

**Teste de Longa Duração na Área do Poço  
3-ESP-22D-RJS, Concessão de Espadarte,  
Bacia de Campos. Processo nº 02022.002976/2009**

**EIA - Estudo de Impacto Ambiental**

**Volume 00**

**Revisão 00**

**07/2011**



**E&P**







---

## **ÍNDICE GERAL**

II.6.1 - Modelagem da Dispersão de Óleo e Efluentes .....	1/79
II.6.1.1 - Modelagem da Dispersão de Óleo .....	1/79



## **TABELAS E QUADROS**

Tabela II.6.1.1-2 - Resumo das simulações conduzidas no estudo. ....	2/79
Tabela II.6.1.1-3 - Volume de óleo e tipo de vazamento. ....	17/79
Tabela II.6.1.1-4 - Características do óleo utilizadas nas simulações. ....	17/79
Tabela II.6.1.1-5 - Localização do vazamento. ....	17/79
Tabela II.6.1.1-6 - Ordem de apresentação dos resultados. ....	26/79
Tabela II.6.1.1-7 - Volume Máximo, Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento derrame de grande volume (39.000 m <sup>3</sup> ), nos cenários de verão e inverno. ....	52/79
Tabela II.6.1.1-8 - Resumo dos principais resultados obtidos na modelagem da dispersão de óleo no mar. Campo de Espadarte. ....	76/79





## FIGURAS

Figura II.6.1.1-1 - Localização do ponto de vazamento, Campo de Espadarte, Bacia de Campos, costa sudeste brasileira. ....	1/79
Figura II.6.1.1-2 - Representação esquemática da separação sazonal dos dados para a modelagem probabilística. ....	13/79
Figura II.6.1.1-3 - Representação esquemática da combinação dos dados de vento e corrente para a simulação probabilística. ....	14/79
Figura II.6.1.1-4 - Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença de constituinte no STROLL. ....	15/79
Figura II.6.1.1-5 - Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo do Campo de Espadarte. ....	20/79
Figura II.6.1.1-6 - Rosa dos ventos de janeiro a junho na região do Campo de Espadarte. ....	21/79
Figura II.6.1.1-7 - Rosa dos ventos de julho a dezembro na região do Campo de Espadarte. ....	22/79
Figura II.6.1.1-8 - Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do Campo de Espadarte, na Bacia de Campos, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries. ....	25/79
Figura II.6.1.1-9 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m <sup>3</sup> , no cenário de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). ....	28/79
Figura II.6.1.1-10 - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m <sup>3</sup> , no cenário de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). ....	29/79
Figura II.6.1.1-11 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m <sup>3</sup> , no cenário de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). ....	30/79
Figura II.6.1.1-12 - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m <sup>3</sup> , no cenário de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). ....	31/79
Figura II.6.1.1-13 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m <sup>3</sup> , no cenário de verão. Simulação de 6 horas. ....	32/79
Figura II.6.1.1-14 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m <sup>3</sup> , no cenário de verão. Simulação de 30 dias (720 horas). ....	33/79
Figura II.6.1.1-15 - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m <sup>3</sup> , no cenário de verão. Simulação de 30 dias (720 horas). ....	34/79
Figura II.6.1.1-16 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m <sup>3</sup> , no cenário de inverno. Simulação de 6 horas. ....	35/79

Figura II.6.1.1-17 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno. Simulação de 30 dias (720 horas).....	36/79
Figura II.6.1.1-18 - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m³, no cenário de inverno. Simulação de 30 dias (720 horas).....	37/79
Figura II.6.1.1-19 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 12 horas no cenário de verão. ....	38/79
Figura II.6.1.1-20 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 36 horas no cenário de verão. ....	39/79
Figura II.6.1.1-21 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 60 horas no cenário de verão. ....	40/79
Figura II.6.1.1-22 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão. Simulação de 60 dias (1440 horas). .....	41/79
Figura II.6.1.1-23 - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão. Simulação de 60 dias (1440 horas). .....	42/79
Figura II.6.1.1-24 - Volume máximo de óleo na costa e adjacências, após as simulações de 60 dias no cenário de verão.....	43/79
Figura II.6.1.1-25 - Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de verão. ....	44/79
Figura II.6.1.1-26 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 12 horas no cenário de inverno. ....	45/79
Figura II.6.1.1-27 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 36 horas no cenário de inverno. ....	46/79
Figura II.6.1.1-28 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 60 horas no cenário de inverno. ....	47/79
Figura II.6.1.1-29 - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno. Simulação de 60 dias (1440 horas). .....	48/79
Figura II.6.1.1-30 - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno. Simulação de 60 dias (1440 horas). .....	49/79
Figura II.6.1.1-31 - Volume máximo de óleo na costa e adjacências, após as simulações de 60 dias no cenário de inverno.....	50/79
Figura II.6.1.1-32 - Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de inverno. ....	51/79

Figura II.6.1.1-33 - Período de vento do ponto mais próximo do Campo de Espadarte utilizado na simulação de condições meteo-oceanográficas de verão.	54/79
Figura II.6.1.1-34 - Período de vento do ponto mais próximo do Campo de Espadarte utilizado na simulação de condições meteo-oceanográficas de inverno.	54/79
Figura II.6.1.1-35 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 12 horas de simulação.	55/79
Figura II.6.1.1-36 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 36 horas de simulação.	56/79
Figura II.6.1.1-37 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 60 horas de simulação.	56/79
Figura II.6.1.1-38 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 150 horas de simulação.	57/79
Figura II.6.1.1-39 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 336 horas de simulação.	57/79
Figura II.6.1.1-40 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 504 horas de simulação.	58/79
Figura II.6.1.1-41 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 672 horas de simulação.	58/79
Figura II.6.1.1-42 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 720 horas de simulação.	59/79
Figura II.6.1.1-43 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1080 horas de simulação.	59/79
Figura II.6.1.1-44 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação.	60/79
Figura II.6.1.1-45 - Evolução temporal do balanço de massa ao longo da simulação da trajetória do volume de pior caso (39.000 m <sup>3</sup> ) em condição crítica, no cenário de inverno.	61/79
Figura II.6.1.1-46 - Volume acumulado na costa durante a simulação da trajetória em condição crítica, no cenário de inverno. Volume de pior caso (39.000 m <sup>3</sup> ).	62/79
Figura II.6.1.1-47 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 12 horas de simulação.	63/79
Figura II.6.1.1-48 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 36 horas de simulação.	63/79

Figura II.6.1.1-49 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 60 horas de simulação. ..	64/79
Figura II.6.1.1-50 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 168 horas de simulação. 64/79	64/79
Figura II.6.1.1-51 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 336 horas de simulação. 65/79	65/79
Figura II.6.1.1-52 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 504 horas de simulação. 65/79	65/79
Figura II.6.1.1-53 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 672 horas de simulação. 66/79	66/79
Figura II.6.1.1-54 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 720 horas de simulação. 66/79	66/79
Figura II.6.1.1-55 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 1080 horas de simulação. .....	67/79
Figura II.6.1.1-56 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 1440 horas de simulação. .....	67/79
Figura II.6.1.1-57 - Evolução temporal do balanço de massa ao longo da simulação da trajetória do volume de pior caso (39.000 m <sup>3</sup> ) em condições meteo-oceanográficas frequentes, no cenário de verão. ....	68/79
Figura II.6.1.1-58 - Volume acumulado na costa durante a simulação da trajetória em condições meteo-oceanográficas frequentes, no cenário de verão. Volume de pior caso (39.000 m <sup>3</sup> ). ....	69/79
Figura II.6.1.1-59 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 12 horas de simulação. 70/79	70/79
Figura II.6.1.1-60 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 36 horas de simulação. 70/79	70/79
Figura II.6.1.1-61 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 60 horas de simulação. 71/79	71/79
Figura II.6.1.1-62 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 168 horas de simulação. .....	71/79
Figura II.6.1.1-63 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 336 horas de simulação. .....	72/79

---

Figura II.6.1.1-64 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 504 horas de simulação. .....	72/79
Figura II.6.1.1-65 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 672 horas de simulação. .....	73/79
Figura II.6.1.1-66 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 720 horas de simulação. .....	73/79
Figura II.6.1.1-67 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 1080 horas de simulação. .....	74/79
Figura II.6.1.1-68 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação. .....	74/79
Figura II.6.1.1-69 - Evolução temporal do balanço de massa ao longo da simulação da trajetória do volume de pior caso (39.000 m <sup>3</sup> ) em condições meteo-oceanográficas frequentes, no cenário de inverno.....	75/79



## ***ANEXO II.6.1 - MODELAGEM DA DISPERSÃO DE ÓLEO***





## II.6.1 - Modelagem da Dispersão de Óleo

### II.6.1.1 - Modelagem da Dispersão de Óleo

#### II.6.1.1.1 - Introdução

O presente item descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo no mar no Campo de Espadarte, Bacia de Campos, costa sudeste do litoral brasileiro. O local de vazamento encontra-se nas coordenadas geográficas 22° 54' 22,257" S e 40° 32' 10,399" W (Figura II.6.1.1-1).

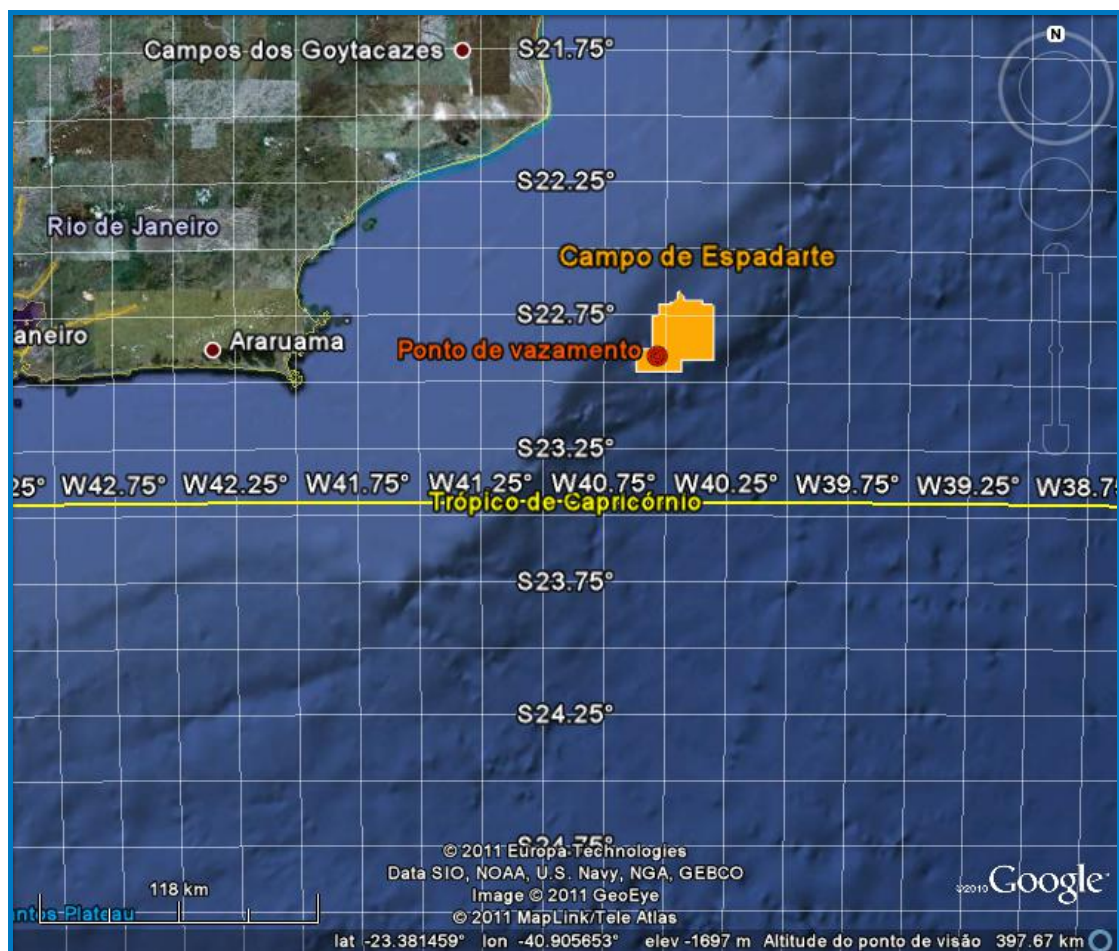


Figura II.6.1.1-1 - Localização do ponto de vazamento, Campo de Espadarte, Bacia de Campos, costa sudeste brasileira.

Na **Tabela II.6.1.1-1** é apresentado o resumo das simulações conduzidas no estudo.

**Tabela II.6.1.1-1 - Resumo das simulações conduzidas no estudo.**

Modelo	Produto	Volume (m <sup>3</sup> )	Cenário	Vazamento	Tempo simulado
<b>Probabilístico</b>					
Pequeno porte	óleo	8	verão	instantâneo	30 dias
Pequeno porte	óleo	8	inverno	instantâneo	30 dias
Médio porte	óleo	200	verão	Instantâneo	30 dias
Médio porte	óleo	200	inverno	Instantâneo	30 dias
Pior caso	óleo	39.000	verão	Contínuo (30 dias)	60 dias
Pior caso	óleo	39.000	inverno	Contínuo (30 dias)	60 dias
<b>Determinístico</b>					
Crítico	óleo	39.000	inverno	Contínuo (30 dias)	60 dias
Condição Meteo-oceanográfica frequente	óleo	39.000	verão	Contínuo (30 dias)	60 dias
Condição Meteo-oceanográfica frequente	óleo	39.000	inverno	Contínuo (30 dias)	60 dias

Para contextualizar a questão, a metodologia aplicada para a realização das simulações, os modelos numéricos e os dados físicos usados serão também descritos.

### **II.6.1.1.2 - Metodologia**

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o STROLL, modelo desenvolvido pela PROOCEANO para estudos de transporte de contaminantes no mar. O STROLL é um modelo lagrangeano capaz de simular o transporte advectivo-turbulento em até 3 dimensões além dos processos de intemperismo e a perda de massa de diversos tipos de contaminantes.

O STROLL possui dois modos de operação: determinístico e probabilístico.

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário.

Cabe à simulação probabilística, averiguar o comportamento do contaminante sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada do mesmo em cada região do domínio do modelo.

Uma breve descrição destes modos, bem como dos processos de intemperismo será apresentada a seguir.

### II.6.1.1.2.1 - Modo Determinístico

A emissão de óleo no mar é representada pela inserção de um número de elementos  $n_e$  a cada intervalo de tempo  $\Delta t$  na região fonte. Considerando uma vazão  $Q$  m<sup>3</sup>/s, o volume inicialmente associado a cada elemento será:

$$q_{e,t=0} = \frac{Q\Delta t}{n_e} \quad \text{Equação 1}$$

O transporte advectivo de cada elemento é dado através do cálculo de sua posição  $p_e$  a cada passo de tempo. Com isso, a posição do elemento  $e$  no instante  $t$  é dada por:

$$p_{e,t+1} = p_{e,t} + \Delta t \frac{dp_e}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2} \frac{d^2 p_e}{dt^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$$\frac{dp_{i,e}}{dt} = \bar{u}_i \text{ é a velocidade e} \quad \text{Equação 3}$$

$$\frac{d^2 p_{i,e}}{dt^2} = \frac{d\bar{u}_i}{dt} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \text{ a aceleração} \quad \text{Equação 4}$$

Para  $i = 1, 2$ . A velocidade  $\bar{u}_i$  ( $u$  e  $v$ ) é obtida através de interpolação bi-linear no espaço e linear no tempo, dos dados fornecidos pelo modelo hidrodinâmico e pelo campo de vento, cuja contribuição, nesse caso, é de 1,5% de sua intensidade. Este valor é utilizado com base no trabalho de Price et al. (2003), em que se realizou o estudo da deriva de 97 derivadores, e foi concluído que uma influência de 1,5% da velocidade do vento na deriva total.

A aceleração é obtida através da derivação no tempo dos valores de velocidade interpolados. Os valores de velocidade utilizados são fornecidos por um modelo hidrodinâmico externo.

A difusão turbulenta do material é simulada através de modelos de passos aleatórios (random walk models), cuja idéia central consiste em adicionar um desvio de velocidade aleatório  $\vec{u}'_i$  às velocidades advectivas (Csanady, 1972).

#### **II.6.1.1.2.1.1 - Intemperismo**

O STROLL simula os principais processos de intemperismo que ocorrem no óleo quando este é derramado no mar: espalhamento, evaporação, emulsificação e dispersão, e as conseqüentes mudanças nas propriedades físicas, como a densidade e a viscosidade.

#### **II.6.1.1.2.1.2 - Viscosidade e Densidade do Contaminante**

A variação temporal da densidade do óleo ( $\rho_o(t)$ ) é calculada de forma indireta, em função do conteúdo de água (Wc) presente na mistura e da fração de óleo evaporada ( $frac_{evap}$ ), que são calculadas a cada passo de tempo do modelo, segundo a formulação apresentada à seguir:

$$\rho_o(t) = Wc * \rho_{\daggergua} + (1 - Wc) \rho_0 \left[ 1 - c_1 (T - T_{\daggergua}) (1 - c_2 frac_{evap}) \right] \quad \text{Equação 5}$$

onde  $\rho_o$  é a densidade do óleo,  $\rho_0$  é a densidade inicial do óleo,  $\rho_{\daggergua}$  a densidade da água,  $T$  a temperatura do óleo,  $T_{\daggergua}$  a temperatura da água,  $frac_{evap}$  a fração de óleo evaporada, e  $c_1$  e  $c_2$  as constantes empíricas específicas para cada tipo de óleo. No entanto, segundo Lehr et al. (2002), valores razoáveis são de 0,008K<sup>-1</sup> e 0,18, respectivamente.

A viscosidade do constituinte  $\mu$  varia ao longo de sua trajetória, sendo parametrizada por Mackay et al. (1983) apud Lehr et al. (2002).

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp \left[ \left( C_{evap} \frac{C_{emul1} Wc}{1 - C_{emul2}} + C_{temp} \left( \frac{T_{\#gua} - T}{T_{\#gua} T} \right) \right) \right] \quad \text{Equação 6}$$

onde  $\mu_0$  é a viscosidade inicial do constituinte,  $C_{evap}$  é a constante de evaporação e igual a 5000 K (NOAA, 2000),  $C_{temp}$  é uma constante empírica adimensional que depende do tipo de óleo, podendo variar entre 1 e 10. Para as constantes adimensionais  $C_{emul1}$  e  $C_{emul2}$ , são utilizados os valores recomendados por NOAA (2000) - 2,5 e 0,65, respectivamente, onde tais valores são apresentados como melhores escolhas para o algoritmo utilizado no modelo ADIOS2-NOAA.

### II.6.1.1.2.1.3 - Espalhamento

Admitindo que a fase inicial do espalhamento (gravitacional-inercial) de uma mancha de óleo é muito curta, o STROLL parte da fase gravitacional-viscosa para calcular o espalhamento, assumindo que quando a espessura da mancha decresce até um determinado valor, o espalhamento termina. Assim o raio da área inicial é calculado por:

$$R_0 = \frac{K_2^2}{K_1} \left( \frac{V_0^5 g \Delta}{\mu_{\#gua}} \right)^{\frac{1}{12}} \quad \text{Equação 7}$$

onde  $K_1$  e  $K_2$ , são constantes adimensionais empíricas, definidas segundo NOAA (2000) em 1,53 e 1,21, respectivamente,  $V_0$  o volume inicial do óleo derramado,  $\mu_{\#gua}$  a viscosidade da água e  $\Delta$  a diferença relativa de densidade da água e do óleo:

$$\Delta = \frac{\rho_{\#gua} - \rho_{-leo}}{\rho_{-leo}} \quad \text{Equação 8}$$

onde  $\rho_{\#gua}$  é a densidade da água e  $\rho_{-leo}$  a densidade do óleo.

#### II.6.1.1.2.1.4 - Evaporação

O STROLL utiliza o modelo de evaporação proposto por Jones (1997), o qual se baseia na relação de Mackay & Matsugu (1973), porém considerando o óleo como sendo uma mistura de componentes. Essa abordagem é também conhecida como modelo de Pseudo-Componentes, onde a taxa de evaporação pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = \frac{K_j A \bar{V}_j \chi_j P_j}{R T}$$

Equação 9

Onde:

$j$  varia de acordo com o número de pseudo-componentes,

$K_j$  é o coeficiente de transferência de massa do pseudo-componente;

$A$  é a área da mancha;

$\bar{V}_j$  é o volume molar do pseudo-componente;

$\chi_j$  é a fração molar do componente;

$P_j$  é a pressão de vapor do pseudo-componente;

$R$  é a constante universal dos gases;

$T$  é a temperatura.

A fração molar de cada pseudo-componente muda com o tempo e é constituída pela razão entre o número de moles do pseudo-componente, que é obtido dividindo-se o seu volume por seu volume molar, e a soma do número de moles total da mistura.

O volume molar de cada pseudo-componente é obtido através de uma correlação de dados de pontos de ebulição e volumes molares de uma série de alcanos com números de carbonos variando entre 3 e 20 (C3 e C20), expressa por:

$$\bar{V}_j = 7 \times 10^{-5} - (2,102 \times 10^{-7} BP_j) + [1 \times 10^{-9} (BP_j)^2] \quad \text{Equação 10}$$

onde  $BP_j$  é o ponto de ebulição de cada componente.

A pressão de vapor de cada pseudo-componente na temperatura ambiente é obtida através de seus pontos de ebulição, utilizando-se a Equação de Antoine, segundo Lyman et al. (1990) apud Jones (1997):

$$\ln \frac{P_j}{P^0} = \frac{\Delta S_j \cdot (BP_j - C)^2}{R \cdot BP_j} \cdot \left[ \frac{1}{BP_j - C} - \frac{1}{T - C} \right] \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$P^0$  é a pressão atmosférica;

$\Delta S_j = 8,75 + 1,987 \log(BP_j)$ , é a variação na entropia do componente oriunda da vaporização;

$C = (0,19 \cdot BP_j) - 18$  é uma constante determinada a partir do ponto de ebulição do pseudo-componente.

O coeficiente de transferência de massa é calculado segundo Mackay & Matsugu (Mackay et al., 1973):

$$K_i = 0,048 \cdot U^{7/9} \cdot Z^{-1/9} \cdot Sc_j^{-2/3} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$U$  é a velocidade do vento;

$Z$  é o comprimento da mancha na direção do vento;

$Sc$  é o número de Schmidt do pseudo-componente.

O número de Schmidt expressa a razão entre a viscosidade cinemática do ar com a difusividade molecular do pseudo-componente.

Para obter-se a difusividade molecular do pseudo-componente usa-se a seguinte aproximação, segundo (Thibodeaux, 1979 apud Jones, 1997):

$$D_j = D_{\dagger gua} \sqrt{\frac{MW_{\dagger gua}}{MW_j}} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$D_{\dagger gua}$  é a difusividade molecular da água;

$MW_{\dagger gua}$  é o peso molecular da água.

O peso molecular de cada pseudo-componente é calculado através de uma correlação também obtida de uma série de alcanos C3 a C20:

$$MW_j = 0,04132 - (1,985 \cdot 10^{-4} \cdot BP_j) + [9,494 \cdot 10^{-7} \cdot (BP_j)^2] \quad \text{Equação 14}$$

Reescrevendo a equação em termos de volume e volume molar, as taxas de evaporação de cada pseudo-componente pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = - \frac{A \cdot K_j \cdot P_j \cdot V_j}{R \cdot T \cdot \sum_{k=1}^{nc} \frac{V_j}{V_k}} \quad \text{Equação 15}$$

#### II.6.1.1.2.1.5 - Emulsificação

A incorporação de água no óleo é descrita no modelo por uma equação proposta por Mackay et al (1980):

$$\frac{dfrac_{wv}}{dt} = K_w (1 + W)^2 \left( 1 - \frac{frac_{wv}}{frac_{wv}^{final}} \right) \quad \text{Equação 16}$$



em que  $frac_{WV}$  é a fração volumétrica de água incorporada na emulsão,  $frac_{WV}^{final}$  é a fração final de água incorporada e  $K_W$  uma constante empírica e igual a  $1,6 \times 10^{-6}$ .

#### II.6.1.1.2.1.6 - Dispersão

A dispersão, ou também conhecido como dispersão vertical, é um processo em que as gotículas de óleo são transportadas da superfície da água para a coluna d'água.

A formulação utilizada para o cálculo do entranhamento no STROLL é baseada no modelo desenvolvido por Delvigne & Sweeney (1988) a partir de estudos sobre o entranhamento ou dispersão superficial e subsuperficial de óleo, realizados em laboratório.

Nesse modelo, a taxa de entranhamento por unidade de área é expressa por:

$$Q(d_0) = C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot S_{cov} \cdot F_{wc} \cdot d_0^{0,7} \cdot \Delta d \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

$Q(d_0)$  é a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo  $\Delta d$  de diâmetros de gotículas de óleo em torno de  $d_0$ ,  $\left(d_0 - \frac{1}{2}\Delta d \text{ a } d_0 + \frac{1}{2}\Delta d\right)$ ;

$d_0$  é o diâmetro da gotícula de óleo;

$C_0$  é uma constante de dispersão, relacionada a viscosidade do óleo;

$D_{ba}$  é a energia de dissipação por ondas;

$S_{cov}$  é o fator de cobertura da superfície do mar por óleo ( $0 \leq S_{cov} \leq 1$ ), sendo  $S_{cov} = 1$  para manchas contínuas;  $F_{wc}$  é a fração da superfície do mar suscetível a quebra de ondas (encapelamento) por unidade de tempo.

A energia de dissipação por ondas por unidade de área é calculada por:

$$D_{ba} = 0,0034 \cdot \rho_w \cdot g \left[ \frac{HS}{\sqrt{2}} \right]^2 \quad \text{Equação 18}$$

Onde  $HS$  é a altura significativa de ondas, podendo ser calculada por:  
 $HS = \frac{0,243 \cdot U^2}{g}$ , sendo  $U$  a velocidade do vento;  $\rho_w$  é a densidade da água; e  $g$  a aceleração da gravidade.

Para estimar a fração da superfície do mar suscetível ao encapelamento, o modelo utiliza a formulação proposta por Monahan (1971), Ding & Farmer (1994) apud Lehr & Simecek-Beatty (2000) e Lehr & Simecek-Beatty (2000), sendo:

$$F_{wc} = \frac{0,025 \cdot (U - 3)}{T_M} \rightarrow 0 \leq U \leq 4;$$

$$F_{wc} = \frac{0,01 \cdot U + 0,01}{T_M} \rightarrow U > 4,$$

Equação 19

onde  $T_M$  é a constante de tempo de Monahan (1971), sendo  $T_M = 3,85$  para água do mar.

Segundo Lehr & Simecek-Beatty (2000), variações nos diâmetros das gotículas de óleo acarretam em diferentes flutuabilidades para as mesmas, causando estratificação na concentração de óleo na coluna de água. Ainda segundo esses autores, a partir 50 a 100  $\mu$  de diâmetro, as partículas apresentam flutuabilidade neutra, sendo o movimento dominado pela dispersão horizontal e vertical sobre os efeitos de flutuabilidade.

O intervalo de diâmetro das gotículas de óleo utilizado no STROLL, assim como o modelo ADIOS2 (Lehr et al., 2002) varia entre  $d_{\min} = 0\mu$  a  $d_{\max} = 70\mu$ .

A constante de dispersão  $C_0$ , segundo Delvigne & Hulsen (1994) pode ser obtida através da seguinte relação:

$$C_0 = 1827 \cdot \nu^{-0,0658} \rightarrow \nu < 125 \text{ cSt};$$

$$C_0 = 1827 \cdot \nu^{-1,1951} \rightarrow \nu > 125 \text{ cSt};$$

Equação 20

onde  $\nu$  é a viscosidade do óleo.

Integrando a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo  $\Delta d$  de diâmetros de gotículas de óleo ( $Q(d_0)$ ) no intervalo de gotículas  $d_{\min}$  a  $d_{\max}$ , obtêm-se:

$$Q = \frac{d_{\max}}{1,7} \cdot C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot F_{wc} \cdot S_{cov} \quad \text{Equação 21}$$

Sendo  $Q$  é a taxa de entranhamento total, por unidade de área.

Para estimar a penetração máxima do óleo na coluna de água o modelo utiliza a equação proposta por Delvigne & Sweeney (1988):

$$Z_i = (1,5 \pm 0,35) \cdot H_b \quad \text{Equação 22}$$

onde  $H_b$  é a altura de quebra da onda.

#### Cálculo da Espessura

A espessura do óleo associada a cada elemento é dada por:

$$esp_e(x, y, t) = \frac{q_e}{2\pi[\sigma(t)]^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x - p_{x,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2 + \left(\frac{y - p_{y,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^2\right]\right\} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

$q_e$  é volume de cada elemento;

$x$  e  $y$  as coordenadas do ponto de grade;

$p_{x,e}$  e  $p_{y,e}$  a posição do centro de massa de cada elemento;

$\sigma_i^2(t)$  é a variância da distribuição, relacionado à turbulência local através da equação:

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2(t)}{dt}$$

Equação 24

sendo D a difusividade turbulenta isotrópica horizontalmente, parametrizada à partir do escoamento, obtido do modelo hidrodinâmico, segundo a formulação de Smagorinsky:

$$D = C \Delta x \Delta y \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Equação 25

Onde:

$\Delta x$  e  $\Delta y$  são os intervalos de discretização da grade;

C é a constante de Smagorinsky, cujos valores para o oceano variam da ordem de 0,1 a 0,2 (Oey et al., 1985a e b).

A espessura resultante de todo o descarte é então obtida através da soma da contribuição de cada elemento:

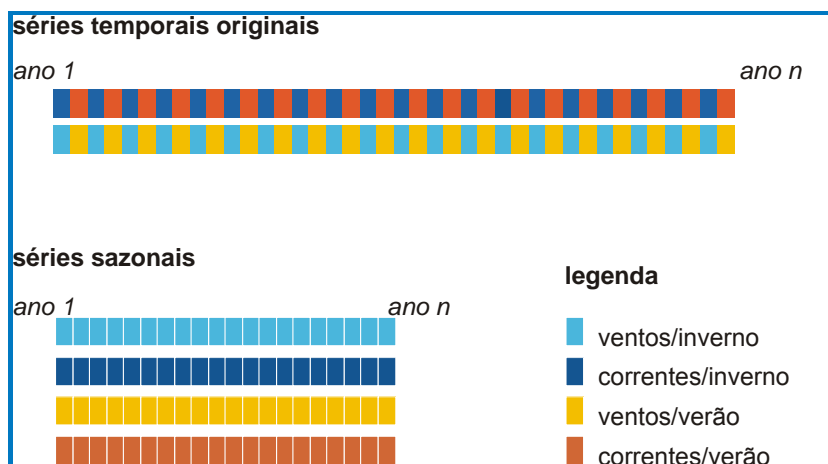
$$ESP(x, y, t) = \sum_{e=1}^{n_e} esp_e(x, y, t)$$

Equação 26

### II.6.1.1.2.2 - Modo Probabilístico

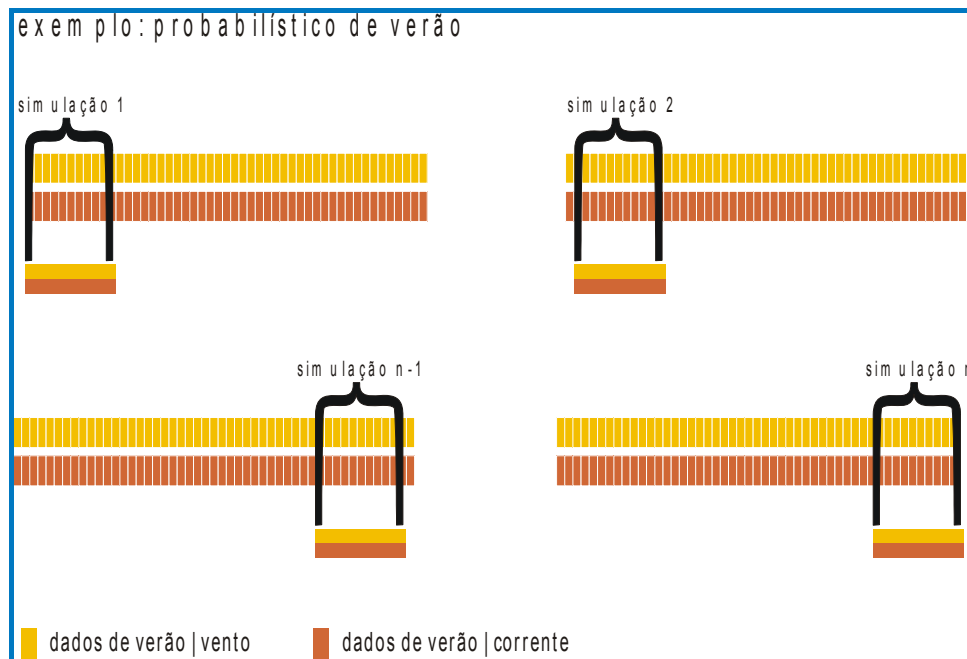
Na abordagem probabilística utilizada são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando-se todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos. Este módulo do STROLL tem por objetivo verificar a probabilidade de presença do constituinte na região estudada, bem como o tempo de chegada, a fim de determinar um cenário crítico para o descarte de contaminantes na região.

De acordo com os cenários meteo-oceanográfica locais, as séries temporais de vento e corrente são repartidas em 4 séries sazonais - correntes-verão, correntes-inverno, ventos-verão, ventos-inverno - conforme apresentado no esquema da **Figura II.6.1.1-2**.



**Figura II.6.1.1-2** - Representação esquemática da separação sazonal dos dados para a modelagem probabilística.

As séries de vento e corrente são então combinadas em diversos arranjos de forma a contemplar de forma ideal os possíveis cenários ambientais (**Figura II.6.1.1-3**).



**Figura II.6.1.1-3** - Representação esquemática da combinação dos dados de vento e corrente para a simulação probabilística.

Cada combinação de vento e corrente irá determinar um comportamento para o vazamento. O modelo identifica, em cada combinação, os pontos de grade onde a espessura da mancha do constituinte esteve acima do limiar determinado (**Figura II.6.1.1-4**, a, b e c):

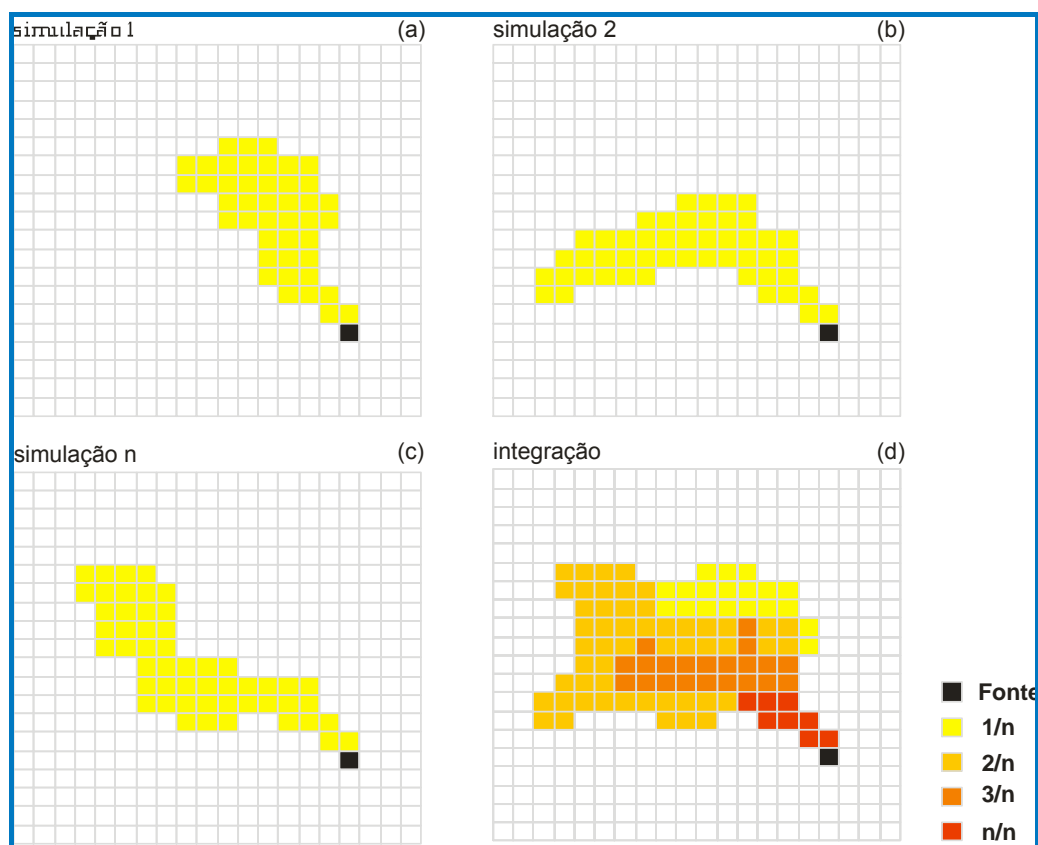
$$I(x, y) = 1 \quad \text{se } ESP(x, y, t) \geq \text{lim}$$

$$I(x, y) = 0 \quad \text{se } ESP(x, y, t) < \text{lim}$$

A probabilidade de presença do poluente será dada pela normalização do número de vezes em que a mancha esteve acima do limiar em cada ponto de grade pelo número de combinações  $n_{com}$  realizadas (**Figura II.6.1.1-4** d):

$$P(x, y) = \sum_{i_{sim}=1}^{n_{comp}} \left( \frac{I(x, y)}{n_{com}} \right)$$

Equação 27



**Figura II.6.1.1-4 - Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença de constituinte no STROLL.**

Além da probabilidade de presença do constituinte, o módulo probabilístico do STROLL fornece também os tempos de chegada da mancha em cada ponto de grade do domínio, em cada simulação.

#### **II.6.1.1.2.2.1 - Histogramas de Tempo de Chegada de Óleo Próximo à Costa**

Os histogramas de tempo de chegada são gerados com as frequências de ocorrência do tempo mínimo de chegada de óleo na costa para toda a simulação probabilística. O gráfico de probabilidade de presença de óleo com os histogramas de tempo de chegada facilita a análise conjunta dos resultados.

Os histogramas são elaborados para cada quadrado de 1 (um) grau de resolução, onde os gráficos estão centrados. No cálculo dessa estatística são levados em consideração todos os tempos de chegada de óleo no interior de cada quadrado supracitado.

#### **II.6.1.1.2.2.2 - Volume Máximo de Óleo na Costa**

Para obtenção do volume máximo de óleo na costa, os elementos de grade são monitorados ao longo de toda a simulação. São armazenadas as informações de volumes máximos de óleo que atingem cada elemento de grade ao longo das n simulações. Ao final, têm-se um mapa dos volumes máximos por unidade de área, ou espessuras máximas, que atingiram os elementos de grade que representam a costa.

Para contabilizar os volumes máximos por município, são utilizados os maiores valores de volumes máximos de óleo presentes nos elementos de grade mais próximos a cada município costeiro.

#### **II.6.1.1.3 - Características da Simulação**

As simulações foram realizadas considerando eventos de blow-out (**Tabela II.6.1.1-2**), com vazamento contínuo por 30 dias (720 horas) em 2 (dois) cenários sazonais, verão e inverno. Após a disponibilização do óleo na água, o comportamento de sua deriva foi acompanhado por 30 dias. Portanto ao final das simulações foram totalizados 60 dias (1440 horas).

Além da simulação de blow-out, na qual é considerado o volume de pior caso, 39.000 m<sup>3</sup> (1.300 m<sup>3</sup>/dia) foram ainda realizadas simulações para vazamentos instantâneos de pequeno e médio porte, 8 m<sup>3</sup> e 200 m<sup>3</sup>, respectivamente. Nesses casos as simulações duraram 30 dias (720 horas).

Para todos os casos simulados a deriva do óleo foi acompanhada por 30 dias nos vazamentos instantâneos e 60 dias para blow-out, independente da espessura do óleo, ou seja, mesmo que todo óleo tenha ficado abaixo do limiar de detecção em algum momento da simulação.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo espessuras maiores ou iguais ao limiar de  $3 \times 10^{-7}$  metros (limiar de detecção) (ELPN/IBAMA, 2002) e o critério de parada utilizado nas simulações está de acordo com a Nota Técnica Nº 02/2009/CGPEG/DILIC.



**Tabela II.6.1.1-2 - Volume de óleo e tipo de vazamento.**

Local	Volume de óleo (m <sup>3</sup> )	Tipo de Vazamento
Poço 7-ESP-42H-RJS	39.000	Blow-out

Fonte: Petrobras.

A seguir, na **Tabela II.6.1.1-3** e **Tabela II.6.1.1-4**, serão apresentadas as características do óleo e o local do vazamento.

**Tabela II.6.1.1-3 - Características do óleo utilizadas nas simulações.**

	Parâmetro	Valor	Unidade	Temperatura
Poço 7-ESP-42H-RJS	API	19,5	-	-
	Densidade relativa	0,933	-	20/4 °C
	Viscosidade Dinâmica	635,8	cP	20°C
	Destilação	50	%vol	459°C

Fonte: Petrobras.

**Tabela II.6.1.1-4 - Localização do vazamento.**

Poço 7-ESP-42H-RJS	Longitude	40° 32' 10,399" W
	Latitude	22° 54' 22,257" S

Fonte: Petrobras.

A seguir serão apresentadas as forçantes utilizadas durante a simulação probabilística.

### **II.6.1.1.3.1 - Forçantes**

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo são provenientes das Reanálises do NCEP - *National Centers for Environmental Prediction* - (KALNAY *et al.*, 1996). A base de dados conhecida como "Reanálises do NCEP" foi originada a partir de uma cooperação entre o NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) e o NCAR (*National Center for Atmospheric Research*), com intuito de produzir inicialmente uma rede de 40 anos de dados meteorológicos globais com base nas análises dos campos atmosféricos (KALNAY *et al.*, 1996). Posteriormente, esse projeto foi ampliado para uma janela de tempo de 50 anos (KISTLER *et al.*, 2001), e atualmente, estão disponíveis mais de 60 anos (1948-atual) de dados.

A Reanálise do NCEP (R-1) usa o estado da arte em sistemas de assimilação de dados e um banco de dados mais completo possível, abrangendo informações

meteorológicas primárias das mais diversas fontes associadas aos dados do modelo atmosférico global do NCEP (KISTLER *et al.*, 2001).

Estes dados são amplamente utilizados pela comunidade científica, sendo, portanto adequados para utilização em estudos dessa natureza. Os dados primários utilizados para gerar as reanálises são de diferentes origens:

- Dados globais de radiossondas.
- Dados da superfície do mar obtidos através do projeto COADS (*Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*) no período de 1983 a 1996 (13 anos), originados de diversas fontes, dentre elas, observações de navios, bóias fixas, bóias móveis e estações oceânicas próximas à superfície.
- Dados aéreos, originados de observações por aeronaves em todo o globo, geralmente associados a projetos como GARP (*Global Atmospheric Research Program*) e GATE (*Global Atlantic Tropical Experiment*), por exemplo.
- Dados de Satélite, que começaram a ser obtidos em 1967, através de diversos programas. Atualmente, o NCEP/NCAR utiliza dados fornecidos pelo projeto TOVS (*Operational Vertical Sounder System*), com variáveis em três dimensões, cuja resolução espacial média é de 2,5 graus.
- Dados de vento em superfície, obtidos pelo sensor espacial Microwave/Imager (SSM/I) a partir de 1987, submetidos ao tratamento feito pela rede neural de Kransnopolsky *et al.* (1995) *apud* Kalnay *et al.* (1996).
- Dados de cobertura de nuvens obtidos por estimativas dos dados de Satélites Meteorológicos Geoestacionários (SMG). Esses dados estão disponíveis desde 1978.

Todos os dados utilizados nas reanálises passam por um rigoroso controle de qualidade e recebem um tratamento diferenciado de acordo com a forma de obtenção. Utilizando-se técnicas de interpolação espaço-temporal, que levam em consideração não somente a estatística como também a dinâmica dos fenômenos meteorológicos (análise objetiva).

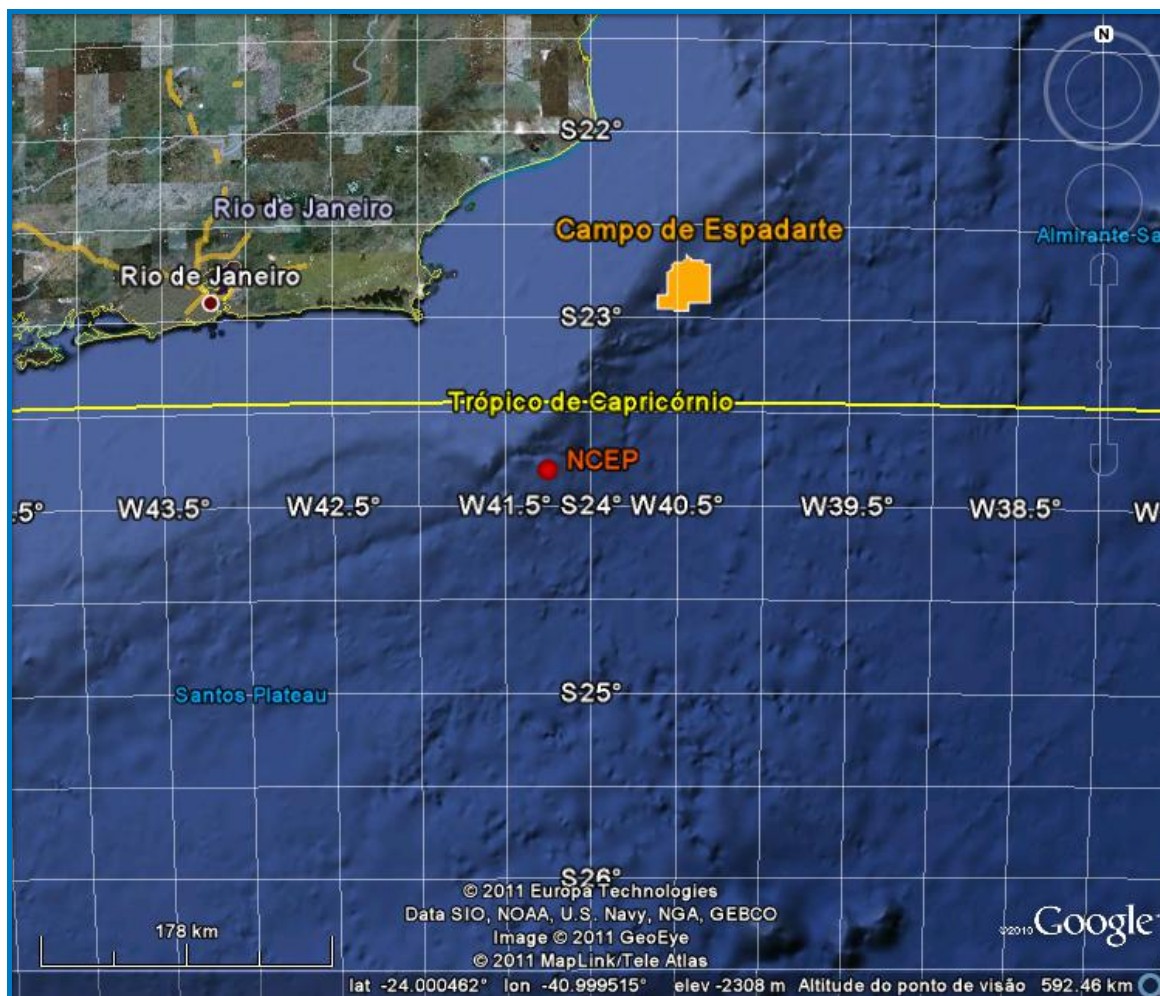
As reanálises foram criadas por um sistema complexo de programas, bibliotecas, algoritmos e dados, que envolvem diversas etapas no processamento, tais como, decodificação, controle de qualidade, análises, previsão, pós-processamento e armazenamento. Conseqüentemente, o processo se tornou propenso a erros humanos. Neste contexto, surgiu a Reanálise 2 (R-2), que além de minimizar os erros humanos no processamento, incorporou atualizações no modelo de previsão e diagnóstico (KANAMITSU *et al.*, 2002). Outro fator determinante para o desenvolvimento da R-2, foi o aumento significativo da quantidade e da qualidade dos dados coletados a partir do final dos anos 70. Assim, ao contrário da R-1 que está disponível de 1948 até os dias de hoje, a R-2 encontra-se disponível a partir de 1/1/1979 (CAMPOS, 2009).

O projeto R-2 (NCEP - DOE AMIP-II Reanalysis) trata-se de uma série global atualizada, de 1979 até 2008, que corrige os erros de processamento da R-1, utilizando um modelo de previsão e um sistema de assimilação de dados mais robustos. Assim, é gerada uma reanálise mais consistente e recomendada para usuários que eram afetados por alguns erros presentes na R-1. Dentre estes erros, podemos citar as análises de transientes no Hemisfério Sul; o uso de temperaturas próximas à superfície e cobertura de neve sobre os continentes no Hemisfério Norte durante o inverno; análise da umidade dos solos; análises do balanço de neve; e sensibilidade das análises a mudanças no modelo de assimilação (KANAMITSU *et al.*, 2002).

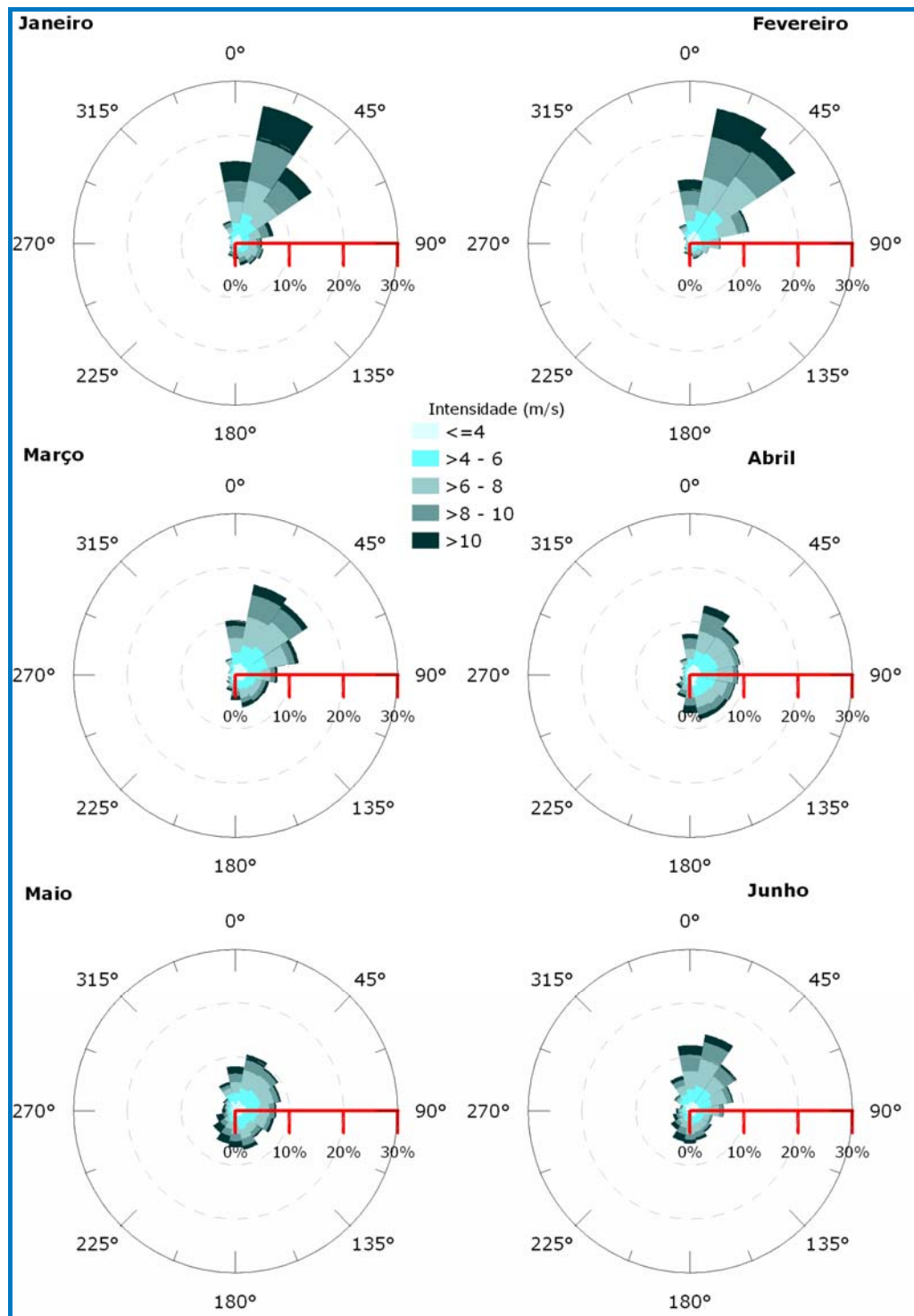
Deve ser ressaltado que a R-2, embora tenha passado por melhorias significativas, trata-se de uma atualização da R-1, e não uma nova geração da reanálise. Os produtos da R-2 estão disponíveis para o público através do Centro de Diagnósticos Climáticos do NCAR, e através da página: [www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html](http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html).

Para este estudo foram tratados 30 anos de dados (1979 a 2008) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia). A resolução espacial na área em questão é de aproximadamente 1.8°. Essa análise subsidiou a definição de dois períodos com características distintas na direção do vento, fato que influencia diretamente o transporte do óleo.

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos, elaboradas para o período analisado (1979 a 2008), na região do Campo de Espadarte (**Figura II.6.1.1-5, Figura II.6.1.1-6 e Figura II.6.1.1-7**).



**Figura II.6.1.1-5** - Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo do Campo de Espadarte.



**Figura II.6.1.1-6** - Rosa dos ventos de janeiro a junho na região do Campo de Espadarte.

Fonte: NCEP.

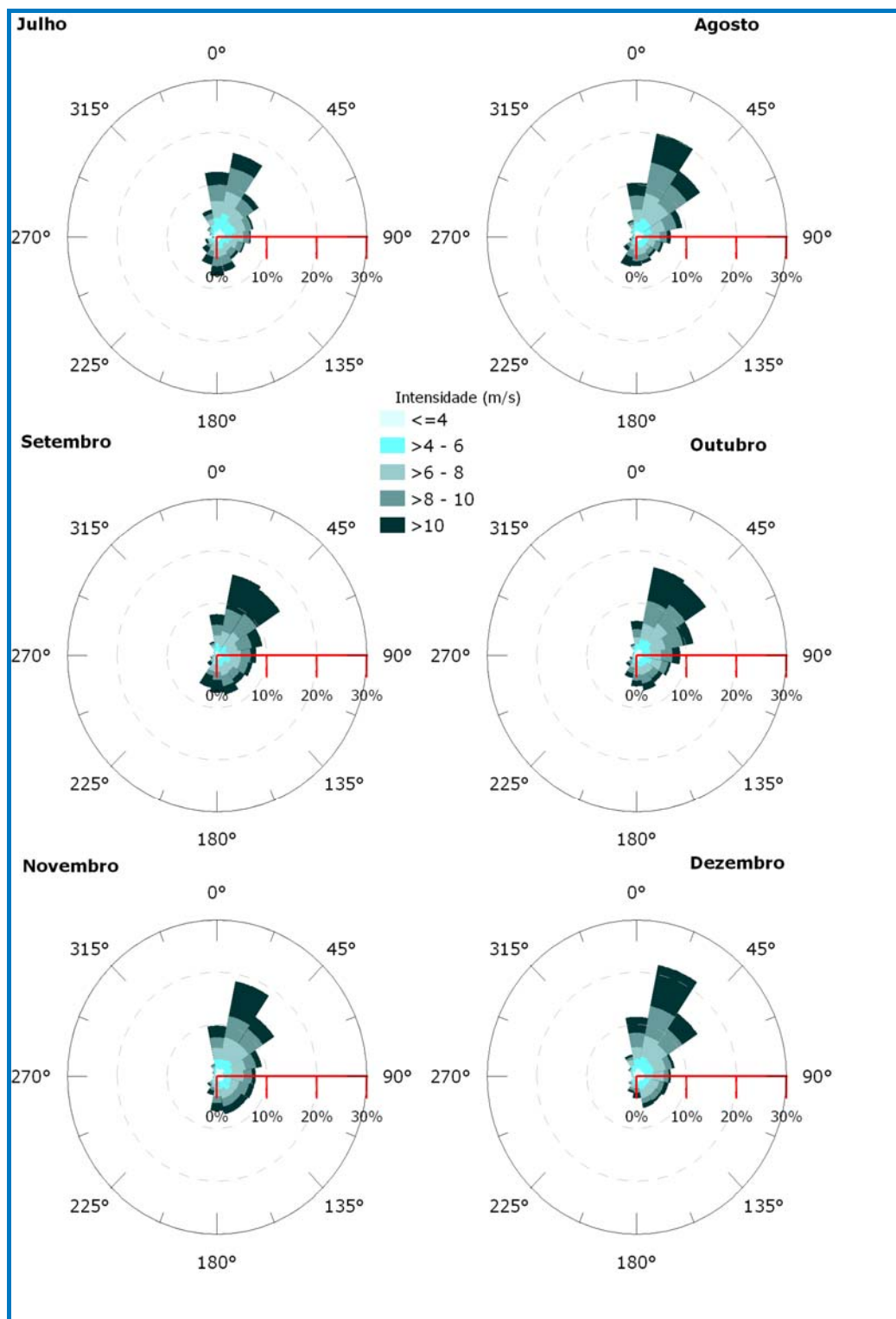


Figura II.6.1.1-7 - Rosa dos ventos de julho a dezembro na região do Campo de Espadarte.

Fonte: NCEP.

A análise da rosa dos ventos possibilitou a caracterização de dois períodos com características distintas dentro do ano.

O período de verão, que compreende os meses de setembro a fevereiro é caracterizado pela maior frequência de ventos de norte-nordeste e nordeste, sendo estes mais intensos. Também foi registrada a ocorrência de ventos de sudeste com menor frequência.

No período de março a agosto, caracterizado por condições típicas de inverno, também existe a predominância dos ventos de nordeste. Porém, esses se apresentam menos frequentes que os observados no período de verão. A frequência e incidência de ventos de sul e sudeste neste período foram maiores, devido principalmente a passagem de sistemas frontais comum nesse período.

Os dados de correntes utilizados como forçante no modelo de óleo são provenientes da modelagem hidrodinâmica para a costa Sul-Sudeste Brasileira realizada pela ASA South America para a PETROBRAS (ASA 03-081). Foi utilizada uma série temporal de 1 ano de dados (1992), com resolução espacial de acordo com a grade do modelo hidrodinâmico:

$$4,2 \text{ km} \leq \text{eixo } x \leq 50,3 \text{ km}$$

$$7,0 \text{ km} \leq \text{eixo } y \leq 45,8 \text{ km}$$

Para sua utilização como forçante na modelagem de dispersão de óleo, os dados de corrente foram interpolados para uma grade coincidente no espaço e no tempo com a do modelo de dispersão.

Segundo o relatório da modelagem hidrodinâmica (ASA 03-081 - **Anexo II.6.2**), para a realização de uma modelagem numérica que considere fenômenos em escala sinótica (como a passagem de sistemas frontais) não é adequado forçar o modelo com campos climatológicos de vento. Assim, se faz necessário escolher um determinado ano para simulação, cuja escolha obedece alguns critérios:

- Representatividade dos padrões dinâmicos típicos, ou extremos para a região, dependendo do propósito do estudo; e

- Disponibilidade de séries temporais simultâneas de ventos, elevação da superfície do mar, e de correntes medidas na região de interesse, necessárias para forçar, calibrar e avaliar o modelo hidrodinâmico.

Análises realizadas em relação à intensidade e incidência de ventos, assim como de ventos extremos, apontaram o ano de 1992 como sendo o mais representativo dos padrões típicos da região, assim como o que apresenta as condições mais favoráveis ao transporte de óleo na costa.

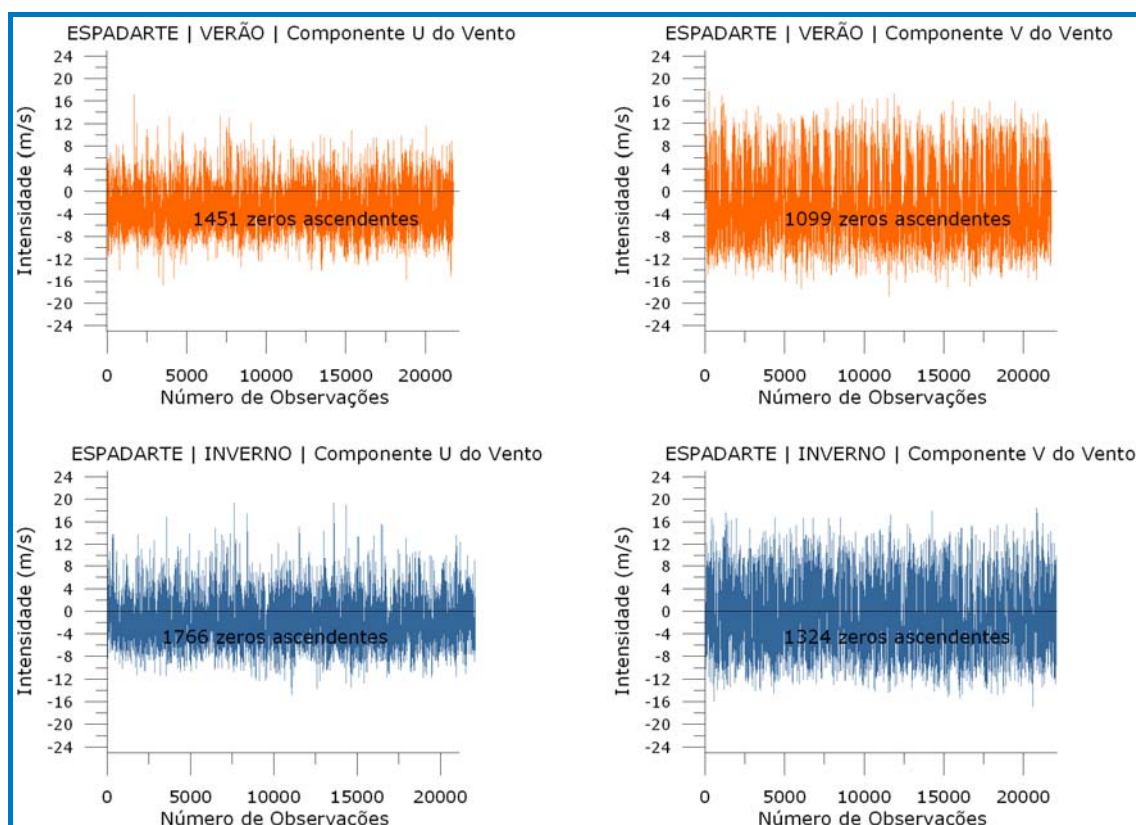
#### **II.6.1.1.3.2 - Variabilidade Ambiental**

Na implantação de um modelo probabilístico de vazamento de óleo é necessária a definição de um universo amostral que represente a variabilidade ambiental da região. No modelo de óleo STROLL, o universo amostral é criado por  $n$  repetições com condições de vento e corrente variadas, o que cria a necessidade de se definir o número de simulações que serão conduzidas na realização da modelagem. Este número deve ser suficiente para representar de forma adequada a variabilidade ambiental presente na região, obtendo um mapa de probabilidade estatisticamente coerente.

A metodologia proposta por Elliot (2004) sugere o número adequado de simulações baseado na análise do número de zeros-ascendentes (zero-up-crossing) do vento, que consiste na identificação do número de vezes que as componentes zonal ( $u$ ) e meridional ( $v$ ) do vento trocam de sinal. De forma prática, a alteração de sentido nas componentes está ligada a mudanças no padrão sinótico do vento, como por exemplo, no período de passagem de um sistema frontal pela região.

Dessa forma, com o objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse relatório, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (zero-up-crossing) da região do Campo de Espadarte. Os resultados podem ser observados na **Figura II.6.1.1-8**.





**Figura II.6.1.1-8** - Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do Campo de Espadarte, na Bacia de Campos, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

Observa-se que no período de verão, o número de zeros ascendentes foi de 1.451, para a componente zonal (u) e 1.099 para a meridional (v). No período de inverno, o número de zeros ascendentes para componente zonal (u) subiu para 1.766 e da componente meridional (v), 1.324. Considerando que os dados correspondem a um período de 30 anos (aproximadamente 15 anos para cada cenário ambiental: verão e inverno), e que o intervalo entre as medições é de 6 horas, podemos estimar uma escala mínima de variabilidade significativa de aproximadamente 3,1 dias no período de inverno e de 3,8 dias no período de verão.

Assim, tendo como base a metodologia proposta por Elliot (2004), para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, os números mínimos de simulações aconselháveis seriam de 1.451 e 1.766, para os períodos de verão e inverno, respectivamente. No estudo em questão serão utilizadas 2.000 simulações para cada cenário sazonal.

#### **II.6.1.1.4 - Resultados**

A seguir serão apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada para as simulações de vazamentos de 8, 200 m<sup>3</sup> e pior caso (39.000 m<sup>3</sup>), para os cenários de verão e inverno.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 2.000 diferentes simulações para cada cenário (verão e inverno), nos diferentes volumes de vazamento 8 m<sup>3</sup>, 200 m<sup>3</sup> e pior caso, totalizando 12.000 possíveis cenários ambientais de vazamento.

O cenário crítico, para ser simulado no modo determinístico, será definido através da análise dos resultados sazonais, sendo escolhida a situação onde o óleo atinja a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento.

Também no modo determinístico serão apresentadas as trajetórias seguidas pelo óleo em condições meteo-oceanográficas dominantes na região, nos cenários sazonais de verão e inverno.

A **Tabela II.6.1.1-5**, a seguir, resume a forma como os resultados serão apresentados.

#### **Tabela II.6.1.1-5 - Ordem de apresentação dos resultados.**

Modo Probabilístico
Vazamentos instantâneos (8 e 200 m <sup>3</sup> )*
Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo
Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo
Blow-out (39.000 m <sup>3</sup> )*
Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo
Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo
Histogramas de Tempo de Chegada de Óleo
Volume Máximo de Óleo na Costa
Tabela Comparativa de Probabilidade, Tempo Mínimo e Volume Máximo de Óleo entre os Cenários
Modo Determinístico *
Trajetória do Óleo em Condição Crítica**
Trajetória do Óleo em Condições Meteo-oceanográficas frequentes
Balanco de Massa e Evolução Temporal de Volume de Óleo Acumulado na Costa

Legenda: \* cenário de verão e inverno.

\*\* cenário de inverno.

As tabelas comparativas de probabilidade, tempo mínimo e volume máximo de óleo, por cenário sazonal serão apresentadas considerando cada município na costa, que pode ser atingido pelo óleo. Os municípios no interior da Baía de Guanabara - RJ, Baía de Sepetiba - RJ e Baía Norte - SC serão considerados através dos valores de probabilidade, tempo mínimo e volume máximo na entrada das mesmas.

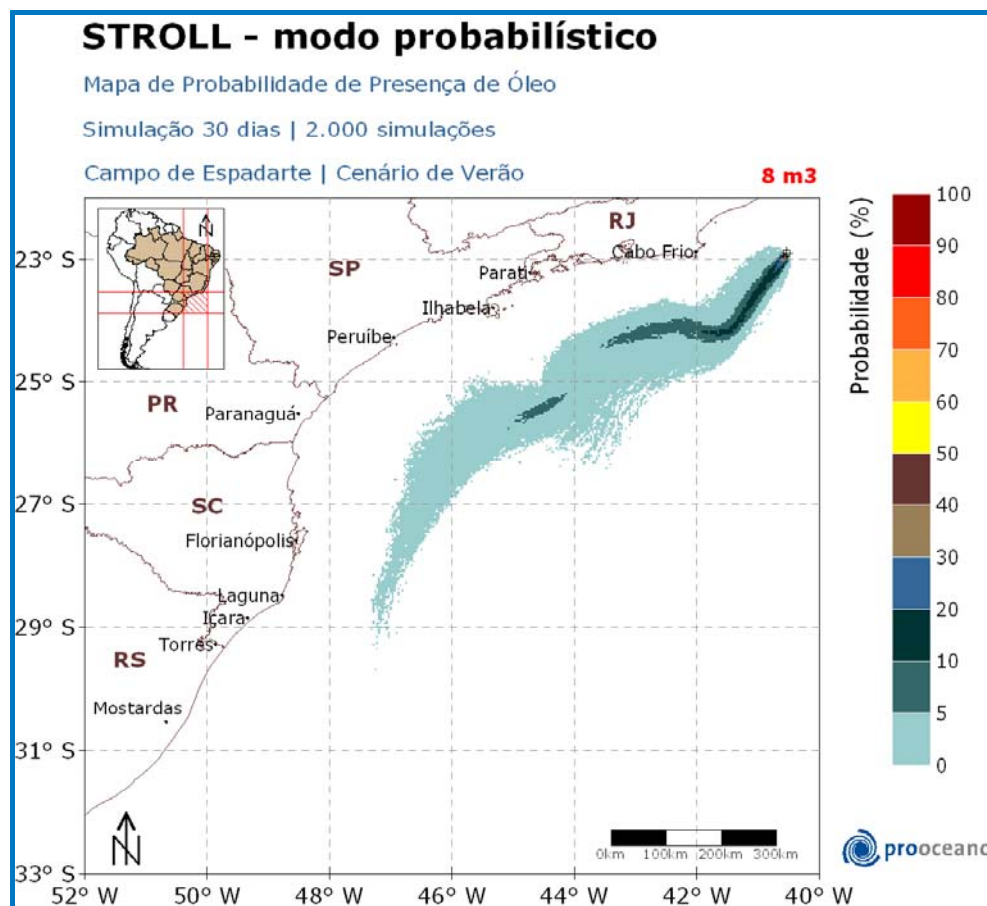
#### **II.6.1.1.4.1 - Modo Probabilístico**

##### **II.6.1.1.4.1.1 - Vazamento de 8m<sup>3</sup>**

Foram realizadas simulações para vazamentos instantâneos de pequeno volume (8m<sup>3</sup>) para os cenários de verão e inverno. Como o vazamento, nesse caso, é instantâneo, o tempo de simulação total é de 30 dias (720 horas). A seguir são apresentados os resultados probabilísticos dessas simulações.

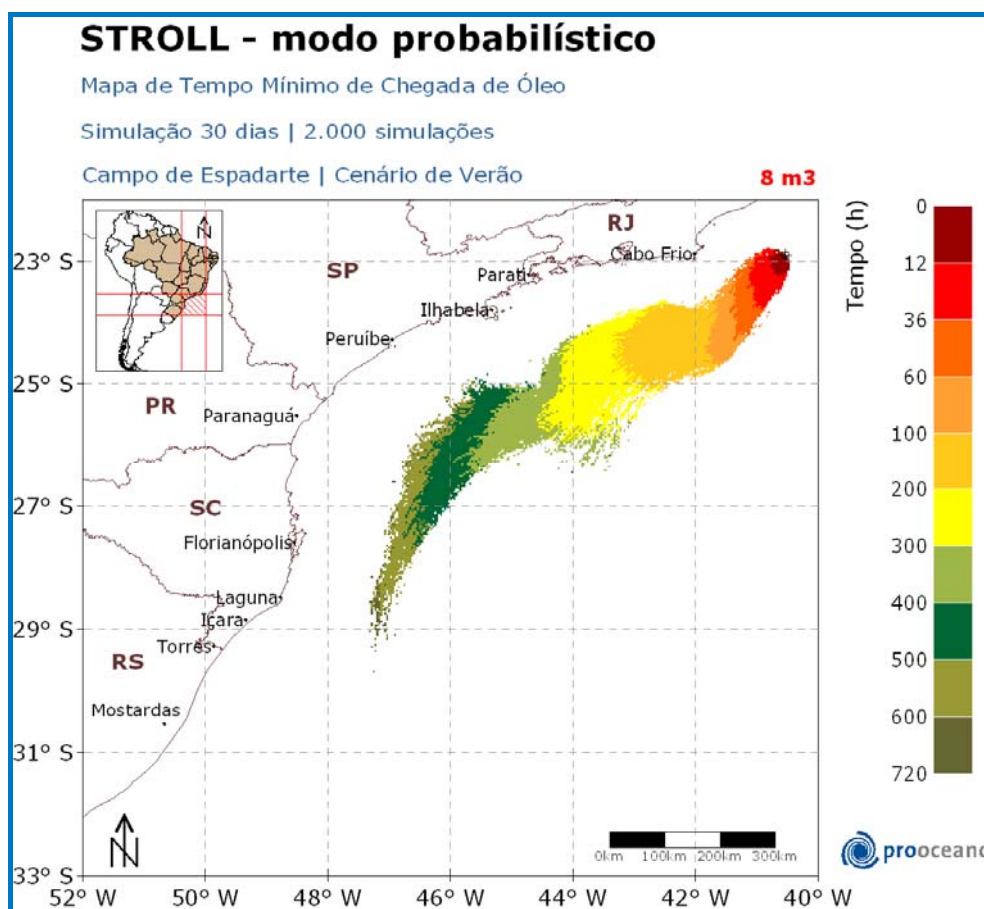
##### **II.6.1.1.4.1.1.1 - Verão**

O mapa de probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 8 m<sup>3</sup> no cenário de verão é apresentado na **Figura II.6.1.1-9**, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na **Figura II.6.1.1-10**.



**Figura II.6.1.1-9** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m<sup>3</sup>, no cenário de verão. Simulação de 720 horas (30 dias).

Ao observar a **Figura II.6.1.1-9**, nota-se que a deriva do óleo ocorreu rumo a sudoeste do local do vazamento devido à influência da Corrente do Brasil e dos ventos de nordeste. A área de probabilidade de presença de óleo na região de estudo se estendeu desde a latitude 22,9° S, no ponto de vazamento, até próximo de 29° S, sem que houvesse probabilidade do óleo alcançar a costa.

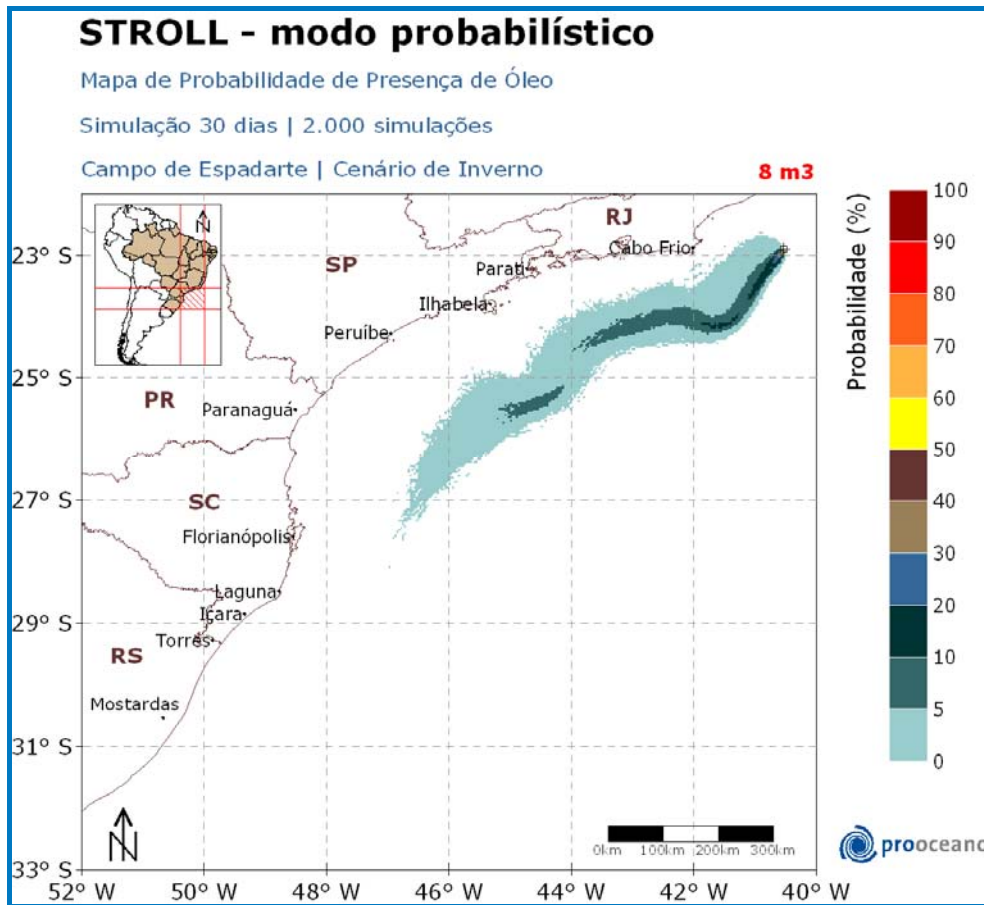


**Figura II.6.1.1-10** - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m<sup>3</sup>, no cenário de verão. Simulação de 720 horas (30 dias).

Na **Figura II.6.1.1-10** observa-se que as regiões mais distantes do ponto de vazamento com probabilidade de presença de óleo apresentaram o tempo mínimo de chegada entre 600 e 720 horas.

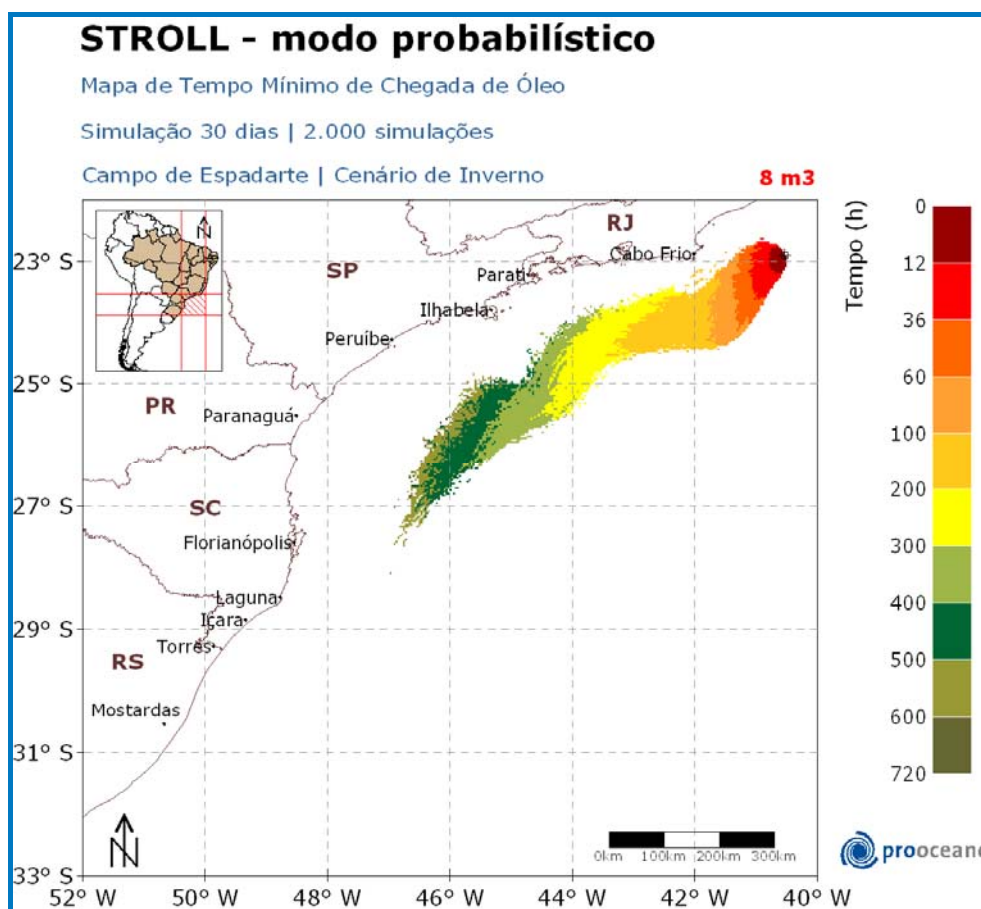
#### **II.6.1.1.4.1.1.2 - Inverno**

Os mapas de probabilidade de presença de óleo e de tempo mínimo de chegada, para o vazamento de 8 m<sup>3</sup>, no cenário de inverno, encontram-se na **Figura II.6.1.1-11** e na **Figura II.6.1.1-12**, respectivamente.



**Figura II.6.1.1-11** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 8 m<sup>3</sup>, no cenário de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias).

Assim como no verão, a deriva do óleo no cenário de inverno (**Figura II.6.1.1-11**) ocorreu rumo a sudoeste do local do vazamento, porém as derivas rumo a sudoeste abrangeram uma área menor comparado com o cenário de verão devido aos ventos menos intensos de nordeste neste cenário de inverno. A área de probabilidade de presença de óleo na região de estudo se estendeu desde a latitude 22,7° S, norte do ponto de vazamento, até próximo de 27,3° S, sem que houvesse probabilidade do óleo alcançar a costa.



**Figura II.6.1.1-12** - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 8 m<sup>3</sup>, no cenário de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias).

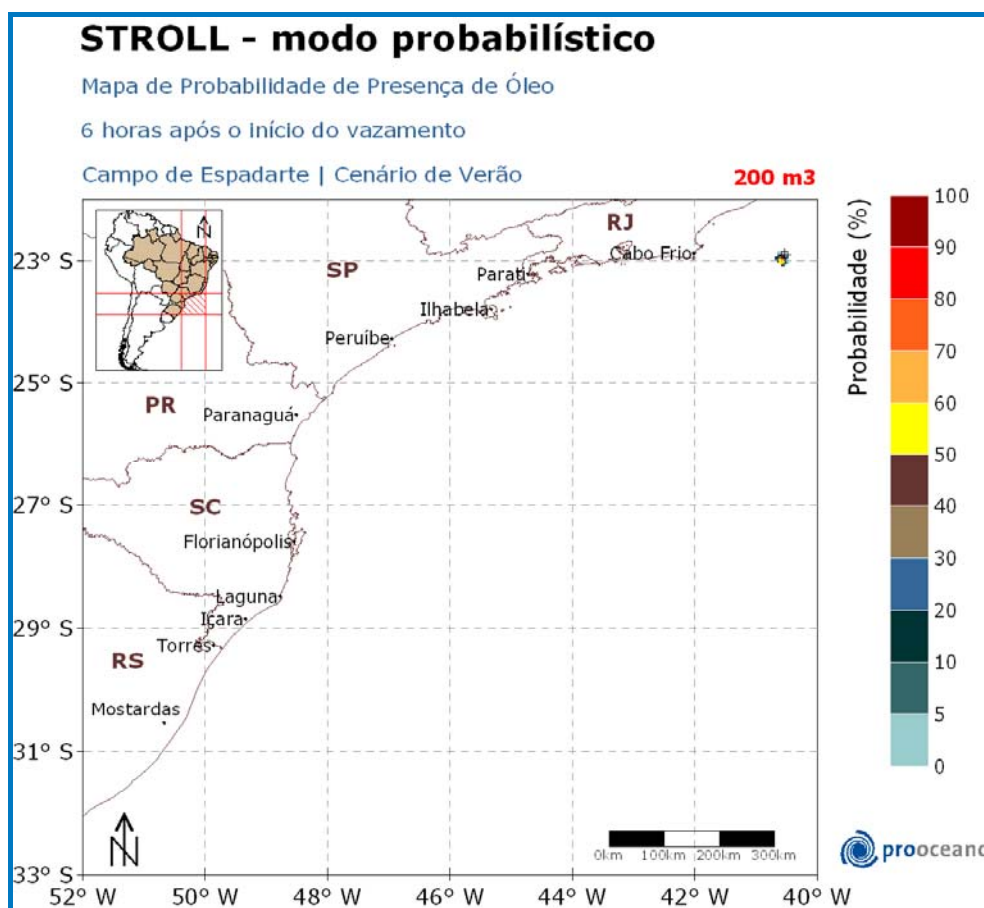
Na **Figura II.6.1.1-12** observa-se que as regiões mais distantes do ponto de vazamento com probabilidade de presença de óleo apresentaram o tempo mínimo de chegada entre 500 e 600 horas.

#### **II.6.1.1.4.1.2 - Vazamento de 200m<sup>3</sup>**

As simulações para vazamentos instantâneos de médio porte (200m<sup>3</sup>) também foram realizadas para os cenários de verão e inverno e consideraram tempos de simulação total de 6 horas e de 30 dias (720 horas). A seguir são apresentados os resultados probabilísticos dessas simulações.

### II.6.1.1.4.1.2.1 - Verão

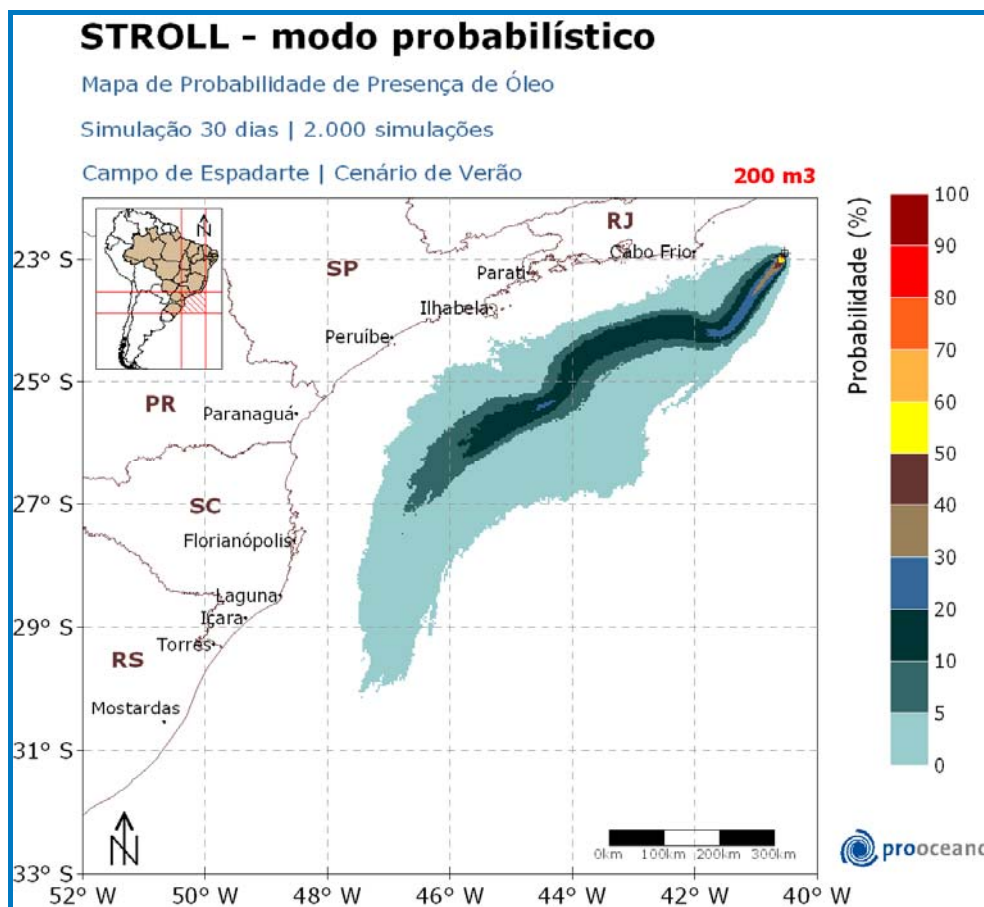
O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de médio porte (200 m<sup>3</sup>) com tempo de simulação de 6 horas, no cenário de verão, é apresentado na **Figura II.6.1.1-13**.



**Figura II.6.1.1-13** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m<sup>3</sup>, no cenário de verão. Simulação de 6 horas.

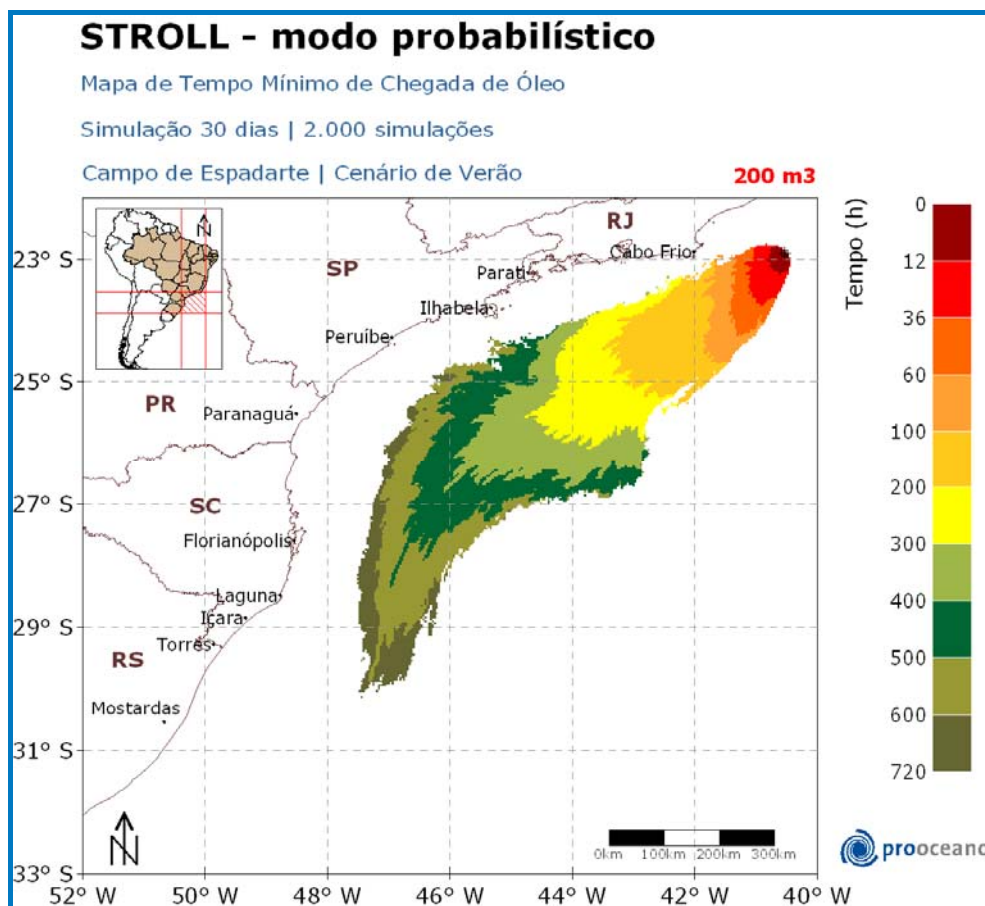
O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de médio porte (200 m<sup>3</sup>) com tempo de simulação de 30 dias (720 horas), no cenário de verão, encontra-se na **Figura II.6.1.1-14**, e o de tempo mínimo de chegada, na **Figura II.6.1.1-15**.





**Figura II.6.1.1-14** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m<sup>3</sup>, no cenário de verão. Simulação de 30 dias (720 horas).

Ao observar a **Figura II.6.1.1-14**, nota-se que a deriva do óleo ocorreu rumo a sudoeste do local do vazamento, como ocorrido com o volume de 8 m<sup>3</sup>, porém abrangeu uma área maior devido ao maior volume. A área de probabilidade de presença de óleo na região de estudo se estendeu desde a latitude 22,8° S, próximo ao ponto de vazamento, até próximo de 30° S, sem que houvesse probabilidade do óleo alcançar a costa.

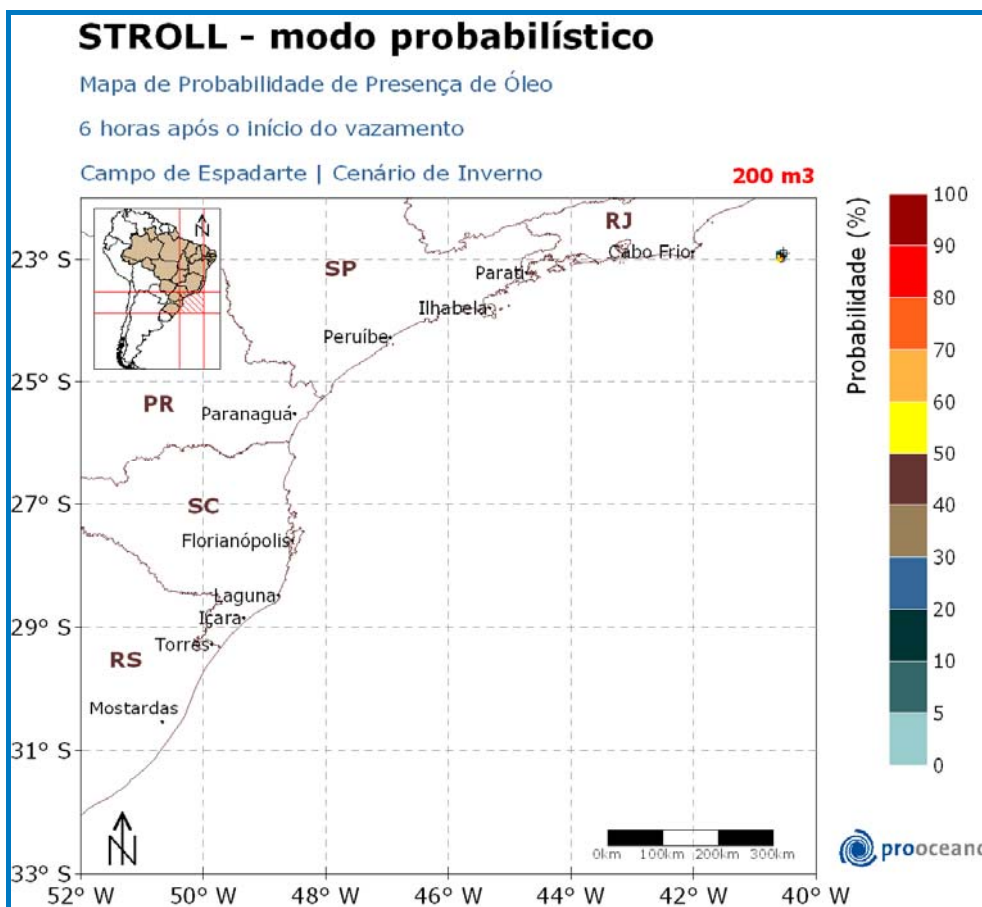


**Figura II.6.1.1-15** - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m<sup>3</sup>, no cenário de verão. Simulação de 30 dias (720 horas).

Na **Figura II.6.1.1-15** observa-se que as regiões mais distantes do ponto de vazamento com probabilidade de presença de óleo apresentaram o tempo mínimo de chegada entre 600 e 720 horas.

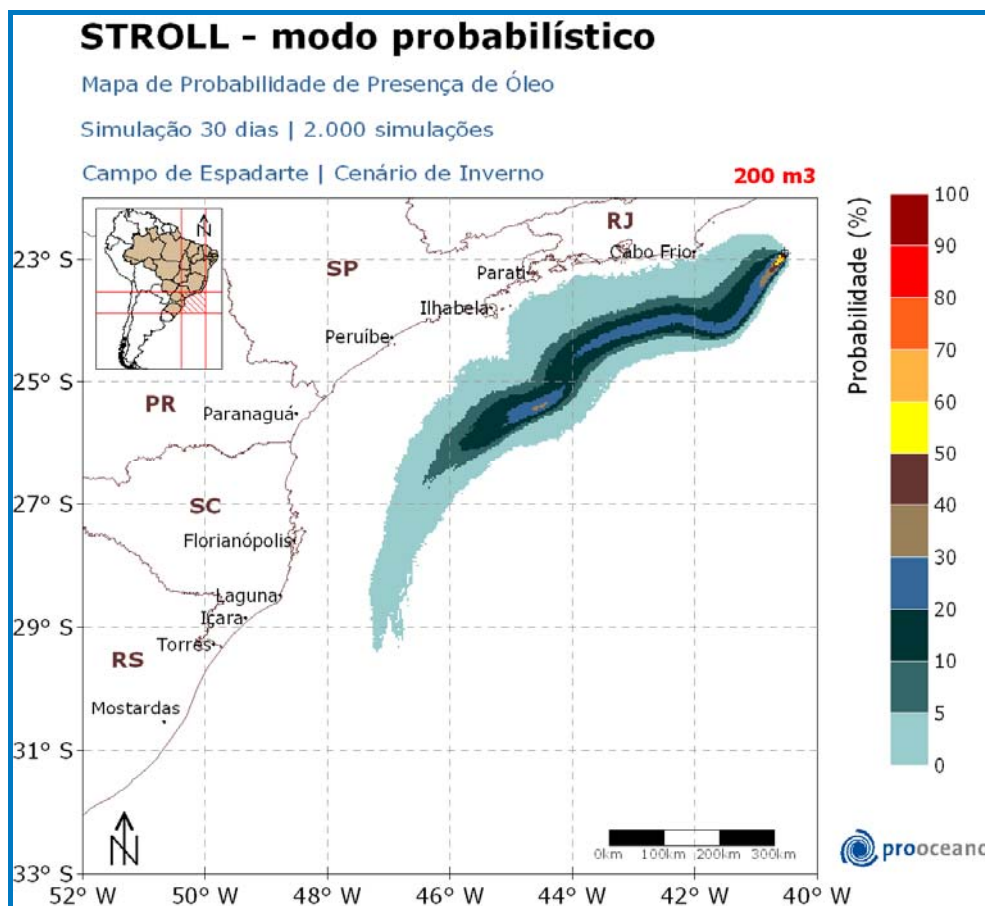
#### **II.6.1.1.4.1.2.2 - Inverno**

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de médio porte (200 m<sup>3</sup>), com tempo de simulação de 6 horas, no cenário de inverno, encontra-se na **Figura II.6.1.1-16**.



**Figura II.6.1.1-16** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m<sup>3</sup>, no cenário de inverno. Simulação de 6 horas.

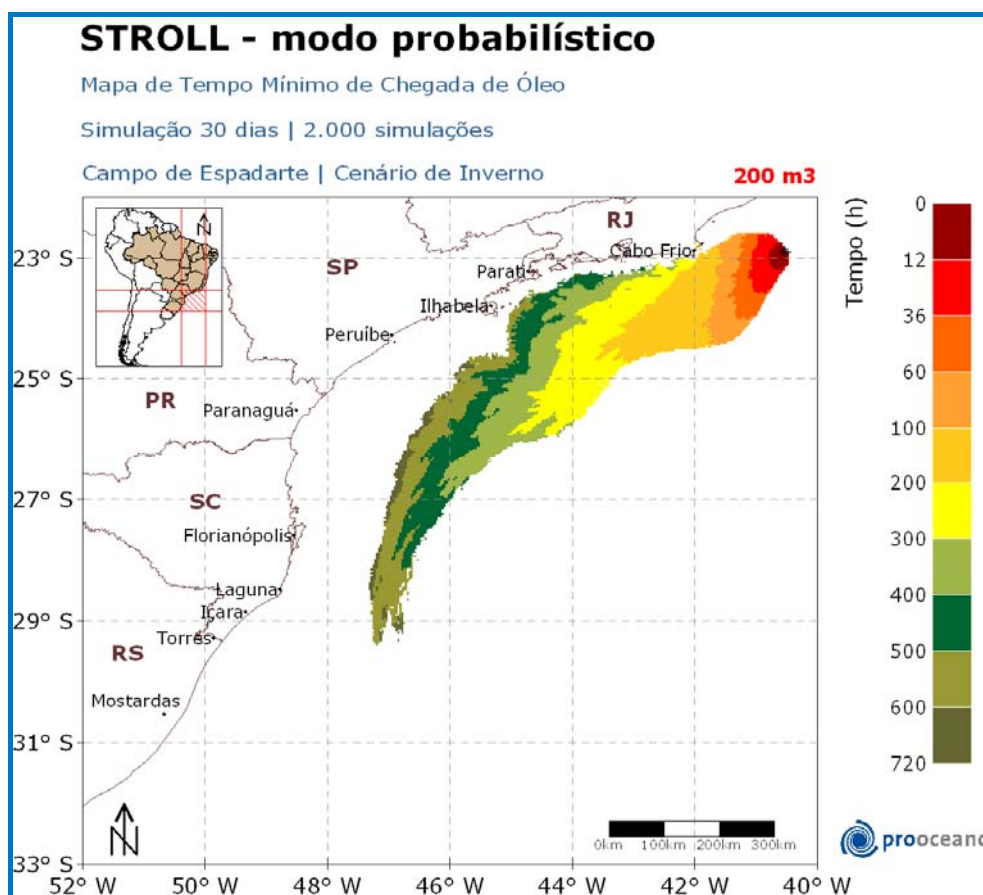
O mapa de probabilidade de presença de óleo para o vazamento de 200 m<sup>3</sup> com tempo de simulação de 30 dias, no cenário de inverno, encontra-se na **Figura II.6.1.1-17**, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na **Figura II.6.1.1-18**.



**Figura II.6.1.1-17** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para vazamento de 200 m<sup>3</sup>, no cenário de inverno. Simulação de 30 dias (720 horas).

Assim como no verão, a deriva do óleo no cenário de inverno (**Figura II.6.1.1-17**) ocorreu rumo a sudoeste do local do vazamento, porém a área de probabilidade esteve mais próxima a costa, devido aos ventos de sul e sudeste, mais presentes no inverno que no período de verão. A área de probabilidade de presença de óleo na região de estudo se estendeu desde a latitude 22,6° S, norte do ponto de vazamento, até próximo de 29,3° S, sem que houvesse probabilidade do óleo alcançar a costa.

Ressalta-se que em certos locais há aproximação da probabilidade de presença de óleo na costa, entretanto sem ocorrer o toque. Um exemplo desta proximidade é observado no município de Arraial do Cabo, oeste do ponto de vazamento, em que a classe 0-5% de probabilidade dista aproximadamente 2 km da linha de costa, sem que haja toque.



**Figura II.6.1.1-18** - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo, para vazamento de 200 m<sup>3</sup>, no cenário de inverno. Simulação de 30 dias (720 horas).

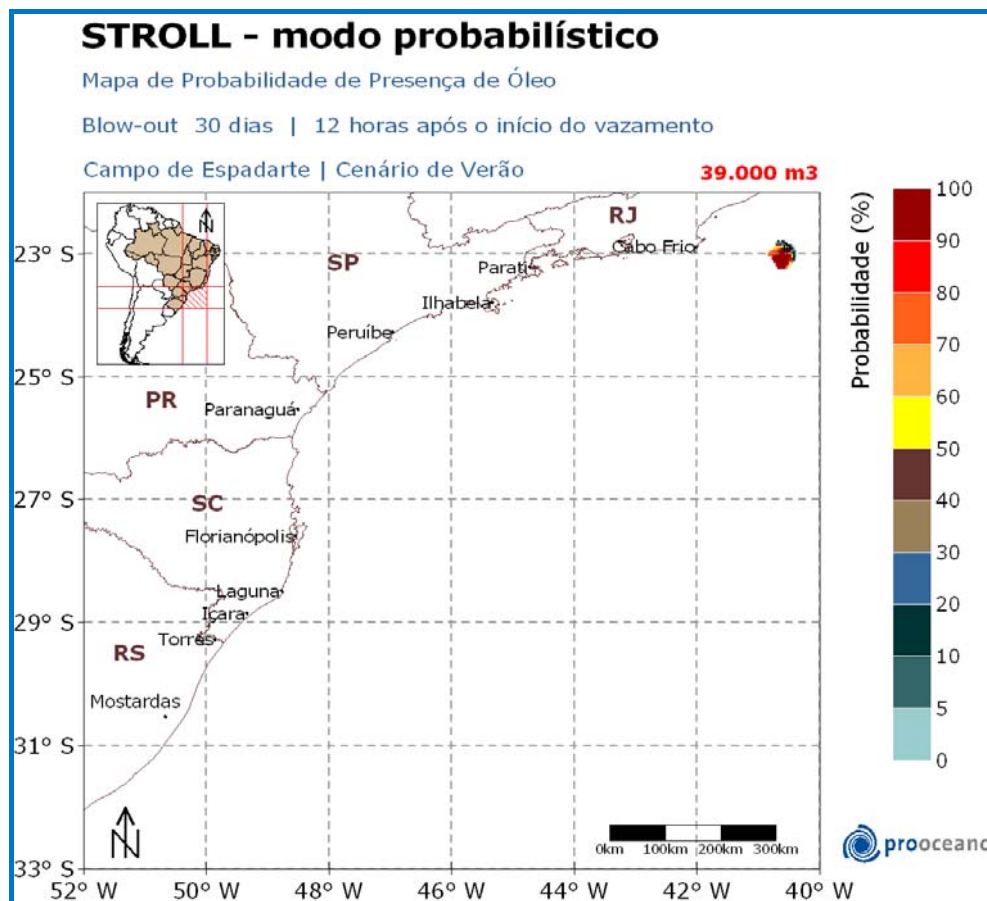
Na **Figura II.6.1.1-18** observa-se que as regiões mais distantes do ponto de vazamento com probabilidade de presença de óleo apresentaram o tempo mínimo de chegada entre 600 e 720 horas.

#### **II.6.1.1.4.1.3 - Vazamento de Pior Caso**

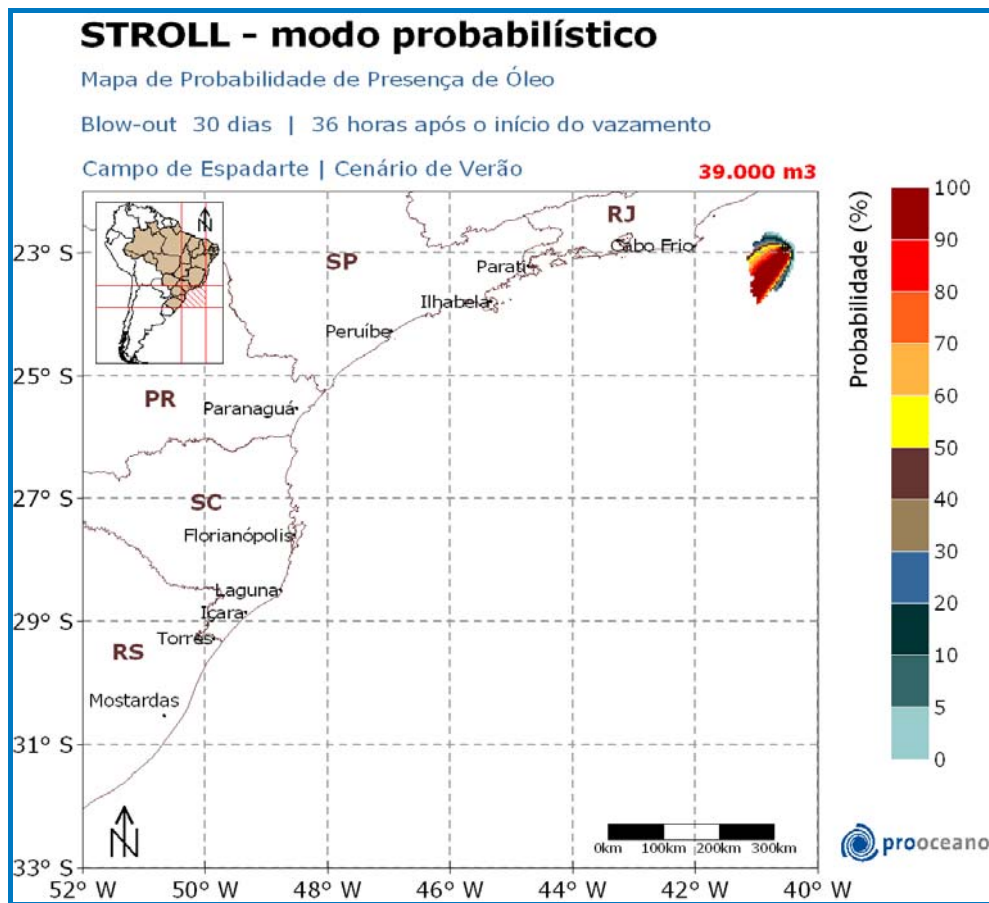
A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas simulações probabilísticas de blow-out, volume vazado de 39.000 m<sup>3</sup> (1.300 m<sup>3</sup>/dia) em 30 dias.

### II.6.1.1.4.1.3.1 - Verão

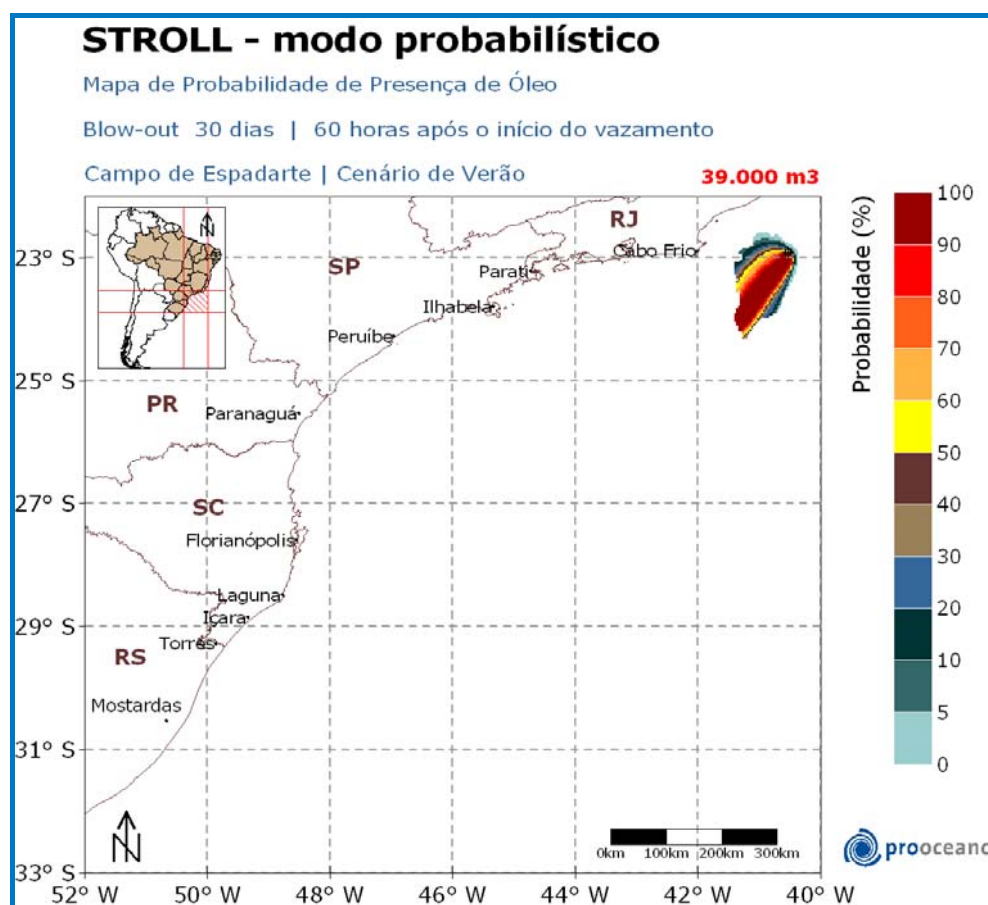
O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de pior caso (39.000 m<sup>3</sup>) com tempo de simulação de 12, 36 e 60 horas, no cenário de verão, encontra-se na **Figura II.6.1.1-19**, **Figura II.6.1.1-20**, e **Figura II.6.1.1-21**, respectivamente.



**Figura II.6.1.1-19** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 12 horas no cenário de verão.



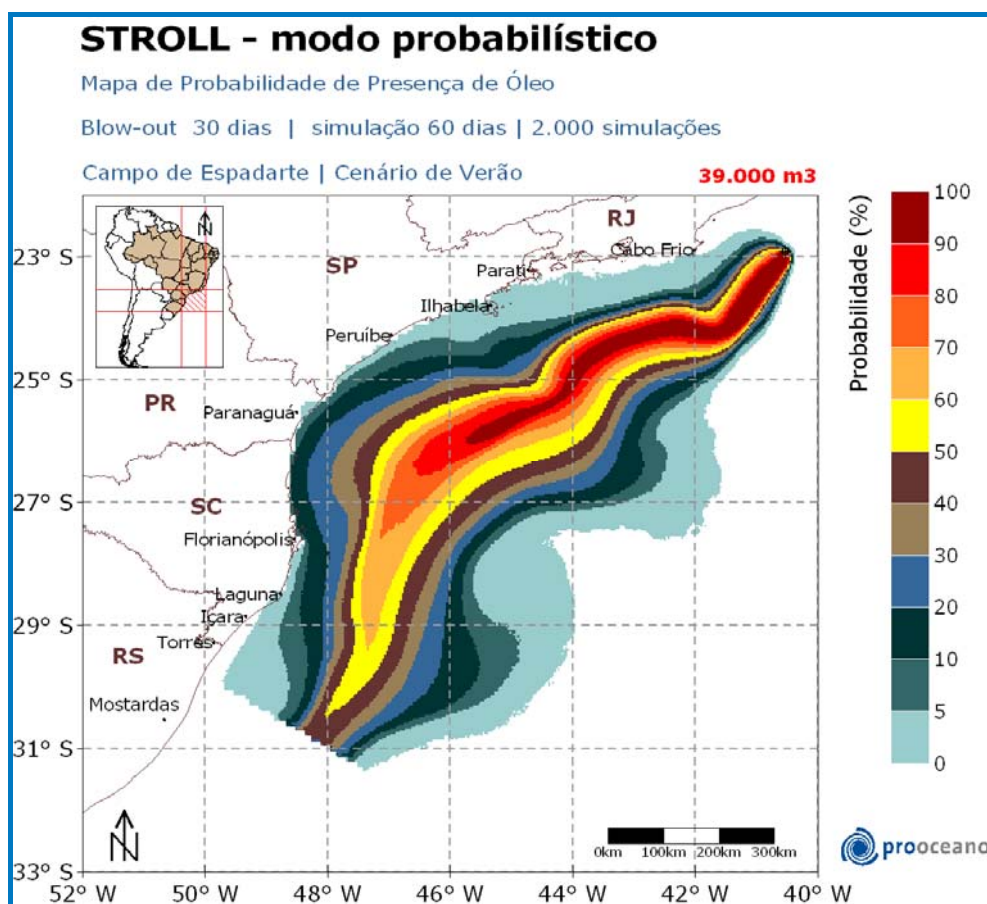
**Figura II.6.1.1-20** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 36 horas no cenário de verão.



**Figura II.6.1.1-21** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 60 horas no cenário de verão.

Os mapas de probabilidade e de tempo mínimo de chegada para o vazamento de 30 dias no período de verão são apresentados na **Figura II.6.1.1-22** e na **Figura II.6.1.1-23**.

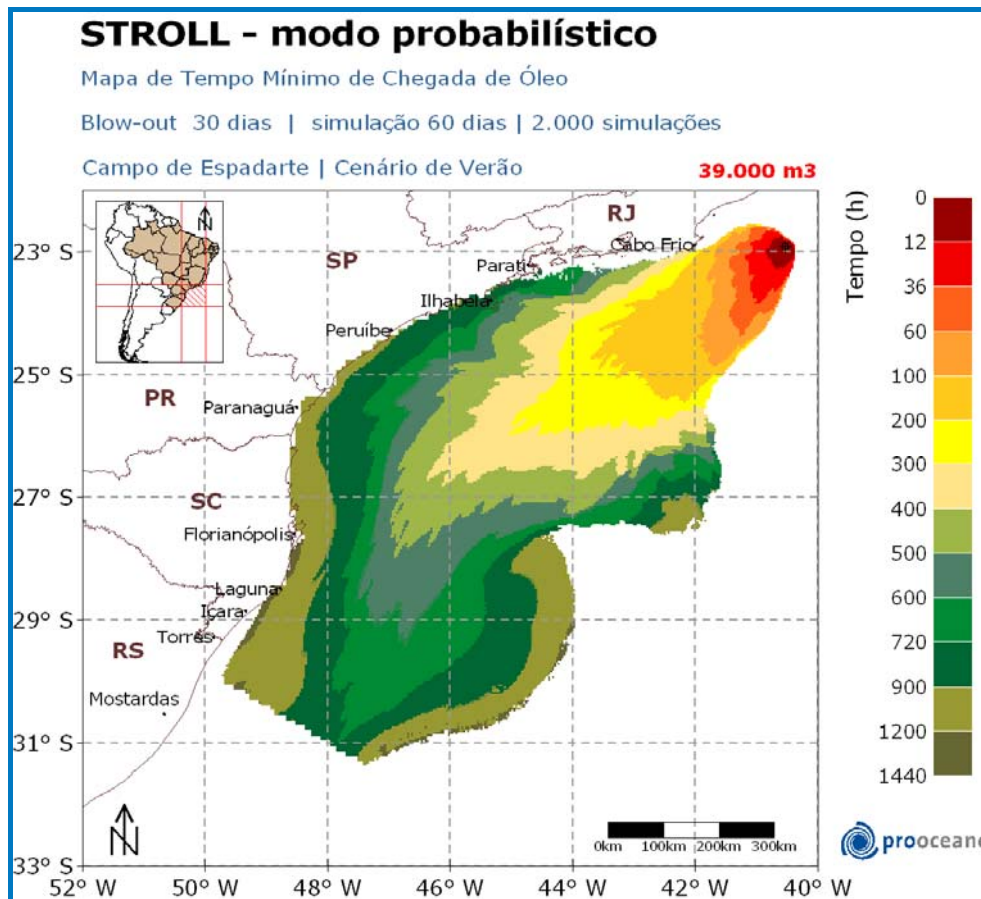




**Figura II.6.1.1-22** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão. Simulação de 60 dias (1440 horas).

Observa-se que a deriva do óleo foi preferencial rumo a sudoeste do poço, como ocorrido nos outros volumes simulados (8 e 200 m<sup>3</sup>), porém abrangeu uma área maior devido ao maior volume. A área de probabilidade de presença de óleo na região de estudo se estendeu desde a latitude 22,5° S, norte do ponto de vazamento, até próximo de 31,4° S, onde observa-se o final da grade do modelo. Considerando que no limite sul da grade já se encontra em uma região onde não há chegada de óleo na costa, e esta dista mais de 40km dos contornos de probabilidade, o resultado final, no que diz respeito a probabilidade de toque de óleo na costa, não foi impactado. Além disso, neste mesmo limite sul, a orientação da linha de costa é nordeste-sudoeste, fazendo com que a área de probabilidade de presença de óleo se afaste ainda mais da região costeira.

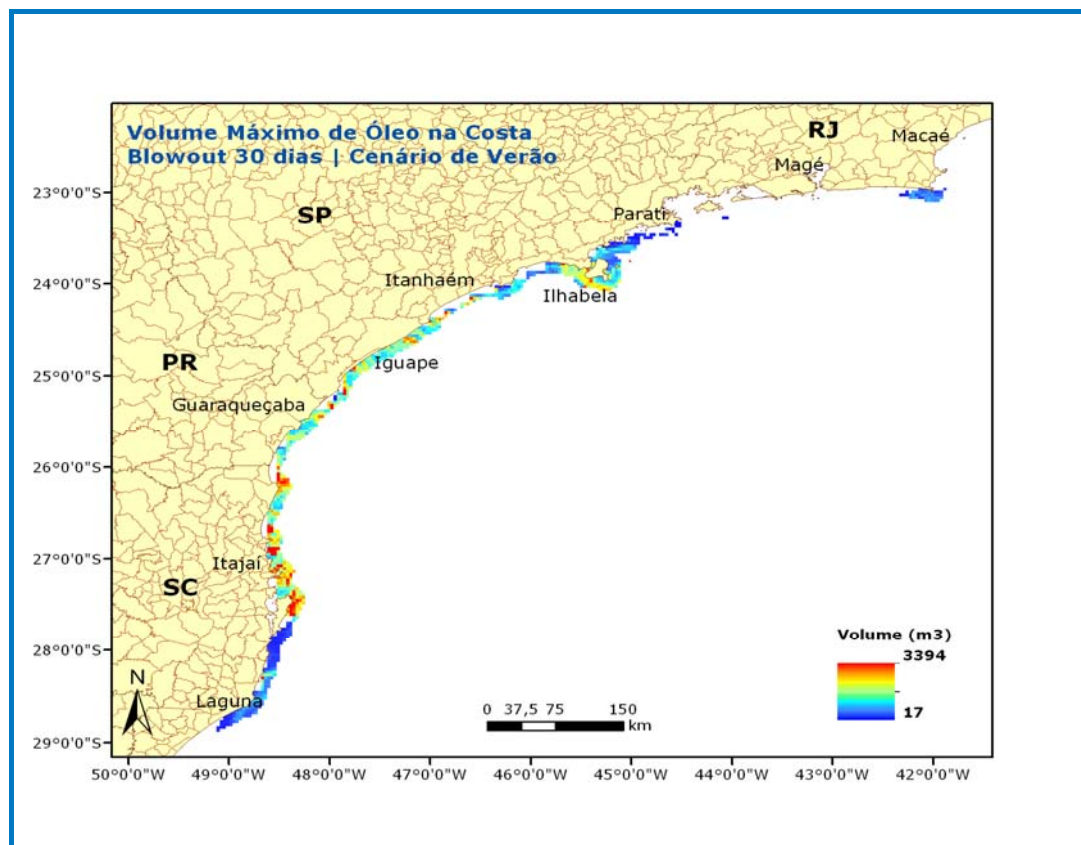
Observa-se que as maiores probabilidades na costa estiveram em Bombinhas e Florianópolis, 13%, no estado de Santa Catarina (**Tabela II.6.1.1-6**). Os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná apresentaram uma probabilidade de presença de óleo inferior a 5% (**Tabela II.6.1.1-6**).



**Figura II.6.1.1-23** - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão. Simulação de 60 dias (1440 horas).

Na **Figura II.6.1.1-23**, observa-se que a costa do município de Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro, é o local mais rapidamente atingido pelo óleo, 327 horas (**Tabela II.6.1.1-6**). Em São Paulo, o município de Ilhabela foi a localidade que apresentou o menor tempo, 611 horas. Os menores tempos mínimos de alcance do óleo na costa do Paraná e de Santa Catarina foram de 900-1200h, sendo o município de Guaqueçaba o local com menor tempo no Paraná, 1084 horas, e o município de Bombinhas o local com menor tempo em Santa Catarina, 1023 horas (**Tabela II.6.1.1-6**).

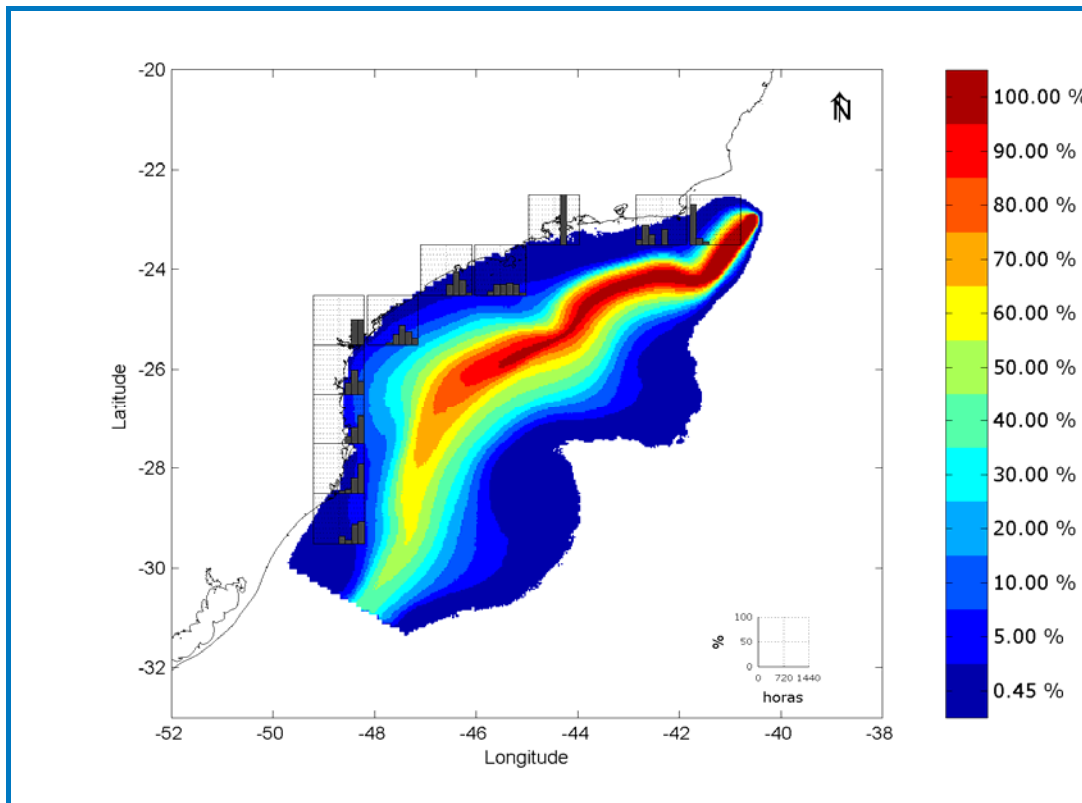
A seguir, a **Figura II.6.1.1-24** apresenta o volume máximo de óleo na costa e adjacências para as simulações de pior caso, cenário de verão.



**Figura II.6.1.1-24** - Volume máximo de óleo na costa e adjacências, após as simulações de 60 dias no cenário de verão.

Ao analisarmos o volume máximo de óleo que atinge a costa (**Figura II.6.1.1-24**), observamos que o maior valor de volume máximo, 3394,1 m<sup>3</sup>, foi registrado em Florianópolis - SC. É ressaltado também locais onde são observados valores acima de 2000 m<sup>3</sup>, como em Peruíbe, Iguape, Ilha Comprida, Cananéria, no estado de São Paulo, e Balneário Camboriú e Itapema, em Santa Catarina (**Tabela II.6.1.1-6**).

A seguir, na **Figura II.6.1.1-25**, são apresentados os histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para toda a simulação probabilística.

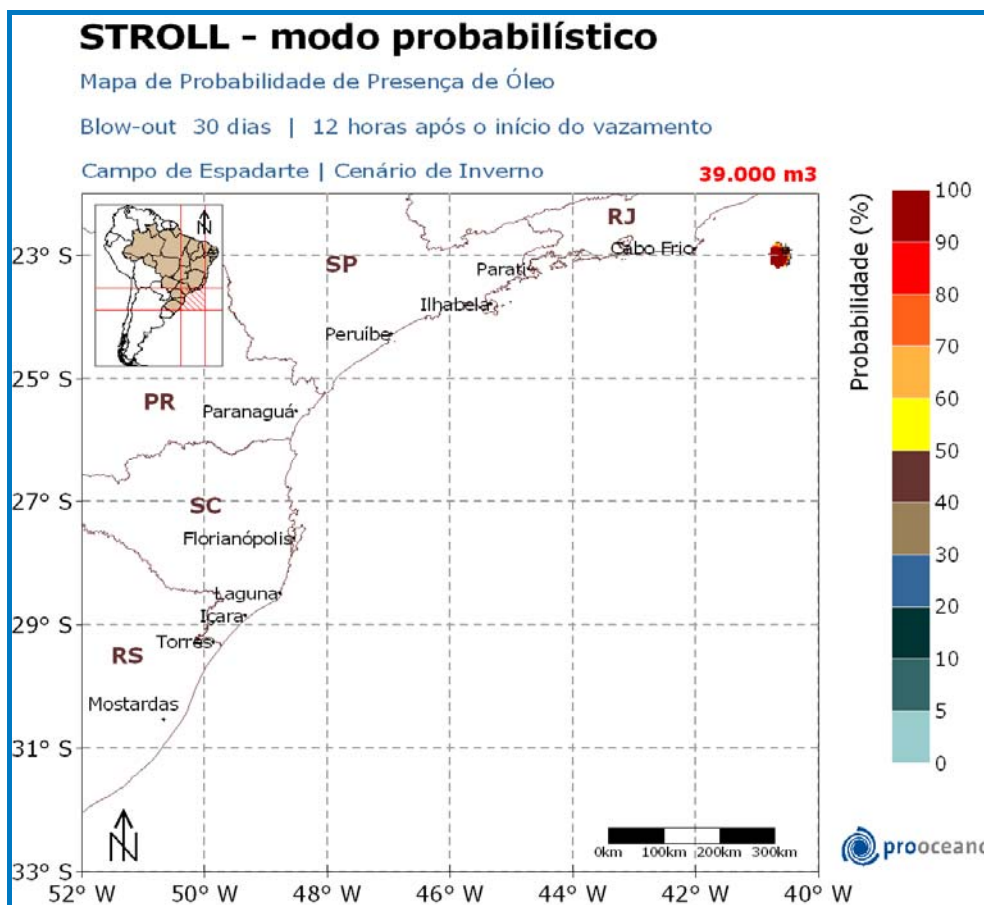


**Figura II.6.1.1-25** - Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de verão.

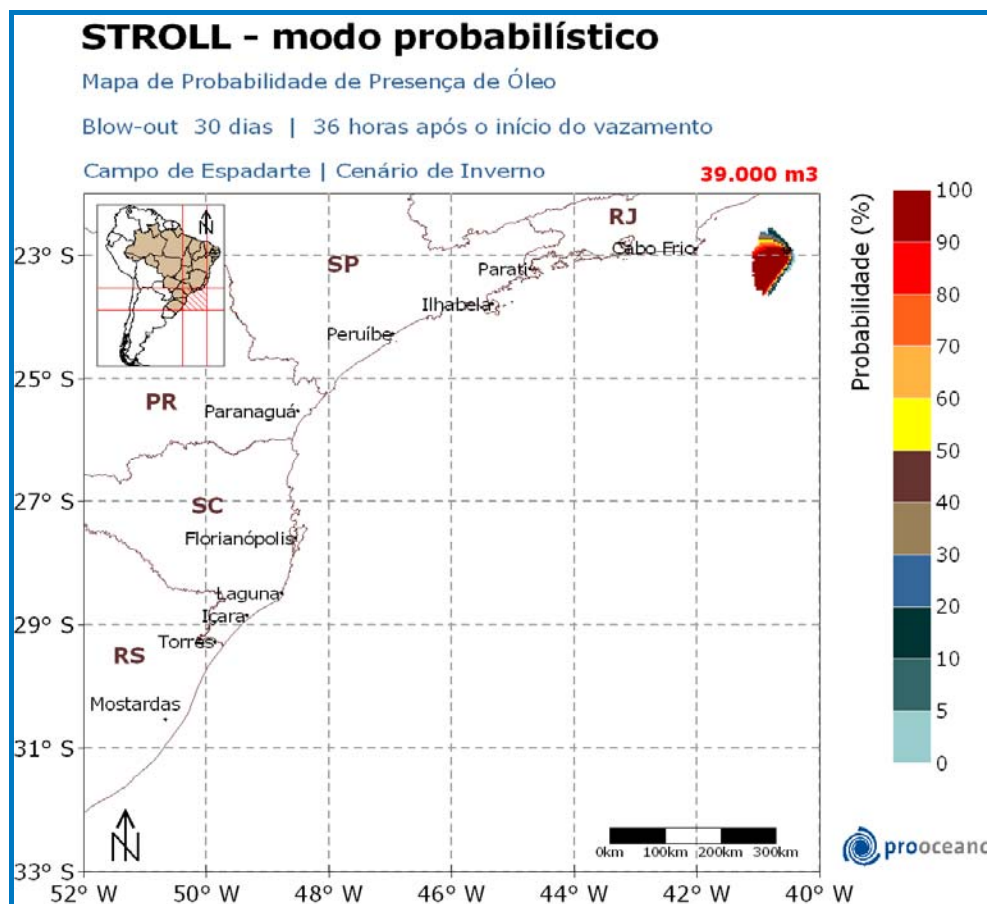
Os histogramas de tempo de chegada do óleo, no cenário de verão, mostraram que regiões que estão a leste da longitude 45° W, os tempos de chegada concentraram-se na 1ª metade da simulação (0 - 720h), enquanto as regiões a oeste da longitude 45° W os tempos de chegada ficaram distribuídos na 2ª metade (720 - 1440h).

#### **II.6.1.1.4.1.3.2 - Inverno**

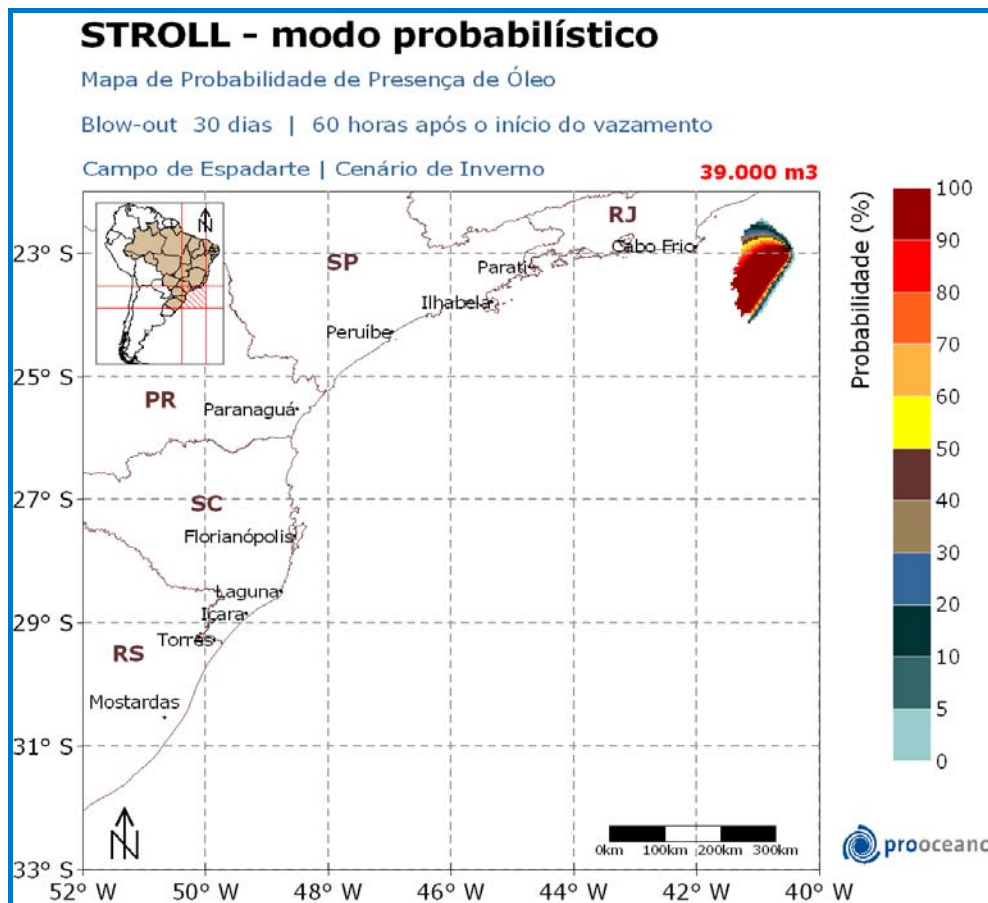
O Mapa de Probabilidade de presença de óleo para o vazamento de pior caso (39.000 m<sup>3</sup>) com tempo de simulação de 12, 36 e 60 horas, no cenário de inverno, encontra-se na **Figura II.6.1.1-26**, **Figura II.6.1.1-27** e **Figura II.6.1.1-28**, respectivamente.



**Figura II.6.1.1-26** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 12 horas no cenário de inverno.

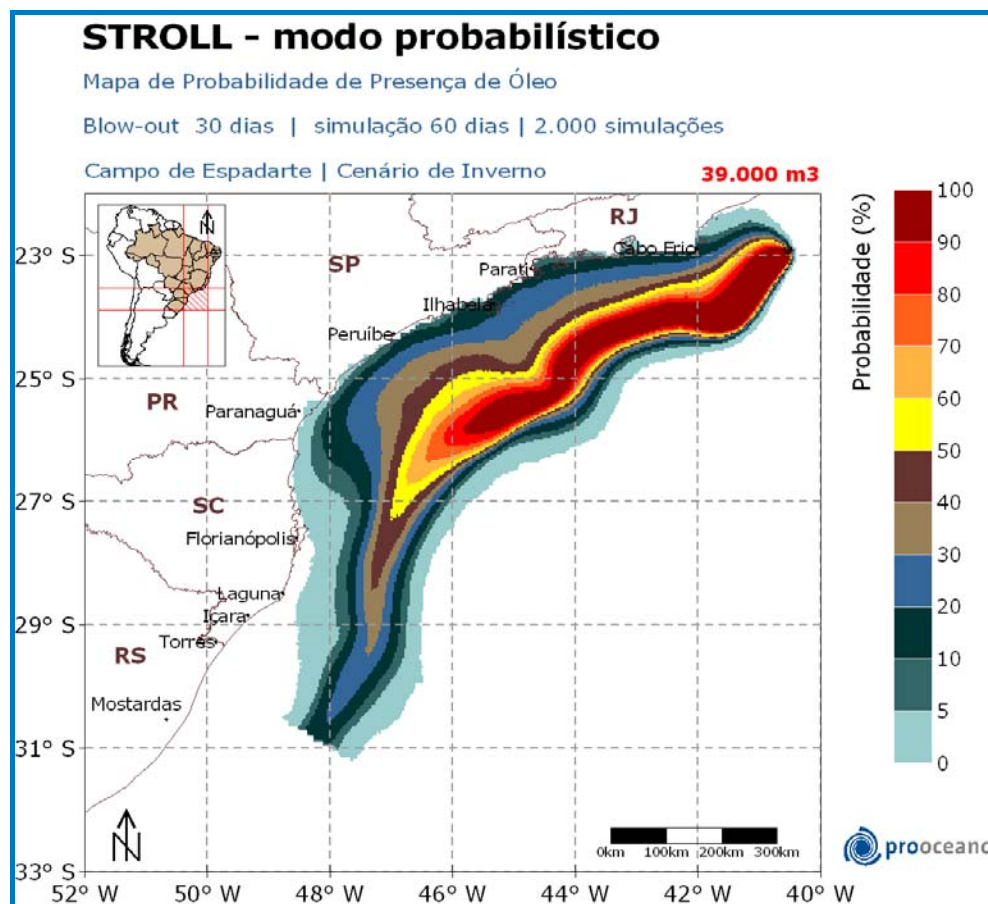


**Figura II.6.1.1-27** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 36 horas no cenário de inverno.



**Figura II.6.1.1-28** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para uma simulação de 60 horas no cenário de inverno.

Os mapas de probabilidade e de tempo mínimo de chegada para o vazamento de 30 dias no período de inverno são apresentados na **Figura II.6.1.1-29** e na **Figura II.6.1.1-30**.



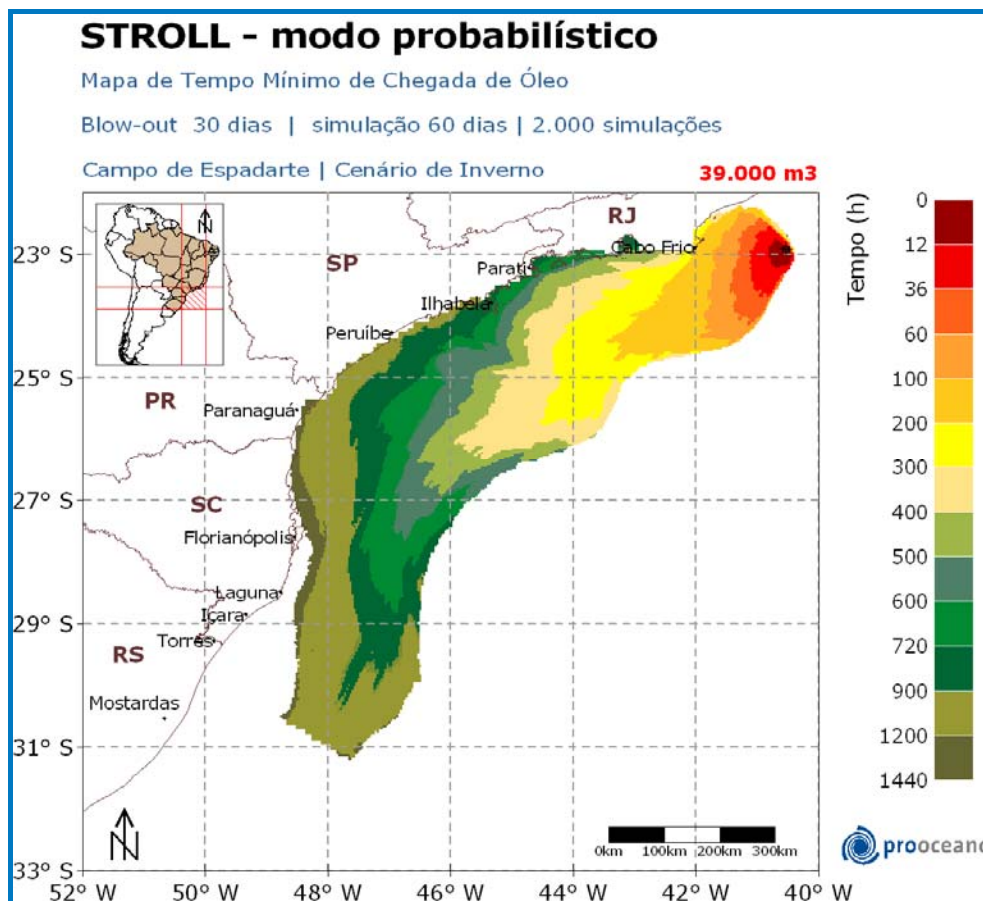
**Figura II.6.1.1-29** - Mapa de Probabilidade de presença de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno. Simulação de 60 dias (1440 horas).

Ao observar a **Figura II.6.1.1-29**, nota-se que a deriva do óleo foi preferencial rumo a sudoeste do poço, como ocorrido no cenário de verão, porém a área de probabilidade esteve alinhada a costa, desde o estado do Rio de Janeiro até Santa Catarina, em Florianópolis. A área de probabilidade de presença de óleo na região de estudo se estendeu desde a latitude 22,2° S, norte do ponto de vazamento, até próximo de 31,2° S, onde observa-se o final da grade do modelo. O mesmo comentário realizado no cenário de verão também se aplica a esse cenário, onde os contornos de probabilidade encontram-se afastados da costa, mais de 150 km, no limite sul da grade do modelo.

Observa-se que a maior probabilidade de óleo na costa esteve em Ilhabela, 21%, no estado de São Paulo (**Tabela II.6.1.1-6**). O estado do Rio de Janeiro apresentou o valor máximo em Arraial do Cabo, 16%. Já os estados de Santa



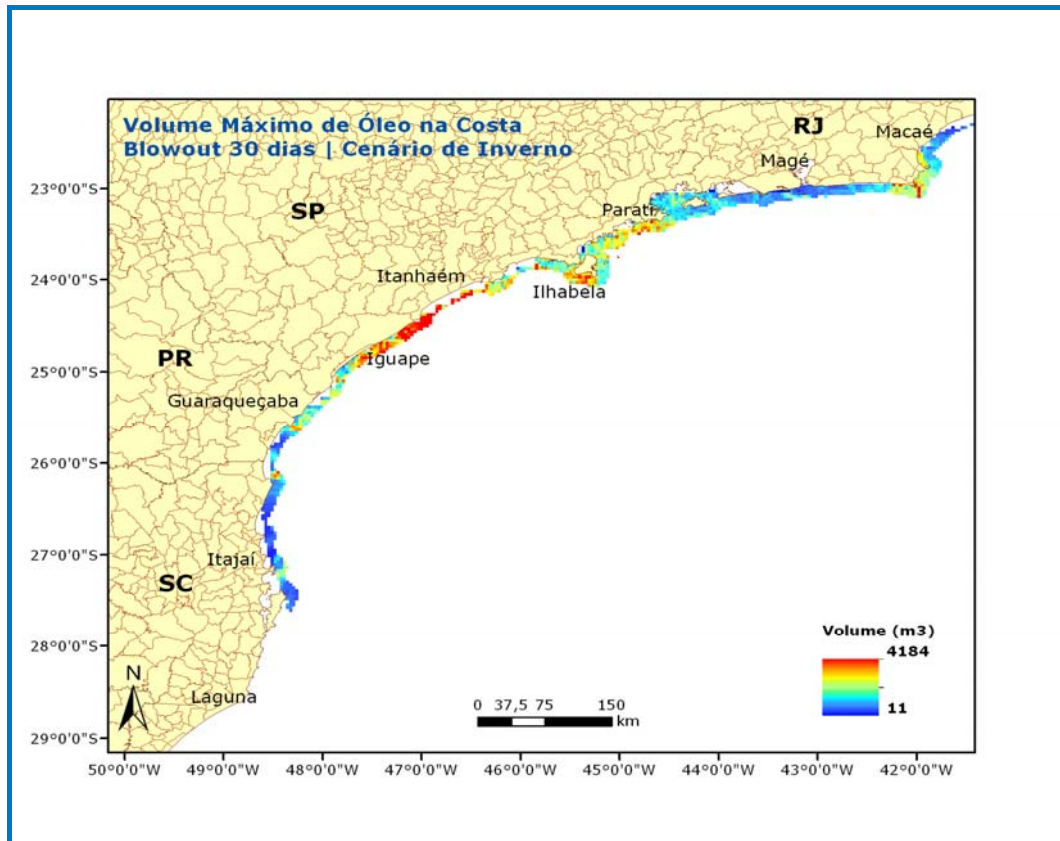
Catarina e Paraná apresentaram uma probabilidade de presença de óleo inferior a 2% (Tabela II.6.1.1-6).



**Figura II.6.1.1-30** - Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno. Simulação de 60 dias (1440 horas).

Neste cenário, na **Figura II.6.1.1-30**, observa-se que a costa do município de Armação dos Búzios, no estado do Rio de Janeiro, é o local mais rapidamente atingido pelo óleo, 150 horas (**Tabela II.6.1.1-6**). Em São Paulo, o município de Ilhabela foi a localidade que apresentou o menor tempo, 637 horas. O menor tempo mínimo de alcance do óleo na costa do Paraná foi de 1140 horas, no município de Paranaguá, e em Santa Catarina foi em São Francisco do Sul, 1219 horas (**Tabela II.6.1.1-6**).

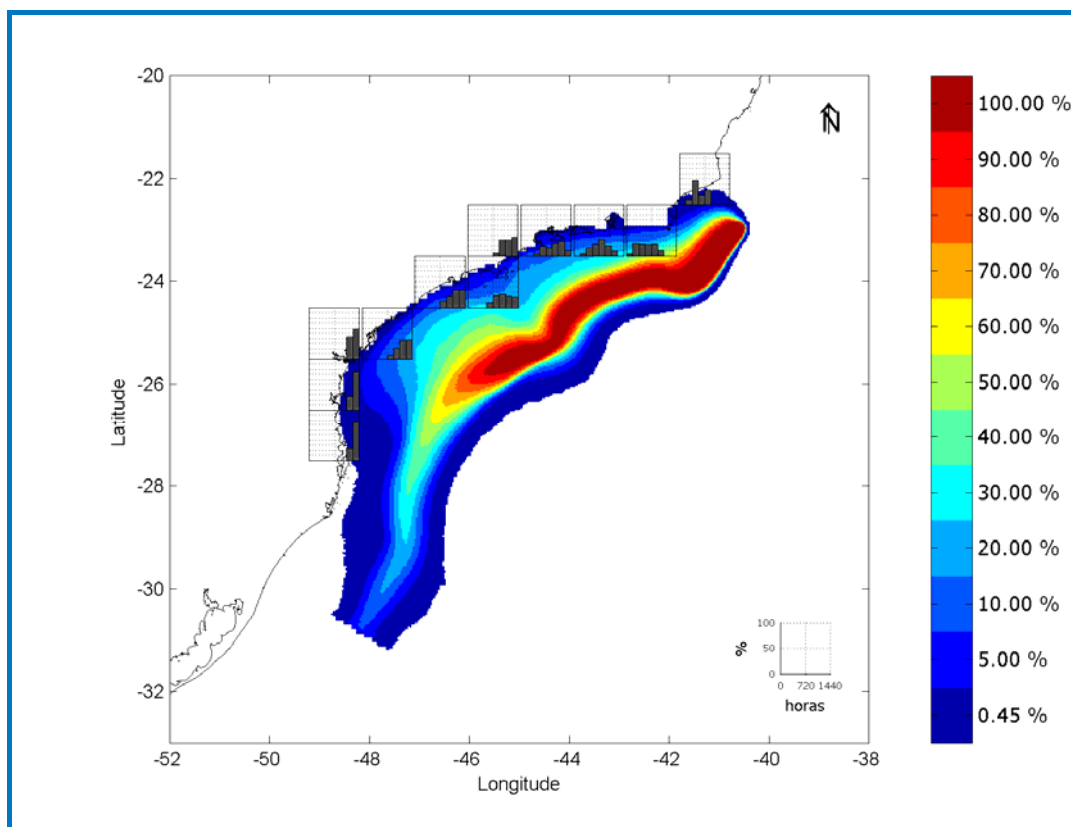
A seguir, a **Figura II.6.1.1-31** apresenta o volume máximo de óleo na costa e adjacências para as simulações de pior caso, cenário de inverno.



**Figura II.6.1.1-31** - Volume máximo de óleo na costa e adjacências, após as simulações de 60 dias no cenário de inverno.

Ao analisarmos o volume máximo de óleo que atinge a costa (**Figura II.6.1.1-31**), observamos que o maior valor de volume máximo, 3385,4 m<sup>3</sup>, foi registrado em Peruíbe - SP (**Tabela II.6.1.1-6**). É ressaltado também locais onde são observados valores acima de 2000 m<sup>3</sup>, como em Arraial do Cabo - RJ, Iguape - SP e Ilha Comprida - SP (**Tabela II.6.1.1-6**).

A seguir, na **Figura II.6.1.1-32**, são apresentados os histogramas com as frequências de ocorrência das classes de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para toda a simulação probabilística.



**Figura II.6.1.1-32** - Histogramas de tempo de chegada de óleo próximo à costa no cenário de inverno.

Os histogramas de tempo de chegada do óleo, no cenário de inverno, mostraram que regiões que estão a leste da longitude 45° W, os tempos de chegada estão distribuídas ao longo de toda simulação (0 - 1440h), enquanto as regiões a oeste da longitude 45° W os tempos de chegada ficaram distribuídos na 2ª metade (720 - 1440h).

A seguir, na **Tabela II.6.1.1-6**, são apresentados os valores de volume máximo na costa, probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em cada município com possibilidade de ser atingido pelo óleo em um derrame de 39.000 m<sup>3</sup>.

**Tabela II.6.1.1-6 - Volume Máximo, Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento derrame de grande volume (39.000 m<sup>3</sup>), nos cenários de verão e inverno.**

	Municípios	Volume Máximo (m <sup>3</sup> ) #		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (h)	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
RJ	Macaé	-	202,91	-	1	-	395
	Rio das Ostras	-	343,33	-	1	-	255
	Casimiro de Abreu	-	700,30	-	2	-	257
	Cabo Frio	-	1627,90	-	13	-	185
	Armação dos Búzios	-	1106,10	-	9	-	150
	Arraial do Cabo	308,19	2480,70	1	16	327	186
	Araruama	-	605,81	-	11	-	348
	Saquarema	-	640,02	-	10	-	481
	Maricá	-	295,39	-	8	-	492
	Niterói	-	286,70	-	8	-	488
	Rio de Janeiro	-	909,35	-	10	-	491
	Baía de Guanabara *	-	228,78	-	9	-	484
	Baía de Sepetiba **	-	370,69	-	9	-	627
	Ilha Grande (Angra dos Reis)	-	871,70	-	12	-	596
	Angra dos Reis	-	700,83	-	7	-	714
Parati	31,85	1824,50	1	15	743	552	
SP	Ubatuba	107,15	1158,40	1	11	854	705
	Caraguatatuba	463,36	1025,19	1	9	832	734
	Ilhabela	1862,10	1862,10	3	21	611	637
	São Sebastião	1928,70	1517,50	2	12	803	759
	Bertioga	260,64	805,09	1	4	899	947
	Guarujá	964,37	625,53	1	4	807	978
	Santos	98,46	1207,60	1	4	807	978
	São Vicente	136,11	1155,50	1	3	816	985
	Praia Grande	136,11	1155,50	1	3	816	985
	Mongaguá	587,89	999,12	1	4	955	1071
	Itanhaém	587,89	1595,70	2	6	963	1012
	Peruíbe	2001,10	3385,40	3	7	966	1019
	Iguape	2033,00	2675,90	3	5	984	1059
	Ilha Comprida	2033,00	2033,00	3	4	1002	1111
	Cananéia	2033,00	535,76	3	2	1009	1186
PR	Guaraqueçaba	961,47	915,14	4	2	1084	1154
	Paranaguá	712,42	1398,80	5	2	1086	1140
	Pontal do Paraná	642,90	509,70	4	2	1095	1225
	Matinhos	275,12	373,58	3	1	1153	1329
	Guaratuba	842,74	373,58	5	1	1119	1329

Continua

Conclusão (Tabela II.6.1.1-6)

	Municípios	Volume Máximo (m <sup>3</sup> ) #		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (h)	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
SC	Itapoá	437,30	144,80	4	1	1249	1280
	São Francisco do Sul	1604,40	396,75	11	1	1090	1219
	Balneário Barra do Sul	880,39	156,38	9	1	1111	1324
	Araquari	1143,90	162,17	10	1	1109	1334
	Barra Velha	1143,90	118,74	10	1	1109	1346
	Piçarras	1671,00	182,45	10	1	1113	1325
	Penha	1671,00	121,63	10	1	1114	1340
	Navegantes	1117,90	182,45	10	1	1115	1341
	Itajaí	518,38	254,85	9	1	1111	1341
	Balneário Camboriú	2534,00	55,02	10	1	1099	1363
	Itapema	2534,00	40,54	8	1	1113	1366
	Porto Belo	1804,20	188,24	12	1	1053	1357
	Bombinhas	1781,00	402,54	13	1	1023	1333
	Tijucas	671,87	434,40	5	1	1163	1344
	Governador Celso Ramos	822,47	761,65	9	1	1104	1347
	Baía Norte ***	1853,40	335,94	8	1	1131	1331
	Florianópolis	3394,10	390,96	13	1	1040	1331
	Palhoça	121,63	-	1	-	1310	-
	Paulo Lopes	121,63	-	1	-	1310	-
	Garopaba	254,85	-	2	-	1287	-
Imbituba	179,55	-	2	-	1239	-	
Laguna	503,90	-	2	-	1180	-	
Jaguaruna	498,11	-	1	-	1192	-	

Legenda: Os municípios são apresentados na orientação norte-sul; # Os valores de volume referem-se a área de 12,25 km<sup>2</sup>, correspondente ao elemento de grade, que tem 3,5 km nos dois eixos (x e y); \*\*\* Compreende os municípios de Biguaçu e São José.

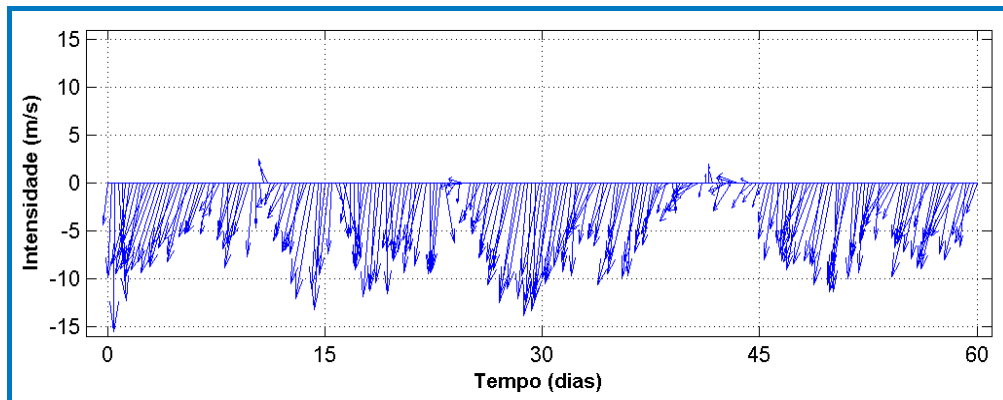
#### II.6.1.1.4.2 - Modo Determinístico

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas foi identificado o cenário crítico para ocorrência de um vazamento de pior caso, 39.000 m<sup>3</sup> (1.300 m<sup>3</sup>/dia), no Campo de Espadarte. O cenário que apresentou o menor tempo mínimo de toque na costa foi o cenário de inverno, em 150 horas de simulação, enquanto o cenário de verão o menor tempo foi próximo de 327 horas (**Tabela II.6.1.1-6**). Dessa forma, como o tempo mínimo de ocorrência de óleo na costa na situação de inverno é menor será apresentada a trajetória crítica ocorrida neste cenário.

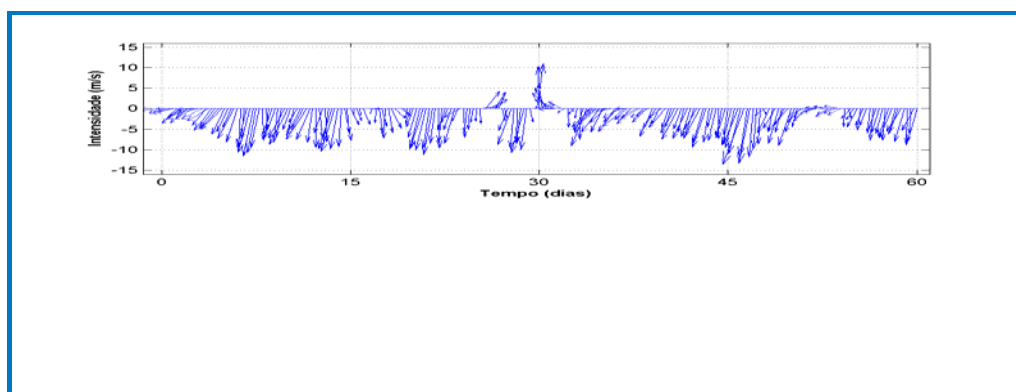
Também serão apresentadas duas trajetórias que representarão a deriva do óleo nas condições meteo-oceanográficas mais frequentes da região, nos

cenários sazonais de verão e inverno. Nesta condição, em ambos os cenários sazonais, foram identificados um domínio no regime hidrodinâmico de correntes com direção S-SW, devido à presença da Corrente do Brasil. No regime de ventos foi identificada uma dominância de ventos de NE ao longo de todo o ano, embora menos frequentes no período de inverno.

Com o intuito de representar da melhor forma as duas condições sazonais citadas anteriormente, foi conduzida uma investigação no vento, de forma a se obter o período de 1440 horas que tivesse a maior incidência de ventos de norte-nordeste e nordeste (verão - **Figura II.6.1.1-33**) e nordeste (inverno - **Figura II.6.1.1-34**).



**Figura II.6.1.1-33** - Período de vento do ponto mais próximo do Campo de Espadarte utilizado na simulação de condições meteorológicas de verão.

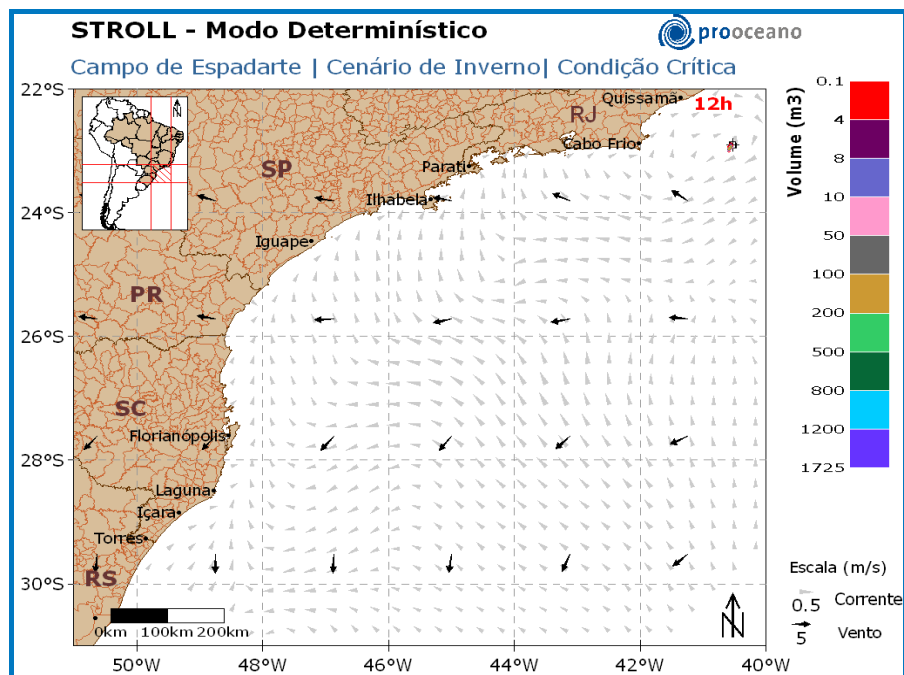


**Figura II.6.1.1-34** - Período de vento do ponto mais próximo do Campo de Espadarte utilizado na simulação de condições meteorológicas de inverno.

### II.6.1.1.4.2.1 - Condição Crítica

#### II.6.1.1.4.2.1.1 - Inverno

Da Figura II.6.1.1-35 à Figura II.6.1.1-44 são apresentados instantâneos com os resultados da trajetória crítica de inverno. São também apresentados, nas figuras, os campos de vento e correntes que transportaram o óleo nesse cenário.



**Figura II.6.1.1-35** - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 12 horas de simulação.

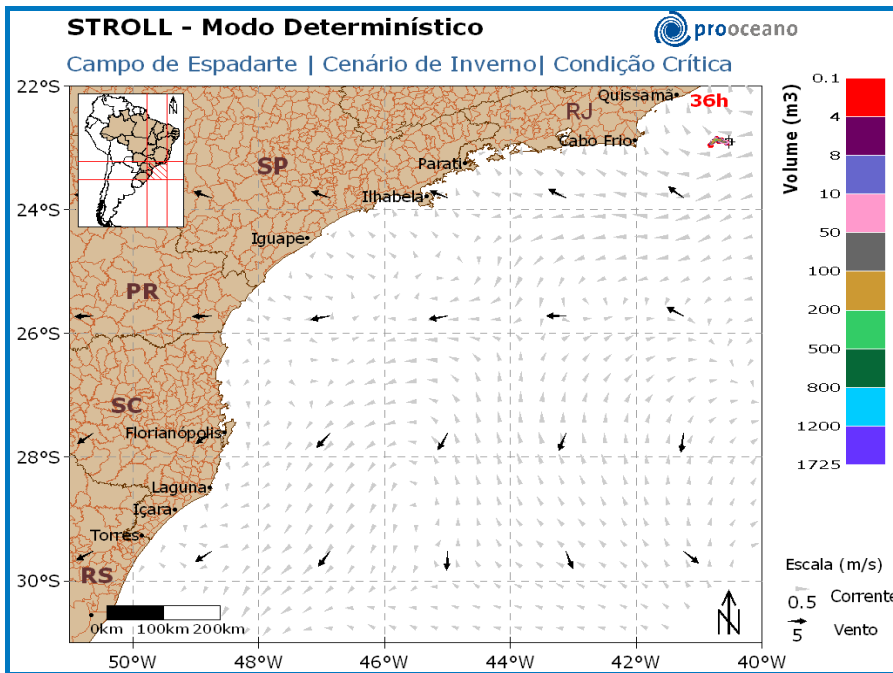


Figura II.6.1.1-36 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 36 horas de simulação.

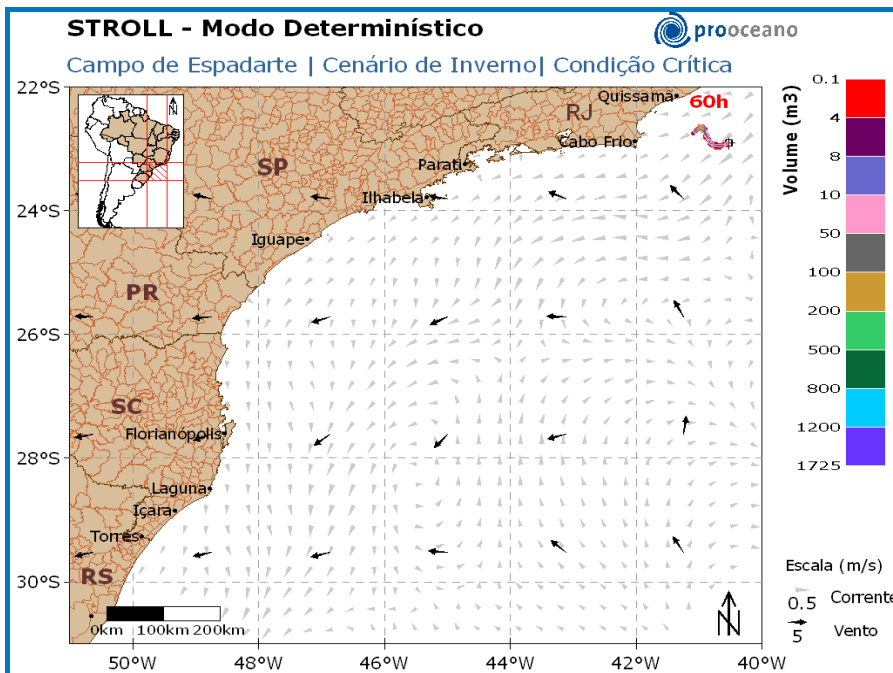
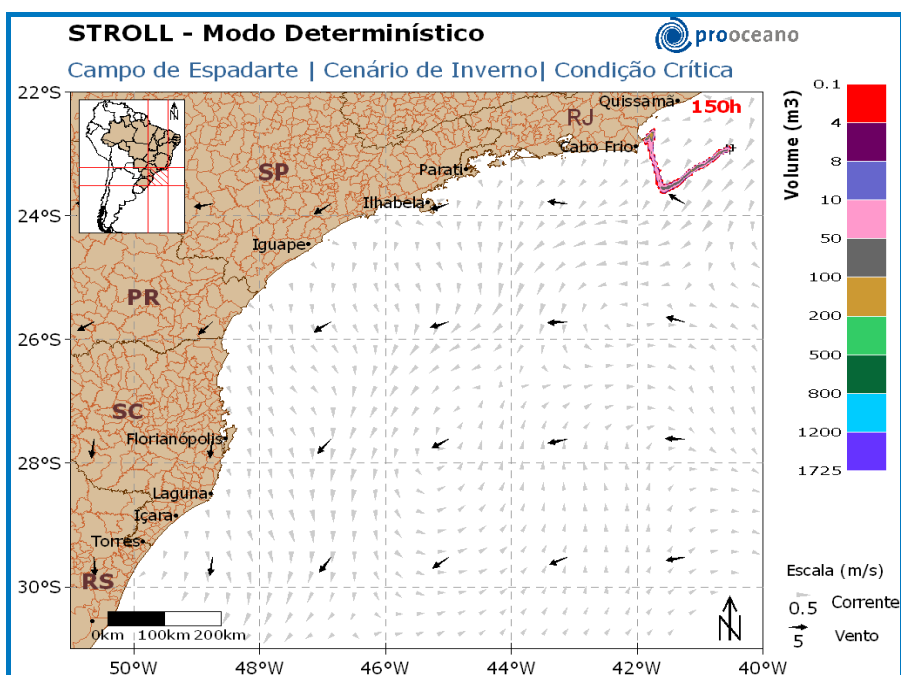
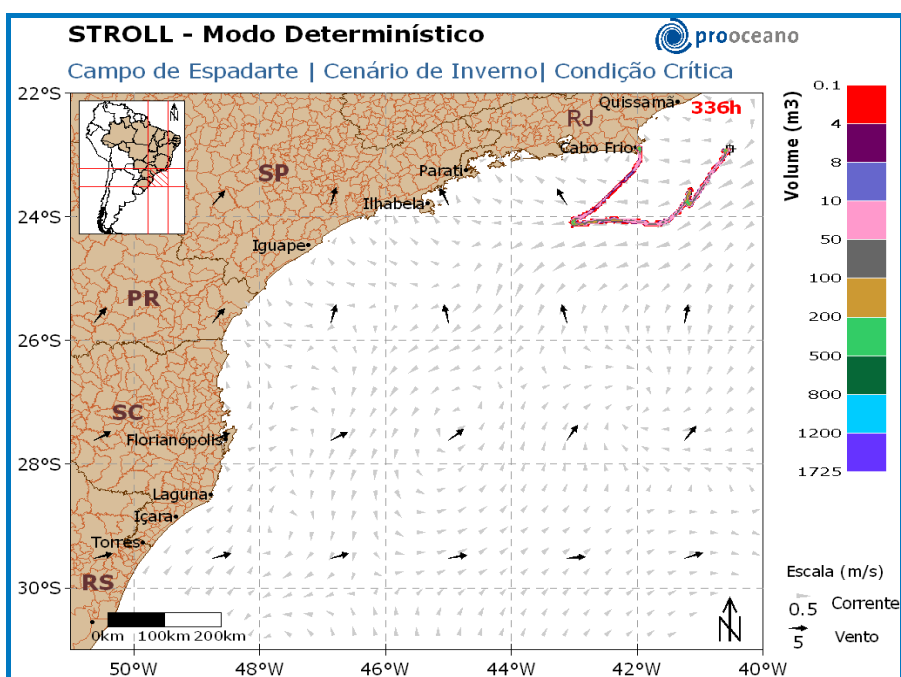


Figura II.6.1.1-37 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 60 horas de simulação.





**Figura II.6.1.1-38** - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 150 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-39** - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 336 horas de simulação.

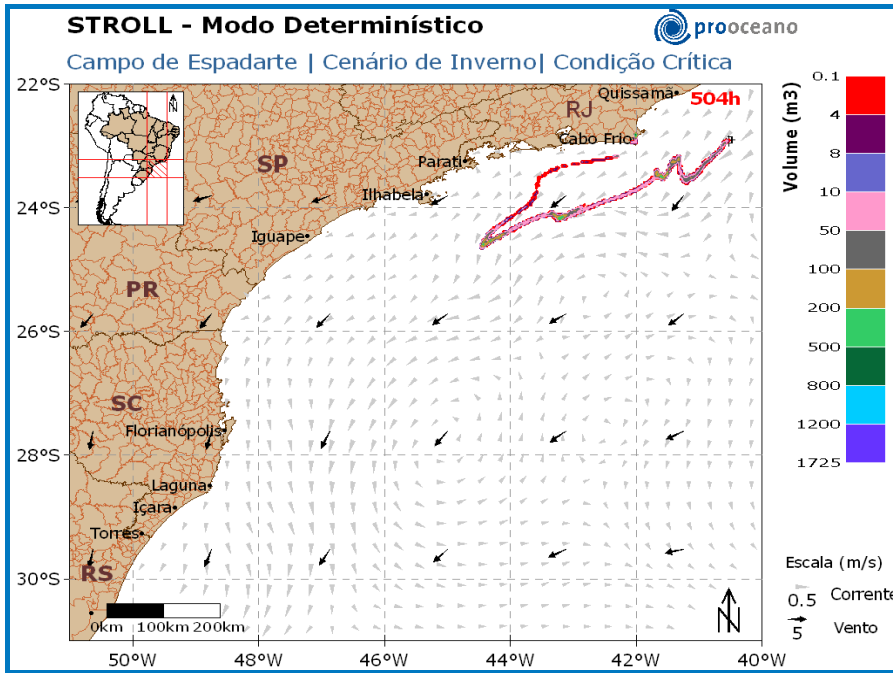


Figura II.6.1-40 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 504 horas de simulação.

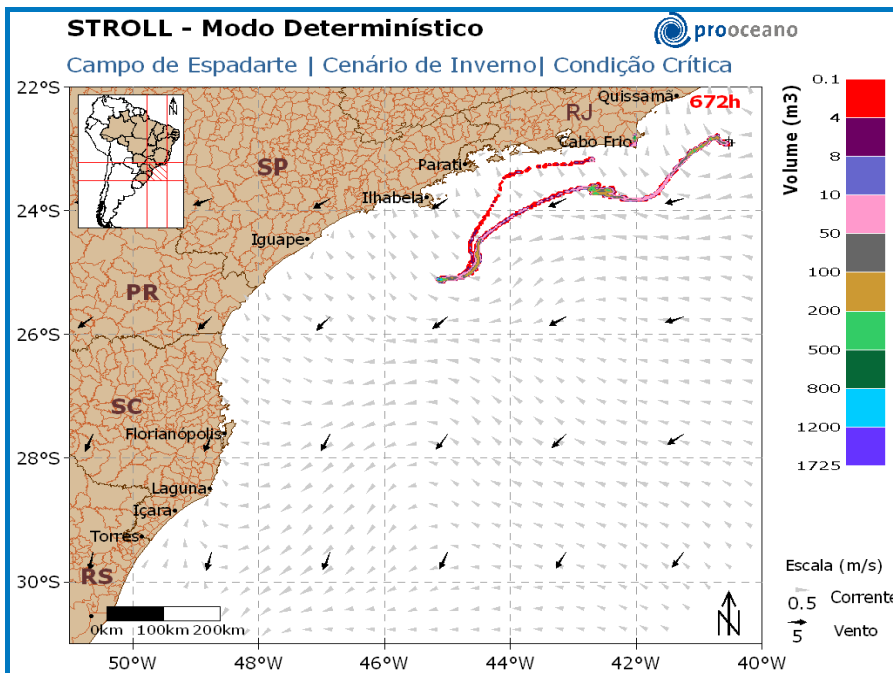
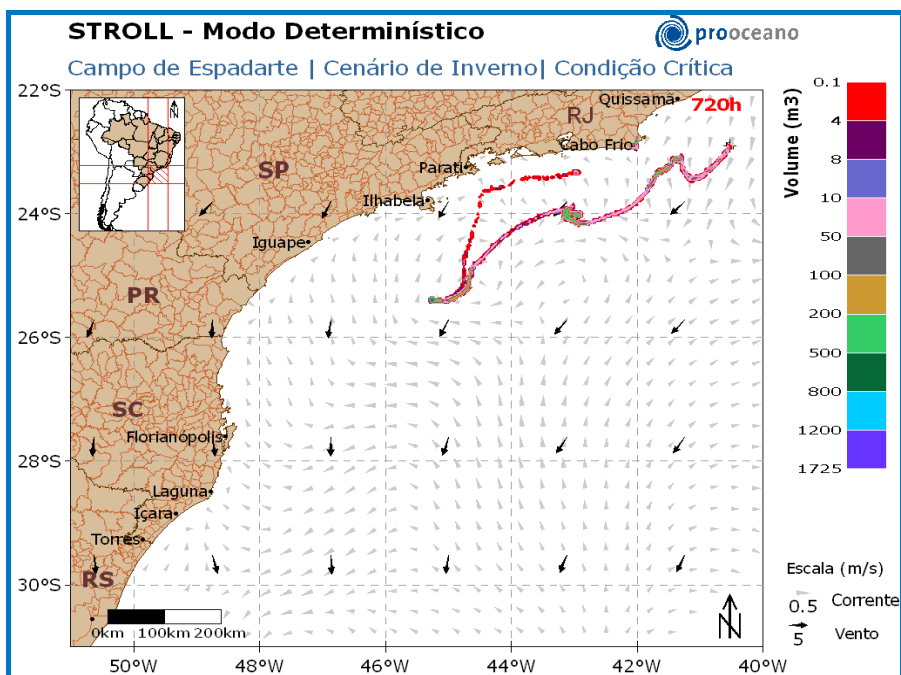
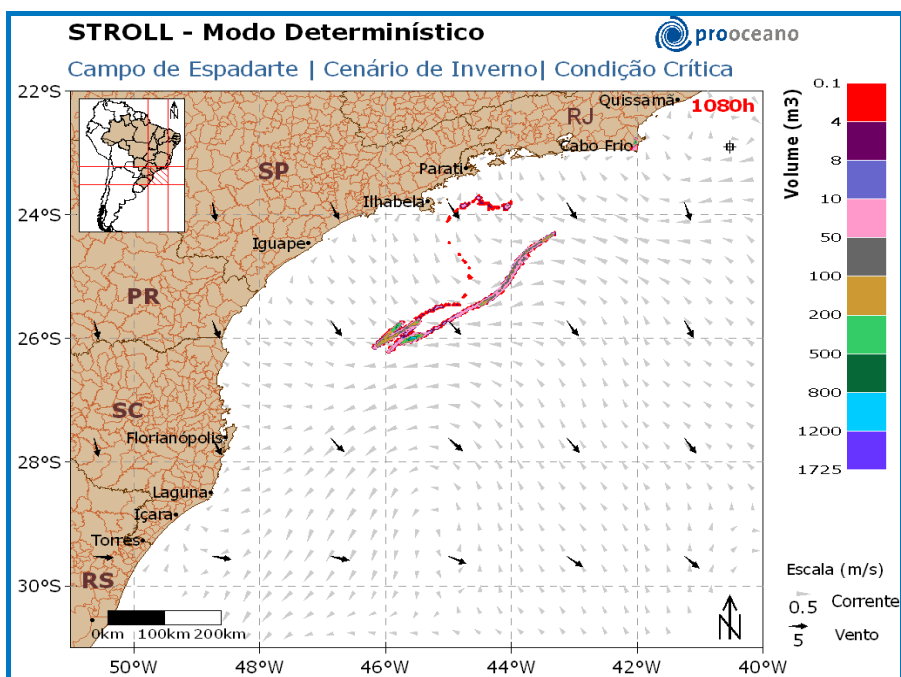


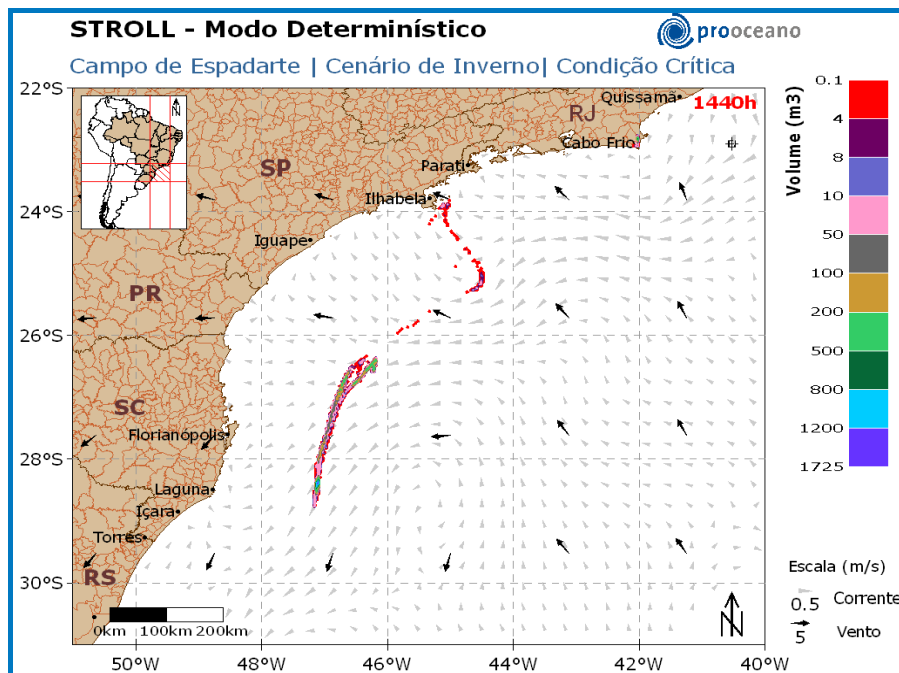
Figura II.6.1-41 - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 672 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-42** - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 720 horas de simulação.



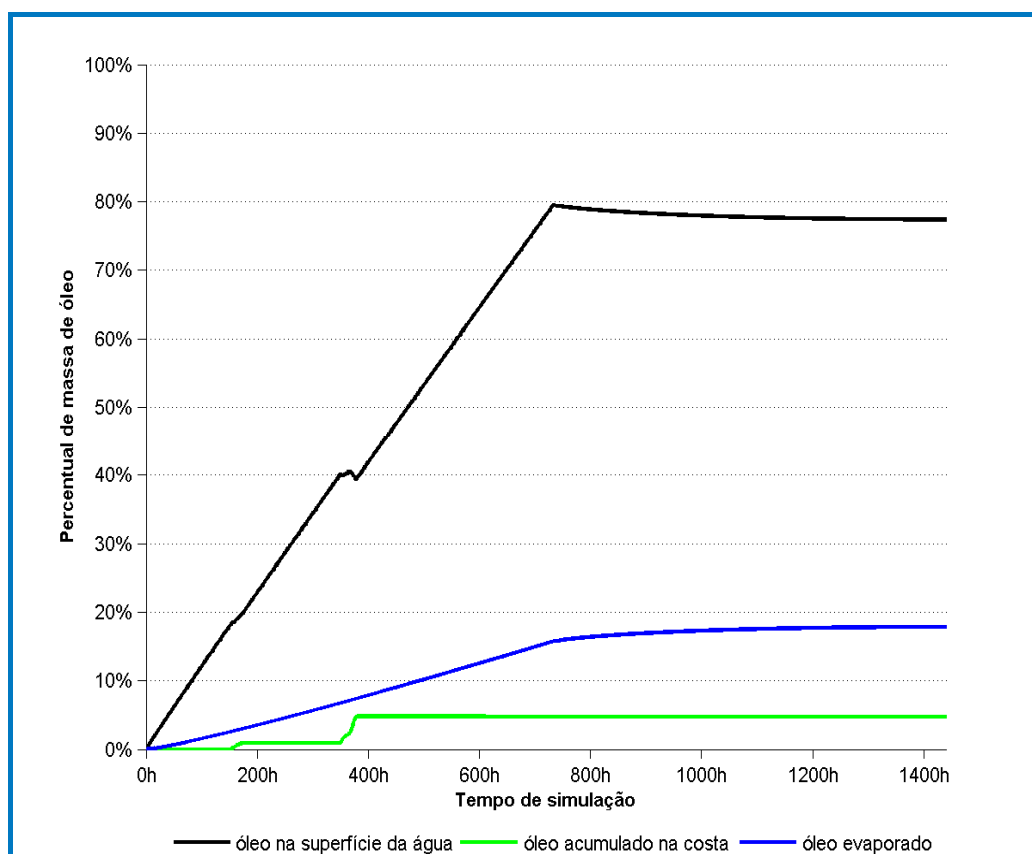
**Figura II.6.1.1-43** - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1080 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-44** - Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação.

A deriva do óleo iniciou rumo a oeste do local do vazamento e posteriormente a sudoeste. A chegada do óleo na costa ocorreu em 150 horas, em Armação dos Búzios, estado do Rio de Janeiro. A partir do toque na costa o óleo rumou a sudoeste, dividindo-se em duas partes, uma parte desloca próximo a costa, e a outra parte mais distante da costa, influenciada pela Corrente do Brasil. Ao final da simulação, 1440h, parte do óleo encontrava-se em frente ao município de Ilhabela - SP, sem que houvesse o toque na costa, e a outra parte encontrava-se frente ao estado de Santa Catarina, a aproximadamente 140 km da costa.

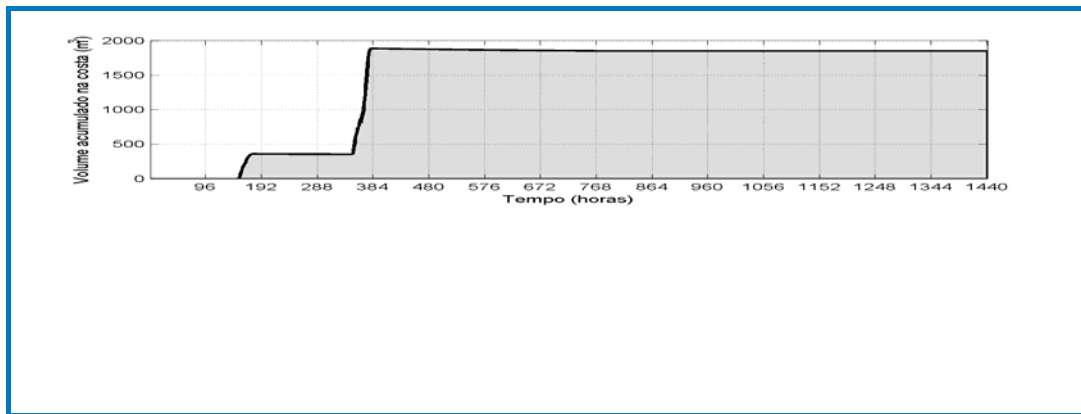
No gráfico (**Figura II.6.1.1-45**), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo, a porcentagem de óleo acumulado na costa e o remanescente na superfície da água durante a simulação.



**Figura II.6.1.1-45** - Evolução temporal do balanço de massa ao longo da simulação da trajetória do volume de pior caso (39.000 m<sup>3</sup>) em condição crítica, no cenário de inverno.

A retirada de massa de óleo da superfície da água por evaporação removeu, aproximadamente, 18% da massa, e não houve retirada do óleo da superfície por dispersão. A massa de óleo acumulado na costa foi de aproximadamente 5%, e cerca de 77% do óleo permaneceu na superfície da água ao final da simulação.

Em seguida, na **Figura II.6.1.1-46**, é apresentado o gráfico em valores de volume de óleo acumulado na costa ao longo da simulação.



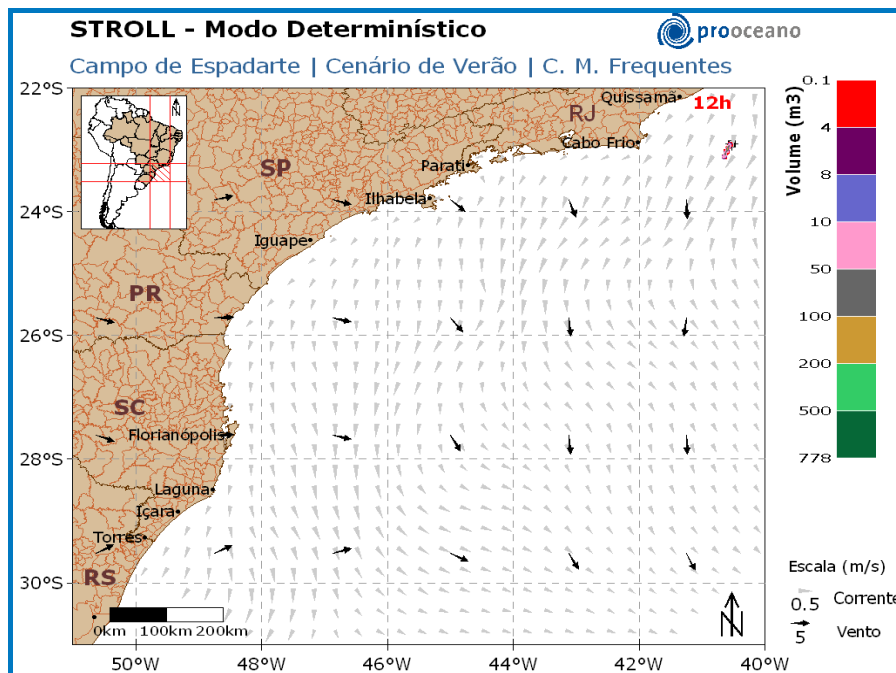
**Figura II.6.1.1-46** - Volume acumulado na costa durante a simulação da trajetória em condição crítica, no cenário de inverno. Volume de pior caso (39.000 m<sup>3</sup>).

Observa-se que o acúmulo de óleo na costa teve início em 150 horas, chegando ao máximo volume acumulado em aproximadamente 384 h. Após este instante os processos de intemperismo continuaram atuando sobre o óleo diminuindo seu volume até o final da simulação, totalizando ~1850 m<sup>3</sup>.

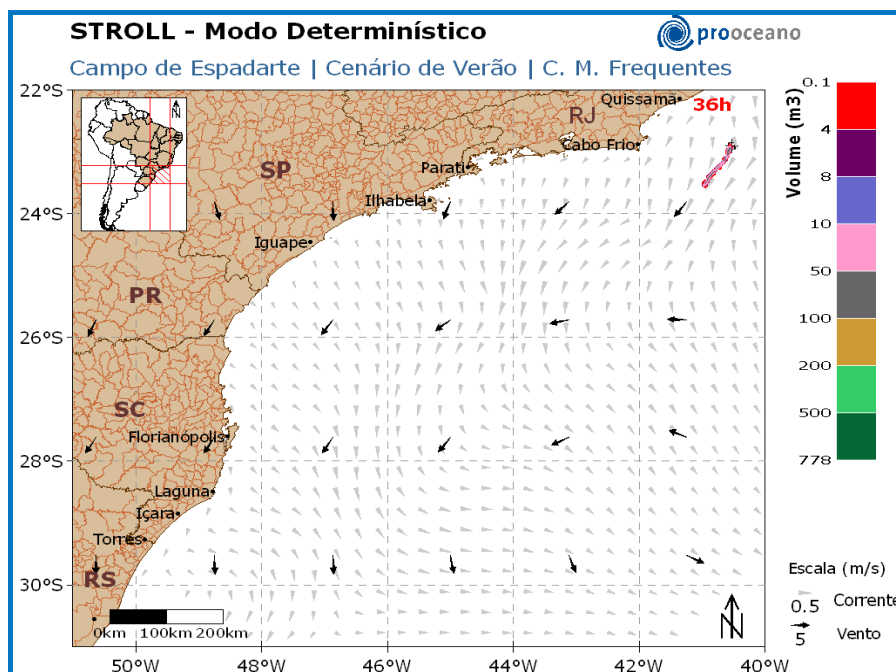
#### **II.6.1.1.4.2.2 - Condição meteo-oceanográfica**

##### **II.6.1.1.4.2.2.1 - Verão**

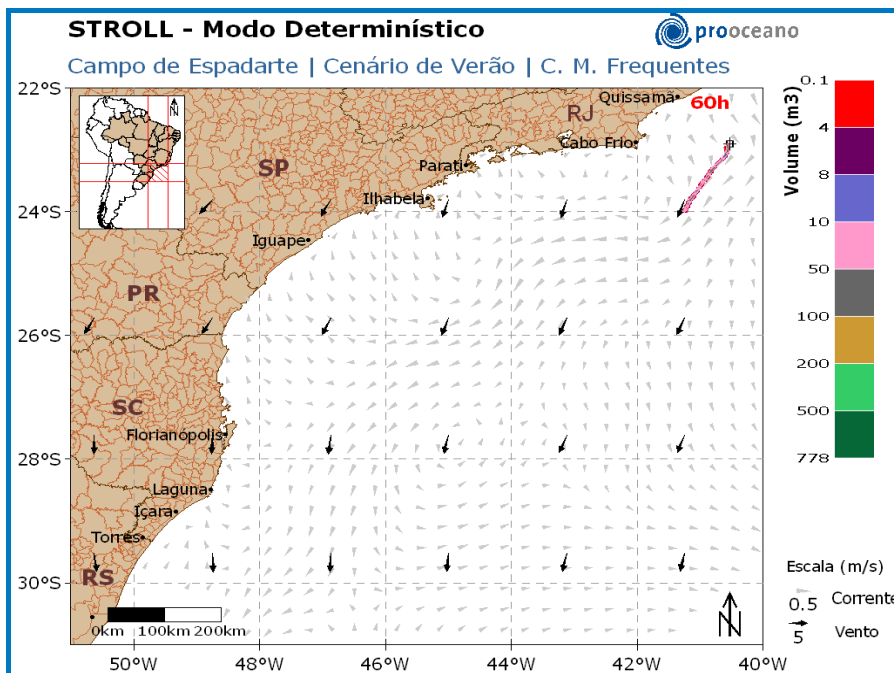
Na **Figura II.6.1.1-47** a **Figura II.6.1.1-56** são apresentados instantâneos com os resultados da simulação determinística da dispersão de óleo realizada em condições meteo-oceanográficas frequentes de verão. São também apresentados, nas mesmas figuras, os campos de vento e correntes que transportaram o óleo nesse cenário.



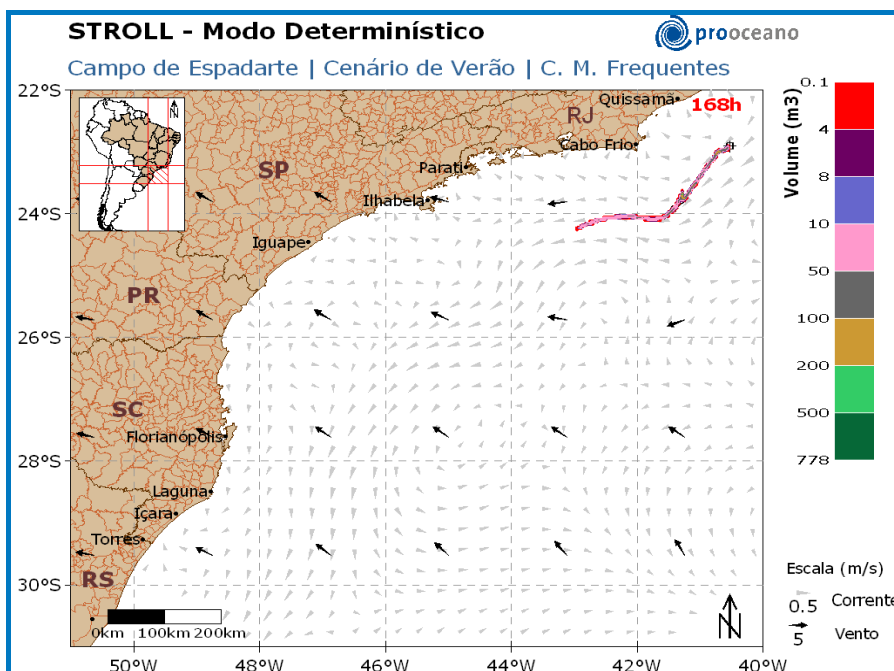
**Figura II.6.1.1-47** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 12 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-48** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 36 horas de simulação.

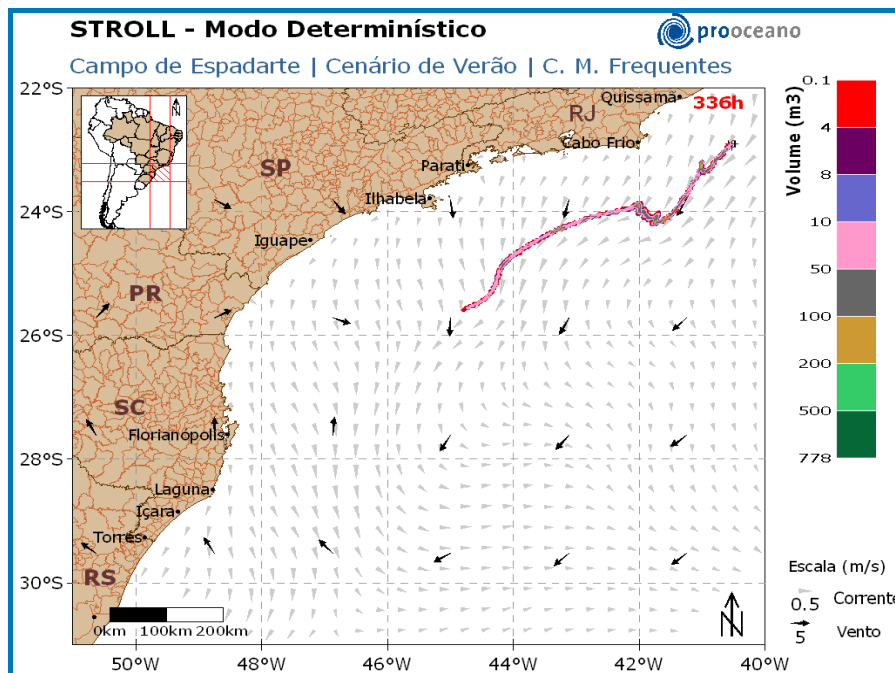


**Figura II.6.1.1-49** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 60 horas de simulação.

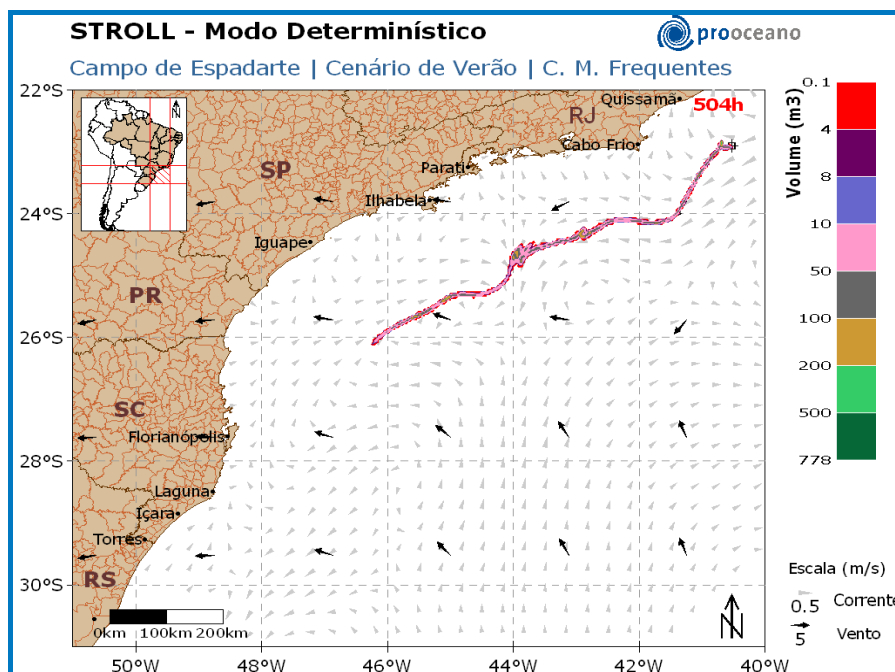


**Figura II.6.1.1-50** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 168 horas de simulação.





**Figura II.6.1.1-51** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 336 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-52** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 504 horas de simulação.

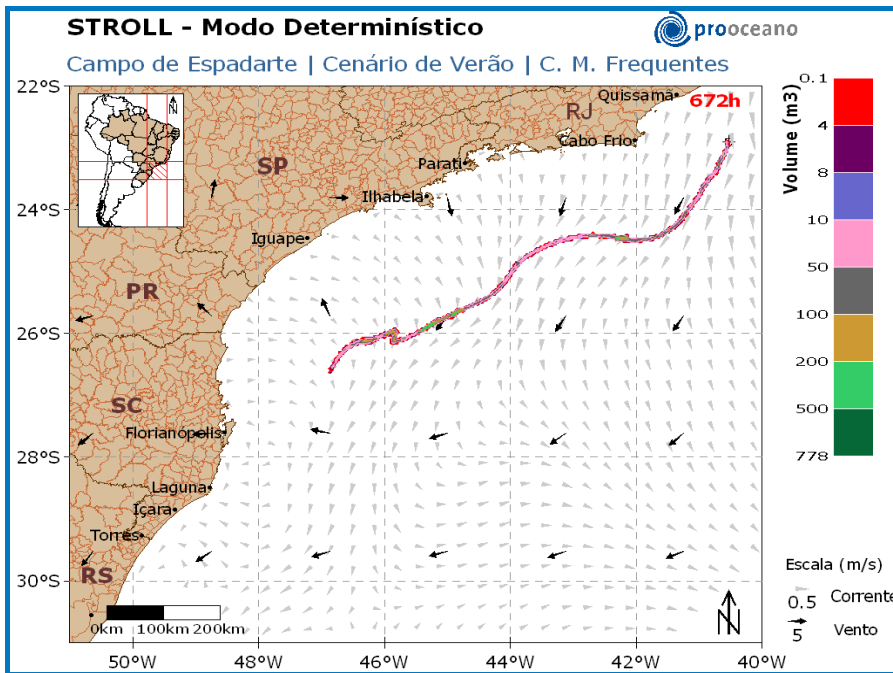


Figura II.6.1.1-53 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 672 horas de simulação.

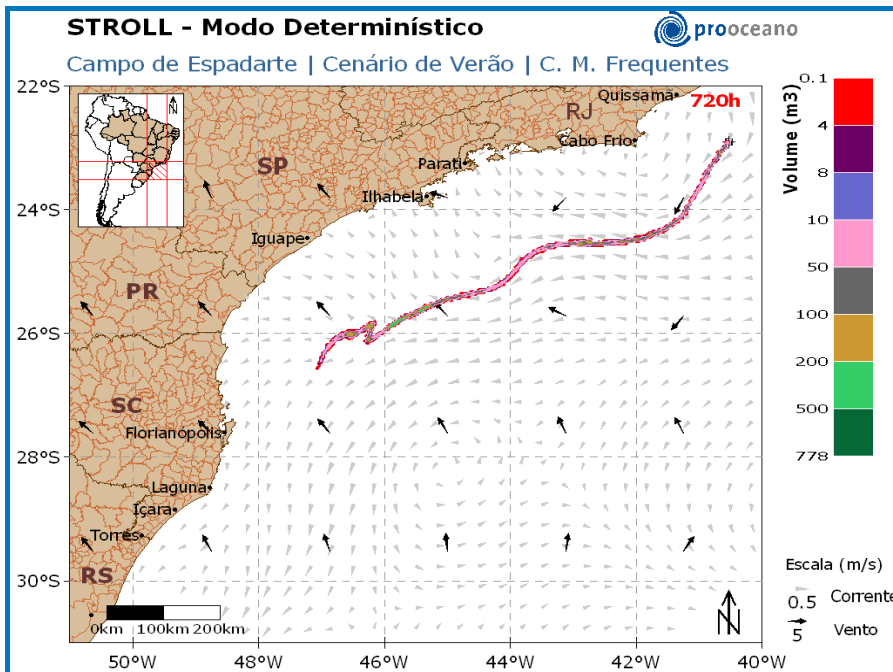
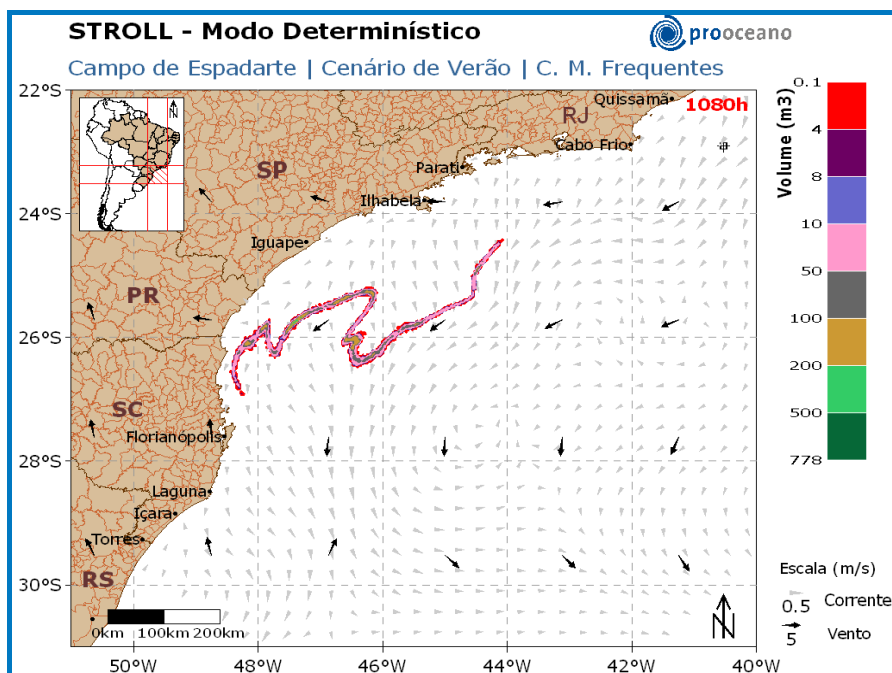
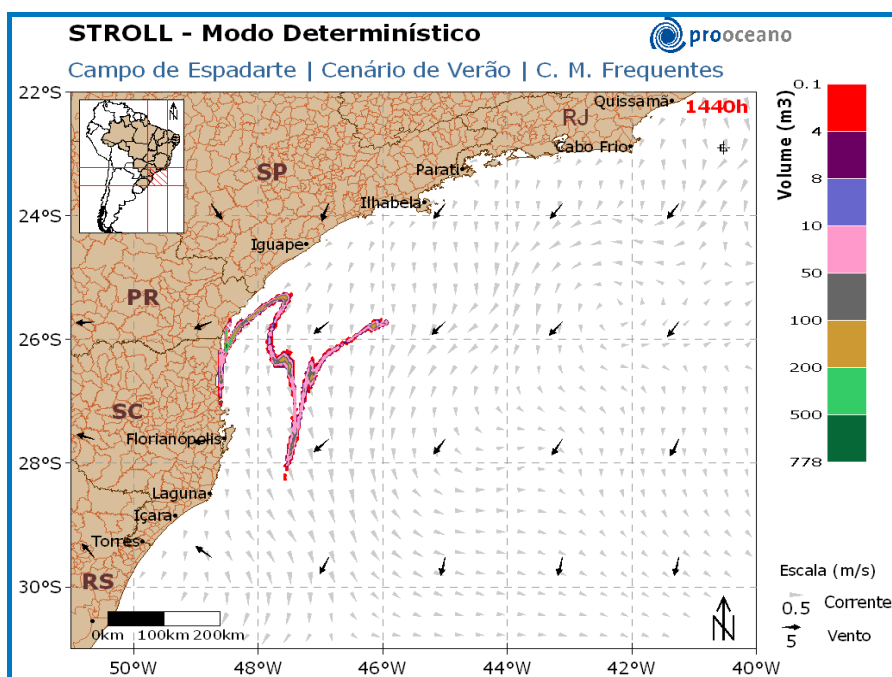


Figura II.6.1.1-54 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 720 horas de simulação.



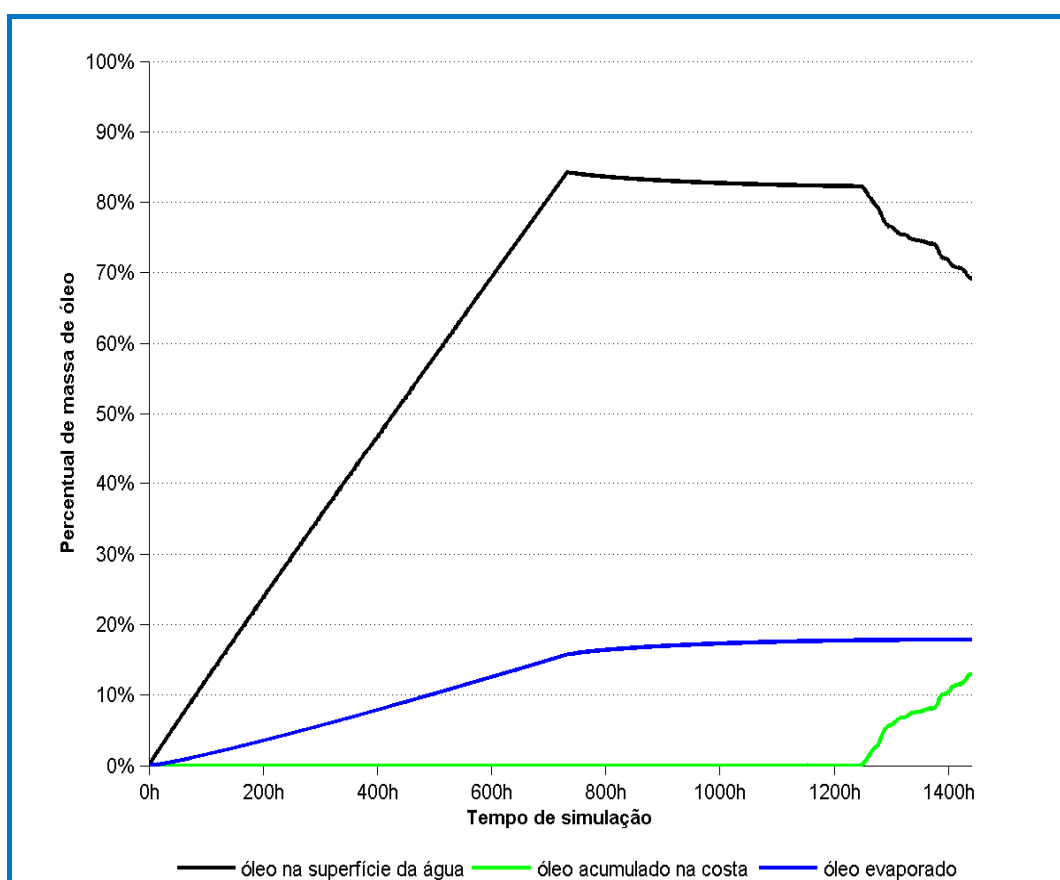
**Figura II.6.1.1-55** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 1080 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-56** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de verão, após 1440 horas de simulação.

Observa-se que a deriva do óleo ocorreu rumo a sudoeste do poço durante toda a trajetória influenciada pelos ventos de nordeste mais intensos e pela Corrente do Brasil. Ao final da simulação, 1440 horas, parte do óleo se encontrava na costa dos estados do Paraná e Santa Catarina, desde Pontal do Paraná - PR até Balneário Camboriú - SC.

No gráfico (**Figura II.6.1.1-57**), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo, a porcentagem de óleo acumulado na costa e o remanescente na superfície da água durante a simulação.

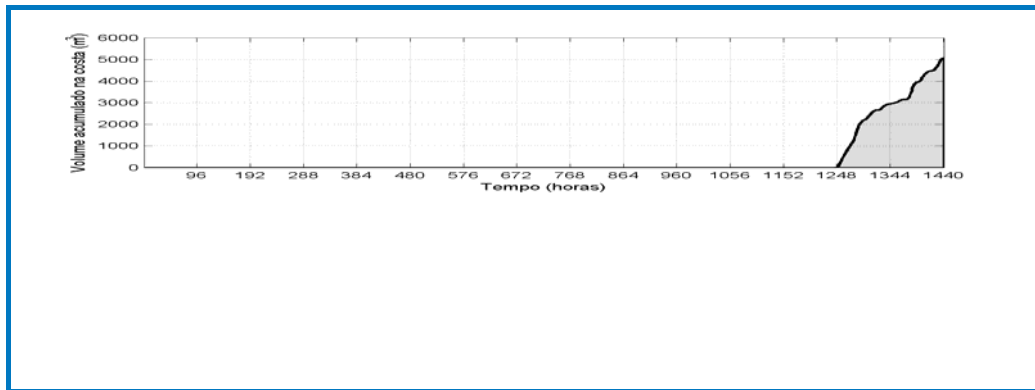


**Figura II.6.1.1-57** - Evolução temporal do balanço de massa ao longo da simulação da trajetória do volume de pior caso ( $39.000 \text{ m}^3$ ) em condições meteo-oceanográficas frequentes, no cenário de verão.

A retirada de massa de óleo da superfície da água por evaporação removeu, aproximadamente, 18% da massa, e não houve retirada do óleo da superfície por

dispersão. A massa de óleo acumulado na costa foi de aproximadamente 13%, e cerca de 69% do óleo permaneceu na superfície da água ao final da simulação.

Em seguida, na **Figura II.6.1.1-58**, é apresentado o gráfico em valores de volume de óleo acumulado na costa ao longo da simulação.



**Figura II.6.1.1-58** - Volume acumulado na costa durante a simulação da trajetória em condições meteo-oceanográficas frequentes, no cenário de verão. Volume de pior caso (39.000 m<sup>3</sup>).

Observa-se que o acúmulo de óleo na costa teve início em aproximadamente 1248 horas, chegando ao máximo volume acumulado ao final da simulação, 1440 horas, totalizando ~5000 m<sup>3</sup>.

#### **II.6.1.1.4.2.2.2 - Inverno**

Da **Figura II.6.1.1-59** à **Figura II.6.1.1-68** são apresentados instantâneos com os resultados da simulação determinística da dispersão de óleo realizada em condições meteo-oceanográficas frequentes de inverno. São também apresentados, nas figuras, os campos de vento e correntes que transportaram o óleo nesse cenário.

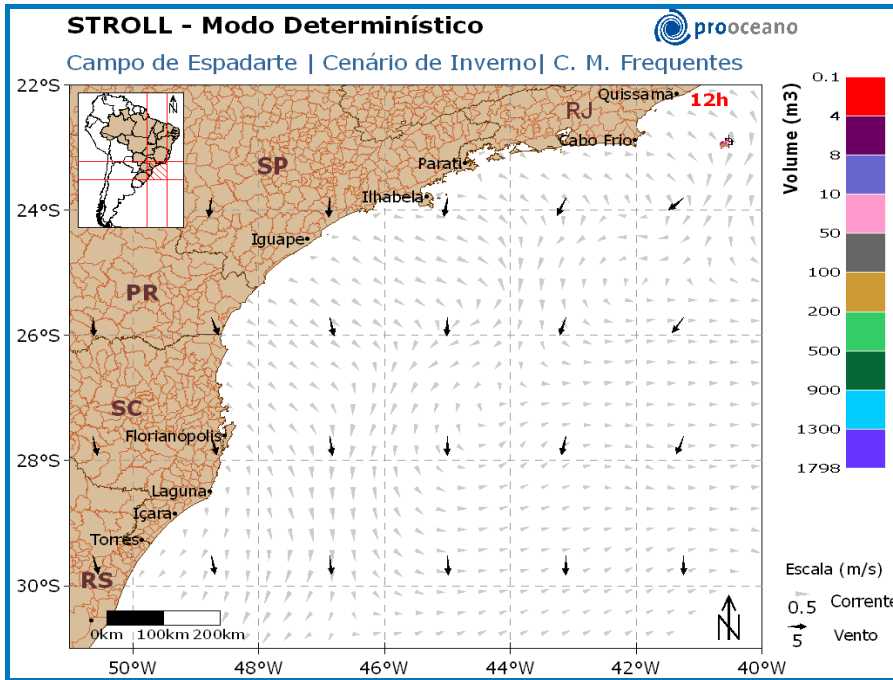


Figura II.6.1.1-59 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 12 horas de simulação.

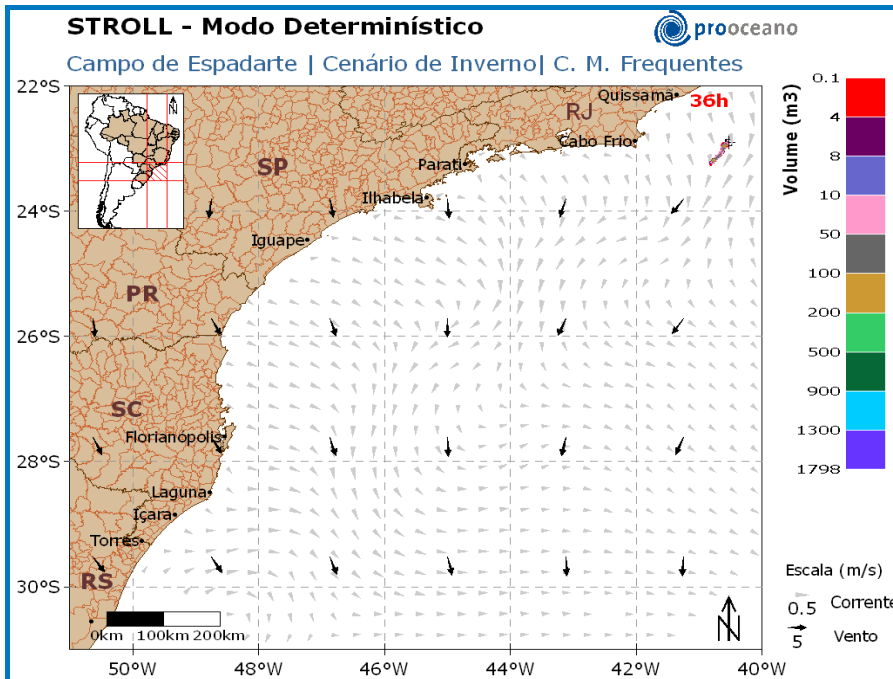
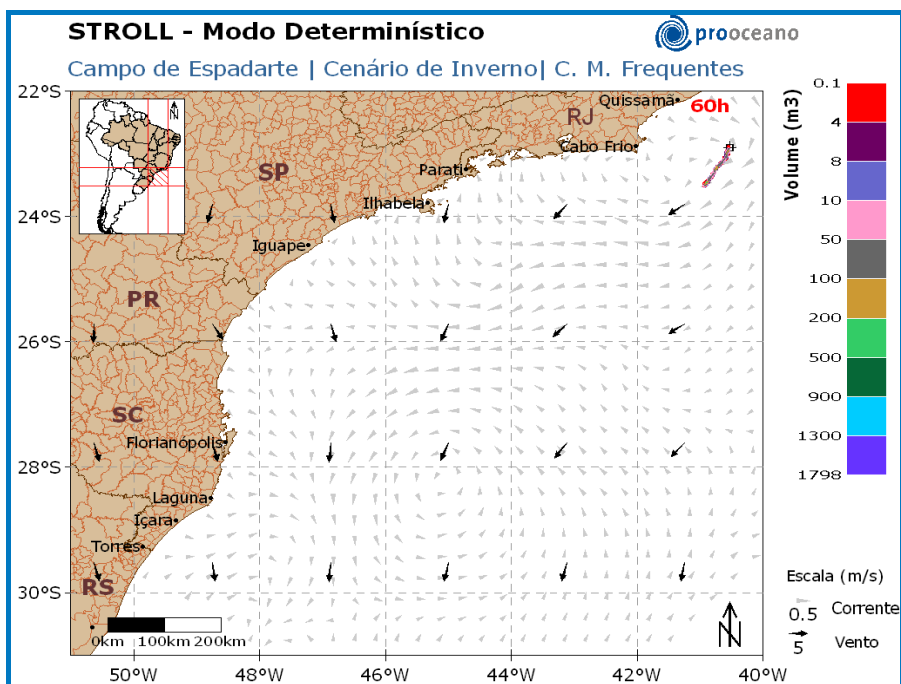
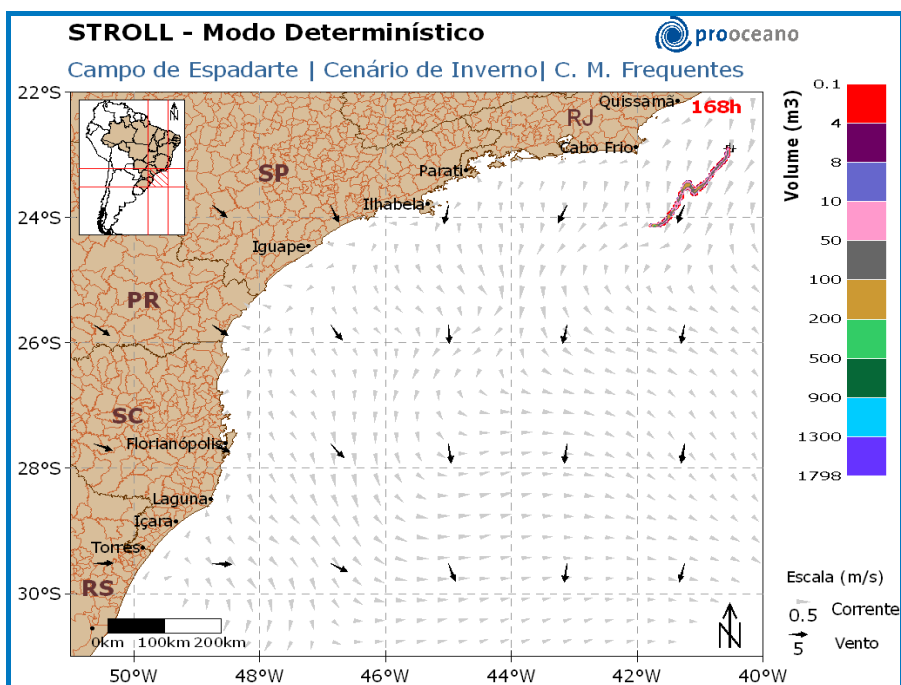


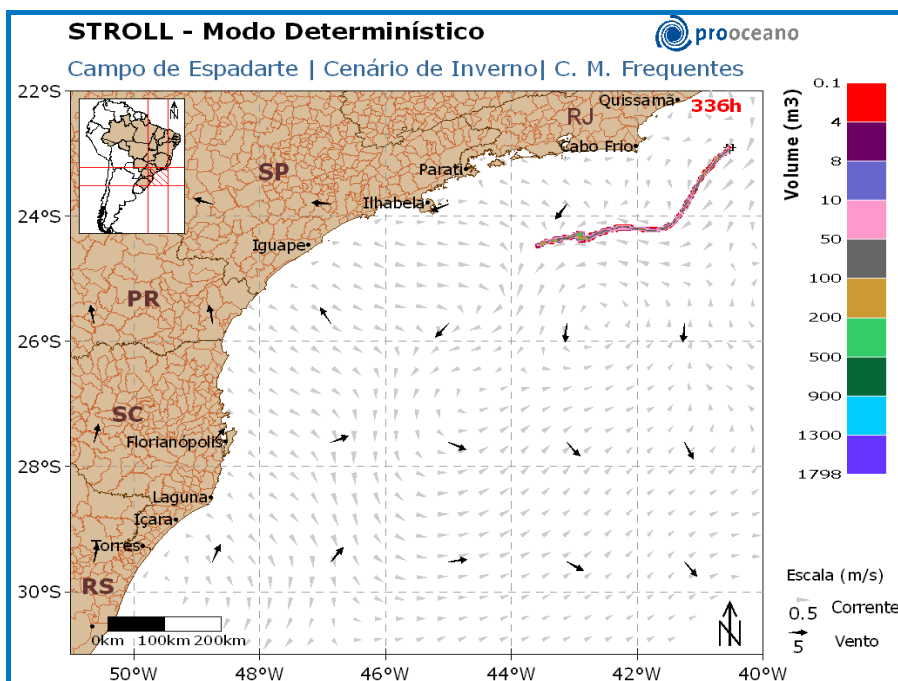
Figura II.6.1.1-60 - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 36 horas de simulação.



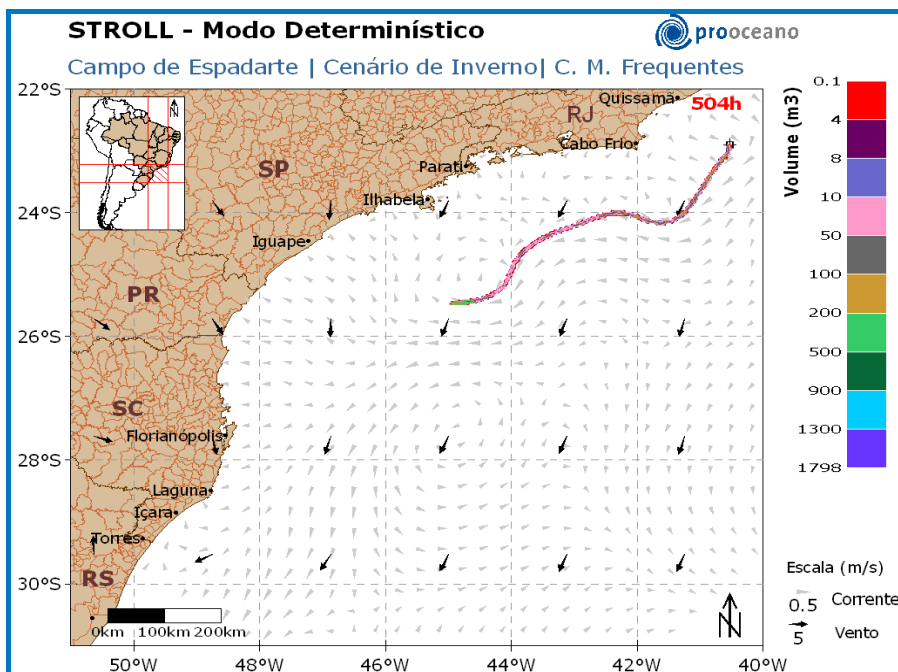
**Figura II.6.1.1-61** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 60 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-62** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 168 horas de simulação.

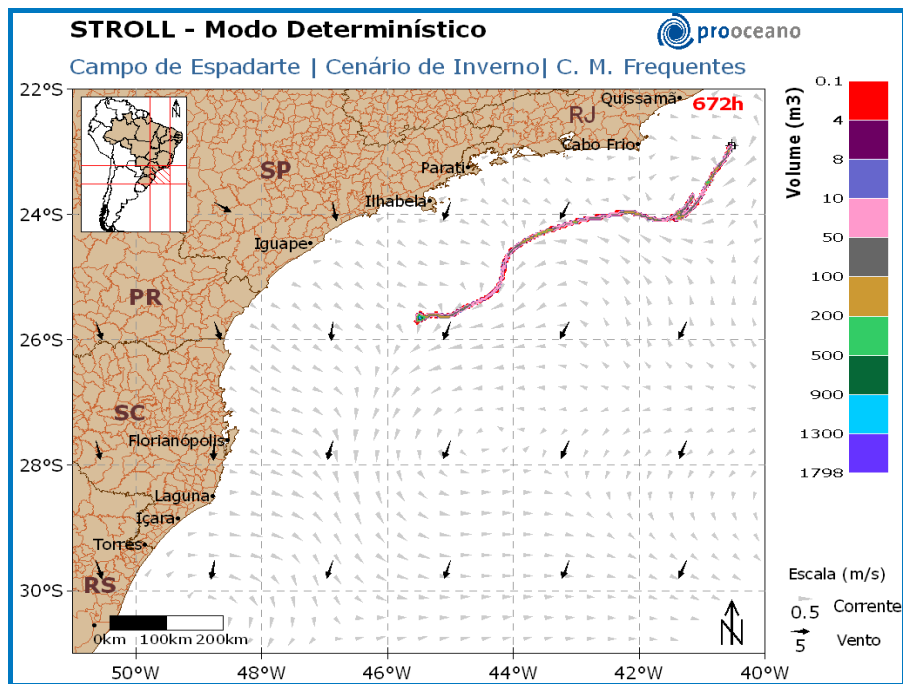


**Figura II.6.1.1-63** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 336 horas de simulação.

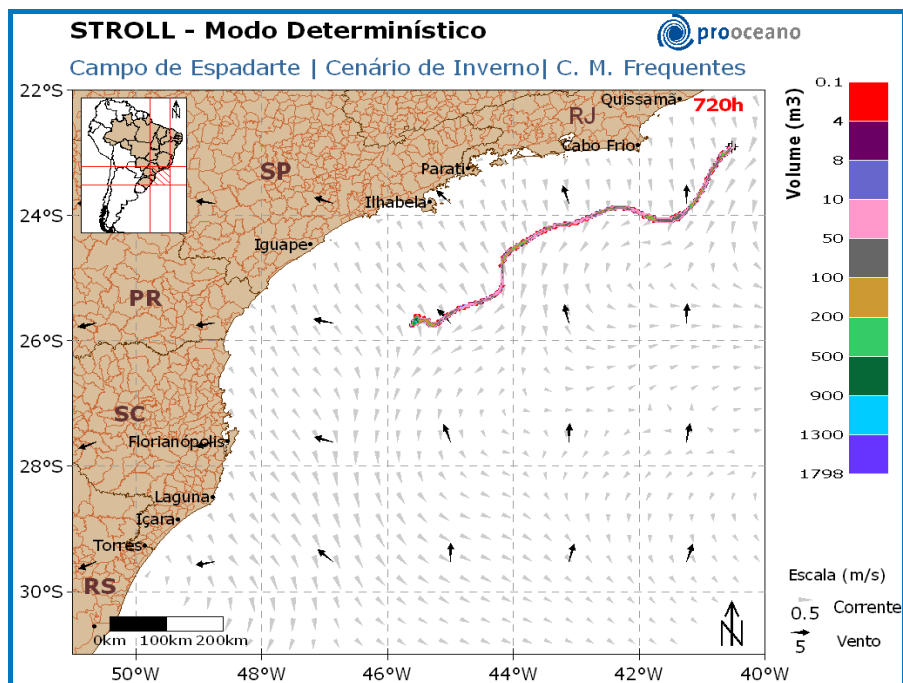


**Figura II.6.1.1-64** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 504 horas de simulação.

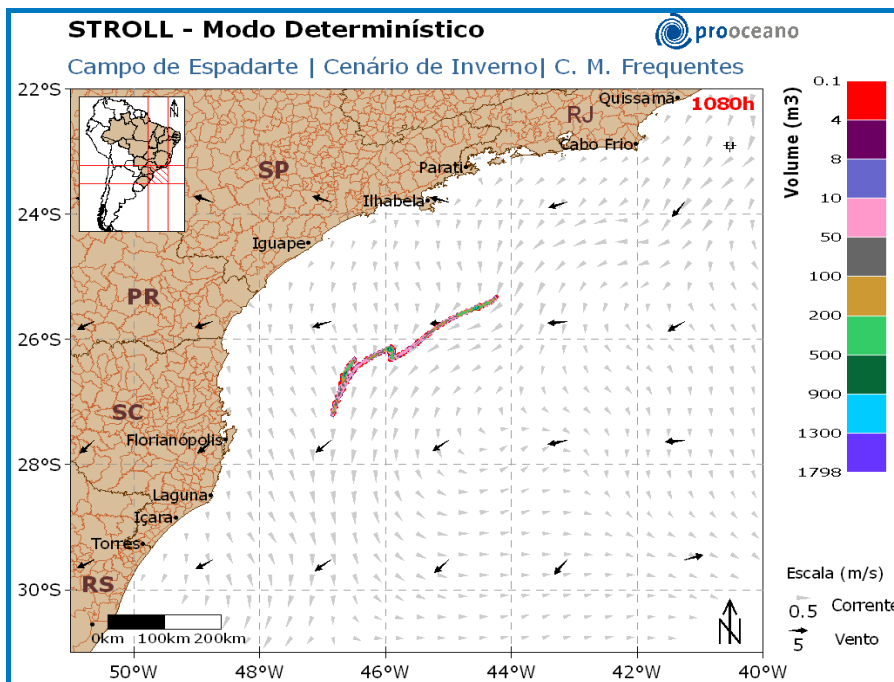




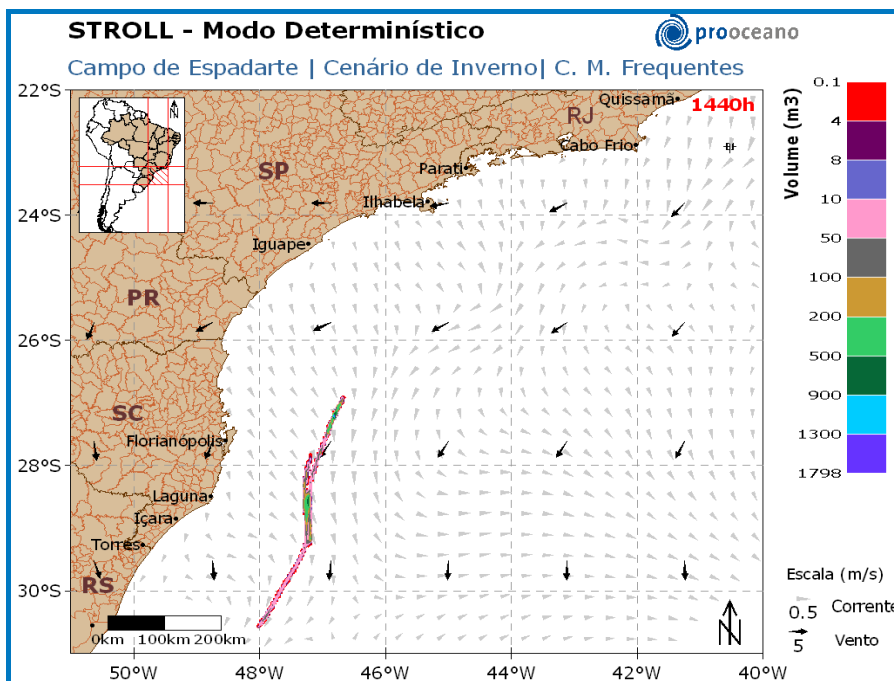
**Figura II.6.1.1-65** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 672 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-66** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 720 horas de simulação.



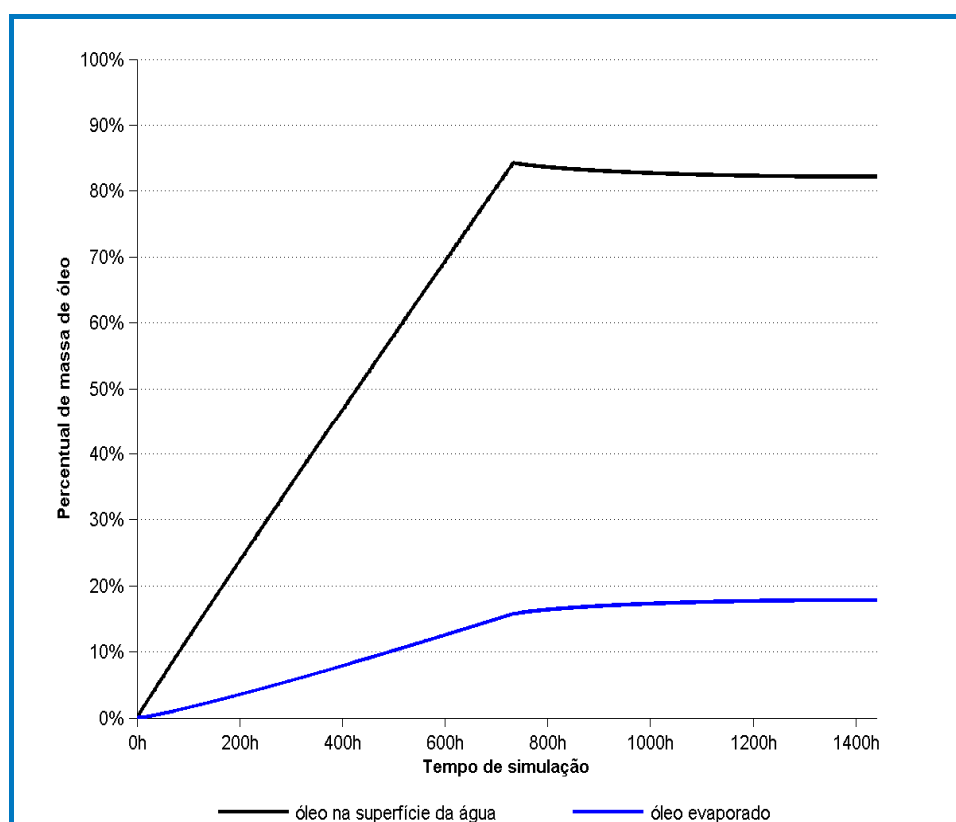
**Figura II.6.1.1-67** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 1080 horas de simulação.



**Figura II.6.1.1-68** - Resultado da simulação determinística de condições meteo-oceanográficas frequentes, cenário de inverno, após 1440 horas de simulação.

Observa-se que a deriva do óleo ocorreu rumo a sudoeste do poço durante toda a trajetória influenciada pelos ventos de nordeste e pela Corrente do Brasil. Ao final da simulação, 1440 horas, não houve presença de óleo na costa e este se encontrava em frente da costa dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, distando em média 150 km.

No gráfico (**Figura II.6.1.1-69**), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo e porcentagem de óleo remanescente na superfície da água durante a simulação.



**Figura II.6.1.1-69** - Evolução temporal do balanço de massa ao longo da simulação da trajetória do volume de pior caso (39.000 m<sup>3</sup>) em condições meteo-oceanográficas frequentes, no cenário de inverno.

A retirada de massa de óleo da superfície da água por evaporação removeu, aproximadamente, 18% da massa, e não houve retirada do óleo da superfície por dispersão. A massa de óleo remanescente na superfície da água foi de aproximadamente 82% ao final da simulação.

### II.6.1.1.4.3 - Resumo dos Resultados

De forma a facilitar a análise dos resultados obtidos na modelagem da dispersão do óleo para os vazamentos de blow-out (39.000 m<sup>3</sup>) no Campo de Espadarte, na **Tabela II.6.1.1-7**, a seguir, serão apresentados os principais resultados obtidos.

**Tabela II.6.1.1-7 - Resumo dos principais resultados obtidos na modelagem da dispersão de óleo no mar. Campo de Espadarte.**

Resultados		Vazamento	Verão	Local (Município)	Vazamento	Inverno	Local (Município)
Probabilístico	Maior Probabilidade de Presença de Óleo (%)	Blow-out	13	Florianópolis e Bombinhas - SC	Blow-out	21	Ilhabela - SP
	Menor Tempo Mínimo de Chegada de Óleo (h)	Blow-out	327	Arraial do Cabo - RJ	Blow-out	150	Armação dos Búzios - RJ
	Maior Volume Máximo de Óleo na costa (m <sup>3</sup> )	Blow-out	3394,1 #	Florianópolis - SC	Blow-out	3385,4 #	Peruíbe - SP
Determinístico	Volume de Óleo Acumulado na Costa (m <sup>3</sup> ) - Condição Meteorológica frequente	Blow-out	~5000	Pontal do Paraná - PR a Balneário Camboriú - SC	-	-	-
	Volume de Óleo Acumulado na Costa (m <sup>3</sup> ) - Condição Crítica	-	-	-	Blow-out	~1850	Armação dos Búzios a Arraial do Cabo- RJ
	Tempo de Chegada do Óleo na Costa (h) - Condição Crítica	-	-	-	Blow-out	150	Armação dos Búzios - RJ

Legenda: # Os valores de volume referem-se a área de 12,25 km<sup>2</sup>, correspondente ao elemento de grade, que tem 3,5 km nos dois eixos (x e y);

### II.6.1.1.5 - Conclusão

Em todas as simulações probabilísticas, pequeno e médio volume, além do blow-out, a deriva preferencial do óleo foi para sudoeste do poço.

A probabilidade do óleo atingir a costa ocorreu somente no volume de blow-out, em ambos os cenários. As localidades na costa que podem ser atingidas por óleo se estenderam de Macaé, no estado do Rio de Janeiro, até Jaguaruna, no estado de Santa Catarina. A máxima probabilidade de presença de óleo na costa ocorreu no município de Ilhabela - SP no cenário de inverno (21%). Os municípios de Florianópolis - SC e Peruíbe - SP foram os locais que registraram maior volume máximo de óleo na costa, dentre os dois cenários de blow-out, 3394 m<sup>3</sup> e 3384 m<sup>3</sup>, respectivamente.

Com relação ao tempo mínimo de chegada de óleo na costa houve uma grande diferença entre os valores dos cenários simulados. No verão o menor valor de tempo mínimo foi de 327 horas após o vazamento, em Arraial do Cabo - RJ, enquanto no inverno, o menor valor foi de 150 horas em Armação dos Búzios - RJ.

Com base nos resultados do modo probabilístico foi definido um cenário crítico no inverno. O critério escolhido para definição da situação foi a da trajetória que mais rapidamente alcançou à costa.

Na trajetória crítica o toque na costa ocorreu em 150 horas após o início do vazamento, enquanto que na trajetória em condições meteo-oceanográficas frequentes de verão o óleo já era notado na costa em aproximadamente 1284 horas. No cenário de inverno em condições meteo-oceanográficas não houve óleo acumulado na costa.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo, para cada simulação determinística, mostraram que a evaporação retirou da superfície da água entorno de 18% de massa e não ocorreu a dispersão do óleo, i. e., o óleo para a coluna d'água. Na simulação em condição crítica de inverno, 5% do óleo vazado se encontrava na costa ao final da simulação, 1440 horas, enquanto na simulação meteo-oceanográfica de verão, 13% da massa de óleo se encontrava na costa.

#### **II.6.1.1.6 - Bibliografia**

ASA 03-081. Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sul-Sudeste Brasileira. Revisão 01. Relatório preparado pela ASA South America para a PETROBRAS. Jan/2011.

CAMPOS, R. M. **Análise dos extremos de onda no Rio de Janeiro associados a ciclones extratropicais no Atlântico Sul, RJ. 2009.** Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ.

CSANADY, G. T., 1972. **Turbulent Diffusion in the Environment. Geophysics and Astrophysics Monographs**, Vol.3, 247 pp., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland.

DELVIGNE G.A.L. and SWEENEY C.E.. **Natural dispersion of Oil.** Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.

DELVIGNE G.A.L., HULSEN L. **Simplified laboratory experiments of oil dispersion coefficient- Application of computations of natural oil dispersion.** Proc. 17th AAM Oilspill Program Technical Seminar. Vancouver, Canada, 1994.

ELLIOTT A.J. **A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations** Estuarine, Coastal and Shelf Science 61 (2004) 569-581.

ELPN/IBAMA. **Informação Técnica nº 023/2002**. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.

FLORES, et al. **Computer Modeling of Oil Spill Trajectories with a High Accuracy Method**. Spill Science & Technology Bulletin. v. 5, n.5-6, 1999, p. 323-330.

JONES. R. 1997 **A simplified Pseudo-component Oil evaporation Model**. NOAA, USA in Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oilspill Program, Technical Seminar, Volume 1, p.43-60. Vancouver, Canada.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S.; HNILO, J.J.; FIORINO, M. & POTTER, G.L., 2002. **"The NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)"**. Bulletin of the American Meteorological Society, 1631-1643.

KALNAY, E, M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAK, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A.LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: **"The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project"**, Bulletin of the American Meteorological Society, 437-470.

KISTLER, R.; KALNAY, E; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KSNAMITSU, M.; KOUSKY, V.; DOOL, H.; JENNE, R. & FIORINO, 2001. **"The NCEP-NCAR 50 Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation."** Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 247-267.

LEHR, W.J., JONES, R., EVANS, M., SIMECEK-BEATTY, D., OVERSTREET, R., 2002. **Revisions of the ADIOS oil spill model**. Environmental Modelling and Software 17, 191-199.

LEHR, W.J., SIMECEK-BEATTY, D., 2000. **The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms**. Spill Science and Technology Bulletin 6, 247-253.

LYMAN, J. L.; REEHL, W.F.; ROSENBLATT, D.A. **Handbook of Chemical Property Estimation Methods**. American Chemical Society, Washington D.C., 1990.

MACKAY, D. & MATSUGU, R. S. 1973.: **Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water**. Can J. Chem. Eng., 51. 434-9.

MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON, 1980.: **Oil Spill Processes and Models**. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.

MACKAY, D., SHIU, W.Y., HOSSAIN, K., STIVER, W., MCCURDY, D., PETERSON, S., TEBEAU, P. A., 1983. **Development and Calibration of an Oil Spill Behavior Model**, Report Nº CG-D-27-83, United States Coast Guard Office of Research and Development, Groton, Conn., USA.

MONAHAN, E., 1971. **Oceanic whitecaps**. Journal of Physical Oceanography 1, 139-144.

NOAA. ADIOSTM (Automated Data Inquiry for Oil Spill) version 2.0 Seattle: **Hazardous materials Response and Assessment Division, NOAA**. Prepared for the U. S. Coast Guard Research and Development Center, Groton Connecticut, 2000.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985a. **A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary**. Part I: Description of the model and model simulations, J. Phys. Oceanogr., 15, 1676-1692.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985b. **A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary**. Part II: Comparison with observation, J. Phys. Oceanogr., 15, 1693-1709.

PRICE, J. M., REED, M., HOWARD, M. K., JOHNSON, W. R., JI Z., MARSHALL, C. F., GUINASSO, N. L., RAINEY, G. B., 2003. **Evaluation of an Oil Spill Trajectory Model Using Satellite-tracked, Oil-spill-simulating Drifters**. Report Documentation. United States Minerals Management Service. Herndon, VA 20170-4817, USA.