

Simulação de Descarte de Água Produzida

**Modelagem Numérica do Descarte de Água Produzida no
Bloco de Libra – Bacia de Santos**

Volume 01

Revisão 01

Mai/2015



E&P-EXP/SMS

ÍNDICE GERAL

I.MODELAGEM NUMÉRICA DO DESCARTE DE ÁGUA PRODUZIDA.....	1/74
I.1.Introdução.....	1/74
I.1.1.Descrição da Atividade.....	1/74
I.2.Metodologia	4/74
I.2.1.Modelagem de Transporte e Mistura do Efluente – DREAM.....	4/74
I.2.1.1...Descrição do Modelo.....	5/74
I.2.1.2...Equações Governantes	6/74
I.2.2.Estratégias de Modelagem.....	12/74
I.2.2.1...Definição da Zona de Mistura.....	12/74
I.2.2.2...Tempo de Simulação	13/74
I.2.2.3...Características das Simulações	14/74
I.2.2.4...Descrição da Grade	16/74
I.2.3.Forçantes	17/74
I.2.3.1...Corrente	17/74
I.2.3.2...Temperatura e Salinidade	23/74
I.2.3.3...Vento.....	24/74
I.2.3.4...Temperatura do Ar	25/74
I.3.Resultados.....	26/74
I.3.1.Resultados Probabilísticos	27/74
I.3.1.1...Verão.....	28/74
I.3.1.2...Inverno	33/74
I.3.1.3...Resumo dos Resultados	38/74
I.3.2.Resultados Determinísticos.....	39/74
I.3.2.1...Verão.....	40/74
I.3.2.2...Inverno	55/74
I.4.Conclusão.....	71/74
I.5.Bibliografia.....	73/74
EQUIPE TÉCNICA	1/1

QUADROS

QUADRO	PÁG.
Quadro I.1.1-1 - Características do descarte de água produzida no Bloco de Libra.	3/74
Quadro I.2.3.1-1 - Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno na da base hidrodinâmica da REMO.	21/74
Quadro I.2.3.1-2 - Data inicial e final de cada período selecionado.	22/74
Quadro I.2.3.4-1 - Temperatura do ar característica para cada cenário obtida para o ponto de grade do NCEP mais próximo à fonte.	25/74
Quadro I.3.1.3-1 - Probabilidade e tempo de exposição máximo obtidos de 100 a 600 m de distância da fonte para todos os cenários simulados.	38/74
Quadro I.3.1.3-2 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para todos os cenários simulados.	39/74
Quadro I.3.2.1.1-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico intenso de verão.	45/74
Quadro I.3.2.1.2-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico fraco de verão.	50/74
Quadro I.3.2.1.3-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico frequente de verão.	55/74
Quadro I.3.2.2.1-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico intenso de inverno.	60/74
Quadro I.3.2.2.2-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico fraco de inverno.	65/74
Quadro I.3.2.2.3-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico frequente de inverno.	70/74

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I.1.1-1 - Localização do ponto de descarte escolhido em relação ao Bloco de Libra. (Datum SIRGAS2000).	2/74
Figura I.2.1.1-1 - Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).	4/74
Figura I.2.1.1-1 - Fluxograma representativo do algoritmo do modelo DREAM. Adaptado de Reed & Hetland (2002).	6/74
Figura I.2.2.3.1-1 - Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte a partir de n casos determinísticos.	14/74
Figura I.2.2.4-1 - Domínio da grade utilizada na modelagem (em azul). (Datum SIRGAS2000).	17/74
Figura I.2.3.1-1 - Localização do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte. (Datum SIRGAS2000).	18/74
Figura I.2.3.1-2 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade da base hidrodinâmica da REMO mais próximo ao ponto de descarte.	19/74
Figura I.2.3.1-3 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade da base hidrodinâmica da REMO mais próximo ao ponto de descarte.	20/74
Figura I.2.3.1-4 - Passo-a-passo da metodologia utilizada para o cálculo da média ponderada em profundidade para os dados da REMO.	22/74
Figura I.2.3.2-1 - Perfis de temperatura e salinidade para o ponto de descarte dos TLD/SPAs do Bloco de Libra, Bacia de Santos.	23/74
Figura I.2.3.3-1 - Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo ao ponto de descarte. (Datum SIRGAS2000).	24/74
Figura I.2.3.3-2 - Rosas dos ventos obtidas para os cenários de verão e inverno, considerando o ponto de grade do NCEP mais próximo à fonte.	25/74
Figura I.3-1 - Fluxograma de apresentação dos resultados.	27/74
Figura I.3.1.1-1 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de verão com duração de 15 dias. (Datum	28/74

SIRGAS2000).	
Figura I.3.1.1-2 - Média das máximas concentrações obtidas para classes superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de verão: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,65 km com orientação SW-NE (painel inferior). (Datum SIRGAS2000).	29/74
Figura I.3.1.1-3 – Percentual de Tempo de exposição para concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de verão de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).	30/74
Figura I.3.1.1-4 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de verão de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).	31/74
Figura I.3.1.1-5 - Tempo de exposição máximo para concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de verão de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).	32/74
Figura I.3.1.2-1 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).	33/74
Figura I.3.1.2-2 - Média das máximas concentrações obtidas para classes superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,63 km com orientação SW-NE (painel inferior). (Datum SIRGAS2000).	34/74
Figura I.3.1.2-3 – Percentual de Tempo de exposição máximo para concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).	35/74
Figura I.3.1.2-4 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).	36/74
Figura I.3.1.2-5 – Percentual de Tempo de exposição para concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).	37/74
Figura I.3.2.1.1-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário intenso de verão, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.	41/74
Figura I.3.2.1.1-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,68 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Intenso de	42/74

Verão. (Datum SIRGAS2000).	
Figura I.3.2.1.1-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Verão. (Datum SIRGAS2000).	43/74
Figura I.3.2.1.1-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Verão. (Datum SIRGAS2000).	44/74
Figura I.3.2.1.2-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário fraco de verão, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.	46/74
Figura I.3.2.1.2-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,77 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Fraco de Verão. (Datum SIRGAS2000).	47/74
Figura I.3.2.1.2-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Verão. (Datum SIRGAS2000).	48/74
Figura I.3.2.1.2-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Verão. (Datum SIRGAS2000).	49/74
Figura I.3.2.1.3-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário frequente de verão, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.	51/74
Figura I.3.2.1.3-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,54 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Frequente de Verão. (Datum SIRGAS2000).	52/74
Figura I.3.2.1.3-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Verão. (Datum SIRGAS2000).	53/74
Figura I.3.2.1.3-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Verão. (Datum SIRGAS2000).	54/74
Figura I.3.2.2.1-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário intenso de inverno, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.	56/74
Figura I.3.2.2.1-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes:	57/74

visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,68 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Intenso de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	
Figura I.3.2.2.1-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	58/74
Figura I.3.2.2.1-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	59/74
Figura I.3.2.2.2-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário fraco de inverno, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.	61/74
Figura I.3.2.2.2-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,43 km com orientação SE-NW (painel inferior). Caso determinístico – Fraco de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	62/74
Figura I.3.2.2.2-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	63/74
Figura I.3.2.2.2-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	64/74
Figura I.3.2.2.3-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário frequente de inverno, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.	66/74
Figura I.3.2.2.3-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,54 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Frequente de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	67/74
Figura I.3.2.2.3-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	68/74
Figura I.3.2.2.3-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Inverno. (Datum SIRGAS2000).	69/74

I. MODELAGEM NUMÉRICA DO DESCARTE DE ÁGUA PRODUZIDA

1.1.Introdução

Este documento apresenta o estudo de modelagem numérica da dispersão da pluma do efluente – especificamente água de produção – a ser descartado no Bloco de Libra, situado na Bacia de Santos.

O trabalho é dividido em duas etapas: a primeira consiste na análise das características meteo-oceanográficas da região, ou seja, os parâmetros capazes de afetar o comportamento do material descartado, como corrente, temperatura do ar, vento, temperatura do mar e salinidade. Para este estudo, foram selecionados dois cenários sazonais distintos (verão e inverno).

A segunda etapa compreende a simulação de dispersão do efluente, sendo monitorada, especificamente, a variação da sua concentração em relação ao tempo de descarte, à distância da fonte e à profundidade. Essas simulações foram conduzidas em dois modos distintos: o probabilístico e o determinístico.

O presente estudo visa atender aos requisitos descritos na Resolução CONAMA Nº 393 de 2007 e no Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA Nº 037/14, elaborado especificamente para o Bloco de Libra.

1.1.1.Descrição da Atividade

A atividade estudada consiste no descarte de água produzida em um ponto situado dentro do Bloco de Libra, localizado na Bacia de Santos. O ponto de descarte selecionado foi o referente ao SPA4, devido à maior vazão de água produzida. O ponto apresenta coordenadas 24º 37' 41,555"S e 42º 14' 55,183"W (*Datum* SIRGAS 2000) – ponto de vazamento denominado TLD – e sua localização é apresentada na Figura I.1.1-1.

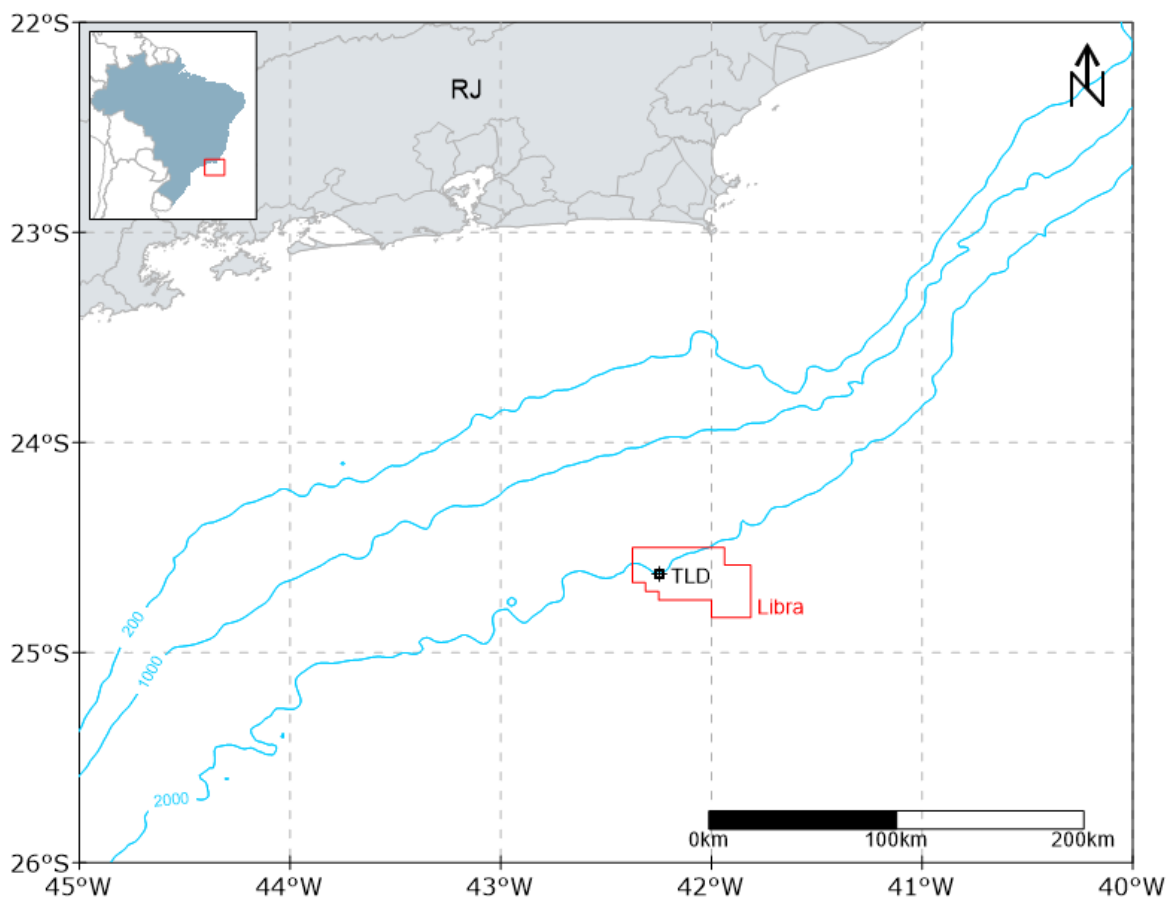


Figura I.1.1-1 - Localização do ponto de descarte escolhido em relação ao Bloco de Libra. (Datum SIRGAS 2000).

Segundo informações fornecidas pela Petrobras, contidas na Especificação Técnica para o presente estudo, o descarte ocorrerá a 15 m de profundidade, sendo liberado por uma tubulação com diâmetro de 6". A vazão utilizada neste estudo é a máxima prevista durante as atividades, de 4.000 m³/dia (capacidade do sistema de tratamento de água produzida), pois retrata a condição mais conservadora.

Um resumo das características operacionais é apresentado no Quadro I.1.1-1.

Quadro I.1.1-1 - Características do descarte de água produzida no Bloco de Libra.

Parâmetros	Valor
Latitude	24°37'41,555"S
Longitude	42°14'55,183"W
<i>Datum</i>	SIRGAS 2000
Diâmetro da tubulação	6"
Duração	contínua
Vazão (m ³ /dia)	4.000
Profundidade de lançamento (m)	15
Orientação da tubulação	vertical para baixo
Densidade (kg/m ³)	1.169,1
Temperatura (°C)	25
Salinidade (mg/L NaCl)	267.147

I.2. Metodologia

A metodologia seguida neste estudo é apresentada em algumas etapas. Na primeira etapa, o **modelo numérico** de dispersão utilizado no estudo é descrito com base em suas características e equações governantes. A segunda etapa apresenta as **estratégias de modelagem** adotadas. E a terceira e última etapa consiste na análise dos **parâmetros meteo-oceanográficos** da região, mais especificamente aqueles capazes de afetar o comportamento do efluente lançado.

I.2.1. Modelagem de Transporte e Mistura do Efluente – DREAM

O processo dispersivo do efluente possui três diferentes fases, apresentadas na Figura I.2.1.1-1 e detalhadas abaixo.

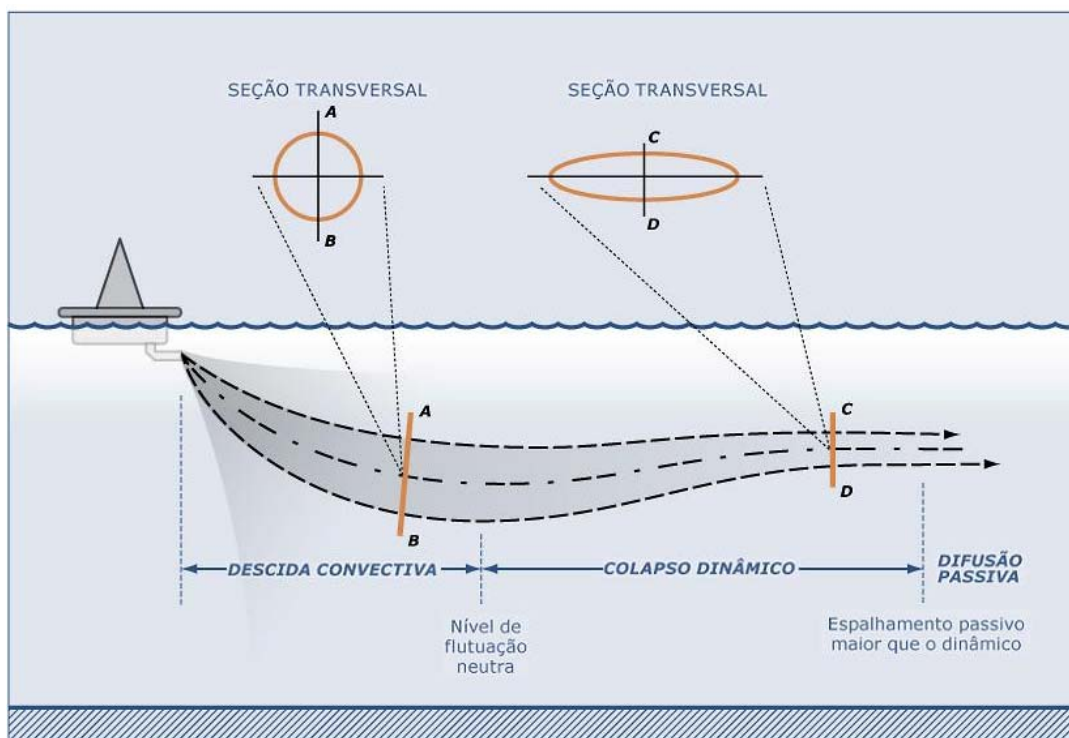


Figura I.2.1.1-1 - Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).

A primeira fase, denominada **fase de jato**, corresponde à diluição inicial do efluente, onde as forças de empuxo, quantidade de movimento do efluente e os

efeitos dinâmicos das correntes locais, resultam em uma rápida mistura e diluição do efluente no corpo d'água receptor. Esta fase ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte. A fase termina quando o efluente descartado encontra uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou se estabiliza em um nível de flutuação neutra. Finda esta primeira etapa, inicia-se a fase de **colapso dinâmico**, onde o efluente se espalhará na profundidade em que se estabilizou devido, ainda, a sua diferença de densidade em relação ao meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Tanto a fase de jato quanto a de colapso dinâmico descrevem a **fase dinâmica, ou campo próximo**.

Ao final da fase de colapso dinâmico, tem início a terceira e última fase, denominada de **dispersão passiva, ou campo afastado**, em que o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local.

1.2.1.1. Descrição do Modelo

O modelo utilizado no estudo é denominado **DREAM** (*Dose-Related Exposure Assessment Model*), e foi desenvolvido pela SINTEF (<http://www.sintef.no/>) para o cálculo do destino físico-químico dos compostos presentes no efluente em três dimensões espaciais e no tempo. Os principais componentes do sistema DREAM são um modelo de campo próximo (Plume3D) e um modelo de trajetória em três dimensões (REED & HETLAND, 2002; RYE *et al.*, 2006; JOHANSEN & DURGUT, 2006).

Com base nos dados operacionais do descarte e nas propriedades físico-químicas do material a ser descartado, o modelo calcula o destino físico-químico dos compostos presentes no efluente em três dimensões espaciais e no tempo. Os processos físico-químicos que regem o modelo são calculados separadamente para cada componente do efluente.

Um fluxograma representativo do algoritmo do modelo DREAM é apresentado na Figura I.2.1.1-1.

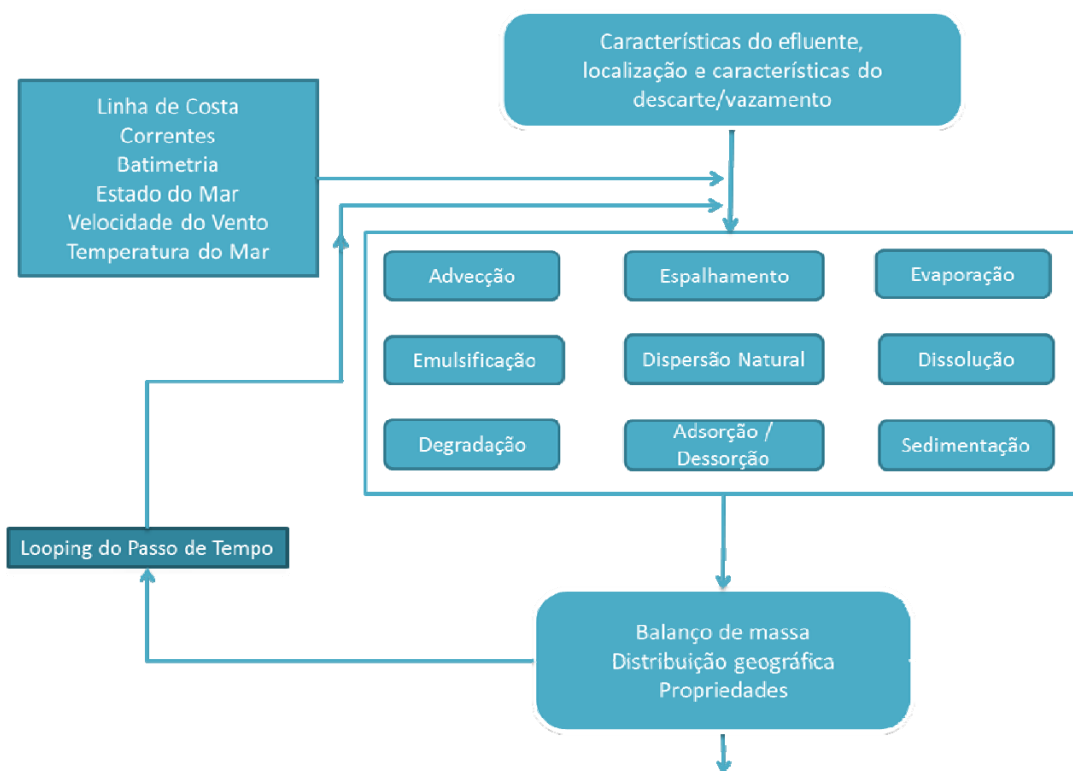


Figura I.2.1.1-1 - Fluxograma representativo do algoritmo do modelo DREAM. Adaptado de Reed & Hetland (2002).

I.2.1.2. Equações Governantes

A formulação numérica do modelo de campo próximo (Plume3D) é baseada nas formulações de Koh & Chang (1973). Em relação à dispersão passiva, emprega-se um método lagrangeano descrito em Reed & Hetland (2002).

O movimento de uma pluma é regido por equações de conservação de massa e volume, *momentum*, flutuabilidade e partículas sólidas, sal e entalpia. O termo pluma refere-se ao material descartado na coluna d'água, sob ação dos regimes de jato, colapso dinâmico, ou dispersão passiva.

Nas **fases dinâmicas (jato e colapso dinâmico)**, as variações dessas quantidades ocorrem ao longo do eixo no qual a pluma se direciona (centro de massa da pluma). Sendo, portanto, as taxas de mudanças descritas como derivadas em relação a esse eixo.

As equações de conservação que governam o movimento são:

Massa:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q) = E\rho_a - \sum_i S_i \rho_i \quad (1)$$

onde Q é a vazão, ρ a densidade do efluente, ρ_a é a densidade do ambiente, ds é a variação do comprimento do eixo, E o entranhamento, ρ_i é a densidade do i -ésimo constituinte ao longo do eixo do jato e S_i a taxa de variação de volume deste elemento.

Momentum (Quantidade de Movimento):

A taxa de variação da quantidade de movimento ao longo do eixo do jato é representada pelo fluxo de fluidez mais o entranhamento de quantidade de movimento do ambiente, menos o somatório da taxa de quantidade de movimento de cada constituinte que passa pelo jato, mais a força de arrasto:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q U) = \pi b^2 g(\rho - \rho_a) J + E\rho_a U_a - \sum_i (S_i \rho_i U) + F_D \quad (2)$$

Sendo g a aceleração da gravidade, J é o vetor unitário na direção vertical, U_a é a velocidade das correntes ambientais, F_D é a força de arrasto e b é o raio do jato.

Flutuabilidade:

Representada pela taxa de entranhamento do fluido ambiente devido ao empuxo menos o somatório das taxas de saída de constituintes do jato:

$$\frac{d}{ds}(Q(\rho_a(0) - \rho)) = E(\rho_a(0) - \rho_a) - \sum_i S_i(\rho_a(0) - \rho_i) \quad (3)$$

Partículas sólidas:

$$\frac{dP_i}{ds} = -S_i \quad (4)$$

Temperatura:

$$\frac{d}{ds}(Q(T_d - T_a)) = E(T_d - T_a) \quad (5)$$

T_d e T_a sendo a temperatura do efluente e do ambiente, respectivamente.

Salinidade:

$$\frac{d}{ds}(Q(S_d - S_a)) = E(S_d - S_a) \quad (6)$$

S_d e S_a sendo a salinidade do efluente e do ambiente, respectivamente.

Fluxo de volume:

$$Q = \pi b^2 |\vec{U}| \quad (7)$$

b sendo o raio da seção transversal da pluma e U a velocidade da pluma.

Como já citado, uma vez terminada a fase dinâmica da pluma tem início a **fase de dispersão passiva**. O esquema de dispersão utilizado nesta etapa é um modelo lagrangeano, descrito em Reed & Hetland (2002). Segundo os autores, o modelo DREAM é baseado na equação geral de transporte:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \vec{V} \times \vec{\nabla} C_i = \vec{\nabla} \times D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ji} C_i \quad (8)$$

onde:

C_i é a concentração do i^o componente químico liberado;

t é o tempo; \vec{V} é o vetor de transporte advectivo;

$\vec{\nabla}$ é o operador gradiente; e

D_k é o coeficiente de dispersão turbulenta em $k =$ direções x, y e z.

Os termos r_j representam as variações dos processos físico-químicos.

Os termos referentes à degradação, r_{ij} , controlam a degradação de subprodutos, como a transferência de massa de um componente para outro. Desta forma, as mudanças nas propriedades toxicológicas permanecem retidas no modelo.

Concentrações dos componentes do fluido na coluna d'água são calculadas a partir da distribuição de pseudopartículas Lagrangeanas no tempo e espaço. Cada partícula matemática representa, conceitualmente, uma nuvem Gaussiana de componentes dissolvidos, gotículas, ou partículas em decantação. Os campos de concentração são constituídos a partir da superposição de todas essas nuvens. Cada nuvem consiste de um elipsoide com uma partícula em seu centro, e semieixos definidos como uma função de tempo da partícula. A distribuição teórica da massa dentro do elipsoide é Gaussiana, com seus desvios padrões nas direções x, y e z (CSANADY, 1973 *apud* Reed & Hetland, 2002):

$$\sigma_i = \sqrt{2k_i t} \quad (9)$$

$$C = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (10)$$

Onde:

x, y, z são as coordenadas do ponto de interesse;

x_0, y_0, z_0 são as coordenadas do centro de massa da nuvem;

$\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ são as variâncias e m a massa.

Cada um desses elipsoides geralmente contribui em massa para muitas células no campo de concentração; e elipsoides vizinhos geralmente se sobrepõem espacialmente. Então, uma determinada célula do campo de concentração contém uma concentração resultante da presença de múltiplas nuvens de partículas próximas. Esse esquema remove grande parte da dependência do campo de concentração calculado sobre o número de partículas e a resolução da grade.

Os processos físico-químicos que regem o comportamento do efluente são:

Advecção e Dispersão

A advecção é calculada a partir da sobreposição de uma velocidade média local a uma componente turbulenta escolhida aleatoriamente. Geralmente, essa velocidade média local é a soma das componentes climatológicas, de maré e geradas pelos ventos e ondas (Stokes). Essas componentes especificadas são então interpoladas e somadas à componente turbulenta. A partir desse somatório, é calculada a advecção na coluna d'água. A componente turbulenta (w') é expressa como:

$$w' = \sqrt{6k / \Delta t} \quad (11)$$

Onde:

k é o coeficiente de dispersão turbulenta estimado para as direções horizontais e verticais.

O coeficiente de dispersão horizontal pode ser aproximado a partir de dados obtidos em estudos de dispersão de corantes, como os de Okubo (1971, 1974 *apud* Reed & Hetland, 2002) e revisados posteriormente por Bowden (1983 *apud* Reed & Hetland, 2002):

$$K_x = 0,0027t^{1,34} \quad (12)$$

Para K em cm^2/s e t em segundos.

O coeficiente de difusão turbulenta vertical acima da pycnoclina é relacionado às condições de onda, segundo Ichiye (1967 *apud* Reed & Hetland, 2002):

$$K_z = 0,0028 \frac{H^2}{T} \exp(-2kz) \quad (13)$$

Sendo H a altura da onda, T o período de onda e k o número da onda.

Abaixo da profundidade da pycnoclina, K_z é assumido como uma constante de valor $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (KULLENBERG, 1982 *apud* Reed & Hetland, 2002). Na ausência da pycnoclina, a equação de Ichiye é aplicada da superfície ao fundo.

O deslocamento vertical das partículas é calculado a partir da sobreposição de uma velocidade turbulenta aleatória a uma velocidade ascendente (ou descendente). As velocidades verticais diferenciais são calculadas usando a média harmônica de dois extremos, uma vez que o coeficiente de arrasto é uma função do número de Reynolds (JOHANSEN, 2000 *apud* Reed & Hetland, 2002):

$$w_{rise} = 1/(w_1^{-1} + w_2^{-1}), \text{ solução combinada} \quad (14)$$

$$w_1 = d^2 g' / 18\nu, \text{ (para número de Reynolds} < 1000), \text{ e} \quad (15)$$

$$w_2 = \sqrt{3d / |g'|}, \text{ (para número de Reynolds} > 1000) \quad (16)$$

Onde:

$g' = g(\rho_a - \rho_0) / \rho_a$, g é a aceleração gravitacional e ν a viscosidade cinemática da água ($\sim 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

Dissolução

A dissolução é dependente da fração molar de cada componente presente no efluente. A concentração ambiental também é um fator importante, principalmente próximo ao local de descarte/vazamento. A equação que governa a dissolução do componente i é:

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad (17)$$

Onde:

K_d é o coeficiente de transferência de massa por dissolução, em m/s;

A é a área superficial do efluente, em m²;

F_i é a fração molar do componente i remanescente no efluente;

S_i é a solubilidade do componente i , em g/m³, ppm; e

C_i é a concentração no ambiente do componente i , em g/m³.

Adsorção

A adsorção desempenha um papel importante no transporte e destino dos poluentes no ambiente aquático. Ela determina a extensão do particionamento de um poluente entre a fase de particulado em suspensão e a fase dissolvida, modulando, desta forma, os efeitos tóxicos e a taxa de remoção da coluna d'água para os sedimentos.

1.2.2. Estratégias de Modelagem

1.2.2.1. Definição da Zona de Mistura

A resolução CONAMA 393 de 2007 que dispõe sobre a atividade de descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural estabelece que a zona de mistura é limitada a um raio de 500 m do ponto de descarte.

O Termo de Referência 037/14, específico para o Teste de Longa Duração e Sistemas de Produção Antecipada de Libra, estabelece que o efluente deve ser monitorado até 600 m de distância da fonte. Dessa forma, ambas as distâncias especificadas serão abordadas nos resultados.

1.2.2.2. Tempo de Simulação

Uma vez que o efluente é descartado com as mesmas características (temperatura, salinidade e densidade) ao longo de toda a operação de maneira contínua, diferenças no comportamento deste dizem respeito apenas a mudanças no ambiente, principalmente relacionadas à sazonalidade.

Para execução das simulações com o DREAM é necessário especificar a duração do descarte. Neste relatório, foi utilizada uma base hidrodinâmica de 1 ano, porém não é viável computacionalmente a execução de simulações com esta duração. Isto porque, o modelo DREAM utiliza partículas lagrangeanas para representar a pluma dos efluentes lançados ao mar. Essas partículas são lançadas em instantes igualmente espaçados, sendo que a quantidade total de partículas é dividida em cada passo de tempo da simulação. A especificação de um tempo de simulação muito longo resultará em poucas partículas lançadas no domínio por passo de tempo e, conseqüentemente, resultará em perda de resolução.

O tempo de simulação foi escolhido de modo a representar a variabilidade ambiental de cada cenário sazonal, porém, sem comprometer o custo computacional exigido pela modelagem. Dessa forma, foi considerado um período de 15 dias, de modo a manter o lançamento de partículas em todos os passos de tempo. Para cada simulação, foram utilizadas 30.000 partículas lagrangeanas. A combinação de duração e número de partículas segue a prática usual em estudos de modelagem de plumas de efluente e os valores recomendados no manual do modelo DREAM.

Como foram executadas simulações probabilísticas compostas por 200 simulações determinísticas, conforme será apresentada no item 1.2.2.3.1, a seguir, teremos todo o período de 1 ano coberto pelas simulações.

I.2.2.3. Características das Simulações

I.2.2.3.1. Simulações Probabilísticas

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 da dispersão sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença do contaminante em cada região de domínio do modelo. A Figura I.2.2.3.1-1 ilustra como um resultado probabilístico pode ser calculado a partir de n casos determinísticos.

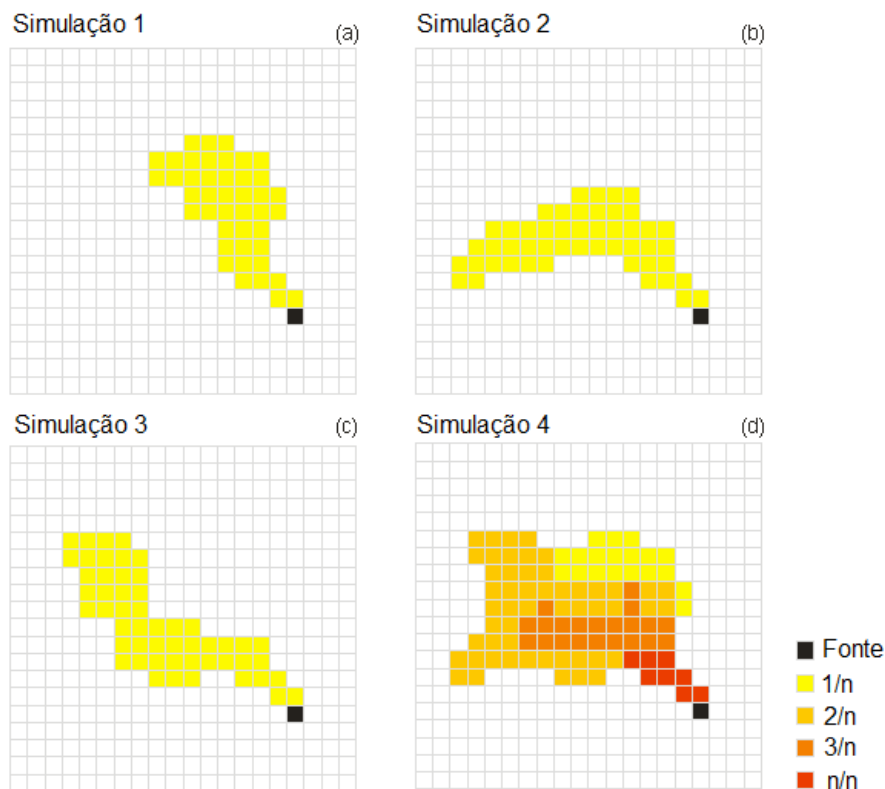


Figura I.2.2.3.1-1 - Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte a partir de n casos determinísticos.

Era prática usual nos estudos de licenciamento ambiental que as simulações fossem executadas a partir da seleção prévia de alguns cenários ambientais específicos, comumente separados por estações do ano – verão e inverno – ou por casos extremos de correntes – mais intensas e mais fracas. Tal prática permite um dimensionamento das concentrações esperadas na coluna d'água. Entretanto, a seleção dos cenários ambientais extremos limita a análise dos resultados a situações específicas com baixa probabilidade de ocorrência, tornando imperativo o emprego de interpretações dos resultados bem conservadoras. Para uma maior certeza sobre as reais áreas potencialmente impactadas, é realizado um estudo probabilístico, no qual uma grande quantidade de cenários ambientais possíveis é avaliada e não apenas os casos extremos.

Para as simulações de descarte de fluidos, o modelo DREAM possui um modo probabilístico que funciona de forma quase similar ao modo probabilístico do OSCAR (modelo utilizado para a dispersão de óleo). Diferentemente do que é observado nas dispersões de óleo, o vento interfere minimamente nos resultados obtidos para fluidos, sendo a corrente a principal atuante na dispersão do efluente. Dessa forma, para tais simulações, foi proposta a delimitação de 1 ano para análise – coincidente com o período disponível de dados de corrente –, o qual foi dividido em verão e inverno, e para cada período foram simulados descartes de 15 dias (tempo de simulação estimado no item I.2.2.2).

Para a separação em cenários sazonais, foi considerado o mesmo critério descrito na Modelagem de Óleo realizada para o Bloco de Libra. O período de **verão** compreende os meses de **agosto a fevereiro** e os meses de **março a julho**, caracterizam o período de **inverno**.

O número de simulações foi escolhido com o intuito de melhor representar os resultados e a variabilidade sazonal. Dessa forma, a cada 1 dia foi iniciada uma nova simulação, cobrindo todos os dias disponíveis de dados. Essa metodologia resultou em, aproximadamente, 100 simulações para cada cenário sazonal, estando de acordo com o que foi proposto para a modelagem de óleo (estudo realizado para o Bloco de Libra), onde foram realizadas 500 simulações para cada cenário sazonal.

1.2.2.3.2. Simulações Determinísticas

Para os resultados determinísticos, foram analisados os dados de correntes, como será melhor apresentado no item 1.2.3.1 (Corrente), e selecionados aqueles que representam as correntes mais intensas, mais fracas e mais frequentes, para cada cenário sazonal. No total, serão apresentados seis resultados determinísticos distintos.

Os resultados do modo probabilístico do DREAM não permitem a identificação dos cenários mais restritivos em termos de concentração. Porém, a escolha de cenários extremos a partir das correntes, é uma ótima ferramenta para tal necessidade, já que são elas as principais atuantes na dispersão dos fluidos no ambiente marinho.

O passo de tempo utilizado, tanto no modo probabilístico como no determinístico, foi de 1 min, já o *output* foi de 30 min.

1.2.2.4. Descrição da Grade

Foi escolhida uma grade regular, capaz de retratar toda a área de dispersão do efluente, tanto nos resultados determinísticos como nos probabilísticos, e com refinamento suficiente à análise das regiões com maiores concentrações.

Essa grade possui resolução espacial de 5 m nas direções zonal, meridional e vertical. Os limites da grade são: ao sul, 24°38'S, ao norte, 24°37'S, a oeste, 42°16'W e a leste, 42°14'W.

Com as especificações da grade expostas acima, obteve-se uma grade com 405 x 400 células em superfície. O domínio da grade utilizada é apresentado na Figura 1.2.2.4-1.

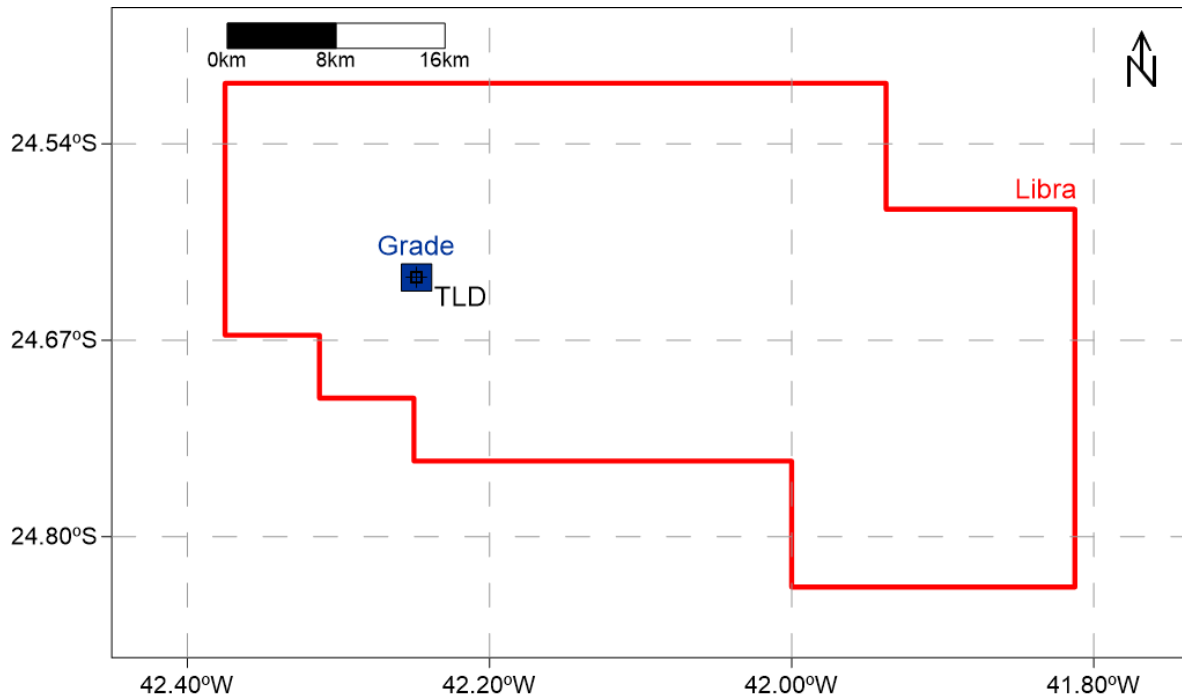


Figura I.2.2.4-1 - Domínio da grade utilizada na modelagem (em azul). (Datum SIRGAS2000).

I.2.3. Forçantes

A separação sazonal definida para o presente estudo seguiu o mesmo critério adotado no relatório de modelagem de óleo apresentado neste mesmo processo de licenciamento. O período de verão corresponde aos meses de **agosto a fevereiro** e o período de inverno, aos meses entre **março a julho**. Para manter a coerência, todos os parâmetros de entrada do modelo de dispersão (correntes, temperatura e salinidade do mar, ventos e temperatura do ar) serão apresentados de acordo com os períodos escolhidos.

I.2.3.1. Corrente

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido da nova Base Hidrodinâmica desenvolvida no âmbito da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO). O “Relatório Técnico Base Hidrodinâmica SSE” (REMO, 2012), elaborado pelo Grupo de Estudos de

Processos Oceânicos do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ no âmbito da REMO, encontra-se no CD/DVD anexo a este documento.

A localização do ponto de grade mais próximo do ponto de descarte é apresentada na Figura I.2.3.1-1.

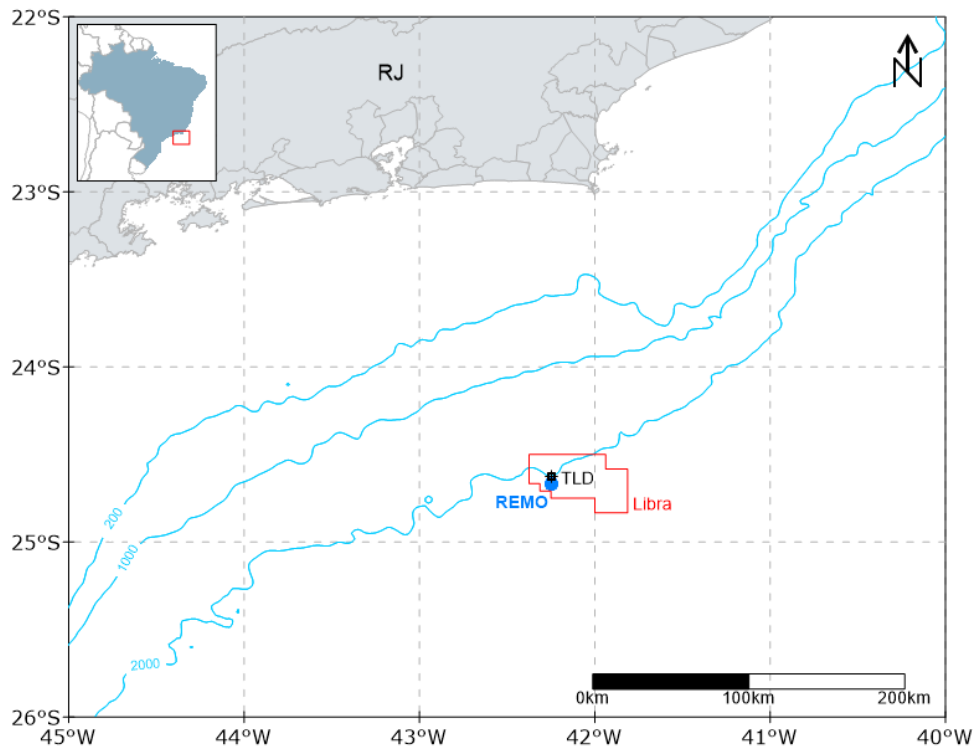


Figura I.2.3.1-1 - Localização do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte. (Datum SIRGAS2000).

A seguir, na Figura I.2.3.1-2 e na Figura I.2.3.1-3 são apresentadas as rosas de correntes obtidas para verão e inverno, respectivamente, variando nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 m, para o ponto mais próximo ao ponto de descarte.

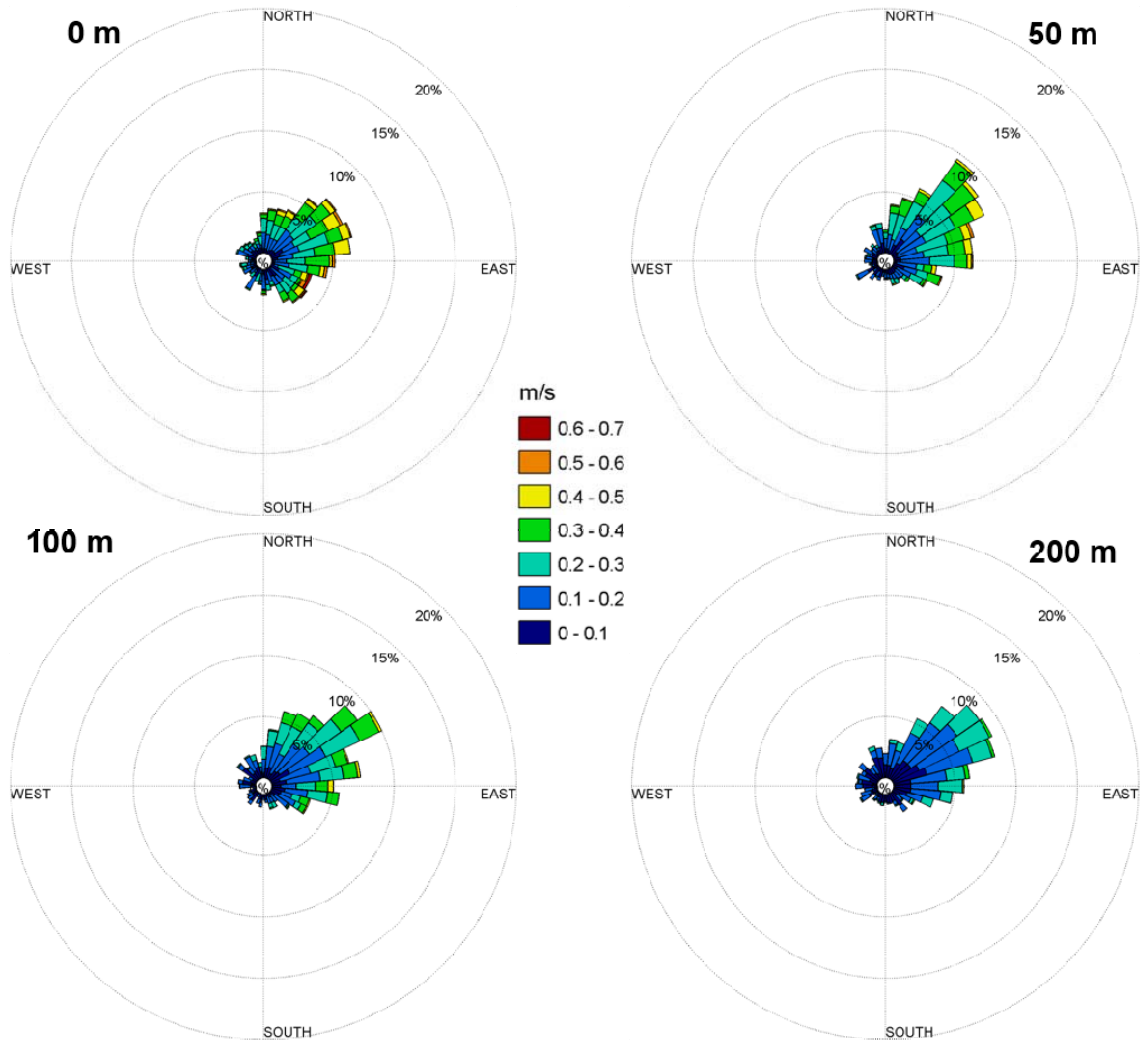


Figura I.2.3.1-2 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade da base hidrodinâmica da REMO mais próximo ao ponto de descarte.

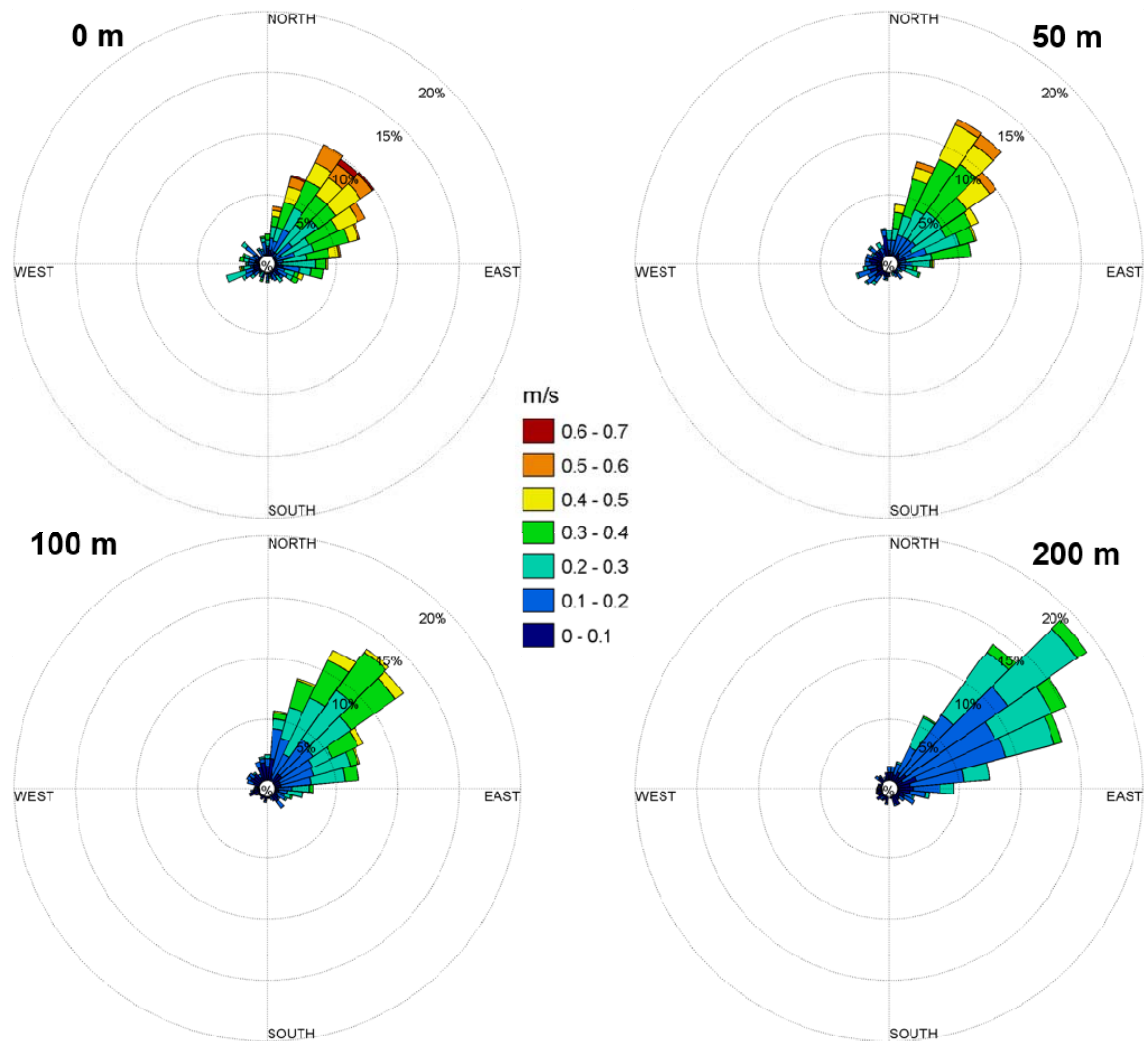


Figura I.2.3.1-3 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade da base hidrodinâmica da REMO mais próximo ao ponto de descarte.

O Quadro I.2.3.1-2 apresenta os valores máximos de intensidade obtidos para ambos os cenários.

Quadro I.2.3.1-1 - Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno da base hidrodinâmica da REMO.

Profundidade (m)	Intensidade Máxima (m/s)	
	Verão	Inverno
0	0,64	0,70
50	0,57	0,59
100	0,45	0,49
200	0,40	0,38

De maneira geral, a corrente predominante é a de nordeste e as máximas intensidades obtidas são referentes ao cenário de inverno.

Como já mencionado no item I.2.2.3.2 (Simulações Determinísticas), os casos determinísticos a serem apresentados neste relatório foram escolhidos de acordo com as correntes: mais intensas, mais fracas e mais frequentes – para cada cenário sazonal.

Para esta análise, foram consideradas duas etapas: na primeira, realizou-se uma média ponderada na direção vertical e a segunda, uma média aritmética no tempo.

A média na vertical foi realizada com o intuito de resumir as informações dos 4 níveis de profundidade utilizados em um único valor de velocidade. A escolha pela média ponderada, ao invés da média aritmética, foi considerar a contribuição efetiva de cada camada na média total do fluxo, uma vez que os dados da base hidrodinâmica da REMO não são igualmente espaçados na vertical, ou seja, os pesos são proporcionais à extensão da camada e não à intensidade das correntes. Um passo-a-passo da metodologia é apresentado a seguir, na Figura I.2.3.1-4.

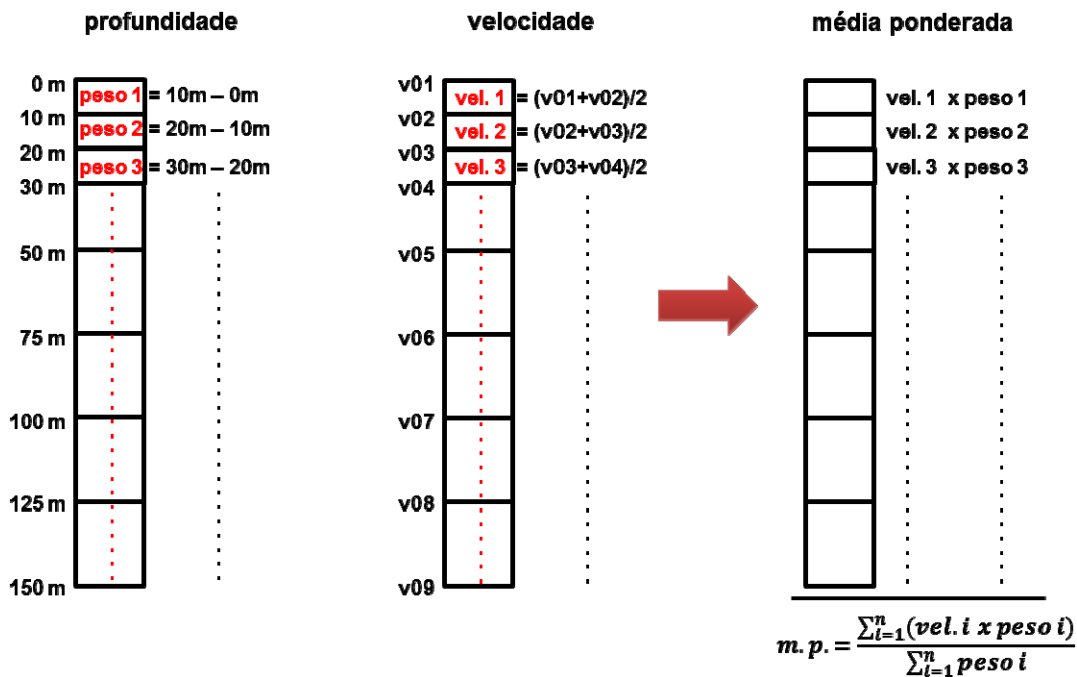


Figura I.2.3.1-4 - Passo-a-passo da metodologia utilizada para o cálculo da média ponderada em profundidade para os dados da REMO.

Após a realização da média ponderada em profundidade, uma média no tempo foi feita, varrendo o período total dos dados (1 ano) e realizando médias móveis em janelas de 15 dias (tempo de simulação definido no item I.2.2.2). Após a análise de todas as janelas de tempo, identificou-se a moda do conjunto de janelas de cada um dos cenários sazonais, e assim, os períodos a serem modelados (Quadro I.2.3.1-2).

Quadro I.2.3.1-2 - Data inicial e final de cada período selecionado.

Cenário Sazonal	Cenário	Início	Fim
Verão	Intenso	12-fev-2004	26-fev-2004
	Fraco	15-dez-2004	29-dez-2004
	Frequente	31-jan-2004	14-fev-2004
Inverno	Intenso	10-abr-2004	24-abr-2004
	Fraco	09-mai-2004	23-mai-2004
	Frequente	12-jun-2004	26-jun-2004

1.2.3.2. Temperatura e Salinidade

Para definir os perfis de salinidade e temperatura a serem incorporados na modelagem de água produzida foram utilizados os resultados da Modelagem Hidrodinâmica (realizada para a mesma região).

No DREAM, apesar de ser utilizada uma série temporal para representar a variabilidade dos dados de corrente, os parâmetros temperatura e salinidade não seguem esse padrão. O usuário do modelo tem a opção de inserir apenas um perfil de temperatura e salinidade para cada cenário. Desta forma, foi calculado um perfil médio desses parâmetros para cada período selecionado (Figura 1.2.3.2-1), para o ponto de grade mais próximo ao descarte (Figura 1.2.3.1-1).

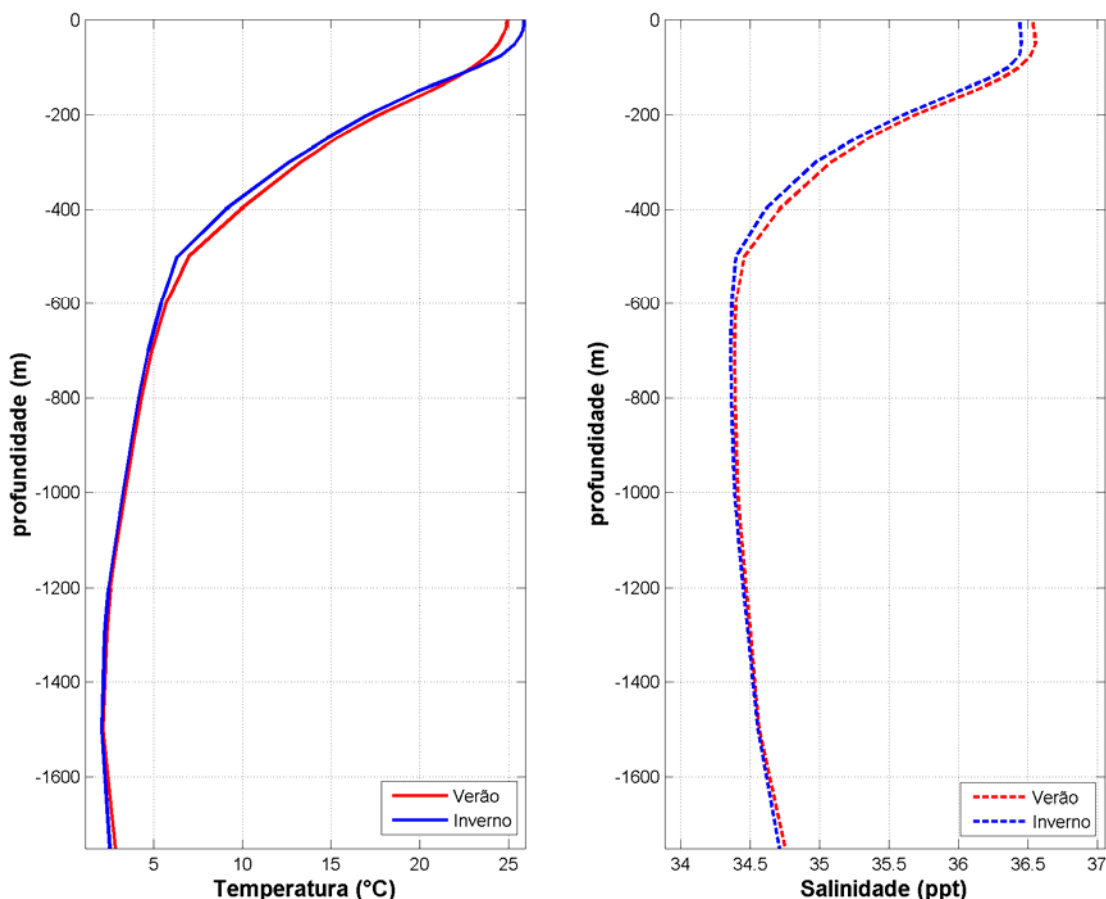


Figura 1.2.3.2-1 - Perfis de temperatura e salinidade para o ponto de descarte dos TLD/SPAs do Bloco de Libra, Bacia de Santos.

1.2.3.3. Vento

Os dados de vento utilizados como forçantes neste estudo são oriundos do banco de dados do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) conhecido como Reanálises 2 (R-2), sendo o mesmo utilizado pelo estudo da modelagem de dispersão de óleo para o Bloco de Libra, apresentado neste mesmo processo de licenciamento.

De forma a manter a coerência com os dados de correntes, para este estudo, foram utilizados os dados de vento para os períodos definidos de acordo com os cenários sazonais escolhidos (verão e inverno) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia). A resolução espacial na área em questão é de aproximadamente $1,8^\circ$, tendo sido utilizado o ponto de grade do NCEP mais próximo ao descarte (Figura I.2.3.3-1).

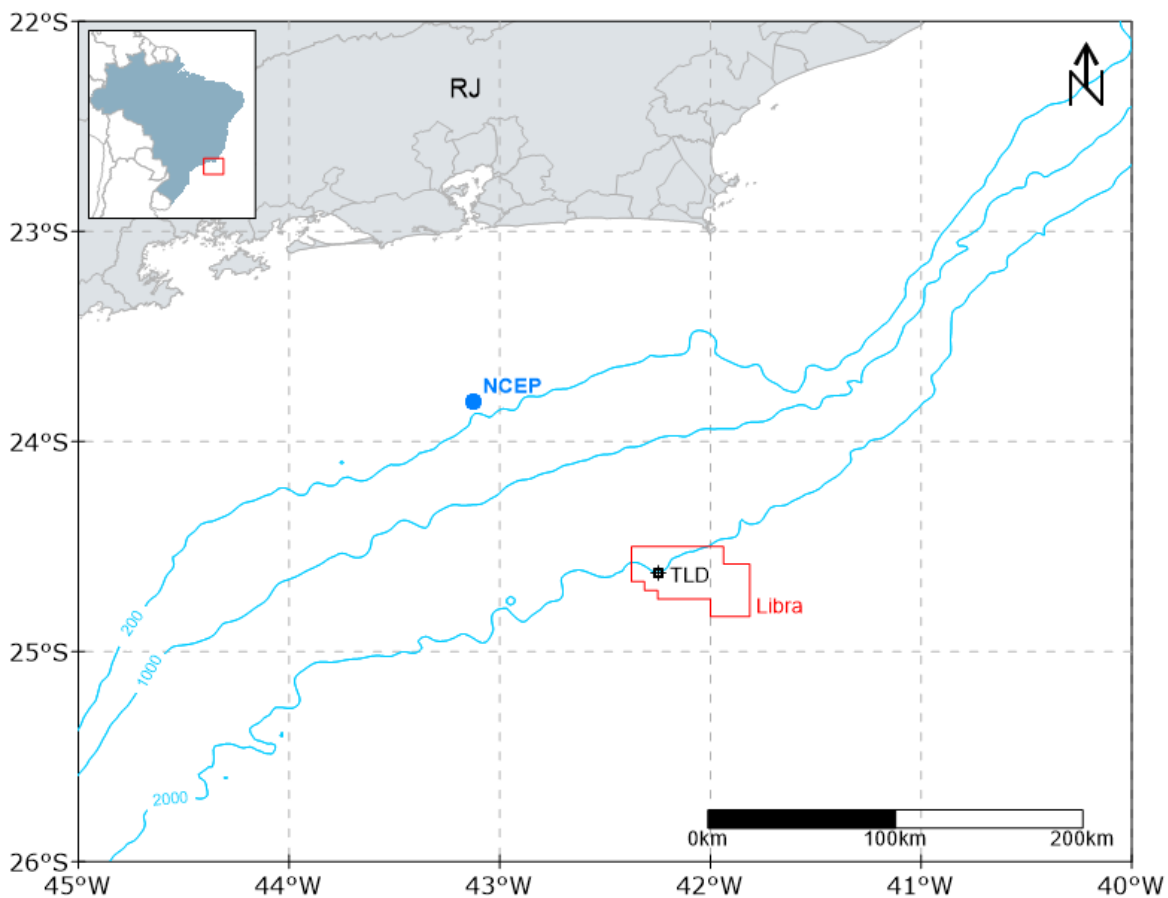


Figura I.2.3.3-1 - Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo ao ponto de descarte. (Datum SIRGAS2000).

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos (Figura I.2.3.3-2), elaboradas para os dois cenários.

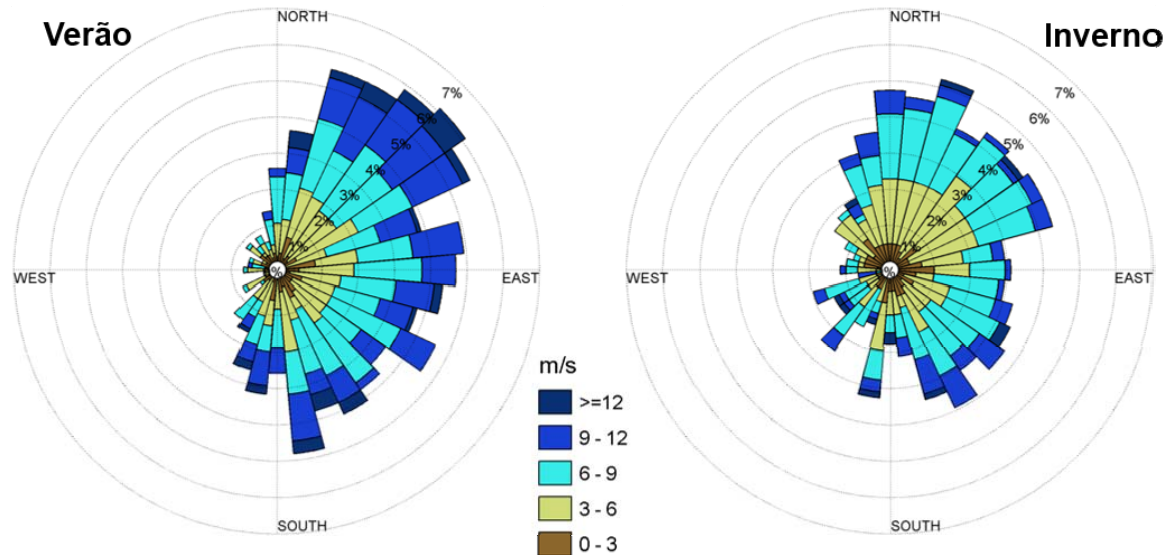


Figura I.2.3.3-2 - Rosas dos ventos obtidas para os cenários de verão e inverno, considerando o ponto de grade do NCEP mais próximo à fonte.

Percebe-se uma maior probabilidade de ocorrência de ventos do quadrante nordeste e sudeste em ambos os cenários sazonais. A predominância de maiores intensidades é observada no cenário de verão, com velocidades acima de 12 m/s.

I.2.3.4. Temperatura do Ar

Os dados de temperatura do ar utilizados como forçantes do modelo também são oriundos das Reanálises do NCEP. Assim como nos dados de temperatura do mar e salinidade, no DREAM há a opção de inserir apenas um valor de temperatura do ar para cada cenário. Sendo assim, optou-se também por utilizar os valores médios de cada período, apresentados no Quadro I.2.3.4-1.

Quadro I.2.3.4-1 - Temperatura do ar característica para cada cenário obtida para o ponto de grade do NCEP mais próximo à fonte.

Cenário	Temperatura do Ar (°C)
Verão	22,58
Inverno	22,78

1.3. Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados probabilísticos e determinísticos das simulações de dispersão de fluido, para os cenários sazonais de verão e inverno.

Na abordagem probabilística, são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando todos os processos citados nos itens anteriores, para diferentes condições meteo-oceanográficas. Os resultados probabilísticos são de grande importância, pois ilustram tanto a abrangência da área passível de ser afetada pelo descarte, quanto as regiões com maior probabilidade de ocorrência.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas diferentes simulações, com duração de 15 dias, para cada período (verão e inverno). Serão apresentados mapas de probabilidade de presença na região para determinados limiares de concentração, além de mapas de concentração e percentual de tempo de exposição para todo o período analisado.

Os resultados de probabilidade de presença e percentual de tempo de exposição são complementares. Enquanto a probabilidade de presença indica o percentual de simulações determinísticas de 15 dias de duração nas quais as concentrações excederam os limiares especificados, o percentual do tempo de exposição indica o percentual máximo de tempo durante os 15 dias de simulação que uma determinada célula de cálculo ficou exposta a concentrações superiores ao limiar especificado.

A concentração máxima obtida no modo probabilístico do DREAM é referente à máxima das médias temporais para cada simulação determinística das concentrações superiores ao limiar especificado. Isto é, para cada simulação determinística, é realizada a média temporal obtida para cada ponto de grade dos valores que excederam o limiar especificado. Ao final, é extraída a máxima obtida em cada ponto de grade, considerando todas as simulações realizadas.

Apesar de este não ser o resultado mais conservador possível, ele representa uma situação mais próxima da realidade. Os picos máximos de concentração representam situações com baixíssima probabilidade de ocorrência, ou seja, da presença no ambiente ser quase instantânea (da ordem de segundos).

Mesmo os picos não sendo visualizados nos resultados probabilísticos, estes serão contemplados nos casos determinísticos. Para a apresentação desses resultados, foram selecionados os períodos com correntes mais intensas, mais fracas e mais frequentes, para cada cenário sazonal, totalizando seis casos determinísticos distintos.

A Figura I.3-1 resume a forma como os resultados dos modos probabilísticos e determinísticos serão apresentados.

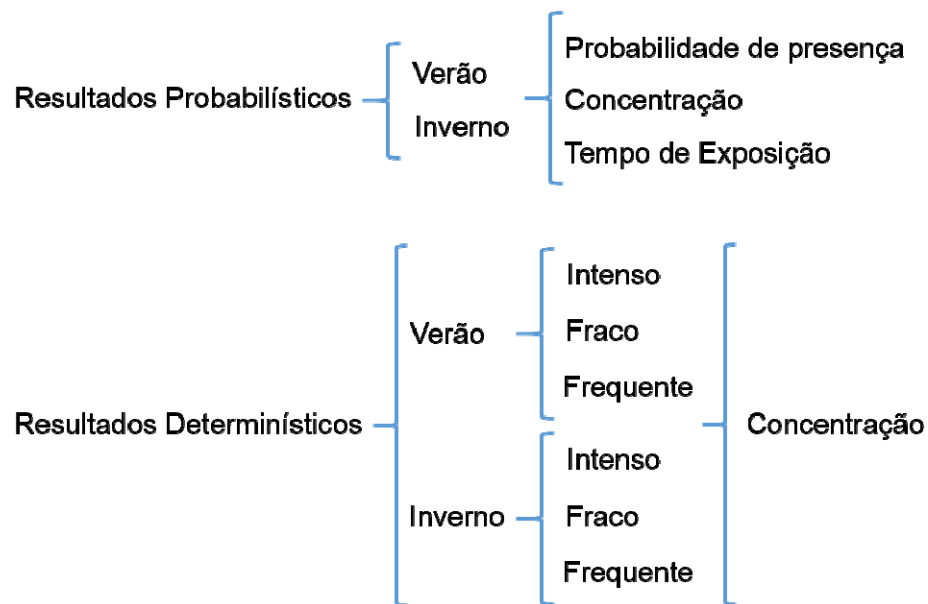


Figura I.3-1 - Fluxograma de apresentação dos resultados.

Todos os resultados apresentados a seguir englobam tanto a fase ativa como a fase passiva da pluma.

1.3.1. Resultados Probabilísticos

A seguir, serão apresentados mapas de probabilidade de presença e percentual de tempo de exposição de concentrações acima de 0,01% (diluição de 10.000 vezes) e 0,1% (diluição de 1.000 vezes), considerando todos os casos determinísticos simulados. Serão também apresentados mapas de concentrações acima de 0,01% (diluição de 10.000 vezes). Os resultados serão apresentados para os cenários sazonais de verão e inverno, separadamente.

I.3.1.1. Verão

A Figura I.3.1.1-1, a Figura I.3.1.1-1 e a Figura I.3.1.1-3 apresentam, respectivamente, os mapas de probabilidade, concentração e tempo de exposição obtidos para concentrações acima de 0,01%.

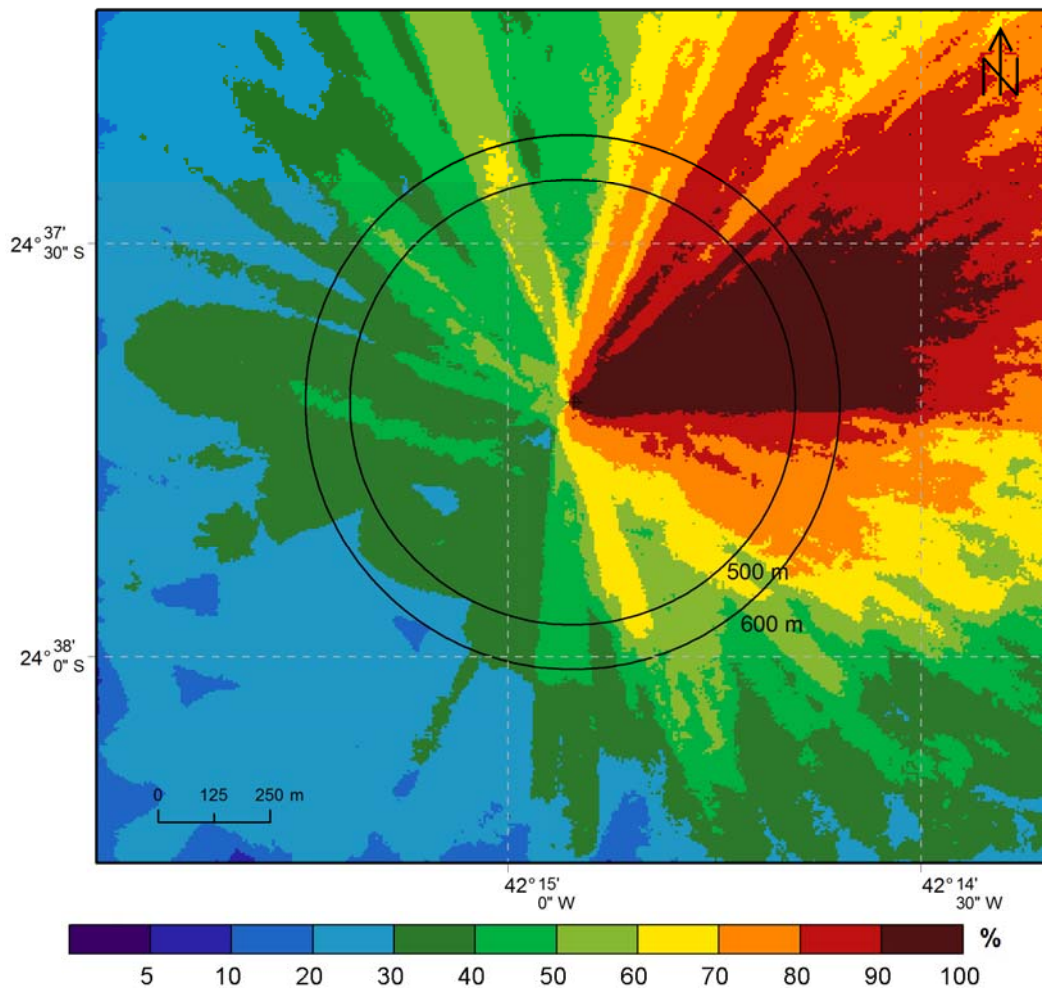


Figura I.3.1.1-1 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de verão com duração de 15 dias. (Datum SIRGAS2000).

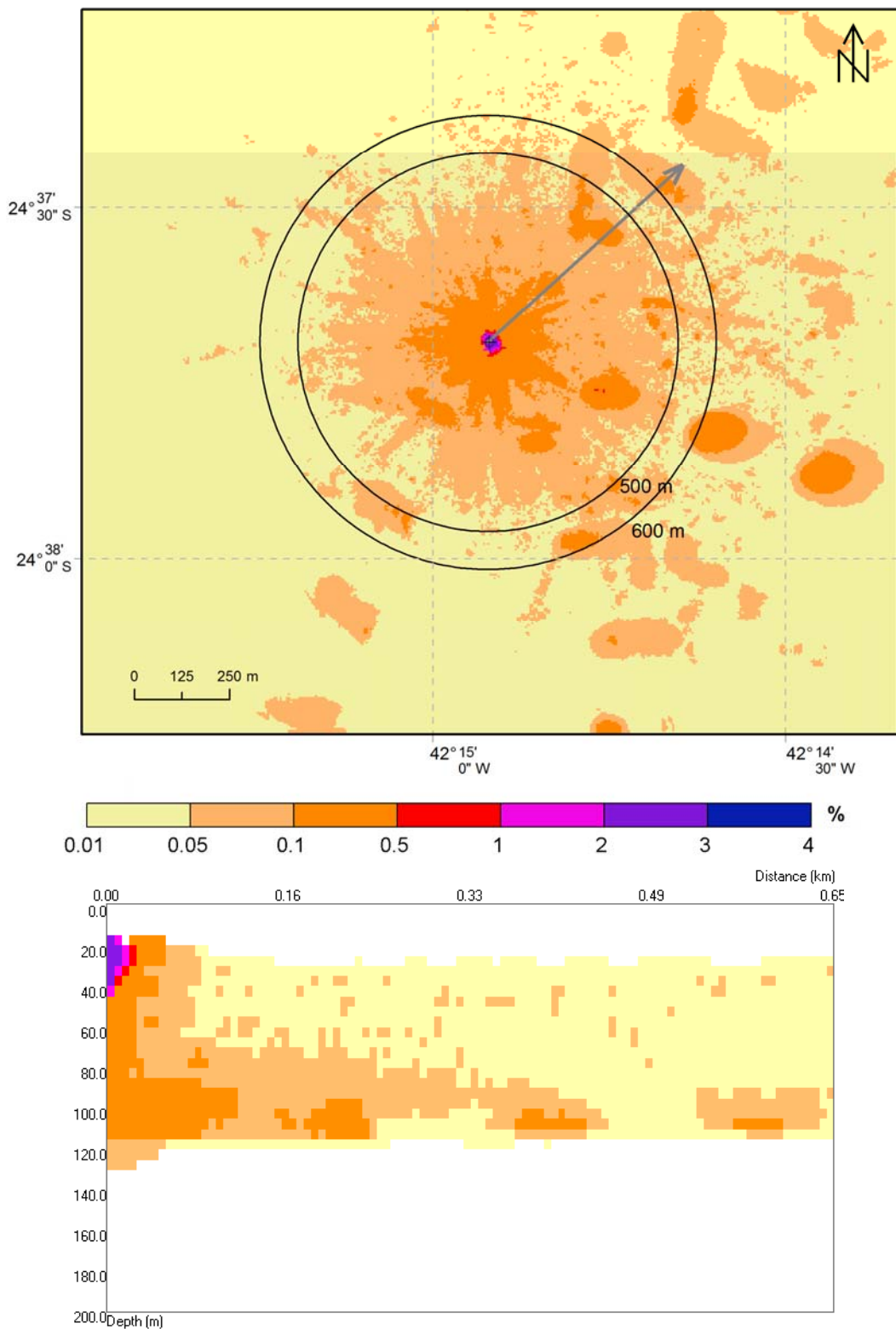


Figura I.3.1.1-2 - Média das máximas concentrações obtidas para classes superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de verão: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,65 km com orientação SW-NE (painel inferior). (Datum SIRGAS2000).

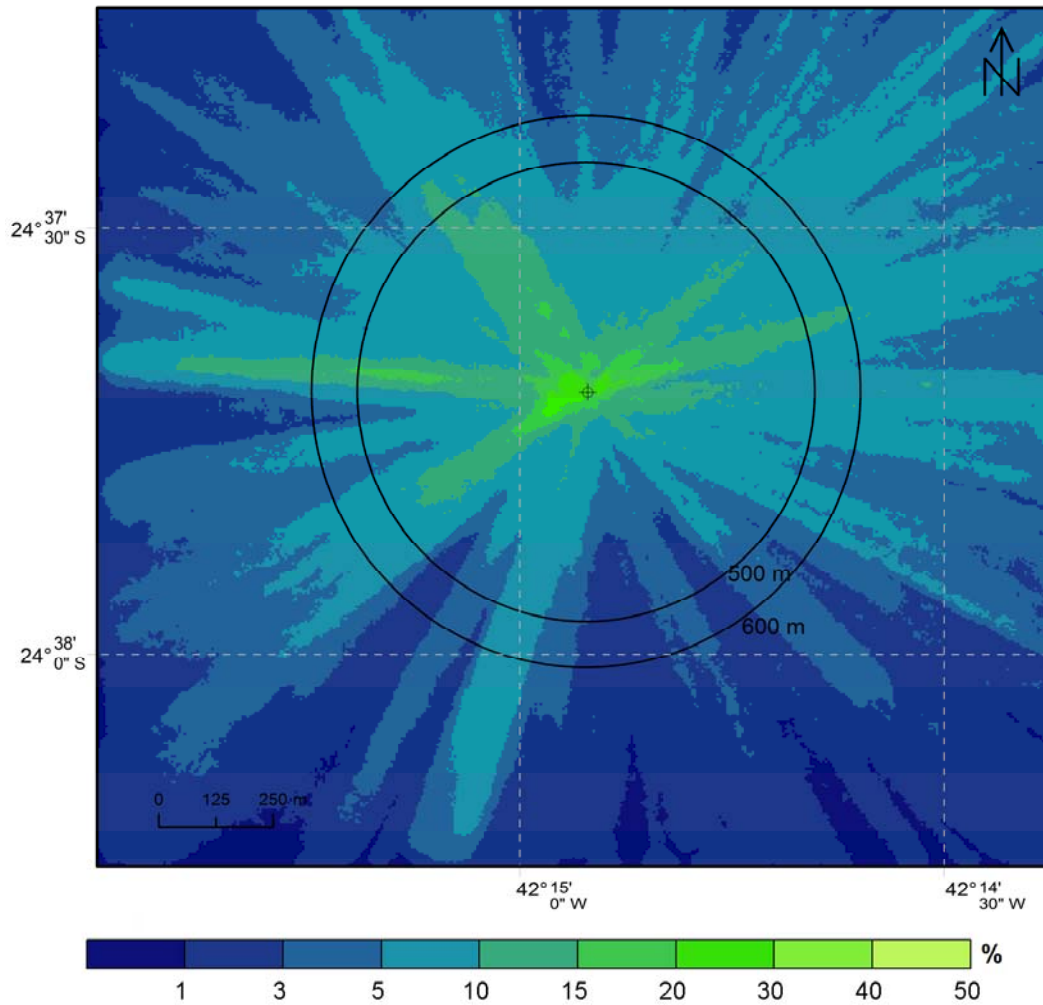


Figura I.3.1.1-3 – Percentual de Tempo de exposição para concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de verão de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).

Os resultados obtidos para concentrações acima de 0,1% são apresentados na Figura I.3.1.1-4 e na Figura I.3.1.1-5.

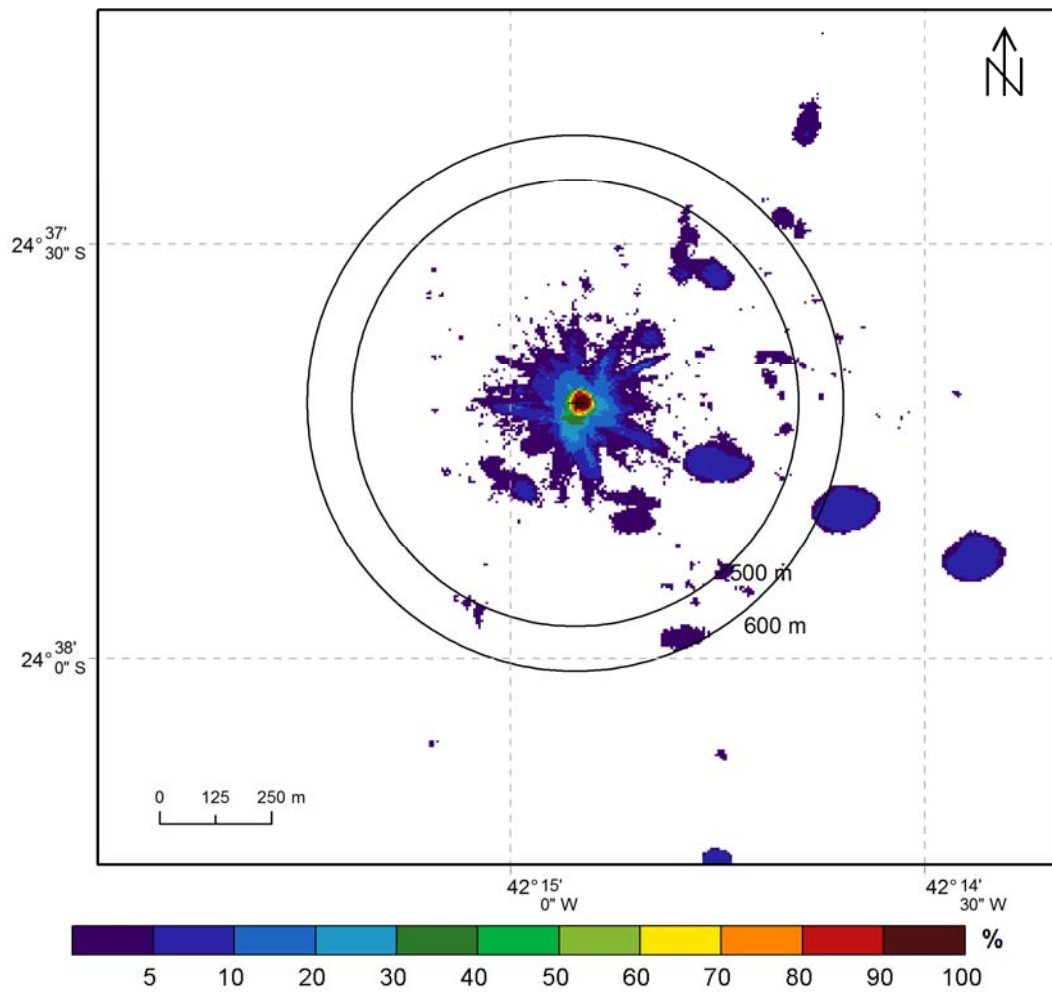


Figura I.3.1.1-4 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de verão de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).

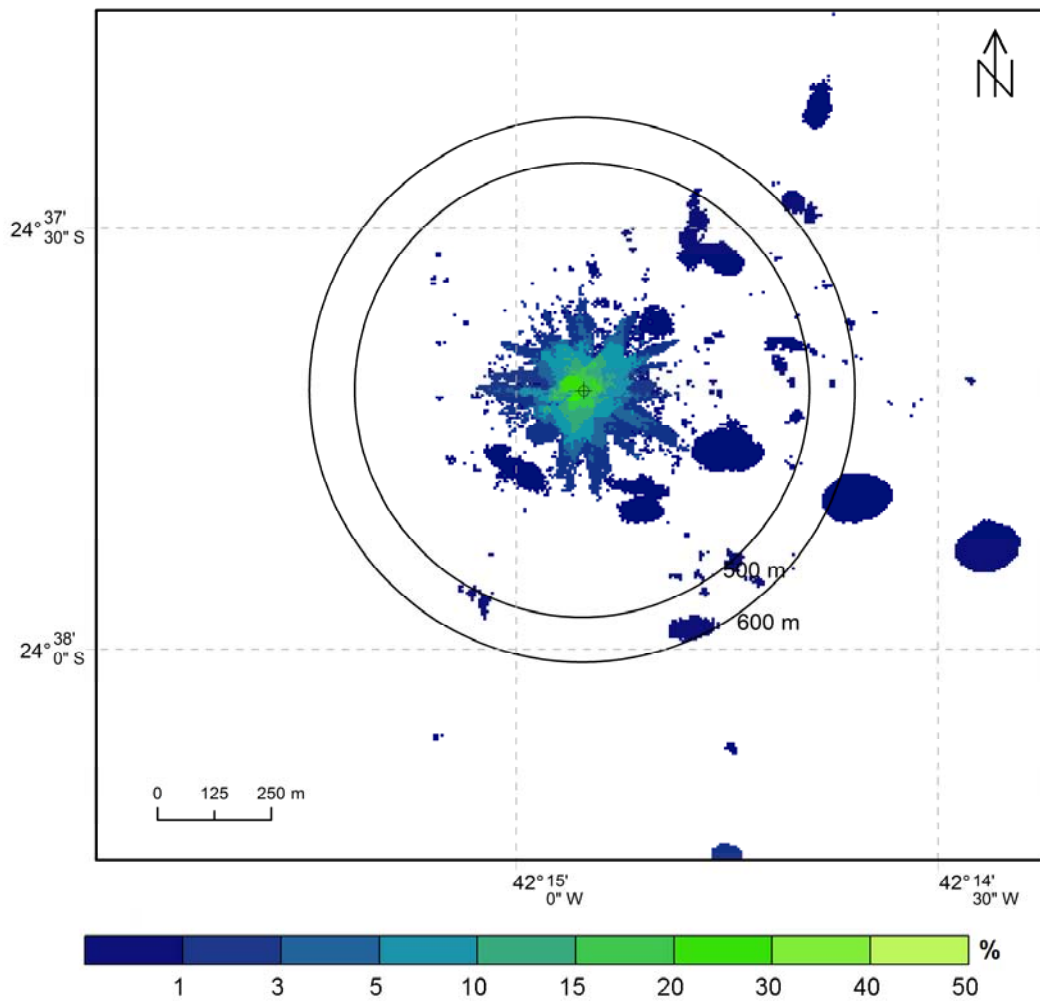


Figura I.3.1.1-5 - Tempo de exposição máximo para concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de verão de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).

As maiores probabilidades de ocorrência foram na direção leste/nordeste, estando de acordo com as correntes apresentadas para este período (Figura I.2.3.1-2).

A 600 m da fonte, são observadas concentrações de 0,24% do efluente e probabilidade máxima de ocorrência de 100% e percentual de tempo de exposição de 13%, para o limiar de 0,01%. Visto que este limiar é bastante conservador, foram analisados os resultados para o limiar de 0,1% (uma ordem de grandeza acima), o que restringiu significativamente a dispersão da pluma. Para este limiar, a probabilidade de presença a 600 m foi de 10% e o percentual de tempo de exposição foi menor do que 1%.

Não foram observadas concentrações acima dos limiares observados em profundidades maiores que 130 m.

I.3.1.2. Inverno

A Figura I.3.1.2-1, a Figura I.3.1.2-2 e a Figura I.3.1.2-3 apresentam, respectivamente, os mapas de probabilidade, concentração e tempo de exposição obtidos para concentrações acima de 0,01%.

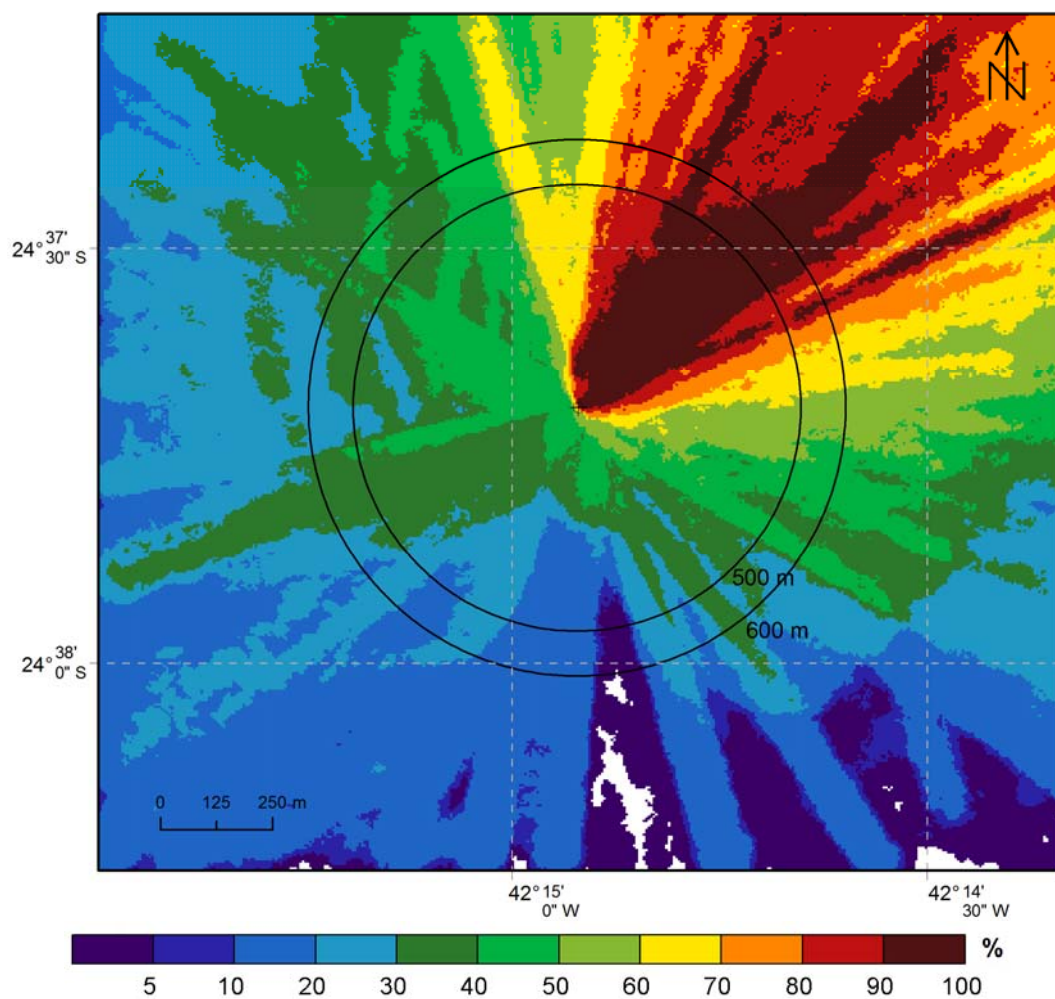


Figura I.3.1.2-1 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).

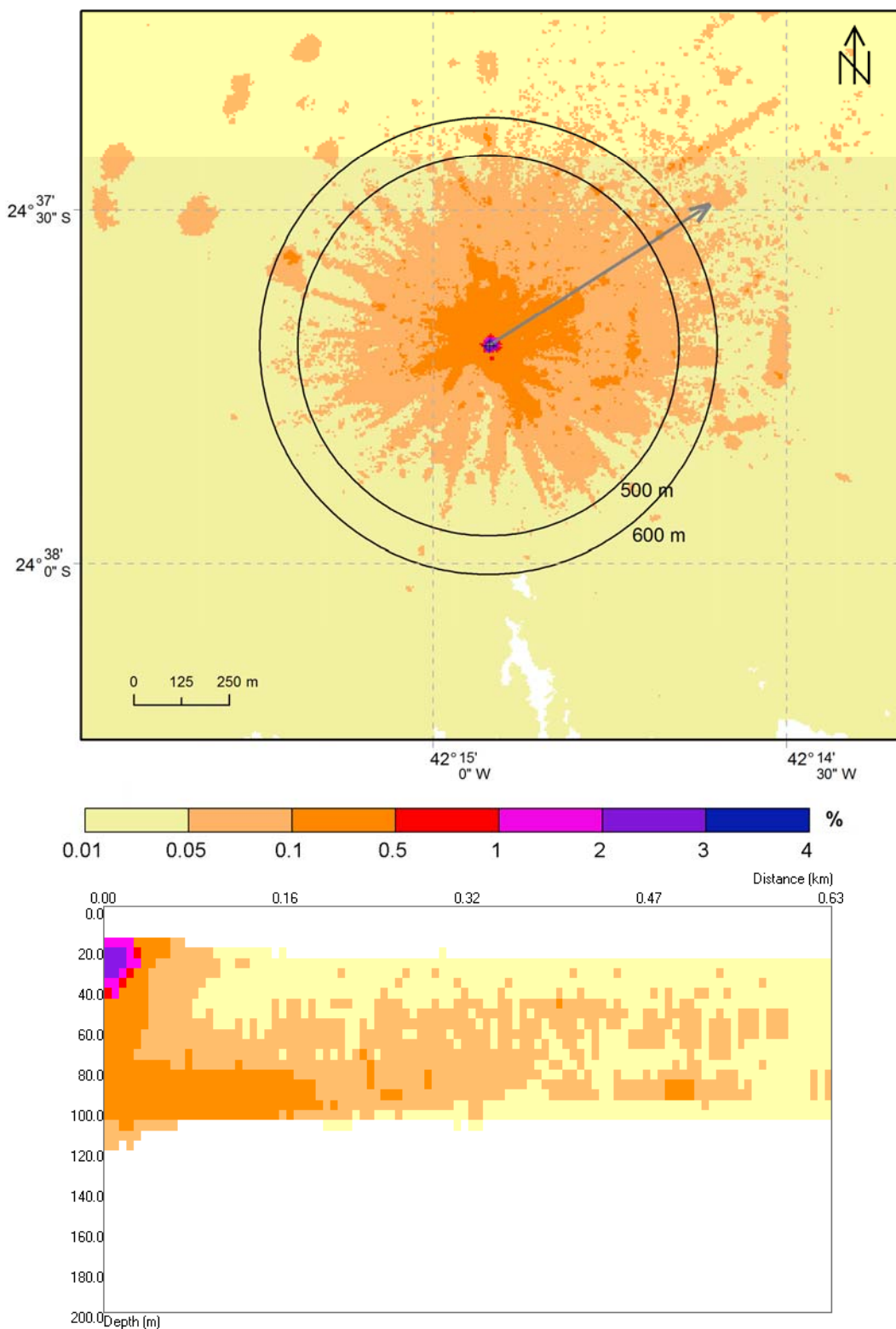


Figura I.3.1.2-2 - Média das máximas concentrações obtidas para classes superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,63 km com orientação SW-NE (painel inferior). (Datum SIRGAS2000).

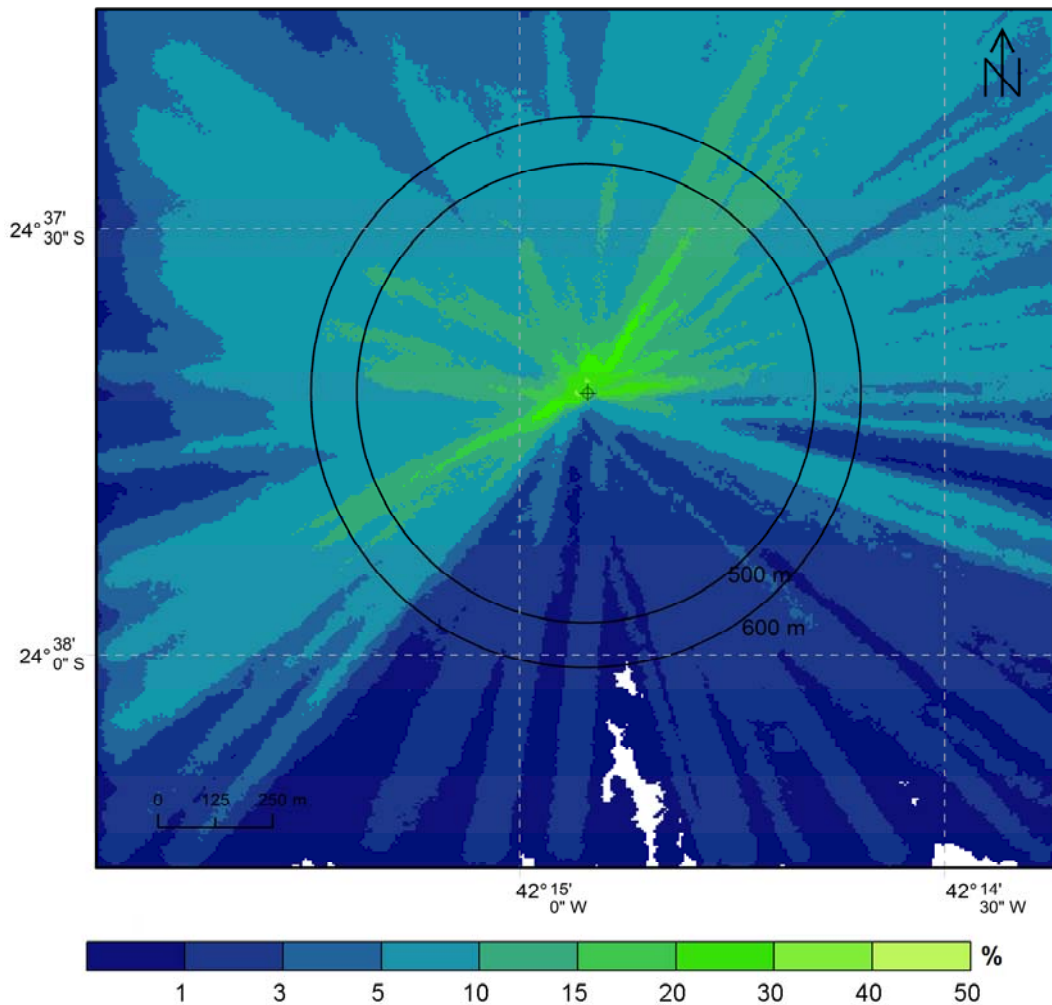


Figura I.3.1.2-3 – Percentual de Tempo de exposição máxima para concentrações superiores a 0,01%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).

Os resultados obtidos para concentrações acima de 0,1% são apresentados na Figura I.3.1.2-4 e na Figura I.3.1.2-5.

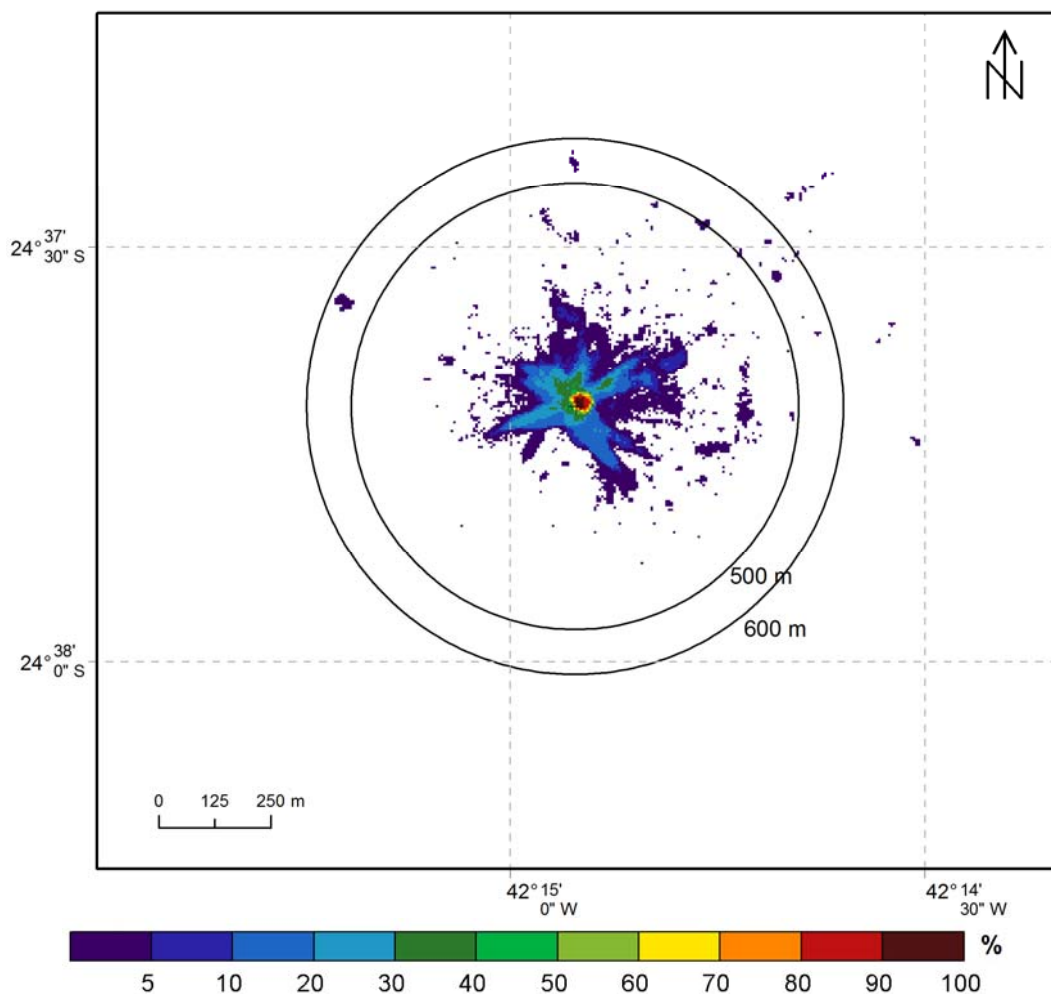


Figura I.3.1.2-4 - Probabilidade de presença de concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).

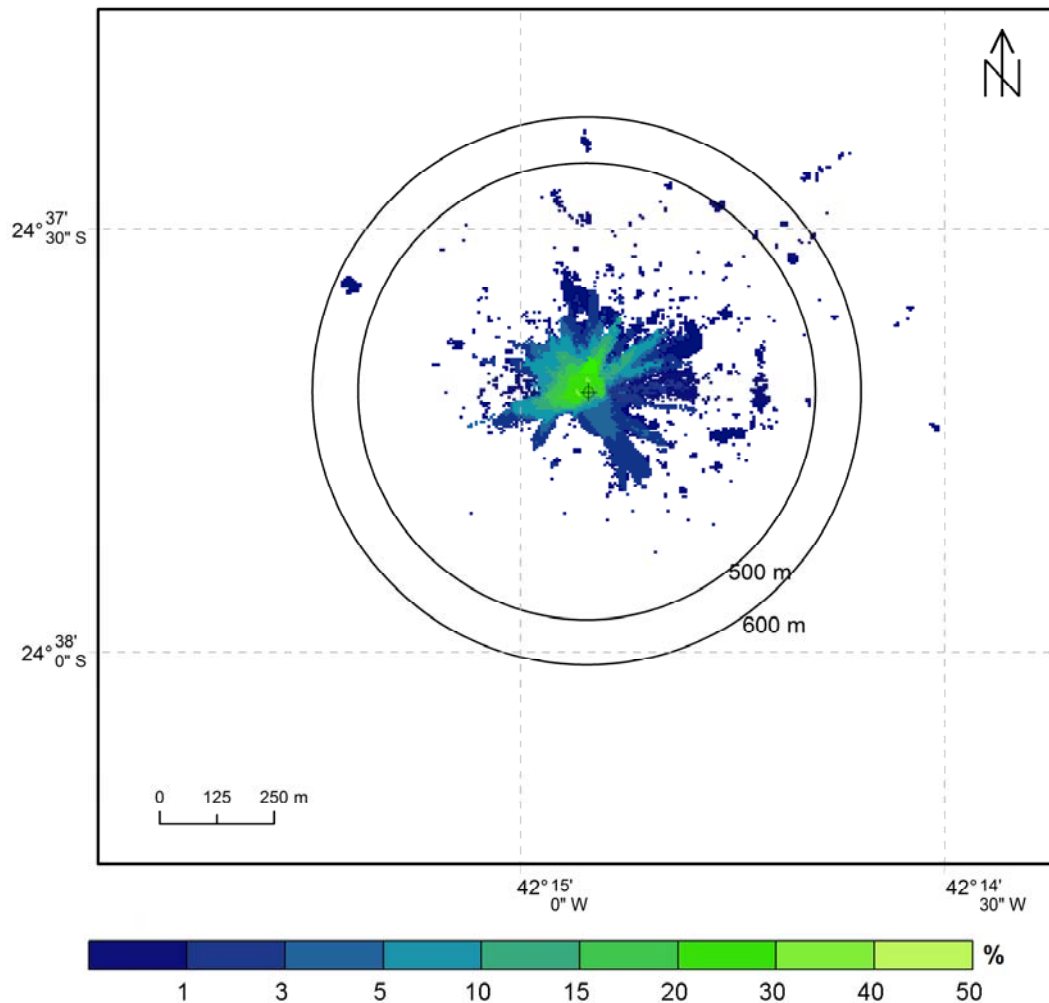


Figura I.3.1.2-5 – Percentual de Tempo de exposição para concentrações superiores a 0,1%, considerando todos os resultados determinísticos de inverno de 15 dias de duração. (Datum SIRGAS2000).

As maiores probabilidades de ocorrência foram na direção nordeste, estando de acordo com as correntes apresentadas para este período (Figura I.2.3.1-3).

A 600 m da fonte, são observadas concentrações de 0,08% do efluente e probabilidade máxima de ocorrência de 97% e tempo de exposição de 12%, para o limiar de 0,01%. Visto que este limiar é bastante conservador, foram analisados os resultados para o limiar de 0,1% (uma ordem de grandeza acima), o que restringiu significativamente a dispersão da pluma. Para este limiar, tanto a probabilidade de presença como o tempo de exposição a 600 m foram inferiores a 1%.

Não foram observadas concentrações acima dos limiares observados em profundidades maiores que 120 m.

1.3.1.3. Resumo dos Resultados

O Quadro I.3.1.3-1 e o Quadro I.3.1.3-2 apresentam os resultados obtidos para o modo probabilístico, a determinadas distâncias da fonte (de 100 a 600 m), para todos os cenários simulados.

Quadro I.3.1.3-1 - Probabilidade e tempo de exposição máximo obtidos de 100 a 600 m de distância da fonte para todos os cenários simulados.

PARÂMETRO		PROBABILIDADE (%)				PERCENTUAL DE TEMPO DE EXPOSIÇÃO (%)			
		Limiar de 0,01% Diluição de 10.000 vezes		Limiar de 0,1% Diluição de 1.000 vezes		Limiar de 0,01% Diluição de 10.000 vezes		Limiar de 0,1% Diluição de 1.000 vezes	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Distância de:	100 m	100	100	17	32	23	24	11	15
	200 m	100	100	8	6	17	20	2	7
	300 m	100	98	10	3	15	19	1	<1
	400 m	100	98	10	1	16	15	<1	<1
	500 m	100	98	1	1	15	14	<1	<1
	600 m	100	97	10	<1	13	12	<1	<1

É importante destacar que os resultados probabilísticos são dependentes do tempo de 15 dias de simulação que foi escolhido (item I.2.2.2). Isto é, os valores de probabilidades indicam o percentual de ocorrência de concentrações superiores ao limiar em períodos de 15 dias, enquanto que os percentuais de tempo de exposição indicam o percentual de tempo, relativos aos 15 dias de duração das simulações, em que as concentrações excederam o limiar especificado.

Quadro I.3.1.3-2 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para todos os cenários simulados.

PARÂMETRO		DILUIÇÃO (vezes)				CONCENTRAÇÃO (%)			
		VERÃO		INVERNO		VERÃO		INVERNO	
		Média	Mínima	Média	Mínima	Média	Máxima	Média	Máxima
Distância de:	100 m	681,9	365,7	715,0	416,1	0,15	0,27	0,14	0,24
	200 m	1.059,6	576,9	1.045,0	370,1	0,09	0,17	0,10	0,27
	300 m	1.226,3	213,1	1.424,6	537,9	0,08	0,47	0,07	0,19
	400 m	1.661,1	527,7	1.812,2	942,5	0,06	0,19	0,06	0,11
	500 m	1.897,9	776,8	2.189,4	883,2	0,05	0,13	0,05	0,11
	600 m	1.977,9	421,6	2.613,2	1.309,6	0,05	0,24	0,04	0,08

Comparando os resultados obtidos para ambos os cenários sazonais, nota-se que o verão foi mais restritivo, em termos de distância da fonte, alcançando maiores concentrações para quase todas as faixas analisadas (e maiores probabilidades de ocorrência). O valor máximo de concentração observado no Quadro I.3.1.3-2 foi de 0,47% (213,1 vezes) a 300 m de distância da fonte, durante o verão.

A 500 m de distância da fonte foram observadas concentrações máximas de 0,13% e 0,11% para os cenários de verão e inverno, respectivamente. A 600 m de distância, esses valores foram de 0,24% e 0,08%.

Em relação aos limiares analisados (0,01% e 0,1%), percebe-se uma diferença significativa nos resultados. A área ocupada pelas concentrações acima de 0,01% é bem maior, quando comparada à área ocupada com concentrações acima de 0,1%, como pode ser observado nas seguintes figuras: Figura I.3.1.1-1, Figura I.3.1.1-4, Figura I.3.1.2-1 e Figura I.3.1.2-4. Visto essa diferença, é importante ressaltar que o limiar de 0,01% é equivalente à diluição de 10.000 vezes da concentração inicial do efluente, sendo bastante conservador.

I.3.2. Resultados Determinísticos

Dentre todos os resultados probabilísticos obtidos, foram selecionados aqueles com condições mais extremas de corrente e as mais frequentes, para ambos os cenários sazonais. Como justificado no item I.2.2.3.2 (Simulações

Determinísticas), esta metodologia é suficiente para a apresentação das máximas concentrações simuladas.

As datas iniciais e finais de simulação para cada caso determinístico escolhido foram apresentadas no Quadro I.2.3.1-2 (item I.2.3.1).

Com o objetivo de determinar a área potencialmente impactada pela atividade, foi extraída a concentração máxima que a pluma pode obter para cada ponto de grade, analisando todos os tempos da simulação determinística. Ou seja, para cada passo de tempo da simulação, registrou-se o valor máximo de concentração em cada ponto de grade, e ao final de todo o período, extraiu-se a máxima de todas as máximas obtidas.

Esta análise serve para a obtenção da área potencialmente impactada pela atividade de forma extremamente conservadora e para a obtenção de resultados como concentração e distância máxima alcançadas, esta não retrata o comportamento da pluma em determinado instante de tempo. Para tal, serão apresentados exemplos de mapas com a concentração de sólidos para 5 e 10 dias após o início do descarte.

É importante ressaltar também que esta abordagem é extremamente conservadora, já que as concentrações máximas observadas não retratam os resultados mais frequentes e estão sempre associadas a baixíssimos tempos de exposição.

1.3.2.1. Verão

1.3.2.1.1. Intenso

A seguir, na Figura I.3.2.1.1-1, são apresentados os histogramas direcionais obtidos para o caso determinístico com correntes mais intensas, durante o verão.

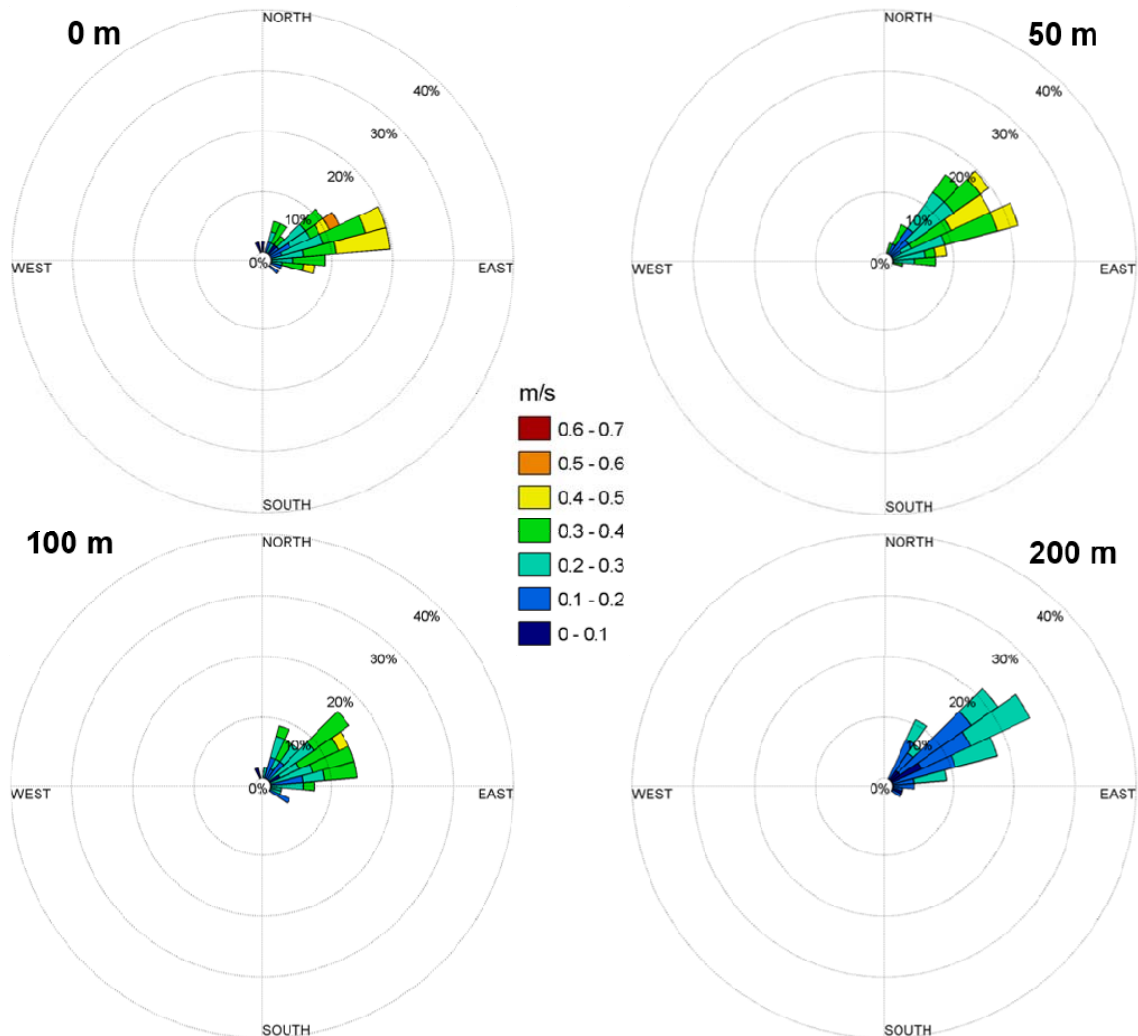


Figura I.3.2.1.1-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário intenso de verão, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.

As correntes predominantes para este cenário são as de nordeste/leste. A velocidade máxima observada foi de 0,54 m/s em superfície.

A Figura I.3.2.1.1-2 apresenta o mapa com a concentração máxima na coluna d'água obtida, considerando todas o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

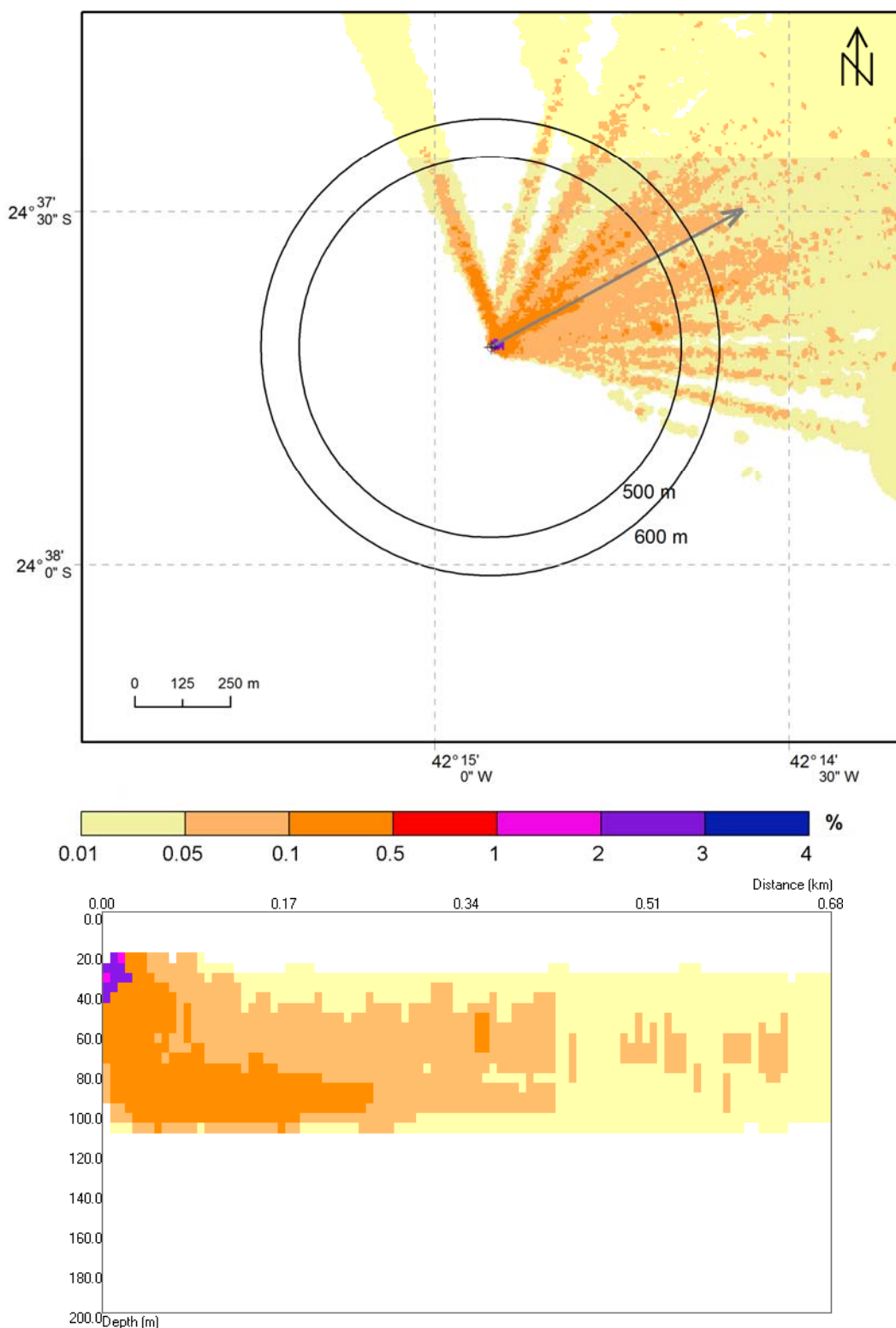


Figura I.3.2.1.1-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,68 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Intenso de Verão. (Datum SIRGAS2000).

Na Figura I.3.2.1.1-3 e na Figura I.3.2.1.1-4, são apresentados exemplos da dispersão da pluma na coluna d'água após 5 e 10 dias do início do descarte, respectivamente.

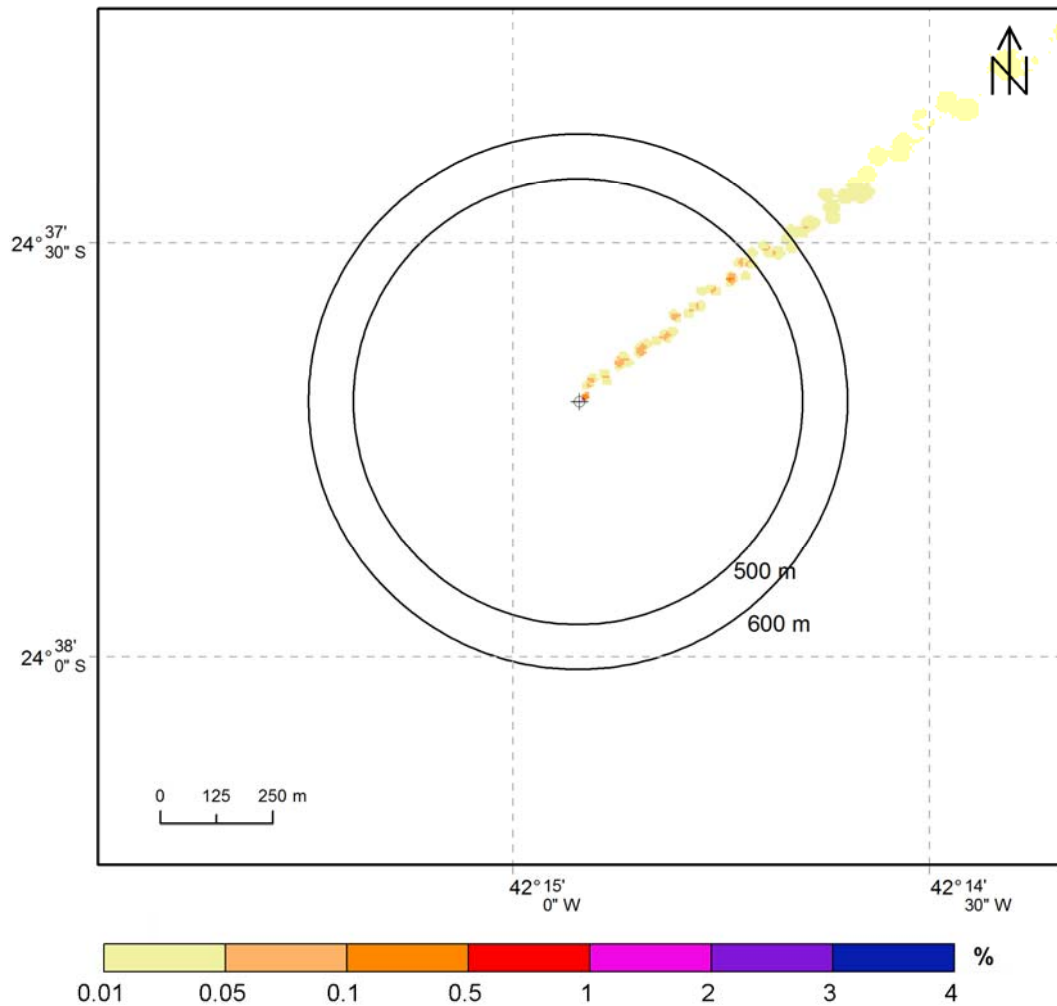


Figura I.3.2.1.1-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Verão. (Datum SIRGAS2000).

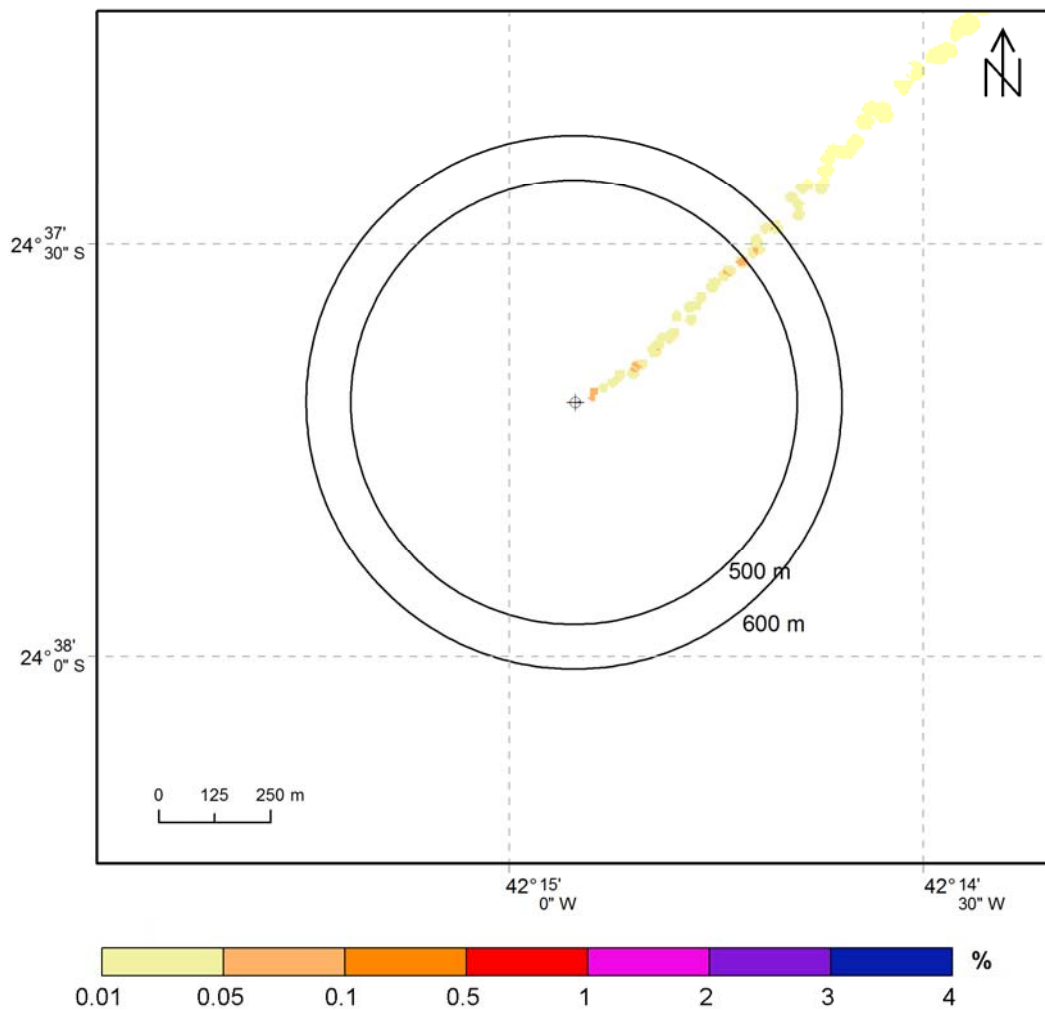


Figura I.3.2.1.1-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Verão. (Datum SIRGAS2000).

A pluma tem dispersão predominante para nordeste, estando de acordo com as rosas de corrente apresentadas para este cenário.

O Quadro I.3.2.1.1-1 apresenta as diluições médias e mínimas e respectivas concentrações obtidas para este caso determinístico, a determinadas faixas de distância da fonte.

A 500 m de distância da fonte, a máxima concentração obtida foi de 0,1% e, a 600 m, este valor foi de 0,18%. A pluma não alcança profundidades superiores a 110 m.

Quadro I.3.2.1.1-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico intenso de verão.

PARÂMETRO		DILUIÇÃO (vezes)		CONCENTRAÇÃO (%)	
EFLUENTE DE ÁGUA PRODUZIDA		Média	Mínima	Média	Máxima
Distância de:	100 m	2.421,6	370,2	0,04	0,27
	200 m	3.902,5	606,7	0,03	0,16
	300 m	5.203,3	638,2	0,02	0,16
	400 m	6.012,6	675,8	0,02	0,15
	500 m	7.076,4	1.048,8	0,01	0,10
	600 m	7.944,3	546,3	0,01	0,18

I.3.2.1.2. Fraco

A seguir, na Figura I.3.2.1.2-1, são apresentados os histogramas direcionais obtidos para o caso determinístico com correntes mais fracas, durante o verão.

As correntes predominantes para este cenário apresentam um grande espalhamento direcional. A velocidade máxima observada foi de 0,37 m/s em superfície.

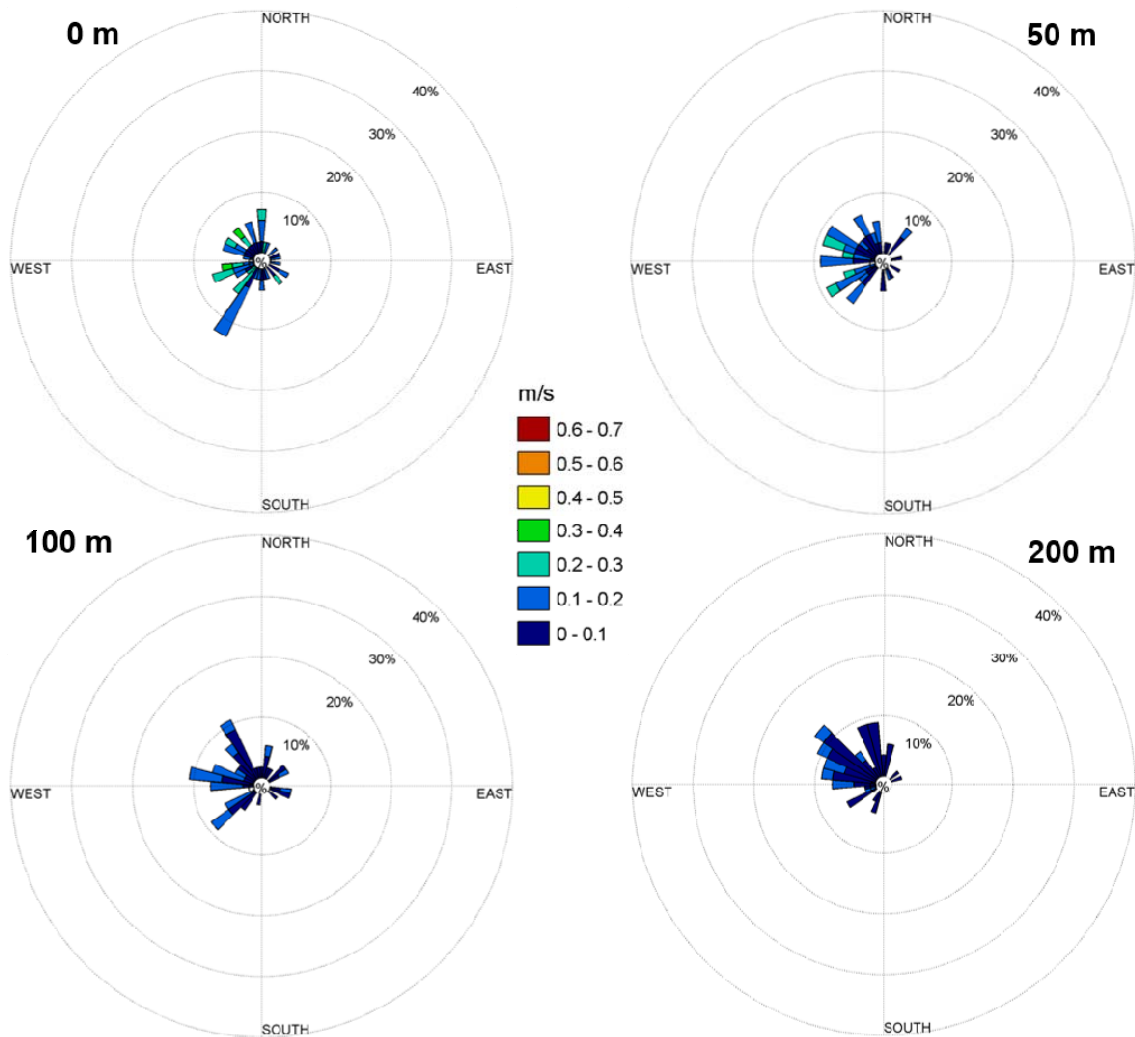


Figura I.3.2.1.2-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário fraco de verão, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.

A Figura I.3.2.1.2-2 apresenta o mapa com a concentração máxima na coluna d'água obtida, considerando todos o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

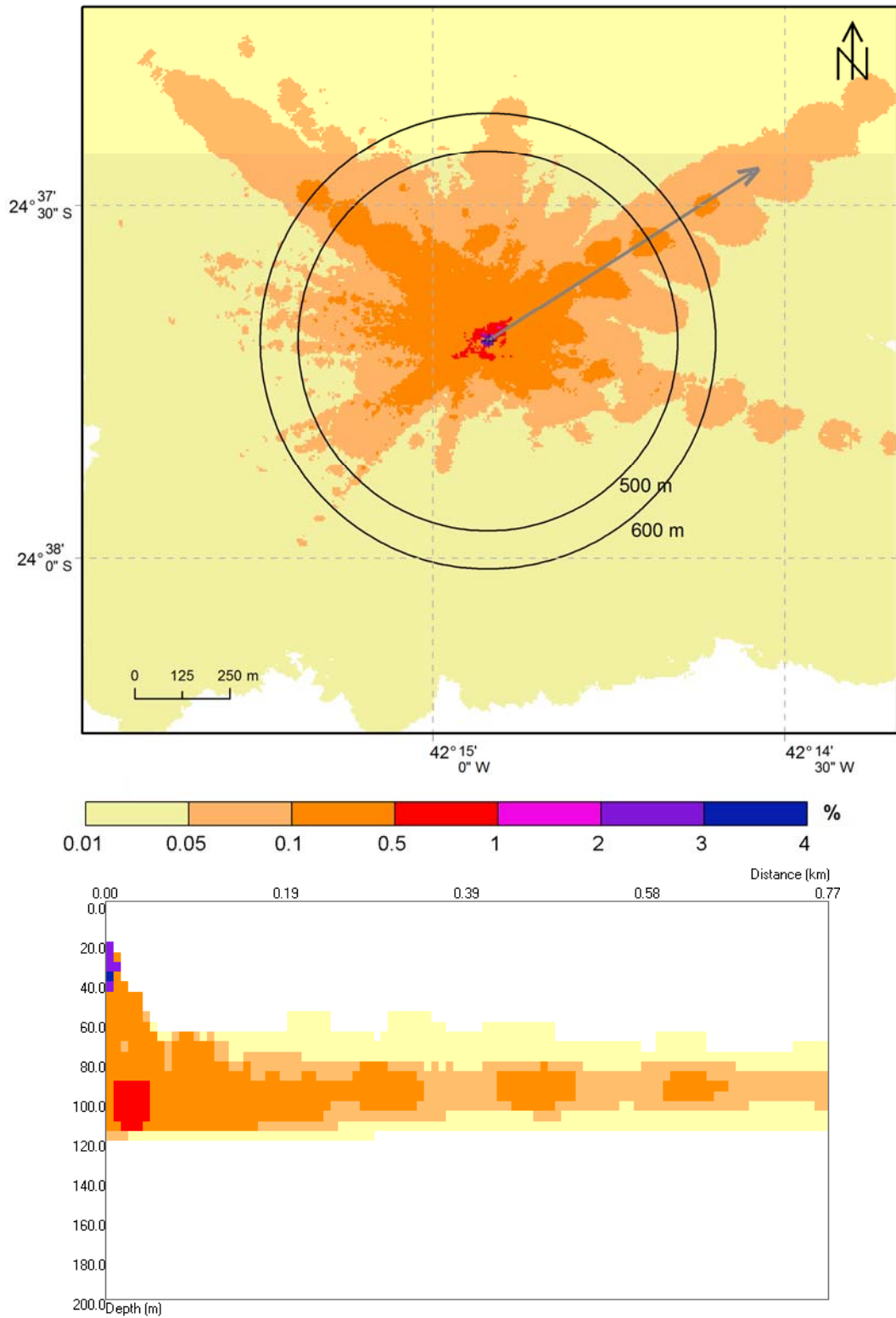


Figura 1.3.2.1.2-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,77 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Fraco de Verão. (Datum SIRGAS2000).

Na Figura I.3.2.1.2-3 e na Figura I.3.2.1.2-4, são apresentados exemplos da dispersão da pluma na coluna d'água após 5 e 10 dias do início do descarte, respectivamente.

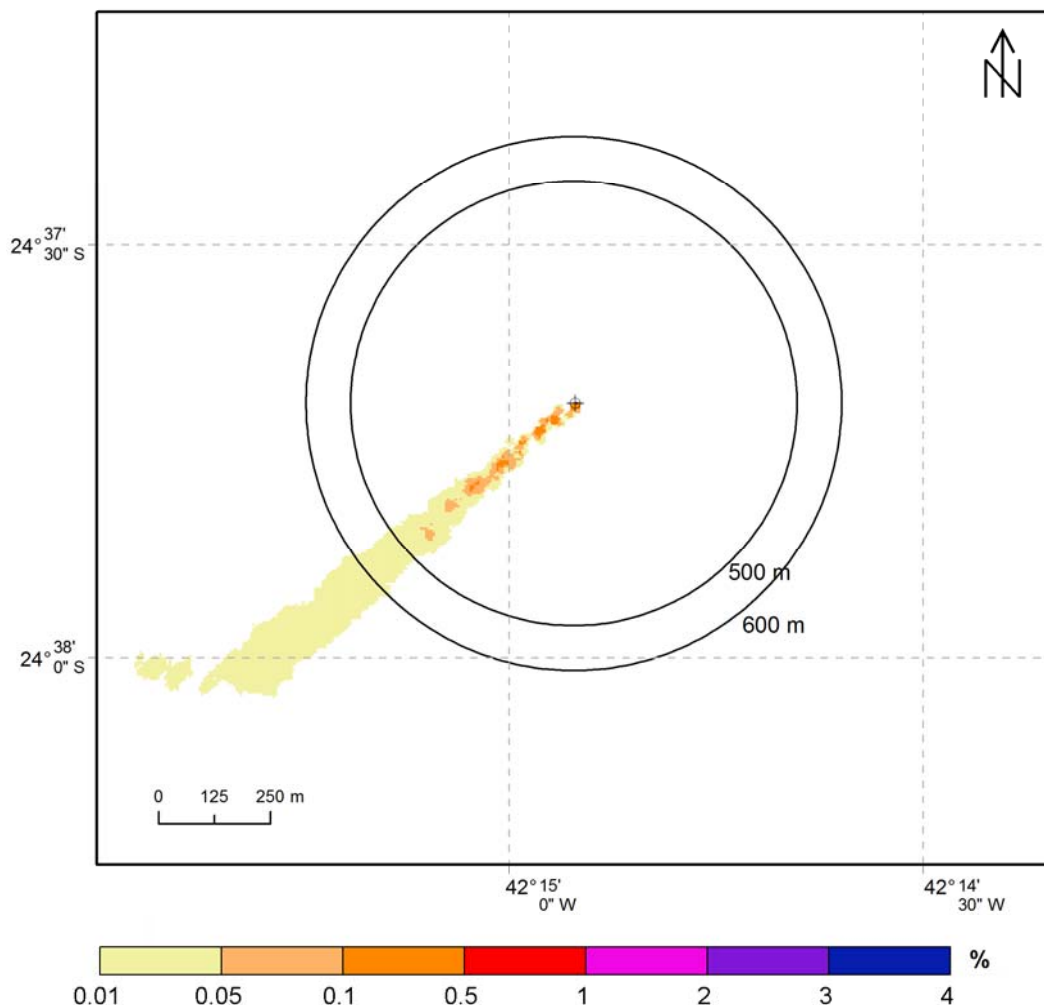


Figura I.3.2.1.2-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Verão. (Datum SIRGAS2000).

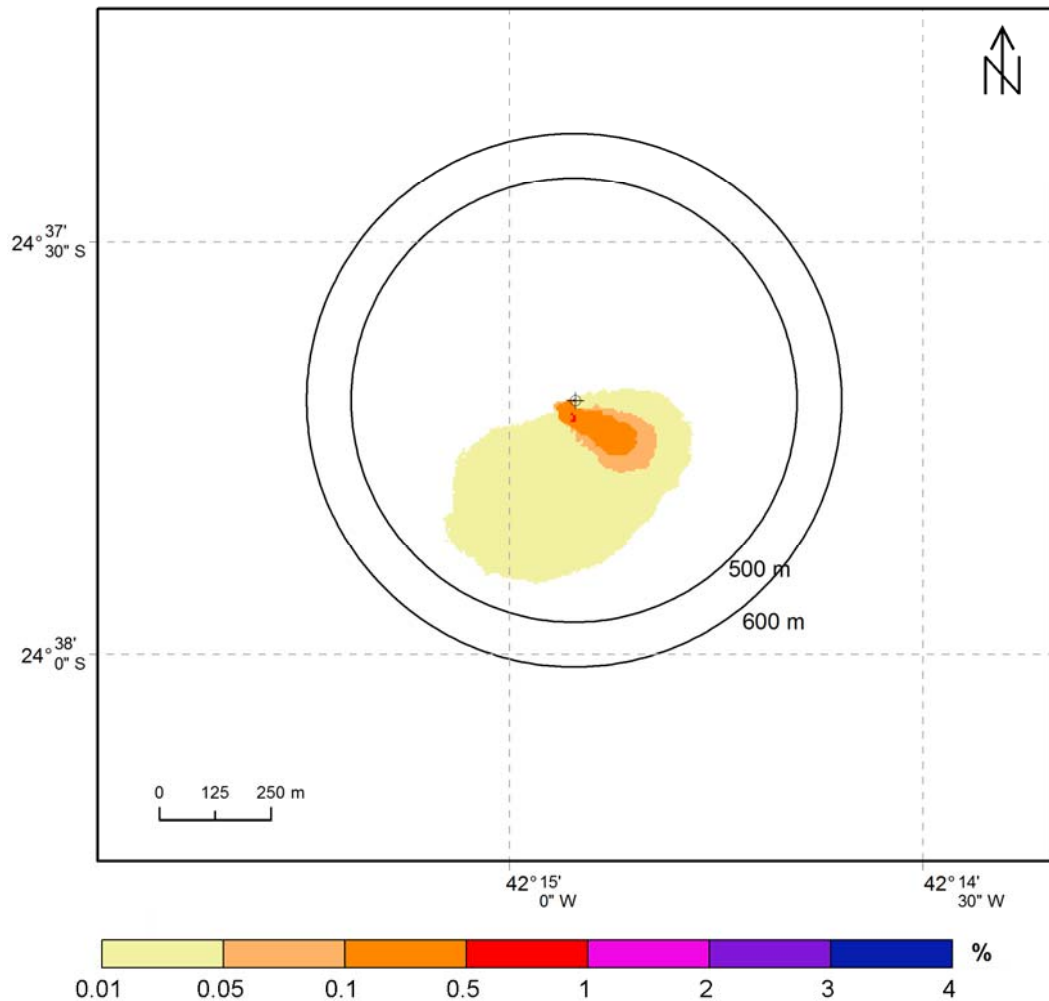


Figura I.3.2.1.2-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Verão. (Datum SIRGAS2000).

Para este cenário, a pluma apresenta um alto espalhamento direcional, estando de acordo com as rosas de corrente apresentadas.

O Quadro I.3.2.1.2-1 apresenta as diluições médias e mínimas e respectivas concentrações obtidas para este caso determinístico, a determinadas faixas de distância da fonte.

A 500 m de distância da fonte, a máxima concentração obtida foi de 0,17% e, a 600 m, este valor foi de 0,11%. A pluma não alcança profundidades superiores a 120 m.

Quadro I.3.2.1.2-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico fraco de verão.

PARÂMETRO		DILUIÇÃO (vezes)		CONCENTRAÇÃO (%)	
EFLUENTE DE ÁGUA PRODUZIDA		Média	Mínima	Média	Máxima
Distância de:	100 m	408,6	177,3	0,24	0,56
	200 m	879,4	418,0	0,11	0,24
	300 m	1.211,8	391,3	0,08	0,26
	400 m	1.635,4	648,3	0,06	0,15
	500 m	1.995,3	595,9	0,05	0,17
	600 m	2.541,2	877,4	0,04	0,11

I.3.2.1.3.Frequente

A seguir, na Figura I.3.2.1.3-1, são apresentados os histogramas direcionais obtidos para o caso determinístico com correntes mais frequentes, durante o verão.

As correntes predominantes para este cenário são as de nordeste. A velocidade máxima observada foi de 0,45 m/s em superfície.

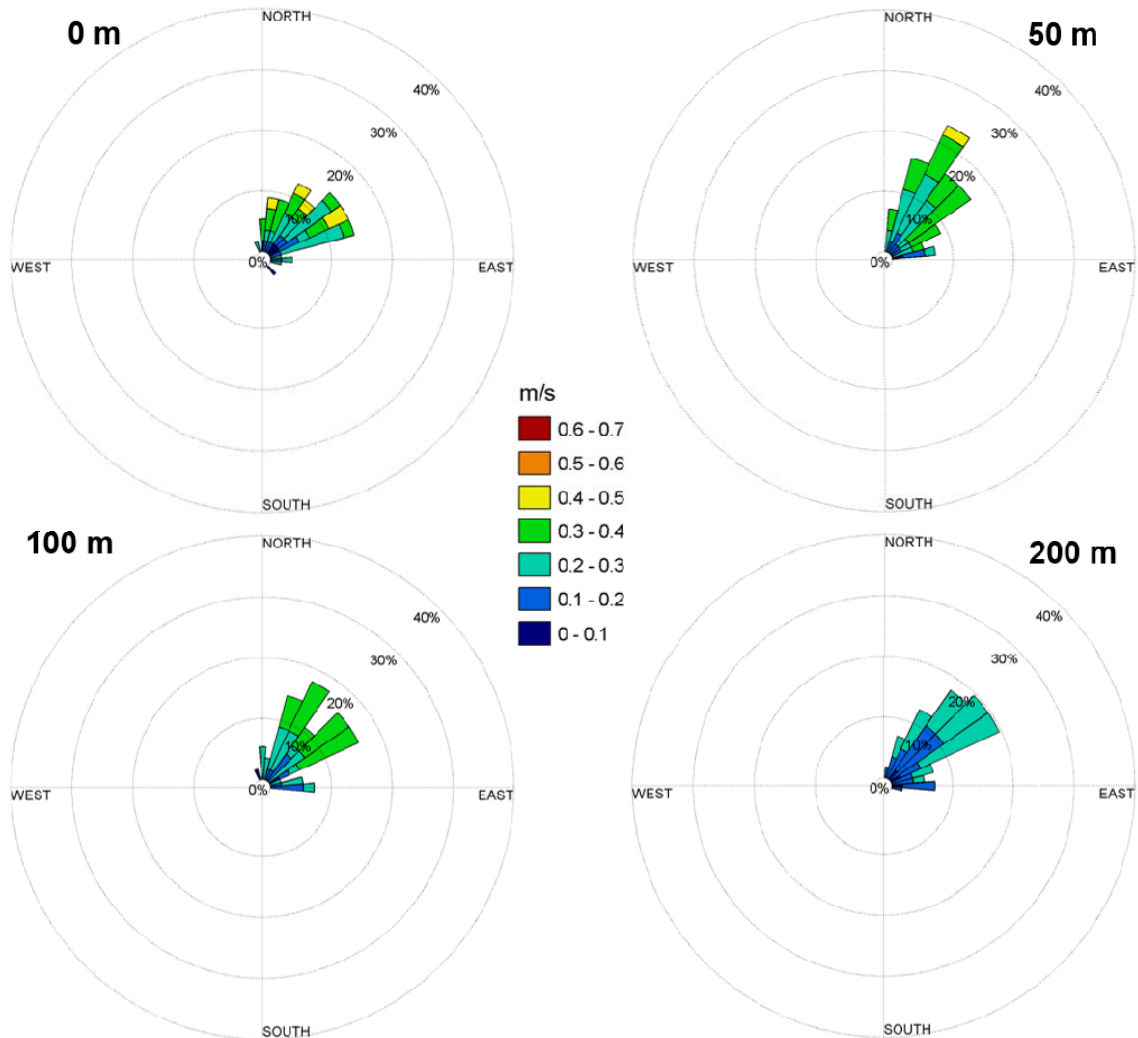


Figura I.3.2.1.3-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário frequente de verão, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.

A Figura I.3.2.1.3-2 apresenta o mapa com a concentração máxima na coluna d'água obtida, considerando todas o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

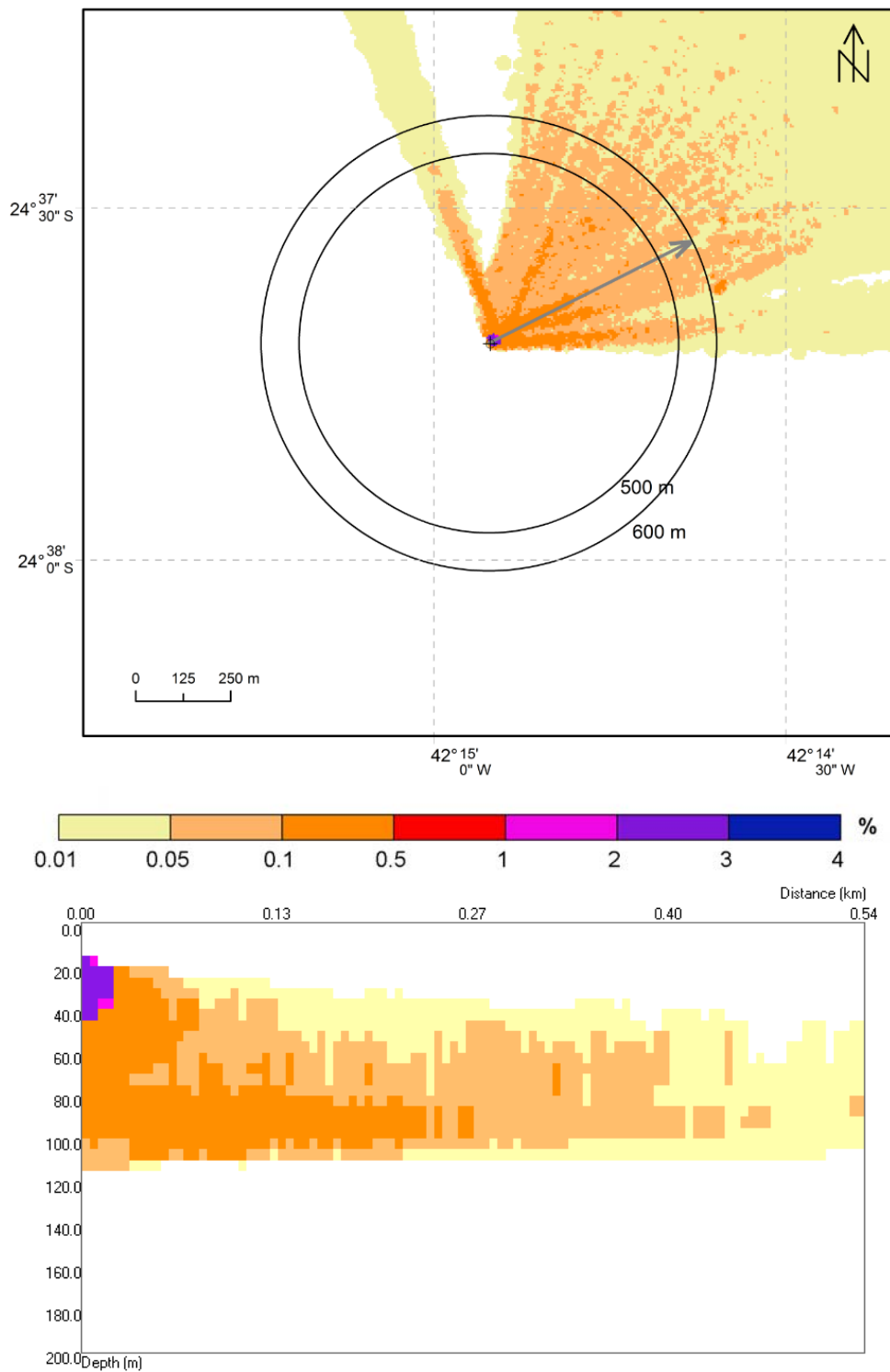


Figura I.3.2.1.3-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,54 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Frequente de Verão. (Datum SIRGAS2000).

Na Figura I.3.2.1.3-3 e na Figura I.3.2.1.3-4, são apresentados exemplos da dispersão da pluma na coluna d'água após 5 e 10 dias do início do descarte, respectivamente.

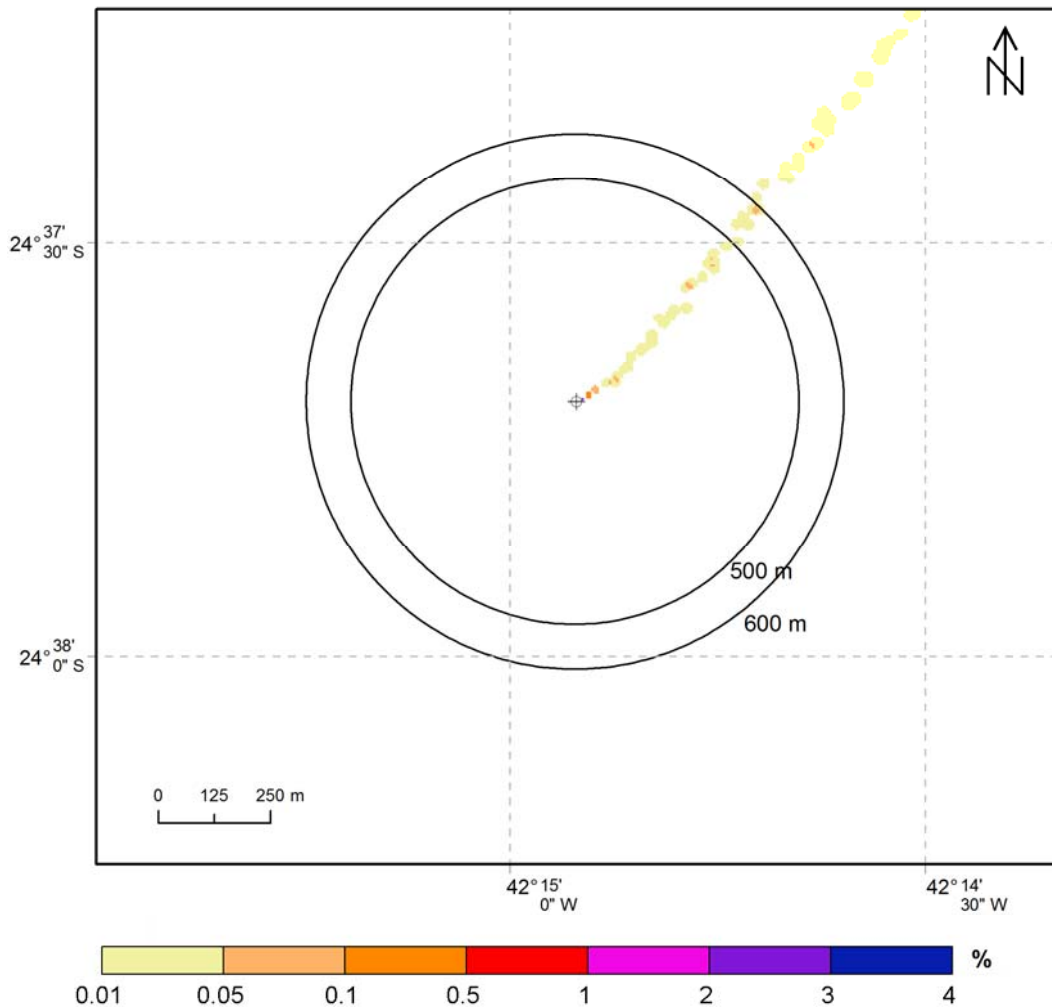


Figura I.3.2.1.3-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Verão. (Datum SIRGAS2000).

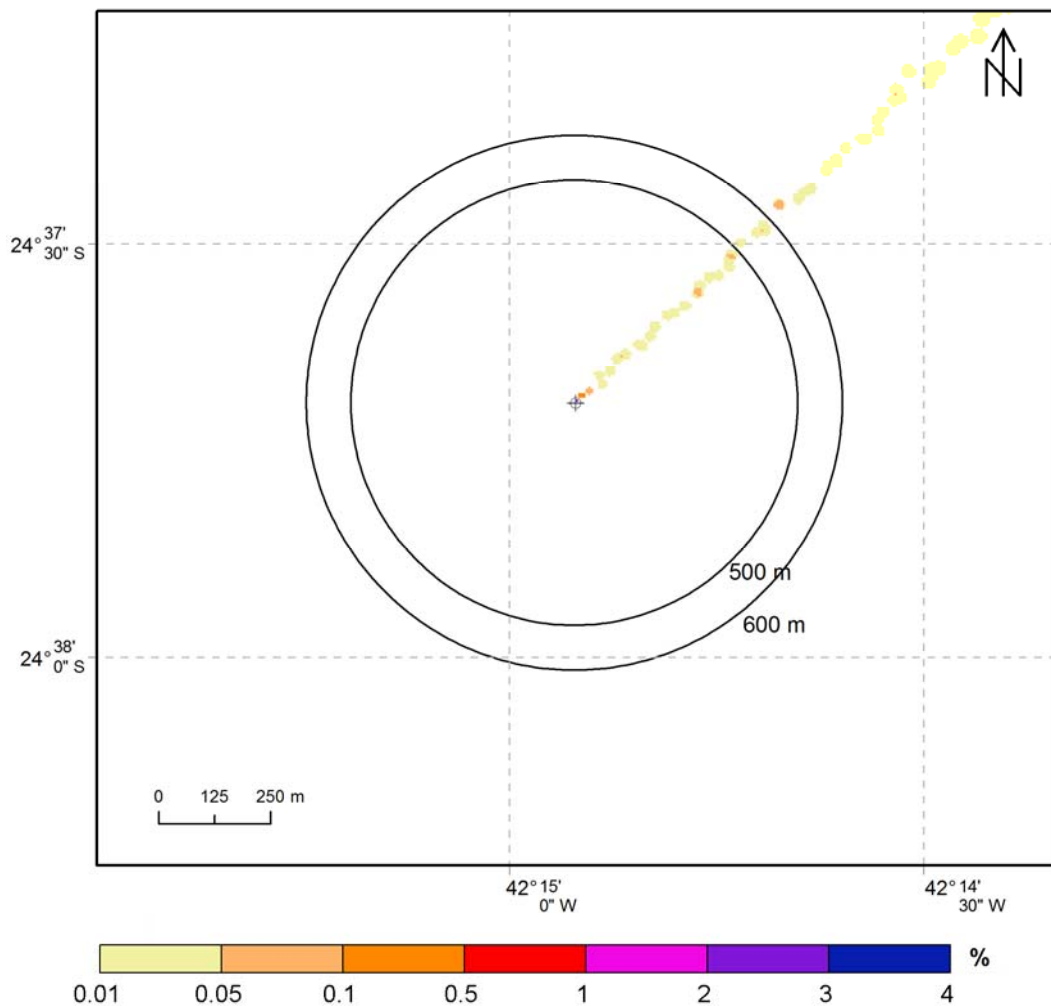


Figura I.3.2.1.3-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Verão. (Datum SIRGAS2000).

A pluma apresenta direção predominante para nordeste, estando de acordo com as rosas de corrente apresentadas.

O Quadro I.3.2.1.3-1 apresenta as diluições médias e mínimas e respectivas concentrações obtidas para este caso determinístico, a determinadas faixas de distância da fonte.

A 500 m de distância da fonte, a máxima concentração obtida foi de 0,11% e, a 600 m, este valor foi de 0,10%. A pluma não alcança profundidades superiores a 120 m.

Quadro I.3.2.1.3-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico frequente de verão.

PARÂMETRO		DILUIÇÃO (vezes)		CONCENTRAÇÃO (%)	
EFLUENTE DE ÁGUA PRODUZIDA		Média	Mínima	Média	Máxima
Distância de:	100 m	2.270,8	281,6	0,04	0,36
	200 m	3.470,2	578,4	0,03	0,17
	300 m	4.736,3	785,9	0,02	0,13
	400 m	5.557,9	773,6	0,02	0,13
	500 m	6.438,4	915,8	0,02	0,11
	600 m	7.207,6	1.021,4	0,01	0,10

I.3.2.2.Inverno

I.3.2.2.1.Intenso

A seguir, na Figura I.3.2.2.1-1, são apresentados os histogramas direcionais obtidos para o caso determinístico com correntes mais intensas, durante o inverno.

As correntes predominantes para este cenário são as de nordeste/leste. A velocidade máxima observada foi de 0,7 m/s em superfície.

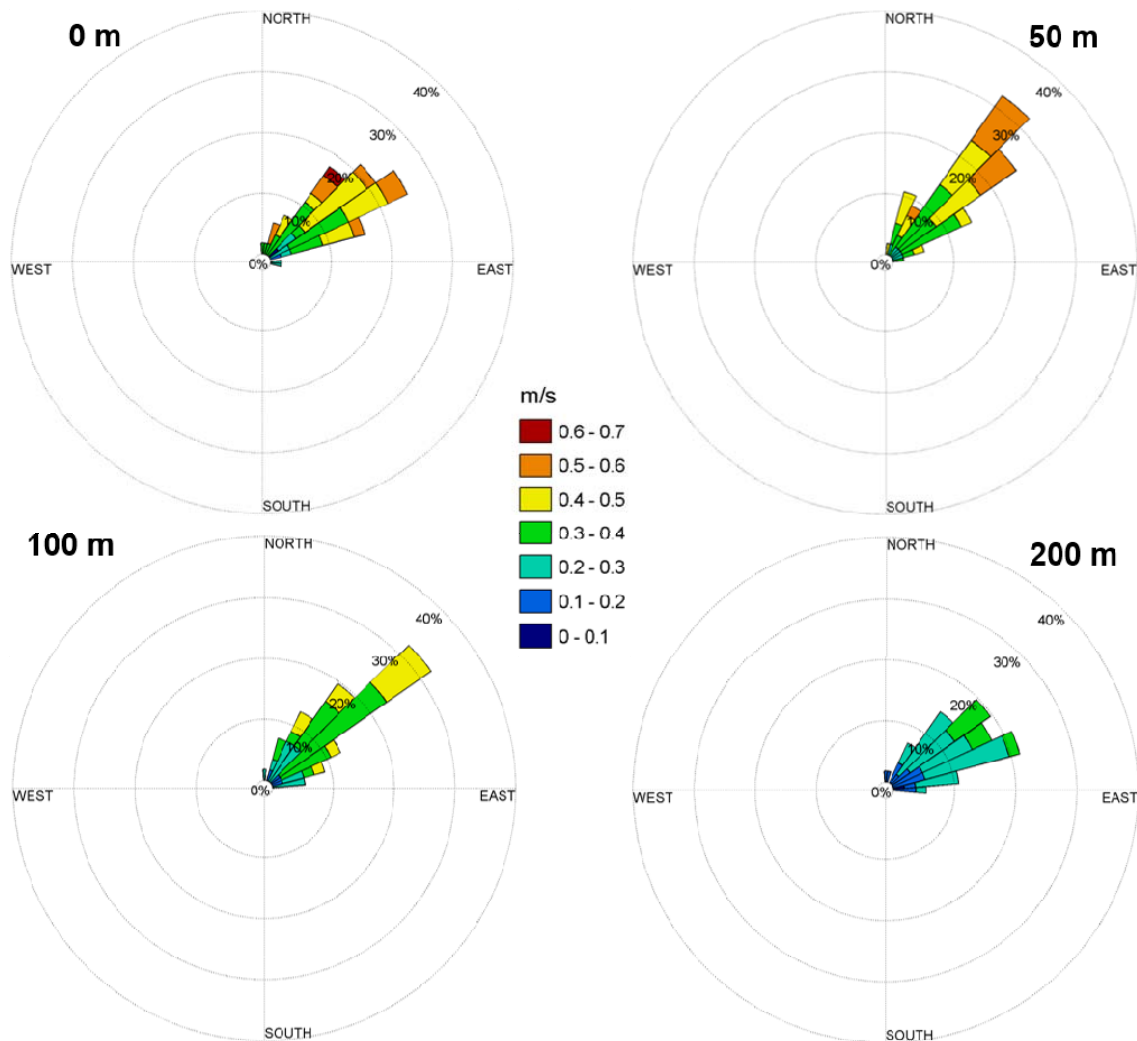


Figura I.3.2.2.1-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário intenso de inverno, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.

A Figura I.3.2.2.1-2 apresenta o mapa com a concentração máxima na coluna d'água obtida, considerando todas o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

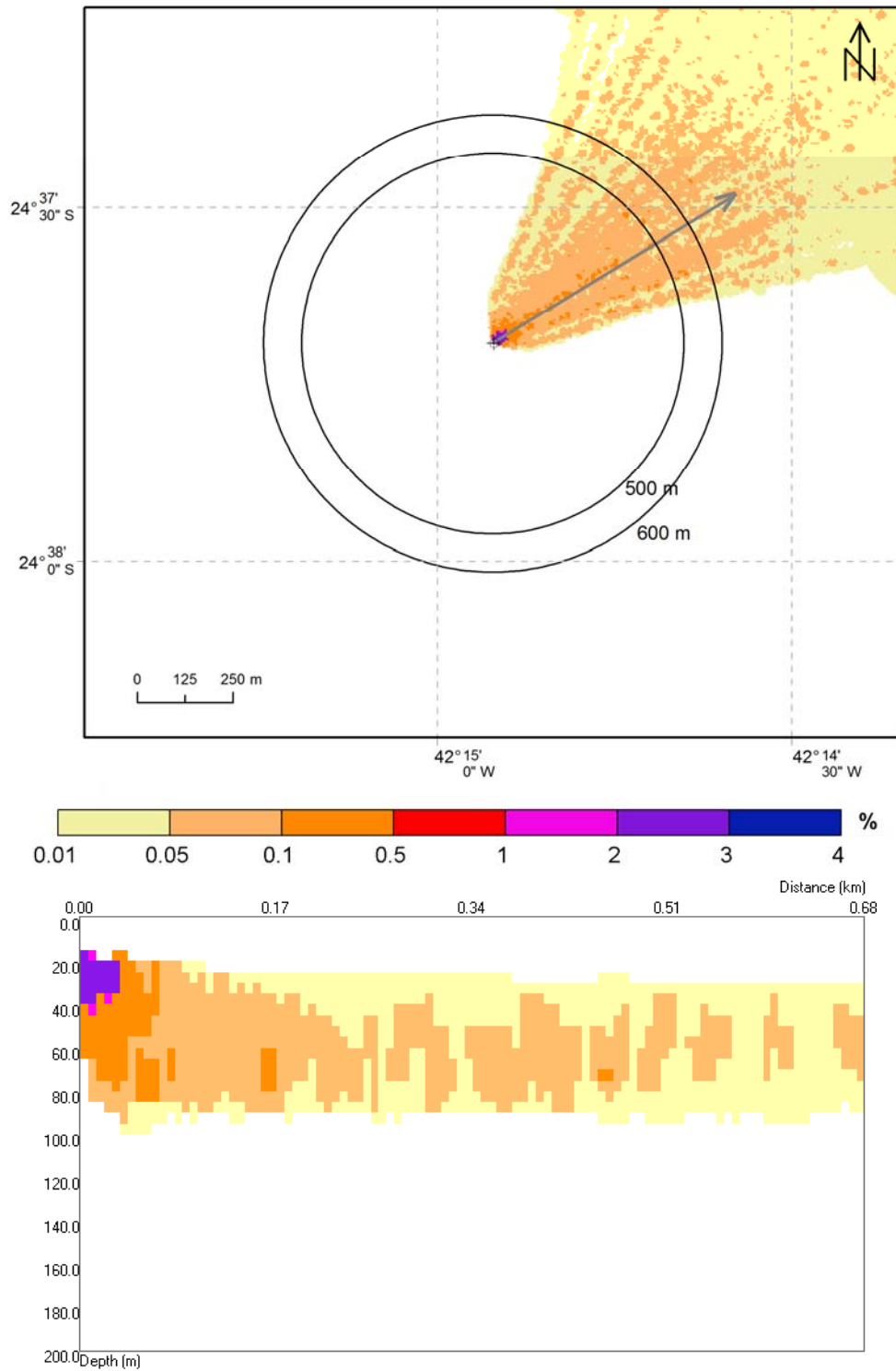


Figura I.3.2.2.1-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,68 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Intenso de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

Na Figura I.3.2.2.1-3 e na Figura I.3.2.2.1-4, são apresentados exemplos da dispersão da pluma na coluna d'água após 5 e 10 dias do início do descarte, respectivamente.

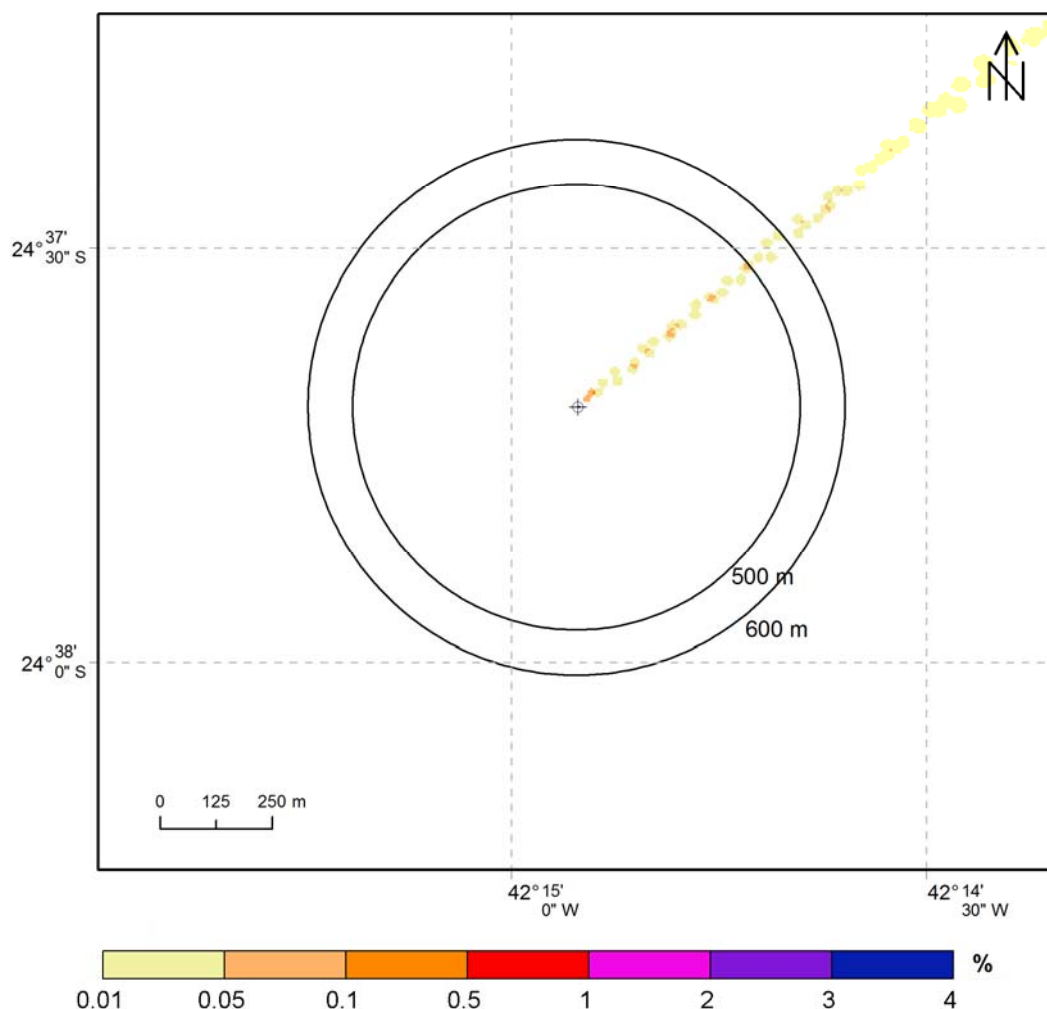


Figura I.3.2.2.1-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

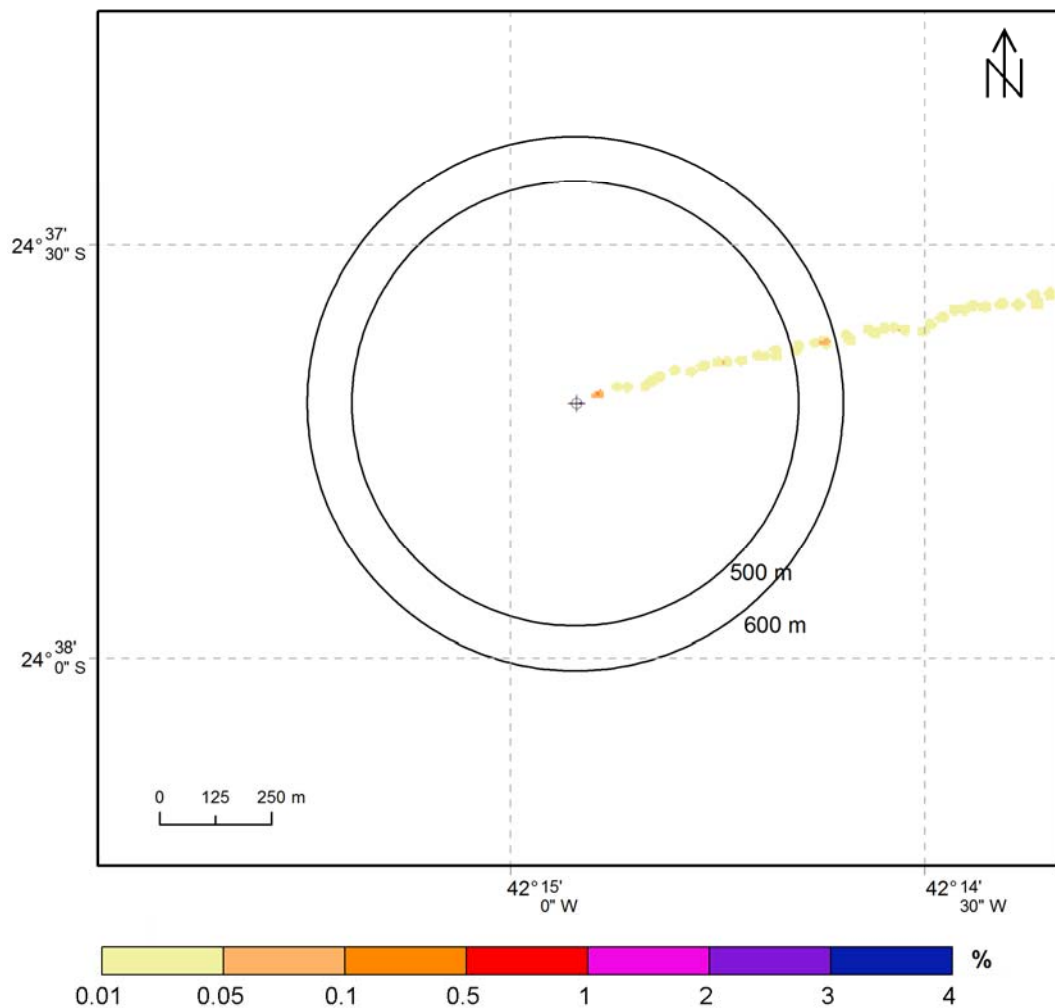


Figura I.3.2.2.1-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Intenso de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

A pluma apresenta direção predominante para nordeste, estando de acordo com as rosas de corrente apresentadas.

O Quadro I.3.2.2.1-1 apresenta as diluições médias e mínimas e respectivas concentrações obtidas para este caso determinístico, a determinadas faixas de distância da fonte.

A 500 m de distância da fonte, a máxima concentração obtida foi de 0,1% e, a 600 m, este valor foi de 0,07%. A pluma não alcança profundidades superiores a 100 m.

Quadro I.3.2.2.1-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico intenso de inverno.

PARÂMETRO		DILUIÇÃO (vezes)		CONCENTRAÇÃO (%)	
EFLUENTE DE ÁGUA PRODUZIDA		Média	Mínima	Média	Máxima
Distância de:	100 m	4.571,2	812,8	0,02	0,12
	200 m	6.971,2	855,8	0,01	0,12
	300 m	8.585,4	804,4	0,01	0,12
	400 m	9.820,3	1.132,2	0,01	0,09
	500 m	10.571,5	971,7	0,01	0,10
	600 m	11.360,5	1.335,2	0,01	0,07

I.3.2.2.2. Fraco

A seguir, na Figura I.3.2.2.2-1, são apresentados os histogramas direcionais obtidos para o caso determinístico com correntes mais fracas, durante o inverno.

As correntes predominantes para este cenário são de sudoeste/oeste em superfície e de nordeste a 200 m de profundidade. A velocidade máxima observada foi de 0,4 m/s em superfície.

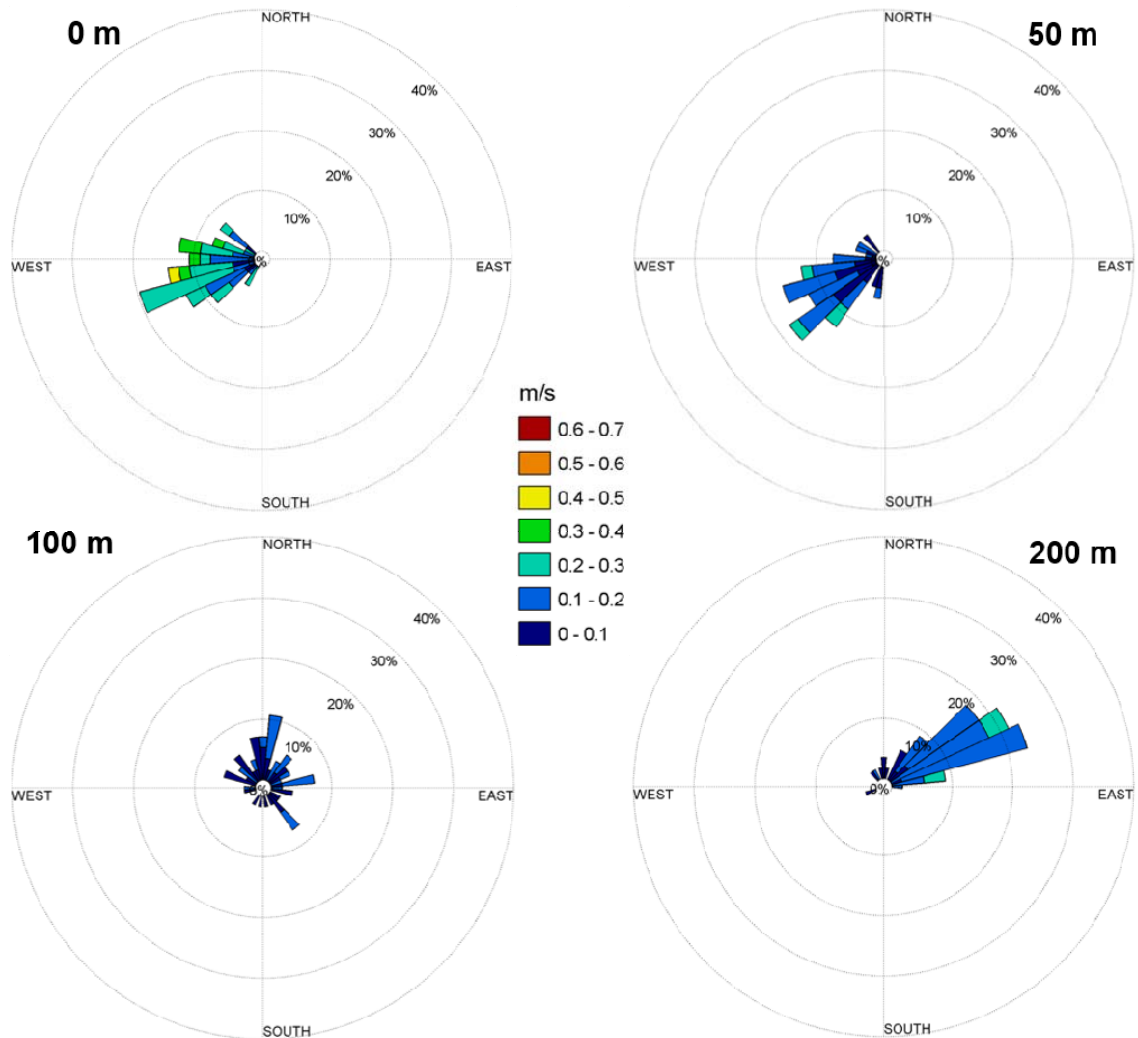


Figura I.3.2.2.2-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário fraco de inverno, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.

A Figura I.3.2.2.2-2 apresenta o mapa com a concentração máxima na coluna d'água obtida, considerando todas o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

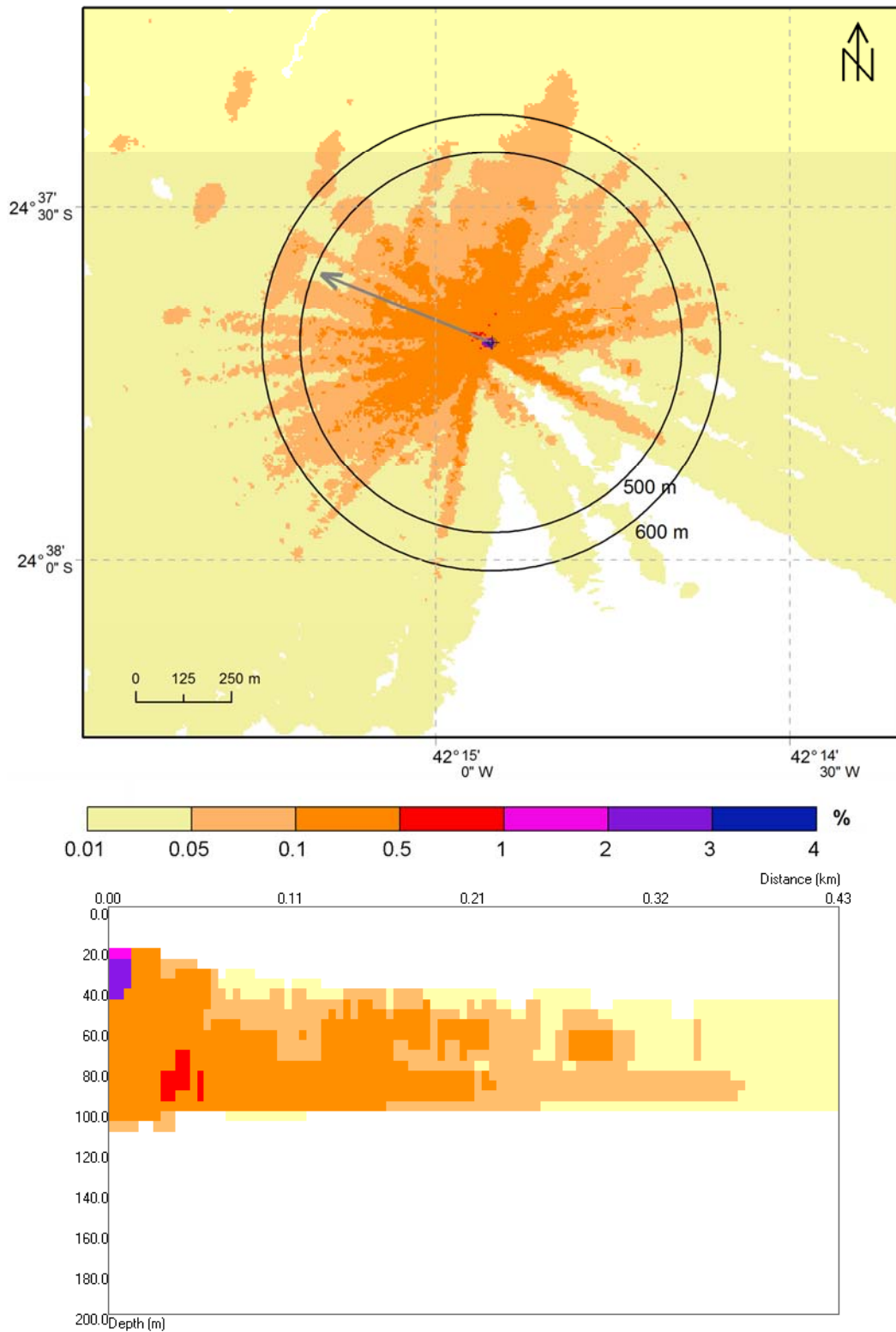


Figura 1.3.2.2-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,43 km com orientação SE-NW (painel inferior). Caso determinístico – Fraco de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

Na Figura I.3.2.2.2-3 e na Figura I.3.2.2.2-4, são apresentados exemplos da dispersão da pluma na coluna d'água após 5 e 10 dias do início do descarte, respectivamente.

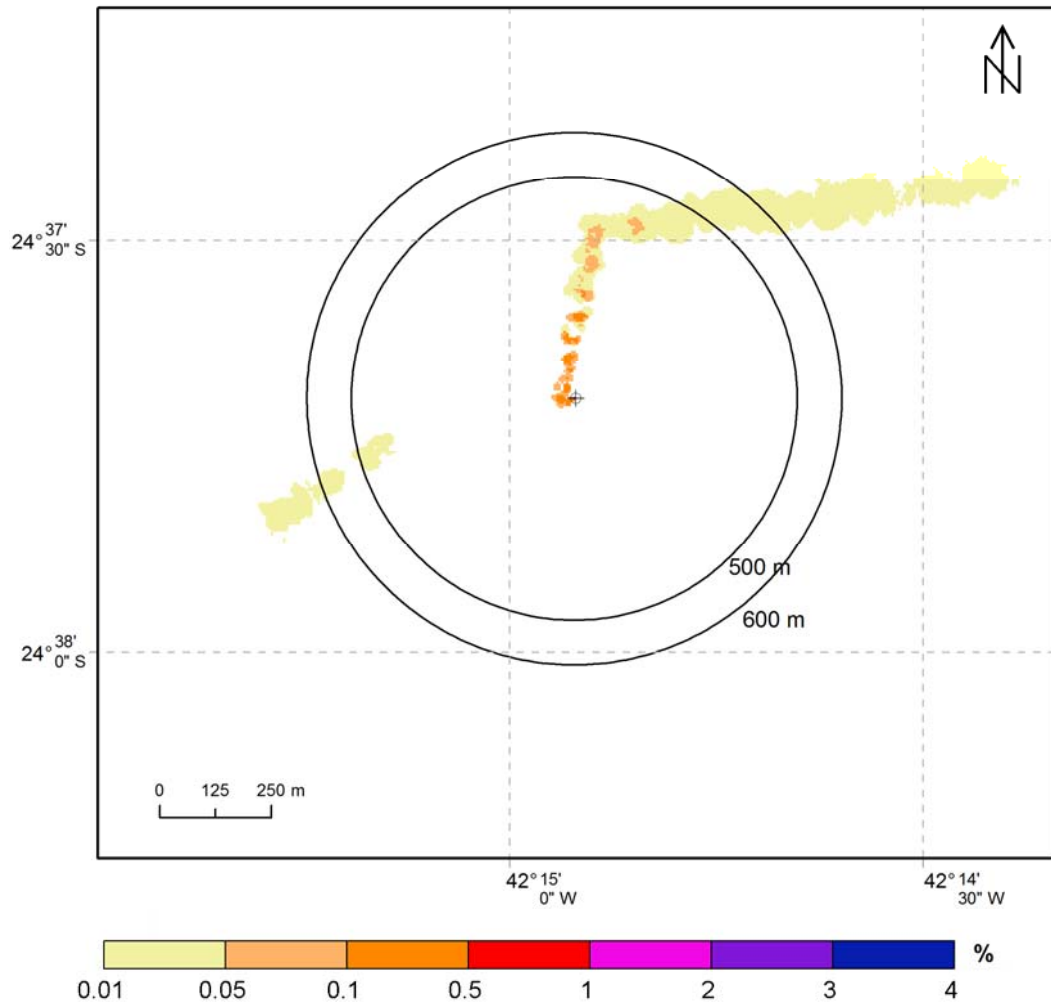


Figura I.3.2.2.2-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

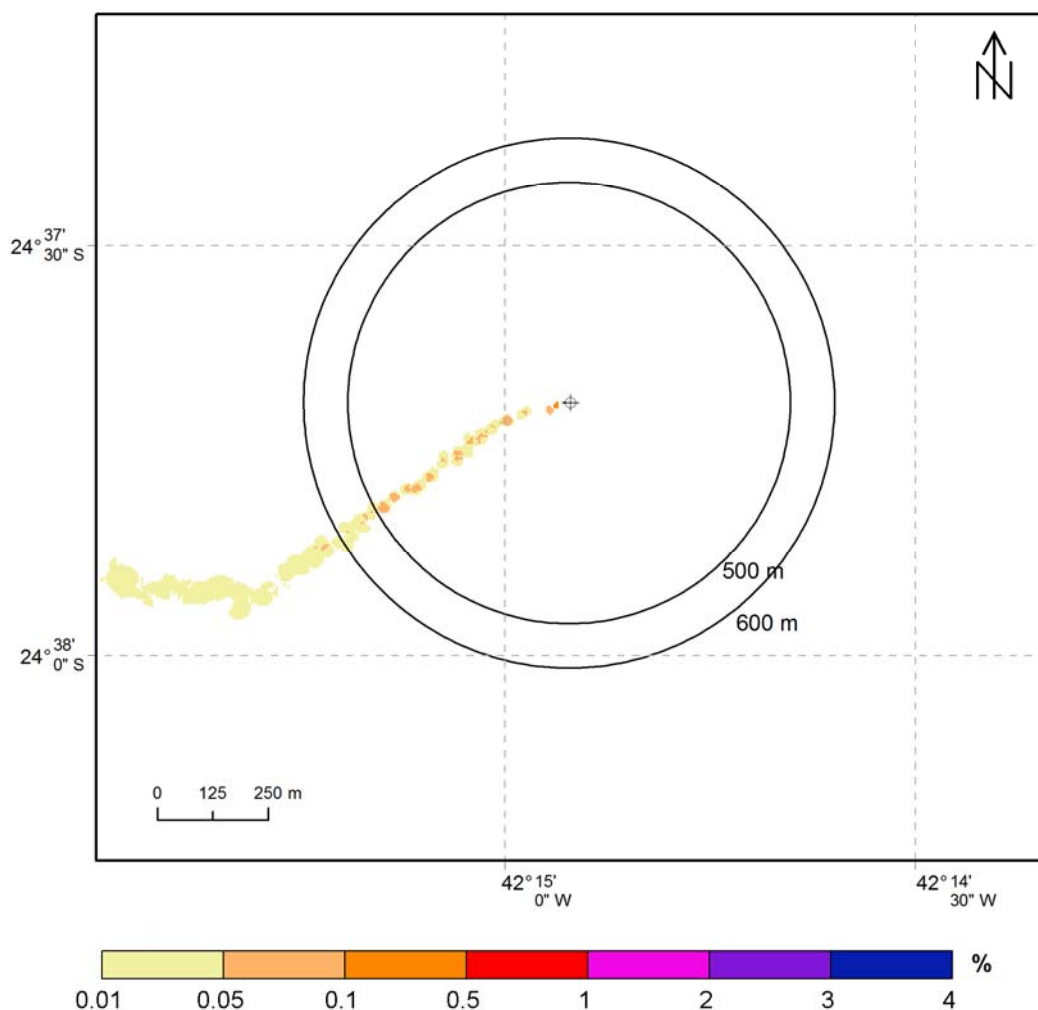


Figura I.3.2.2.2-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Fraco de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

A pluma apresenta um alto espalhamento direcional, estando de acordo com as rosas de corrente apresentadas.

O Quadro I.3.2.2.2-1 apresenta as diluições médias e mínimas e respectivas concentrações obtidas para este caso determinístico, a determinadas faixas de distância da fonte.

A 500 m de distância da fonte, a máxima concentração obtida foi de 0,11% e, a 600 m, este valor foi de 0,09%. A pluma não alcança profundidades superiores a 110 m.

Quadro I.3.2.2.2-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico fraco de inverno.

PARÂMETRO	DILUIÇÃO (vezes)		CONCENTRAÇÃO (%)		
	Média	Mínima	Média	Máxima	
EFLUENTE DE ÁGUA PRODUZIDA Distância de:	100 m	524,6	228,6	0,19	0,44
	200 m	921,8	333,7	0,11	0,30
	300 m	1.314,5	574,6	0,08	0,17
	400 m	1.852,9	736,9	0,05	0,14
	500 m	2.459,6	899,0	0,04	0,11
	600 m	2.958,6	1.101,6	0,03	0,09

I.3.2.2.3. Frequente

A seguir, na Figura I.3.2.2.3-1, são apresentados os histogramas direcionais obtidos para o caso determinístico com correntes mais frequentes, durante o inverno.

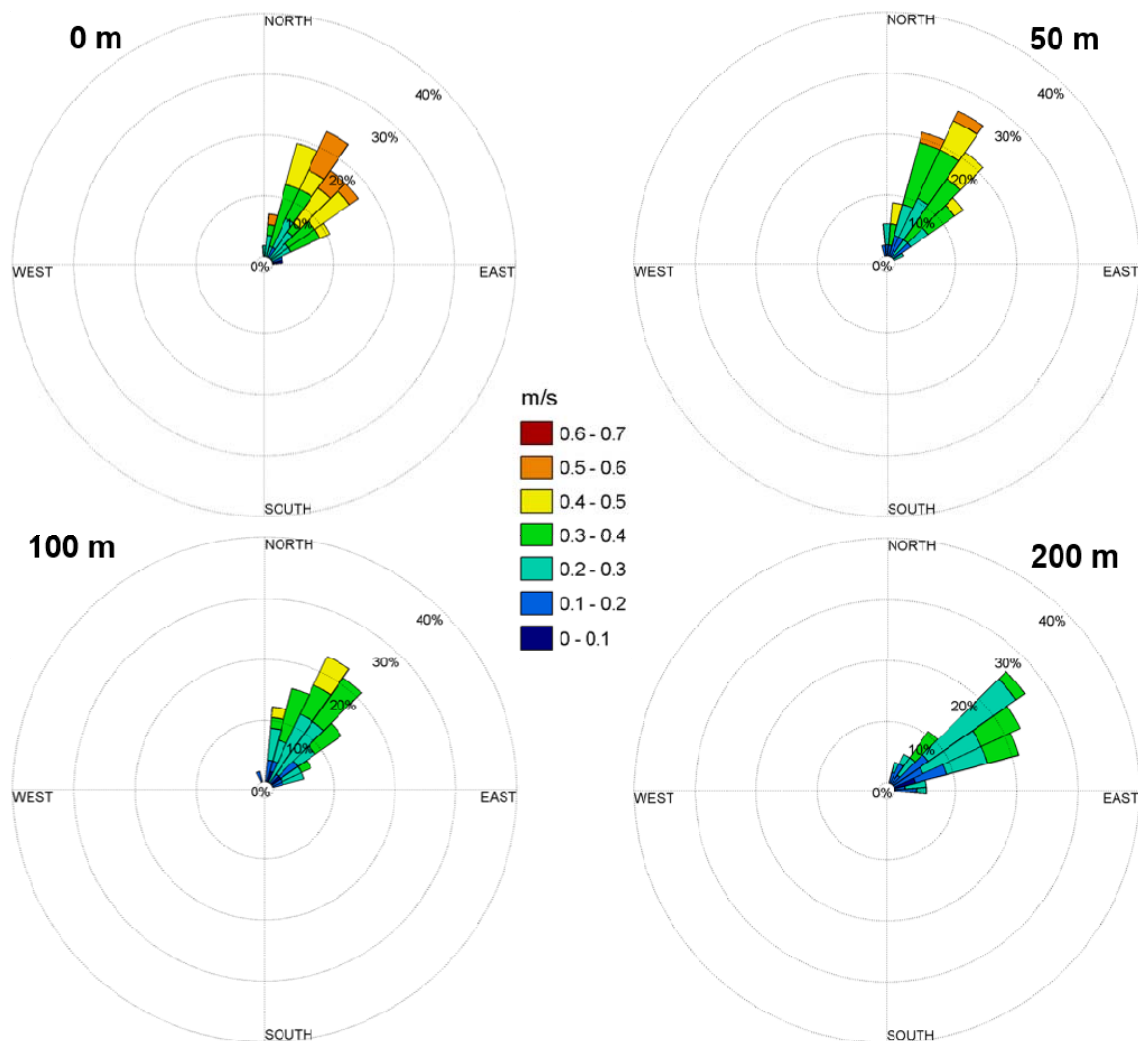


Figura I.3.2.2.3-1 - Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 50, 100 e 200 metros, para o período representativo do cenário frequente de inverno, do ponto de grade do REMO mais próximo ao ponto de descarte.

As correntes predominantes para este cenário são as de nordeste. A velocidade máxima observada foi de 0,6 m/s em superfície.

A Figura I.3.2.2.3-2 apresenta o mapa com a concentração máxima na coluna d'água obtida, considerando todas o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

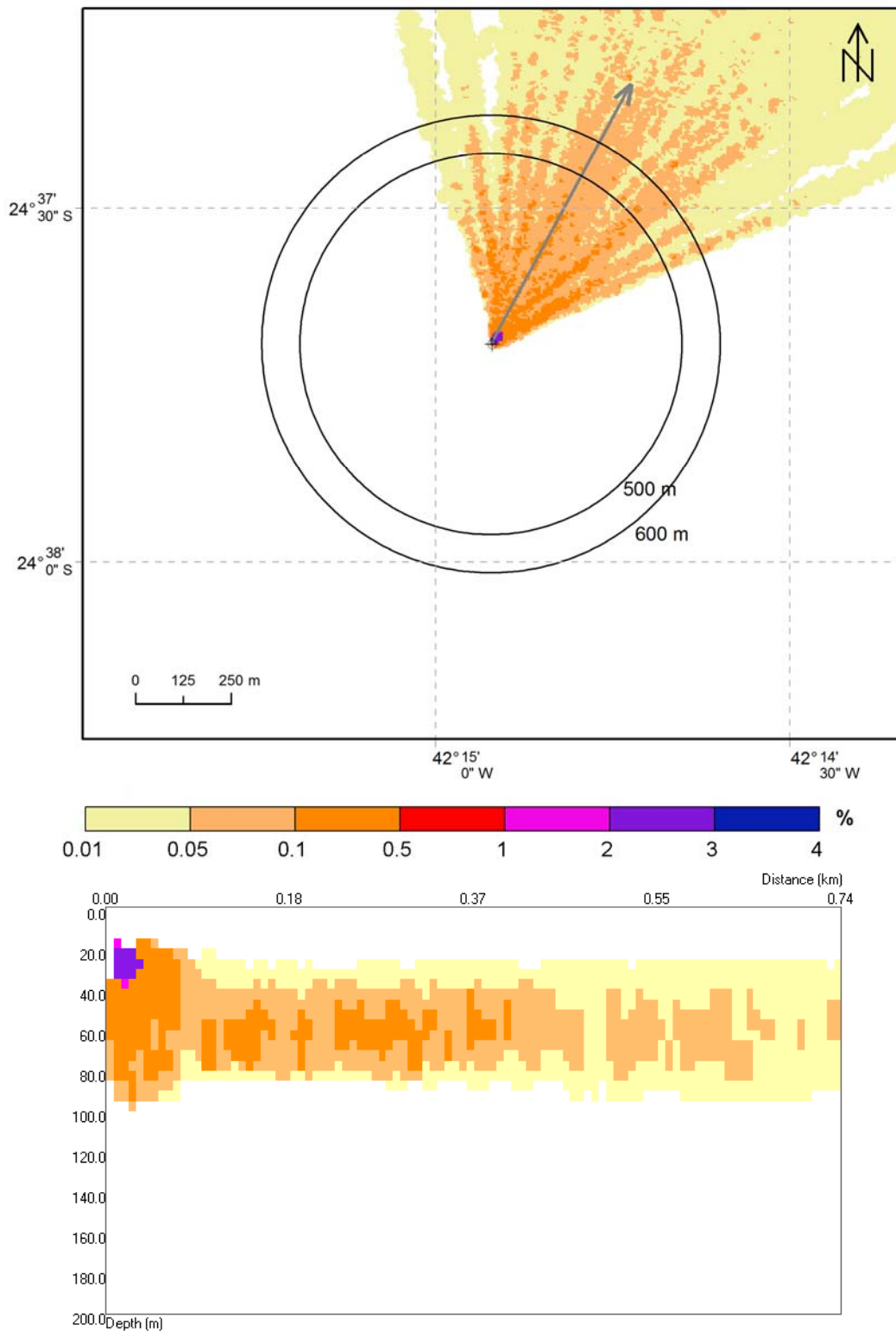


Figura 1.3.2.2.3-2 - Concentração máxima na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,54 km com orientação SW-NE (painel inferior). Caso determinístico – Frequente de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

Na Figura I.3.2.2.3-3 e na Figura I.3.2.2.3-4, são apresentados exemplos da dispersão da pluma na coluna d'água após 5 e 10 dias do início do descarte, respectivamente.

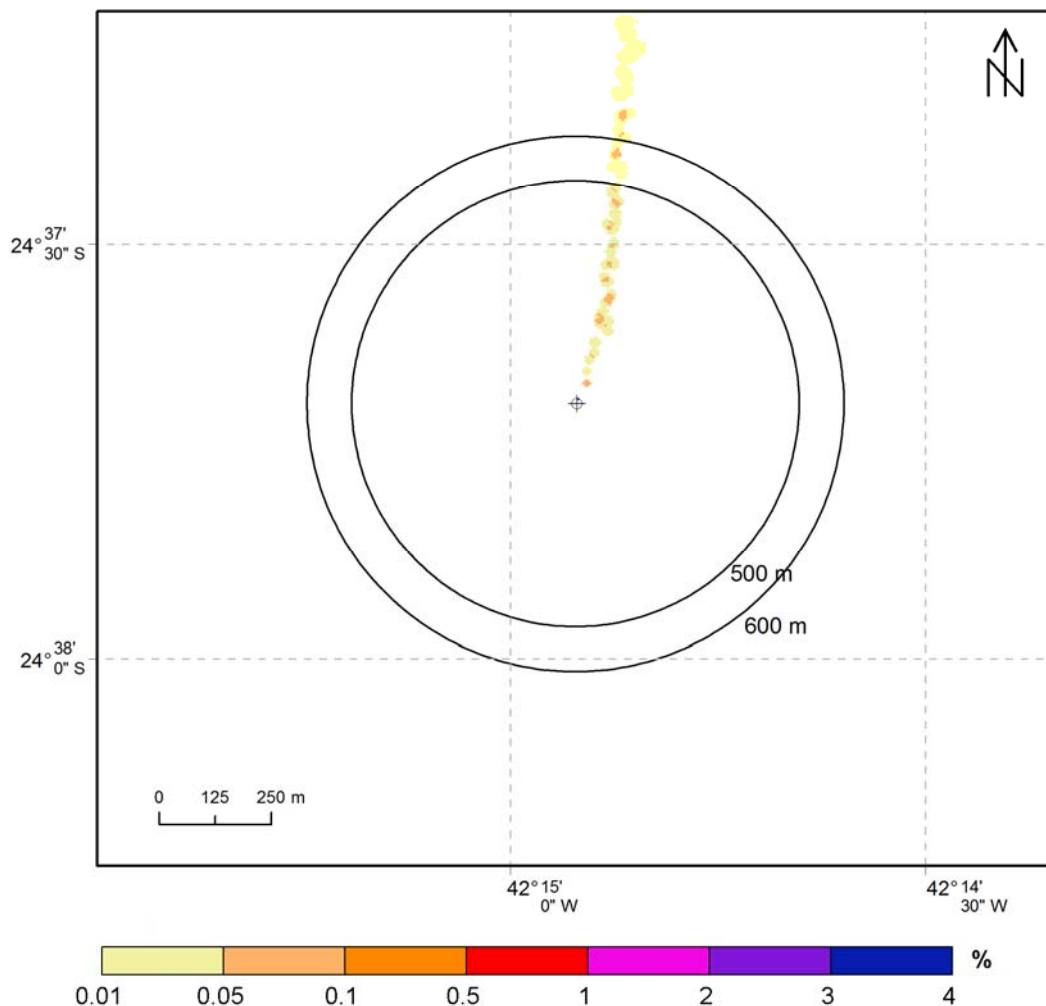


Figura I.3.2.2.3-3 - Concentração máxima na coluna d'água após 5 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

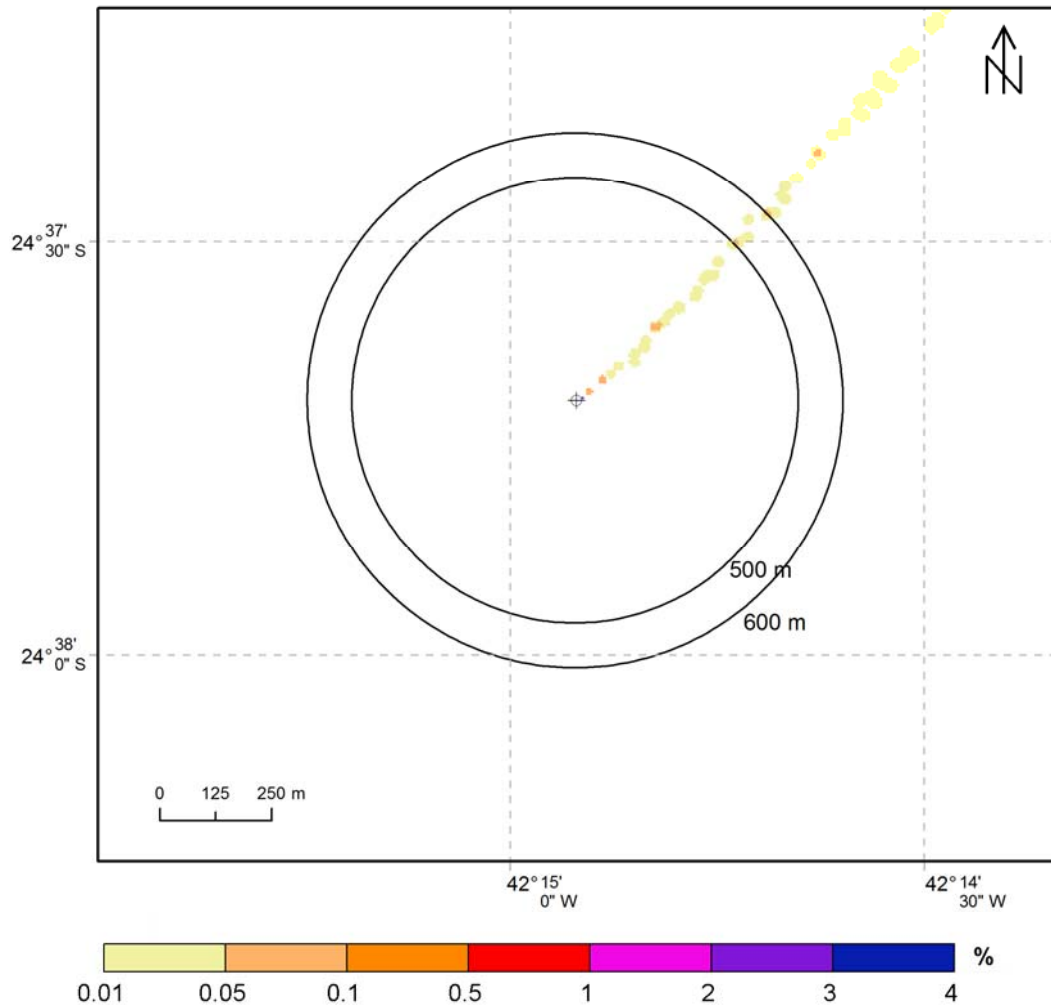


Figura I.3.2.2.3-4 - Concentração máxima na coluna d'água após 10 dias do início do descarte. Caso determinístico – Frequente de Inverno. (Datum SIRGAS2000).

A pluma apresenta direção predominante para nordeste, estando de acordo com as rosas de corrente apresentadas.

O Quadro I.3.2.2.3-1 apresenta as diluições médias e mínimas e respectivas concentrações obtidas para este caso determinístico, a determinadas faixas de distância da fonte.

A 500 m de distância da fonte, a máxima concentração obtida foi de 0,1% e, a 600 m, este valor foi de 0,09%. A pluma não alcança profundidades superiores a 100 m.

Quadro I.3.2.2.3-1 - Concentração e diluição obtidas de 100 a 600 m de distância da fonte para o caso determinístico frequente de inverno.

PARÂMETRO		DILUIÇÃO (vezes)		CONCENTRAÇÃO (%)	
EFLUENTE DE ÁGUA PRODUZIDA		Média	Mínima	Média	Máxima
Distância de:	100 m	3.536,8	524,8	0,03	0,19
	200 m	4.387,3	444,2	0,02	0,23
	300 m	5.382,7	673,0	0,02	0,15
	400 m	6.513,2	811,8	0,02	0,12
	500 m	8.130,9	1.021,7	0,01	0,10
	600 m	9.299,6	1.063,7	0,01	0,09

1.4. Conclusão

Neste estudo, foram realizadas análises do comportamento físico da pluma de água produzida descartada em um ponto inserido no Bloco de Libra, Bacia de Santos. Foram monitoradas, especificamente, as concentrações da água de produção a determinadas distâncias do ponto de descarte (100, 200, 300, 400, 500 e 600 m).

As simulações foram realizadas a partir do modelo numérico DREAM (*Dose-related Risk and Exposure Assessment Model*), desenvolvido pela SINTEF para estimar o comportamento e o destino de diversos tipos de efluente (incluindo água de produção) no ambiente marinho.

Foram realizadas simulações probabilísticas e determinísticas para a obtenção dos resultados. Para os resultados probabilísticos, foi considerado um ano de campos 3D de correntes gerados pelo modelo hidrodinâmico REMO (2012) e, para este período, foi feita a separação em verão (agosto a fevereiro) e inverno (março a julho). No total, foram realizadas 200 simulações determinísticas distintas para a obtenção dos resultados probabilísticos.

Dentre todos os resultados determinísticos, foram selecionados aqueles que apresentavam padrões mais extremos e mais frequentes de corrente, conferindo três casos determinísticos para cada cenário sazonal: intenso, fraco e frequente. Essa escolha é viável, já que a corrente é a forçante que mais contribui na dispersão da pluma no ambiente.

Todos os resultados apresentados consideram a fase ativa e passiva do efluente de forma integrada.

Para os resultados probabilísticos, observou-se que o cenário de verão é o mais restritivo para a dispersão do material, atingindo maiores concentrações a maiores distâncias da fonte. A concentração máxima obtida a 500 m de distância da fonte foi de 0,13%, durante o verão.

Em relação à probabilidade de presença e ao tempo de exposição, foram observadas diferenças significativas entre os resultados considerando o limiar de diluição de 10.000 e 1.000 vezes. Para o verão (caso mais restritivo) e limiar de 10.000 vezes, a probabilidade de presença a 500 m foi de 100% e o tempo de

exposição foi de 15%. Para o limiar de 1.000 vezes, a probabilidade obtida foi de 1% e o tempo de exposição foi inferior a 1%, a 500 m da fonte.

A diluição mais restritiva observada a 500/600 m de distância da fonte foi a do caso determinístico intenso de verão, correspondente a 546,3 vezes (0,18% da concentração inicial do efluente).

1.5. Bibliografia

ANTONOV, J. I., D. SEIDOV, T. P. BOYER, R. A. LOCARNINI, A. V. MISHONOV, H. E. GARCIA, O. K. BARANOVA, M. M. ZWENG, and D. R. JOHNSON, 2010. **World Ocean Atlas 2009**, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 69, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.

BRANDSMA, M.; SMITH, J. 1999. **Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model - Report and User Guide**. In: Relatório EPR.29PR.99. Production Operations Division. Exxon Production Research Company. Houston, Texas.

CHASSIGNET, E. P.; SMITH, L. T.; HALLIWEL, G. R. North Atlantic simulation with the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and termobaricity. **Journal Physical Oceanography**, v. 33, n. 12, p. 2504-2526. 2003.

GABIOUX, M. 2008. **Estudo Numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S**. Tese de (Doutorado em Ciências), Instituto de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

JOHANSEN, Ø.; DURGUT, I. Implementation of the near-field module in the **ERMS model**. In: ERMS Report, v.77, n.23. 2006.

KALNAY, E. M. et al. The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 77, p. 437-470. 1996.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S.; HNILO, J.J.; FIORINO, M.; POTTER, G.L. The NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 8, p. 1631-1643, 2002.

KISTLER, R. et al. The NCEP-NCAR 50 Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 82, pp. 247-267. 2001.

LOCARNINI, R. A., A. V. MISHONOV, J. I. ANTONOV, T. P. BOYER, H. E. GARCIA, O. K. BARANOVA, M. M. ZWENG, and D. R. JOHNSON, 2010. **World Ocean Atlas 2009**, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.

NCEP, 2011. REANÁLISES II. Disponível em:
<<http://www.cdc.noaa.gov/data/reanalysis/reanalysis.shtml>>. Acessado em: Junho
de 2012.

REED, M.; HETLAND, B. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model Technical Description of Physical-Chemical Fate Components. In: SPE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION. Kuala Lumpur, Malaysia. 2002.

REMO, 2012. Relatório Técnico Base Hidrodinâmica SSE. Grupo de Estudos de Processos Oceânicos do Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ. Disponível no CD/DVD anexo ao estudo.

RYE, H.; REED, M.; DURGUT, I.; DITLEVSEN, M.K. **Documentation report for the revised DREAM model**. In: ERMS report. n. 18. 2007.

EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Prooceano Serviço Oceanográfico e Ambiental Ltda.

Profissional	Ana Carolina Rochinha Boechat
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	-
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	4961307
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	_____

Profissional	Lívia Sant'Angelo Mariano
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	-
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6005736
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	_____

Profissional	Marcelo Montenegro Cabral
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	CREA RJ 2010110225
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	5621594
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	_____

Profissional	Tiago Cardoso de Miranda
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	-
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	637144
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	_____