parte do óleo ao sul da baía, atingindo em quase sua totalidade apenas a costa norte da ilha supracitada, tendo as simulações uma retenção representativa de aproximadamente de 40 a 60% da massa de óleo disposta no sistema terrestre, e até ~40% do seu material volatilizado para a atmosfera.

Tabela 14 – Resumo do Balanço de Massa ao final dos cenários determinísticos.

Cenários	Degradado (%)	Costa (%)	Superfície (%)	Evaporado (%)
DE_PGOD_PC_CHEIA	3,88	53,80	14,25	28,07
DE_PGOD_8_CHEIA	1,80	47,99	7,98	42,22
DE_PGOD_PC_SECA	3,39	63,11	3,34	30,16
DE_PGOD_8_SECA	1,64	52,81	0,70	44,84

1.12.1.1 Volume de Pior Caso (200,0 m³)

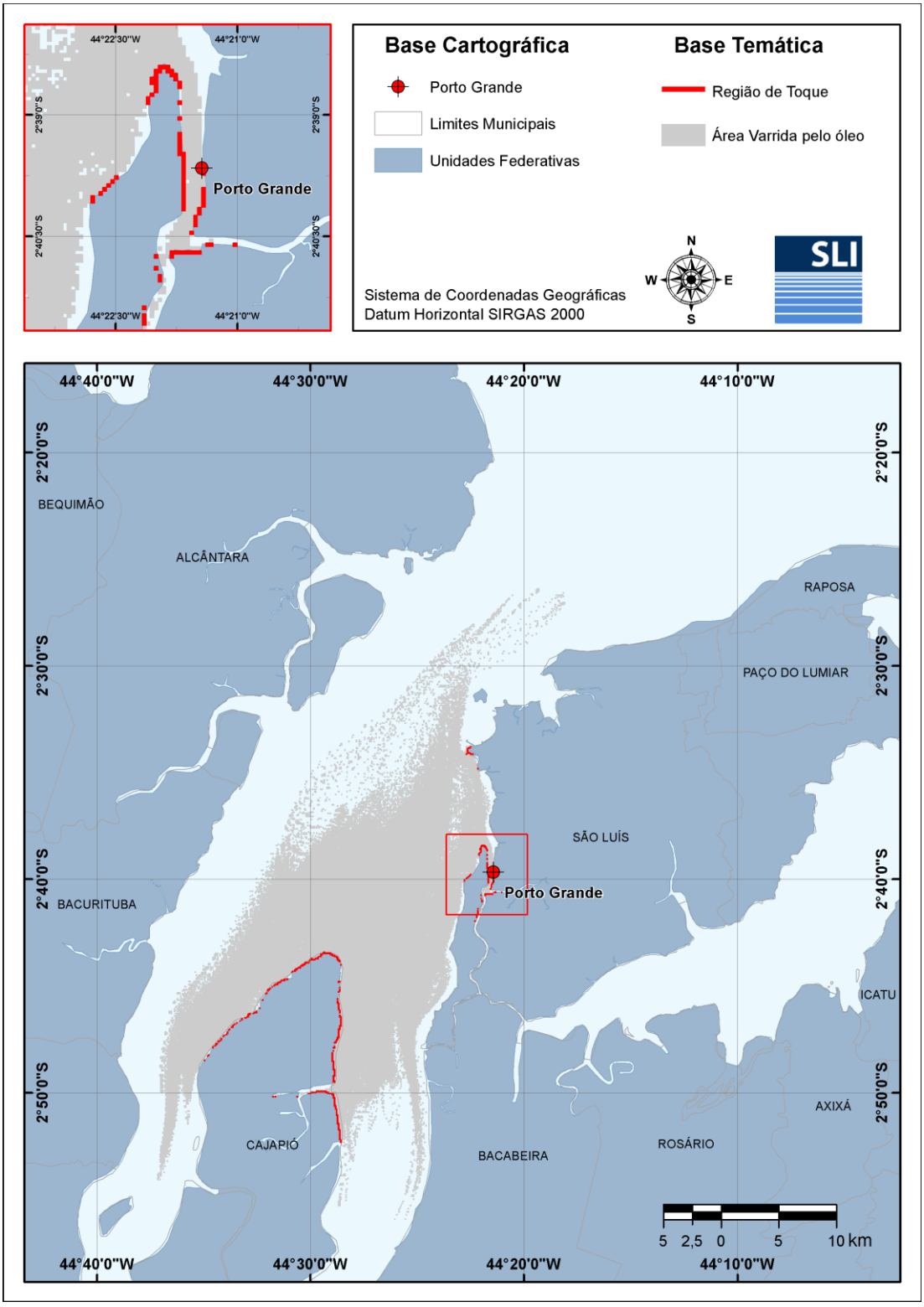


Figura 33: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação determinística, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia

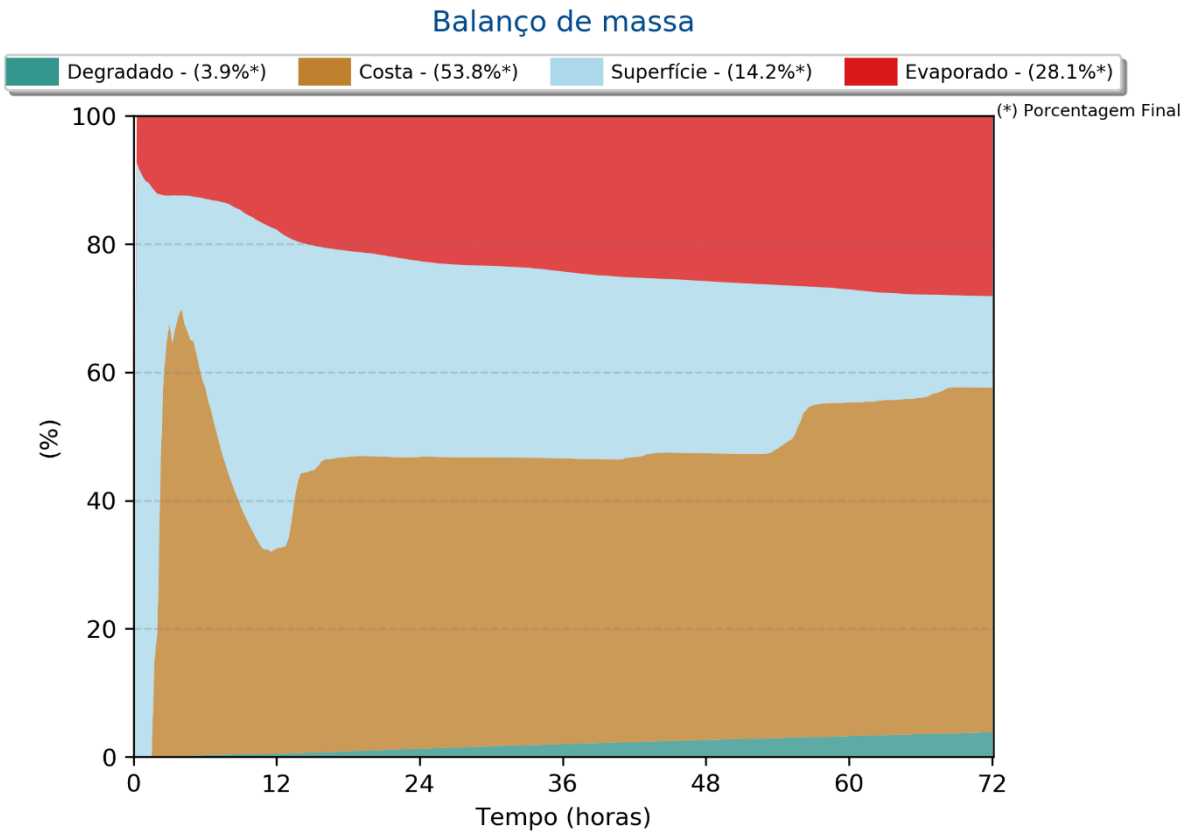


Figura 34 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

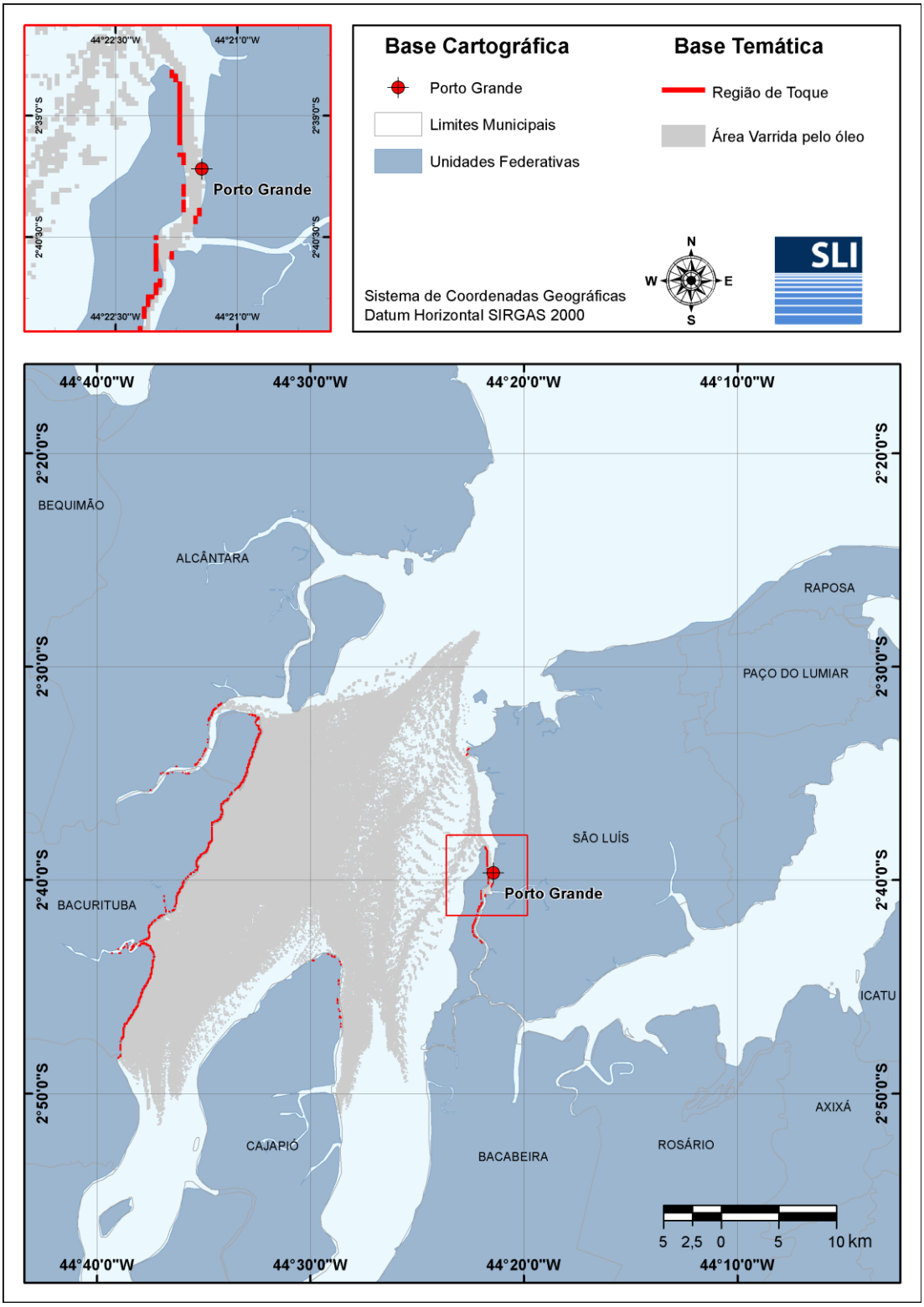


Figura 35: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 200,0 m³ (PC) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca

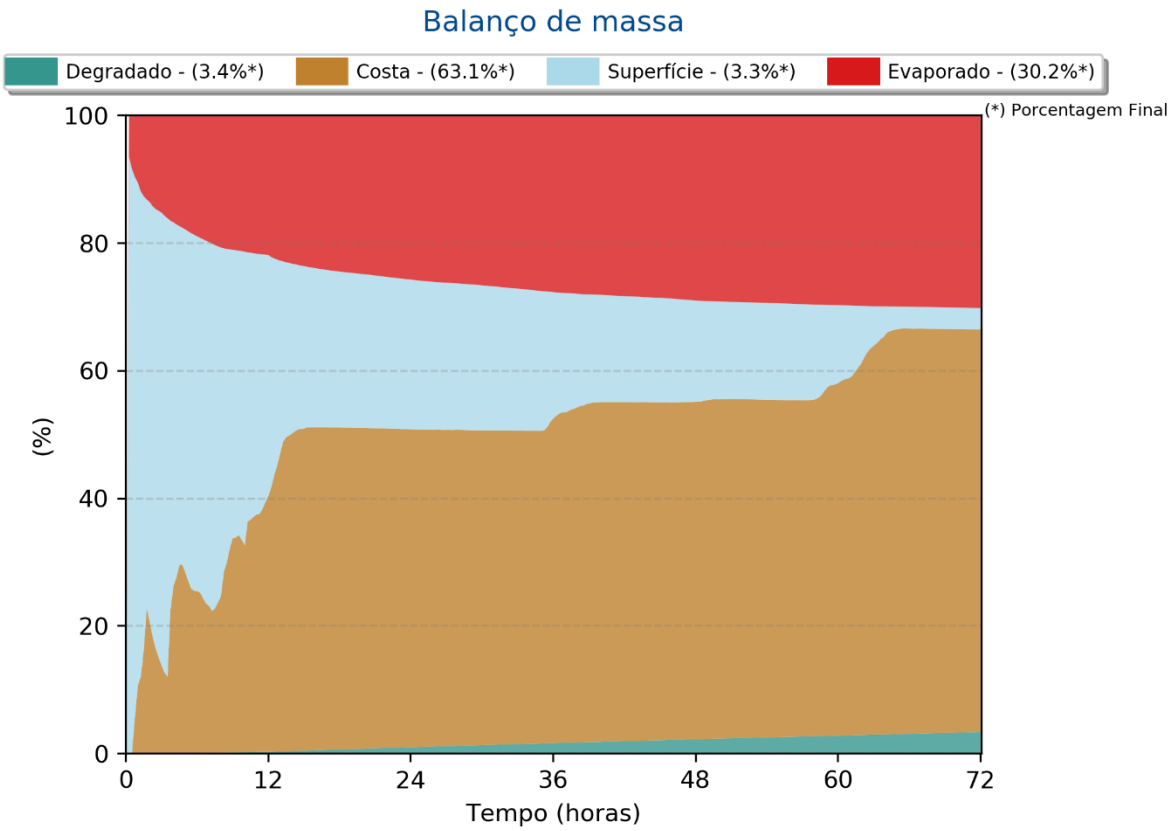


Figura 36 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

1.12.1.2 Volume pequeno (8,0 m³)

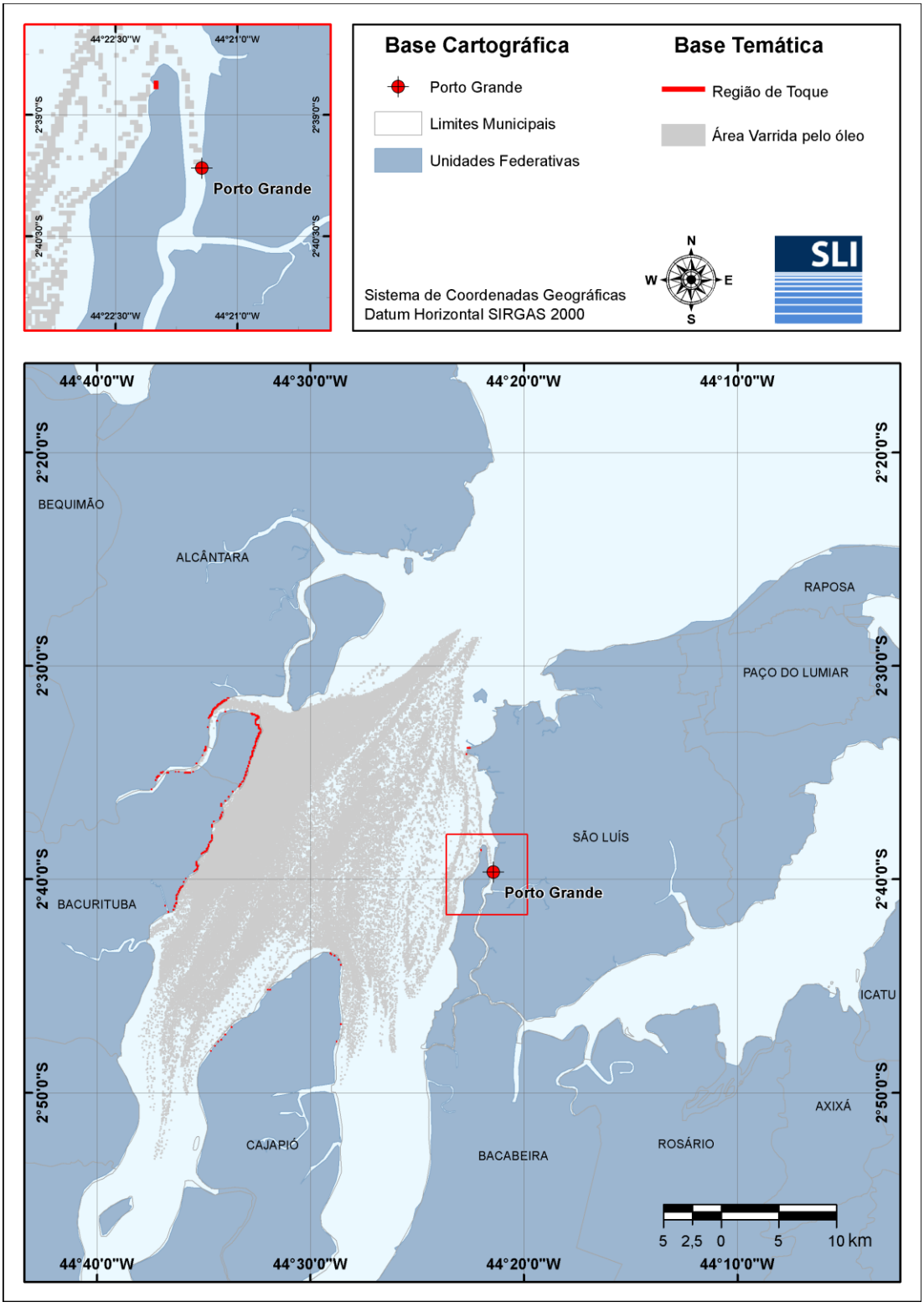


Figura 37: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de cheia.

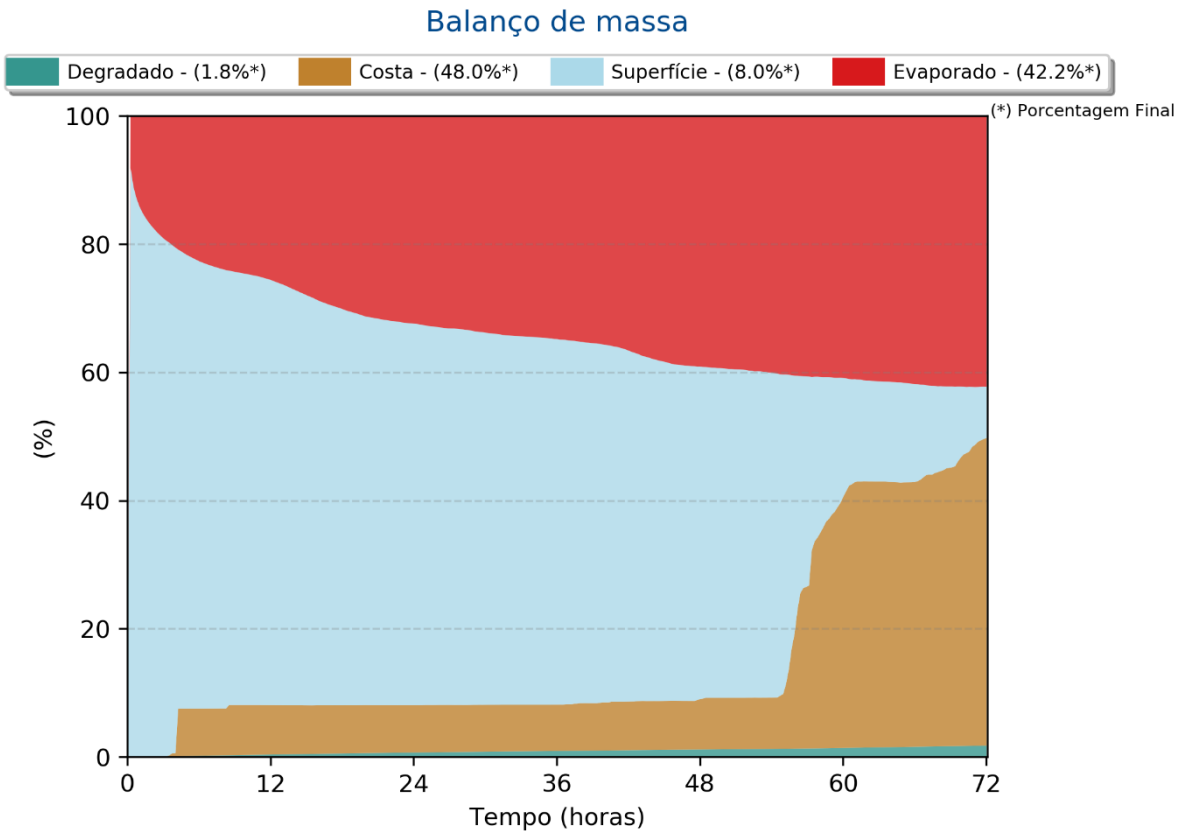


Figura 38 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

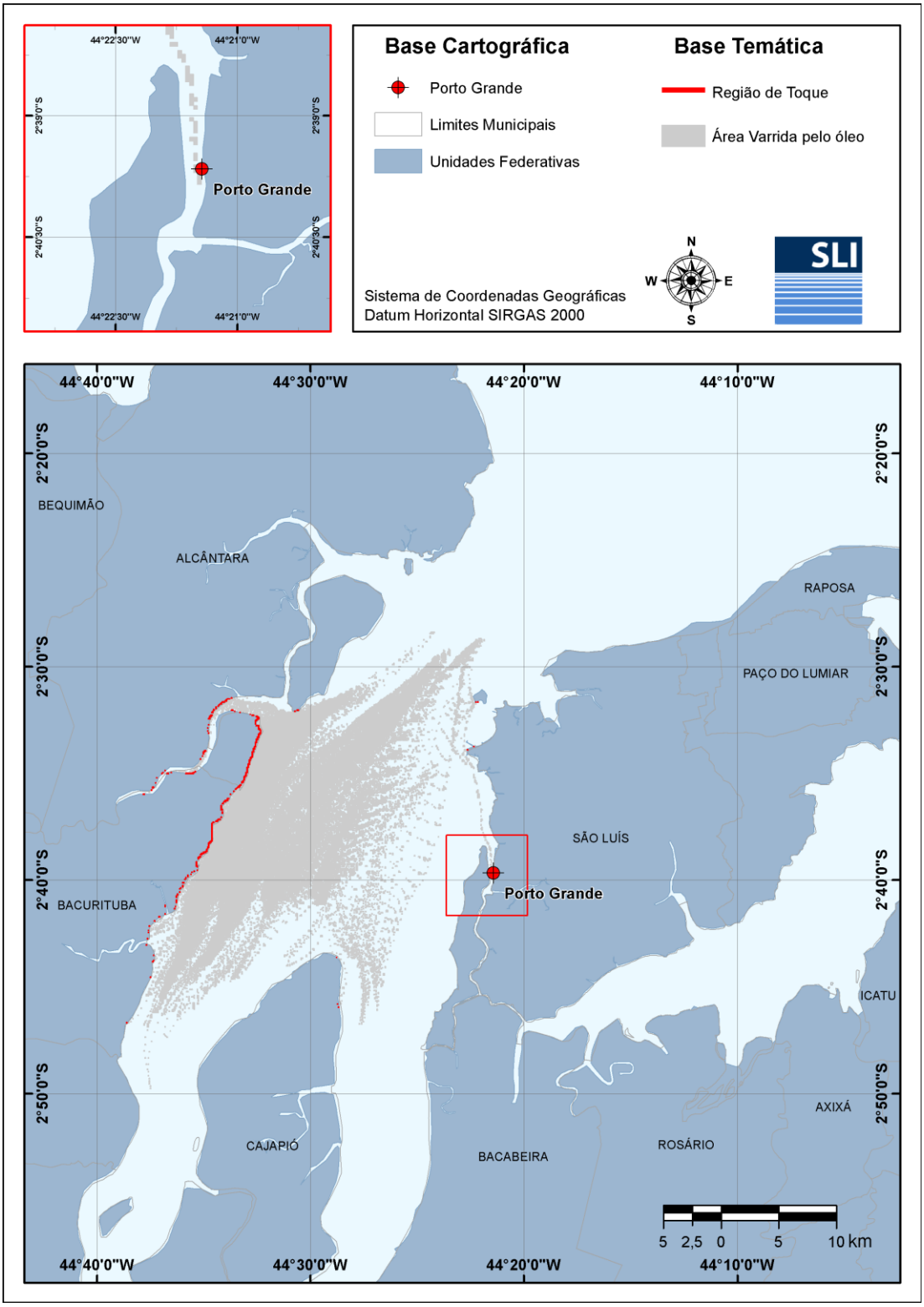


Figura 39: Área Varrida pela mancha de óleo ao longo de toda a simulação, com destaque em vermelho para as regiões da costa ao qual houve encalhe/retenção de massa de óleo, para um vazamento hipotético de 8,0 m³ (pequeno) de Óleo Diesel, a partir do Porto Grande durante o mês de seca.

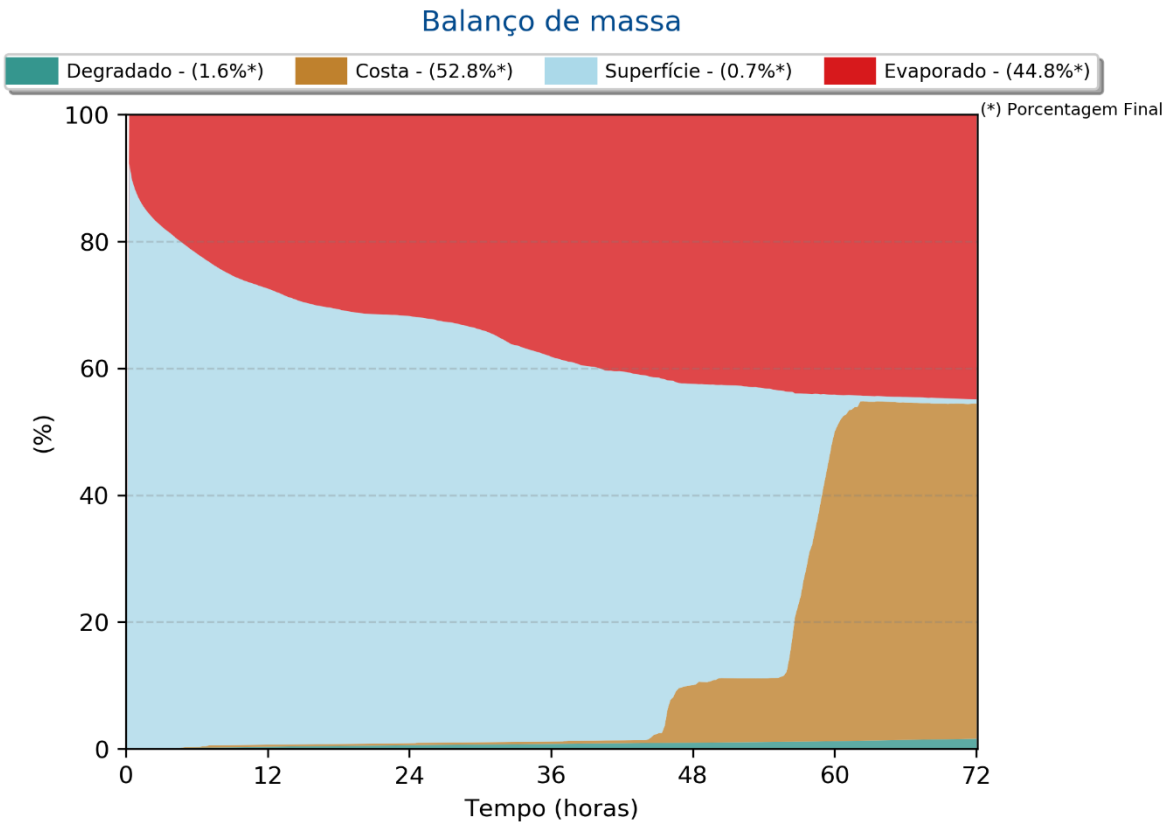


Figura 40 Balanço de massa para o cenário apresentado acima.

2 CONSIDERAÇÔES FINAIS

A **SLI Coastal Solutions** foi contratada pela ***Empresa Maranhense de Administração Portuária – EMAP*** para realizar um estudo de modelagem numérica do derrame, dispersão e transporte de óleo para acidentes durante as atividades desempenhadas no Porto Grande em São Luís, MA. Tendo por objetivo avaliar os impactos gerados por um vazamento de óleo hipotético acidental ocorrido nas proximidades do empreendimento, de modo a subsidiar o plano de emergência do licenciamento ambiental do mesmo.

As simulações foram conduzidas de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº398/2008, que define 2 (duas) classes de derramamento: pequeno, com um volume de até 8 m^3; e de pior caso (200,0 m^3), definido de acordo com as características das operações, podendo ser o rompimento do mangote, naufrágio da embarcação ou perda de controle do poço (quando aplicável).

Devido às características do empreendimento estudado, foram simulados 2 volumes de derramamento: 8,0 m^3 e 200,0 m^3 sendo o último correspondente ao cenário de pior caso definido como o naufrágio e vazamento de toda capacidade do tanque do navio para o produto do Óleo Diesel. Foi considerado o óleo *Balder Blend, 2010* no modelo para representar o Óleo Diesel.

As simulações foram conduzidas em modo probabilístico e determinístico, considerando os períodos sazonais de cheia (mês de março) e seca (mês de setembro) e suas variabilidades meteorológicas e oceanográficas. Com o objetivo de prever o pior cenário possível de ocorrer, não foi considerado qualquer sistema de controle ou ação de resposta aos vazamentos nas simulações, tais como uso de barreiras de contenção, *skimmers* e dispersantes, em um período de 72 horas após o vazamento.

Para a geração das bases hidrodinâmicas representativas de ambas sazonalidades foi utilizado o modelo numérico Delft-3D, desenvolvido pela Deltares (Delft Hydraulics – Holanda), considerado a ferramenta mais avançada na atualidade para simulações de ambientes costeiros, estuarinos e fluviais (SLI, 2018a). Para a simulação dos processos de dispersão foi utilizado o módulo Oil Spill Contingency And Response (OSCAR) do MEMW desenvolvido pela SINTEF (ANEXO A.II), modelo que calcula os processos advectivos e dispersivos de vários tipos de óleos derramados no mar.

Os resultados da modelagem numérica de dispersão de óleo indicam que o vento é o fator predominante no processo de dispersão de óleo para as regiões à oeste e sudoeste do terminal da Porto Grande, quando este não fica aprisionado dentro do Estreito dos Coqueiros. O óleo não escapa a baía de São Marcos devido a maré, e conjuntamente a ação dos ventos de leste e nordeste. Em geral, o espalhamento é maior nos cenários de Seca, devido a uma menor variabilidade de direção do vento, e maior intensidade das direções mencionadas acima, fazendo com que este chegue na margem oeste da baía de São Marcos em menor tempo. Outro ponto importante é a colaboração de cisalhamento do vento, responsável pelo transporte de energia do vento para o óleo, além das frações finas, das emulsificações destas.

Os resultados das simulações de dispersão de óleo para vazamentos no terminal mostram que há grandes probabilidades de o óleo ficar aprisionado na região próxima ao porto (Estreito dos Coqueiros e rio dos Cachorros), e sendo transportado com baixa probabilidade para área no interior da baía de São Marcos e consequentemente municípios.

Por fim, reitera-se em nenhum cenário simulado considerou ação de resposta ou contenção do óleo derramado durante o período de simulação.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amante, C. and B.W. Eakins, 2009. **ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis**. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M. Disponível em: https://data.nodc.noaa.gov/. Acesso em: 07/12/2018.

BLOKKER, P.C., 1964. **Spreading and evaporation of petroleum products on water.** Antwerp: in Proceedings of the Ninth International Harbour Conference.

Centro de Pesquisas em Recursos Minerais (CPRM) e Agência Nacional de Petróleo (ANP). 2013. Acordo de Cooperação técnica. Projeto Batimetria. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Marinha/Projeto-Batimetria-3224.html. Acesso em: 07/12/2018.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2008). **Resolução n° 398 de 11/06/2008.** Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 07/12/2018.

Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dhn/. Acesso em: 28/03/2018.

ELLIOTT, A.J., HURFORD, N. and PENN, C.J., 1986. **Shear Diffusion and the Spreading of Oil Slicks.** Mar.Pollut. Bull., 17 (7), 308-313.

FAY, J.A., 1971. **Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. Washington D.C**.: in Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills, pp 463-468, American Petroleum Institute.

FORRESTER, W.D, 1986. Distribution of suspended oil particles following the grounding of the oil tanker Arrow. J. Mar. Res. 29,151-170.

IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis), 2016. Mapeamento Ambiental para Resposta à Emergência no Mar – MAREM: Banco de Dados Geográficos. Rio de Janeiro, 2016. Escala indeterminável. Disponível em: <http://www.marem-br.com.br/>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

KANAMITSU et al., 2002. **NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2)**. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 83(11), p. 1631-1643

LEHR, W.J., FRAGA, R.J., BELEN, M.S. and CEKIRGE, H.M., 1984. **A New Technique to Estimate Initial Spill Size Using a Modified Fay-type Spreading Formula**. Mar. Pollut. Bull., 15

(9), 326-329.

LESSER, G.R.; ROELVINK. J.A.; VAN KESTER, J.A.T.M.; STELLING, G.S. 2004. **Development and Validation of a Three-Dimensional Morphological Model.** Coastal Engineering. Vol. 51. P. 883-915.

LUNEL T., 1993. **Dispersion. Oil droplet size measurements at sea**. pp 1023-1056. Proceedings 16th Arctic and Marine Oil Spill Technical Seminar. Environment Canadá.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Cartas de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de Óleo (Cartas SAO). Bacia Sedimentar Marinha do Pará-Maranhão/Barreirinhas, 2017. Disponível em: http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo/. Acesso em: 15 Maio de 2019.

Pond, S.; Pickard, G., 1978.Introductory Dynamical Oceanography, 1ª. Ed, Oxford: Pergamon Press Ltd

PETROBRAS, 2011. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ).** Produto: Óleo Combustível Marítimo BUNKER C. Nº FISOQ: BR0350. 10 p.

Reed, M and coauthors, 2001. **Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000**. Proceedings of 2001 International Oil Spill Conference – Tampa, Florida. SINTEF Applied Chemistry. Department of Environmental Engineering. Trondheim, Norway

SAHA and coauthors, 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. Journal of Climate, 27, 2185–2208. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1

SLI Coastal Solutions, 2018a. Relatório Técnico número 1050002-RL-M-0003-B108-Rev00. Rev. 00.173p.

SLI Coastal Solutions, 2018b. Relatório Técnico número 1050002-RL-M-0004-B100-Rev00. Rev. 00.88p.

THORPE S.A., 1984. On the determination of Kv in the near-surface ocean from acoustic measurements of bubbles. J. Phys. Oceanogr. 14, 855-863.

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

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

VIANA, T.V.A.; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R.R.; MOREIRA, L.G.; AZEVEDO, B.M.; VIANA, S.S.A. Análise estocástica dos déficits e dos excedentes hídricos mensais em Fortaleza, CE. Revista Ciência Agronômica, v.36, n.3, p.391-395, 2005

A.I Anexo I – Análise das Condições Meteorológicas e Oceanográficas Iniciais para os cenários determinísticos

Óleo Diesel

Volume de Pior Caso

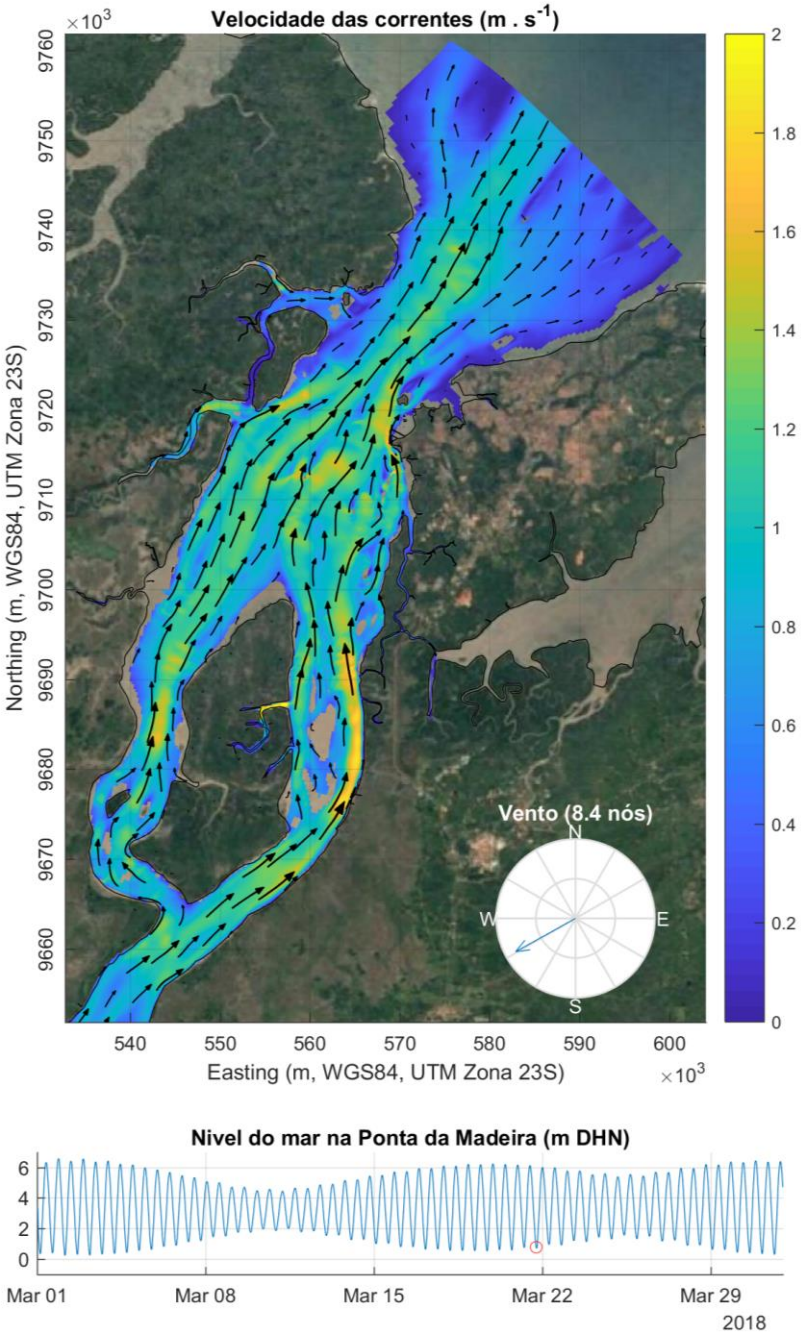


Figura I.A 1 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto Óleo Diesel no período da Cheia.

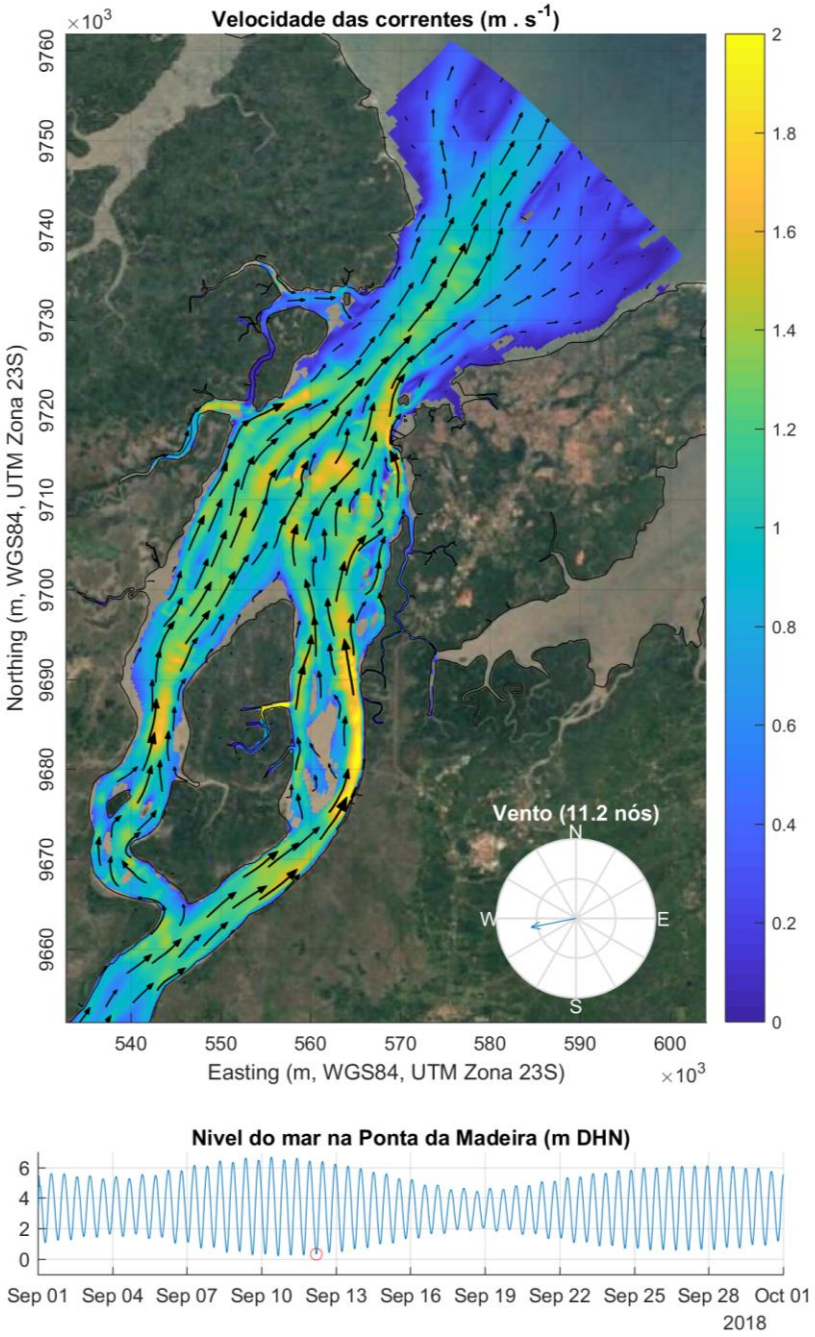


Figura I.A 2 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume de Pior Caso do Produto Óleo Diesel no período da Seca.

Volume Pequeno

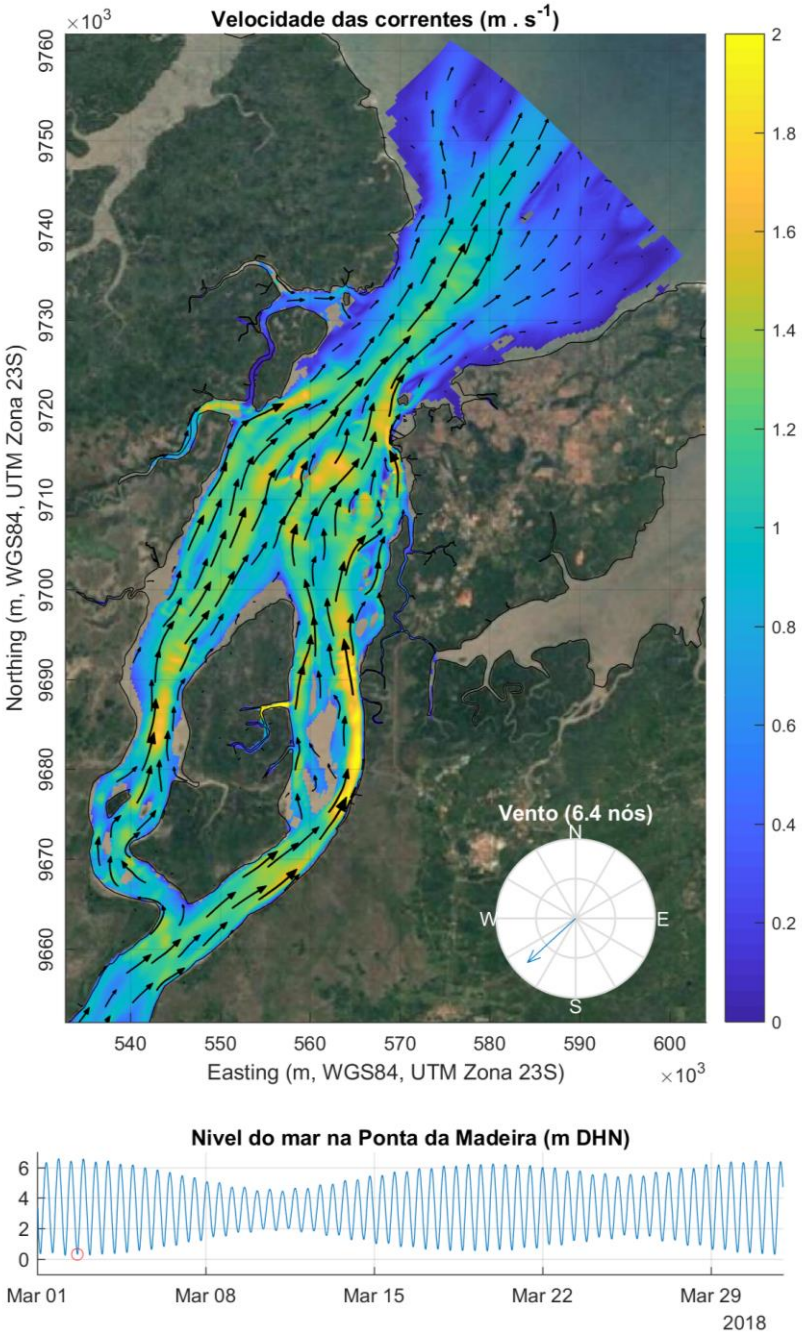


Figura I.A 3 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto Óleo Diesel no período da Cheia.

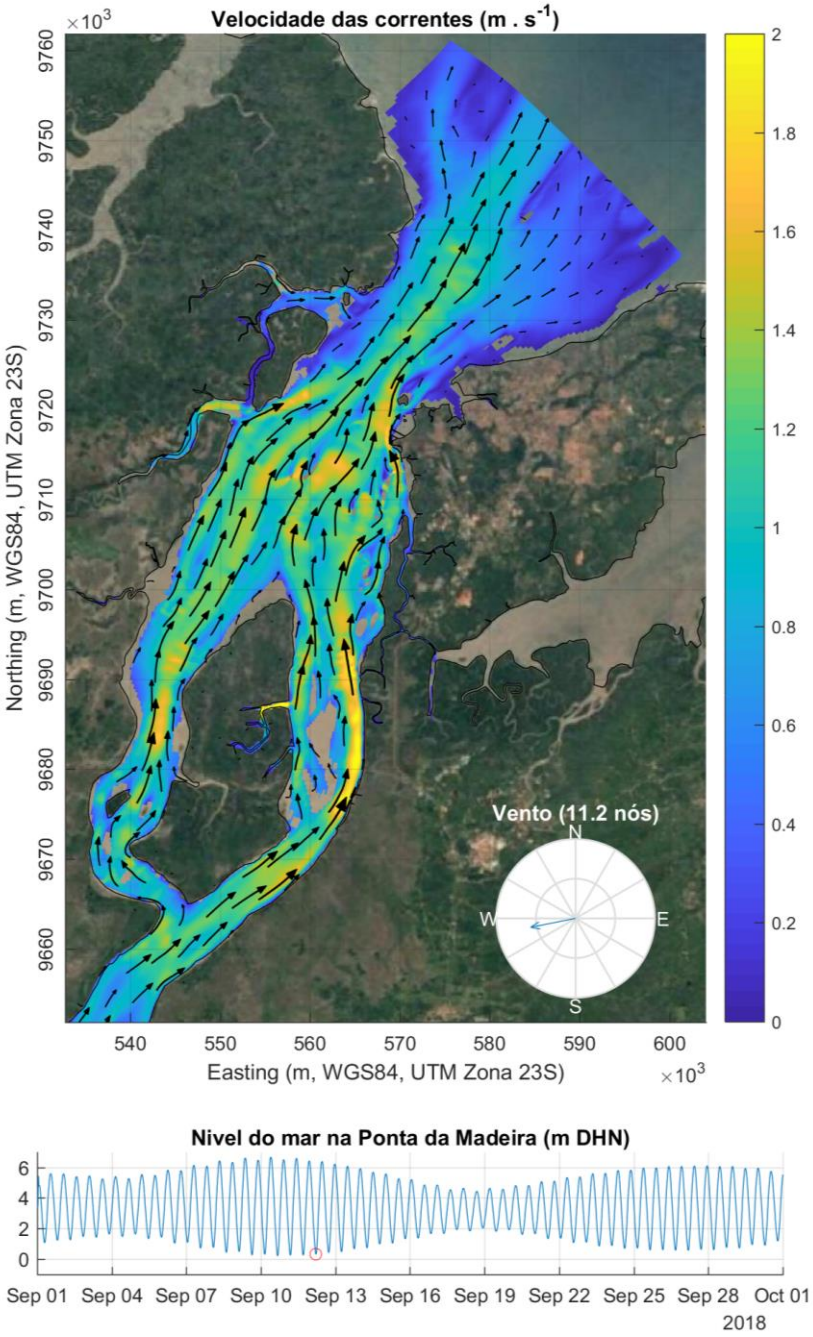


Figura I.A 4 - Condição Inicial para a simulação determinística de maior extensão para o volume pequeno do Produto Óleo Diesel no período da Seca.

A.II Modelo de Transporte e Dispersão de Óleo – OSCAR

A.II.1 Descrição

De acordo com a SINTEF (2019), o *framework* do MEMW (Marine Environmental Modelling Workbench) é usado para a realização de modelagem, análises e apresentação de serviços e atividades ligadas ao descarte de materiais no ambiente marinho. O MEMW possui alguns modelos internos, apresentados na Figura A.II.1, e neste documento focaremos no modelo OSCAR.

O nome OSCAR provém da abreviação *Oil Spill Contingency and Response,* o modelo foi desenvolvido no intuito de dar suporte a emergências, planos de contingência e amparo a tomada de decisões em casos de acidentes envolvendo derrames de petróleo, sejam estas em curso para instalações offshore como plataformas, transporte em navios tanques (petroleiros), terminais, portos e refinarias costeiras.

O OSCAR é o modelo de derramamento de óleo de última geração executado sob o sistema operacional Windows. Sendo um modelo tridimensional de resposta e contingência de derrames de petróleo para análise de estratégias de resposta alternativas, uma base para avaliações de impacto ambiental quantitativas e abrangentes no ambiente marinho. O modelo é projetado para indicar efeitos potenciais na coluna de água com verossimilhança pelo menos igual àquela alcançada na superfície da água e ao longo das linhas de costa (REED et al., 1999; Reed et al., 2004a; Reed et al., 2006).

Os componentes chave do sistema (baseado em dados) são:

1. Um modelo de intemperismo de óleo;
2. Modelo 3-D de trajetória do óleo e destinos químicos (*chemical fates*);
3. Modelo de combate ao derrame de óleo;[7]
7. Modelo de exposição para peixes e ictioplâncton, pássaros, e mamíferos marinhos;[7]
4. Ferramentas para taxa de exposição com polígonos em GIS (delineando, por exemplo, áreas sensíveis de recursos ambientais);
5. Além disso, o OSCAR é também acoplado ao modelo DeepBlow, desenvolvido e calibrado para simulações de *blowout* em águas profundas e rasas (Johansen, 2000 *apud* Reed, 2004a).

[7] Não utilizado neste estudo.

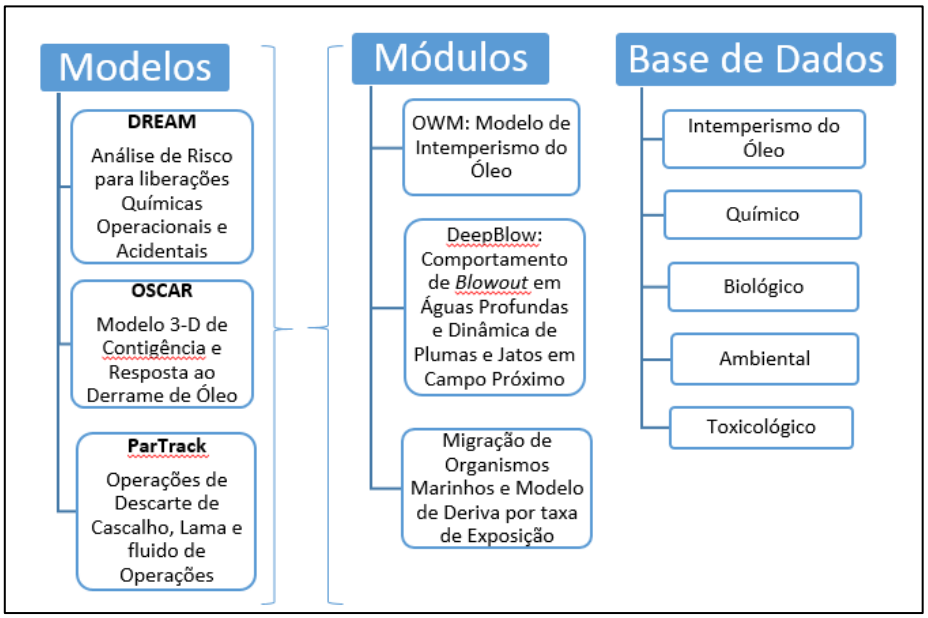


Figura A.II.1 - Modelos, módulos e base da dados operando no MEMW (Marine Environmental Modelling Workbench / SINTEF).

Este modelo emprega algorítimos de espalhamento superficial, advecção, entranhamento, emulsificação, e volatilização para determinar o transporte e destino na superfície (Figura A.II.2). Na coluna d'água, advecção e dispersão horizontal e vertical de entranhamento e hidrocarbonetos dissolvidos são simulados de forma randômica. O particionamento entre estados particulados adsorvidos e dissolvidos é calculado com base na teoria do equilíbrio linear (Reed *et al*., 1999). A fração contaminante que é adsorvida pra material particulado em suspensão sedimenta com as partículas. Contaminantes no fundo são misturados entre as camadas de sedimentos, e podem dissolver novamente para a água. Degradação na água e sedimentos são representados como processos com decaimentos de primeira ordem (REED et al., 1996).

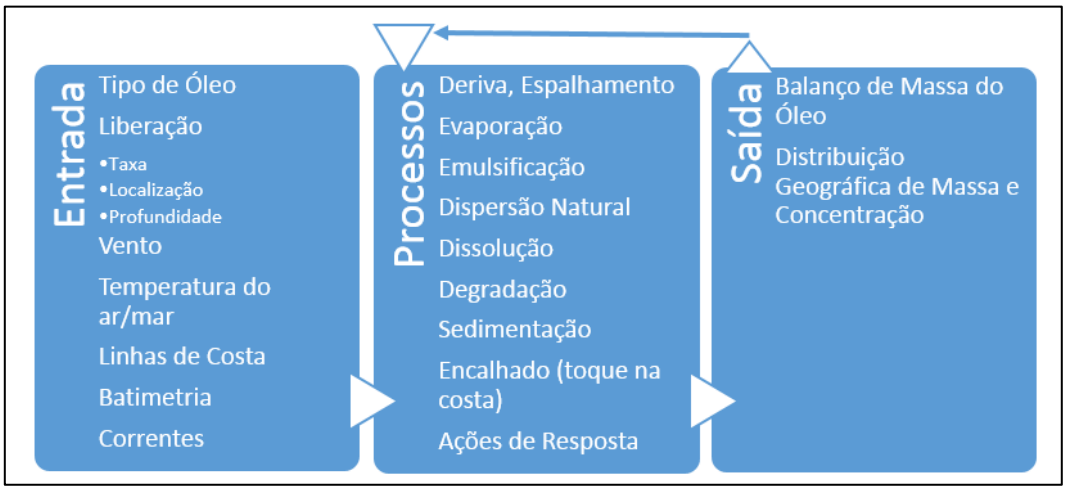


Figura A.II.2 - Visão esquema de entrada, saída e processos internos do OSCAR.

O modelo usa partículas para computar o transporte, comportamento e efeito de poluentes liberados no ambiente. Algumas partículas são estritamente Lagrangeana, no sentido de serem transportadas pela água no entorno. As partículas que representam gotículas na coluna d'água são "pseudo-

lagrangeana", visto que seu movimento também está sujeito a um crescimento ou estabilização de velocidade vertical superimposta nos movimentos de advecção e turbulência da água no entorno (SINTEF, 2019).

Todas as partículas no modelo têm uma componente estocástica ou probabilística em seu movimento cujo conta para turbulência no (escala) sub-grid. Essa etapa do transporte usa números amostrados aleatoriamente. Ou seja, duas simulações do mesmo cenário não irão produzir exatamente os mesmos resultados, se o gerador de número randômico do sistema for iniciado em uma "semente" inicial diferente (SINTEF, 2019).

A maioria dos processos que ocorrem no modelo dependem da área da mancha de óleo. Uma mancha que cobre uma grande área estará sujeita a um maior número de quebra de ondas, e assim, dispersará mais rapidamente que uma mancha mais espessa contendo a mesma quantidade de óleo. Além disso, o processo de evaporação será mais rápido quando o óleo for espalhado por uma área maior. O tamanho da mancha também determina a eficácia das ações de resposta a derramamentos de óleo. Em outras palavras, o modelo que estima a taxa na qual uma mancha de óleo se espalha influenciará os resultados dados pela maioria dos submodelos (AAMO *et al.,* 1997).

A.II.2 Formulação

As formulações adotadas no modelo estão sumarizadas a seguir.

Espalhamento

O espalhamento passivo do óleo na superfície do mar envolve diversas interações entre as forças de gravidade, momento e viscosidade. Para a representação do espalhamento transversal de uma mancha de vazamento contínuo, o OSCAR utiliza a equação unidimensioal:

$$X_{LE} = C_0 \left(\frac{g\Delta\rho}{\rho_w}\right)^{1/4} \frac{m^{1/2}}{(\rho_w \mu_w)^{1/8}} t^{3/8}$$

Onde

X_{LE} = largura da seção principal da mancha (m)

g = aceleração gravitacional (m/s²)

$\Delta\rho$ = diferença de densidade entre água e óleo (kg/m³)

ρ_w = densidade da água (kg/m³)

μ_w = viscosidade da água (cP)

m = taxa de liberação da massa/corrente superficial (kg/m)

C_0 = constante de espalhamento

Essa equação representa o regime de gravidade-viscosidade no processo de espalhamento, sendo utilizado então, apenas para a porção espessa da mancha de óleo. No modelo, o espalhamento cessa quando a mancha atinge uma espessura mínima, dependendo do tipo de óleo em questão (AAMO et al., 1997).

Evaporação

A taxa de vaporação é controlada pela pressão de vapor dos componentes individuais do óleo e suas frações molares em qualquer localização da macha superficial, e calculada com a seguinte formulação (MACKAY *et al.*, 1980; REED *et al.*, 1999).

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{K_e P_i A M_i F_i}{(RT)}$$

Onde:

m_i = massa associada ao *i*-ésimo componente do vazamento

t = tempo em segundos (s)

K_e = coeficiente de transferência de massa evaporada (m/s)

T = temperatura em Kelvin (K)

P_i = pressão de vapor para o *i*-ésimo componente (atm)

A = área da mancha de óleo (m^2)

M_i = peso molecular do *i*-ésimo componente (g/mol)

F_i = fração molar do *i*-ésimo componente remanescente na mancha

R = constante universal dos gases (8,206 x 10^{-5} atm-m^3/mol-k).

Sendo o coeficiente de transferência de massa (K_e) dependente do vento, este é calculado através de

$$K_e = C_d U(t)$$

E, C_d representa o coeficiente de arrasto entre ar/mar e, $U(t)$, a velocidade do vento (m/s). O coeficiente de arrasto (C_d) é calculado em função da velocidade do vento, obtido através de:

$$C_d = \left(\frac{U^*}{U(t)}\right)^2$$

Por sua vez,

$U^* = CU(t)$, quando $U(t) < u_1$

$U^* = Cu_1 + (Du_2 – Cu_1) \cdot [(U(t) – u_1)/(u_2 – u_1)]$, quando $u_1 \leq U(t) \leq u_2$

$U^* = DU(t)$, quando $U(t) > u_2$

Sendo as constantes: C = 0,0323; D = 0,0474; u_1 = 7; e u_2 = 20.

Dispersão

O modelo de dispersão usado para previsão do entranhamento do óleo da superfície, descrito em Reed et al. (1992 *apud* Reed *et al*, 2004b), é baseado na formulação empírica de Delvigne e Sweeney (1988 *apud* Reed *et al.,* 2004b):

$$Q_{di} = C^* D^{0.57} S F_{bw} d_i^{0.7} \Delta d$$

Onde:

Q_{di} = taxa de entranhamento por unidade de área de gotículas de óleo com diâmetro na faixa entre $d_i - \Delta d$ a $d_i + \Delta d$ (kg/m²s);

C^* = coeficiente de entranhamento derivado empiricamente;

D = energia de onda dissipada por unidade de área (kg/s²)

S = fração da superfície do mar coberta pelo óleo

F_{bw} = fração da superfície do mar coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo (1/s)

d_i = diâmetro médio de partículas na classe de tamanho *i* (m)

Δd = intervalo do diâmetro da partícula (m)

O coeficiente empírico C* é uma função da viscosidade do óleo: $C^* = 4450\,\nu^{-0.4}$. Onde *v* é a viscosidade cinemática (m²/s).

A energia dissipada da onda é aproximada como: $D = 0.0034\rho_w\, g H_b^2$. Onde ρ_w é a densidade da água (kg/m³), *g* é a aceleração da gravidade (m/s²) e H_b é a altura de quebra da onda (m).

A fração *F* da superfície da água coberta pela arrebentação de ondas é aproximadamente como (Monahan e O'Muircheartaigh, 1980 *apud* Reed *et al.*, 2004b): $F = 3 \cdot 10^{-6} U(t)^{3.5}$. Onde *U(t)* é a velocidade do vento (m/s).

A fração coberta pela arrebentação das ondas por unidade de tempo F_{bw} (s^{-1}) é encontrado dividindo *F* pelo período médio da onda: $F_{bw} = F / T_m$. Onde T_m é o período médio da onda computado da velocidade do vento, profundidade da água e *fetch* (área da pista de ação do vento).

O tamanho das partículas é dado por $d_0 = \frac{C_0 \nu^{0.34}}{\sqrt{e}}$. Sendo *v* é a viscosidade cinemática (m²/s), e é a taxa de dissipação de energia (geralmente 1000 J/m³s). C_0 é, aproximadamente, 500 para o menor tamanho da partícula e 3400 para o maior tamanho da partícula.

As gotículas são divididas em 10 intervalos entre 0 e o tamanhos limite das gotas.

Dissolução

Assim como a evaporação, a dissolução é dependente da fração molar de cada componente em uma gota ou uma mancha superficial. Além disso, o ambiente de concentração se torna importante (Reed *et al.*, 2001).

$$dm_i/dt = K_d A\,(F_i S_i - C_i)$$

Onde,

K_d = coeficiente de transferência de massa por difusão (m/s) (dissolution mass transfer coefficient)

A = área superficial para uma gotícula ou mancha superficial (m²)

F_i = fração molar do componente i remanescente na mancha ou gotícula

S_i = solubilidade do *i*-componente (grams/m³; ppm)

C_i = concentração ambiente do *i*-componente (grams/m³)

Para a mancha superficial, o coeficiente de transferência de massa K_d é computado como (Thibodeaux, 1979, *apud* AAMO *et al.*, 1997):

$$K_d = Sh_i D_i / L$$

Para manchas na superfície, a correlação de planície para o número de Sherwood é usado:

Sh_i = Sherwood Number = $0.578\ Re^{0.5}\ Sc_i^{0.33}$, e

Re = Reynolds Number = $U_{rel} L / v_\omega$

Sc_i = Schmidt Number = v_ω / D_i

U_{rel} = velocidade relativa entre o óleo e a água (m/s)

L = largura da mancha (m)

v_ω = viscosidade cinemática da água ≈ 8.9×10^{-7} m²/s a 25°C

D_i = difusividade molecular do componente *i* (m²/s)

Para gotículas, a correlação entre a transferência de massa para esferas é usado para o Número Sherwood:

$Sh_i = 2+0.347\ Re^{0.62}\ Sc_i^{0.31}$

Degradação

Uma vantagem de um modelo de múltiplos componentes com a flexibilidade de definir e adicionar novos componentes é que o modelo pode ser responsável pela transformação de componentes por meio de caminhos de transformação de degradação. A figura a seguir (Figura A.II.3) mostra de forma esquemática como essas transferências são acomodadas no OSCAR 2000, usando hidrocarbonetos alifáticos, por exemplo (REED *et al.*, 2001).

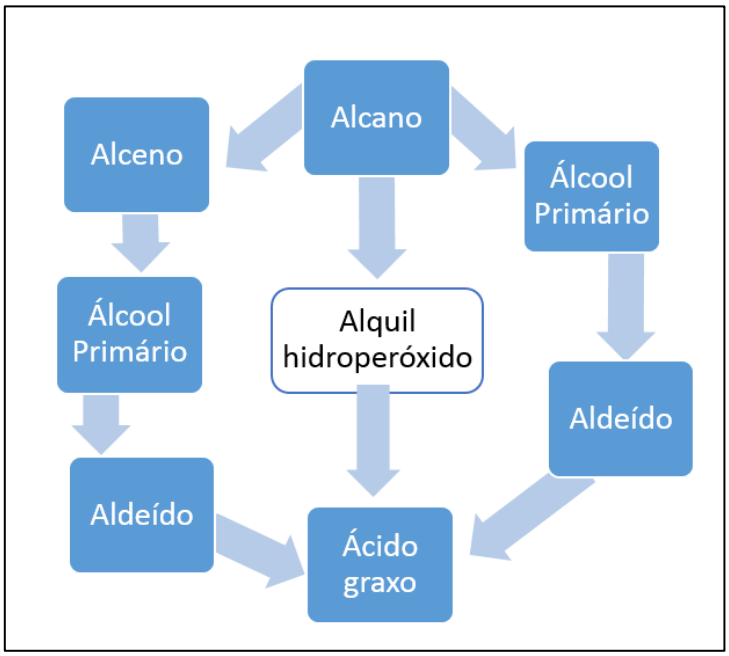


Figura A.II.3 - Caminhos alternativos de degradação para hidrocarbonetos alifáticos. O OSCAR2000 permite a inclusão de caminhos de transferência de degradação, desde que os produtos da degradação possam afetar o meio ambiente.

Emulsificação

No OSCAR, a emulsificação *W(t)* é realizada através de uma regressão exponencial:

$$W(t+\Delta t) = W_m(t) - (W_m(t) - W(t))0{,}5^{\frac{\Delta t}{t_{1/2}}}$$

Onde,

$W_m(t)$ = teor máximo de água (%)

Δt = passo de tempo (s)

$t_{1/2}$ = tempo de meia-vida, dependente do vento para emulsificação (s).

Sendo que a meia-vida de referência t_{ref} (com base em dados de laboratório) para um vento de 10 m/s (em campo) é encontrada em:

$$t_{ref} = Ct_{lab}$$

Onde t_{lab} é a média de valores de meia-vida encontrados em laboratórios para amostras de óleo artificialmente intemperizados (s) e *C* é uma constante empírica. Essa meia-vida de referência é usada para ajustar $t_{1/2}$ para outras velocidades de vento baseada em dados reportados por Cormack (1983, *apud* REED, 2001).

$$t_{1/2} = \left[\frac{1+U_{ref}}{1+U(t)}\right]^2 t_{ref}$$

U_{ref} é de 10 m/s e $U(t)$ é a velocidade do vento (m/s).

W_m como função da fração evaporada é obtida, também, a partir de dados de laboratório, assumindo-se que a quantidade máxima de água é linearmente dependente da fração evaporada e ajustada a uma linha reta de dados disponíveis.

A.II.3 Limitações do modelo

Após a descrição e formulação do modelo, destaca-se algumas restrições e insuficiências na aplicação do modelo:

A.III.3.1 Em relação aos inputs de dados ambientais:

- A grade land/water (grid habitat) selecionada pelo usuário dentro do modelo apresenta uma limitação no número máximo de células. O grid pode ter até mil células em cada um dos dois eixos horizontais, isto é, 1000 no eixo X (longitude) e 1000 no eixo Y (latitude) totalizando até um milhão de células espaciais distribuídas regularmente para representação da mancha de óleo. De toda forma, em águas abertas, regiões offshore, perde-se resolução espacial devido ao grande alcance da dispersão dos produtos derramados, i.e., temos células com extensões de 1 a 3 quilômetros, fazendo com que os contornos costeiros e consequente regiões de encalhe de material, possam perder informação.

- Pode ser utilizado somente um valor de temperatura do ar para realizar os cálculos do intemperismo do óleo ao longo de toda a simulação, ou seja, a temperatura do ar não apresenta variação no tempo e no espaço;

- Pode ser utilizado um perfil com valores únicos de salinidade, temperatura e oxigênio para a coluna d'agua em todo o período para realizar os cálculos do intemperismo do óleo ao longo de toda a simulação, porém, a esses dados não apresentam variação no tempo, período e no espaço. Em fase experimental: pode ser utilizado dados ambientais, em formato netCDF ou GRIB, desde que os metadados estejam no padrão das convenções CF (climate and forecast[8])

A.III.3.2 Em relação aos parâmetros de entrada do modelo:

- Para todo o domínio espacial adotado no modelo, o coeficiente de arrasto de vento em águas abertas é constante e determinado no início da simulação, sendo o mínimo recomendável de 3,5% (SINTEF, 2019);

- Apesar de não haver uma limitação do número de camadas em Z, quão maior o uso, temos um alto impacto no processamento do modelo, sendo determinado o número, o modelo separa uma primeira camada de até 2m, e equidista as demais de acordo com profundidade máxima estipulada;

- Após apresentado a formulação acima, é válido ressaltar ser impossível ajustar o fator de dispersão horizontal;

- O modelo demonstra partículas na superfície e coluna d'agua, porém não é possível visualizar/separar qual é a parcela do óleo particulado de seu material dissolvido.

[8] CF conventions: http://cfconventions.org/

- Apesar de permitir o uso máximo de 30.000 partículas, não se recomenda o uso deste valor. Podendo o modelo apresentar erro e interromper as demais simulações. Para o limite inferior, recomenda-se um mínimo de 50;

- O Campo de correntes utilizado (ou importado) no modelo precisa ter grade regular, independente do modelo hidrodinâmico ter grade regular ou curvilínea.

A.III.3.3 Em relação aos dados e resultados do modelo:

- Não são todos os dados apresentados em tela, ou visualizados no programa, usa-se de compilação dos resultados (arquivos textuais em formato ASCII), pós-processamento com rotinas e necessários a tradução dos termos para apresentação junto aos órgãos ambientais.

- As normas técnicas exigem que apenas sejam apresentados resultados da mancha de óleo com espessuras mínimas de 300 nanômetros (nm) ou 0,0003 milímetros (mm), a qual apresenta sua iridescência (efeito visual similar ao arco-íris) para resultados na superfície d'agua e até 20 ppb de concentração do material para a coluna d'agua. Este limite é apenas aplicado como um corte no pós-processamento do modelo, e estatisticamente pode subestimar a zona ou área do impacto (SINTEF, 2019). Como não existe uma maneira de rodar as simulações com um limite pré-estabelecido, e re-calcular no pós-processamento sem este corte (i.e. colocando o limite de espessura zero posteriormente), adota-se não inferir o corte para as simulações probabilísticas. Esta abordagem, é tomada pois é solicitado por órgãos ambientais que a modelagem seja feita sem a aplicação deste limite mínimo de espessura, tentando obter o resultado mais conservativo, e o tempo de simulação de alguns cenários ser demasiado extenso, levando a atrasos nos processos de licenciamento, ademais preserva-se os resultados da modelagem sem corte para necessidade de comparação futuramente, se assim necessário.

- Quando executados estes "cortes", pode haver diferenciação no balanço de massa entre resultados na superfície d'agua, coluna d'agua e na linha de costa, inclusive comparar estas trocas devido aos cálculos independentes de cada um destes ambientes.

- Para os cenários determinísticos apenas é possível exportar os resultados em shapefile de determinados instantes de tempo, um de cada vez, promovendo um longo tempo.

Referencias Bibliograficas

AAMO, O.M.; K. DOWNING & M. REED, 1996. **Calibration, verification and sensitivity analysis of the IKU Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) model system.** Technical Report 42.4048.00/01/96, IKU, Norwegian.

AMMO, O. M. *et al.* 1997. **Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System: sensitivity studies**. International Oil Spill Conference. 11p

Mackay, D., I. Buist, R. Mascarenhas, and S. Paterson, 1980. **Oil spill processes and models**. R&D Division, Environmental Protection Service, Ottawa, Ontario, Canada. Report EE-8, 94pp

REED, M. *et al*. 1999. **Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Analysis in Support of Environmental Impact Assessment Offshore Namibia.** Spill Science & Technology Bulletin. Vol. 5. No. 1. p. 29-38. 1999.

REED, M., SINGSAAS, I., DALING, S. P., FAKSNES, L. 2001. **Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000**. Proceedings of 2001 International Oil Spill Conference. Tampa, Florida. 18p

REED, M. *et al*. 2004a. **SINTEF Oil Weathering Model User's Manual**. 47p. 2004.

REED, M. *et al*. 2004b. **A Nowcast-Forecast System for Oil Spill Response Support in Prince William Sound, Alaska**. 11p. 2004

REED, M. *et al*. 2006. **Nowcast-Forecast Oil Spill Model for the Eastern Mediterranean BOTAS Oil Terminal**. 16p. 2006.

SINTEF. 2019. **Marine Environmental Modelling Workbench (MEMW) User's Manual, version 11.0.0**. 211p. Trondheim, Norway.

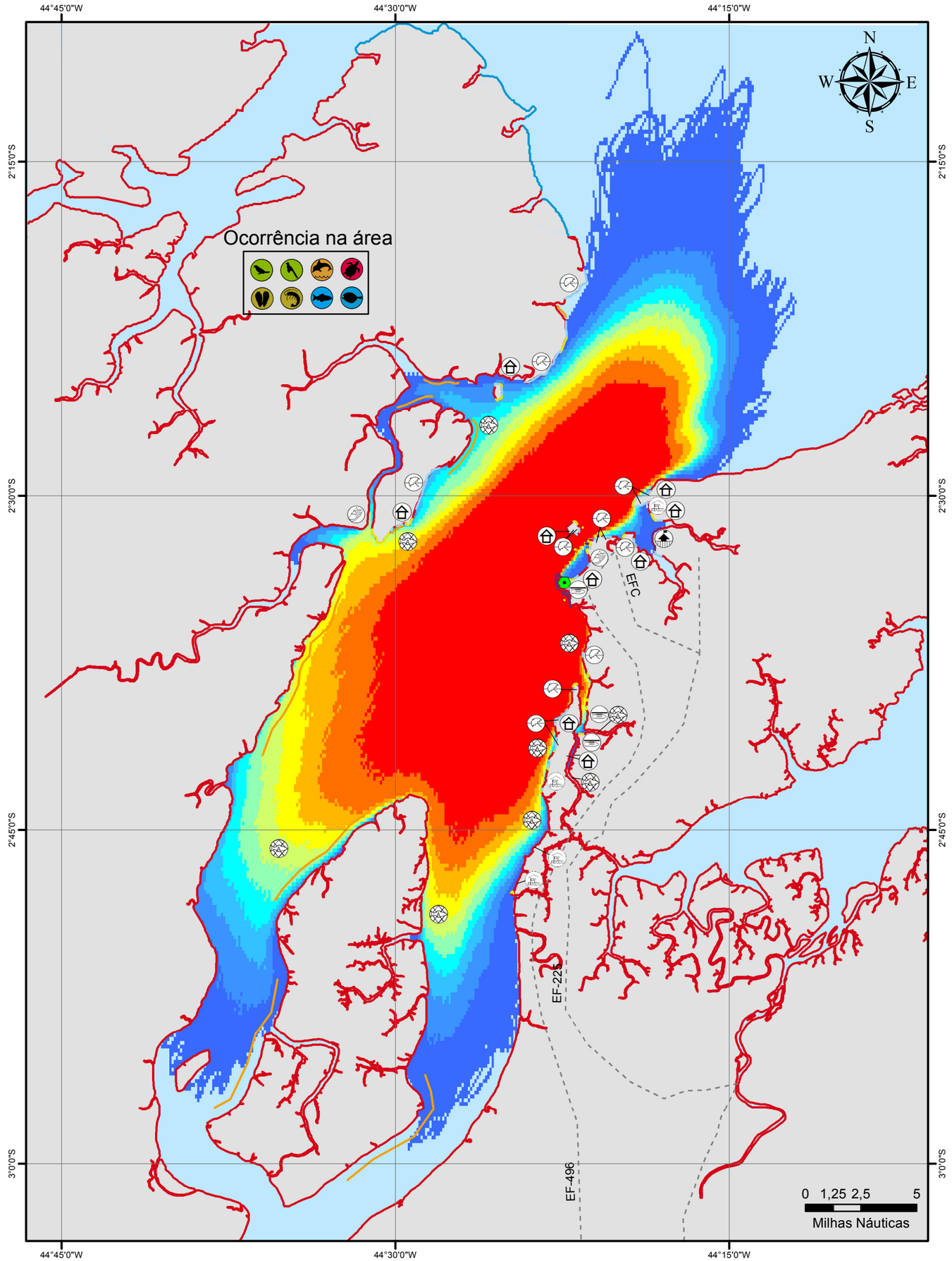
A.III Resumo dos dados de entrada no Modelo

Parâmetros	Valor de entrada (OSCAR)	
Coordenadas do Ponto de Modelagem (SIRGAS2000)	Porto Grande (PGOD): 2°39'39.55"S 44°21'26.06"W	
Profundidade Local	Descrito em SLI 2018a	
Profundidade do Derrame	Os cenários tiveram seu lançamento na superfície da água (0m)	
Tipo do Óleo (verificar Item 1.4)	Óleo Diesel – API 31,9	
Linha de Costa e Batimetria	verificar Item 1.7	
Tipos de Costa	verificar Item 1.7	
Volumes de Derrame	Volume Pequeno: 8,0 m³ Volume de Pior Caso: 200,0 m³	
Duração do Vazamento	Instantâneo (pequeno) e 12 horas (pior caso)	
Duração da Simulação	72 horas	
Passo de Tempo	15 minutos	
Intervalo de Saída	15 minutos	
Número de Partículas	Volume Pequeno: 1.000,0	
	Volume de Pior Caso: 6.000,0	
Número de células da grade Land/water	690 por 950 (X e Y), total de: 655500	
Discretização vertical (n° de Camadas)	Apenas uma (SLI, 2018a)	
Período da Simulação	**CHEIA**	**SECA**
	Março	Setembro
Temperatura da Água (°C)	26	28
Temperatura do Ar (°C)	25	26
Coeficiente de Arrasto do Vento (%)	3,5	

ANEXO V

Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo (Carta SAO)

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 10.000 m³ de Óleo MF-380 no Berço 105 (P1) - Porto do Itaqui (Cheia) Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Ponto de Interesse:

- Porto do Itaqui (P1)

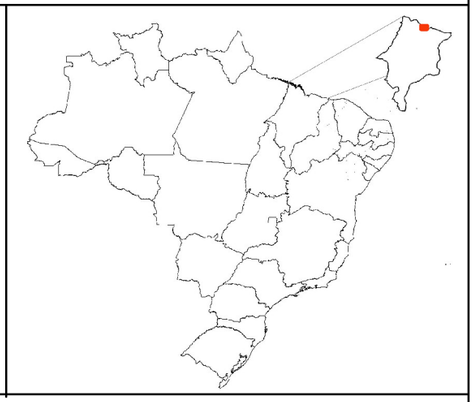
Ferrovia:

- Linha Férrea

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:360.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

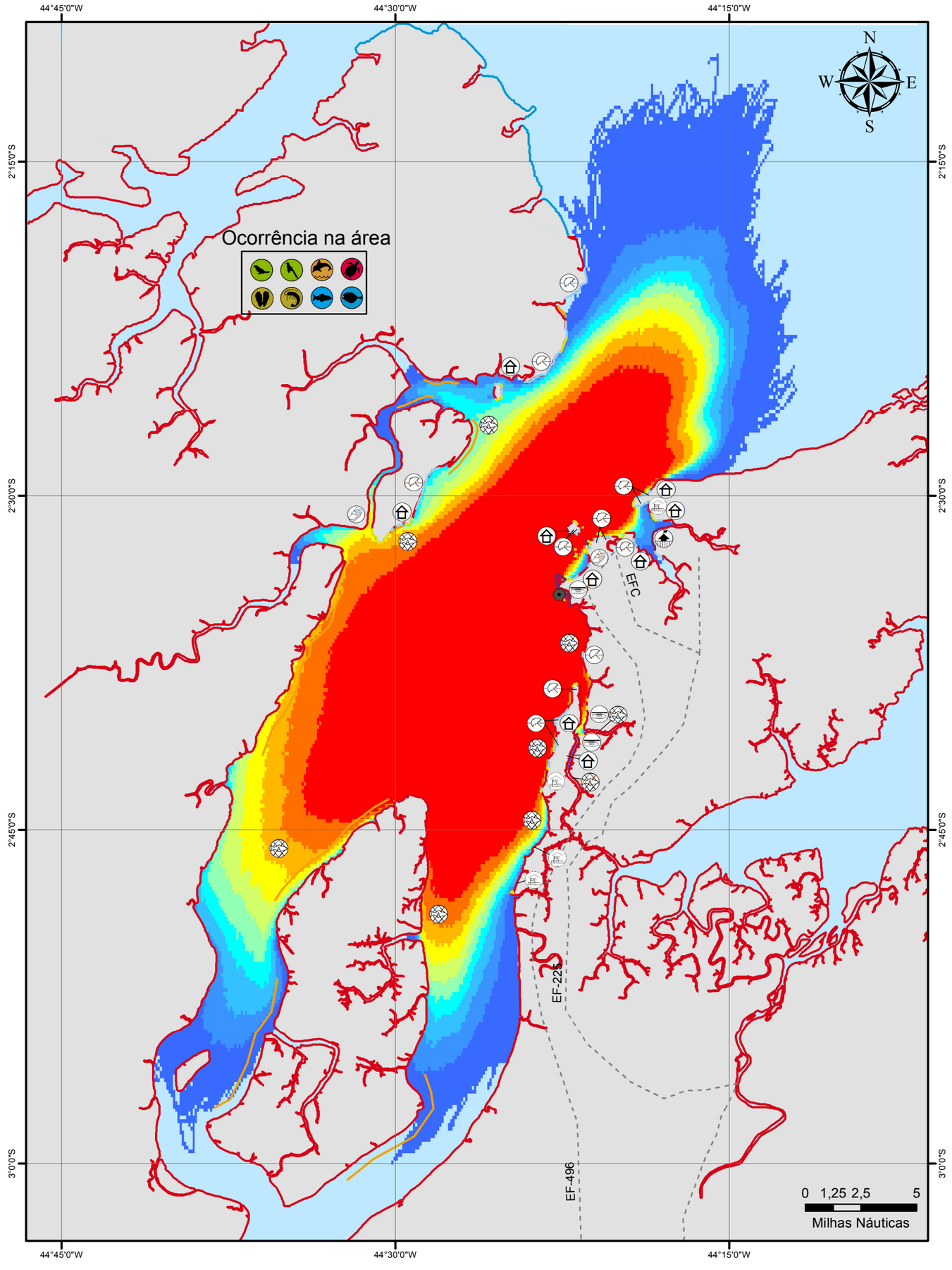


HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 10.000 m³ de Óleo MF-380 na Bacia de Evolução (P2) - Porto do Itaqui (Cheia) - Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Ponto de Interesse:

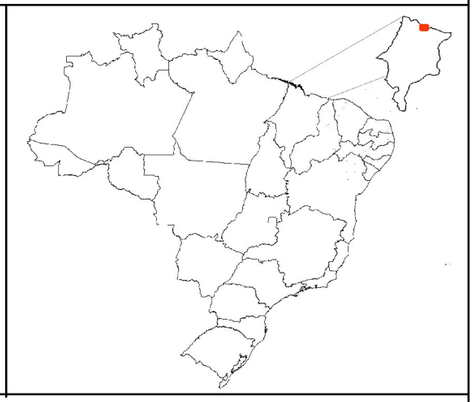
- Porto de Itaqui (P2)

Ferrovia:

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:360.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

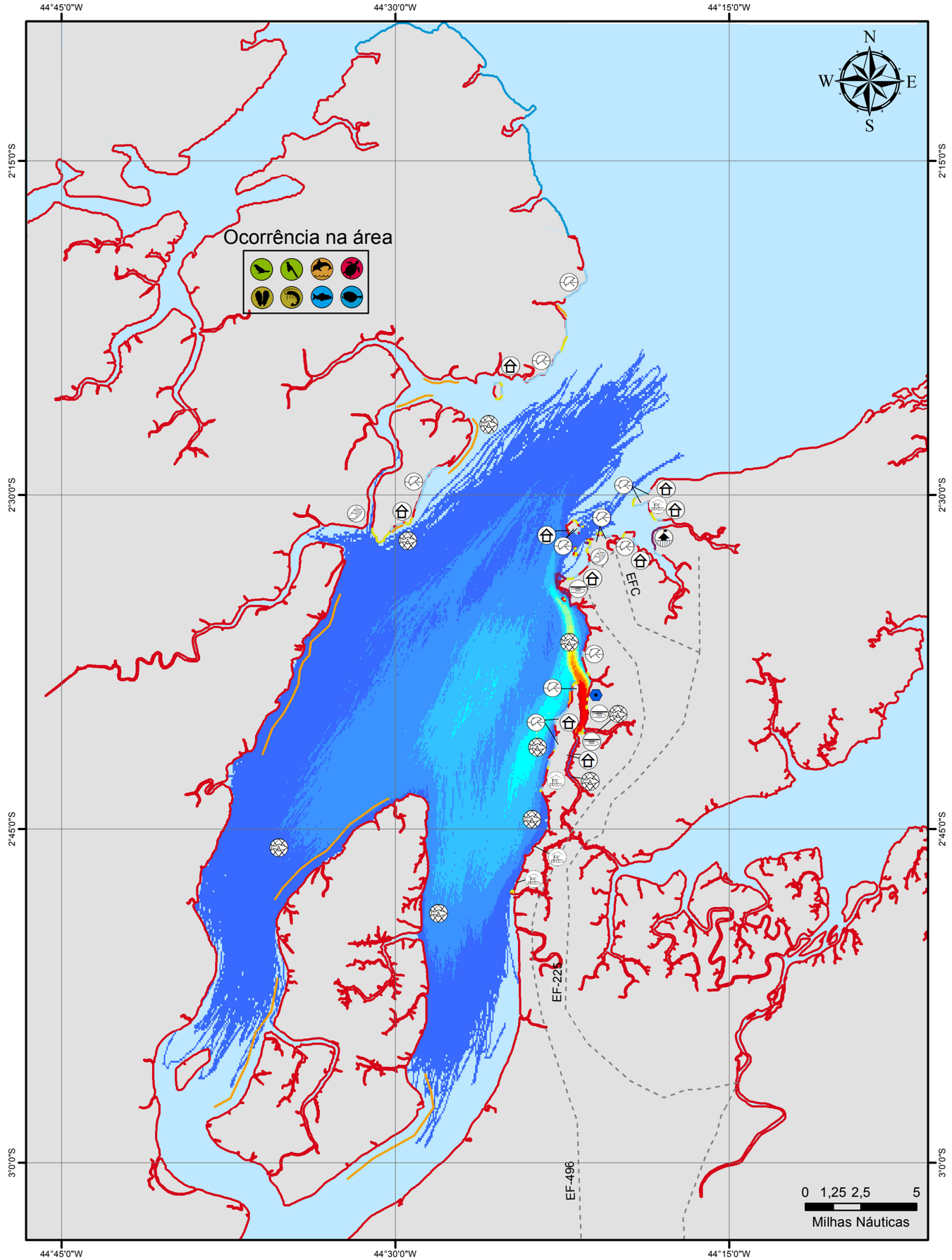


HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 200 m³ de Óleo Diesel no P3 - Porto Grande (Cheia) Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Ferrovia:

- Linha Férrea

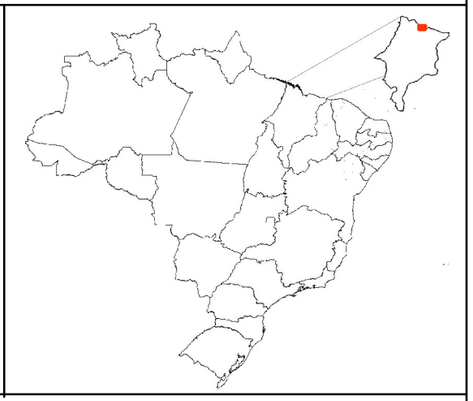
Ponto de Interesse:

- Porto Grande (P3)

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:360.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

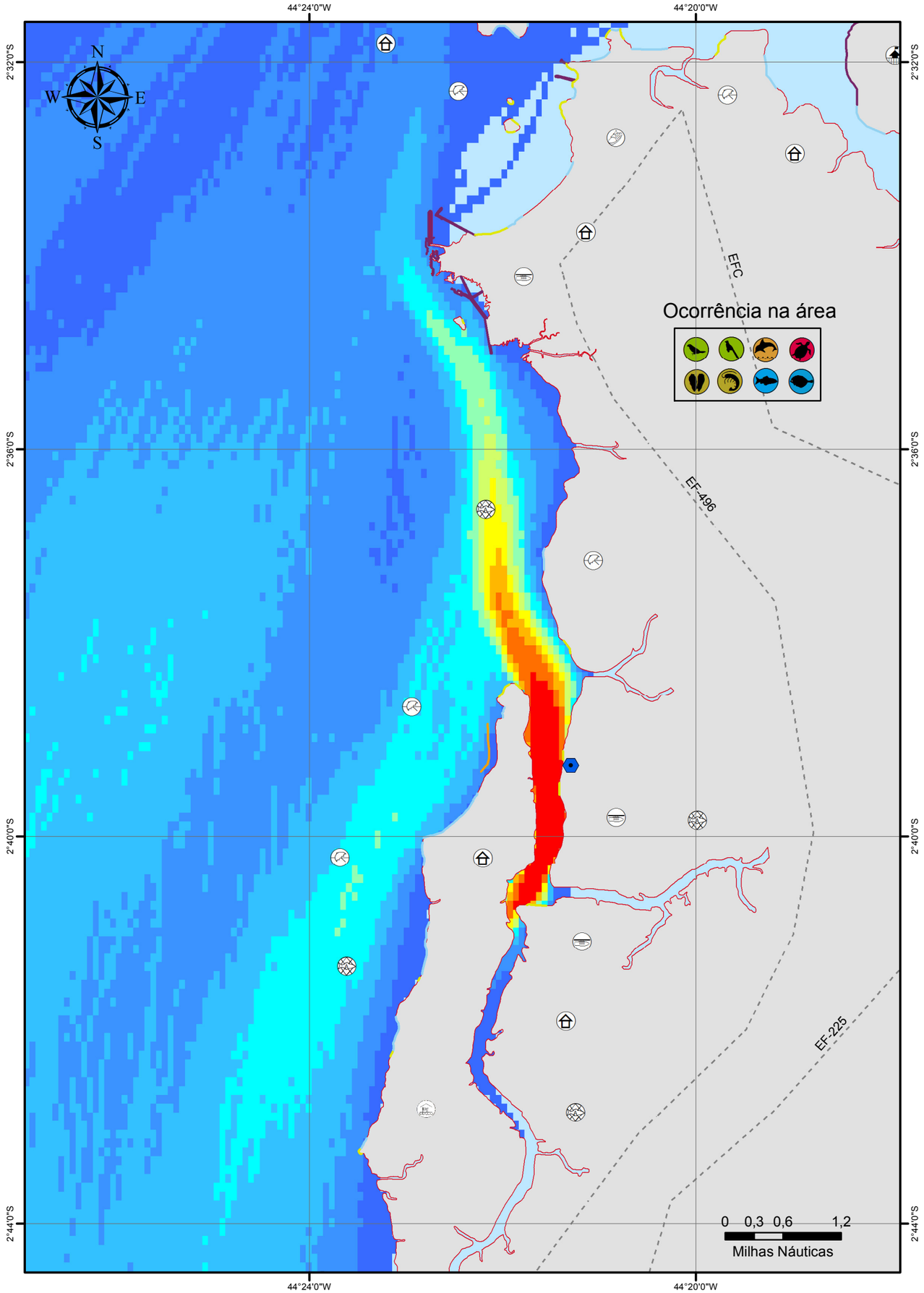


HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 200 m³ de Óleo Diesel no P3 - Porto Grande (Cheia) em detalhe Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

Ferrovia:

- Linha Férrea

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Ponto de Interesse:

- Porto Grande (P3)

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:85.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

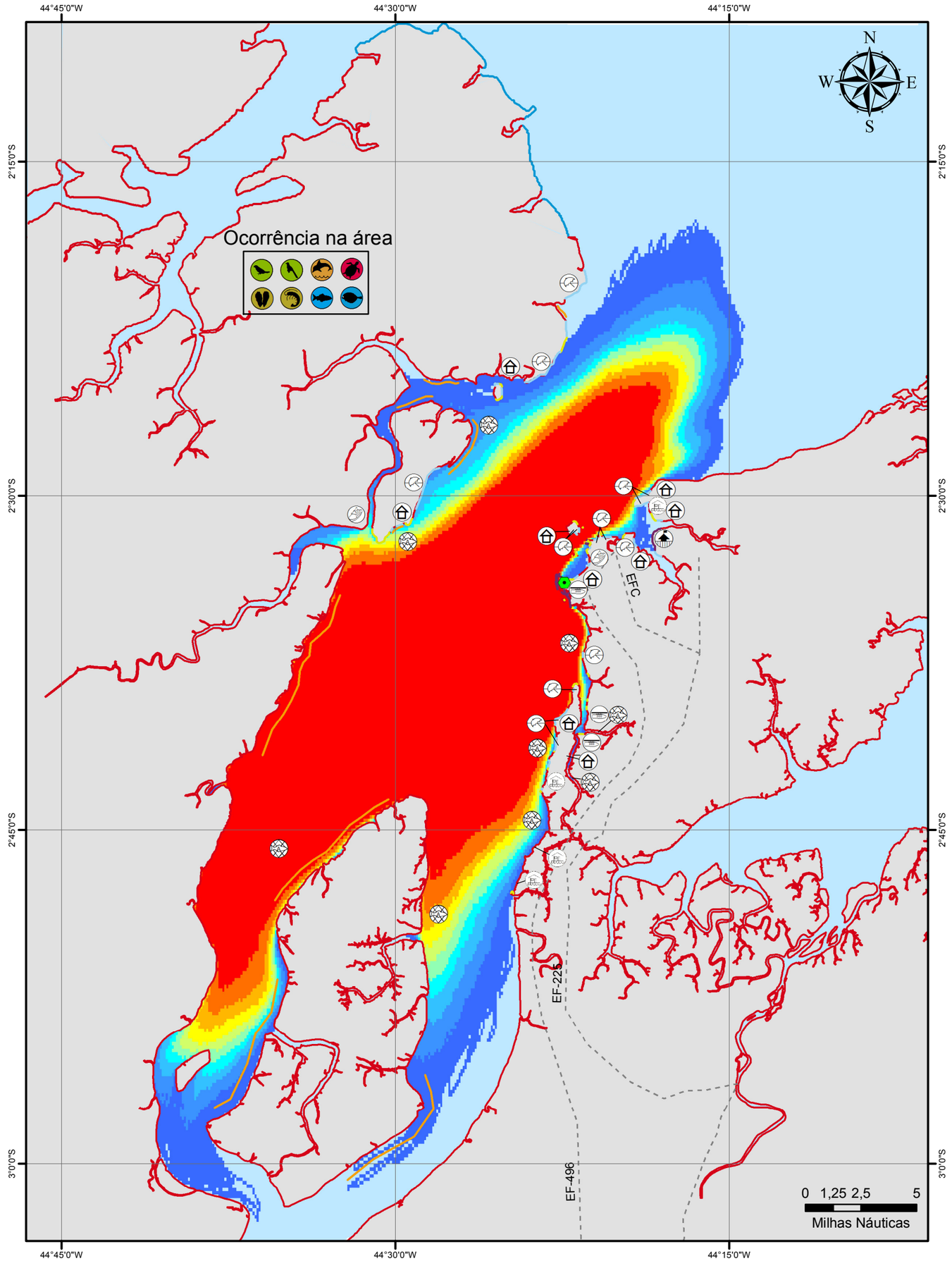
Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 10.000 m³ de Óleo MF-380 no Berço 105 (P1) - Porto do Itaqui (Seca) Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Ponto de Interesse:

- Porto de Itaqui (P1)

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

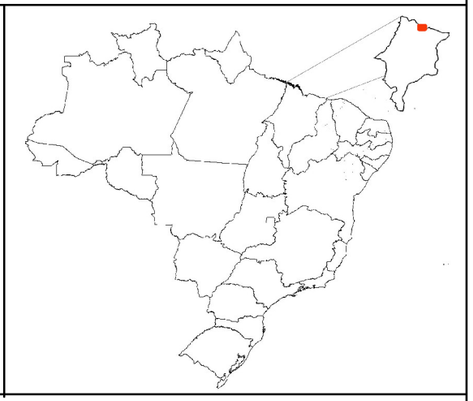
Ferrovia:

- Linha Férrea

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:360.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

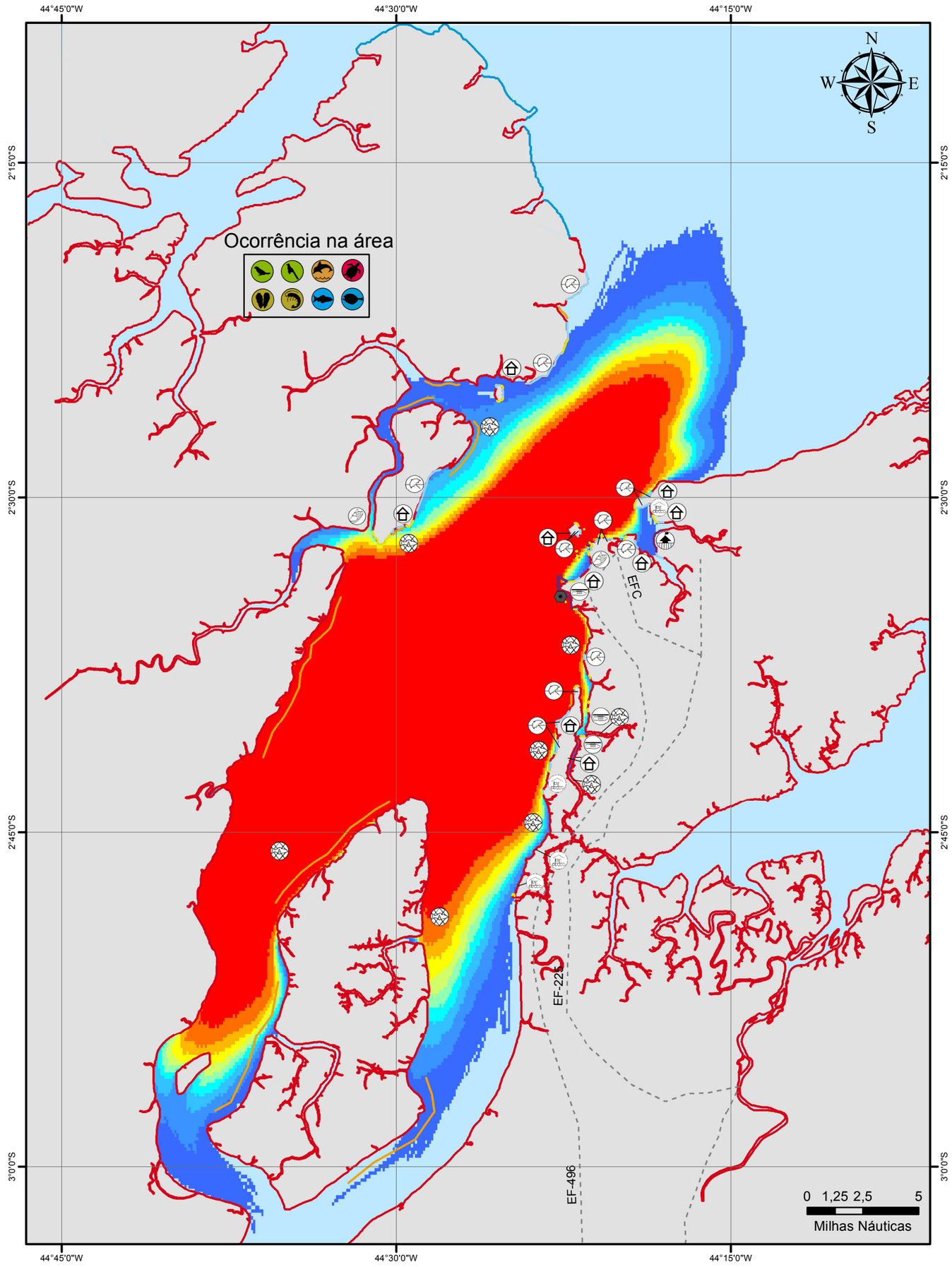


HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 10.000 m³ de Óleo MF-380 na Bacia de Evolução (P2) - Porto do Itaqui (Seca) - Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Ferrovia:

- Linha Férrea

Ponto de Interesse:

- Porto do Itaqui (P2)

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:360.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

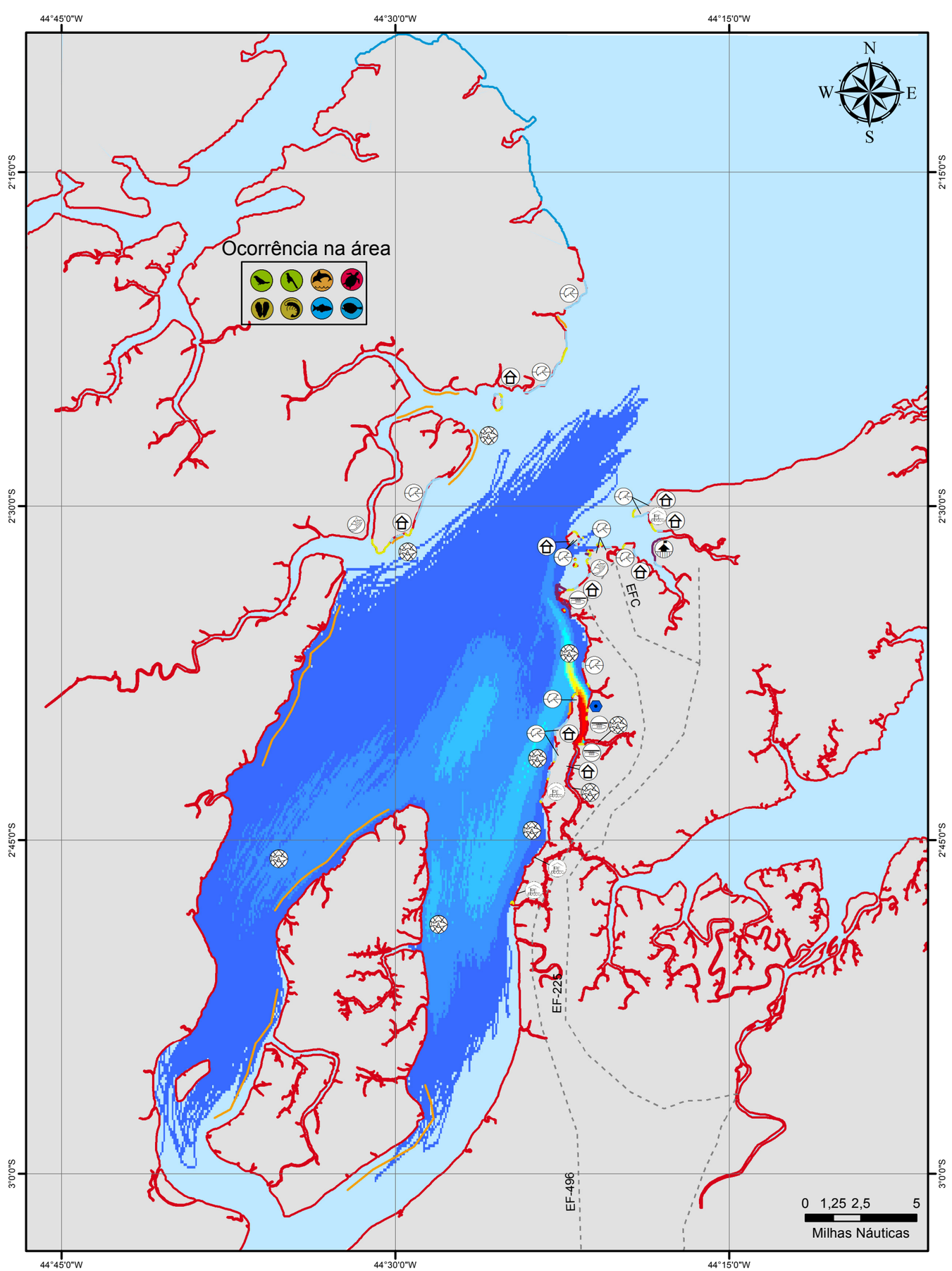
Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 200 m³ de Óleo Diesel no P3 - Porto Grande (Seca) Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Ponto de Interesse:

- Porto Grande (P3)

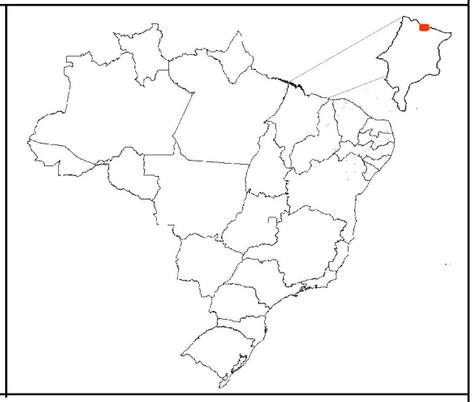
Ferrovia:

- Linha Férrea

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:360.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

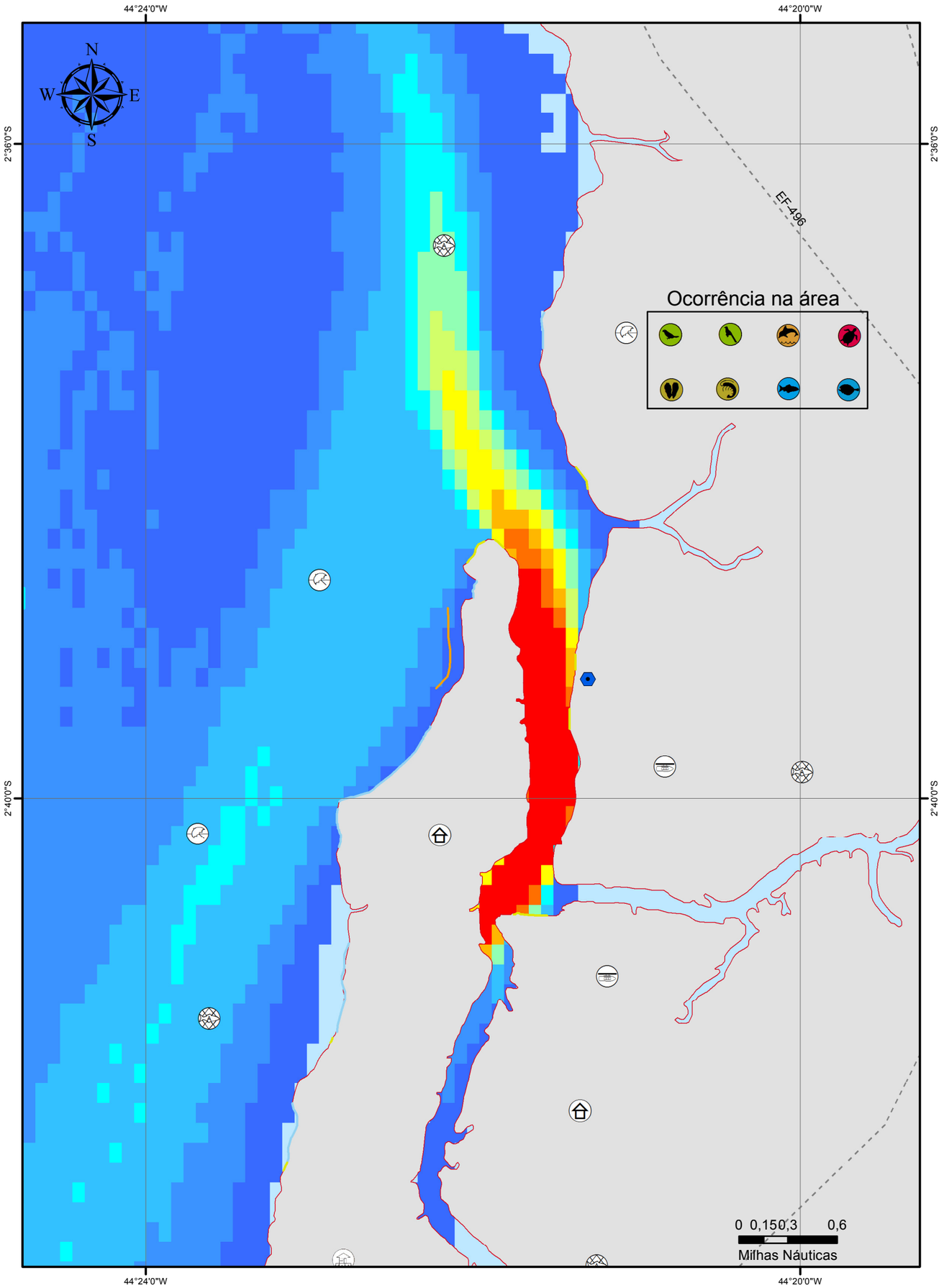


HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP

Mapa de Vulnerabilidade para Derramamento de 200 m³ de Óleo Diesel no P3 - Porto Grande (Seca) em detalhe Baia de São Marcos - Maranhão (2012)



LEGENDA

Recursos Biológicos:

- Aves passeriformes
- Aves não-passeriformes
- Cetáceos
- Quelônios
- Bivalves
- Crustáceos
- Peixes demersais
- Peixes pelágicos

ISL:

- ISL 1
- ISL 3
- ISL 4
- ISL 8
- ISL 9
- ISL 10

Recursos Socioeconômicos:

- Portos e atracadouros
- Casas
- Casas de palafita
- Pesca artesanal
- Local histórico
- Praia
- Ferry-boat

Ponto de Interesse:

- Porto Grande (P3)

Ferrovia:

- Linha Férrea

Base Temática:

- Continente
- Corpos d'água

Probabilidade:

- 0 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 40 %
- 40 - 50 %
- 50 - 60 %
- 60 - 70 %
- 70 - 80 %
- 80 - 90 %
- 90 - 100 %

Nota:
Datum WGS-84 / Projeção geodésica.
Escala: 1:50.000

Fonte:
Trabalho de Pesquisa da Hidroclean Proteção Ambiental.

Aviso
Este mapa não deve ser utilizado para navegação.

HIDROCLEAN
Grupo Bravante

Rua Lauro Müller, 116 / 2306 - Botafogo
Cep: 22290-160 - Rio de Janeiro, RJ
Tel:+55 (21) 2138-2200 Fax:+55 (21) 2138-2201
www.hidroclean.com.br hidroclean@hidroclean.com.br

PORTO DO ITAQUI
EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP