



**UFC**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**ELISSANDRA VIANA MARQUES**

**SALINIDADE DA ATMOSFERA: PARTIÇÃO AMBIENTAL, DISTRIBUIÇÃO  
ESPAÇO TEMPORAL E INFLUÊNCIA DA LINHA DE COSTA (FORTALEZA-  
CE)**

**FORTALEZA**

**2020**

ELISSANDRA VIANA MARQUES

SALINIDADE DA ATMOSFERA:PARTIÇÃO AMBIENTAL, DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO  
TEMPORAL E INFLUÊNCIA DA LINHA DE COSTA (FORTALEZA-CE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo dos Ecossistemas e Estuarinos.

Orientador: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante.

Fortaleza

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

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

---

M316s Marques, Elissandra.  
SALINIDADE DA ATMOSFERA: PARTIÇÃO AMBIENTAL, DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO TEMPORAL  
E INFLUÊNCIA DA LINHA DE COSTA (FORTALEZA- CE) / Elissandra Marques. – 2020.  
136 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante.

1. Salinidade da Atmosférica. 2. Spray marinho. 3. Interações atmosféricas. 4. Partição gás/partícula. 5. Distribuição espaço temporal. I. Título.

CDD 551.46

---

ELISSANDRA VIANA MARQUES

SALINIDADE DA ATMOSFERA: PARTIÇÃO AMBIENTAL, DISTRIBUIÇÃO  
ESPAÇO TEMPORAL E INFLUÊNCIA DA LINHA DE COSTA (FORTALEZA-CE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo dos Ecossistemas e Estuarinos.

Aprovada em:31/01/2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Maria Elisa Zanella  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

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

A Deus.

Aos meus familiares.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares mais próximos Elisa Viana (mãe), Zilda Freitas (avó), José Ideoclécio Viana (avô), Marta Viana (tia), Elisângela Viana (tia), Francisco Viana (tio), Amanda Marques (irmã), Maria Heloisa Carvalho (prima), Luis Henrique Carvalho (primo) que estiveram sempre próximos à mim, motivando, dando apoio e descontraindo em muitos momentos. Em especial à minha mãe, que sempre esteve junto, incentivando e dando apoio, que me acompanhou em momentos de análise em laboratório nos finais de semana, me fazendo companhia com perseverança. Ao Wanderson Rodrigues (marido) por todo acompanhamento, incentivo e paciência nos momentos de estresse, pela dedicação de tempo e companheirismo, por me ouvir falando de spray marinho e material particulado com todo interesse, por me ajudar em análises em laboratório e nunca medir esforços para me ajudar.

Às minhas cadelas Maria Dóris e Maria Mel que trouxeram muita alegria aos meus dias.

À CAPES, ao CNPQ e à UFC pelo apoio financeiro com a manutenção de bolsa, disponibilidade de infraestrutura, equipamentos e profissionais competentes e especializados que acompanharam o desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Dr. Rivelino Cavalcante, pela orientação, preocupação, carões, oportunidades abertas, pela estrutura e apoio aos estudos realizados, por sempre estar disponível e acessível, por socorrer e encontrar soluções nos momentos de desespero.

À Camille Rocha que, mesmo estando distante das atividades em laboratório, ajudou e ajuda muito com suas ideias, sugestões, contribuições e conselhos.

Aos professores doutores participantes da banca examinadora Maria Elisa Zanella e Carlos Teixeira pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões para a conclusão deste trabalho,

Ao Professor Dr. Carlos Teixeira pelo acompanhamento, ideias e sugestões nos momentos de pré-coleta e durante todo o período de curso e amostragem de dados.

À coordenadora do Programa de Educação Ambiental Marinha - PEAM, Núbia Gomes Lima Verde, por todo apoio, ensinamento e paciência nas atividades de educação ambiental desenvolvidas com diversos públicos.

Aos amigos e companheiros de laboratório Viviane Agostinho, Davi Martins, Gabriele Melo, Lorena Nascimento, Fernanda Ramos, Gabriele Costa, Luana Saboya pela companhia, conversas, apoio e ajudas diárias no período de convivência, que me ensinaram

e acompanharam durante anos de integração no Laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos (LACOR). Taynara Costa, Rafaella Garcia, Janaína da Silva, Andréssia Régia pela colaboração nos trabalhos de campo e análises laboratoriais, a ajuda foi de fundamental importância e aprendizado. Débora da Silva, Elena Banegas, Analine Andrade e Gina Lopez por acompanharem alguns momentos de desespero. Em especial, Ithala Santiago e Rafael Pereira por todo companheirismo, por discutir e ouvir nas dificuldades e pela ajuda e todas as contribuições na tentativa de desvendar os mistérios da atmosfera.

Em especial à Fernanda Ramos, ao Rafael Pereira e ao Mateus Lopes que constituem a equipe da atmosfera com atividades ativas. Eles contribuíram bastante para a realização deste trabalho, contribuindo em coletas, análises de campo e tratamento dos dados finais.

Aos motoristas do Departamento de Transporte da UFC (DVTRAN) por alegrarem e descontraírem as viagens entre os campus da Universidade. Além das ajudas nas coletas, no carregamento de equipamentos sempre com muita tranquilidade e satisfação em ajudar. Ao DVTRAN por disponibilizarem o veículo para as coletas e serem sempre acessíveis, mesmo com os prazos apertados e disponibilidade de carro concorrida.

À toda equipe de servidores, terceirizados, técnicos e professores do LABOMAR/UFC pela ajuda, contribuições e aprendizados diários.

Ao Laboratório de Análises Traço (LAT), Professor Dr. Ronaldo do Nascimento e sua equipe de pesquisadores pelo suporte laboratorial e apoio com infraestrutura e disponibilidade de equipamentos para análise.

Ao Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC) que foram responsáveis pelas análises das amostras da partição particulada e gasosa da salinidade atmosférica no equipamento - Cromatografo de Íons.

“Como uma onda no mar.”

Lulu Santos

## RESUMO

O desenvolvimento urbano e industrial crescente nas últimas décadas, apresenta sérios riscos à qualidade de vida humana e ambiental. Os centros urbanos e industriais, instalados, principalmente, na área litorânea devido às melhores condições de transporte de carga e redução de custos, interagem com as condições ambientais costeiras, como a salinidade atmosférica oriunda, principalmente do spray marinho, condições atmosféricas, características geográficas como vegetação, relevo e clima. Essas interações agem diretamente sobre a distribuição espacial e impactos negativos que poluentes urbanos e industriais apresentam sobre a saúde humana e ambiental. O spray marinho, aerossóis marinhos originados da quebra de ondas e interações oceano atmosfera, é composto, principalmente por água, sais inorgânicos, minerais, compostos orgânicos e metais traços, e interage com a poluição atmosférica, modificando as condições físico-químicas dos compostos, podendo, até mesmo, neutralizar a acidez das massas de água da atmosfera causadas pela presença dos óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre. Assim, é notória a importância de conhecer a composição e dinâmica do spray marinho na atmosfera. Ele é encontrado na partição gasosa e particulada de acordo com suas características físico-químicas, interações e condições atmosféricas que promovem o equilíbrio entre as duas partições. Neste trabalho, buscou-se identificar e quantificar as concentrações de sais presentes na atmosfera e analisar o comportamento da distribuição espaço temporal dos mesmos. Assim, foi qualificado e quantificado as duas partições do spray marinho em Fortaleza/CE, por meio da amostragem ativa (Hi-Vol) e passiva (amostradores passivos) em cinco pontos de amostragem distribuídos na zona litorânea e interiorana do município considerando a sazonalidade. A partir da aquisição dos dados, foi determinada sua distribuição espaço temporal na área de amostragem, e verificada influência da linha de costa no comportamento do spray marinho, além de gerar outros resultados como modelagem da distribuição e trajetória dos sais presentes na partição particulada.

**Palavras-chave:** Salinidade da Atmosférica. Spray marinho. Interações atmosféricas. Partição gás/partícula. Distribuição espaço temporal.

## ABSTRACT

The growing urban and industrial development in the last decades, presents serious risks to the quality of human and environmental life. Urban and industrial centers, installed mainly in the coastal area due to the better conditions of cargo transportations and cost reduction, interact with coastal environmental conditions, such as atmospheric salinity originating, mainly from marine spray, atmospheric conditions, geographical characteristics such as vegetations, relief and climate. These interactions act directly on the spatial distribution and negative impacts that urban and industrial pollutants have on human and environmental health. The sea spray, sea aerosols originated from the breaking of waves and interactions of the ocean atmosphere, is composed mainly of water, inorganic salts, minerals, organic compounds and trace metals, and interacts with atmospheric pollution, modifying the physicochemical conditions of the compounds, it can even neutralize the acidity of the water bodies in the atmosphere caused by the presence of nitrogen oxides and sulfur dioxide. Thus, the importance of knowing the composition and dynamics of marine spray in the atmosphere is well known. It is found in the gaseous and particulate partition according to its physical-chemical characteristics, interactions and atmospheric conditions that promote the balance between the two partitions. In this work, we sought to identify and qualify the concentrations of salts present in the atmosphere and to analyze the behavior of their temporal space distribution. Thus, the two sea spray partitions in Fortaleza/CE were qualified and quantified by means of active (Hi-Vol) and passive (passive samplers) sampling at five sampling points distributed in the coastal and inland areas of the municipality considering seasonality. From the data acquisition, its temporal space distribution in the sampling area was determined, and the influence of the coastline on the behavior of the marine spray was verified, in addition to generating other results such as modeling the distribution and trajectory of the salts present in the particulate partition.

**Keywords:** Salinity of the atmosphere. Marine spray. Atmospheric interactions. Gas/particle partition. Timeline distribution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mecanismo de produção do Film e Jet Drops.....	26
Figura 2 – Estratigrafia da atmosfera .....	30
Figura 3 – Clima .....	34
Figura 4 – Esquema da Vela Úmida.....	40
Figura 5 – Área de Estudo.....	42
Figura 6 – Pontos de amostragem na área de estudo.....	43
Figura 7 – Ponto 1 de amostragem.....	45
Figura 8 – Ponto 2 de amostragem.....	46
Figura 9 – Ponto 3 de amostragem.....	47
Figura 10 – Ponto 4 de amostragem.....	48
Figura 11 – Ponto 5 de amostragem.....	49
Figura 12 – WRPlot.....	50
Figura 13 – Estação Meteorológica portátil junto aos demais equipamentos.....	51
Figura 14 – Esquema do equipamento Hi-Vol.....	52
Figura 15 – Amostragem com Hi-Vol.....	53
Figura 16 – Eluição dos filtro e amostragem da partição particulada.....	54
Figura 17 – Esquema ilustrativo do amostrador passivo em seu suporte de fixação.....	55
Figura 18 – Suporte e amostrador passivo.....	56
Figura 19 – Esquema ilustrativo do amostrador passivo.....	56
Figura 20 – Análise laboratorial da partição gasosa do spray marinho.....	57
Figura 21 – Estação Meteorológica Portátil.....	58
Figura 22 – Distribuição do somatório de sais na fração particulada: primeira campanha.....	70
Figura 23 – Distribuição do somatório de sais na fração particulada: segunda campanha.....	71
Figura 24 – Distribuição do somatório de sais na fração particulada: terceira campanha.....	72
Figura 25 – Distribuição do somatório de sais na fração gasosa: primeira campanha.....	73
Figura 26 – Distribuição do somatório de sais na fração gasosa: segunda campanha.....	74

Figura 27 – Distribuição do somatório de sais na fração gasosa: terceira campanha.....	75
Figura 28 – Distribuição do PM10 no Ponto 1 : primeira campanha.....	77
Figura 29 – Distribuição do PM10 no Ponto 1 : segunda campanha.....	78
Figura 30 – Distribuição do PM10 no Ponto 1: terceira campanha.....	79
Figura 31 – Distribuição do PM10 no Ponto 2: primeira campanha.....	80
Figura 32 – Distribuição do PM10 no Ponto 2 : segunda campanha.....	81
Figura 33 – Distribuição do PM10 no Ponto 2: terceira campanha.....	82
Figura 34 – Distribuição do PM10 no Ponto 5: primeira campanha.....	83
Figura 35 – Distribuição do PM10 no Ponto 5: segunda campanha.....	84
Figura 36 – Distribuição do PM10 no Ponto 5: terceira campanha.....	85
Figura 37 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 1 : 1ª Campanha.....	87
Figura 38 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 1 : 2ª Campanha.....	89
Figura 39 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 1 : 3ª Campanha.....	91
Figura 40 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 2 : 1ª Campanha.....	94
Figura 41 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 2 : 2ª Campanha.....	96
Figura 42 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 2 : 3ª Campanha.....	98
Figura 43 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 5 : 1ª Campanha.....	101
Figura 44 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 5 : 2ª Campanha.....	103
Figura 45 – Trajetória ( <i>Forward</i> ) do PM10 no Ponto 5 : 3ª Campanha.....	105
Figura 46 – Trajetória ( <i>Backward</i> ) do PM10 no Ponto 3: 1ª Campanha.....	108
Figura 47 – Trajetória ( <i>Backward</i> ) do PM10 no Ponto 3: 2ª Campanha.....	110
Figura 48 – Trajetória ( <i>Backward</i> ) do PM10 no Ponto 3: 3ª Campanha.....	112
Figura 49 – Trajetória ( <i>Backward</i> ) do PM10 no Ponto 4: 1ª Campanha.....	114
Figura 50 – Trajetória ( <i>Backward</i> ) do PM10 no Ponto 4: 2ª Campanha.....	116
Figura 51 – Trajetória ( <i>Backward</i> ) do PM10 no Ponto 4: 3ª Campanha.....	118
Figura 52 – Influência do Oceano, Rios e Zonas Estuarinas na Salinidade Atmosférica..	120

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Temperatura média .....	64
Gráfico 2	– Umidade e precipitação .....	65
Gráfico 3	– Concentração do somatório de sais detectados na partição particulada (PM10) da atmosfera nos pontos de amostragem durante as três campanhas.....	66
Gráfico 4	– Concentração do somatório de sais detectados na partição gasosa da atmosfera nos pontos de amostragem durante as três campanhas.....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentração dos principais constituintes do spray marinho .....	27
Tabela 2 – Concentração de sais encontrados em 1 Kg de água do mar com Cl = 19,374% .....	28
Tabela 3 – Pontos de amostragem.....	44
Tabela 4 – Rosas dos ventos do Período Chuvoso (PC) de 1999 à 2019.....	60
Tabela 5 – Rosas dos ventos do Período Seco (PS) de 1999 à 2019.....	62
Tabela 6 – Concentração do somatório de sais detectados na partição particulada.....	67
Tabela 7 – Concentração do somatório de sais detectados na partição gasosa.....	69
Tabela 8 – Comparação de estudos.....	121

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
ASTM	American Society for Testing and Materials
SG	Solução Glicerizada
FC	Filtro de Celulose
FFV	Filtro de Fibra de Vidro
EC	Espectrômetro de Chama
CI	Cromatografo de Íons
PM10	Material Particulado 10µm
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
NUTEC	Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
UTM	Univesal Transversa de Mercator

## LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Micro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
mm	Milímetros g Grama
m/s	Metro por Segundo
S	Sul
W	Oeste
mE	Metros Leste
mS	Metros Sul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	23
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	23
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	23
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	24
<b>3.1</b>	<b>Spray Marinho</b> .....	24
<b>3.1.1</b>	<i>Origem, formação e composição</i> .....	25
<b>3.1.2</b>	<i>Partição Gás/Partícula</i> .....	29
<b>3.1.3</b>	<i>Fatores influentes na distribuição espacial do spray marinho</i> .....	30
<b>3.1.3.1</b>	<i>Camada Limite Planetária (CLP)</i> .....	30
<b>3.1.3.2</b>	<i>Turbulência e Estabilidade Atmosférica</i> .....	31
<b>3.1.3.3</b>	<i>Variáveis Meteorológicas</i> .....	32
<b>3.1.3.4</b>	<i>Topografia</i> .....	35
<b>3.2</b>	<b>Poluição Atmosférica</b> .....	36
<b>3.2.1</b>	<i>Interação com o spray marinho</i> .....	36
<b>3.3</b>	<b>Amostragens do Spray Marinho</b> .....	38
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	41
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da Área de Estudo</b> .....	41
<b>4.2</b>	<b>Estratégias de Amostragem</b> .....	42
<b>4.3</b>	<b>Caracterização Climática de Fortaleza</b> .....	50
<b>4.4</b>	<b>Condições Meteorológicas nos Pontos de Amostragem</b> .....	50
<b>4.5</b>	<b>Quantificação da Partição Particulada do Spray Marinho</b> .....	51
<b>4.6</b>	<b>Quantificação da Partição Gasosa do Spray Marinho</b> .....	54
<b>4.7</b>	<b>Trajatória e Dispersão do Spray Marinho</b> .....	58
<b>4.7.1</b>	<i>Hysplit</i> .....	59
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	60
<b>5.1</b>	<b>Resultados da Caracterização Climática de Fortaleza-Ce</b> .....	60
<b>5.2</b>	<b>Dados meteorológicos nas amostragens</b> .....	63
<b>5.3</b>	<b>Partição Particulada do Spray Marinho</b> .....	66
<b>5.4</b>	<b>Partição Gasosa do Spray Marinho</b> .....	68
<b>5.5</b>	<b>Distribuição espaço temporal da salinidade atmosférica</b> .....	70

5.5.1	<i>Partição Particulada</i> .....	70
5.5.2	<i>Partição Gasosa</i> .....	73
5.6	<b>Dispersão do material particulado 10µm (PM10)</b> .....	76
5.7	<b>Trajectoria da Dispersão do Material Particulado 10 µm (PM10) por meio do modelo Hysplit-Forward</b> .....	86
5.8	<b>Influência da linha de costa na distribuição da salinidade por meio do modelo Hysplit-Backward</b> .....	106
5.9	<b>Comparação de estudo</b> .....	121
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	124
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	126
	<b>ANEXO A – TABELA DE DADOS DESTE ESTUDO</b> .....	135

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano e industrial cresce nos últimos anos numa escala exponencial acompanhando o desenvolvimento humano, o capitalismo e a globalização. A instalação e expansão dos aglomerados urbanos e industriais acarretam em várias alterações nos ambientes naturais, promovendo destruição de ecossistema, emissões atmosféricas, poluição das matrizes ambientais.

No mundo, a formação dos centros urbanos ou aglomerados de pessoas se deu em função da instalação de indústrias. Os núcleos industriais iniciados, em grande escala, na Revolução Industrial funcionaram como atrativos para moradores de áreas rurais. Assim, foram formando-se conglomerados de pessoas e infra-estrutura básica às suas necessidades. Começaram então as formações urbanas neste período, as quais vem passando por mudanças em sua composição, dinâmica e funcionalidade e interações até hoje, considerando elementos urbanos, sociais e naturais. (DANTAS, 2011)

As áreas litorâneas foram ocupadas e deram origem aos pólos industriais e urbanos tendo em vista a instalação de áreas portuárias nessas regiões, o que promovia facilidade de transporte, importação e exportação, e fortalecimento do comércio na região. Diferentes definições de mar foram estabelecidas em várias épocas, o que permitiu diferentes formas de ocupação, engenharia e arquitetura da zona costeira, associados com o pertencimento dessa região para a população. Alguns dos sentimentos em relação à zona costeira foram retratados em Jean Delumeaus (1978) e Dantas (2011), assim como o processo histórico da ocupação de Fortaleza/CE.

Dessa forma, com a ocupação dessa região, os ambientes passaram e ainda passam por mudanças em sua composição biótica, características físico-químicas, dinâmica em suas matrizes ambientais e sociais. Atualmente, existem estudos das interações entre os componentes dos ambientes naturais e dos componentes urbanos e sociais. Assim, em Fortaleza interações dos biomas litorâneos e interioranos característicos do município (vegetação savânica, caatinga, tabuleiro pré-litorâneo) interagem com os elementos e componentes urbanos (arquitetura e urbanismo, infraestrutura, mosaicos sociais, turismo, indústrias, comércio). Essas interações podem provocar perda de biodiversidade, redução da qualidade do ar que pode ser acompanhado pelo Índice de Qualidade do Ar (IQA), poluição e/ou contaminação das matrizes ambientais, impactos na estrutura física de alguns elementos urbanos que podem ser danificadas por ação da vegetação, spray marinho, acidificação atmosféricas por

fontes industriais ou urbanas.

Porém, o spray marinho, presente abundantemente em regiões litorâneas, pode modificar o comportamento e dinâmica atmosférica das áreas urbanas nas quais apresentam influência. O spray marinho age, na atmosfera, de várias formas, podendo reagir quimicamente com poluentes atmosféricos, neutralizando suas características nocivas ao ambiente e ao ser humano, como redução da acidez atmosférica causada por poluentes oriundos da atividade urbana e industrial.

A formação do spray marinho se dá, segundo Fitzgerald (1991), O'Dowd *et al.* (1997), por meio da agitação da superfície de águas marinhas ocasionadas pelo vento, que gera bolhas que explodem formando gotículas em forma de jorro, filme (película) ou espuma. A formação dessas bolhas, é, segundo Pontes (2006), mais abundante em áreas com o movimento de quebra das ondas. O spray marinho pode, assim, ser gerado pela ação da quebra das ondas, e pela tensão de cisalhamento exercida pelo vento sobre a superfície dos oceanos, logo, o mar aberto é, também, um contribuinte na formação de spray marinho, porém, numa menor concentração considerando as áreas de quebra de onda nas zonas costeiras.

O spray marinho, após formado, pode ser encontrado em duas partições ambientais, gasosa ou particulada. A partição gasosa é constituída por moléculas e conjunto/aglomerado de moléculas menores, mais leves, com um menor peso molecular que permitem ser encontradas na fração gasosa. A partição particulada é formada por moléculas e aglomerados moleculares maiores, o aglomerado possui peso e tamanho de forma que ele deixa de ser considerado gás e passa a ser considerado partícula, podendo apresentar variação de tamanho de acordo com a quantidade de aglomerados aglutinados na partícula, tamanho e peso molecular.

Existe uma relação entre a partição gás - partícula que estipula, em laboratório, a razão existente entre uma fração e outra, assim como várias outras razões como a concentração de matéria orgânica na atmosfera presente na forma de gás ou partícula. Fatores como dinâmica atmosférica, temperatura, umidade, presença de núcleos de condensação, altura da camada limite planetária, radiação solar, velocidade e direção do vento influenciam diretamente na razão entre gás - partícula (ODUM *et al.*, 1996).

O spray marinho domina a concentração da massa particulada da Camada Limite Marinha (CLM) em regiões costeiras, cuja fração mais significativa dessa massa é a partícula fina (O'DOWD e LEEUW, 2007). Os principais componentes do aerossol fino são água, sais inorgânicos, minerais, compostos orgânicos e metais traços (SEINFELD

e PANDIS, 2006). As espécies inorgânicas constituem cerca de 25 a 50% da massa seca de uma partícula continental típica, tendo como mais abundantes o sulfato, o amônio e o nitrato. Os íons sódio e cloro contribuem significativamente em ambientes com características marinhas (HEINTZENBERG, 1989). A escala de tempo do equilíbrio termodinâmico para o aerossol fino na atmosfera é geralmente inferior a vinte minutos, o que suporta o tratamento destas partículas nos modelos de transporte químico atmosférico, como existentes no equilíbrio com os gases circundantes (ANSARI e PANDIS, 1999b; DASSIOS e PANDIS, 1999; FOUNTOUKIS *et al.*

,2009). Conforme Millero (2013), a água do mar, logo, o spray marinho também, apresentam um padrão entre as proporções de sais.

Estudos sobre o spray marinho abordam seu impacto na química da troposfera, no balanço de radiação e na troca de matéria e energia entre oceano e atmosfera. Finlayson-Pitts (1983) e Behnke *et al.* (1997) mostraram que a reação de  $\text{NO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}_5$  com o aerossol de  $\text{NaCl}$  na CLM fornece uma via de iniciação efetiva para o cloro atômico. O aerossol marinho também forma uma grande fração do sulfato no sal marinho, uma vez que é um importante depósito de  $\text{SO}_2$  na CLM (SIEVERINGE *et al.*, 1992; GURCIULLO *et al.*, 1999). Além disso, partículas do aerossol marinho são transportadoras químicas de espécies contendo Cl, Br, I e S e, portanto, desempenham um papel nos ciclos atmosféricos desses importantes elementos. Os halogênios Br e Cl, uma vez mobilizados por reações heterogêneas de formas inorgânicas do sal marinho a formas gasosas reativas ( $\text{Br}_2$  e  $\text{Cl}_2$ ) podem desempenhar um papel na destruição do ozônio troposférico e estratosférico, e de hidrocarbonetos leves (JOBSON *et al.*, 1994).

No Brasil, os trabalhos sobre spray marinho são atuais e todos eles focam no principal impacto deste poluente nas áreas urbanas costeiras e na corrosão de materiais. Alguns destes estudos são: Pontes (2006), Borba Jr (2011), Silva (2011), Portela (2013), VilasBoas (2013), Vitali (2013) e Campos (2016), a maioria destes trabalhos foram realizados na região Nordeste, local que recebe forte influência dos ventos com grande aporte de spray marinho, em especial nas cidades costeiras.

Com base nisso, este estudo tem como objetivo quantificar a partição gasosa e particulada do spray marinho, verificar a sua distribuição espacial, dispersão e trajetória a partir da zona de formação. Para isso, foi utilizado uma nova metodologia de amostragem para a partição gasosa, por meio do uso do amostrador passivo para a determinação da partição gasosa do spray marinho utilizando como base a solução absorvedora seletiva do método da Vela Úmida (Standard Método). A metodologia para

amostragem da partição particulada seguiu Mochida (2003) e utilizou o HiVol como equipamento de amostragem.

Assim, este trabalho busca entender o comportamento e a dinâmica da salinidade atmosférica na área urbanizada de Fortaleza. Considerando-se que os sais da atmosférica podem ter contribuições negativas e positivas com este ambiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Quantificar e qualificar a salinidade atmosférica em sua partição gasosa e particulada em Fortaleza-CE.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Analisar qual partição de maior concentração do spray marinho;

Avaliar a distribuição espaço temporal da salinidade atmosférica na área de estudo;

Verificar a trajetória e distribuição espacial do spray marinho a partir das áreas de formação;

Analisar a influência da linha de costa, oceano, rios e zonas estuarinas na salinidade da atmosfera em Fortaleza-CE.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Spray Marinho

O termo aerossol representa partículas ou gotículas suspensas relativamente estáveis que estão dispersas num gás, como tamanhos maiores que as moléculas presentes nessa massa de gás e menores que 100  $\mu\text{m}$  (Schumauss, 1920).

De acordo com Alves (2005), os aerossóis estão envolvidos em vários fenômenos naturais, como: formação de nuvens e precipitação, balanço radioativo na atmosfera, trocas entre oceano e troposfera etc. Assim, o spray marinho, que consiste num aerossol de origem marinha participa de vários fenômenos de interação oceano/atmosfera e, também, na zona costeira de acordo com seu transporte para tal região.

O spray marinho é, de acordo com Almeida (1999); Norris *et al.* (2013), um aerossol proveniente da quebra de ondas, onde o movimento de quebra de ondas libera para a atmosfera um tipo de spray com composição igual à água de origem nas áreas costeiras. A formação do spray marinho pode ocorrer por meio de dois processos de acordo com Wang *et al.* (2017), o processo Film Drops e o processo Jet Drops, que se diferenciam quanto à formação, maneira de disponibilidade de spray marinho à atmosfera, e quantidade de spray marinho disponibilizada à atmosfera.

Nos oceanos, existem vários tipos de emissões para a atmosfera, inclusive antropogênicas oriundas de atividades de pesca, embarcações e plataformas voltadas à atividade petroleira que têm como resultado a emissão, também, de partículas para a atmosfera marinha (ALMEIDA, 1999; NORRIS *et al.*, 2013).

Além das emissões marítimas antropogênicas, há, também, as emissões biogênicas vindas do oceano, que mesmo com sua origem natural, contribui com a alteração da qualidade do ar, afetando, especialmente, as regiões costeiras. Com isso, os aerossóis marinhos, também chamados de spray marinho, são espalhados principalmente a partir da quebra das ondas, mas podem interagir com outros componentes que são, também, disponibilizados à atmosfera, podendo, assim, serem considerados um poluente atmosférico (ALMEIDA, 1999; NORRIS *et al.*, 2013). A composição do spray é muito semelhante à composição da água do mar, onde uma grande parcela deste é composta por sal marinho. A salinidade, em especial o íon cloreto, mostra-se agressiva à diversos elementos do meio urbano. Assim, o aerossol de origem natural, funciona como um reservatório de moléculas e constituintes específicos que podem ser

agressivos ao meio com sua propagação.

A formação de spray marinho tem significativa relevância na contabilização da massa atmosférica total de aerossóis, uma vez que sua taxa de emissão chega a 109 toneladas por ano (MERROUCHI *et al.*, 2011). Em média para cada Kg de água no mar, existam cerca de 35g de compostos dissolvidos. Esses componentes são comumente chamados de sais e são constituídos por moléculas inorgânicas, cujo cloreto de sódio é o mais abundante (DAY, 1999). Um dos impactos ao qual mais se dá destaque na literatura é a ação do íon cloreto na corrosão em prédios, casas, monumentos e demais estruturas em contato com altos níveis de salinidade. O processo de corrosão é estimulado por impurezas, como o cloreto, que fazem da água um eletrólito mais eficiente, acelerando o processo (COSTA, 2001). Alguns outros impactos ainda podem ser relevantes em um ambiente com a presença do spray marinho, como na vegetação, no solo, na navegação e na chuva ácida (RIBEIRO *et al.*, 2007; APRILE *et al.*, 2007; CAMPOS *et al.*, 2007).

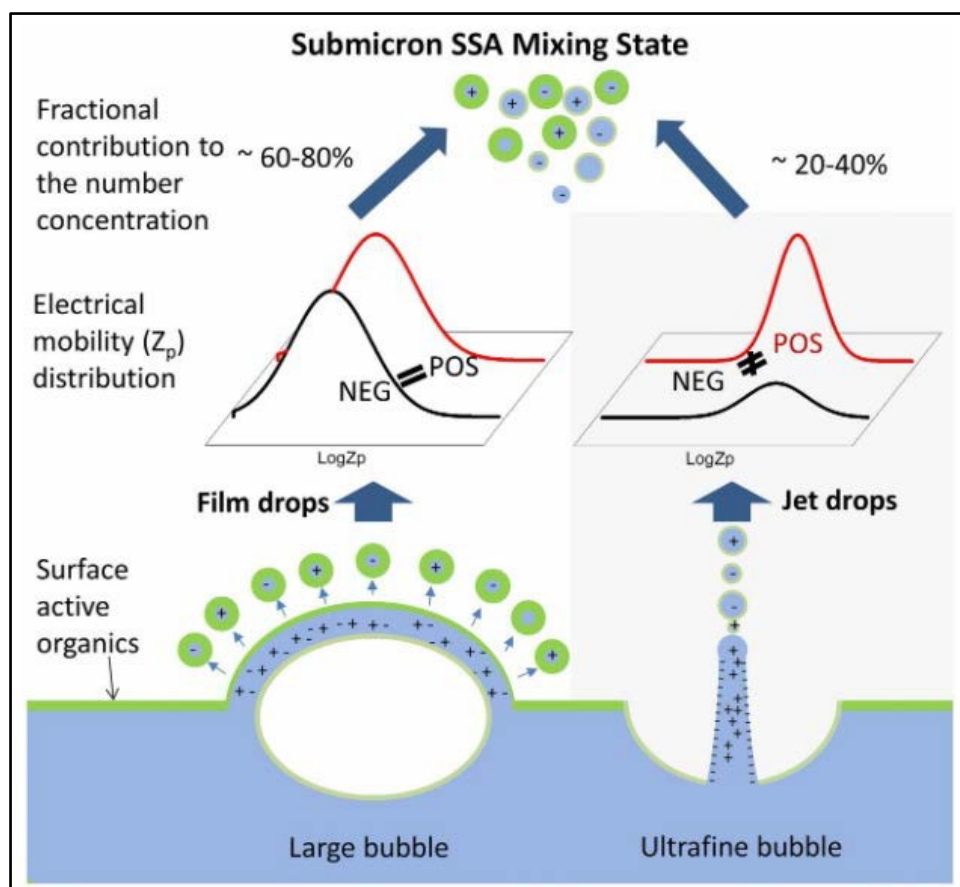
### **3.1.1 Origem, formação e composição.**

O spray marinho é originado, de acordo com Almeida (1999) e Norris *et al.*,(2013), por meio dos movimentos de arrebentações das ondas ocasionado pela ação dos ventos nas cristas das ondas e diminuição da profundidade do oceano próximo à linha de costa, com o, conseqüentemente, acúmulo de energia cinética.

Dessa maneira, o spray marinho pode ser formado por meio de dois processos: Film e Jet Drops, conforme observado na Figura 1. Esses processos foram encontrados por Wang *et al.* (2017), onde foram realizados vários experimentos e modelagem de explosões de bolhas que disponibilizam aerossóis para a atmosfera.

Foi desenvolvida, pelos autores, uma técnica que discrimina gotas de jato e filme de acordo com suas diferenças na mobilidade elétrica, conforme a carga elétrica e distribuição de carga nas gotas de jato e de filme, como pode ser observado na Figura 1. Geralmente, as gotas de jato carregam mais carga elétrica do que as gotas de filme. Assim, essa diferença foi usada para distinguir as gotas de jato e de filme, medindo a mobilidade elétrica de cada gota. Nesse estudo, foi quantificada a abundância relativa de partículas de gota de jato e de filme quando produzidas por um fonte geradora dos dois tipos de gotas simultaneamente. Assim, foi constatado que aproximadamente 43% no spray marinho é formado por meio do processo Jet Drops, mas que pode variar de acordo com a química da água no mar presente no local de formação.

Figura 1 - Mecanismo de produção do Film e Jet Drops.



Fonte: Wang *et al.* (2017).

Quanto à sua composição, o aerossol possui composição química muito diversificada, apresentando componentes orgânicos e inorgânicos. Essa variedade é decorrente da existência de várias fontes e diversos tipos de materiais particulados existentes na Terra. Na atmosfera, partículas podem ser formadas a partir de gases, variando a composição química. Assim, a complexidade das composições químicas dificultam sua caracterização. As partículas são afetadas por elementos locais e regionais, por fontes e transformações químicas na atmosfera, esses processos também pode afetar a composição do spray marinho em diferentes escalas (FITZGERALD, 1991).

De acordo com Fitzgerald (1991), os principais componentes do spray marinho são o sal marinho, o sulfato não salino do mar, o pó mineral e, em menor grau, os nitratos. Os sulfatos e nitratos não salinos apresentam fontes continentais e marinhas. É considerado pelo autor que a concentração de sais marinhos vai depender principalmente da velocidade do vento, podendo variar de 2 a 100  $\mu\text{g m}^{-3}$ . A poeira mineral é

transportada das regiões semiáridas e desérticas. Na Tabela 1 são apresentados as concentrações dos principais constituintes dos aerossóis oceânicos, conforme pesquisas. É importante salientar que o sal marinho não tem uma fonte continental, sendo caracterizado por composição semelhante à água do mar.

Tabela 1 - Concentração dos principais constituintes do spray marinho.

Constituinte	Concentração de Massa ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Localização	Referência
Sal Marinho	2,5-8,0	Pacífico Equatorial e Tropical Galápagos ao Hawaii	Raemdonck, Maenhaut e Andreae (1986)
	2,7-35,0	Atlântico Norte ( $60^{\circ}\text{N}$ , $18^{\circ}\text{W}$ ) $U < 10\text{m s}^{-1}$	Lovett (1978)
	1,2-55,0	Atlântico Sul ( $40-60^{\circ}\text{S}$ , $40-55^{\circ}\text{W}$ )	Lepple <i>et al.</i> (1983)
	2,0-20,0	Cape Grim, Tasmania $U < 10\text{m s}^{-1}$	Gras and Ayers (1983)
Sulfato não marinho	0,3-1,1	Pacífico Equatorial Leste Galápagos ao Hawaii	Parungo <i>et al.</i> (1987)
	0,2-0,65	Pacífico Equatorial Oriental	Raemdonck, Maenhaut e Andreae (1986)
	0,15*	Panama ao Tahiti	Maenhaut <i>et al.</i> (1983)
	0,35	Oceano Índico (Clean S. Hemisphere air)	Savoie <i>et al.</i> (1987)
Poeira mineral	0,1	Pacífico Equatorial e Tropical Galápagos ao Hawaii	Raemdonck, Maenhaut e Andreae (1986)
	0,07	Galápagos ao Tahiti	Maenhaut <i>et al.</i> (1983)

	0,2	Camada Limite do Oceano Pacífico (12°N-45°S)	Patterson <i>et al.</i> (1980)
	0,27	Oceano Índico, Ar do hemisfério Sul	Savoie <i>et al.</i> (1987)
	0,04-0,045 <sup>+</sup>	Oceano Pacífico (Clean air)	Uematsu <i>et al.</i> (1983)
	0,005-0,1	Pacífico Cental Tropical	Uematsu <i>et al.</i> (1983)
	0,001-8,0	Atlântico Norte (Centro e Norte)	Prospero (1979)
	0,35 <sub>+</sub> <sup>+</sup>		
Nitrato	0,16	Oceano Índico, Ar do Hemisfério Sul	Savoie <i>et al.</i> (1987)
	0,1-0,2	Pacífico Equatorial Leste	Parungo <i>et al.</i> (1987)
	0,11	Pacífico Sul Tropical	Savoie <i>et al.</i> (1989)

Fonte: Adaptado de Fitzgerald (1991).

Legenda: \* : Valores únicos são meio aritméticos, exceto conforme indicado; <sup>+</sup>: Faixa de valores médios em vários locais da ilha; <sub>+</sub><sup>+</sup>: Média geométrica.

A composição dos sais do spray marinho, de acordo com Millero (2013), é composta por um padrão de concentrações de vários sais similar à composição da água do mar, como pode ser observado na Tabela 2:

Tabela 2 - Concentração de sais encontrados em 1 Kg de água do mar com Cl = 19,374%.

Especies	g <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>	e <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>
Na <sup>+</sup>	10,7838	0,46907	0,46907	0,46907
Mg <sup>2+</sup>	1,2837	0,05282	0,10563	0,21127
Ca <sup>2+</sup>	0,4121	0,01028	0,02056	0,04113
K <sup>+</sup>	0,3991	0,01021	0,01021	0,01021
Sr <sup>2+</sup>	0,0079	0,00009	0,00018	0,00036
Cl <sup>-</sup>	19,3529	0,54588	0,54587	0,54587
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,7124	0,02824	0,05648	0,11294
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1070	0,00175	0,00175	0,00175
Br <sup>-</sup>	0,0672	0,00084	0,00084	0,00084

$\text{CO}_3^{2-}$	0,0161	0,00027	0,00054	0,00107
$\text{B(OH)}_4^-$	0,0079	0,00079	0,00079	0,00079
$\text{F}^-$	0,0013	0,00013	0,00013	0,00013
$\text{OH}^-$	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001
$1/2\Sigma=$		0,55981	0,60566	0,69717
$\text{B(OH)}_3$	0,0193	0,00031	0,00031	
	$g_r =$ 35,171	$n_T = 0,56012$	$m_T = 0,60597$	$I_T = 0,69717$

Fonte: Adaptado de Millero (2013).

Assim, espera-se, que o spray marinho apresente a proporção de sais similar à encontrada na Tabela 2 em sua composição, a qual está relacionada com a massa de água marinha de origem.

### 3.1.2 Partição gás/partícula

Além da composição química com vários tipos de sais e outros componentes em sua composição, o spray marinho apresenta uma partição gás/partícula, ou seja, parte do spray marinho se encontra na fração gasosa e outra parte encontra-se na fração particulada.

Os aerossóis atmosféricos, de acordo com evidências observadas em Shiraiwa *et al.* (2013) exibem, frequentemente, separação de fases predominantemente orgânicas e aquosas ricas em eletrólitos. Neste estudo foi ilustrado teoricamente a interação do estado físico, a não idealidade e a morfologia das partículas que afetam a concentração de massa do aerossol e a escala de tempo das transferência de massa gás-partícula. De acordo com os autores, a separação de fases pode afetar, significativamente, a composição química e a massa global de partículas.

Em laboratório, foram feitas várias análises, modelagens e estudos para se chegar até uma razão que identifica quanto da massa de diversas partículas estão na fração gasosa e quanto está na fração particulada. A maioria dos estudos são focados em substâncias orgânicas presentes na atmosfera. A partição gás/partícula do spray marinho é ainda muito pouco comprovada, sendo necessários estudos e modelagens para se chegar numa proporção entre as partições dos componentes do spray marinho.

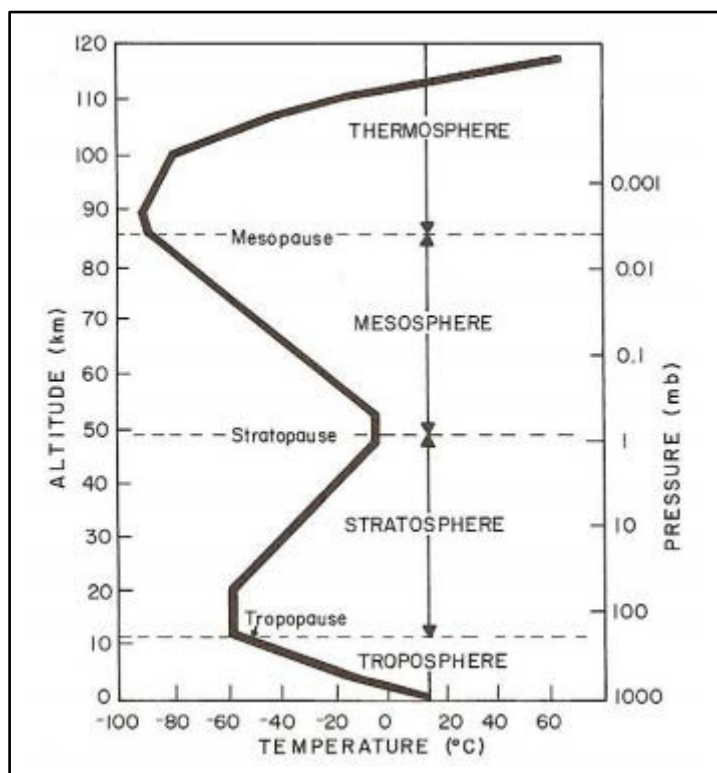
### 3.1.3 Fatores influentes na distribuição espacial do spray marinho

Quando disponibilizado na atmosfera, o spray marinho passa à sofrer influências e interações direta e indireta com diversos fatores, como: camada limite planetária (CLP), turbulência e estabilidade atmosférica, dinâmica atmosférica, temperatura e umidade, além de outras variáveis meteorológicas, topografia, interação com aerossóis oriundos de áreas rurais e urbanas, etc.

#### 3.1.3.1 Camada Limite Planetária (CLP)

De acordo com Arya (2005), a atmosfera terrestre é dividida em camadas delimitadas pelo perfil da temperatura absoluta média. As diferenças no perfil da temperatura absoluta média vai definir a estratificação da atmosfera em: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera, conforme observa na Figura 2:

Figura 2 - Estratigrafia da atmosfera.



Fonte: Adaptado de Arya (2005).

A Camada Limite Planetária (CLP) ou Camada Limite Atmosférica (CLA) consiste na camada da atmosfera que é influenciada, diretamente, pelas trocas de

momentum, calor e vapor d'água entre a superfície terrestre e a atmosfera, ou seja, consiste na parte mais baixa da Troposfera, aquela que tem contato direto com a superfície terrestre, correspondendo a uma camada de 1 ou 2 Km acima da superfície terrestre. Nessa camada, os efeitos de turbulência são responsáveis por dominarem o escoamento das massas de ar (KAIMAL, FINNIGAN 1994). O atrito com a superfície, processos de evapotranspiração, transferência de calor, emissão de poluentes e modificações do escoamento por influência topográfica são forçantes que induzem e intensificam a troca entre superfície e atmosfera (STULL 1991).

De acordo com Wallace e Hobbs (2006), a camada limite consiste na parte da baixa troposfera que sente os efeitos da superfície subjacente, e pode variar entre 1 e 2 Km, podendo variar mais de 4 Km em algumas condições.

A turbulência e a CLP são responsáveis pela dispersão eficiente dos poluentes atmosféricos e aprisionamento dos poluentes dentro da camada limite, respectivamente, mas não só dos poluentes, como de todas as moléculas presentes nessa camada. A física e a dinâmica da camada limite influenciam, diretamente, em mudanças de temperatura, umidade, distribuição de pólen e partículas, ventos e comportamento dos poluentes presentes na atmosfera (WALLACE; HOBBS, 2006).

Vale ressaltar que a importância dessa camada está, além das naturais, na razão de ser a camada que abriga todas as atividades humanas e que recebe todo o impacto das atividades antrópicas (STULL, 1991).

### *3.1.3.2 Turbulência e Estabilidade Atmosférica*

A turbulência está altamente presente na CLP e é fundamental para o transporte de massa, calor e momentum, considerada mais eficiente que a difusão molecular pura (STULL, 1991).

As maiores escalas de movimento horizontal na atmosfera são de circulação planetária, escalas um pouco menores são ciclones, anticiclones e ondas de escala sinótica na corrente de jato, mesoescala tem tamanho escalar médio (incluem zonas frontais, bandas de chuva, as maiores tempestades e complexos de nuvens, e vários fluxos ondulados em terreno), microescalas são escalas ainda menores (contêm escalas de camada limite com cerca de 2 Km, e as menores escalas de turbulência contidas

dentro dela e das nuvens. De acordo com Wallace e Hobbs (2006), o fluxo atmosférico é decorrente da superposição complexa de várias escalas horizontais diferentes de movimento.

De acordo com o autor, a turbulência pode ser gerada mecanicamente, termicamente ou inercialmente. A turbulência mecânica é formada pelo cisalhamento do vento médio (causado por atrito ou fricção). A turbulência térmica ou convectiva consiste em plumas ou térmicas de ar quente que sobem e ar frio que afunda devido às forças de flutuação. A turbulência inercial é uma forma especial de turbulência de cisalhamento (gerado por redemoinhos maiores, onde pequenos redemoinhos são gerados ao longo das bordas de grandes redemoinhos - processo chamado de cascata turbulenta).

Com isso, a turbulência é uma resposta natural às instabilidades no fluxo na tentativa de reduzir a instabilidade, correspondente ao princípio Le Chatelier em química. A turbulência, além disso, pode persistir devido à desestabilização contínua por forças externas (aquecimento do solo pelo sol, por exemplo), compensando a estabilização contínua por turbulência (WALLACE e HOBBS, 2006).

Quanto à estabilidade atmosférica, é considerado por Wallace e Hobbs (2006) que a inversão da camada de contenção entre o limite e o restante da troposfera pode ser atribuída à contribuição da turbulência e da estabilidade estática para a formação de uma camada estável e forte. Assim, quando a superfície da terra é mais quente que o ar a camada limite é considerada instável, quando a superfície da terra é mais fria que o ar a camada limite é considerada estável. As camadas limites neutras são formadas em condições com vento e nevoeiro, estando num estado de convecção forçada.

### *3.1.3.3 Variáveis Meteorológicas*

As variáveis atmosféricas influenciam diretamente na concentração de poluentes atmosféricos, bem como na dispersão dos mesmos (MAIA, G., CÁCERES, M., GIODA, A., 2017), assim como influenciam na concentração e distribuição espacial de outros componentes atmosféricos, como o spray marinho. Nesse estudo, serão abordados três variáveis meteorológicas, das várias existentes: temperatura, umidade e vento.

A temperatura corresponde, de acordo com Maia, G; Caceres M; Guioda, A (2017), à medida da energia presente nas moléculas das substâncias. Ela influencia no comportamento de componentes atmosféricos de acordo com as características moleculares de cada um, atuando em sua energia, no comportamento e proximidade das

moléculas. De acordo com o grau de agitação entre as moléculas promovido pelo aumento ou redução da temperatura, pode haver uma alteração de fases, peso molecular, e distribuição espacial das moléculas de acordo com suas características físico-químicas, e, até mesmo, mudanças no seu coeficiente de difusão no ar (CRUZ; CAMPOS, 2002). Além disso, aumento da temperatura faz com que ocorra maiores agitações entre as moléculas, assim elas podem ficar mais propícias a reações químicas com outras moléculas adjacentes, além de se espalharem com maior facilidade e rapidez na massa de ar.

A umidade é considerada como presença de moléculas de água em determinado volume de massa de ar, atua diretamente sobre o comportamento dos componentes da atmosfera. Alguns compostos solúveis e material particulado apresentam relação direta com a umidade do ar. Assim, a umidade funciona como agente da dinâmica de poluentes e compostos da atmosfera, principalmente quando considerado o material particulado e gases solúveis e reativos com água (MAIA, G., CÁCERES, M., GIODA, A., 2017). Altos níveis de umidade, acarretando em precipitação podem funcionar, também, como um sistema de limpeza da atmosfera, "wash out" de acordo com Assunção (2009).

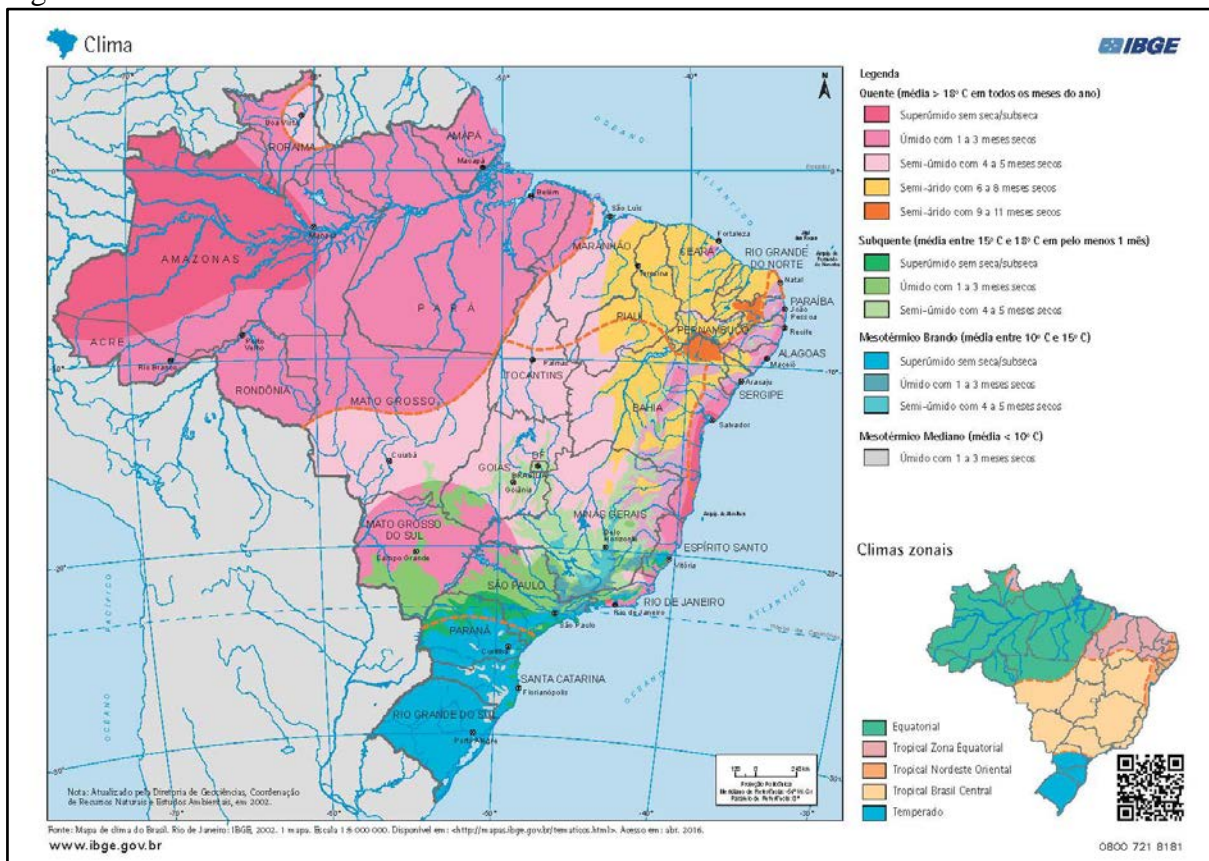
Os ventos, movimentos de massas de ar por diferença de pressão, atuam sobre os componentes atmosféricos de acordo com sua distribuição espacial, podendo atuar na diluição ou concentração dos compostos em determinadas regiões (MAIA, G., CÁCERES, M., GIODA, A., 2017). As variáveis dos ventos são sua velocidade e direção. De acordo com as autoras, os ventos que atuam sobre o solo e superfície das cristas das ondas suspendem partículas de solo e sais marinhos, considerados particulados de origem natural.

De acordo com Lyra (2001), a qualidade do ar depende das variáveis atmosféricas dominantes responsáveis pelo transporte, transformação e dispersão de poluentes. Esse comportamento atua não somente sobre os poluentes, mas sobre todas as partículas e gases presentes na atmosfera, inclusive o spray marinho.

Quanto ao clima característico do semiárido nordestino, observa-se o predomínio de elevadas taxas de insolação, elevadas temperaturas e baixas amplitudes térmicas. Os níveis pluviométricos desta região apresentam níveis baixos e alta variabilidade espaço temporal. Além disso, são observadas elevadas taxas de evapotranspiração e elevado déficit hídrico (ZANELLA, 2014). Assim, no Ceará, o tipo climático apresenta características de Clima Tropical, que apresenta algumas

particularidades conforme a geografia do território cearense, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Clima.



Fonte: Mapa de clima do Brasil (IBGE, 2002).

Como pode-se observar na Figura 3, o clima da região de Fortaleza, é predominante Tropical quente subúmido, com médias pluviométricas elevadas, em torno de 1.500 mm/ano, isso se deve à proximidade com a faixa litorânea. (MAGALHÃES, G.B.; ZANELLA, M. E., 2011). Anualmente, Fortaleza apresenta temperaturas médias anuais em torno de 27°C, podendo variar de acordo com o período de maior e menor precipitação, e, também, de acordo com o comportamento dos ventos na área (BEZERRA, 1989). Na região de estudo, o clima tropical é classificado, de acordo com Köppen e Geiger como clima Aw, ou seja, clima tropical, com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no período do verão e nítida estação seca no inverno (EMBRAPA, 2020).

No Ceará, o regime eólico é controlado, basicamente, pelos ventos alísios, que atingem o litoral de Fortaleza-CE. No primeiro semestre do ano há a entrada dos

alísios de NE, principalmente na quadra chuvosa os alísios de Nordeste, com velocidade média de 4m/s; no segundo semestre, com velocidade média de 7m/s se destacam os alísios do quadrante Leste/Sudeste, que predominam na região (MAGALHÃES, G.B.; ZANELLA, M. E., 2011). Durante o período anual, também, ocorre a penetração de alísios de Leste. Os alísios interagindo entre si e com as brisas marinhas e terrestres, formadas diariamente, com a direção perpendicular à linha de costa, produzem uma direção final do vento orientada para leste (CLAUDINO SALES, 2005).

Fortaleza tem um marco na sua caracterização climática que são períodos secos e chuvosos bem delimitados. Considerando um ano, o período de chuvas compreende os seis primeiros meses do ano (primeiro semestre) e o período de seca ou estiagem compreende os seis meses seguintes do ano (segundo semestre) (MOURA et al., 2015).

De acordo com Zanella, Sales e Abreu (2009), com relação à distribuição mensal dos eventos intensos diários de chuvas, foi observado um maior número de eventos chuvosos em março e abril, durante esses meses, também, foram observadas as maiores precipitações mensais. Neste período ocorre a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) com maior intensidade sobre a região Norte e Nordeste do Brasil, o que acaba contribuindo com a maior frequência e volume de chuva na região de Fortaleza-CE.

#### *3.1.3.4 Topografia*

A topografia é um fator que influencia na distribuição espacial do spray marinho, principalmente, quando considerando a distribuição do spray marinho nas zonas costeiras.

O Ceará apresenta como característica geral de sua topografia de área litorânea planícies de baixa altitude, a parte mais central do Estado é marcado pela depressão sertaneja e as bordas sul e oeste por estruturas sedimentares de maior altitude, os planaltos. De acordo com Souza (1988), o Estado do Ceará apresenta três Domínios de unidades morfoestruturais: Planícies e Terrenos Fluviais; Chapadas e Planaltos; Escudos e Maciços antigos. Além dessa definição, foram utilizadas várias outras correspondentes à morfoescultura, litoestratigrafia e geoambientes para a demarcação, a partir da unidade escalar geossistêmica, das unidades geoambientais do Ceará por Sousa; Lima & Morais

(2000), constatando que as unidades geoambientais do Ceará são: Planícies Litorâneas e de Acumulação Fluvial e os Terraços, Planalto Sedimentar, Depressão Periférica úmida e Sub-úmidas, Maciços Residuais, Depressão Sertaneja Semi-áridas

Já Fortaleza, capital do Estado, é caracterizada por seus componentes de núcleo urbano, com caráter mais verticalizado, formação de canyons urbanos e outras estruturas que variam com a composição arquitetônica e uso do solo em toda a cidade. O mosaico de uso do solo diferenciado em áreas residenciais de alta, média e baixa classe, áreas comerciais, industriais, turísticas e de lazer, e com cobertura vegetal são responsáveis por diferentes interações e comportamento do spray marinho, o qual vai se espalhando para o continente a partir da sua área de formação por influências meteorológicas (SANTOS, 2018).

### **3.2 Poluição Atmosférica**

A poluição atmosférica teve maior destaque para a sociedade mundial com o crescimento de fontes emissoras, como indústrias, aglomerados urbanos, atividades de queima de combustíveis fósseis e outros materiais.

Em escala global, a poluição atmosférica é, segundo Castro (1999), fortemente condicionada pelos oceanos, tendo em vista o seu funcionamento simultâneo como reservatório e fonte de diversos elementos atmosféricos importantes para os processos que acontecem na atmosfera. A interação de massas oceânicas e costeiras determinam um comportamento diferenciado da atmosfera costeira, onde as reações químicas do spray marinho com emissões de atividades antropogênicas, principalmente, vão causar uma série de modificações da dinâmica atmosférica nessas regiões.

#### **3.2.1 Interações com o spray marinho**

De acordo com Campos (2007), o spray marinho, com sua composição semelhante à água do mar, apresenta uma interferência benéfica nos processos de formação e precipitação da chuva, podendo ser incorporado a componentes químicos da fração gasosa e particulada em suspensão na atmosfera. O spray marinho pode atuar na neutralização de parte da acidez da chuva através da interação gás/partícula ou partícula/partícula. Assim, as massas de ar provenientes dos oceanos ricas em spray marinho podem atuar em áreas urbanas e industriais, principalmente, localizadas

próximas às zonas costeiras como agentes neutralizantes dos poluentes antrópicos emitidos em grande escala nessas regiões que ocasionam a formação de chuva, neblina e névoa ácida, como o  $\text{NO}_2$  e o  $\text{SO}_2$ , observados em Marques (2017).

Nas interações desses poluentes com o spray marinho, é observado em, uma redução nas concentrações de  $\text{Cl}^-$ , o qual reage com o  $\text{H}^+$  presente na atmosfera e forma o composto  $\text{HCl}$ , por meio do processo de volatilização. Assim, a interação de substâncias ácidas presentes na atmosfera, como  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , e o spray marinho, é responsável por constituir um dos principais processos de emissão de  $\text{HCl}$  para a atmosfera (Clegg e Brimblecombe, 1985; Moller, 1990; Matsumoto e Tanaka, 1996).

De acordo com Moura *et al.* (2011), os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) são poluentes de grande persistência no ambiente. Esses compostos possuem importantes efeitos carcinogênicos, mutagênicos e genotóxicos conforme observado em Netto ADP (2000). Também, segundo Moura *et al.* (2011), os HPAs são formados por meio da combustão de combustíveis fósseis. Desta forma, incêndios florestais, processos industriais e atividades petroquímicas são os principais contribuintes para a contaminação ambientais por HPAs, conforme Meire, RO (2007) e Fleming, LE (2006). Observa-se que as principais fontes deste poluente são de origem antropogênica e podem ter emissões tanto no ambiente marinho (plataformas petroquímicas), como em várias atividades situadas no continente. Porém, os HPAs, também, podem ser formados e disponibilizados de fontes naturais, porém numa escala muito menores (MOURA *et al.*, 2011). Os HPAs são altamente lipossolúveis e rapidamente absorvidos nos intestinos, pulmões e pele de animais, fato preocupante, considerando os efeitos carcinogênicos de alguns HPAs (FLEMING, LE, 2006), (NETTO, ADP, 2000). Assim, a ação do spray marinho sobre esse poluente é altamente importante, afim de minimizar os impactos negativos que alguns desses compostos apresentam de maneira tão alarmante.

De acordo com Silva, Beretta e Tavares (2015), o spray marinho tem um efeito purificador sobre os HPAS. De acordo com o estudo realizado, foi indicado que, possivelmente, as partículas marinhas assimilaram alcanos gasosos, exercendo, assim, a função de purificar a atmosfera desses compostos.

Além da interação com esses dois poluentes, o spray marinho pode interagir na atmosfera com outros poluentes e partículas disponíveis na atmosfera.

Além dessas interações, as partículas do spray marinho apresentam tamanho da ordem do comprimento de onda da luz visível, o que o torna uma eficiente barreira de

radiação solar, podendo afetar o balanço de radiação atmosférica e interferir no processo de formação ou depleção de alguns poluentes que dependem de determinados comprimentos de onda para realizarem suas reações químicas (Haywood & Boucher, 2000).

### **3.3 Amostragens do Spray Marinho**

Em alguns estudos com o spray marinho, observam-se diferentes metodologias utilizadas para análise e quantificação da partição gasosa e particulada. Em Pontes (2006), o estudo foi realizado na orla marítima de Boa Viagem (Recife/PE), utilizando-se o método da vela úmida para a quantificação do spray marinho seguindo-se a ABNT-NBR 6211 (2001), que consiste na determinação, por meio de análise química, do teor de cloretos inorgânicos existentes na atmosfera e depositados numa superfície de área conhecida em determinado período de tempo específico.

Em Boba Jr (2011), o estudo foi realizado na grande Vitória (ES) em localidades próximas ao mar expondo concretos ao ataque de cloretos. A determinação de cloretos foi realizada utilizando como base o ensaio da Vela Úmida seguindo as recomendações da ABNT-NBR 6211 (2001) - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida e ASTM G 140 (2002). Simultaneamente, foram monitorados parâmetros climatológicos da região.

Em Fortaleza, Silva (2011), fez a determinação de cloretos em suspensão na atmosfera conforme a NBR 6211 (ABNT, 2001), fundamentada na norma americana ASTM D512 - 89 (ASTM, 1989). O princípio do método é baseado na titulação do íons cloro absorvido na água contendo glicerol, com uma solução diluída de nitrato de mercúrio, na presença do indicador misto. O complexo mercúrio-difenicarbazona (cor azul violeta) indica o ponto de titulação. Os resultados são expressos em massa de cloreto por unidade de área e tempo, conforme NBR 6211 (ABNT, 2001).

Na Praia do Futuro, em Fortaleza/CE, praia conhecida pela alta influência e dinamicidade da maresia, foi realizado um estudo afim de avaliar a durabilidade de concretos expostos aos cloretos de névoa salina por Portela (2013).

Outro estudo realizou a determinação do teor de íons cloro em suspensão e disseminados no ar atmosférico conforme a NBR 6211 (ABNT, 2001), fundamentada na norma ASTM D512 - 89 (ASTM, 1989) foi o de Romano (2009) que avaliou o ingresso de íons cloro no concreto no litoral do município de Tramandaí, no Rio Grande

do Sul.

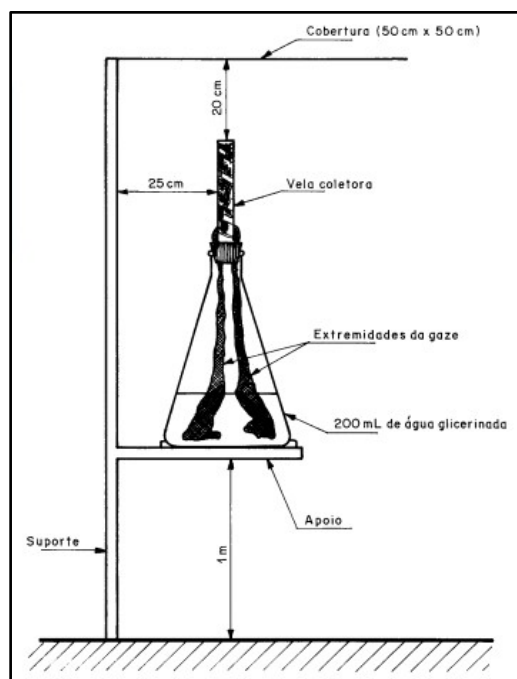
Também, em Fortaleza, Campos (2016) realiza o mapeamento da agressividade do ar atmosférico de acordo com o teor de deposição de íons cloro. Nesse estudo foi quantificada a partição gasosa do spray marinho através do método da Vela Úmida conforme a NBR 6211 (ABNT, 2001), fundamentada na norma americana ASTM D512 - 89 (ASTM, 1989).

Outros estudos que utilizaram o método da Vela Úmida em suas metodologias foram: Guimarães, Castagno e Helene (2003) que analisaram a estrutura do Terminal de Containers no porto marítimo de Rio Grande, e Meira *et al.* (2004) que mediu o teor de cloretos em relação à distância da água do mar em João Pessoa.

O método da Vela Úmida consiste, segundo ABNT - NBR 6211 (2001), na determinação do teor de cloretos inorgânicos existentes na atmosfera através de análise química que são depositados sobre uma superfície de área conhecida, num determinado período de tempo específico. O método aplica-se para a determinação de cloretos solúveis em água, como àqueles existentes em atmosfera marinha e ácido clorídrico (HCl) oriundo de atmosferas poluídas. Este método tem como base a norma americana ASTM D 512-89: 1999 - Standard test methods for chloride ion in water.

A análise da partição gasosa do spray marinho através do método da vela úmida (Figura 4), é considerado bastante retrógrado e com baixa confiabilidade nos resultados por alguns estudiosos e não permite a identificação dos sais presentes na amostra, nem a quantificação das concentrações dos sais, sendo possível, somente a detecção de cloretos solúveis em água e ácido clorídrico proveniente de atmosferas poluídas.

Figura 4 - Esquema da Vela Úmida.



Fonte: ABNT - NBR 6211 (2001).

O método de amostragem da vela úmida consiste na preparação da vela e no procedimento de amostragem. A preparação da vela consiste na fixação do frasco coletor (cilindro envolvido com gaze cirúrgica, fixado num frasco coletor de vidro por meio de uma rolha - Figura 4) com 200 mL de água glicerizada. O procedimento de amostragem consiste na instalação e exposição da vela úmida num período de 30 dias, após esse período, a gaze é desenrolada com uma pinça e armazenada em recipiente com 200 mL de água sob agitação e a água da lavagem é armazenada e unida à solução presente dentro do frasco coletor, após levar para a quantificação por meio do processo de titulação.

Além da quantificação da partição gasosa, a spray marinho, é, também, quantificado em sua partição particulada.

No oceano pacífico ocidental, Mochida (2003), analisou a variação da sazonalidade e origem dos ácidos dicarboxílicos na atmosfera marinha. Porém, a metodologia utilizada se assemelha e é utilizada como base para a análise da partição particulada do spray marinho, utilizando-se o Hi-Vol para coleta.

Além da quantificação gasosa e particulada do spray marinho por meio do método da Vela Úmida e do Hi-Vol, respectivamente, existem outros trabalhos que utilizam outros métodos de amostragem do spray marinho, e análise de quantificação como a que utiliza o Raio-X para determinação de resultados sobre o spray marinho.

## 4 METODOLOGIA

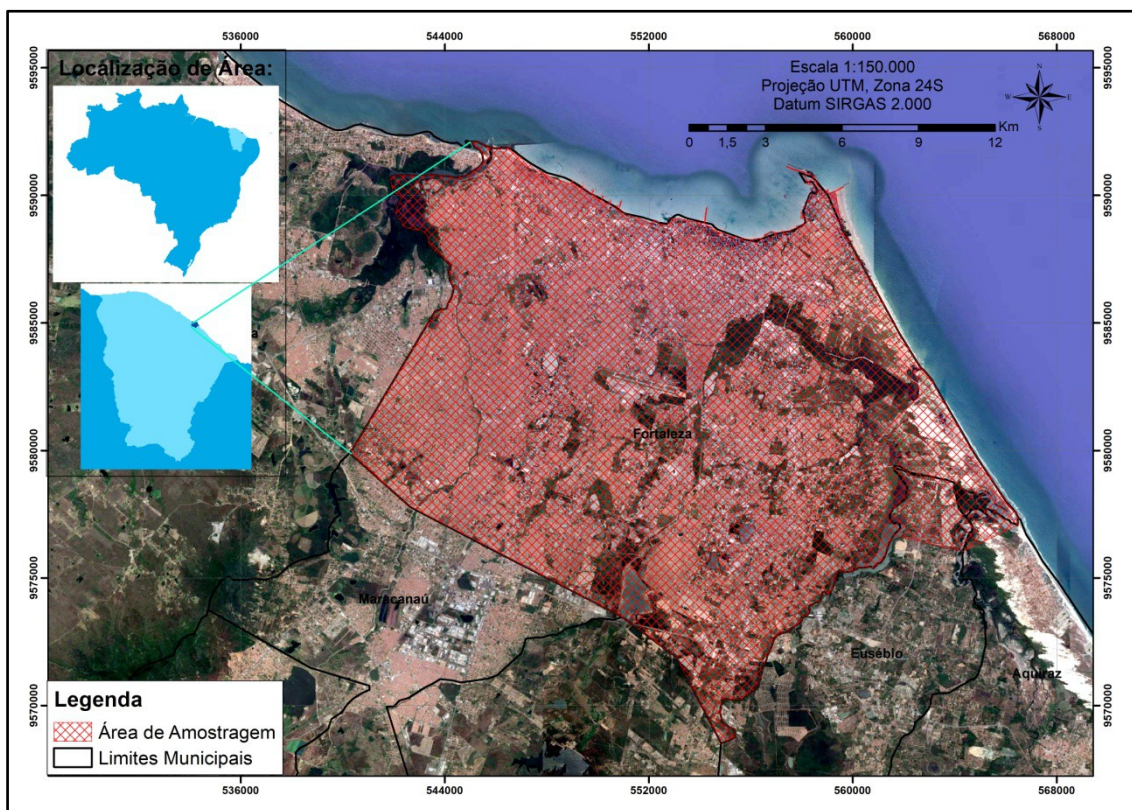
### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

Esse estudo teve seu desenvolvimento realizado em Fortaleza/CE. Cidade que tem, de acordo com Brasil (2012), uma linha de costa com 34 Km, no nordeste do Brasil, numa altitude média de 21 metros, com latitude  $03^{\circ}43'02''S$  e longitude  $38^{\circ}32'35''O$ . Possui, aproximadamente, 2.452.185 habitantes e tem uma área de 314.930  $km^2$  de acordo com o ultimo SENSO realizado pelo IBGE em 2010. É a capital de maior densidade demográfica do país, com 7.786,44 hab/ $km^2$  e é a cidade mais populosa do Ceará, a quinta do Brasil. Com base em estatística realizadas pelo órgão, em 2019 a população estimada de Fortaleza-Ce é de 2.669.342 pessoas (IBGE, 2017).

O município apresenta duas estações climáticas bem definidas, a chuvosa (entre janeiro e junho) e a seca (entre julho e dezembro), com temperaturas médias variando de 25 a 30°C, velocidade média anual dos ventos de 3,53m/s e médias pluviométricas de 1600mm (SOUSA, 2011).

A área de estudo deste trabalho está demarcada na Figura 5, onde é possível observar que a área compreende todo o município de Fortaleza-CE, e uma pequena região do Eusébio-CE, que foi selecionada devido sua localização, tendo em vista proximidade com área costeira e estuarina do Rio Pacoti e grande influência dos ventos de sudeste e leste predominantes na região, que resultam na movimentação de massa de ar rica em spray marinho para Fortaleza-CE.

Figura 5 - Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pela autora com arquivos shp. de COGERH (2019) adaptados.

Na área de estudo, é possível observar componentes ambientais de zona costeira (dunas, rios, estuários), concentrado núcleo urbano, vegetação que engloba os biomas: caatinga, manguezal, tabuleiro litorâneo e mata ciliar. A grande linha de costa de Fortaleza e a presença de estuários em seu território são ambientes propícios para a formação e disponibilidade atmosférica de spray marinho por possuírem águas com teores salinos. Assim, as áreas costeiras e estuarinas têm grande influência na salinidade atmosférica do Município.

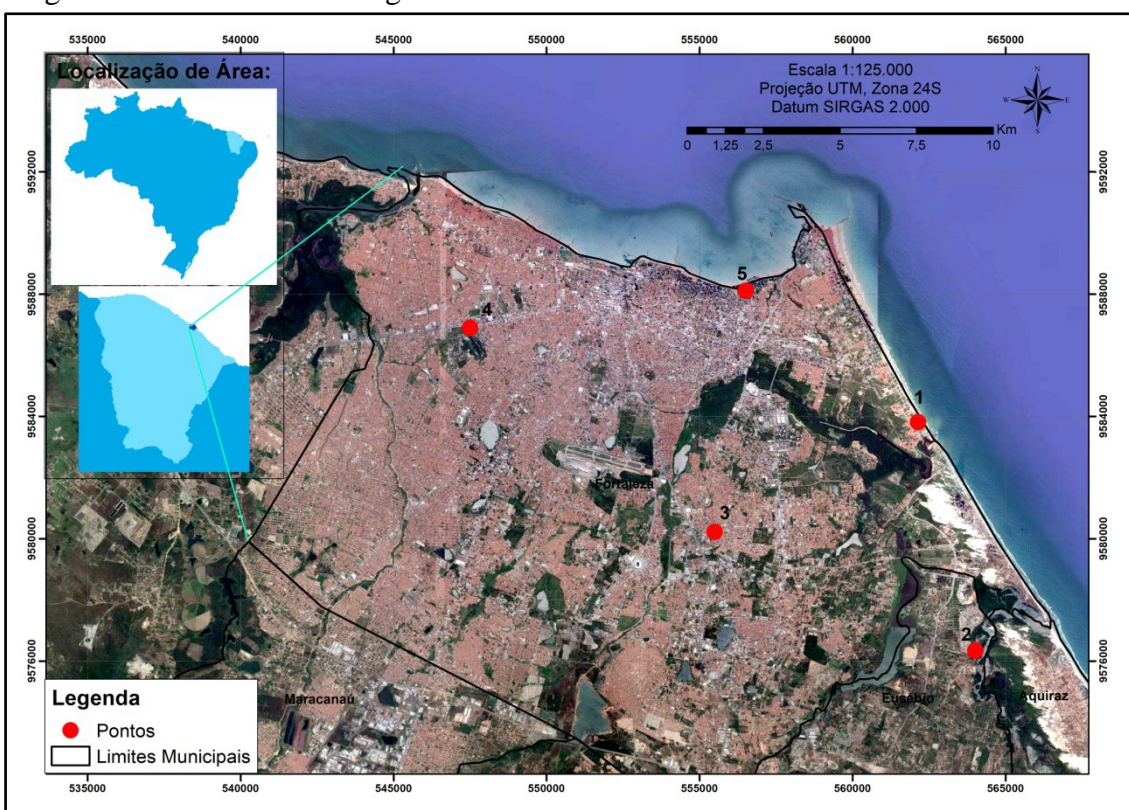
#### 4.2 Estratégias de Amostragem

Neste estudo foram realizadas três campanhas de amostragem da partição gasosa e particulada em Fortaleza-CE. As campanhas ocorreram em Junho, Setembro e Dezembro, respectivamente com o intuito de analisar influências ambientais, como: pluviosidade e alterações de velocidade e direção do vento.

Foram distribuídos 5 pontos de amostragem na área de estudo, conforme a Figura 6. Os pontos de coleta tiveram como intuito abranger áreas próximas à linha de

costa e mais para dentro da área continental, além de considerar a direção predominante dos ventos na região (sudeste e leste). O ponto 2, localizado no município do Eusébio, teve essa localização devido à proximidade com a zona estuarina do Rio Pacoti, que apresenta elevados níveis de salinidade, principalmente nos períodos de estiagem, e pela ação dos ventos predominantes na região que levam as massas de ar ricas em spray marinho formados na linha de costa e zona estuarina para o município de Fortaleza-CE.

Figura 6 - Pontos de amostragem na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora com arquivos shp da COGERH (2019) adaptados.

De acordo com a Figura 6, observa-se a proximidade e grande influência da área de formação do spray marinho nos Pontos 1 e 5 de amostragem, afim de ter a menor influência dos fatores que envolvem a dispersão do spray marinho no continente.

A amostragem consistiu na coleta da salinidade atmosférica em suas partições gasosas e particuladas através da amostragem passiva da partição gasosa com a elaboração de uma metodologia específica, tendo como base o método da Vela Úmida e Standard Método, e amostragem ativa da partição particulada utilizando o equipamento HiVol para as coletas (ABNT - NBR 6211, 2001).

Os cinco pontos de amostragem deste estudo estão especificados na Tabela

3, onde é possível observar sua localização e característica de litoral, área continental urbana e área próxima à zona estuarina.

Tabela 3 - Pontos de Amostragem.

Pontos	Localização		Características
	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	
1	562135,41 mE	9583815,00 mS	Área litorânea
2	564006,97 mE	9576340,36 mS	Próximo ao Estuário do Rio Pacoti
3	555491,92 mE	9580222,97 mS	Área urbana
4	547495,06 mE	9586890,98 mS	Área urbana
5	556508,00 mE	9588108,52 mS	Área litorânea

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: UTM - Universal Transversa de Mercator. mE - metros Leste. mS - metros Sul.

Os pontos de amostragem foram escolhidos de acordo com sua localização, características e possível influência direta ou não do spray marinho oriundo da zona costeira.

As coletas foram realizadas em 3 campanhas, compreendendo os respectivos períodos: 11 à 15 de Junho; 02 à 06 de Setembro; 02 à 06 de Dezembro durante o ano de 2019.

O Ponto 1 de amostragem (Figura 7) está localizado próximo à linha de costa da Praia do Futuro, no Colégio EMEIF Frei Tito de Alencar Lima (Caça e Pesca - Av. Dioguinho, 5927 - Praia do Futuro II, Fortaleza - CE, 60181-770). A Praia do Futuro, região litorânea de Fortaleza-Ce, é considerada, uma das praias mais atingidas pela maresia em escala mundial, a qual provoca vários danos à estrutura física urbana instalada na orla e suas proximidades com danos nos ferros de vigas e pilares de construções, corrosão de postes e fiação elétrica, eletrodomésticos, automóveis. Fortaleza, de acordo com estudos do Centro de Pesquisa da Eletrobrás (CEPEL), possui o

segundo lugar no índice de poluição salina mundial (maresia), perdendo apenas para a região do Mar Morto, em Israel (MAREZIA..., 2000).

Figura 7 - Ponto 1 de Amostragem.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

O ponto 1, na Praia do Futuro, foi selecionado devido ao seu histórico de maiores índices de salinidade atmosférica e pelo impacto negativo que existe na área urbana dessa região. A partir dos dados deste estudo será possível comprovar cientificamente os níveis de salinidade desta região, além de observar a distribuição da salinidade atmosférica nessa região e suas adjacências.

O Ponto 2 de amostragem (Figura 8) está localizado próximo ao estuário do Rio Pacoti, no Centro de Estudos em Aquicultura Costeira (CEAC), campus de pesquisa e extensão vinculado ao Labomar/UFC (Rua Coronel Ednardo Weyne, s/n - Cararu-Mangabeira, Eusébio - CE, 61760-000). Esse ponto encontra-se próximo à zona de praia e à zona estuarina, as quais são fontes de emissão de sais para a atmosfera por

meio da formação de spray marinho em áreas de arrebentação de ondas e ação de vento na superfície de águas salinas. Além disso, nos manguezais, devido ao processo metabólico do mangue, há, também, liberação de sais para a atmosfera por meio da vegetação secretora de sais, que expele sais para o ambiente por meio de glândulas de sais presentes na estrutura morfológica (PASCOALINI *et al.*, 2014).

Figura 8 - Ponto 2 de Amostragem.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

O ponto 2 foi selecionado com o objetivo de avaliar a influência da salinidade atmosférica oriunda do oceano atlântico e da zona estuarina do Rio Pacoti no município de Fortaleza, considerando o transporte das massas de ar salinas formadas na região e transportadas para Fortaleza sob influência predominante dos ventos de sudeste.

O Ponto 3 de amostragem (Figura 9) está localizado no núcleo urbano de Fortaleza-Ce, próximo a Avenidas de fluxo intenso de veículos e pessoas, no Colégio EEMTI Walter de Sá Cavalcante (Av. Oliveira Paiva, 550 - Cidade dos Funcionários,

Fortaleza - CE, 63475-122).

Figura 9 - Ponto 3 de Amostragem.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

Este ponto foi selecionado para amostragem devido questões de segurança para os equipamentos de coleta, localização no adensamento urbano de Fortaleza, proximidade com fonte de emissão de veículos automotores (responsáveis pela emissão de poluentes que podem reagir quimicamente com a salinidade atmosférica neutralizando ou intensificando seus potenciais de danos à saúde humana e ao meio ambiente).

O Ponto 4 de amostragem (Figura 10) está localizado, assim como o ponto 3, numa área mais urbana de Fortaleza-Ce, próximo a avenidas de grande fluxo de veículos e pessoas, local com área residencial e empresarial em suas proximidades, no Campus do Pici Professor Prisco Bezerra (R. Cinco, 100 - Pres. Kennedy, Fortaleza - CE, 60355-636), o maior campus da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Figura 10 - Ponto 4 de Amostragem.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

O Ponto 4 foi selecionado com base na sua localização em área densamente urbanizada, usada de diferentes maneiras (moradia, comércio, trabalho, estudo e locomoção). Nesse ponto há proximidade com fontes de emissões de poluentes atmosféricos que podem reagir quimicamente com a salinidade atmosférica ou spray marinho caso consiga atingir essa região a partir das áreas de formações (oceano e estuários). As reações químicas decorrentes são similares às que podem ocorrer no Ponto 3, assim, os poluentes presentes em grande concentração nessas regiões podem reduzir as concentrações de sais na atmosfera, e podem aumentar ou reduzir seu grau de impacto negativo para a saúde humana e meio ambiente.

O Ponto 5 de amostragem (Figura 11) está localizado, assim como o ponto 3, numa área mais continental e urbana de Fortaleza-Ce, próximo a avenidas de grande fluxo de veículos e pessoas, local com área residencial e empresarial em suas proximidades, no Campus do Pici Professor Prisco Bezerra (R. Cinco, 100 - Pres. Kennedy,

Fortaleza - CE, 60355-636), o maior campus da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Figura 11 - Ponto 5 de Amostragem.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

O Ponto 5 de amostragem foi selecionado devido à sua localização próxima à faixa de praia de Fortaleza. Porém a faixa de praia ao norte do Município, onde está localizado o Ponto 5, não sofre influência direta da maresia como no Ponto 1 devido à sua localização geográfica e à influência e incidência dos ventos de sudeste da região, esses fatores ambientais envolvendo a geografia e o clima do local promovem um comportamento singular deste ponto em relação ao ponto 1, conforme hipótese, por isso ele foi selecionado neste estudo. Esta hipótese será observado nos resultados deste estudo.

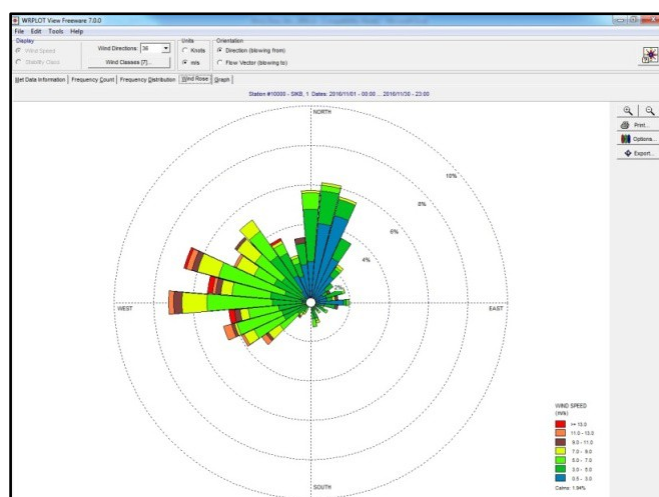
As amostragens foram realizadas no período de uma semana. A amostragem do material particulado ocorreu num período de 22 horas em cada ponto de amostragem durante a semana de coleta. A amostragem da partição gasosa ocorreu com a disposição dos filtros de fibra de vidro impregnados com a solução absorvedora: solução

glicerina num período de exposição de 5 dias, de segunda à sexta, da semana de amostragem em cada campanha.

### 4.3 Caracterização Climática de Fortaleza

De acordo com as características climáticas de Fortaleza-CE, foram adquiridos dados secundários da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará com o intuito de fazer uma série histórica de 21 anos considerando velocidade e direção dos ventos do período seco e chuvoso de cada ano analisado. Os dados obtidos foram entre 1999 e 2019.

Figura 12 - WRPlot.



Fonte: Windarto *et al.* (2016)

Nesta etapa do trabalho e com posse dos dados secundários, as rosas dos ventos foram elaboradas por meio do Software WR Plot, que elabora rosas dos ventos, como observado na Figura 12, a partir do abastecimento de dados com informações sobre velocidade e direção dos ventos em determinado período.

### 4.4 Condições Meteorológicas nos Pontos de Amostragem

Na amostragem, foram coletados, também, dados meteorológicos em cada ponto com o uso de uma estação meteorológica portátil simultaneamente ao funcionamento dos outros equipamentos, conforme Figura 13.

Figura 13 - Estação Meteorológica portátil junto aos demais equipamentos.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

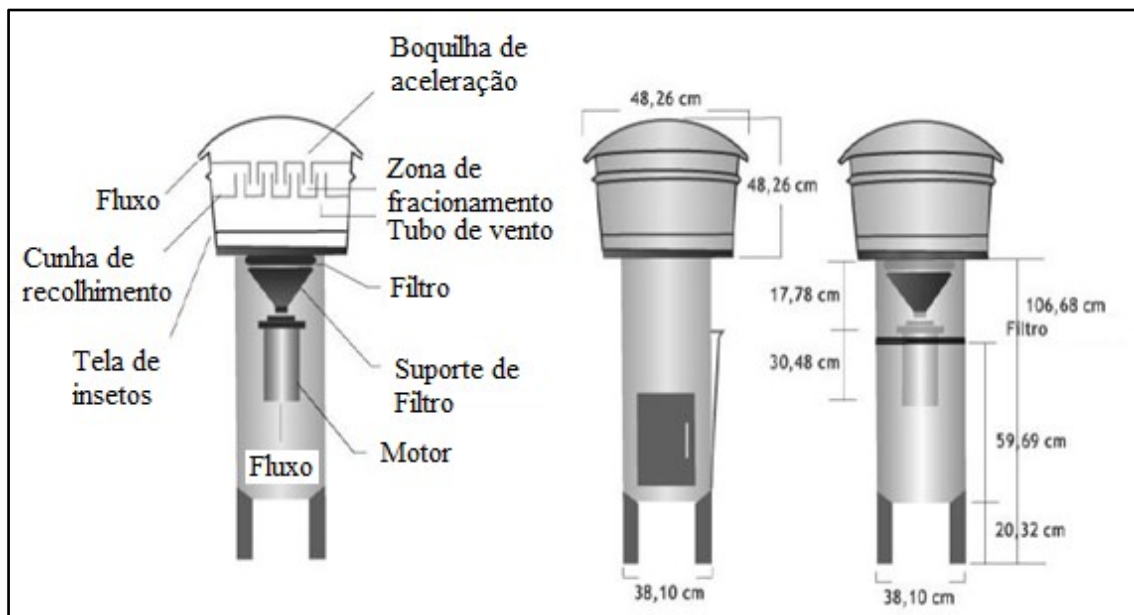
Os dados meteorológicos registrados pela estação meteorológica portátil foram: velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar, que foram armazenados em *datalogger* e posteriormente tratados para construção de resultados neste trabalho, tendo em vista a velocidade e direção do vento como variável influente na distribuição da salinidade atmosférica formada na zona de praia e estuarina da área de estudo, e abastecimento de banco de dados para a elaboração da trajetória e dispersão do spray marinho em Fortaleza-CE, a partir das zonas de formação por meio do modelo *Hysplit*.

#### **4.5 Quantificação da Partição Particulada do Spray Marinho**

A amostragem da partição particulada do spray marinho foi realizada utilizando-se a metodologia de amostragem ativa por meio do equipamento Hi-Vol. Este equipamento (Figura 14) bombeia determinado volume de ar no período de amostragem programado de 22 horas, e retém o material particulado num filtro de fibra de

vidro alojado no seu interior. O material particulado passa por um fracionamento na parte interna do equipamento, nesse trabalho a fração utilizada para análise foi até o tamanho de 10  $\mu\text{m}$ .

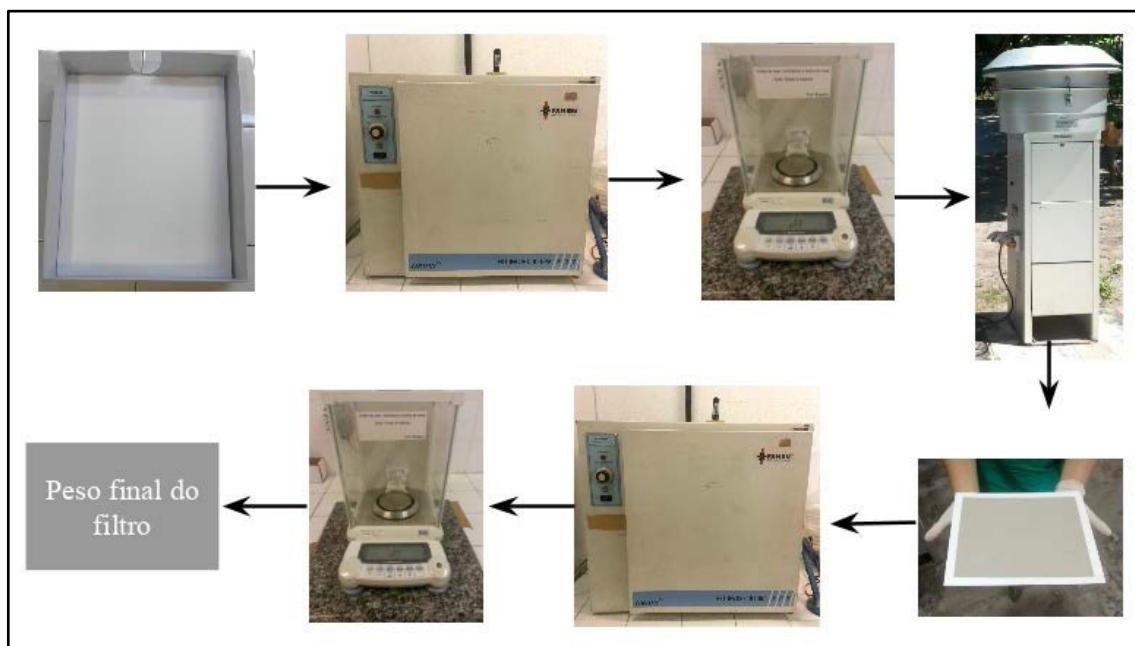
Figura 14 - Esquema do equipamento Hi-Vol.



Fonte: Adaptado de Colombia, 2010.

Para essa coleta foi necessário uma preparação em laboratório do filtro, que passou 22 horas em estufa numa temperatura de 60°C para a retirada da umidade. Posteriormente, os filtros (amostrado e branco) foram pesados em balança com 5 casa decimais de precisão. Após esse preparo os filtros foram embalados em papel alumínio limpo com o solvente hexano e seco em estufa, para então serem lavados para amostragem de 22 horas ou armazenados sobre refrigeração (brancos). Após a amostragem, os filtros foram colocados, novamente, em estufa à 60°C por 24 horas para a retirada de umidade, e pesados em balança com cinco casas decimais de precisão. Após a pesagem, foi feita a diferença entre a primeira e segunda pesagem de cada filtro, a diferença representa a quantidade de material particulado amostrada. Todo esse processo pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Amostragem com Hi-Vol.



Fonte: Rabelo (2017).

Após esse processo, o filtro foi cortado em 1/4, colocado em estufa à 60°C por 24 horas para remoção de umidade, e pesado em balança com casa decimal de cinco casas.

Após as pesagens o 1/4 dos filtros foram eluídos em 30 mL de água milli-Q, passando 50 minutos no sonicador para dissociar os sais do filtro para a solução. Em seguida, as amostras foram levadas para a centrífuga num rotação de 4000 rpm por 30 minutos para separação de fragmentos de filtros presentes na solução. As soluções eluídas foram, então, armazenadas em frascos de vidro com tampa de alumínio e septo com formação de vácuo no seu interior. Assim, as amostras foram armazenadas envoltas em papel alumínio e sob refrigeração até o momento da leitura nos equipamentos CI (Modelo: 883 Basic IC plus, Fabricante: Metrohm) e EC. Esse processo foi sintetizado na Figura 16.

Figura 16 - Eluição dos filtros de amostragem da partição particulada.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

No final, a quantidade de sais presentes no 1/4 do filtro é convertido para o valor da massa total de cada filtro, chegando-se, assim, na quantidade de sais amostrada em 24 horas em cada filtro. Vale ressaltar que, para cada sal quantificado, foi descontado o valor presente no filtro branco.

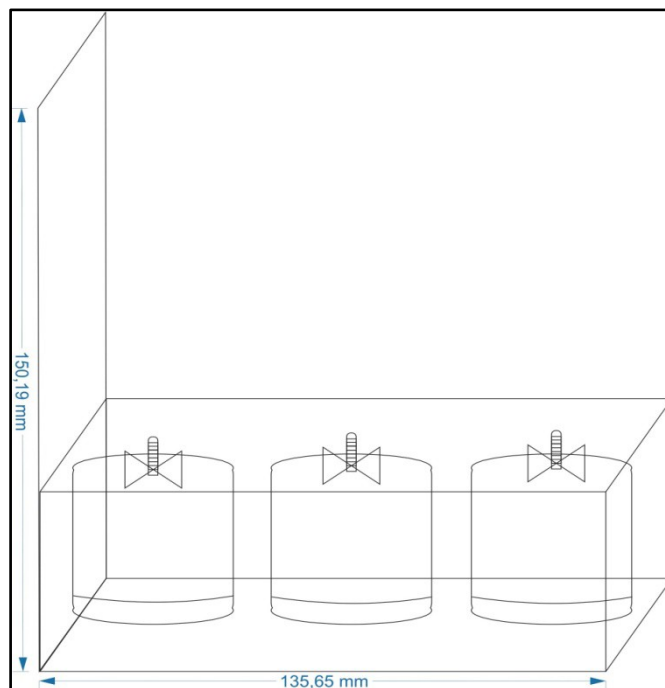
#### 4.6 Quantificação da Partição Gasosa do Spray Marinho

A amostragem da partição gasosa do spray marinho foi realizada por meio da utilização de amostradores passivos (Figura 17) de amostras atmosféricas utilizados para quantificação dos poluentes  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{O}_3$  em Marques (2017). Foi, também, realizado um estudo prévio para adaptar a amostragem passiva para poluentes atmosféricos com a amostragem de sais atmosféricos por meio da metodologia da Vela Úmida, baseada no STM.

As amostras em triplicata foram realizadas utilizando suportes que comportam 3 amostradores, simultaneamente, no mesmo ponto. Assim, cada trio de filtro com sua respectiva solução absorvedora foram colocados em um suporte (Figura 17) e levados para a amostragem. Os filtros brancos ficaram armazenados em laboratório sob vácuo

até o momento da eluição

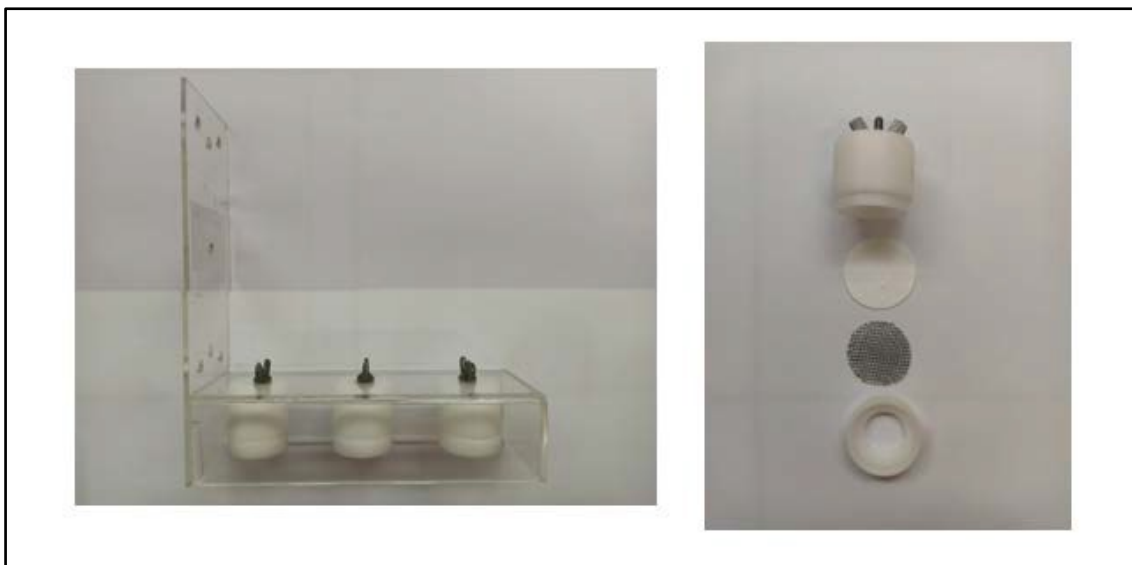
Figura 17 - Esquema ilustrativo do amostrador passivo em seu suporte de fixação.



Fonte: Elaborado pela autora no Corel Draw X7.

Os amostradores passivos (Figura 19) dispostos no suporte (Figura 17) são constituídos do material tecnil, têm as dimensões especificadas no esquema abaixo (2,5 cm de diâmetro e altura) e formato cilíndrico. Apresenta um orifício na parte inferior que permite a entrada do ar por meio do processo de difusão gasosa, esse orifício é protegido por uma malha/tela metálica que permite a passagem do ar para o interior do amostrador, como podem ser observados na Figura 18.

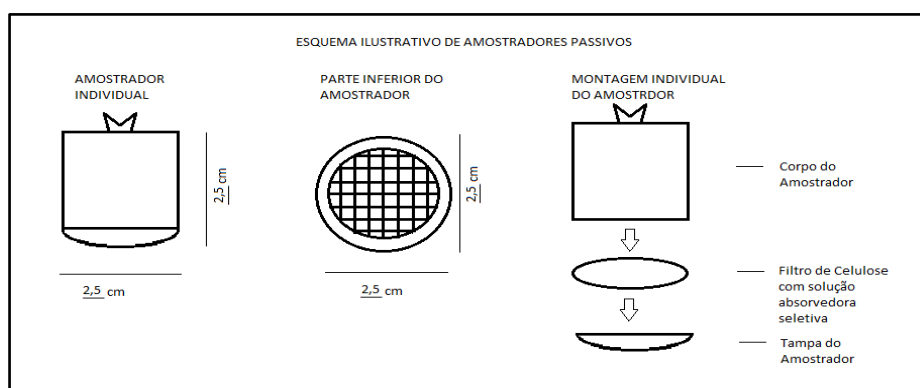
Figura 18 - Suporte e amostrador passivo.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

Os amostradores foram utilizados com o intuito de capturarem a partição gasosa do spray marinho por meio do processo de difusão do ar com base na Lei de Fick no interior do amostrador. Para a coleta do spray marinho foi realizada impregnação de filtros de fibra de vidro com 100 $\mu$ L de solução absorvedora (solução glicerinada) e foram fixados no interior dos amostradores, conforme Figura 7, e levados para amostragem por um período de 5 dias.

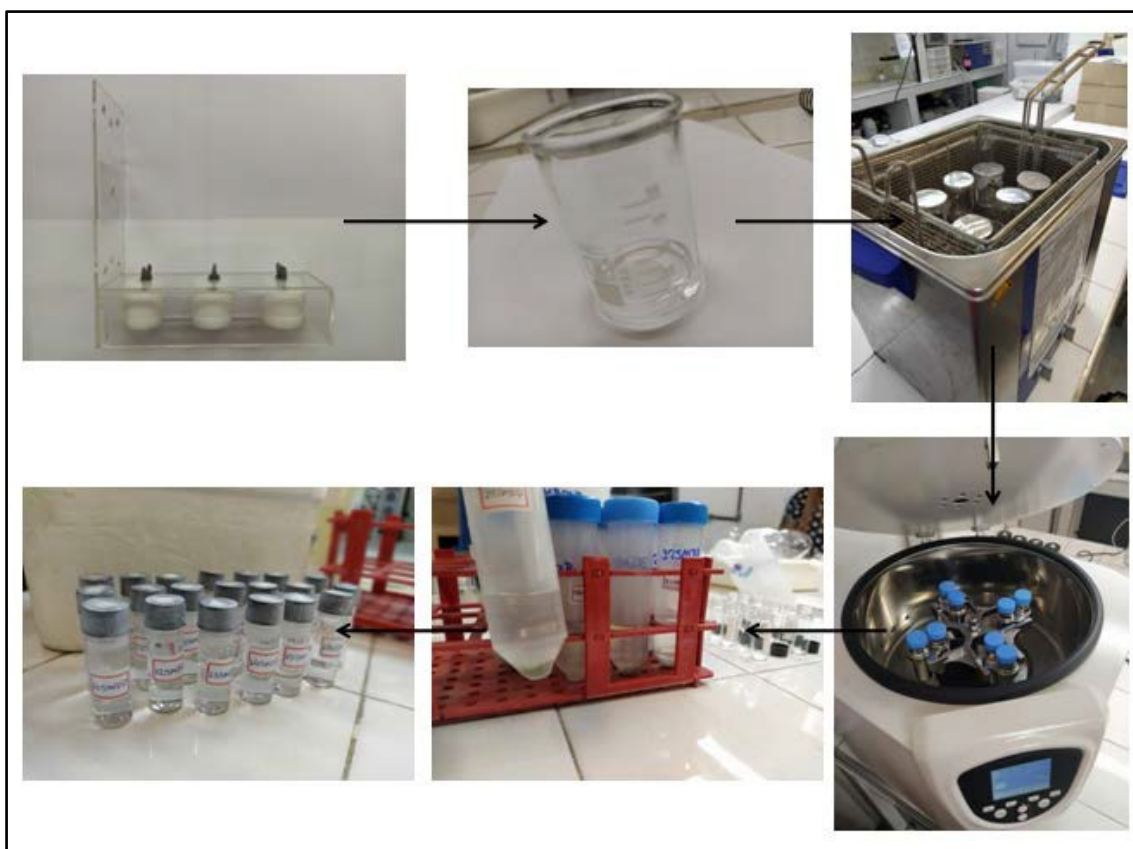
Figura 19 - Esquema ilustrativo do amostrador passivo.



Fonte: Marques, 2017.

Após a amostragem os filtros foram retirados, levados para laboratório e armazenados à vácuo até o momento da eluição. A eluição consistiu na adição de 6mL de água milli-Q à cada filtro amostrado e aos filtros brancos separadamente. Cada amostra foi levada ao sonicador por 50 minutos em temperatura ambiente com o intuito de separar o material amostrado do filtro. Posteriormente, os filtros foram levados para centrífuga numa rotação e 4000 rpm durante 30 minutos para separar resíduos de filtro da amostra eluída. Em seguida, o conteúdo da amostra foi armazenado em vials, cada vial com suas respectivas amostras foi identificado e armazenado sob refrigeração até o momento da leitura no equipamento Cromatógrafo de Íons (CI) e Espectrômetro de Chama para análise dos sais presentes nas amostras (Figura 20).

Figura 20 - Análise laboratorial da partição gasosa do spray marinho.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

A amostragem foi realizada em triplicata, ou seja, em cada ponto de amostragem foram coletadas três amostras simultaneamente com o intuito de redução de erros de amostragem. Assim, em cada campanha foram coletadas 15 amostras da

partição gasosa do spray marinho e foram feitas três amostras brancas para desconsiderar qualquer impureza salina decorrente de qualquer etapa do processo analítico.

#### 4.7 Trajetória e Dispersão do PM<sub>10</sub>

Durante as amostragens, foram coletados, também, dados meteorológicos com uma estação meteorológica portátil, conforme Figura 21. Foram medidas informações sobre temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos.

Figura 21 - Estação meteorológica portátil.



Fonte: Acervo bibliográfico da Autora.

Para este estudo foi necessário, também, informações sobre a pressão atmosférica, que não são registradas pela estação meteorológica portátil. Dessa forma, esses dados foram obtidos a partir do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Fortaleza, localizada no Castelão (3°48'26"S 38°31'20"W).

#### 4.7.1 Hysplit

Nos pontos de coleta foram desenvolvidas, a partir do modelo matemático Hysplit, linhas de trajetória do material particulado afim de criar uma pluma de dispersão nos pontos de emissão.

Neste estudo, foi utilizada a versão online do modelo, disponível no site <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>. Os dados meteorológicos usados no programa têm como base o *Global Data Assimilation System* (GDAS) que pertence ao grupo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP/NCAR) de 0,25 graus, que representa melhor resolução devido à série meteorológica disponível de 2007 à 2019.

Para a criação da trajetória e do nível de concentração dos pontos de amostragem foram selecionados pontos iniciais de trajetória, selecionando como tipo de trajetória o formato Ensemble. Foi selecionado o GDAS como meteorologia, inserindo as coordenadas geográfica dos pontos, escolhendo o período sazonal, e abastecimento do banco de dados com algumas informações, como: direção da trajetória (backward ou forward), horário de início, tempo de execução.

Para a elaboração da pluma de dispersão foi necessário registro no NOAA, utilizando-se 3 dos pontos de amostragem, pois esses encontram-se próximos às fontes de formação e emissão do spray marinho para a atmosfera, os pontos selecionados foram: ponto 1 (próximo à faixa de praia da Praia do Futuro), ponto 2, (próximo à zona estuarina do Rio Pacoti), ponto 5 (próximo à faixa de praia da Beira Mar). Os outros pontos de amostragem, pontos 3 e 4, funcionam como receptores do spray marinho formado da zona de praia e estuarina.

Para a elaboração da dispersão foram necessários dados como coordenadas dos pontos, dados meteorológicos, tipo de lançamento, grade de concentração, período de deposição (específico para o PM<sub>10</sub>). A partir do abastecimento destes dados, o modelo gera a pluma de dispersão do material particulado.

Além disso, foi considerada a deposição úmida e seca do PM para os dados coletados no período chuvoso e seco, respectivamente. Para abastecimento do Programa, foi utilizado como velocidade de deposição do PM no período chuvoso uma constante do programa. Para o período seco foi utilizado o valor de 0,01 m/s para a velocidade de deposição do PM no período seco, conforme Cavalcante (2016).

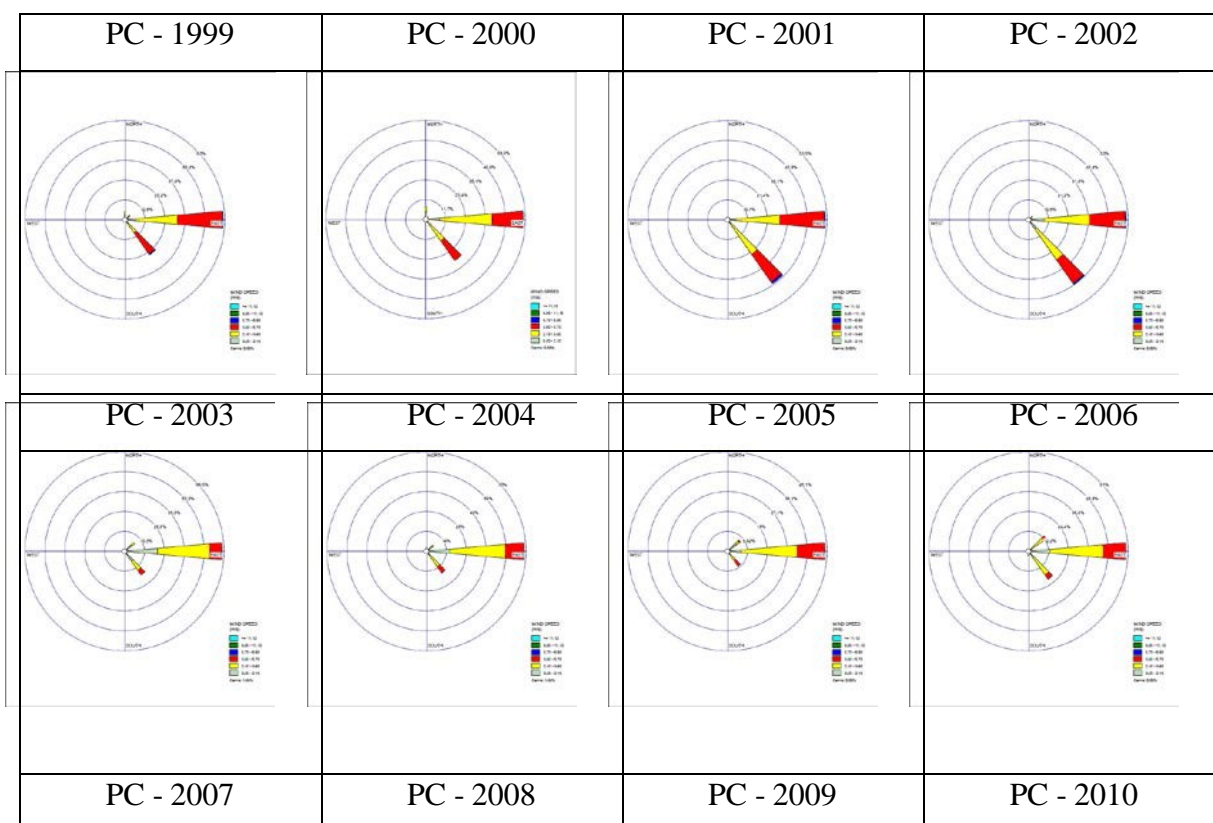
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

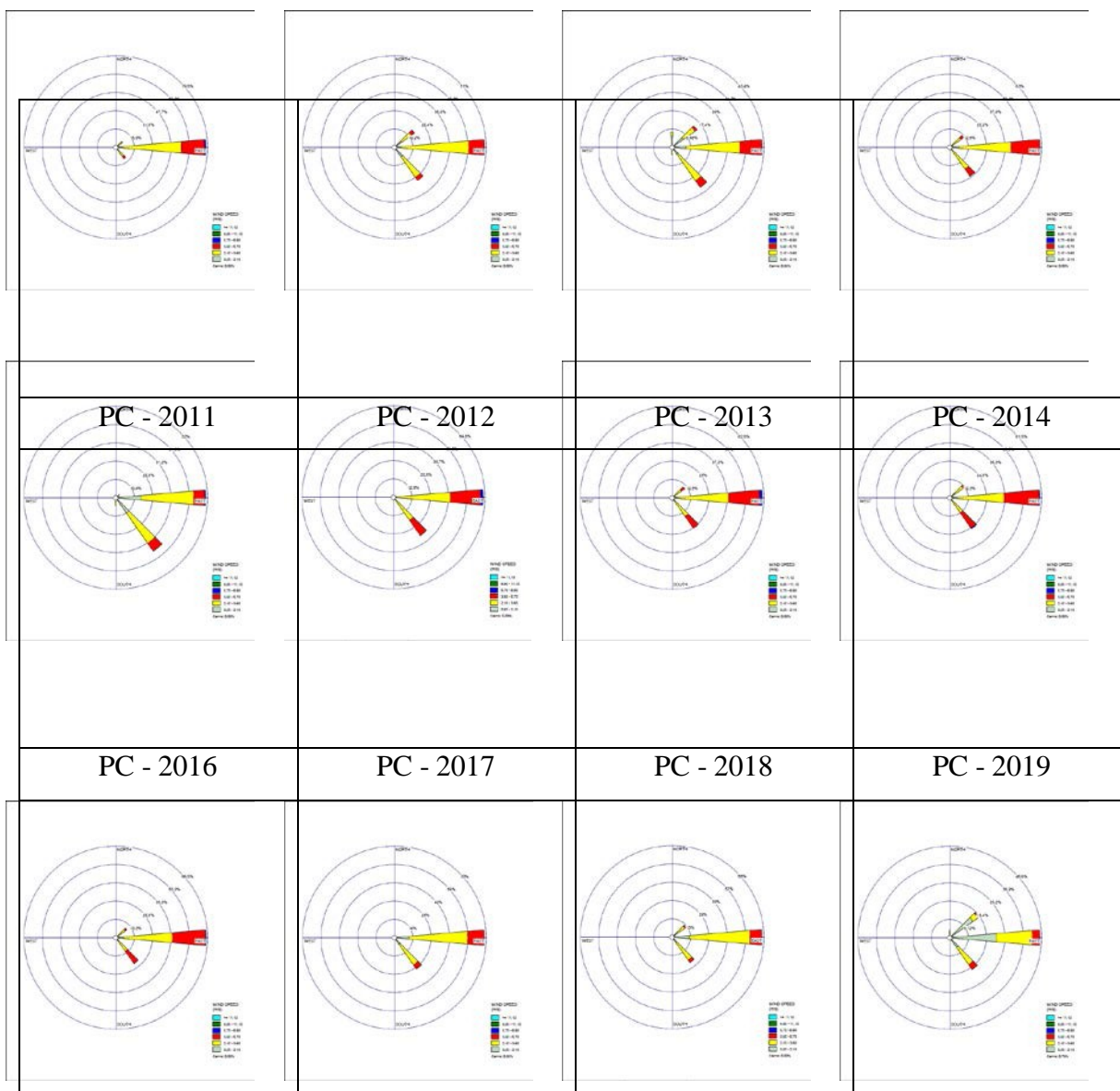
Os resultados obtidos neste estudo envolveram a perspectiva de caracterização climática de Fortaleza-Ce, quantificação e qualificação dos sais presentes partição gasosa e particulada na atmosfera de Fortaleza; distribuição espaço temporal da salinidade atmosférica na área de estudo, trajetória e dispersão do spray marinho a partir das suas áreas de formação.

### 5.1 Resultado da Caracterização Climática de Fortaleza-Ce

De acordo com os dados secundários da estação meteorológica do Campus do Pici (UFC), foi possível elaborar rosas dos ventos para o período chuvoso (PC) - primeiro semestre - e período seco (PS) - segundo semestre - da série histórica que compreendeu os anos de 1999 a 2019, conforme pode ser observado nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Rosas dos ventos do Período Chuvoso (PC) de 1999 a 2019.





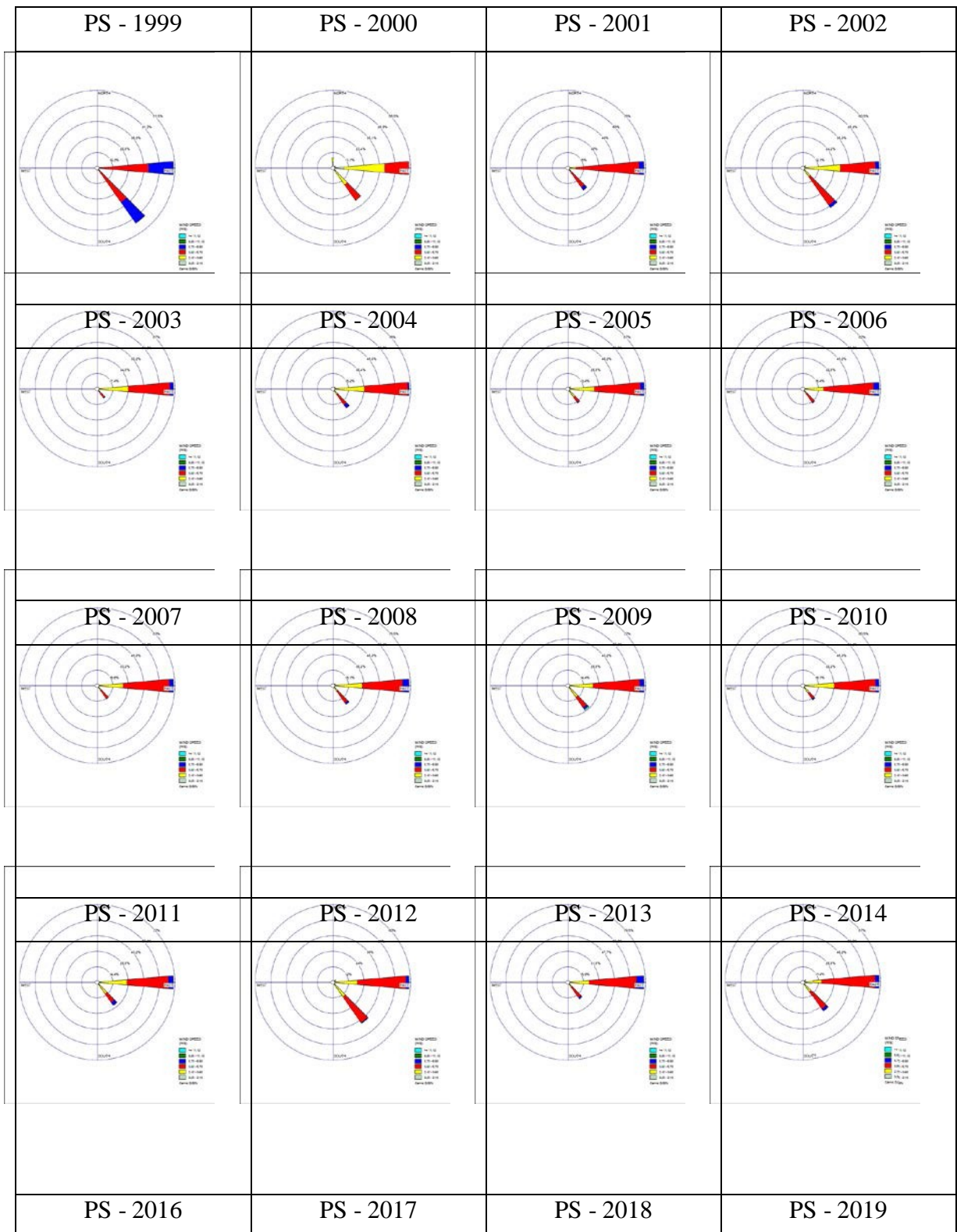
Fonte: Elaborada pela autora.

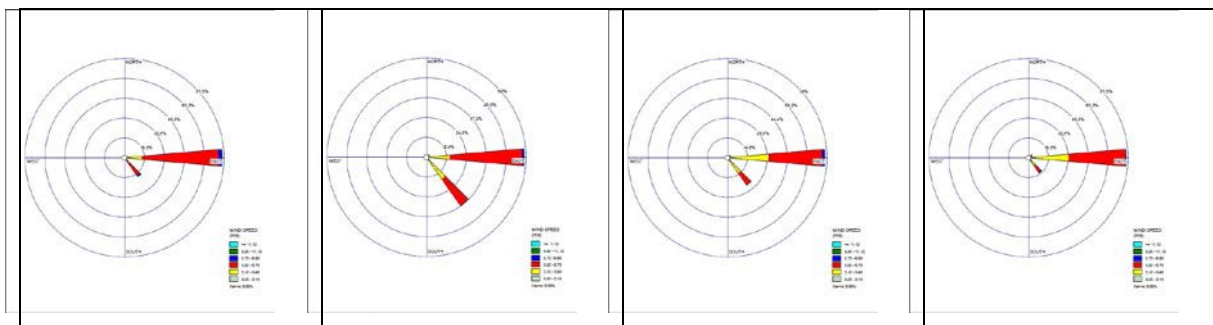
Legenda: PC - Período Chuvoso.

Com base nas rosas dos ventos elaboradas para o período chuvoso (primeiro semestre) da série histórica (Tabela 4), pode-se observar uma predominância na direção dos ventos vindos de Leste. Observa-se algumas variações de direção de ventos oriundos de Sudeste e Nordeste. Mas, os ventos que predominam são de direção Leste, apresentando variação de velocidade média de 2,4 m/s no período chuvoso dos anos analisados.

O comportamento desta série histórica é semelhante ao observado por Claudino Sales (1993) e por Maia (1998), que relataram a presença de ventos vindos de Nordeste, com velocidades médias de 4 m/s e presença de ventos alísios de Leste no período anual.

Tabela 5 - Rosas dos ventos do Período Seco (PS) de 1999 à 2019.





Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: PC - Período Seco.

Com base nas rosas dos ventos elaboradas para o período seco (segundo semestre) da série histórica (Tabela 5), pode-se observar uma predominância na direção dos ventos vindos de Leste, assim como ocorre no período chuvoso. Observa-se, também, variações de direção de ventos oriundos de Sudeste. Mas, a diferença marcante observada entre o período seco e chuvoso é observada na velocidade dos ventos, no período seco as velocidades atingem níveis máximos de 4,5 m/s.

Assim, como no período chuvoso, o período seco desta série histórica apresenta comportamento semelhante ao observado por Claudino Sales (1993) e Maia (1998), onde no segundo semestre do ano ocorre ventos de Sudeste com velocidades médias de 7 m/s e presença de ventos alísios de Leste durante o período anual. Ou seja, a direção dos ventos e a maior velocidade dos ventos no período seco em relação ao chuvoso apresentaram, neste estudo, mesmo comportamento conforme à bibliografia utilizada como base.

O aumento da velocidade no segundo semestre (período seco) pode atuar na atmosfera promovendo maior taxa de dispersão de partículas e gases, fazendo com que o comportamento e dinâmica seja diferente do que ocorre no primeiro semestre (período chuvoso).

## 5.2 Dados meteorológicos nas amostragens

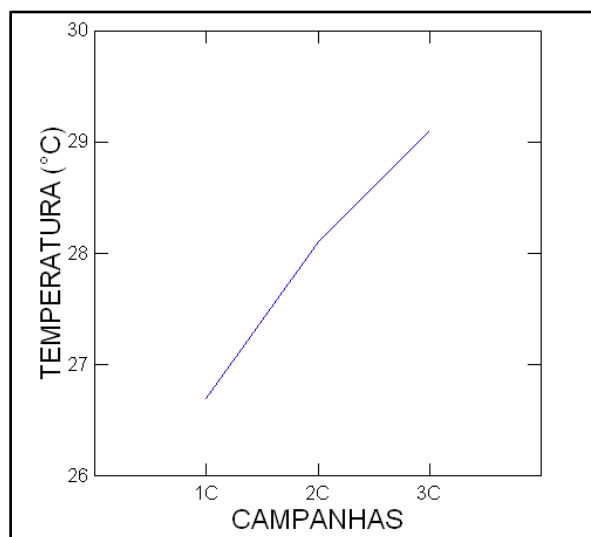
De acordo com os dados meteorológicos coletados nos pontos e sabendo que a composição urbana, presença de cânions urbanos, cobertura vegetal e brisa do mar, relevo podem mudar as rotas de ventos nos pontos amostrados,

observou-se que, nas três campanhas de amostragem, os ventos predominantes foram de Sul, Sudeste e, principalmente, Leste na primeira campanha de amostragem, Na segunda campanha, os ventos predominantes foram de Nordeste, Sudeste e, principalmente, Leste. Na terceira campanha os ventos tiveram direções predominantes de Norte, Nordeste e, principalmente, Leste, o que pode evidenciar uma provável influência da urbanização na direção dos ventos.

Além disso, foi possível estimar os valores médios de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação para as três campanhas de amostragem.

De acordo com o Gráfico 1, é possível observar o comportamento da temperatura média, em °C, durante as três campanhas de amostragem em Fortaleza-Ce.

Gráfico 1 - Temperatura média.



Fonte: Elaborada pela autora.

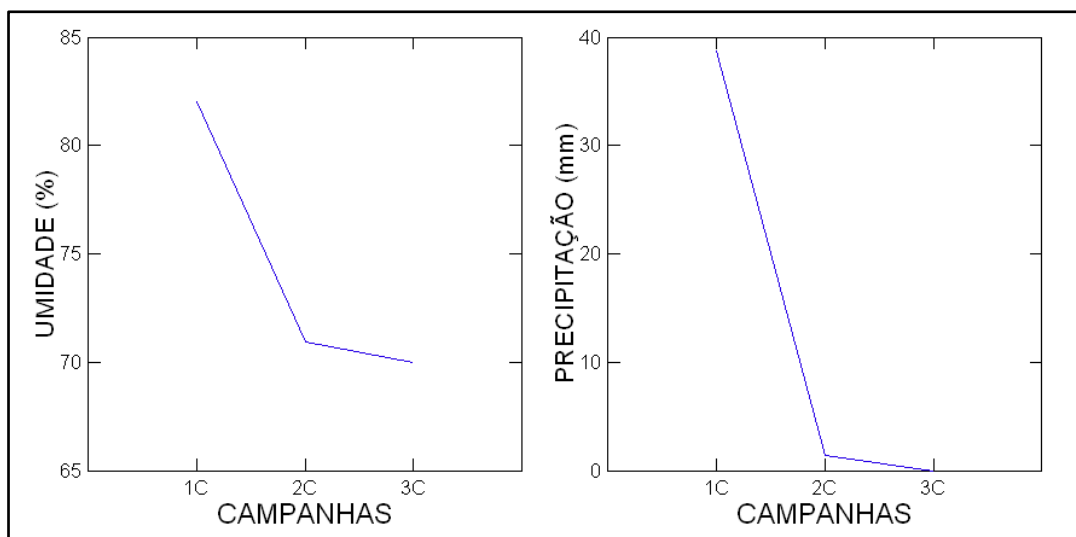
Conforme observado no Gráfico 1, a temperatura média no período de amostragem foi crescente de uma campanha para a outra. Na primeira campanha, a temperatura média foi de 26,7°C, na segunda campanha, a temperatura média foi de 28,1°C, na terceira campanha, a temperatura média foi de 29,1°C. Essa diferença de temperatura entre as campanhas pode indicar diferentes comportamentos e dinâmicas na atmosfera. A camada limite planetária (CLP), em temperaturas mais elevadas, tende a se expandir mais, fazendo com que os compostos presentes na atmosfera tornem-se mais diluídos numa massa de ar mais extensa, além disso, com uma maior amplitude vertical da CLP, os compostos podem chegar à altitudes muito mais elevadas no perfil vertical da atmosfera após sua emissão, o que favorece sua dispersão para locais mais distantes de

sua fonte emissora.

Assim, as maiores temperaturas durante a terceira campanha de amostragem (29,1°C) podem atuar como um fator influente na maior dispersão das partículas e gases da atmosfera, inclusive dos sais presentes nestes compostos. Logo, neste período, a maior temperatura favorece a dispersão da salinidade atmosférica, oriunda de suas fontes emissoras, para locais mais distâncias quando comparado com a primeira campanha, com temperaturas médias em torno de 26,7°C.

Conforme os dados deste estudo, foi possível, também, verificar a diferença de valores médios da umidade relativa do ar (%) e da precipitação (mm) em Fortaleza- Ce durante as campanhas de amostragem, conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 - Umidade e precipitação.



Fonte: Elaborada pela autora.

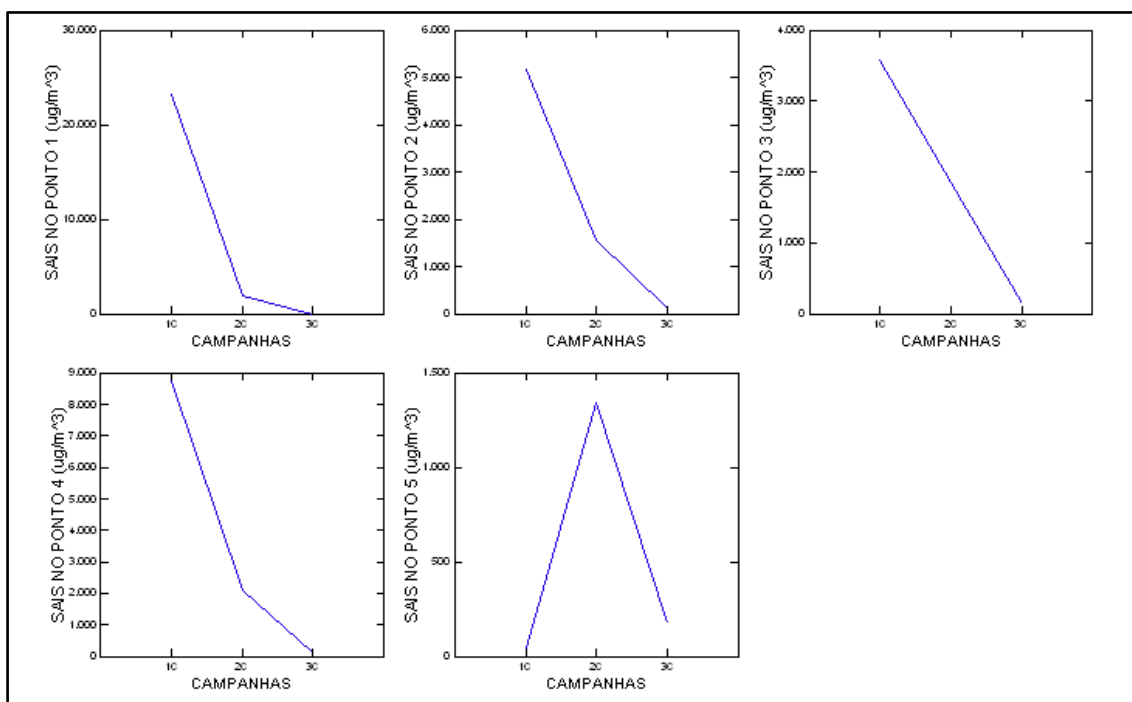
Conforme o Gráfico 2, é possível observar que os valores médios de Umidade Relativa do Ar (%) e precipitação (mm) diminuem bastante da primeira para a segunda e terceira campanha. Esse comportamento se deve à influência do período chuvoso, com maiores níveis de precipitação, que acabam influenciando, diretamente, na umidade relativa do ar. A diferença de precipitação e umidade podem atuar sobre a salinidade atmosférica de diferentes formas, diluindo os sais nas massas de água e levando-os ao solo nos eventos de precipitação, retendo concentrações de sais numa camada mais baixa da atmosfera por meio do aprisionamento dos mesmos devido à presença de nuvens e pela característica de menor altitude da CLP neste período. Embora, as condições anticiclônicas do período seco permitirem a subsidências do ar, apesar das temperaturas

mais elevadas, e a maior convecção no período chuvoso (estendida por atuação da ZCIT) promover maior ascensão do ar, não são esses os fenômenos governantes do comportamento das concentrações de sais na atmosfera no período seco e chuvoso.

### 5.3 Partição particulada do spray marinho

De posse da quantificação dos dados de salinidade atmosférica da partição particulada do spray marinho, pode-se observar a variação do somatório das concentrações dos sais detectados de uma campanha para a outra no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Concentração do somatório de sais detectados na partição particulada (PM10) da atmosfera nos pontos de amostragem durante as três campanhas.



Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com o Gráfico 3, observa-se que há uma tendência de redução das concentrações de sais de uma campanha para a outra nos pontos de amostragem, comportamento que não ocorre, somente, no ponto 5 devido a grandes concentrações de Brometo encontradas neste ponto durante a segunda campanha de amostragem. O brometo atmosférico ter origem, principalmente, oceânica, assim, devido à proximidade do ponto 5 com a faixa de litorânea da Beira Mar de Fortaleza, e outras características como geografia e condições meteorológicas foi possível detectar esse aumento

considerável de sais, principalmente, brometo, durante a segunda campanha no Ponto 5.

O comportamento predominante de redução dos sais entre as campanhas pode ser explicado com base nas condições meteorológicas, onde a temperatura cresce de uma campanha para a outra, assim como a velocidade dos ventos e a altura da camada limite planetária (CLP), que contribui para a dispersão dos sais na atmosfera, fazendo com que eles atinjam maiores distâncias verticais na atmosfera e horizontais de dispersão espacial a partir do ponto de formação e emissão. Muitas vezes, o aumento da velocidade dos ventos e o maior perfil vertical da CLP agem sobre a dinâmica dos sais atmosféricos de modo que o equipamento não consegue detectar fielmente à realidade.

Conforme a Tabela 6, podemos observar as concentrações do somatório de sais que foram detectados na partição particulada deste estudo.

Tabela 6 - Concentração do somatório de sais detectados na partição particulada.

Ponto	Campanha	$\Sigma$ sais ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>1</b>	1	23218,08
<b>2</b>	1	5161,17
<b>3</b>	1	3572,65
<b>4</b>	1	8756,31
<b>5</b>	1	45,35
<b>1</b>	2	1908,53
<b>2</b>	2	1572,31
<b>3</b>	2	1843,31
<b>4</b>	2	2086,86
<b>5</b>	2	1344,67
<b>1</b>	3	0,00*
<b>2</b>	3	128,22
<b>3</b>	3	135,36
<b>4</b>	3	132,84
<b>5</b>	3	177,01

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: \*Limite não detectado pelo equipamento de análise (Cromatografo de Íons)

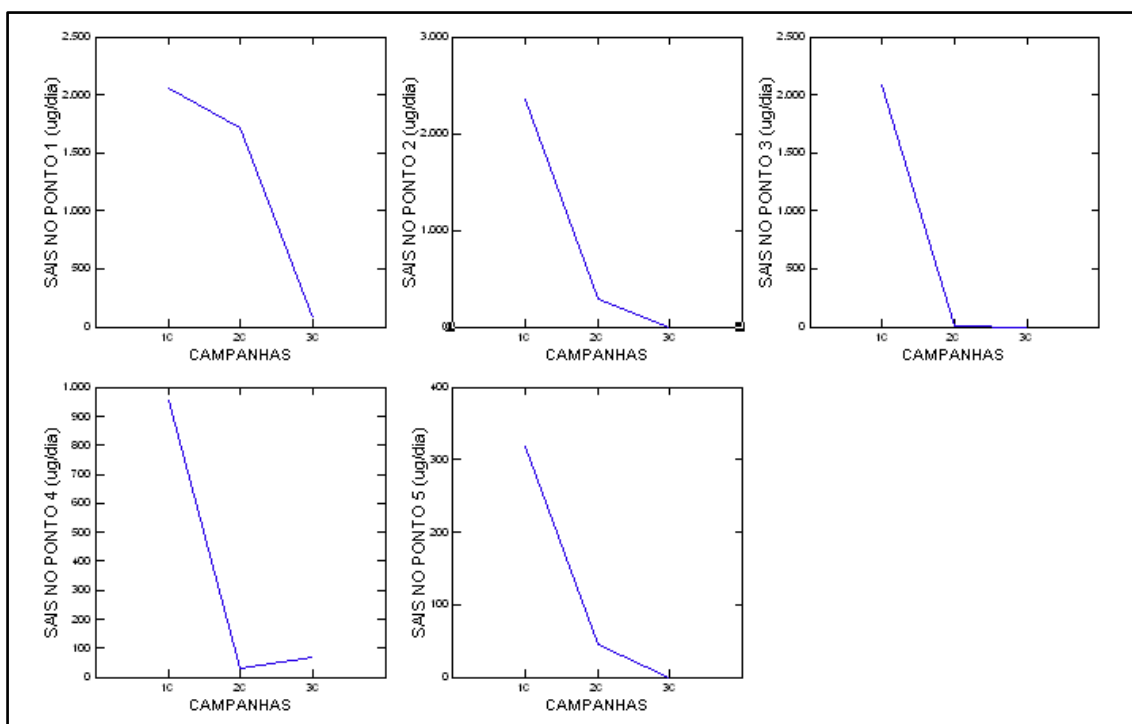
Nas concentrações de sais da partição particulada foram detectados os ânions Fluoreto, Cloreto, Brometo e Nitrato. Estes compostos formam, assim, os principais

constituintes da salinidade atmosférica de Fortaleza-Ce na fração particulada.

#### 5.4 Partição gasosa do spray marinho

De posse da quantificação dos dados de salinidade atmosférica da partição gasosa do spray marinho, pode-se observar a variação do somatório das concentrações dos sais detectados de uma campanha para a outra no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Concentração do somatório de sais detectados na partição gasosa da atmosfera nos pontos de amostragem durante as três campanhas.



Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com o Gráfico 4, observa-se que há uma tendência de redução entre a primeira, segunda e terceira campanha de amostragem nos pontos de coleta. Essa redução é mais abrupta da primeira campanha para a segunda, devido à grande diferença atmosférica existente na primeira campanha e na segunda campanha que representam o período chuvoso e seco, respectivamente. Da segunda campanha para a terceira a redução é menor devido às duas campanhas compreenderem o período seco da região.

Essa diferença marcante de concentrações de sais na atmosfera em sua partição gasosa se deve à diferença de dinâmica atmosférica existente entre o período chuvoso e seco em decorrência de variáveis, como temperatura, umidade relativa do ar,

precipitação, altura da CLP, diferença de velocidade e direção dos ventos. Essas variáveis, durante a segunda e terceira campanha, favorecem a dispersão dos sais gasosos na atmosfera, dessa maneira, sua detecção em baixa altitude e em regiões próximas à linha de costa são mais baixas. Esse evento, durante a primeira campanha, funciona de forma oposta, onde a dinâmica atmosférica favorece a retenção dos sais mais próximos às fontes emissoras, menores altitudes no perfil vertical da atmosfera e mais próximo à linha de costa.

Conforme a Tabela 7, podemos observar as concentrações do somatório de sais que foram detectados na partição gasosa deste estudo.

Tabela 7 - Concentração do somatório de sais detectados na partição gasosa.

Ponto	Campanha	$\Sigma$ sais ( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
<b>1</b>	1	2058,67
<b>2</b>	1	2360,00
<b>3</b>	1	2084,00
<b>4</b>	1	955,33
<b>5</b>	1	319,40
<b>1</b>	2	1721,67
<b>2</b>	2	288,25
<b>3</b>	2	8,95
<b>4</b>	2	31,42
<b>5</b>	2	45,25
<b>1</b>	3	70,33
<b>2</b>	3	0,00*
<b>3</b>	3	0,00*
<b>4</b>	3	68,00
<b>5</b>	3	0,00*

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: \*Limite não detectado pelo equipamento de análise (Cromatografo de Íons)

Nas concentrações de sais da partição gasosa, assim como na particulada, foram detectados os ânions Fluoreto, Cloreto, Brometo e Nitrato. Estes compostos formam, assim, os principais constituintes da salinidade atmosférica de Fortaleza-Ce, também, na fração gasosa.

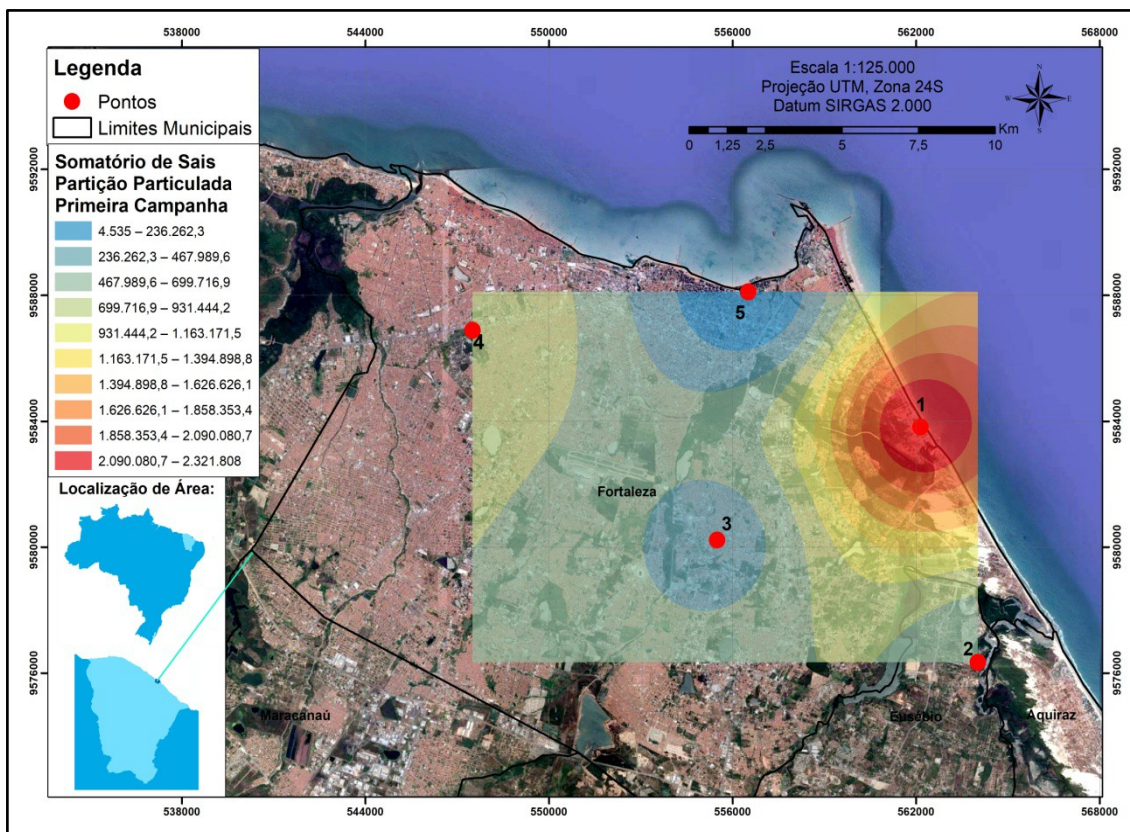
## 5.5 Distribuição espaço temporal da salinidade atmosférica

De acordo com os dados das concentrações de sais presentes na partição particulada e gasosa na atmosfera foi possível elaborar mapas de distribuição espaço temporal durante as três campanhas de amostragem por meio do software ArcGis 10.2.1, utilizando ferramentas de geoestatística.

### 5.5.1 Partição Particulada

Na partição particulada foram detectados os sais: fluoreto, cloreto, brometo e nitrato. A partir do somatório das concentrações destes sais foi possível elaborar um mapa de distribuição espacial e temporal, considerando as três campanhas de amostragem. Na Figura 22, observa-se a distribuição do somatório de sais na fração particulada durante a primeira campanha de amostragem.

Figura 22 - Distribuição do somatório de sais na fração particulada: primeira campanha.

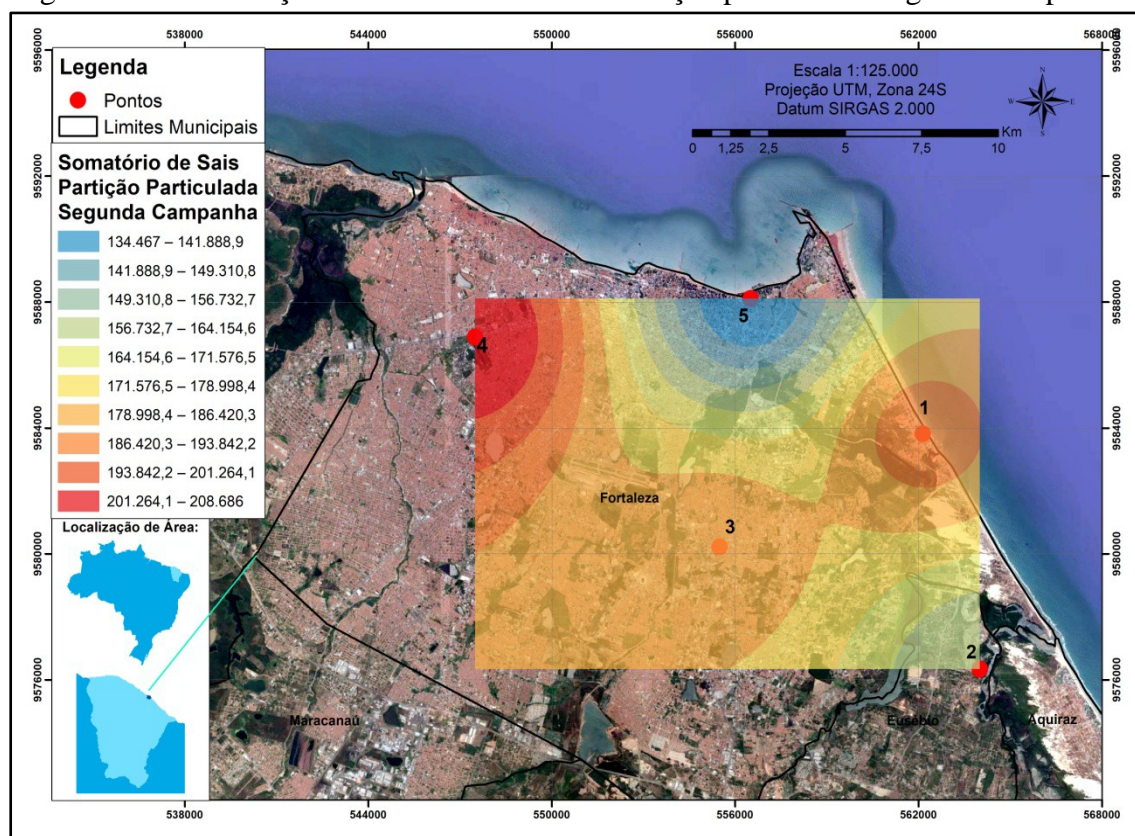


Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme a Figura 22, observa-se a maior concentração de sais no Ponto 1, próximo à Praia do Futuro, local conhecido pelos altos níveis de salinidade, considerando níveis mundiais. Observa-se, nesta campanha, que compreende o período chuvoso, a maior concentração de sais na Praia do Futuro, local de formação e emissão de sais para a atmosfera. Devido à baixa altura da Camada Limite Planetária no período de chuvas, o sal ali formado fica retido na área de formação. Assim, nesta amostragem, pode-se observar a grande contribuição de formação e disponibilidade de sais atmosféricos na região da Praia do Futuro em relação aos outros pontos emissores naturais de sais oceânicos para a atmosfera (ponto 5 - próximo à Beira Mar, Ponto 2 - próximo ao estuário do Rio Pacoti)

Na Figura 23, é possível observar o comportamento do somatório dos sais na fração particulada durante a segunda campanha de amostragem.

Figura 23 - Distribuição do somatório de sais na fração particulada: segunda campanha.



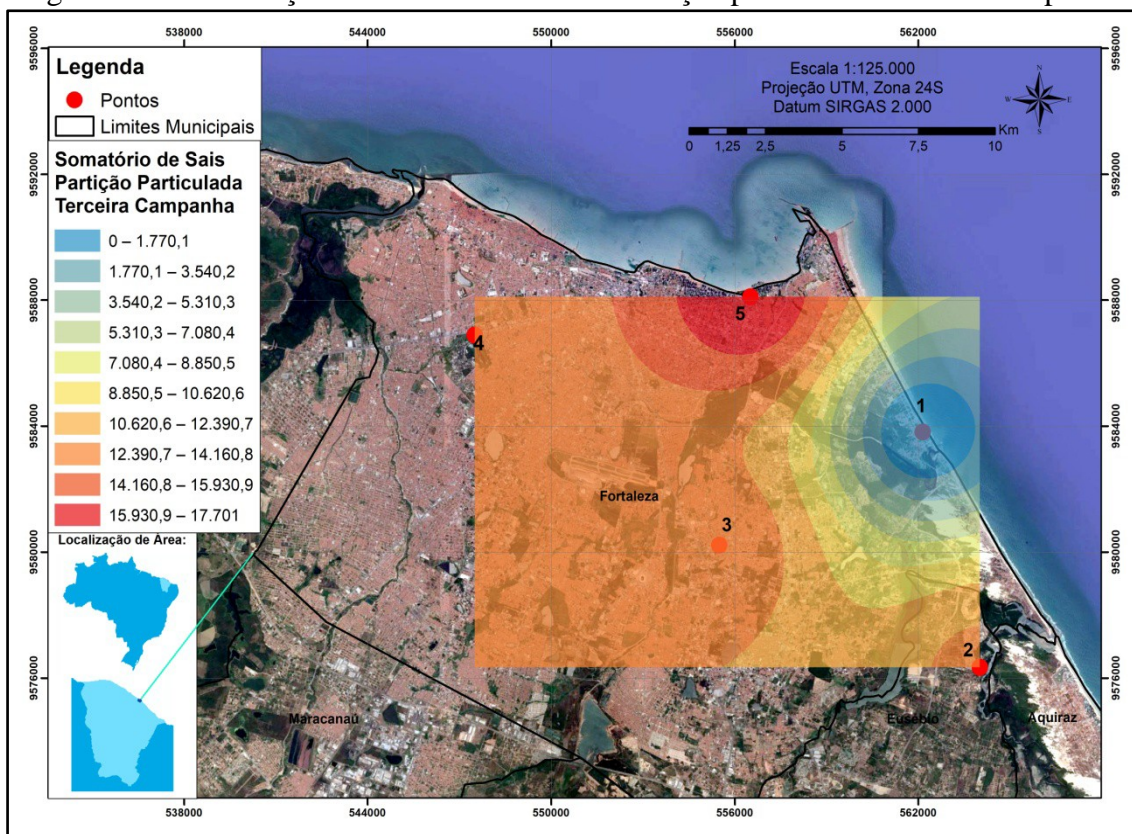
Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme a Figura 23, é possível observar a distribuição de sais da região da Praia do Futuro entrando na área urbana de Fortaleza sob influência dos ventos de Nordeste que foram registrados, simultaneamente, nas coletas destes dados.

O ponto 5, apesar de estar próximo à linha de praia, neste período, obteve concentrações baixas de sais, o que é explicado pelo comportamento e dinâmica dos ventos na região, considerando a geografia da espacialidade deste ponto, que possui a área portuária de Fortaleza como um protetor aos ventos Leste e Sudeste carregados de sais oriundos da região oceânica e litorânea. Dessa forma, parte da salinidade atmosférica que não consegue se depositar no ponto devido às características de abrigo geográfico da região, acaba se depositando no ponto 4, área urbana e mais distante da faixa de praia.

Na Figura 24, é possível observar o comportamento do somatório dos sais na fração particulada durante a terceira campanha de amostragem.

Figura 24 - Distribuição do somatório de sais na fração particulada: terceira campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

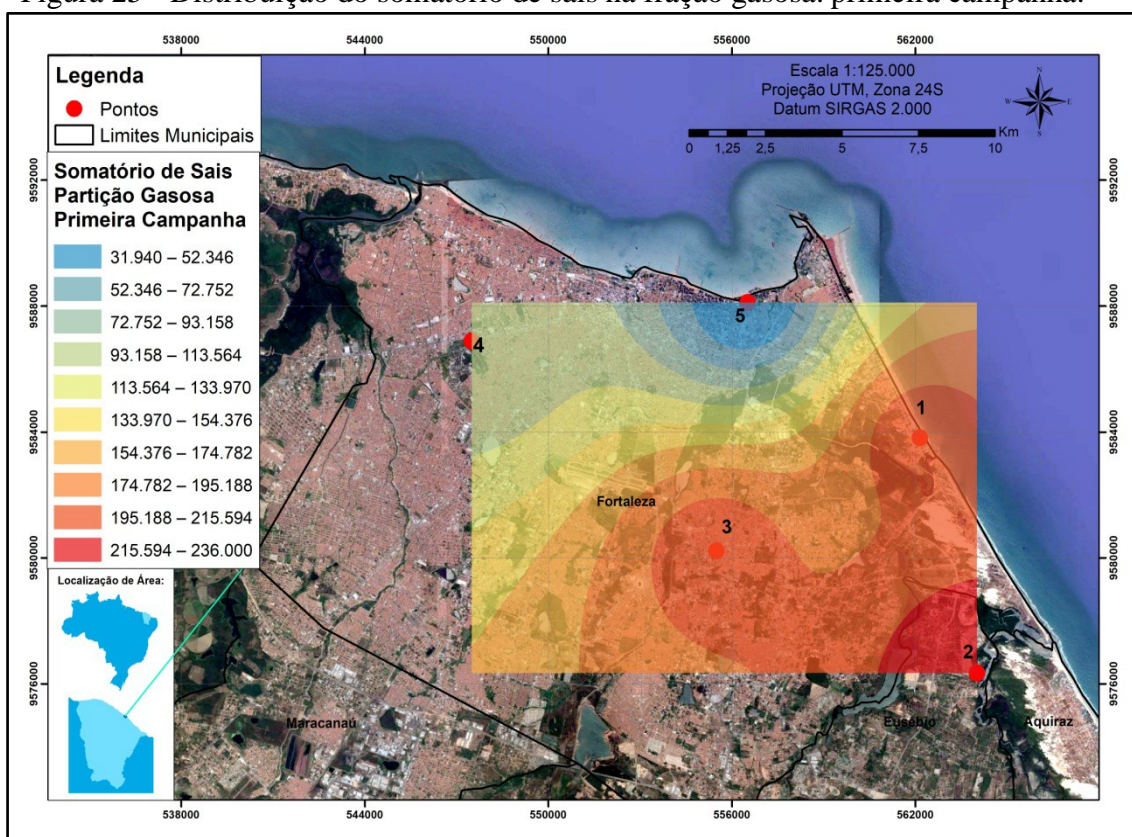
Conforme a Figura 24, é possível observar um comportamento diferenciado da distribuição do somatório de sais na área de estudo. Nesta campanha, os maiores níveis detectados foram registrados no Ponto 5. Este fenômeno ocorreu devido a alterações na direção do vento nesta época do ano, onde ocorreu influência considerada de ventos de Nordeste, que fizeram com que massas de ar ricas em sais da região oceânica

entrassem para o continente por meio da região com litoral perpendicular com o Norte geográfico. Assim, o Ponto 5 obteve níveis elevados de concentração de sais, que foram dispersos pelo continente sob influência dos ventos de Nordeste, podendo evidenciar a presença de brisas.

### 5.5.2 Partição Gasosa

Na partição gasosa foram detectados os sais: fluoreto, cloreto, brometo e nitrato. A partir do somatório das concentrações destes sais foi possível elaborar um mapa de distribuição espacial e temporal, considerando as três campanhas de amostragem. Na Figura 25, observa-se a distribuição do somatório de sais na fração gasosa durante a primeira campanha de amostragem.

Figura 25 - Distribuição do somatório de sais na fração gasosa: primeira campanha.



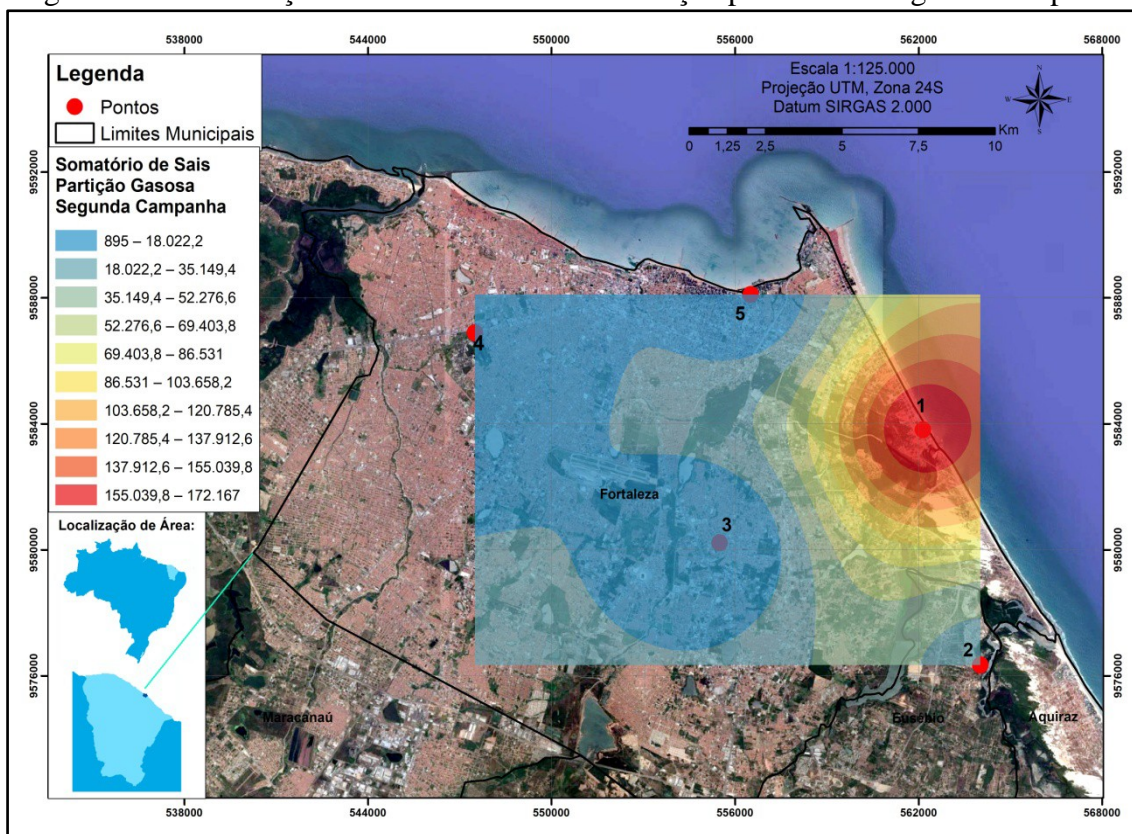
Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme a Figura 25, é possível observar a distribuição de sais da região, apresentando o Ponto 2 como ponto de maior concentração de sais. Este ponto está localizado próximo à uma das fontes formadoras e emissoras de sais para atmosfera na

região, a zona estuarina do Rio Pacoti. Observa-se na distribuição espacial que os sais se distribuem por Fortaleza a partir deste ponto de maior concentração sob influência dos ventos de Sudeste e Leste identificados neste período. A influência destes ventos faz com que parte da salinidade formada no litoral norte de Fortaleza seja dispersa, principalmente, para a região oceânica. A região portuária de Fortaleza combinada com essas direções predominantes de ventos promove uma proteção da linha de costa próxima ao ponto 5 de amostragem referente à salinidade atmosférica.

Na Figura 26, é possível observar o comportamento do somatório dos sais na fração gasosa durante a segunda campanha de amostragem.

Figura 26 - Distribuição do somatório de sais na fração particulada: segunda campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

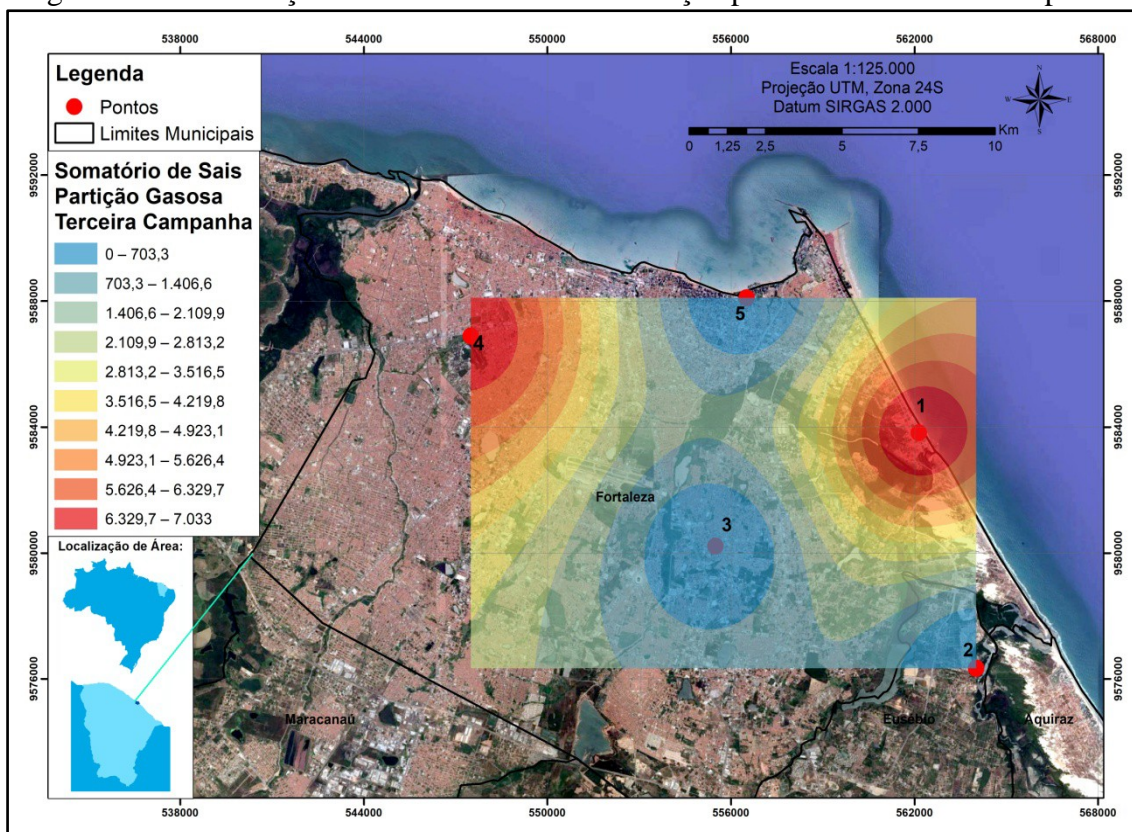
De acordo com a Figura 26, observa-se uma maior concentração de sais na região próxima à Praia do Futuro (Ponto 1). Durante a segunda campanha, período seco, a velocidade dos ventos aumenta, significativamente, quando comparado ao período chuvoso, além de maior altura da CLP. Esses eventos promovem outra dinâmica dos compostos atmosféricos, assim como os sais. Dessa maneira, durante essa campanha,

observou-se que a maior concentração de sais na partição gasosa foi na região de maior contribuição desses sais para a atmosfera, a Praia do Futuro. A ação dos ventos de Leste e Sudeste fizeram com que parte desses sais fossem distribuídos para a parte continental próxima ao Ponto 1, porém, essa dispersão não foi observada numa distância muito grande dessa fonte devido à maior expansão da CLP e o aumento da velocidade dos ventos neste período, que fizeram com que os sais fossem mais diluídos na massa de ar atmosférica e sofressem maior dispersão vertical e horizontal na região. Assim, o aumento da velocidade dos ventos e diluição das concentrações de sais no perfil vertical da atmosfera podem ter atuado, também, no impedimento de detecção dos sais pelos equipamentos de amostragem.

Deve-se considerar, também, que a ação dos ventos tem maior influência de ação na fração gasosa, assim, a dispersão dos sais na fração gasosa foi maior do que na fração particulada considerando a mesma campanha de amostragem.

Na Figura 27, é possível observar o comportamento do somatório dos sais na fração gasosa durante a terceira campanha de amostragem.

Figura 27 - Distribuição do somatório de sais na fração particulada: terceira campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

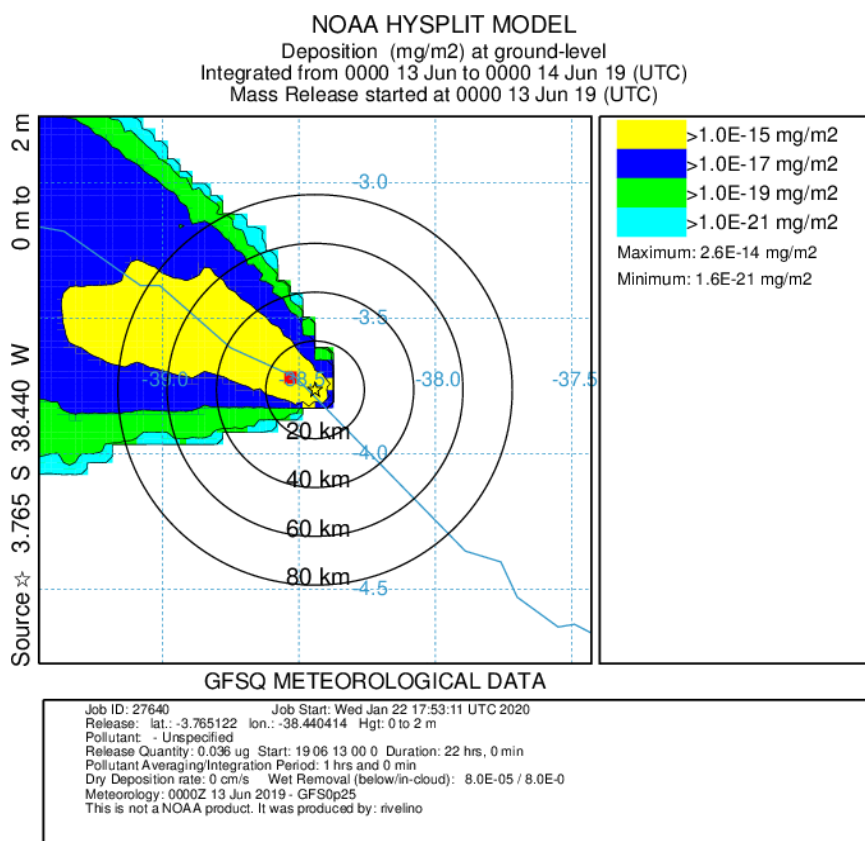
Conforme observado na Figura 27, os pontos de amostragem com picos maiores concentrações de sais na partição gasosa considerando a terceira campanha de amostragem foram os pontos 1 e 4. O Ponto 1 evidencia o local de emissão com maior contribuição de sais para o continente. De acordo com o regime de ventos da região neste período, e com a geografia do local, o Ponto 5 ficou abrigado de ventos carregados de sais atmosféricos. Contudo, esses ventos direcionaram os sais formados na linha de costa para o Ponto 4, região mais urbanizada e distante da região de formação de sais. Porém, com o ação das correntes de ventos oriundos de Nordeste, os sais da partição gasosa formados na região oceânica foram carregados para este ponto, dessa maneira é possível observar um pico de grande concentração de sais gasosos nesta área, apesar d a distância das fontes formadoras e emissoras de sais para a atmosfera.

### **5.6 Dispersão do Material Particulado 10 $\mu\text{m}$ (PM10)**

Conforme os dados de Material Particulado 10 $\mu\text{m}$  (PM10) trabalhados no programa Hysplit foi possível obter dados referentes à distribuição do spray marinho na área de amostragem a partir dos pontos de formação. Considerou-se, também, nestes resultados, o tipo de deposição (úmida ou seca) de acordo com o período de amostragem chuvoso ou seco.

Para o Ponto 1 de formação do spray marinho (Praia do Futuro - próximo à faixa de praia) foi elaborada a dispersão, observada na Figura 28, considerou-se a deposição úmida para o material particulado de acordo com o período de amostragem da primeira campanha compreender o período chuvoso.

Figura 28 - Distribuição do PM10 no Ponto 1: Primeira Campanha

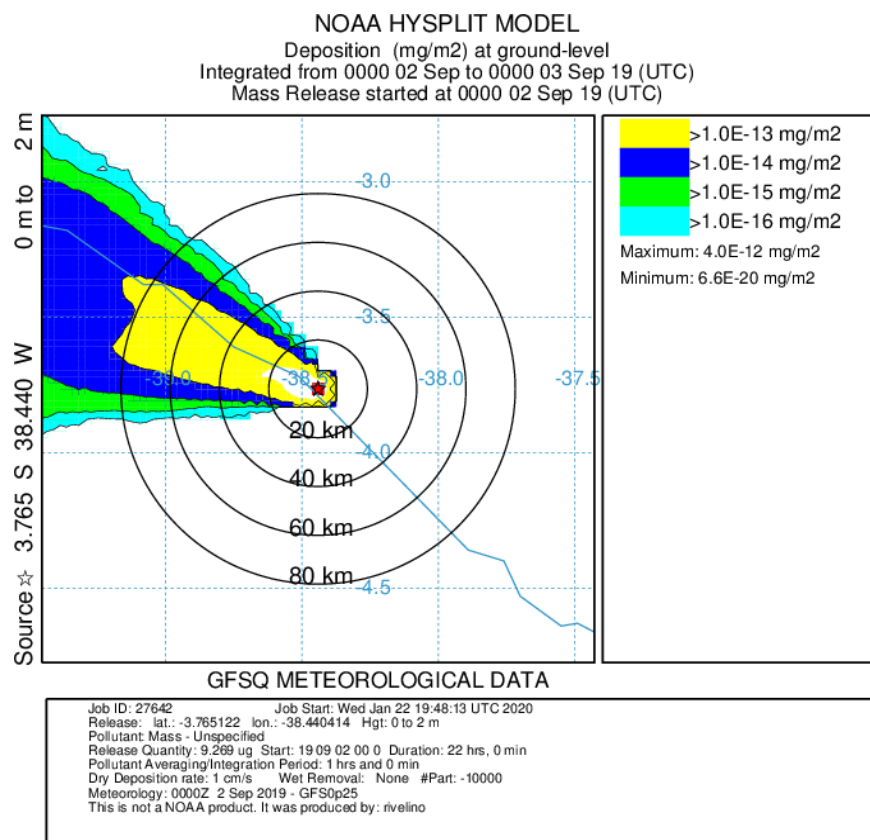


Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Figura 28 observa-se a predominância dos ventos de Sudeste e Leste agindo na dispersão do PM10 a partir do Ponto 1 durante a primeira campanha de amostragem. O que bate com os dados registrados neste estudo de direção predominante dos ventos na primeira campanha, pois as direções registradas predominantes foram de Sudeste e Leste. Observa-se, na Figura 28, que, em 24 horas, os saís formados e emitidos no Ponto 1 conseguiram chegar à uma distância superior à 80Km a partir do ponto de formação e emissão. De acordo com a pluma de dispersão modelada no *Hysplit*, é possível observar que ela apresenta um caráter mais disperso para as laterais. Apesar do transporte das partículas sob ação dos ventos predominantes, ocorre, também, o processo de difusão das partículas em sua adjacência.

Para o Ponto 1 de formação do spray marinho (Praia do Futuro - próximo à faixa de praia) foi elaborada, também, a dispersão observada na Figura 29, que considerou a deposição seca para o material particulado de acordo com o período de amostragem da segunda campanha compreender o período seco.

Figura 29 - Distribuição do PM10 no Ponto 1: Segunda Campanha.

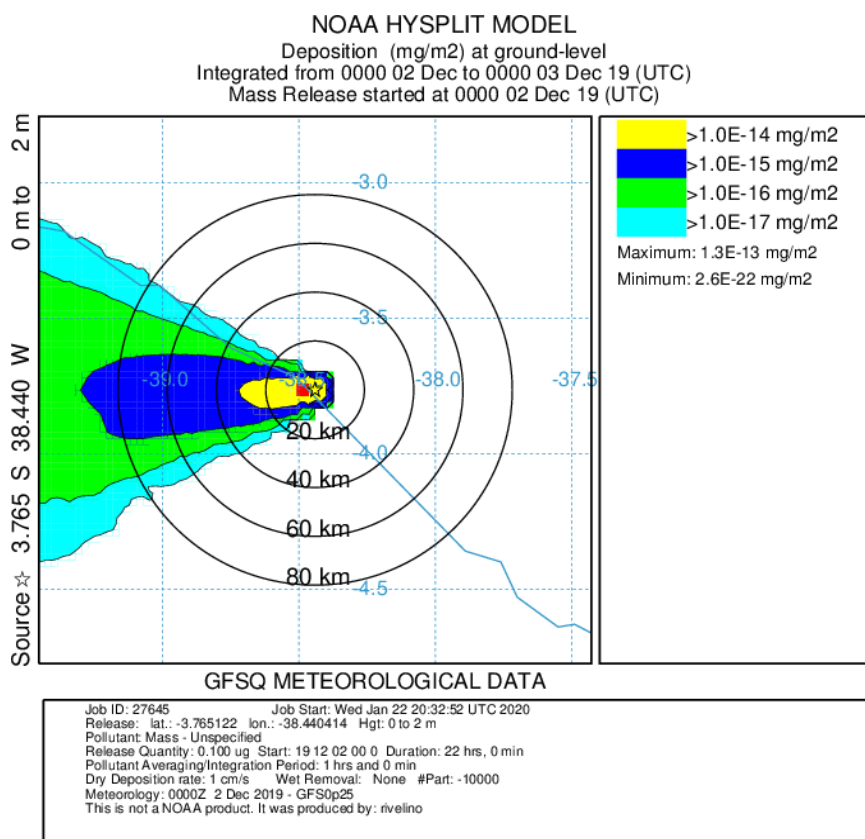


Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Figura 29, observa-se que a ação predominante dos ventos de Sudeste e Leste, registrados nesse estudo, justificam o comportamento da pluma de dispersão gerada pelo modelo. As partículas geradas e amostradas durante a segunda campanha de amostragem poderiam superar 80Km de distância a partir do ponto de detecção nas 24 horas iniciais de acordo com o modelo. Observa-se, em comparação com a Primeira Campanha, que a pluma de dispersão é mais estreita, representando um aumento da velocidade dos ventos no período seco, o que inibe a ação da difusão das partículas entre si. Assim, a dispersão pelos ventos é maior na segunda campanha do que na primeira de acordo com análises do processo de difusão partícula-partícula, que é maior na primeira campanha.

Para o Ponto 1 de formação do spray marinho (Praia do Futuro - próximo à faixa de praia) foi elaborada, também, a dispersão observada na Figura 30, considerou-se a deposição seca para o material particulado de acordo com o período de amostragem da terceira campanha compreender o período seco.

Figura 30 - Distribuição do PM10 no Ponto 1: Terceira Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

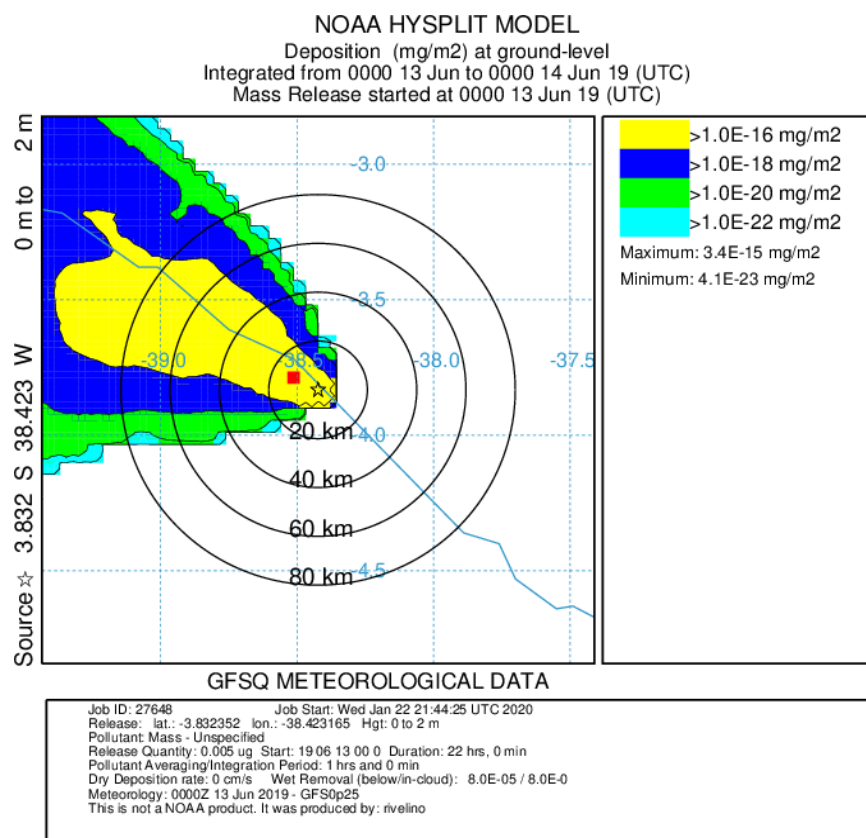
De acordo com a Figura 30, observa-se que a pluma de dispersão PM10 contendo sais da partição particulada tem um comportamento diferente do modelo encontrado na primeira e segunda campanha de amostragem. O comportamento desta pluma mostra a influência de ventos oriundos de Leste e Nordeste, fazendo com que o PM10 seja disperso para regiões mais interioranas do continente. Esse comportamento é explicado pelos dados deste estudo, tendo em vista a amostragem de ventos com predomínio de direção Leste e Nordeste durante esta campanha de amostragem. No período inicial de 24 horas, as partículas conseguiriam atingir uma distância superior a 80 Km a partir da ponto de detecção pelo equipamento de amostragem, de acordo com o modelo matemático, em direção Oeste do mapa, conforme a Figura 30 evidencia.

Observa-se, também, uma elevada taxa de deposição seca neste período, possível de verificar por meio da maior concentração de partículas restritas aos primeiros trinta metros a partir da fonte de detecção. Isso mostra, que nesse período, apesar da velocidade dos ventos mais elevada (estreita pluma de dispersão), as partículas ficam mais concentradas num raio mais próximo ao da fonte de formação e emissão (aproximadamente, 30 Km para Oeste no continente). Vale ressaltar que, o período da

terceira campanha de amostragem, foi o que teve registro de menor umidade relativa do ar e precipitação de 0 mm, o que promove maiores chances de deposição seca na região.

Para o Ponto 2 de formação do spray marinho (Estuário do Rio Pacoti - próximo à zona estuarina do Rio Pacoti) foi elaborada a dispersão observada na Figura 31, considerou-se a deposição úmida para o material particulado de acordo com o período de amostragem da primeira campanha compreender o período chuvoso.

Figura 31 - Distribuição do PM10 no Ponto 2: Primeira Campanha.



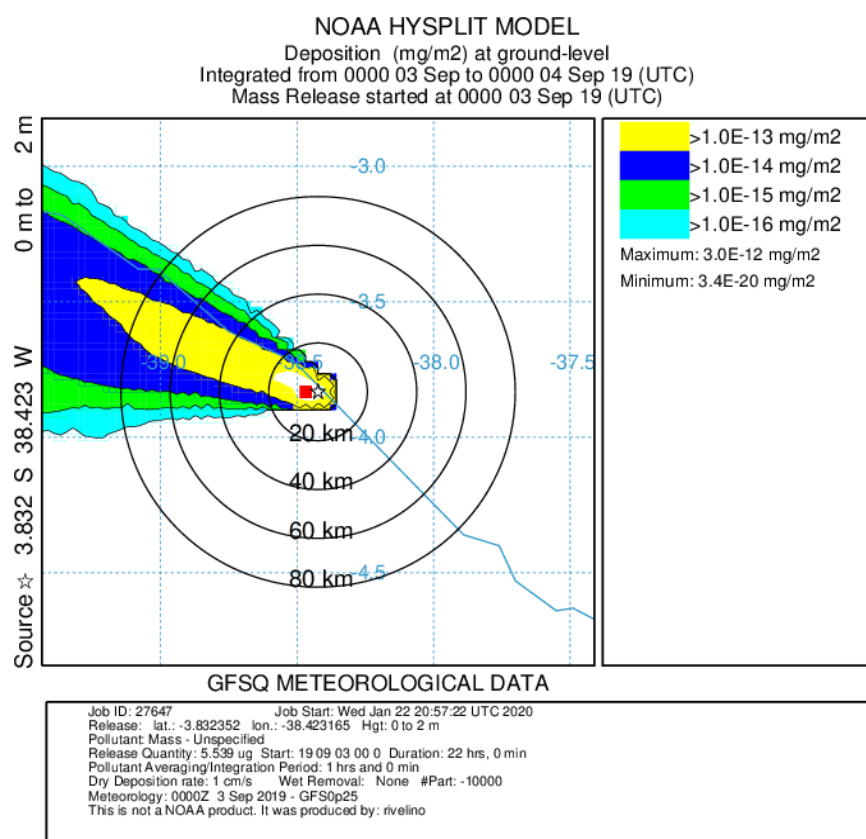
Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Figura 31 observa-se que a pluma de dispersão modelada para o PM10 amostrado neste ponto apresenta influência de ventos oriundo de Sudeste, Leste e Sul, o que é comprovado pelos dados meteorológicos de direção predominante dos ventos nesta região durante este período. Observa-se que em 24 horas a pluma de deposição seca chega à distância superior à 80 Km a partir do ponto de detecção do PM10. Também, é possível observar que o fenômeno da difusão entre as partículas ocorre predominantemente nesta campanha, o que é observado por meio da maior distribuição da pluma para as laterais. É possível observar o comportamento da dispersão das partículas pela ação dos ventos e a difusão partícula-partícula por meio da maior

largura da pluma.

Para o Ponto 2 de formação do spray marinho (Estuário do Rio Pacoti - próximo à zona estuarina do Rio Pacoti) foi elaborada, também, a dispersão observada na Figura 32, considerou-se a deposição seca para o material particulado de acordo com o período de amostragem da segunda campanha compreender o período seco.

Figura 32 - Distribuição do PM10 no Ponto 2: Segunda Campanha.



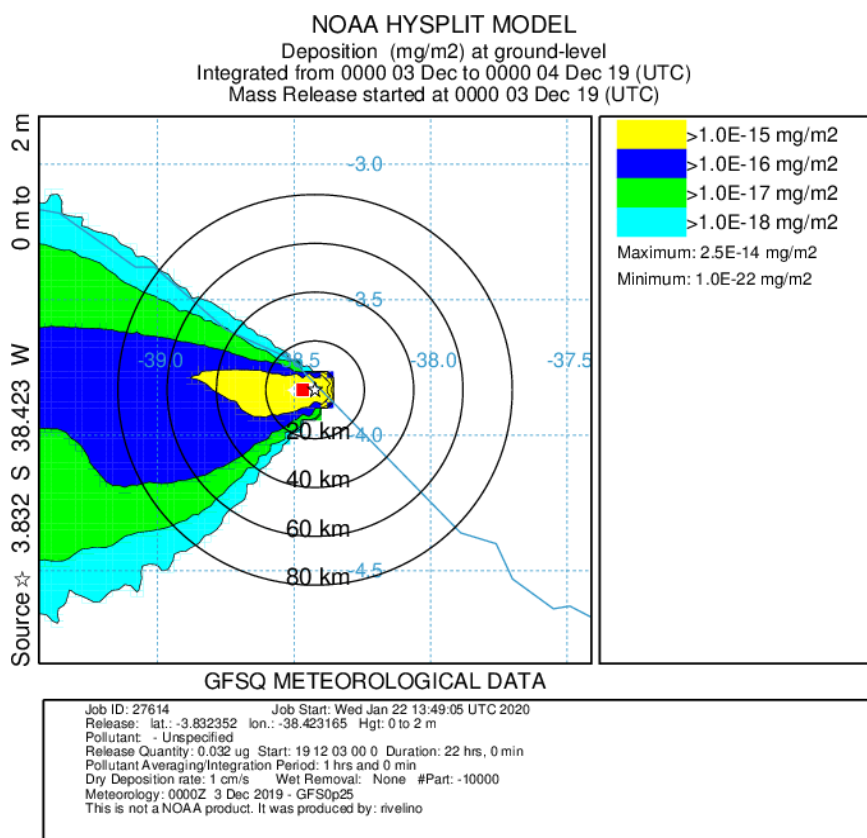
Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Figura 32, observa-se que os ventos de influência na dispersão do PM10 são oriundos da região Sudeste e Leste, o que é comprovado pelos dados coletados pela estação meteorológica portátil neste estudo. A pluma apresenta uma distribuição bem mais fina do que a observada na primeira campanha. Esse comportamento se deve ao aumento da velocidade dos ventos na região durante o período seco, quando comparado ao período chuvoso. Assim, com o aumento da velocidade dos ventos, a difusão partícula-partícula é menor, e prevalece o processo de dispersão por ação dinâmica dos ventos da região.

Para o Ponto 2 de formação do spray marinho (Estuário do Rio Pacoti -

próximo à zona estuarina do Rio Pacoti) foi elaborada a dispersão observada na Figura 33, considerou-se a deposição seca para o material particulado de acordo com o período de amostragem da terceira campanha compreender o período seco.

Figura 33 - Distribuição do PM10 no Ponto 2: Terceira Campanha.



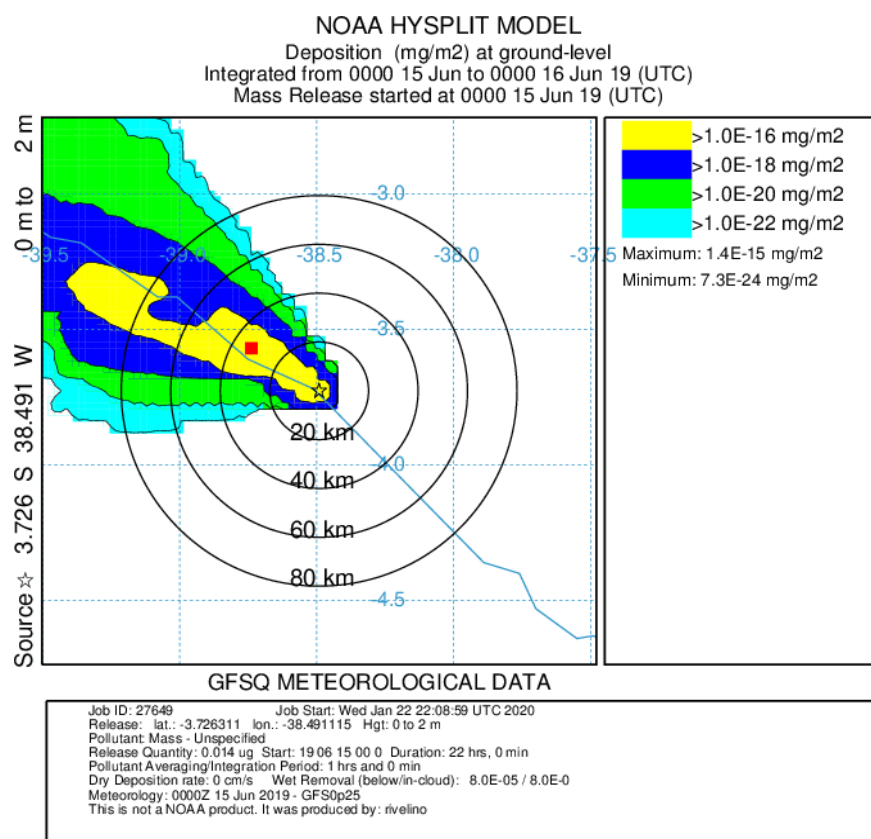
Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Figura 33 observa-se que a direção da pluma de dispersão do PM10 muda completamente quando comparado com a primeira e segunda campanha de amostragem. É possível observar que os ventos influentes nesta dispersão são oriundos de Nordeste, Leste e Norte, o que é comprovado pelos dados meteorológicos adquiridos neste estudo por meio da estação meteorológica portátil utilizada nas coletas de amostragem. De acordo com esta dispersão, observa-se a grande presença do processo de difusão partícula-partícula por meio largura que a pluma apresenta. A parte de deposição das partículas ocorre mais eficientemente num raio de 40Km a partir da fonte, a partir daí as concentrações de sais são espalhadas significativamente por toda a área de influência dos ventos predominantes.

Para o Ponto 5 de formação do spray marinho (Beira Mar de Fortaleza -

próximo à faixa de praia) foi elaborada a dispersão observada na Figura 34, considerou-se a deposição úmida para o material particulado de acordo com o período de amostragem da primeira campanha compreender o período chuvoso.

Figura 34 - Distribuição do PM10 no Ponto 5: Primeira Campanha.



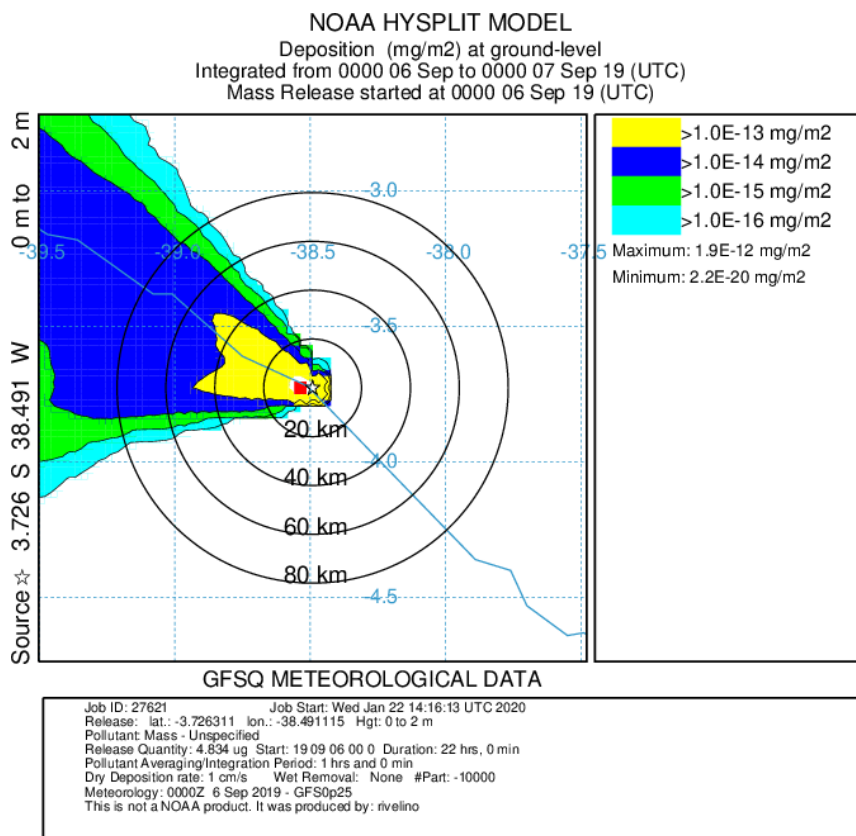
Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Figura 34, observa-se que, neste ponto a contribuição de PM10 conseguiu chegar a locais mais distantes a partir do ponto de detecção. Isso pode ocorrer devido à geografia do local, onde a zona portuária de Fortaleza protege a área continental próxima das partículas formadas naquela região, as quais acabam sendo dispersas para a região Noroeste, como observado na pluma de dispersão gerada pelo modelo matemático, sob influência de ventos oriundos de Sudeste e Leste, informação observada pelo modelo matemático e comprovada através de coleta de dados meteorológicos em campo. Por conta da geografia e localização do ponto de amostragem, a dispersão do PM10 consegue atingir raios de distância superiores aos observados nos outros pontos de amostragem.

Para o Ponto 5 de formação do spray marinho (Beira Mar de Fortaleza -

próximo à faixa de praia) foi elaborada, também, a dispersão observada na Figura 35, considerou-se a deposição seca para o material particulado de acordo com o período de amostragem da segunda campanha compreender o período seco.

Figura 35 - Distribuição do PM10 no Ponto 5: 2ª Campanhas



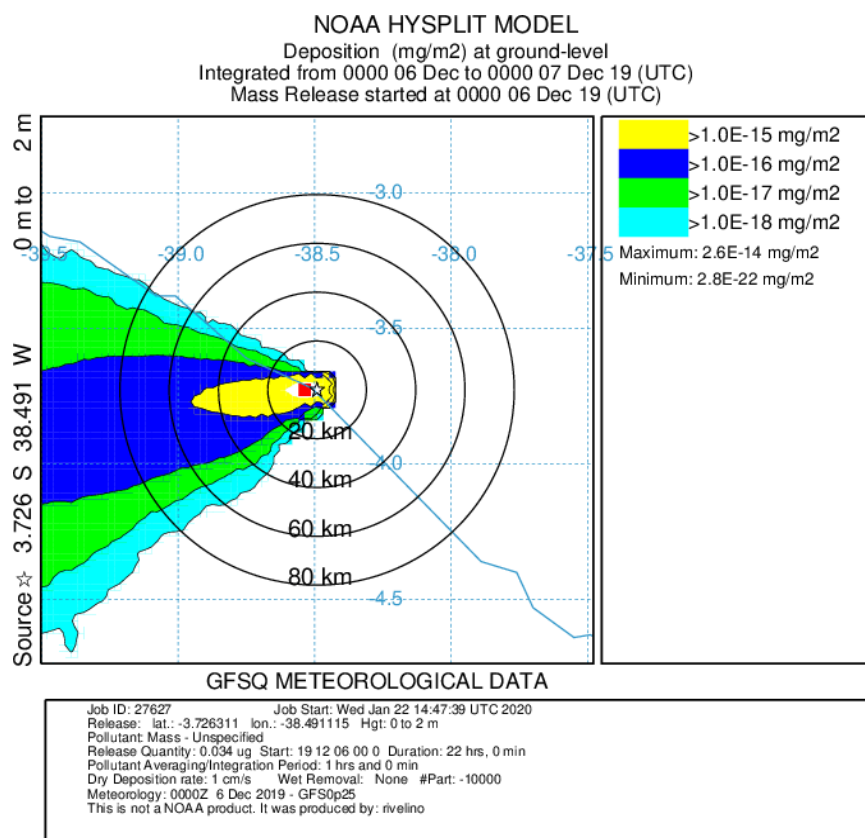
Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Figura 35 observa-se que, durante a segunda campanha ocorreu um comportamento diferente do ocorrido nos demais pontos de amostragem. Neste ponto, durante a segunda campanha, a pluma de dispersão apresentou uma maior distribuição espacial em suas laterais em relação à primeira campanha. Assim, a difusão partícula-partícula foi mais presente na segunda campanha do que na primeira quando comparado à primeira campanha.

Esse comportamento pode ser explicado devido à geografia do local que torna as concentrações de PM10 mais disponíveis para o processo de dispersão para outras regiões além da região de Fortaleza, devido ao Porto de Fortaleza ser localizado bem próximo à este ponto de amostragem. Assim, a maior velocidade dos ventos desta época do ano (período seco) faz com que o PM10 ali formado seja disperso para maiores distâncias, apresentando maiores áreas de dispersão.

Para o Ponto 5 de formação do spray marinho (Beira Mar de Fortaleza - próximo à faixa de praia) foi elaborada, também, a dispersão observada na Figura 36, considerou-se a deposição seca para o material particulado de acordo com o período de amostragem da terceira campanha compreender o período seco.

Figura 36 - Distribuição do PM10 no Ponto 5: 3ª Campanha



Fonte: Elaborada pela autora.

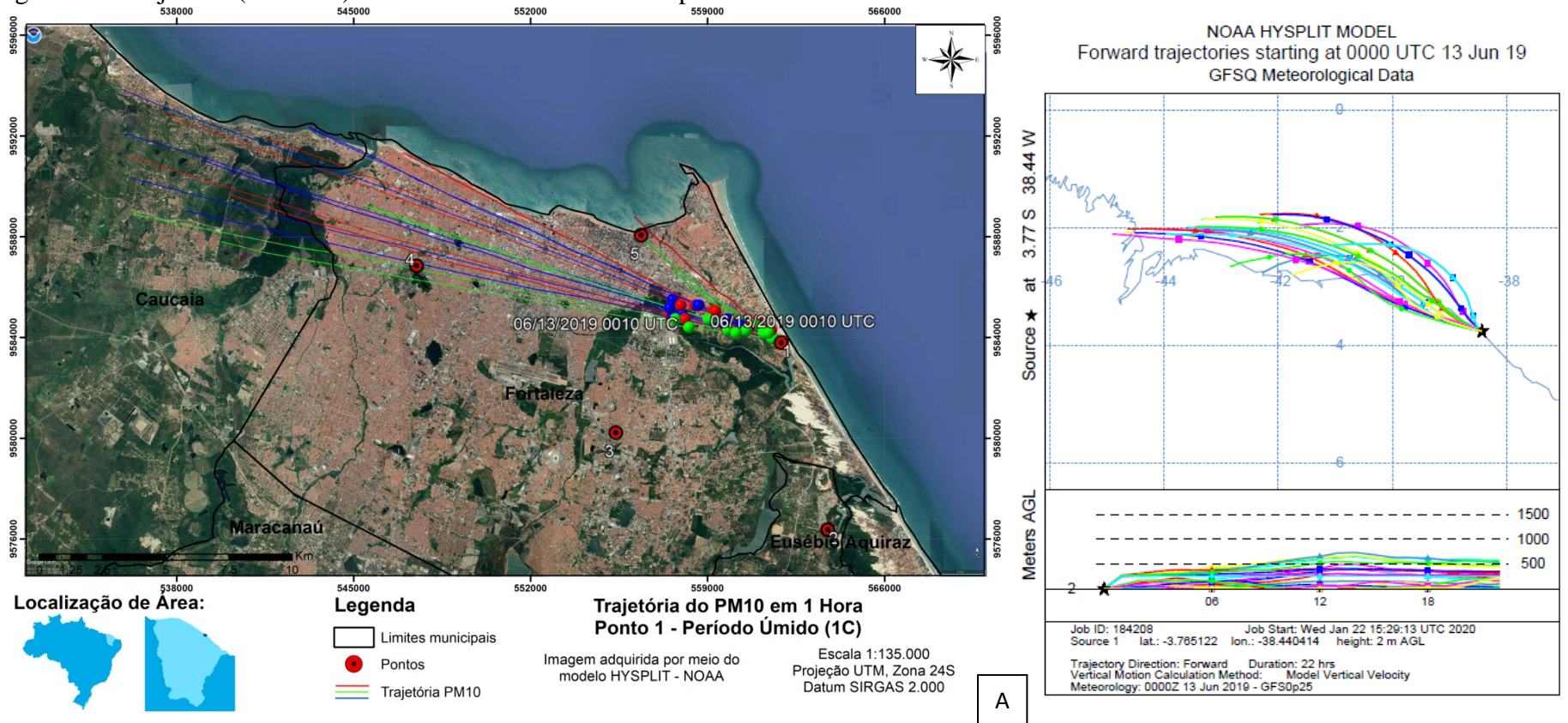
De acordo com a Figura 36 observa-se que, assim como nos outros pontos de amostragem, a direção de dispersão da pluma de PM10 durante a terceira campanha de amostragem tem o seu sentido diferente do observado na primeira e segunda campanha. Esse fenômeno ocorre devido às mudanças de direção do vento. Neste período, as direções predominantes dos ventos são de Leste, Noroeste e Norte, de acordo com os dados meteorológicos registrados nas amostragens deste trabalho, o que pode evidenciar a influência do ambiente urbano no comportamento da direção dos ventos da região. Estes dados comprovam o comportamento da pluma gerada pelo modelo e evidência que o PM10 formado na região costeira de Fortaleza, próximo à Beira Mar de Fortaleza, consegue atingir cidades interioranas do estado do Ceará, podendo atuar de diferentes maneiras de acordo com as suas concentrações de sais.

### **5.7 Trajetória da Dispersão do Material Particulado 10 $\mu\text{m}$ (PM10) por meio do modelo Hysplit-*Forward*.**

Conforme os dados de Material Particulado 10 $\mu\text{m}$  (PM10) trabalhados no programa Hysplit foi possível obter dados referentes sobre a trajetória do spray marinho na área de amostragem a partir dos pontos de formação e emissão do spray marinho (*Forward*) e dos pontos receptores do spray marinho (*Backward*).

O modelo *Forward* usado, neste estudo, para descrever trajetórias da salinidade atmosférica a partir dos pontos de formação e emissão (praias e estuários), foi aplicado no ponto 1 de amostragem (próximo à faixa de praia) para determinar a trajetória que o PM10, rico em sais da fração particulada, poderá desenvolver num período de 24 horas a partir da sua formação, como pode ser observado na Figura 37, que abrangeu o período chuvoso de amostragem (primeira campanha, primeiro semestre).

Figura 37 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 1: 1ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

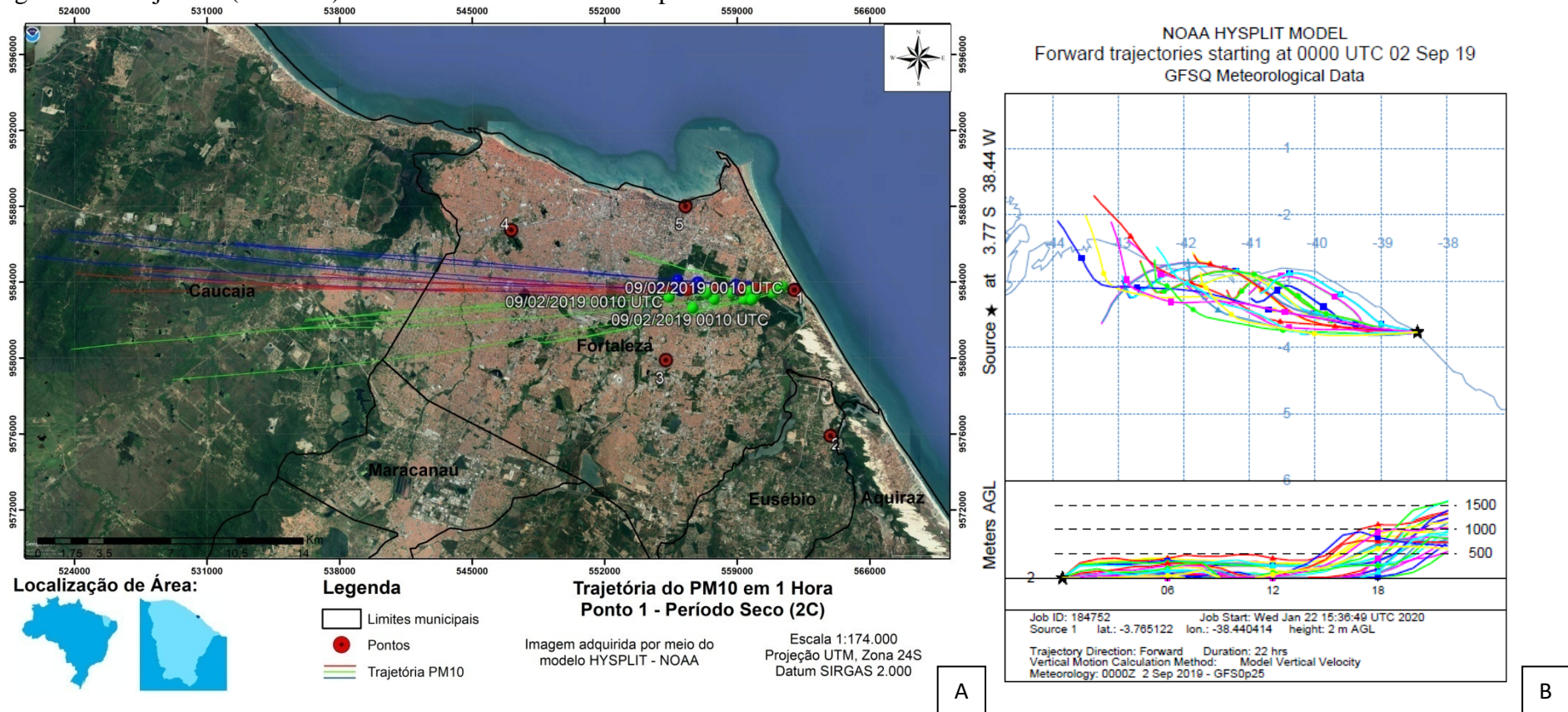
De acordo com a Figura 37A, é notório que o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 1 de amostragem, para o núcleo urbano de Fortaleza sob influência, principalmente, dos ventos de Sudeste e Leste, que foram, também, registrados neste estudo. Dessa forma, as partículas salinas presentes no PM10 formadas da zona de praia próximo à Praia do Futuro têm ação direta na área urbana, conforme modelagem gerada para a primeira campanha de amostragem no Ponto 1.

Como pode ser observado na Figura 37B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 1, tem sua trajetória acompanhando a linha de costa do nordeste, apresentando influência direta sobre as cidades litorâneas e sobre o oceano. No período chuvoso, é notório que a influência da umidade e precipitação age sobre o PM10, limitando a altura do material no perfil vertical da atmosfera, assim como a camada limite planetária (CLP) menos espessa, neste caso, a altura máxima do PM10 ficou entre 500 e 1000 metros de altitude considerando uma das possíveis rotas designadas pelo modelo.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste agindo sobre o transporte do PM10 no período de amostragem.

Foi usado o modelo *Forward* para descrever as possíveis trajetórias da partição particulada da salinidade atmosférica (PM10) no ponto 1 de amostragem considerando 24 horas a partir da sua detecção pelo equipamento de amostragem, como pode ser observado na Figura 38, que abrangeu o período seco de amostragem (segunda campanha, segundo semestre).

Figura 38 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 1: 2ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

Conforme a Figura 38A, é notório que o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 1 de amostragem, para o núcleo urbano de Fortaleza sob influência, principalmente, dos ventos de Leste, que foram, também, registrados neste estudo.

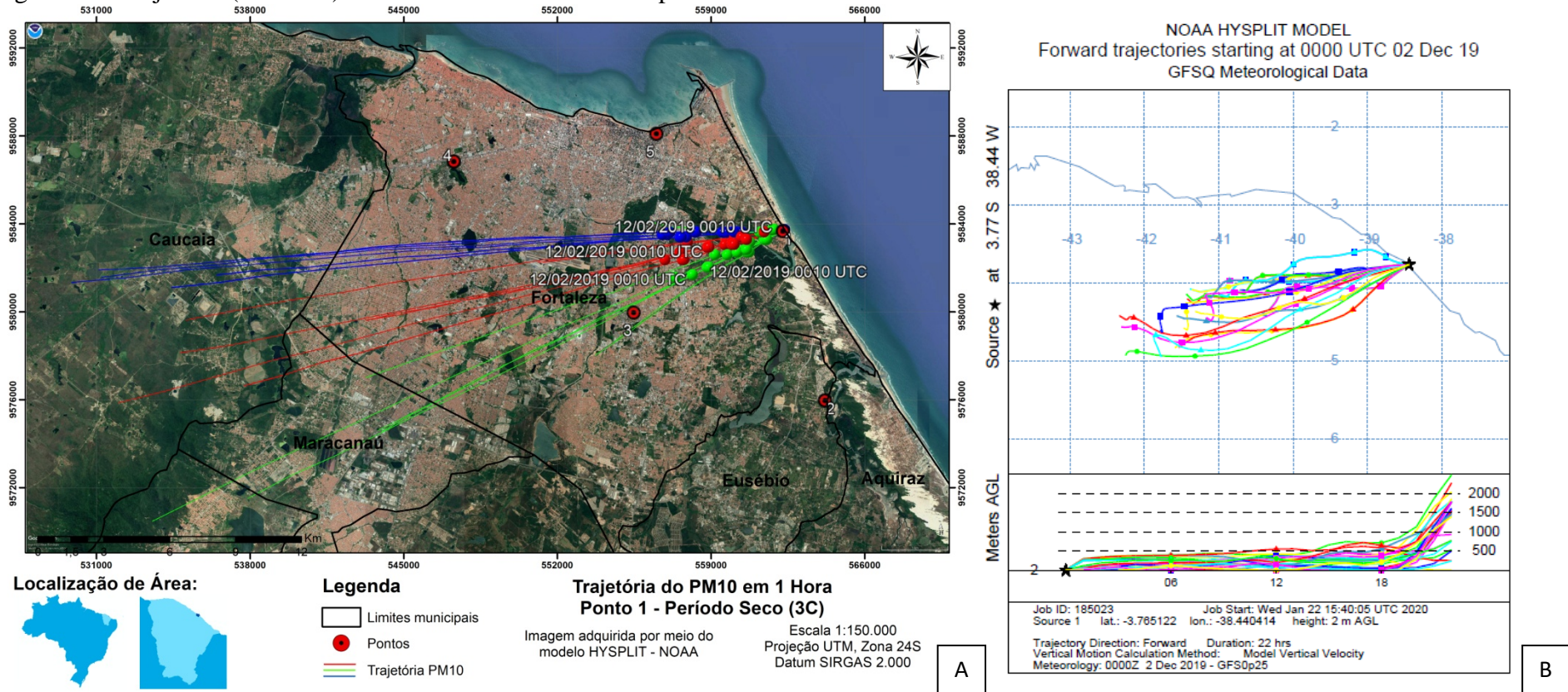
Dessa forma, as partículas salinas presentes no PM10 formadas da zona de praia próximo à Praia do Futuro têm ação direta na área urbana, conforme modelagem gerada para a segunda campanha de amostragem no Ponto 1. Com base nestes dados, é possível observar que no período de 1 hora, o PM10 consegue ser distribuído até a região de Caucaia-CE, cidade metropolitana de Fortaleza, com base na trajetória observada.

Como pode ser observado na Figura 38B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 1, no período seco, na segunda coleta realizada em setembro, tem sua trajetória acompanhando a linha de costa do nordeste, mas apresenta trajetória sobre a parte continental, diferente do Ponto 1 no período chuvoso que prevalecem trajetórias pelas cidades litorâneas e parte oceânica. No período seco, a turbulência atmosférica é maior do que no período chuvoso, permitindo que as partículas tenham maior mobilidade no perfil vertical da atmosfera, assim, neste período de amostragem as partículas chegaram a alturas superiores a 1500 metros de altitude de acordo com as trajetórias geradas pelo modelo.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste e de leste agindo com maior intensidade sobre o transporte do PM10 no período de amostragem.

No Ponto 1 de amostragem, durante a segunda campanha, foi usado o modelo *Foward* para descrever as possíveis trajetórias da partição particulada da salinidade atmosférica (PM10) considerando 24 horas a partir da sua detecção pelo equipamento de amostragem, como pode ser observado na Figura 39, que abrangeu o período seco de amostragem, durante a terceira campanha de amostragem, no segundo semestre.

Figura 39 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 1: 3ª Campanha



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

De acordo com a Figura 39A, é notório que o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 1 de amostragem, para o núcleo urbano de Fortaleza sob influência, principalmente, dos ventos de Leste e Nordeste, que foram, também, registrados neste estudo durante a terceira campanha de amostragem. Dessa forma, as partículas salinas presentes no PM10 formadas da zona de praia próximo à Praia do Futuro têm ação direta na área urbana, conforme modelagem gerada para a terceira campanha de amostragem no Ponto 1. Com base nestes dados, é possível observar que no período de 1 hora, o PM10 consegue ser distribuído até a região de Maracanaú-CE, cidade metropolitana de Fortaleza, com base na trajetória observada. Os sais presentes na atmosfera podem reagir química e fisicamente com vários compostos na atmosfera, Maracanaú, por se tratar de uma área industrial pode ter, em sua atmosfera, várias reações dos sais oriundos do spray marinho reagindo com poluentes industriais podendo reduzir ou intensificar os danos nas matrizes ambientais e sociais da região.

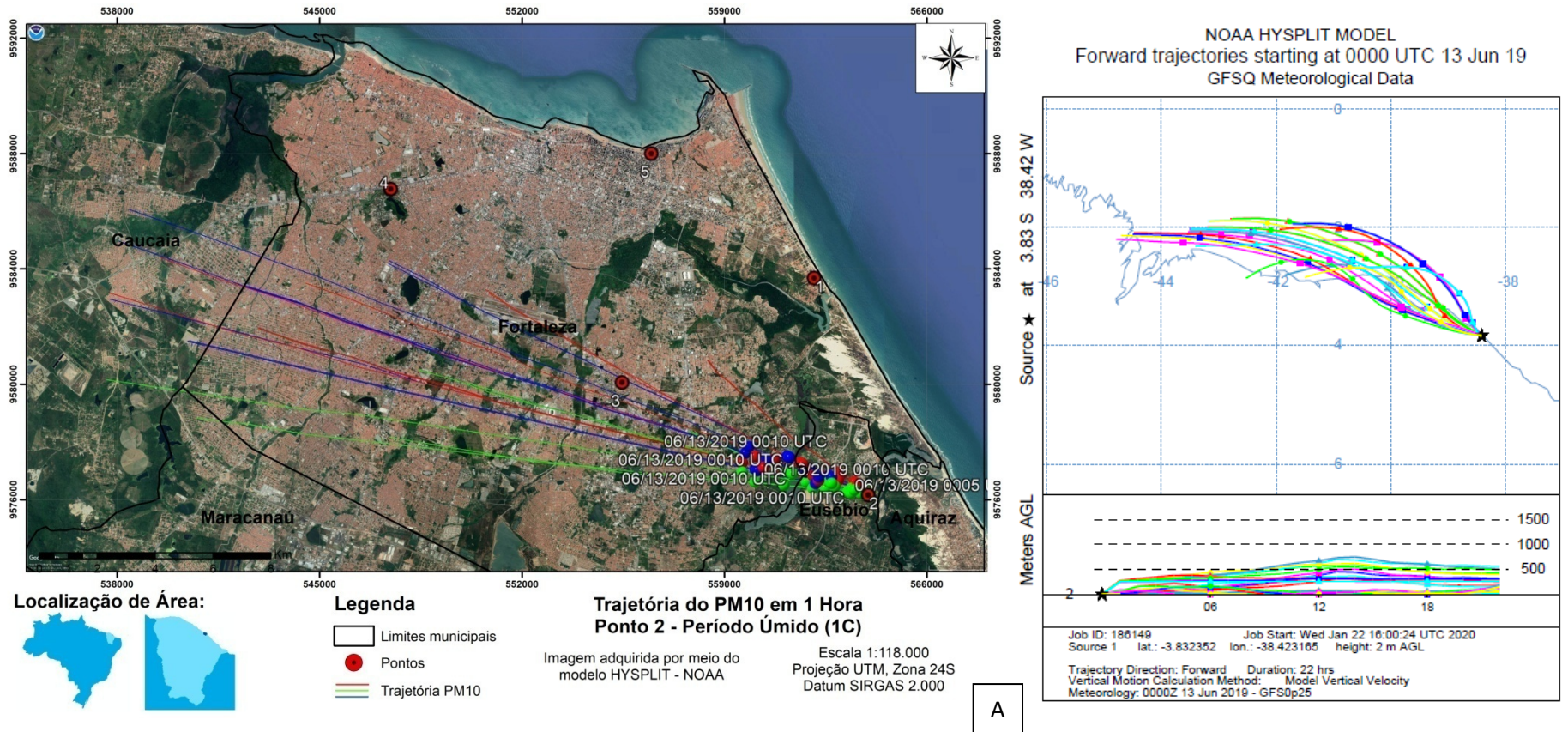
Conforme a Figura 39B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 1, no período seco, na terceira coleta realizada em dezembro, tem sua trajetória para dentro do continente, evidenciando influência dos ventos de Nordeste na trajetória de dispersão do PM10 no período de coleta. Assim, observa-se que a partição particulada da salinidade atmosférica pode chegar em cidades interioranas em determinado período do ano, sob ação de ventos de alta velocidade, característicos da época do ano, e de orientação nordeste. Assim cidades interioranas podem estar sujeitas à ação do spray marinho formado na linha de costa. No período seco, a turbulência atmosférica é maior do que no período chuvoso, além disso, no período que compreende dezembro, a velocidade dos ventos são maiores do que todo o restante do período seco, apresentando os maiores níveis de todo o ano, permitindo que as partículas tenham maior mobilidade anual no perfil vertical da atmosfera, assim, neste período de amostragem as partículas chegaram a alturas superiores a 2000 metros de altitude de acordo com as trajetórias geradas pelo modelo.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de nordeste agindo com maior intensidade sobre o transporte do PM10 no período.

O modelo *Forward* usado, neste estudo, para descrever trajetórias da salinidade atmosférica a partir dos pontos de formação e emissão (praias e estuários), foi aplicado, também, no ponto 2 de amostragem (próximo à zona estuarina) para

determinar a trajetória que o PM10, rico em sais da fração particulada, poderá desenvolver num período de 24 horas a partir da sua formação, como pode ser observado na Figura 40, que abrangeu o período chuvoso de amostragem (primeira campanha, primeiro semestre).

Figura 40 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 2: 1ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

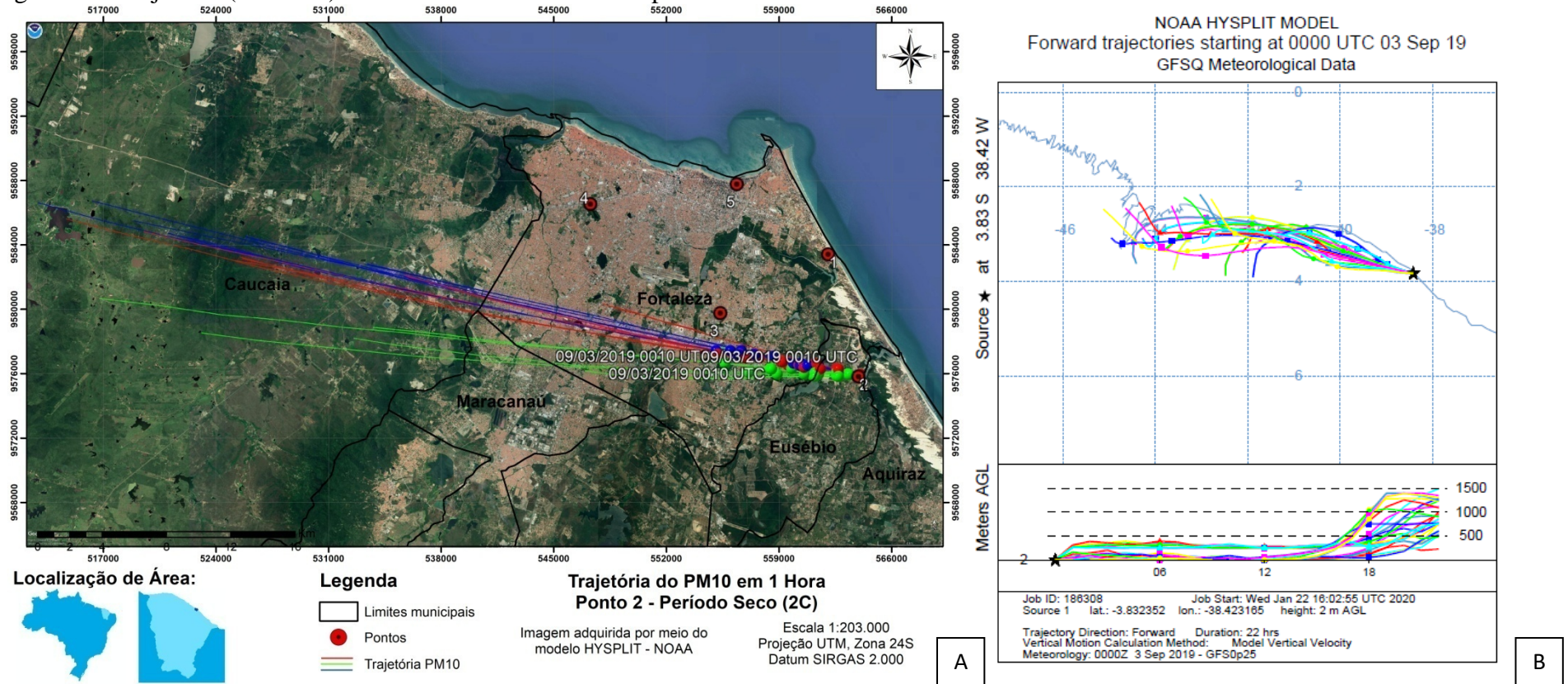
De acordo com a Figura 40A, é notório que o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 2 de amostragem, para o núcleo urbano de Fortaleza sob influência, principalmente, dos ventos de Sudeste e Leste, que foram evidenciados e registrados neste estudo por meio de uma estação meteorológica portátil utilizada durante as amostragens. Dessa forma, as partículas salinas presentes no PM10 formadas na zona estuarina do Rio Pacoti têm ação direta na área urbana, conforme modelagem gerada para a primeira campanha de amostragem no Ponto 2. É possível observar, conforme o modelo, que no período de 1 hora (Figura 40A), o PM10 consegue passar por toda Fortaleza, interagindo com seus componentes urbanos e reagindo química e fisicamente com emissões oriundas de atividade humana.

Como pode ser observado na Figura 40B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 2, tem sua trajetória acompanhando a linha de costa do nordeste, assim como ocorre no ponto 1 durante a primeira campanha, apresentando influência direta sobre as cidades litorâneas e sobre o oceano. No período chuvoso, é notório que a influência da umidade e precipitação age sobre o PM10, limitando a altura do material no perfil vertical da atmosfera, assim como a camada limite planetária (CLP) menos espessa, neste caso, a altura máxima do PM10 ficou entre 500 e 1000 metros de altitude considerando uma das possíveis rotas designadas pelo modelo.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste agindo com maior intensidade sobre o transporte do PM10 no período de amostragem.

Foi usado o modelo *Foward* para descrever as possíveis trajetórias da partição particulada da salinidade atmosférica (PM10) no ponto 2 de amostragem considerando 24 horas a partir da sua detecção pelo equipamento de amostragem, como pode ser observado na Figura 41, que abrangeu o período seco de amostragem (segunda campanha, segundo semestre).

Figura 41 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 2: 2ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

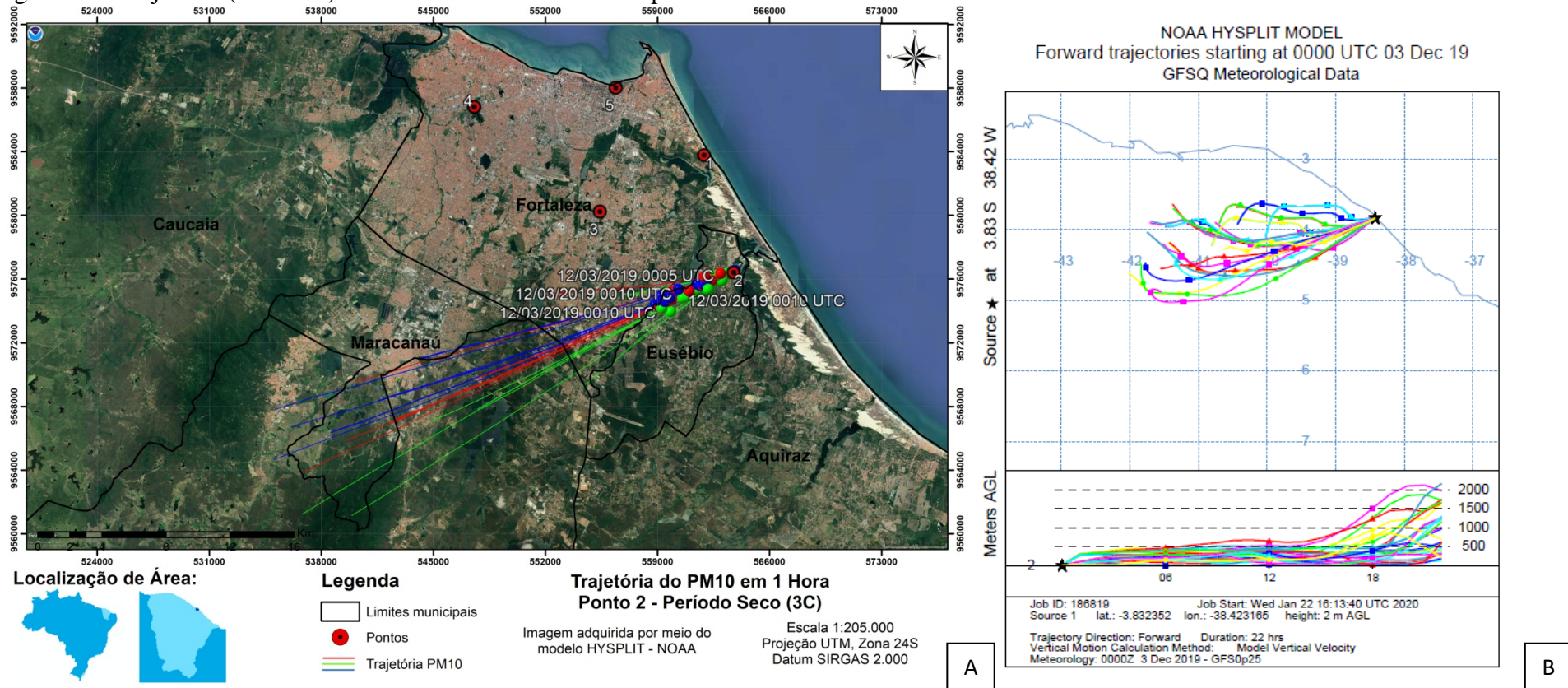
Na Figura 41A, o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 2 de amostragem, para o núcleo urbano de Fortaleza sob influência dos ventos de Sudeste e Leste, assim como na primeira campanha. Estes ventos foram evidenciados e registrados neste estudo por meio de uma estação meteorológica portátil utilizada durante as amostragens. Assim, as partículas salinas presentes no PM10 formadas na zona estuarina do Rio Pacoti têm ação direta na área urbana, conforme modelagem gerada para a primeira campanha de amostragem no Ponto 2. É possível observar, conforme o modelo, que no período de 1 hora (Figura 41A), o PM10 consegue passar por toda Fortaleza, interagindo com seus componentes urbanos e reagindo química e fisicamente com emissões oriundas de atividade humana. Nesta campanha que compreende o período seco, a velocidade dos ventos é maior quando comparada à primeira campanha. Assim, as trajetórias de dispersão do PM10 atingem maior distância do ponto de origem, quando comparada com a primeira campanha. Na segunda campanha de amostragem, o PM10 consegue, em hora atingir o município de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza.

Como pode ser observado na Figura 41B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 2, na segunda coleta realizada em setembro, tem sua trajetória acompanhando a linha de costa do nordeste, mas apresenta trajetória sobre a parte continental, diferente do Ponto 1 no período chuvoso que prevalecem trajetórias pelas cidades litorâneas e parte oceânica, e similar ao que acontece no Ponto 1 na segunda campanha de amostragem. No período seco, a turbulência atmosférica é maior do que no período chuvoso, permitindo que as partículas tenham maior mobilidade no perfil vertical da atmosfera, assim, neste período de amostragem as partículas chegaram a alturas superiores a 1500 metros de altitude de acordo com as trajetórias geradas pelo modelo.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste e de leste agindo com maior intensidade sobre o transporte do PM10 no período de amostragem.

O *Forward* para descrever as possíveis trajetórias da partição particulada da salinidade atmosférica (PM10) no ponto 2 de amostragem considerando 24 horas a partir da sua detecção pelo equipamento de amostragem, como pode ser observado na Figura 42, que abrangeu o período seco de amostragem, durante a terceira campanha de amostragem, no segundo semestre, realizada em dezembro.

Figura 42 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 2: 3ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

De acordo com a Figura 42A, o PM10 é distribuído a partir do Ponto 2 de amostragem, para o núcleo urbano de Fortaleza sob influência, principalmente, dos ventos de Leste e Nordeste durante a terceira campanha de amostragem. Essa diferença de direção dos ventos pode ter ocorrido devido a influências de brisas ou canalização do vento pelas estruturas urbanas ou vale do Rio Pacoti, pois os ventos de NE não são característicos desta região neste período. Dessa forma, as partículas salinas presentes no PM10 formadas na zona estuarina do Rio Pacoti têm ação direta na área urbana, conforme modelagem gerada para a primeira campanha de amostragem no Ponto 2. É possível observar, conforme o modelo, que no período de 1 hora (Figura 42A), o PM10 consegue passar por determinada região de Fortaleza, interagindo com seus componentes urbanos e reagindo química e fisicamente com emissões oriundas de atividade humana, e chega até o município de Maracanaú, região metropolitana de Fortaleza, e reage com emissões oriundas de atividades industriais presente em grande densidade e podem agir no Município.

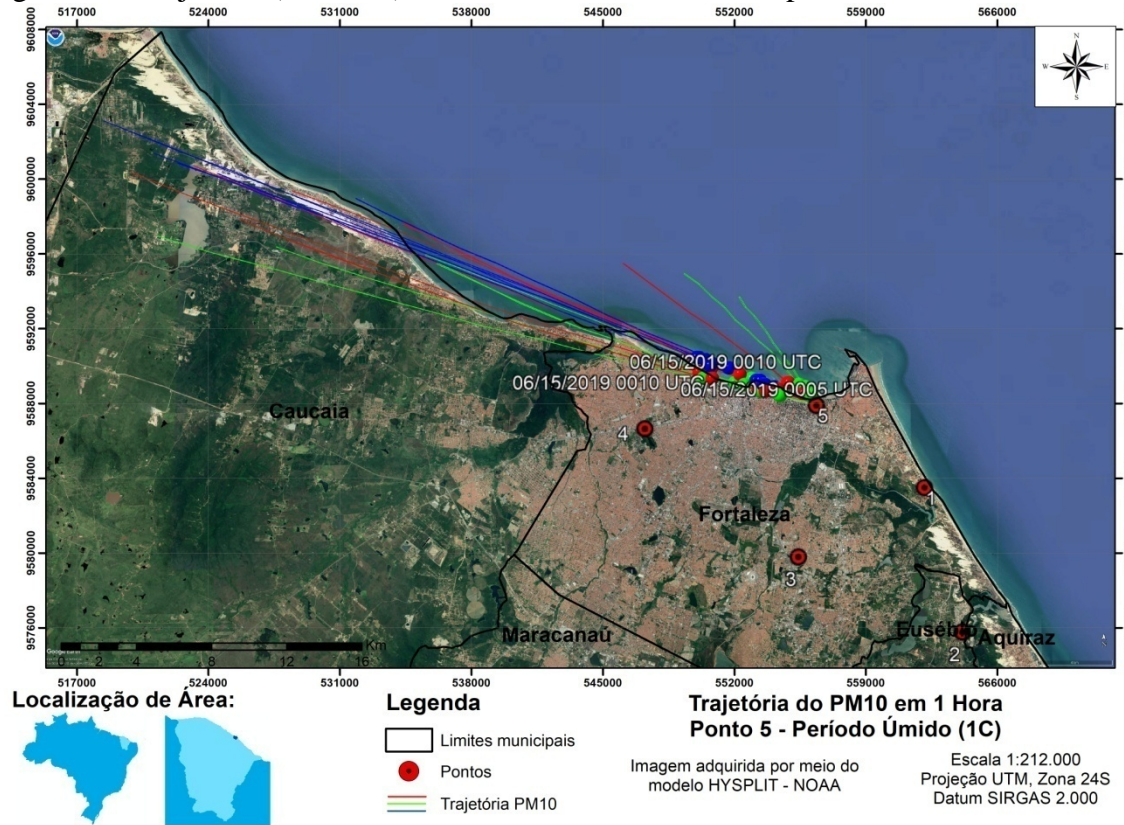
Como pode ser observado na Figura 42B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 2, no período seco, na terceira coleta realizada em dezembro, tem sua trajetória para dentro do continente, assim como ocorreu no ponto 1 durante a terceira campanha, evidenciando influência dos ventos de Nordeste na trajetória de dispersão do PM10 no período de coleta (possível influência da canalização pelo Rio Pacoti). Assim, observa-se que a partição particulada da salinidade atmosférica oriunda da zona estuarina do estuário do Rio Pacoti pode chegar em cidades interioranas em determinado período do ano, sob ação de ventos de alta velocidade, característicos do período, e de orientação nordeste. Assim, cidades interioranas podem estar sujeitas à ação do spray marinho formado em estuários.

A turbulência atmosférica deste período de amostragem é a maior considerando o período anual de acordo com condições meteorológicas características da região, como insolação, velocidade dos ventos condições de umidade e várias outras, isso proporciona um maior espessamento da CLP neste período, que permite que as partículas tenham a maior mobilidade anual no perfil vertical da atmosfera, assim, neste período de amostragem as partículas chegaram à altitudes superiores a 2000 metros de acordo com as trajetórias geradas pelo modelo.

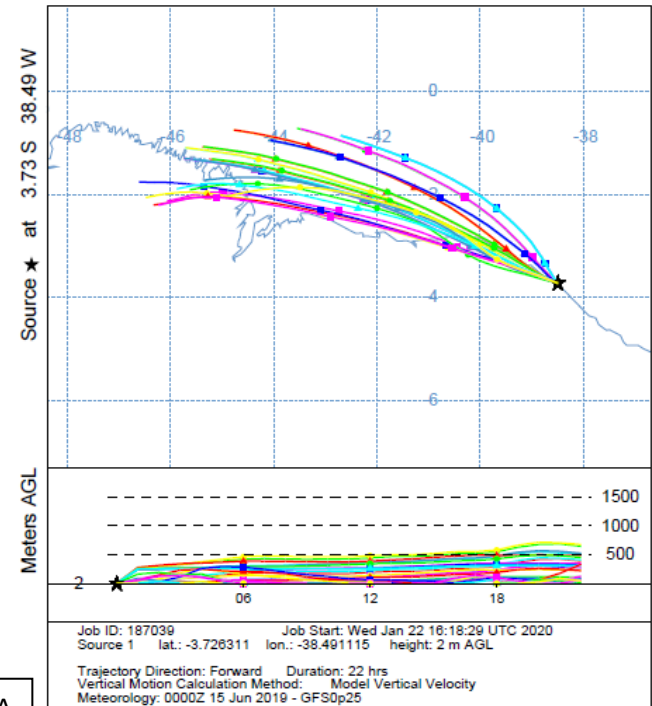
O modelo *Forward* aplicado, também, no ponto 5 de amostragem (próximo à linha de praia) para determinar a trajetória que o PM10, rico em sais da

fração particulada, poderá desenvolver num período de 24 horas a partir da sua formação, como pode ser observado na Figura 43, que abrangeu o período chuvoso de amostragem (primeira campanha, primeiro semestre).

Figura 43 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 5: 1ª Campanha.



NOAA HYSPLIT MODEL  
Forward trajectories starting at 0000 UTC 15 Jun 19  
GFSQ Meteorological Data



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

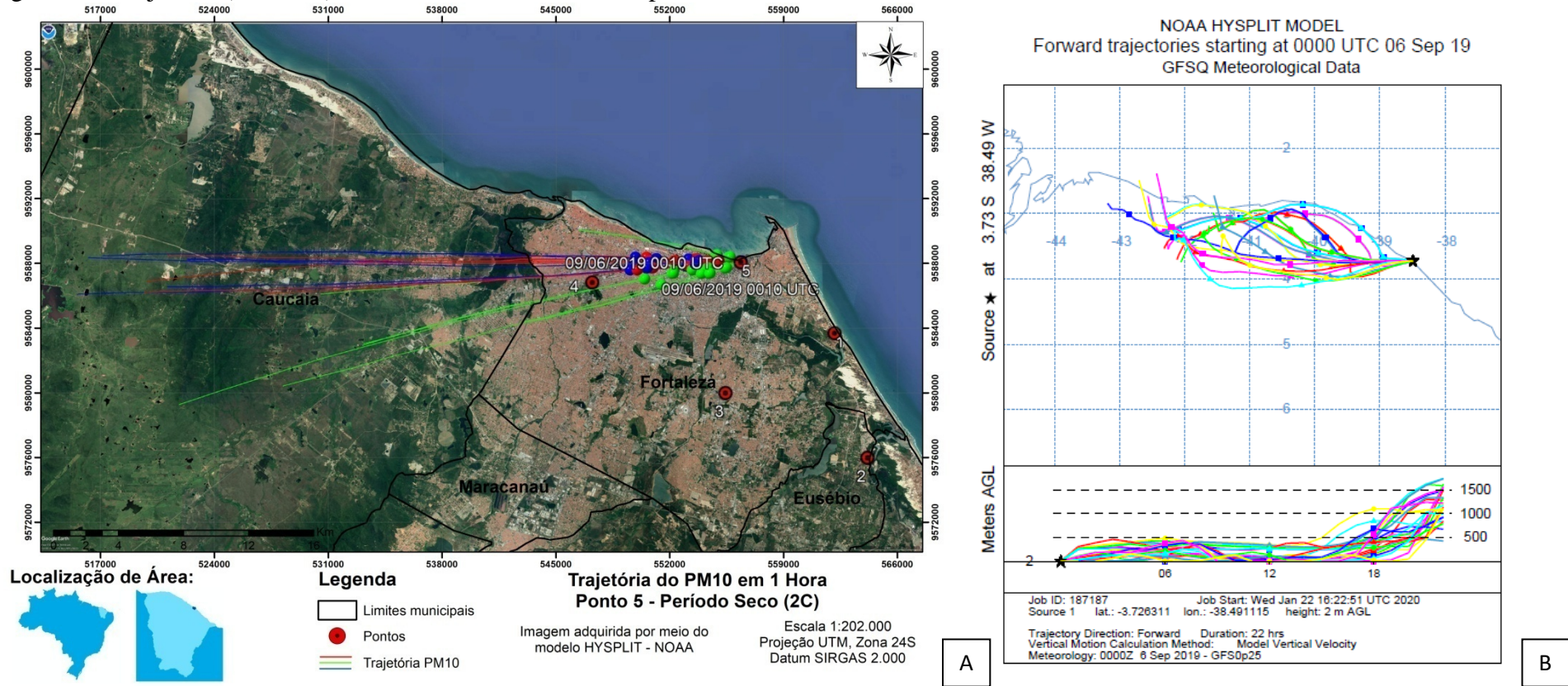
De acordo com a Figura 43A, é notório que o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 5 de amostragem, para a região oceânica até atingir a costa de cidades litorâneas, como Caucaia e São Gonçalo do Amarante sob influência de ventos oriundos, principalmente, de Sudeste e Leste. Observa-se que as partículas formadas neste ponto não apresentam influência direta em Fortaleza durante a primeira campanha de amostragem, considerando o modelo matemático.

Como pode ser observado na Figura 43B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 5, tem sua trajetória acompanhando a linha de costa do nordeste, assim como ocorre no ponto 1 durante a primeira campanha, apresentando influência direta sobre as cidades litorâneas e sobre o oceano. No período chuvoso, é notório que a influência da umidade e precipitação age sobre o PM10, limitando a altura do material no perfil vertical da atmosfera, assim como a camada limite planetária (CLP) menos espessa, neste caso, a altitude máxima atingida pelo PM10 foi um pouco acima de 500 metros de altura considerando uma das possíveis rotas designadas pelo modelo.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste agindo com maior intensidade sobre o transporte do PM10 no período de amostragem.

Foi usado o modelo *Foward* para descrever as possíveis trajetórias da partição particulada da salinidade atmosférica (PM10) no ponto 5 de amostragem considerando 24 horas a partir da sua detecção pelo equipamento de amostragem, como pode ser observado na Figura 44, que abrangeu o período seco de amostragem (segunda campanha, segundo semestre).

Figura 44 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 5: 2ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

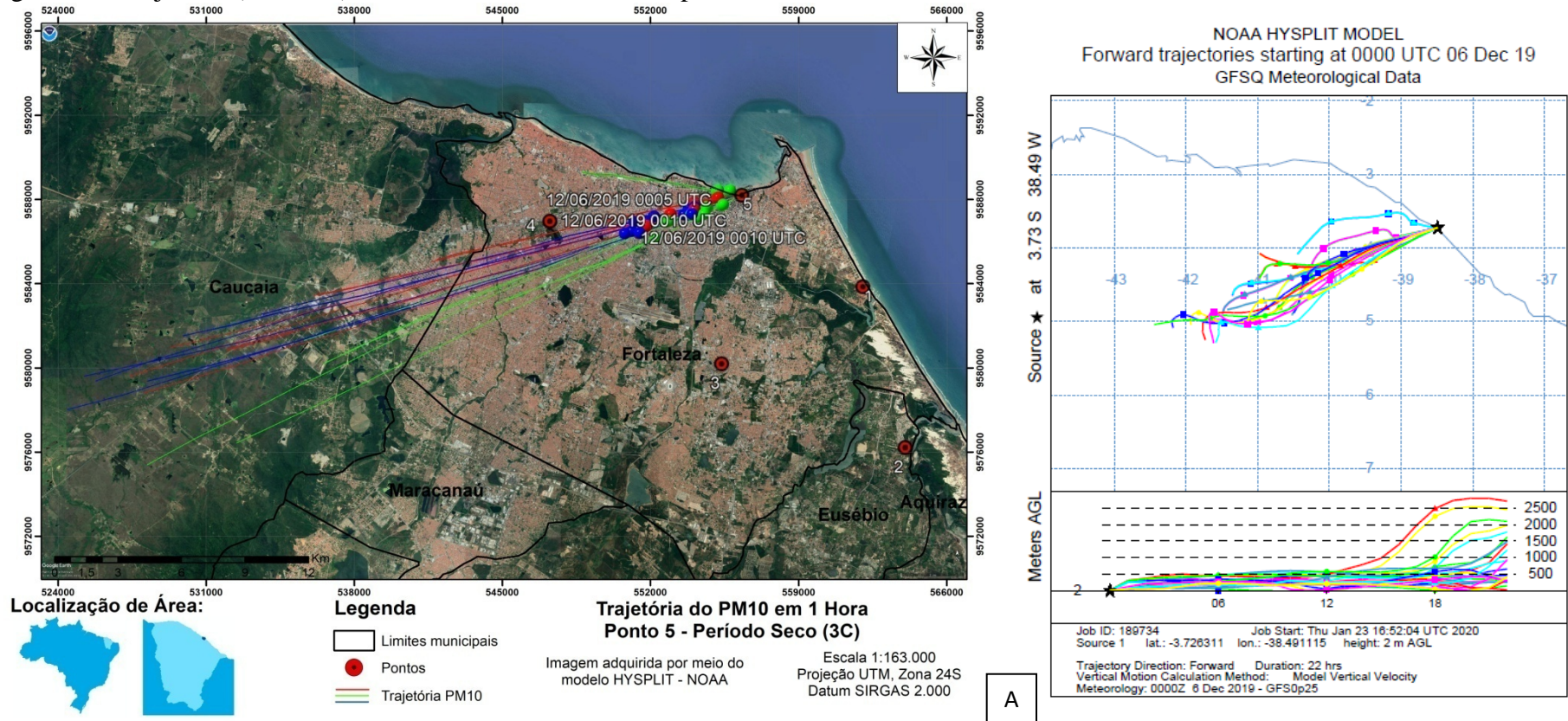
De acordo com a Figura 44A, observa-se que o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 5 de amostragem, para regiões continentais, atingindo áreas de Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante durante a segunda campanha de amostragem, sob influência de ventos oriundos da região Leste. Na segunda campanha, é observado que as partículas atingem uma maior distância de dispersão a partir do ponto de origem quando comparadas à primeira campanha. Esse fenômeno de aumento de velocidade e dispersão das partículas na segunda campanha em relação à primeira se deve à diferença de sazonalidade, onde a segunda campanha foi realizada no período seco, caracterizada por maiores velocidades dos ventos, maior temperatura e CLP mais espessa o que favorece a dispersão do PM10.

Como pode ser observado na Figura 44B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 5, no período seco, na segunda coleta realizada em setembro, tem sua trajetória acompanhando a linha de costa do nordeste, mas apresenta trajetória sobre a parte continental, diferente do Ponto 1 no período chuvoso que prevalecem trajetórias pelas cidades litorâneas e parte oceânica, e similar ao que acontece no Ponto 1 na segunda campanha de amostragem. No período seco, a turbulência atmosférica é maior do que no período chuvoso, permitindo que as partículas tenham maior mobilidade no perfil vertical da atmosfera, assim, neste período de amostragem as partículas chegaram a alturas superiores a 1500 metros de altitude de acordo com as trajetórias geradas pelo modelo.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste e de leste agindo com maior intensidade sobre o transporte do PM10 no período de amostragem.

Foi usado o modelo *Forward* para descrever as possíveis trajetórias da partição particulada da salinidade atmosférica (PM10) no Ponto 5 de amostragem considerando 24 horas a partir da sua detecção pelo equipamento de amostragem, como pode ser observado na Figura 45, que abrangeu o período seco de amostragem, durante a terceira campanha de amostragem, no segundo semestre, realizada em dezembro.

Figura 45 - Trajetória (Forward) do PM10 no Ponto 5: 3ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

De acordo com a Figura 45A, observa-se que o PM10 é distribuído, a partir do Ponto 5 de amostragem, para regiões continentais, atingindo áreas de Fortaleza e Caucaia durante a terceira campanha de amostragem, sob influência de ventos oriundos da região Nordeste e Leste. As distâncias percorridas pelas partículas em trajetórias de uma hora modeladas mostram similaridade com a segunda campanha deste ponto, onde atingiram grandes distâncias a partir do ponto de detecção.

Como pode ser observado na Figura 45B, o PM10 formado e disponibilizado para a atmosfera no Ponto 5, no período seco, na terceira coleta realizada em dezembro, tem sua trajetória para dentro do continente, assim como ocorreu no Ponto 1 durante a terceira campanha, evidenciando influência dos ventos de Nordeste na trajetória de dispersão do PM10 no período de coleta. Assim, observa-se que a partição particulada da salinidade atmosférica oriunda da zona estuarina do estuário do Rio Pacoti pode chegar em cidades interioranas em determinado período do ano, sob ação de ventos de alta velocidade, característicos do período, e de orientação nordeste. Assim, cidades interioranas podem estar sujeitas à ação do spray marinho formado em estuários.

A turbulência atmosférica deste período de amostragem é a maior considerando o período anual de acordo com condições meteorológicas características da região, como insolação, velocidade dos ventos condições de umidade e várias outras, isso proporciona um maior espessamento da CLP neste período, que permite que as partículas tenham a maior mobilidade anual no perfil vertical da atmosfera, assim, neste período de amostragem as partículas chegaram à altitudes superiores a 2500 metros de acordo com as trajetórias geradas pelo modelo, atingindo as maiores altitudes, no período anual, durante sua distribuição, o que permite o PM10 passar por algumas barreiras físicas do meio, como áreas urbanas, vegetação e relevo acidentado com presença de serras e morfologias de maior altitude.

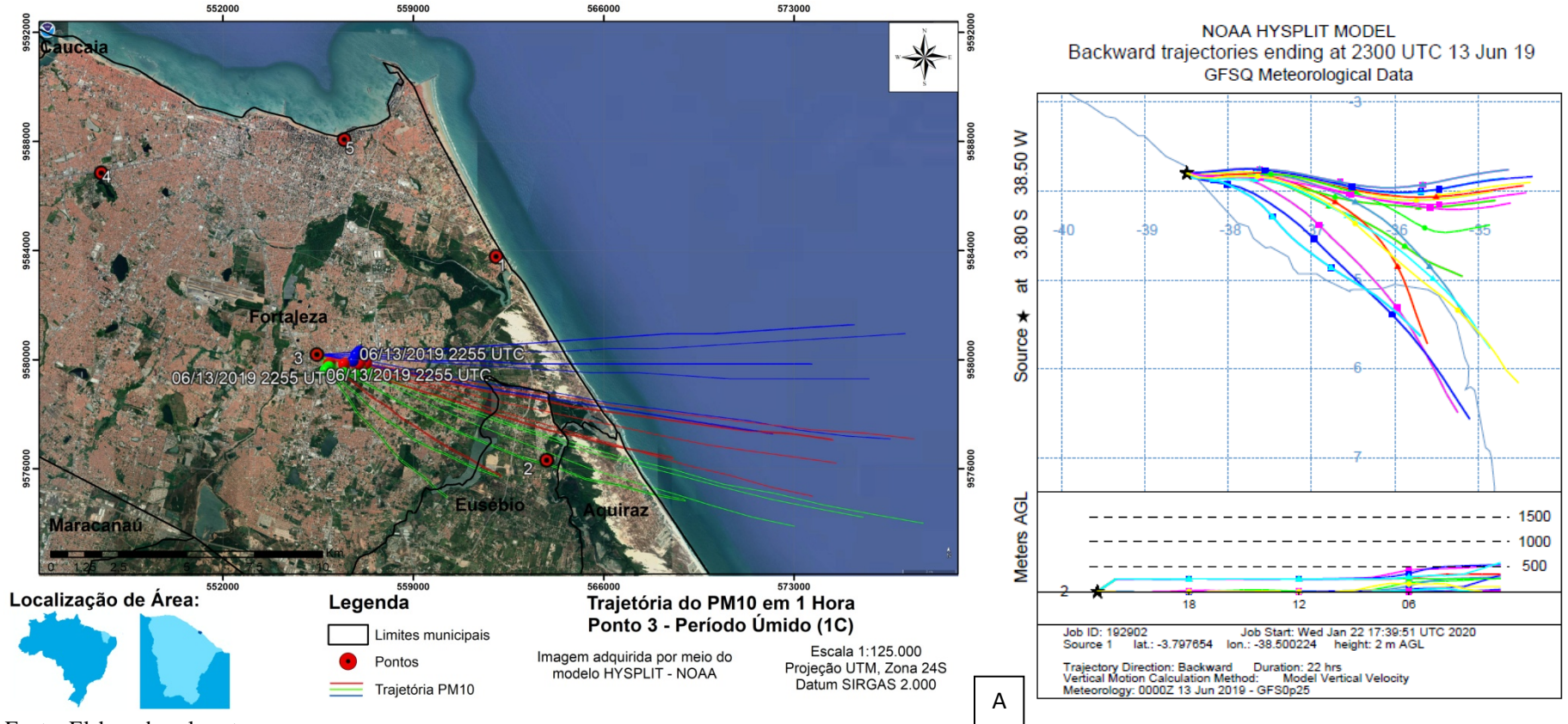
### **5.8 Influência da linha de costa na distribuição da salinidade atmosférica por meio do modelo *Hysplit-Backward*.**

Conforme os dados de Material Particulado 10 $\mu$ m (PM10) trabalhados no programa Hysplit foi possível obter dados referentes sobre a trajetória do spray marinho na área de amostragem a partir dos pontos receptores do spray marinho (*Backward*). Esses pontos receptores são importantes ferramentas de análise da influência da linha de costa

sobre a área urbana de fortaleza, pois a modelagem é feita com o intuito de destinar a origem do PM10 que chega até o ponto de detecção pelo equipamento de amostragem.

O modelo *Backward* usado, neste estudo, para descrever trajetórias da salinidade atmosférica em pontos receptores, foi aplicado no ponto 3 de amostragem (área urbana) para determinar a origem do PM10 que chega até esse ponto de amostragem, considerando possíveis emissões num período de 24 horas antes da amostragem no Ponto 3, como pode ser observado na Figura 46, que abrangeu o período chuvoso de amostragem (primeira campanha, primeiro semestre).

Figura 46 - Trajetória (Backward) do PM10 no Ponto 3: 1ª Campanha



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

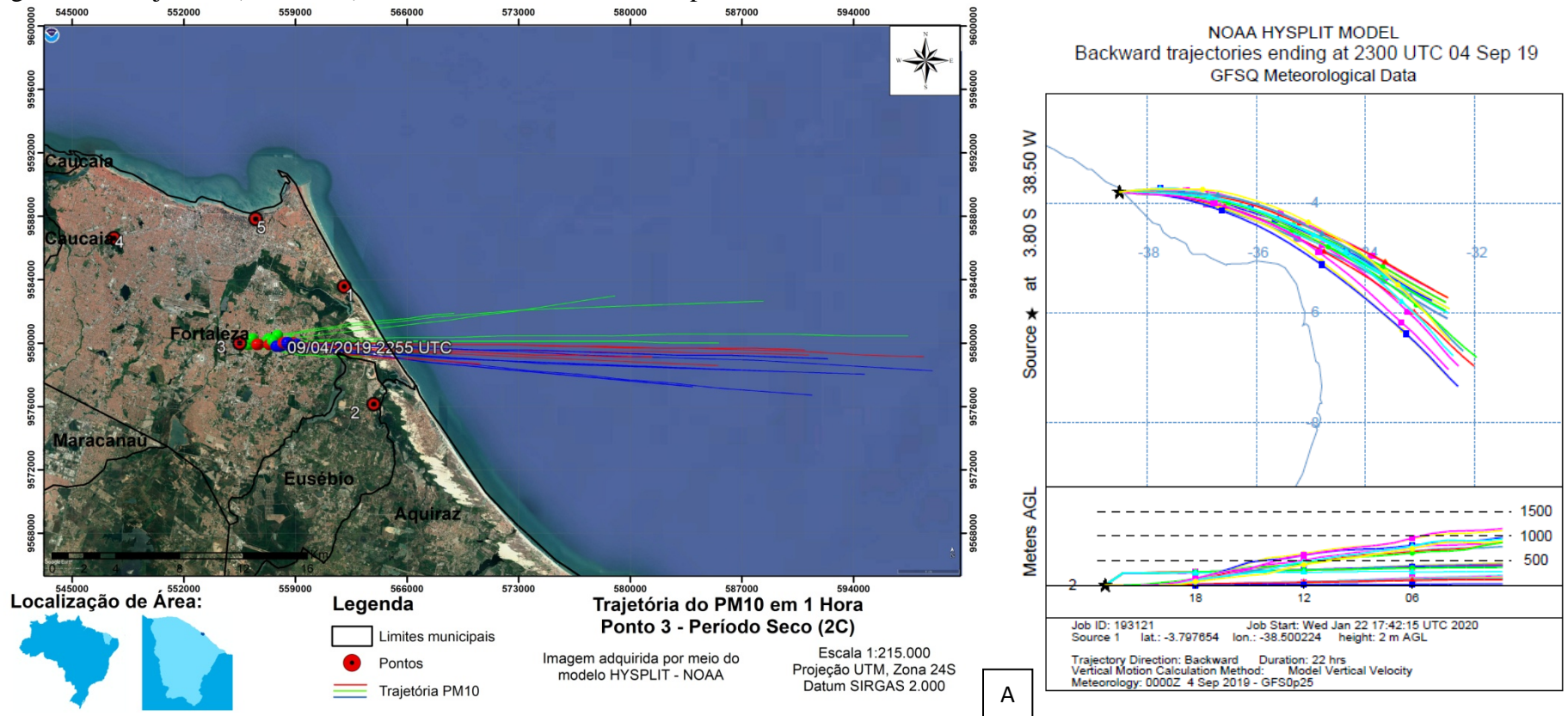
De acordo com a Figura 46A, é notório que a contribuição, considerando o intervalo de 1 hora, de sais na atmosfera presentes no PM10 para o Ponto 3, durante a primeira campanha, vem de origem oceânica e estuarina do Rio Pacoti, que consistem em zonas de formação de spray marinho. São observadas influências de ventos oriundos de Leste e Sudeste, os quais são responsáveis pelo transporte do PM10 até o Ponto 3.

Como pode ser observado na Figura 46B, o PM10 é originado, principalmente, de fontes oceânicas, havendo uma contribuição menor da parte continental da região nordeste do Brasil. De acordo com o modelo, as partículas encontradas com, no máximo, 500 metros de altitude, conseguiram se depositar no Ponto 3, observando a influência no período chuvoso na menor altitude das partículas depositadas neste ponto. A umidade e precipitação agem sobre o PM10, limitando a altura do material no perfil vertical da atmosfera, assim como a camada limite planetária (CLP) menos espessa.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste e leste são os responsáveis pelo transporte do PM10 para o Ponto 3 de amostragem.

O modelo *Backward* para descrever trajetórias da salinidade atmosférica em pontos receptores, foi aplicado no ponto 3 de amostragem (área urbana) para determinar a origem do PM10 que chega até esse ponto de amostragem, considerando possíveis emissões num período de 24 horas antes da amostragem no Ponto 3, como pode ser observado na Figura 47, que abrangeu o período seco de amostragem (segunda campanha, primeiro semestre).

Figura 47 - Trajetória (Backward) do PM10 no Ponto 3: 2ª Campanha



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

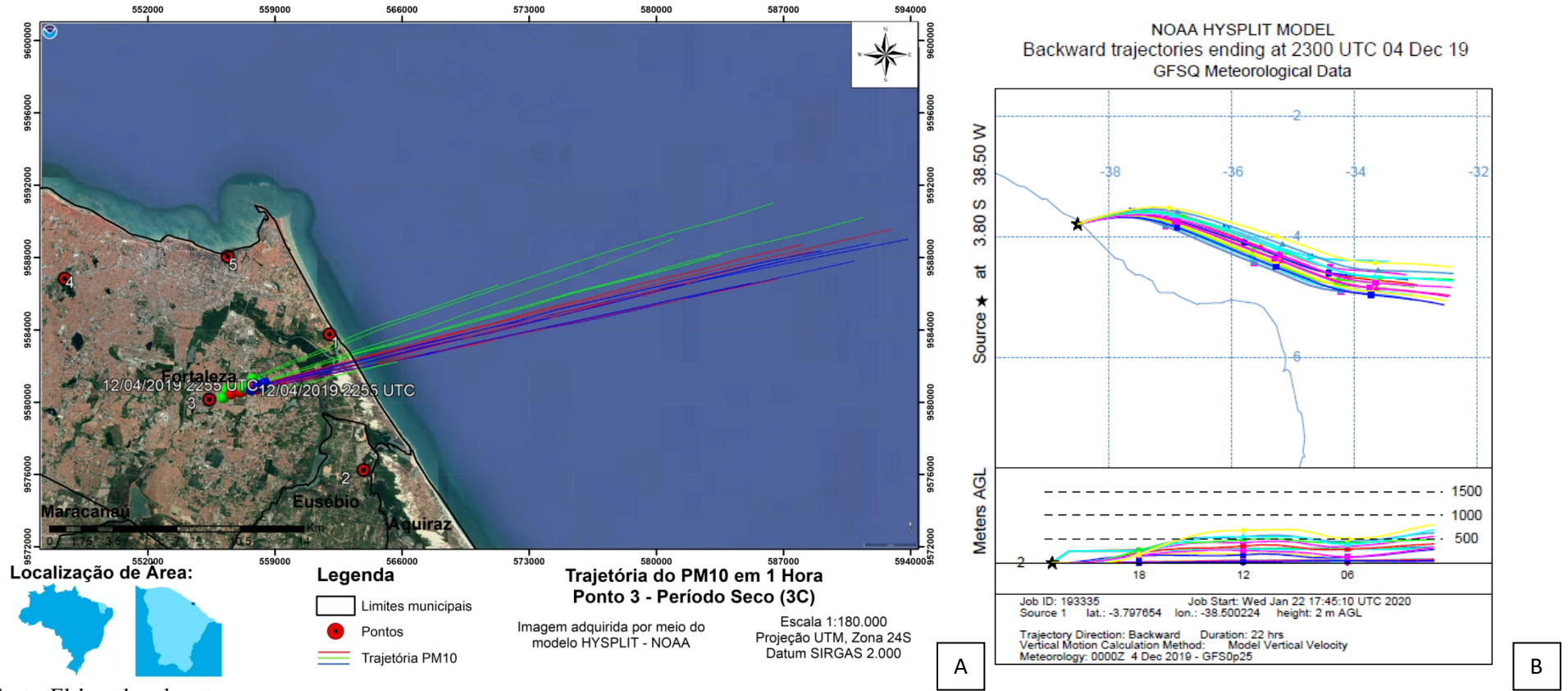
De acordo com a Figura 47A, é notório que a contribuição, considerando o intervalo de 1 hora, de sais na atmosfera presentes no PM10 para o Ponto 3, durante a segunda campanha, vem de origem oceânica, que consiste em zona de formação de spray marinho. São observadas influências de ventos oriundos de Leste, os quais são responsáveis pelo transporte do PM10 até o Ponto 3.

Como pode ser observado na Figura 47B, o PM10 é originado, totalmente, de fontes oceânicas. De acordo com o modelo, as partículas são originadas a partir da deposição de partículas em altitude superior à 1000 metros, que conseguiram se depositar no Ponto 3, observando a influência do período seco sob maiores altitudes das partículas que foram depositadas, quando comparado às altitudes das partículas depositadas na primeira campanha durante o período chuvoso, evidenciando maior turbulência atmosférica, CLP mais espessa, o que permite uma maior distribuição do PM10 no perfil vertical da atmosfera.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste, que são os responsáveis pelo transporte do PM10 para o Ponto 3 de amostragem.

O modelo *Backward* para descrever trajetórias da salinidade atmosférica em pontos receptores, foi aplicado no ponto 3 de amostragem (área urbana), também, durante a terceira campanha de amostragem que compreende o mês de dezembro - período seco para determinar a origem do PM10 que chega até esse ponto, conforme observado na Figura 48.

Figura 48 - Trajetória (*Backward*) do PM10 no Ponto 3: 3ª Campanha



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

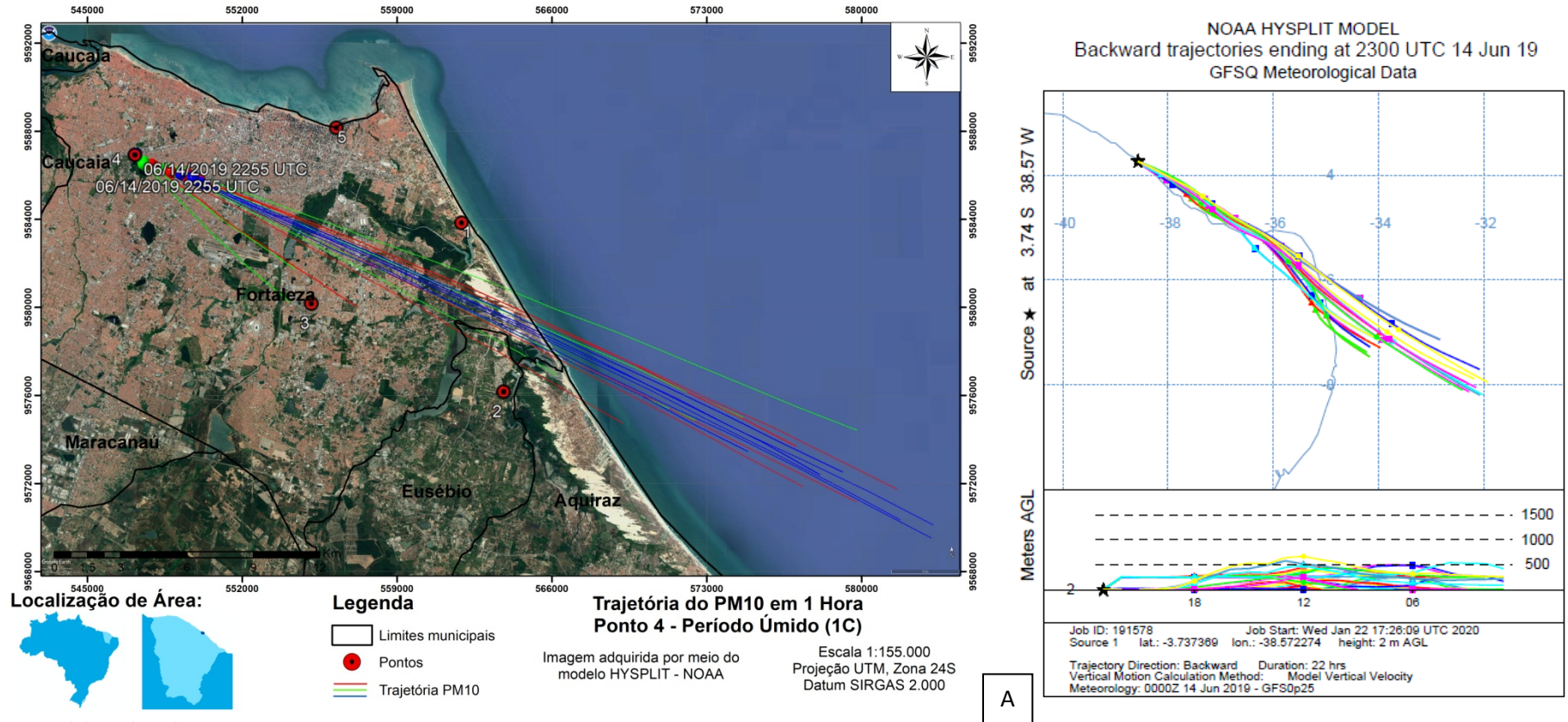
De acordo com a Figura 48A, é notório que a contribuição, considerando o intervalo de 1 hora, de sais na atmosfera presentes no PM10 para o Ponto 3, durante a terceira campanha, vem de origem oceânica, que consiste em zona de formação de spray marinho. São observadas influências de ventos oriundos de Leste e Noroeste, os quais são responsáveis pelo transporte do PM10 até o Ponto 3 durante a terceira amostragem. Outra informação importante nesta trajetória de Backward é a maior distância de origem do PM10 depositado no Ponto 3, em comparação à primeira e segunda campanha de amostragem, evidenciado a presença de maior velocidade dos ventos que promove a contribuição de partículas originadas mais distantes na deposição ocorrida no Ponto 3 durante este período.

Como pode ser observado na Figura 48B, o PM10 amostrado no Ponto 3 durante a terceira amostragem, em dezembro, é originado, totalmente, de fontes oceânicas. De acordo com o modelo, as partículas são originadas a partir da deposição de partículas em altitudes superiores à 500 metros, que conseguiram se depositar no Ponto 3, observando a influência do período seco sob maiores altitudes das partículas que foram depositadas, evidenciando maior turbulência atmosférica, CLP mais espessa, o que permite uma maior distribuição do PM10 no perfil vertical da atmosfera. Apesar das altitudes das partículas serem superiores à altitudes das partículas no período chuvoso, elas foram inferiores às altitudes atingidas na segunda amostragem, em setembro, o que pode evidenciar que as partículas em altitudes maiores foram depositadas em distâncias maiores que o ponto 3 devido às maiores velocidades dos ventos neste período de Dezembro.

De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos, principalmente, de leste, que são os responsáveis pelo transporte do PM10 para o Ponto 3 de amostragem no período da terceira campanha, em dezembro.

O modelo *Backward* usado, neste estudo, para descrever trajetórias da salinidade atmosférica em pontos receptores, foi aplicado, também, no ponto 4 de amostragem (área urbana), que consiste num ponto receptor de salinidade atmosférica originada na linha de costa, para determinar a origem do PM10 que chega até esse ponto de amostragem, considerando possíveis emissões num período de 24 horas antes da amostragem no Ponto 3, como pode ser observado na Figura 49, que abrangeu o período chuvoso de amostragem (primeira campanha, primeiro semestre).

Figura 49 - Trajetória (Backward) do PM10 no Ponto 4: 1ª Campanha



Fonte: Elaborada pela autora.

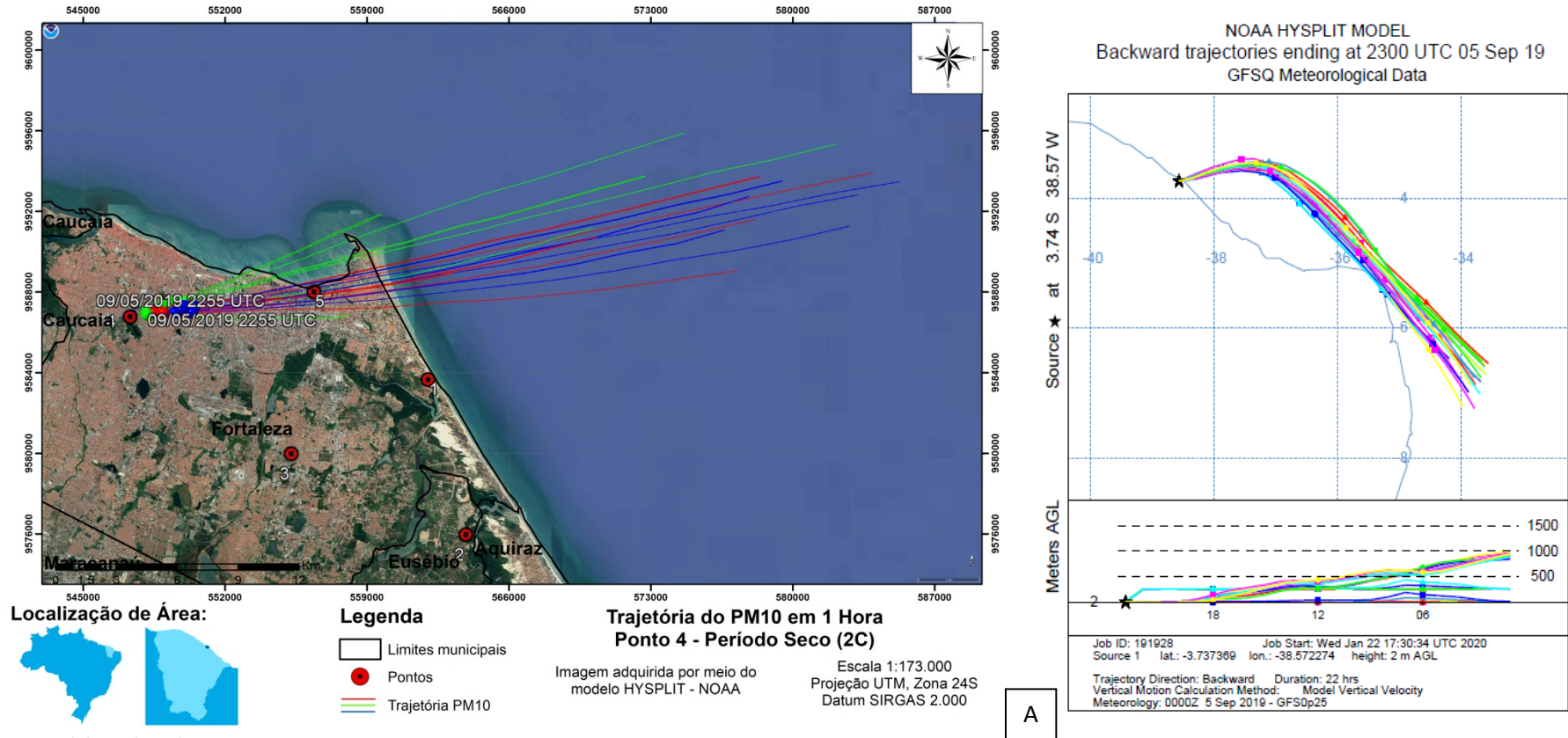
Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

De acordo com a Figura 49A, é notório que a contribuição, considerando o intervalo de 1 hora, de sais na atmosfera presentes no PM10 para o Ponto 4, durante a primeira campanha, vem de origem continental (núcleo urbano de Fortaleza) e oceânica (oceano atlântico), a qual consiste em zona de formação de spray marinho. São observadas influências de ventos oriundos de Sudeste, os quais são responsáveis pelo transporte do PM10 até o Ponto 4 durante a primeira amostragem.

Como pode ser observado na Figura 49B, o PM10 é originado de fontes oceânicas e , principalmente, da parte continental da região nordeste do Brasil no ponto 4 durante a primeira campanha de amostragem, no período chuvoso. De acordo com o modelo, as partículas encontradas com até 500 metros de altitude, conseguiram se depositar no Ponto 4, observando a influência do período chuvoso na menor altitude das partículas depositadas neste ponto. A umidade e precipitação agem sobre o PM10, limitando a altura do material no perfil vertical da atmosfera, assim como a camada limite planetária (CLP) menos espessa. Assim, as partículas atingem menor altitude no perfil vertical, são transportadas pelos ventos, neste caso, os ventos de sudeste tem ação predominante na distribuição espacial destas partículas.

O modelo *Backward* para descrever trajetórias da salinidade atmosférica em pontos receptores, foi aplicado no ponto 4 de amostragem (área urbana), também, na segunda campanha de amostragem que compreendeu o mês de setembro, período seco de amostragem (segundo semestre), conforme observado na Figura 50.

Figura 50 - Trajetória (Backward) do PM10 no Ponto 4: 2ª Campanha.



Fonte: Elaborada pela autora.

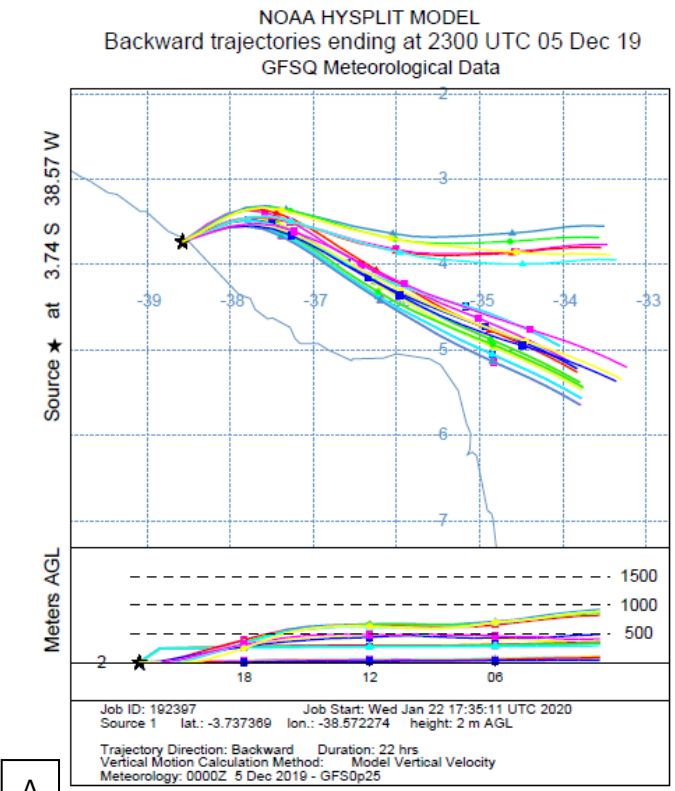
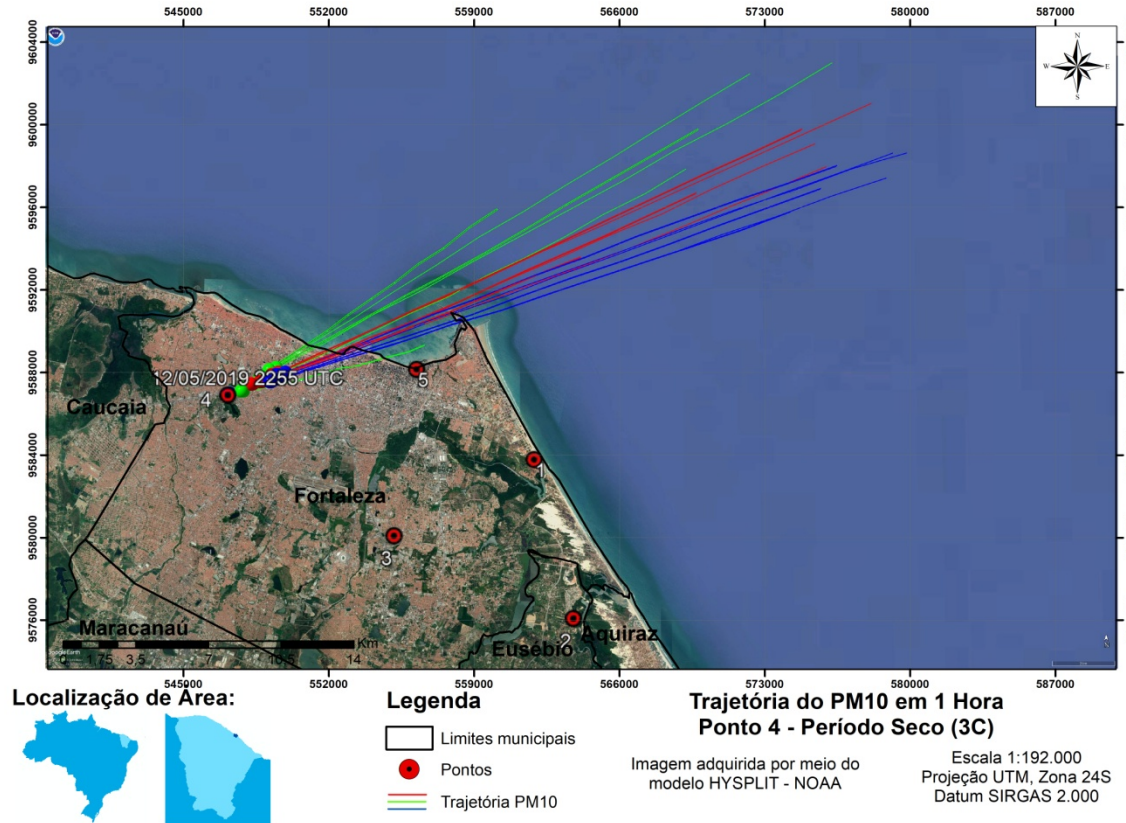
Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

De acordo com a Figura 50A, é notório que a contribuição, considerando o intervalo de 1 hora, de sais na atmosfera presentes no PM10 para o Ponto 4, durante a segunda campanha, vem de origem continental (parte litorânea de Fortaleza) e oceânica (oceano atlântico), a qual consiste em zona de formação de spray marinho. São observadas influências de ventos oriundos de Leste e Nordeste, os quais são responsáveis pelo transporte do PM10 até o Ponto 4 durante a segunda amostragem. Vale ressaltar que a contribuição de PM10 oceânico é maior do que o continental neste ponto de amostragem.

Como pode ser observado na Figura 50B, o PM10 é originado de fontes oceânicas e continentais do nordeste brasileiro. De acordo com o modelo, as partículas são originadas a partir da deposição de partículas em altitude até 1000 metros (altitudes maiores do que na primeira campanha de amostragem, no período chuvoso), que conseguiram se depositar no Ponto 4 no período da segunda coleta, sob influência do período seco. Isso pode ocorrer devido às maiores turbulências atmosférica e maior espessura da CLP no período seco quando comparado ao período chuvoso. De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste, que são os responsáveis pelo transporte do PM10 para o Ponto 4 de amostragem.

O modelo *Backward* para descrever trajetórias da salinidade atmosférica em pontos receptores, foi aplicado no ponto 4 de amostragem (área urbana), também, durante a terceira campanha de amostragem que compreende o mês de dezembro - período seco para determinar a origem do PM10 que chega até esse ponto, conforme observado na Figura 51.

Figura 51 - Trajetória (Backward) do PM10 no Ponto 4: 3ª Campanha.



A

B

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A - Trajetória do PM10 em 1 hora. B - Trajetória do PM10 em 24 horas, considerando o perfil vertical da trajetória.

De acordo com a Figura 51A, é notório que a contribuição, considerando o intervalo de 1 hora, de sais na atmosfera presentes no PM10 para o Ponto 4, durante a terceira campanha, vem de origem continental (parte litorânea de Fortaleza) e oceânica (oceano atlântico), a qual consiste em zona de formação de spray marinho. São observadas influências de ventos oriundos de Leste e Nordeste, nesta campanha, a influência de ventos oriundo de Nordeste foi bem mais significativa quando comparada às outras campanhas de amostragem devido ao período do ano e características climáticas e meteorológicas da região neste período, estes ventos são responsáveis pelo transporte do PM10 até o Ponto 4 durante a terceira amostragem. Vale ressaltar que a contribuição de PM10 oceânico é maior do que o continental neste ponto de amostragem, assim como na segunda campanha.

Como pode ser observado na Figura 51B, o PM10 é originado de fontes oceânicas. De acordo com o modelo, as partículas são originadas a partir da deposição de partículas em altitude até 1000 metros, que conseguiram se depositar no Ponto 4 no período da terceira coleta. Observando a influência do período seco nas altitudes das partículas que foram depositadas, observa-se que, na terceira campanha, o PM10 atingiu as maiores altitudes em relação à primeira coleta (período chuvoso) no ponto 4. Em relação ao ponto 4 durante a segunda campanha, os níveis de altitude das partículas depositadas se mantiveram com a mesma média (1000 metros como nível máximo de altitude atingido pelas partículas nas trajetórias modeladas pelo Hysplit), caracterizando a influência do período seco sobre as partículas. As maiores altitudes do PM10 depositado neste ponto no período seco, na segunda e terceira amostragem deste ponto de coleta, ocorre devido às maiores turbulências atmosférica e maior espessura da CLP no período, e contribuição de partículas oceânicas na composição do PM10 que se depositam no ponto 4 nessa campanha de amostragem. A alteração da composição das partículas do PM10 podem alterar sua trajetória durante sua dispersão devido alterações de características físico-químicas e interações durante o percurso. Devido à essa diferença de origem das partículas na segunda (oceânica e continental) e terceira (oceânica) campanha de amostragem no ponto 4, o comportamento foi diferente do visualizado no Ponto 3, onde as origens das partículas foram as mesmas durante a segunda (oceânica) e terceira (oceânica) campanha de amostragem.

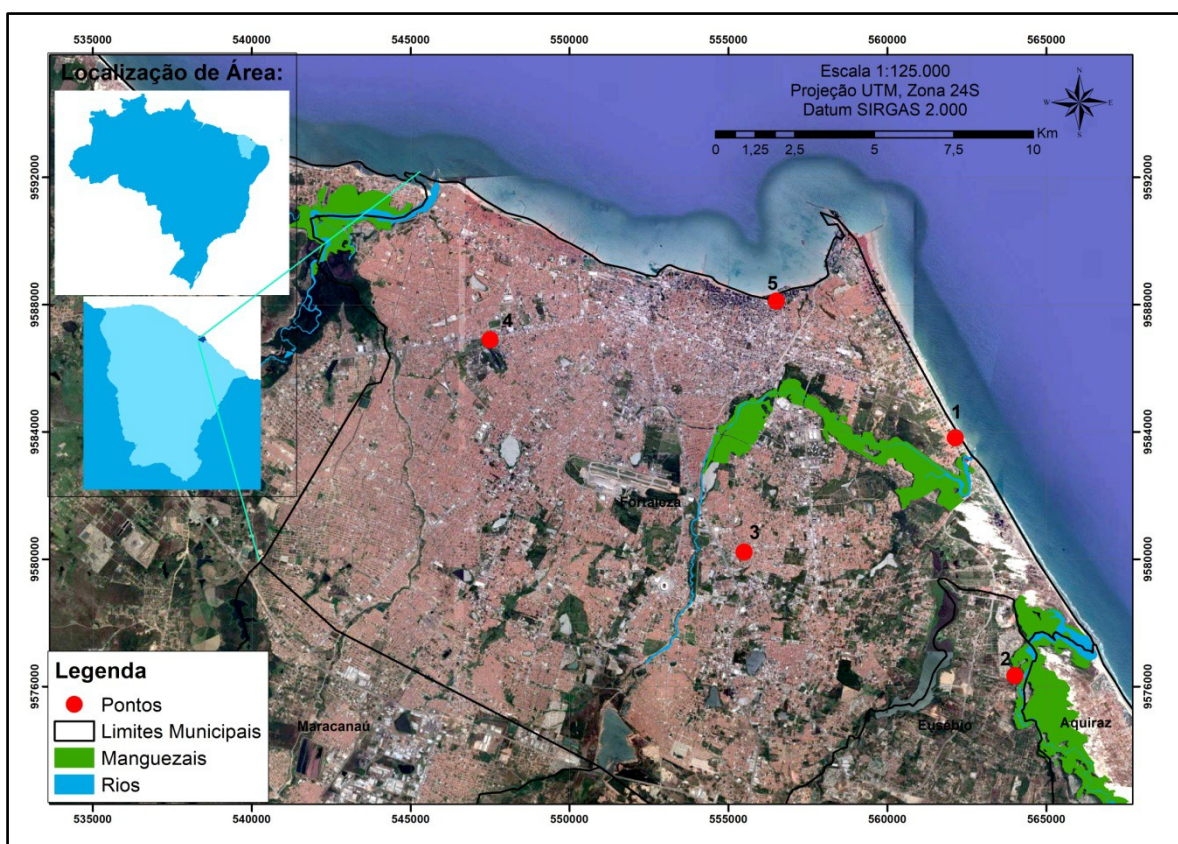
De acordo com a direção da trajetória, observa-se a influência dos ventos oriundos de sudeste e leste, que são os responsáveis pelo transporte do PM10 para o

Ponto 4 de amostragem no período da terceira campanha, em dezembro.

Assim, de acordo com o comportamento da distribuição da salinidade atmosférica em Fortaleza-CE, observa-se que os componentes ambientais e urbanos apresentam influência na distribuição espaço temporal dos sais na atmosfera.

Na Figura 52 foram criados vetores que mostram o mapeamento de áreas de rio e manguezais na área de estudo, além disso, é possível observar a grande linha de costa que o Município apresenta. Esses locais funcionam como fonte de formação e disponibilidade de sais para a atmosfera por meio de processos de formação do spray marinho pela agitação das moléculas de águas salinas do oceano e dos estuários em épocas de pouco aporte de água doce do rio, geralmente, em estiagens. Nos manguezais, outro fator que pode aumentar a concentração de sais na atmosfera consiste no processo de evapotranspiração do mangue, que expelle excesso de sal, absorvido da água, por glândulas de sais presentes em sua morfologia (PASCOALINI *et al.*, 2014).

Figura 52: Influência do Oceano, Rios e Zonas Estuarinas na Salinidade Atmosférica.



Fonte: Elaborado pela autora com arquivos shp da COGERH adaptados.

Com base no que pode ser observado, essas zonas destacadas na Figura 52

apresentam influência sobre a distribuição da salinidade atmosférica em Fortaleza/Ce. Os dados de distribuição, dispersão e trajetória evidenciaram isso durante as análises deste estudo. A zona estuarina do Rio Pacoti, observada na Figura 52 próxima ao Ponto 2 de amostragem, é responsável pelo aporte de sais para o núcleo urbano de Fortaleza dependendo da época do ano e do comportamento da velocidade e direção dos ventos.

O Ponto 1, localizado próximo à Praia do Futuro, margeado pelo Oceano Atlântico é responsável pela maior contribuição de sais para a atmosfera de Fortaleza.

Considerando todas as campanhas e coletas de amostragem, este ponto obteve os maiores níveis do somatório de sais repetidas vezes durante os períodos de estudo.

O ponto 5, localizado próximo à Av. Beira Mar de Fortaleza, apresentou baixos níveis de concentração de sais em várias campanhas de amostragem, evidenciando que a geografia da cidade afeta na distribuição de sais na atmosfera urbana de Fortaleza.

Dessa maneira, os pontos receptores de sais localizados na parte urbana de Fortaleza apresentaram diferentes comportamentos quanto à salinidade atmosférica, apresentando como principais influências a velocidade e direção dos ventos que trazem o aporte salino da atmosfera, principalmente, de regiões oceânicas.

### 5.9 Comparação de Estudos

Com base nos dados deste estudo, foi elaborada a Tabela 8 afim de comparar os dados obtidos deste estudo, que encontra-se no Anexo A, com outros já existentes.

Tabela 8 - Comparação de estudos

Local	Sais presentes	$\Sigma$ de sais ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Partição Ambiental	Referência
Baía de Todos os Santos	Cloreto; Nitrato; Sulfato	1,247	PM10	Mkoma <i>et al.</i> (2014)

Rio de Janeiro	Cloreto; Nitrato; Sulfato	7,21	PM10	Maia, G., Cáceres, M., Gioda, A. (2017)
Rio de Janeiro	Cloreto; Nitrato; Sulfato	3,0	PM10	Soluri <i>et al.</i> (2007)
Rio de Janeiro	Cloreto; Nitrato; Sulfato	4,3	PM10	Mariani <i>et al.</i> (2001)
Londrina (área rural)	Cloreto; Nitrato; Sulfato	0,33	PM10	Freitas e Solci (2009)
Londrina (área urbana)	Cloreto; Nitrato; Sulfato	0,58	PM10	Freitas e Solci (2009)
Antartica central	Cloreto; Nitrato*; Sulfato	780	PM10	Udisti <i>et al.</i> (2012)

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: \* - Não foi detectado no estudo

Com base no Anexo A, pode-se observar que este estudo foi o único que identificou e quantificou os sais presentes na fração gasosa da atmosfera. Além disso, é notório que a fração particulada apresentou níveis de concentração de sais maiores do que na fração gasosa.

Comparando os dados deste estudo com outros dados de fontes bibliográficas distintas, pode-se observar que o somatório de sais detectados neste estudo foram maiores do que as concentrações de sais observadas em outras análises no PM10. Para a comparação dos dados, foram considerados em outros estudos apenas os sais que foram, também, detectados neste, equipamento de amostragem, período de amostragem.

Os dados deste estudo conseguiram identificar concentrações de sais cinco vezes maiores do que na Bahia, conforme Mkoma *et al.* (2014). Além disso, as concentrações de sais deste estudo foram maiores do que todos os outros estudos quantitativos de sais atmosféricos. Vale ressaltar a pouca quantidade de trabalhos voltados para esta vertente. No entanto, trabalhos com modelagem de sais atmosféricos são bastante comuns até o momento.

Considerando o Brasil, pode-se inferir que, as concentrações de sais em Fortaleza são mais elevada do que na Baía de Todos os Santos, Rio de Janeiro e Londrina em seus respectivos períodos de amostragem. Esse fenômeno pode ser explicado devido à localização de Fortaleza-CE estar situada numa região tropical, com elevados

níveis de insolação, altas temperaturas, influência da ZCIT, comportamento e dinâmica das correntes de ventos no período anual, além de elevadas taxas de evaporação da água que contribuem para o aporte de sais na atmosfera de Fortaleza-CE.

Vale ressaltar a importância de mais pesquisas voltadas para esta área de quantificação e qualificação dos sais atmosféricos, tendo em vista a sua importância e dinâmica com estruturas urbanas, poluentes atmosféricos e, conseqüentemente, saúde e bem-estar humano. A maior quantidade de estudos em todo o mundo possibilita comparações de dados em diversas regiões, o que possibilita o entendimento da dinâmica dos sais atmosféricos e as variáveis governantes da dinâmicas destes sais.

## 6 CONCLUSÃO

Com base neste estudo foi possível quantificar e qualificar a salinidade atmosférica em sua partição gasosa e particulada em Fortaleza-CE, identificando a concentração de sais presentes em diferentes pontos da cidade de Fortaleza, e identificando os sais presentes em cada amostra analisada. As metodologias utilizadas neste trabalho (ativa e passiva) apresentaram resultados satisfatório, inclusive a metodologia passiva desenvolvida neste estudo, que apresentou resultados representativos da fração gasosa dos sais atmosféricos, além de possibilitar a qualificação e quantificação dos mesmos por meio de equipamentos eficazes, com menor custo e logística eficiente criado pela equipe deste estudo.

De acordo com os dados analisados, constatou-se que a partição de maior concentração de sais atmosféricos é a partição particulada, em relação à partição gasosa. Deve-se considerar que os sais presentes na fração gasosa sofrem maior dispersão nas massas de ar considerando a dispersão vertical e horizontal na atmosfera, devido às suas características físicoquímicas e interações com a dinâmica atmosférica. Enquanto que na fração particulada ocorre o agrupamento de sais em partículas, acarretando na maior concentração de sais numa mesma partícula, além de terem maior peso molecular e maior dificuldade de dispersão vertical e horizontal na atmosfera quando comparado com a fração gasosa.

Foi observado que a distribuição espaço temporal da salinidade atmosférica na área de estudo possui diferentes comportamentos e que as variáveis mais influentes na distribuição são meteorológicas, como a velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, precipitação, temperatura e altura da Camada Limite Planetária (CLP). A geografia da Cidade, também, influencia no comportamento e distribuição de sais na atmosfera de Fortaleza. A geografia urbana, também, influencia na velocidade e direção dos ventos por meio de fenômenos como canalização, o que influencia diretamente na dispersão dos sais atmosféricos.

Neste trabalho foi possível verificar a trajetória e dispersão do PM<sub>10</sub> a partir das suas zonas de formação, verificando a influência em Fortaleza-CE. Foi possível verificar que as partículas formadas na linha de costa de Fortaleza conseguem chegar até cidades interioranas em determinadas épocas do ano de acordo com o regime de ventos, conforme modelagem realizada, e considerando a não interação do PM<sub>10</sub> em todo o seu percurso de acordo com limitações do modelo.

A influência da linha de costa, oceano, rios e zonas estuarinas na salinidade da atmosfera em Fortaleza-CE foi observada e constatada a partir dos dados deste trabalho, onde foi possível observar a contribuição de partículas oriundas de regiões oceânicas e estuarinas nas amostras de partículas depositadas no núcleo urbano de Fortaleza.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Corrosão atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida** - NBR - 6211, 2001
- Academic Publishers**, [s.l.], 1988. Springer Netherlands. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-3027-8>.
- ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva et al. **Perfil geossocioeconômico: Um olhar para as macrorregiões de planejamento do estado do Ceará**. Fortaleza: Ipece, 2014. 174 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/282705908\\_Perfil\\_geossocioeconomico\\_Um\\_olhar\\_para\\_as\\_macrorregioes\\_de\\_planejamento\\_do\\_estado\\_do\\_Ceara](https://www.researchgate.net/publication/282705908_Perfil_geossocioeconomico_Um_olhar_para_as_macrorregioes_de_planejamento_do_estado_do_Ceara)>. Acesso em: 14 jan. 2020.
- ALMEIDA, Ivo Torres de. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- APRILE, F.M.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; LORANDI, R. Balanço de massa de N e P no sistema água sedimento de uma lagoa costeira do baixo rio Doce, ES, Brasil. **Biokos**, Campinas, v. 21, n. 1, p.21-32, jan. 2007.
- ANSARI, A. and PANDIS, S.: Prediction of multicomponent inorganic atmospheric aerosol behavior, **Atmos. Environ.**, 33, 745–757, 1999a. 23477
- ARYA, S. Pal. Micrometeorology and Atmospheric Boundary Layer. **Pure And Applied Geophysics**, [s.l.], v. 162, n. 10, p.1721-1745, 8 jun. 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00024-005-2690-y>.
- ASTM D 512-89:1999 - Standard test methods for chloride ion in water
- ASTM G 140 (2002) - Standard test method for determining atmospheric chloride deposition rate by wet candle method
- BEHNKE, W., C. GEORGE, V. SHEER, AND C. ZETZSCH, Production and decay of ClNO<sub>2</sub> from the reaction of gaseous N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with NaCl solution: Bulk and aerosol experiments. **J. Geophys Res.**, 102, 3795-3804, 1997.
- BEZERRA, E.C. **Precipitações**, in: Atlas do Ceará, Seplam, 1989.
- BORBA JUNIOR, J. C. **Agressividade ambiental em zona de atmosfera marinha: estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na região sudeste**. 2011. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2011.
- BRASIL. Jäder Onofre de Moraes. Ministério do Meio Ambiente. **EROSÃO E PROGRADAÇÃO DO LITORAL BRASILEIRO:CEARÁ**. X: X, 2012. 475 p. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/ce\\_erosao.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ce_erosao.pdf)>. Acesso em:

09 jan. 2020.

CAMPOS, A.M.R. **Estudo da agressividade do ar atmosférico de fortaleza/ce.** 2016. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013

CAMPOS, Vânia P.; COSTA, Angela Cristina A.; TAVARES, Tania M.. Partial neutralization of rain by seaspray: The case of Recôncavo, Bahia—Brazil. **Journal of Environmental Management.** Bahia, p. 204-212. jul. 2007.

CASTRO, Luis; CERQUEIRA, Mário; PIO, Casimiro Adrião. FORMAÇÃO SECUNDÁRIA DE COMPOSTOS PARTICULADOS NUMA ATMOSFERA MARINHA. In: CONFERÊNCIA NACIONAL SOBRE A QUALIDADE DO AMBIENTE, 6., 1999, X. **Atas. X:** Dcea-fct, 1999. v. 2, p. 367 - 373.

CAVALCANTE, R.M.; C.A. ROCHA; I.S. DE SANTIAGO E P.R.L. Thiers. Influence of urbanization on air quality based on the occurrence of particle-Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a tropical semiarid area (Fortaleza-CE, Brazil). **Air Qual Atmos Health**, [S.l.], v.10, n.4, p. 437-445, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.007/s11869-016-0434-z>>. Acesso em 12 dez. 2019

CLAUDINO SALES, V. **Os litorais Cearenses.** Ceará: Um Novo Olhar Geográfico, Fortaleza, 2005. p. 231-260.

CLAUDINO SALES, V. **Cenários Litorâneos – Lagoa do Papicu: Natureza e Meio Ambiente na Cidade de Fortaleza/Ce.** Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 1993. 349p.

CLEGG, S.I.; BRIMBLECOMBE, P.. Potential degassing of hydrogen chloride from acidified sodium chloride droplets. **Atmospheric Environment** (1967), [s.l.], v. 19, n. 3, p.465-470, jan. 1985. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981\(85\)90167-2](http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981(85)90167-2).

COSTA, Eduardo Antonio Lima. **Determinação do Potencial de Agressão dos Sais Marinhos sobre as Argamassas de Revestimento na Região Metropolitana de Salvador.** 2001. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. Cogerh. **Arquivos.** Disponível em: <<https://www.cogerh.com.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

CRUZ, Lícia Passos dos Santos; CAMPOS, Vânia Palmeira. AMOSTRAGEM PASSIVA DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS. APLICAÇÃO AO SO<sub>2</sub>. **Química Nova**, Bahia, v. 25, n. 3, p.406-411, Não é um mês valido! 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n3/9334.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

DANTAS, E. W. C. D. Mar à Vista: estudo da maritimidade em Fortaleza. Fortaleza: Edições UFC, 2011. Link para download: <http://www.ppggeografia.ufc.br/images/maravistaii201.pdf>

DASSIOS, K. and PANDIS, S.: The mass accommodation coefficient of ammonium nitrate aerosol, **Atmos. Environ.**, 33, 2993–3003, 1999. 23477

DAY, Travor. **Ecosystems: Oceans**. Nova Iorque: Routled, 1999. 226 p.  
FINLAYSON-PITTS, B. J., Reaction of N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with NaCl and atmospheric implications of NOCl formation, **Nature**, 306, 676-677, 1983.

EMBRAPA. **Clima**. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

FREITAS, Adriana de Marques; SOLCI, Maria Cristina. Caracterização do MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 7, p.1750-1754, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000700013>.

FITZGERALD, James W.. Marine aerosols: A review. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, [s.l.], v. 25, n. 3-4, p.533-545, jan. 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90050-h](http://dx.doi.org/10.1016/0960-1686(91)90050-h).

Fleming LE, Broad K, Clement A, Dewailly E, Elmir S, Knap A. Oceans and human health: emerging public health risks in the marine environment. **Mar Pollut Bull** 2006; 53:545-560.

FOUNTOUKIS, C., NENES, A., SULLIVAN, A., WEBER, R., VAN REKEN, T., FISCHER, M., MATAS, E., MOYA, 30 M., FARMER, D., AND COHEN, R. C.: Thermodynamic characterization of Mexico City aerosol during MILAGRO 2006, **Atmos. Chem. Phys.**, 9, 2141–2156.

GRAS, J. L.; AYERS, G. P.. Marine aerosol at southern mid-latitudes. **Journal Of Geophysical Research**, [s.l.], v. 88, n. 15, p.10661-10666, 1983. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/jc088ic15p10661>.

GUIMARÃES, A. T. C.; CASTAGNO JR., Roger ; HELENE, P. R. L. **Intensidade de ataque de cloretos: considerações sobre a distância do concreto em relação à água do mar**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande (RS), 2003. v. 3, p. 73-79.

GURCIULLO, C., B. LERNER, H. SIEVERING, AND S. N. PANDIS, Heterogeneous sulfate production in the remote marine boundary environment: Cloud processing and sea-salt particle contributions. **J. Geophys. Res.**, 104, 21,719-21,731, 1999.

HEINTZENBERG, J.: Fine particles in the global troposphere: A review, **Tellus B**, 41B, 149–160, 1989. 23471, 23477.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Informações completas sobre Fortaleza**. 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230440&search=ceara|fortaleza|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa do Clima do Brasil**. 2002. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos.html>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

JOBSON, B. T., H. NIKI, Y. YOKOUCHI, J. BOTTENHEIM, F. HOPPER, AND R. LEAITCH, Measurements of C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> hydrocarbons during the Polar Sunrise 1992 Experiment: Evidence for C<sub>1</sub> atom and Br atom chemistry, **J. Geophys Res.**, 99(D12), 25,355-25,368, 1994.

KAIMAL, C.; FINNIGAN, J.. **Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement**. New York: Oxford, 1994. 288 p. ARYA, S. Pal. **Air Pollution Meteorology and Dispersion**. Carolina do Norte: Oxford, 1999. 305 p.

Lepple F. K., Bressan D. S., Hoover J. B. and Larson R. E. Sea salt aerosol, atmospheric radon and meteorological observations in the western South Atlantic Ocean (February 1981). **NRL Memorandum Report 5153**. 1983

LOVETT, R. F.. Quantitative measurement of airborne sea-salt in the North Atlantic. **Tellus**, [s.l.], v. 30, n. 4, p.358-364, jan. 1978. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v30i4.10354>.

LYRA, Diógenes Ganghis Pimentel de. A INFLUÊNCIA DA METEOROLOGIA NA DISPERSÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR. In: X, 0., 0, Salvador. **X**. Salvador: X, 0000. p. 0 - 00.

MAENHAUT, Willy et al. Characterization of the atmospheric aerosol over the eastern equatorial Pacific. **Journal Of Geophysical Research: Oceans**, [s.l.], v. 88, n. 9, p.5353-5364, 20 jun. 1983. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/jc088ic09p05353>.

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, Maria Eliza . COMPORTAMENTO CLIMÁTICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA. **Mercator**. Fortaleza, v. 10, p. 129-145, 2011.

MAREZIA afugenta moradores da Praia do Futuro. Diário do Nordeste Online, Fortaleza, 14 maio 2000. Disponível em: . Acesso em: 16 jan. 2020.

MARIANI, R.L.N.C.; Ph.D Thesis, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brazil, 2001.

MAIA, L.P. **Procesos Costeros y Balance Sedimentário a 10 Largos de Fortaleza (NEBrasil)**: Implicaciones para una gestion adecuada de la zona litorânea. 198p. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, 1998

MARQUES, Elissandra Viana. **Avaliação da qualidade do ar através da dispersão espacial de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> no município de São Gonçalo do Amarante (CE)**. 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Ambientais, Labomar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/31295>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

MATSUMOTO, Kiyoshi; TANAKA, Hiroshi. Formation and dissociation of atmospheric particulate nitrate and chloride: An approach based on phase equilibrium. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 30, n. 4, p.639-648, fev. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00290-1](http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310(95)00290-1).

MEIRA, Gibson Rocha. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente aos problemas de corrosão em estruturas de concreto armado**. (Tese de doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. 327p.

Meire RO, Azevedo A, Torres JPM. Aspectos ecotoxicológicos de hidrocarbonetos policíclicos Aromáticos. **Oecol Brasil** 2007; 11(2):188-201.

MERROUCHI, R.; MOKSSIT A.; PIAZZOLA, J.; CHAGDALI, M.. Impact of natural production of coastal marine aerosols on convective clouds as simulated using cloud model with detailed microphysics: Comparison to cloud seeding with hygroscopic flares. In: WMO scientific conference on weather modification, 10., 2011, Bali. **Proceedings...** . Bali: Wmo, 2011. p. 1 - 4.

MILLERO, Frank J.. **Chemical Oceanography**. 4. ed. Boca Raton: Crc Press, 2013. 591 p.

MKOMA, Stelyus L. et al. Atmospheric particle dry deposition of major ions to the South Atlantic coastal area observed at Baía de Todos os Santos, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l.], v. 86, n. 1, p.37-55, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201420130234>.

MOCHIDA, Michihiro. Seasonal variation and origins of dicarboxylic acids in the marine atmosphere over the western North Pacific. **Journal Of Geophysical Research**, [s.l.], v. 108, n. 6, p.0-0, 2003. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2002jd002355>.

MÖLLER, Detlev. The Na/CL ratio in rainwater and the seasalt chloride cycle. **Tellus B**, [s.l.], v. 42, n. 3, p.254-262, jul. 1990. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0889.1990.t01-1-00004.x>.

MOURA, Ícaro Jael Mendonça et al. CARACTERIZAÇÃO DOS PERÍODOS SECO E

CHUVOSO DA CIDADE DE FORTALEZA (CE). **Ciência e Natura**, [s.l.], v. 37, p.3-7, 7 mar. 2015. Universidad Federal de Santa Maria.  
<http://dx.doi.org/10.5902/2179460x16206>. Disponível em:  
<https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547641002.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

MOURA, Jailson Fulgencio de et al. A interface da saúde pública com a saúde dos oceanos: produção de doenças, impactos socioeconômicos e relações benéficas. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 16, n. 8, p.3469-3480, ago. 2011. FapUNIFESP (SciELO).  
<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232011000900015>.

Netto ADP, Moreira JC, Dias AEXO, Arbilla G, Ferreira LFV, Oliveira AS, Berek J. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAs): uma revisão metodológica. **Quim Nova**2000; 23(6):765-773.

NORRIS, S. J.; BROOKS, I. M.; MOAT, B. I.; YELLAND, M. J.; LEEUW, G. de; PASCAL, R. W.; Brooks, B.. Near-surface measurements of sea spray aerosol production over whitecaps in the open ocean. **Ocean Science**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.133- 145, 19 fev. 2013. Copernicus GmbH.

O'DOWD, C. D; LEEUW, G. de. Marine aerosol production: a review of the current knowledge. *Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, [s.l.], v. 365, n. 1856, p.1753-1774, 15 jul. 2007. **The Royal Society**..

PONTES, Ronaldo B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, 2006.

PASCOALINI, Sávila Soares et al. Abordagem ecofisiológica dos manguezais: uma revisão. **Biotemas**, [s.l.], v. 27, n. 3, p.1-2, 28 maio 2014. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n3p1>.

PARUNGO, Farn P. et al. Marine aerosols in pacific upwelling regions. **Journal Of Aerosol Science**, [s.l.], v. 18, n. 3, p.277-290, jun. 1987. Elsevier BV.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0021-8502\(87\)90023-1](http://dx.doi.org/10.1016/0021-8502(87)90023-1).

PATTERSON, E. M. et al. Global measurements of aerosols in remote continental and marine regions: Concentrations, size distributions, and optical properties. **Journal Of Geophysical Research: Oceans**, [s.l.], v. 85, n. 12, p.7361-7376, 20 dez. 1980. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/jc085ic12p07361>.

PONTES, Ronaldo B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, 2006.

PORTELLA, Caio S. A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos segundo a ABNT NBR 6118: 2007 e expostos aos cloretos disseminados em névoa salina na Praia do Futuro, em Fortaleza-Ce**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

PROSPERO, J. M.. Mineral and sea salt aerosol concentrations in various ocean regions. **Journal Of Geophysical Research**, [s.l.], v. 84, n. 2, p.725-731, 1979. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/jc084ic02p00725>.

RABELO, Luana Carvalho de Sena. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM UMA ÁREA INDUSTRIAL, COMPLEXO DO PECÉM (CE), ATRAVÉS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR**. 2017. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Ambientais, Labomar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em:

<[http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/31296/1/2017\\_tcc\\_lcdesrabelo.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/31296/1/2017_tcc_lcdesrabelo.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2020.

RAEMDONCK, Hans; MAENHAUT, Willy; ANDREAE, Meinrat O.. Chemistry of marine aerosol over the tropical and equatorial Pacific. **Journal Of Geophysical Research**, [s.l.], v. 91, n. 8, p.8623-8636, 1986. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/jd091id08p08623>.

RIBEIRO, J. P. N.; URBANETZ, C.; LIMA, M. I. S. Influência do spray marinho e das características da água do estuário do Rio Massaguaçu (Caraguatatuba, SP) sobre a vegetação adjacente. In: **VIII Congresso de Ecologia do Brasil**, 2007, Caxambu - MG. Anais. 2007, Caxambu – MG.

ROMANO, F. S. **Estudo do ingresso de cloretos em concretos localizados no litoral norte Rio Grande do Sul**. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. 148 p.

SANTOS, Rafael Pereira dos. **Influência dos cânions urbanos, tráfego veicular e variáveis meteorológicas na concentração de NO<sup>2</sup> em área com intenso processo de verticalização (Fortaleza – CE)**. 2018. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Ambientais, Labomar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/40987>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

SAVOIE, Dennis L. et al. Nitrate in the atmospheric boundary layer of the tropical South Pacific: Implications regarding sources and transport. **Journal Of Atmospheric Chemistry**, [s.l.], v. 8, n. 4, p.391-415, maio 1989. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00052712>.

SAVOIE, D. L.; PROSPERO, J. M.; NEES, R. T.. Nitrate, non-sea-salt sulfate, and mineral aerosol over the northwestern Indian Ocean. **Journal Of Geophysical Research**, [s.l.], v. 92, n. 1, p.933-942, 1987. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/jd092id01p00933>.

SEINFELD, J. H. and PANDIS, S. N.: **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to 5 Climate Change**, John Wiley, New York, USA, 2nd edn., 2006. 23477, 23487.

SIEVERING, H., J. BOATMAN, E. GORMAN, Y. KIM, L. ANDERSON, G. ENNIS, M. LURIA AND S. PANDIS, Removal of sulphur from the marine boundary layer by

ozone oxidation in sea-salt aerosols. **Nature**, 360, 571-573, 1992.

SHIRAIWA, Manabu et al. Gas-particle partitioning of atmospheric aerosols: interplay of physical state, non-ideal mixing and morphology. **Physical Chemistry Chemical Physics**, [s.l.], v. 15, n. 27, p.11441-11453, 2013. Royal Society of Chemistry (RSC).  
<http://dx.doi.org/10.1039/c3cp51595h>

SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A. J. A. Litoral e Sertão. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, p.233-249. SOARES, Z. M. L. Análise Geoambiental da Bacia hidrográfica do Rio Mundaú. Dissertação de Mestrado. UECE. 1997. SOUZA, Marcos José Nogueira de. Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo- estruturais do Estado do Ceará. Fortaleza: Revista de Geologia, v. 1, p. 73-91, jun. 1988.

SILVA, Felipe A. S. **Avaliação de teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia do futuro em Fortaleza/Ce**. 2011. 59f. Monografia – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SILVA, Sonilda Maria Teixeira da; BERETTA, Magda; TAVARES, Tania Mascarenhas. Diagnóstico da contaminação por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nos sedimentos de mesolitoral da Baía de Todos os Santos, Brasil. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.193-204, 13 jan. 2015. Revista GESTA.  
<http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v2i2.10449>.

SOARES, F. M. Unidades do Relevo como proposta de classificação das paisagens da Bacia do Rio Curu – Estado do Ceará. 2001. 184f. Tese (Doutorado em Geografia Física). USP, São Paulo, 2001.

SOARES, Fátima Maria. As Paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Curu: Exploração de um campo de estudo da Geografia Física Integrada. In: Mercator-Revista de Geografia da UFC, ano 03, nº 0, 2004.

SOARES, Fátima Maria. DIAGNOSTICO GEOAMBIENTAL DA BACIA DO LITORAL NO CEARÁ. **Mercator - Revista de Geografia da Ufc**, Fortaleza, v. 06, n. 11, p.107-116, nov. 2007.

SOARES, F. M. Classificação das Paisagens na Bacia Hidrográfica do Rio Curu/Ce. In:

SOUSA, Francisco Wagner de; Cavalcante, Rivelino Martins; Nascimento, Ronaldo F.; Caracas, I. B. Air quality and cancer risk assessment for carbonyl compounds in the hospitals, Fortaleza-Brazil. **Building and Environment**, v.46, n.11, p. 2115-2120, 2011.

SOUZA, Milena Gouveia Oliveira de. **Avaliação da concentração de arsênio em partículas fracionadas por tamanho na atmosfera do Recôncavo Baiano**. 2011. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2011. Disponível em:  
<http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/10027>. Acesso em: 01 ago. 2019.

SOLURI, D. *et al*; Multi-site PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> Aerosol Source Apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. **Sociedade Brasileira de Química**, v. 18, p. S4, Rio de Janeiro, 2007.

STULL, Roland B.. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. **Kluwer**

UEMATSU, Mitsuo et al. Transport of mineral aerosol from Asia Over the North Pacific Ocean. **Journal Of Geophysical Research: Oceans**, [s.l.], v. 88, n. 9, p.5343- 5352, 20 jun. 1983. American Geophysical Union (AGU).  
<http://dx.doi.org/10.1029/jc088ic09p05343>.

UDISTI, R.; DAYAN, U.; BECAGLI, S.; BUSETTO, M.; FROSINI, D.; LEGRAND, M.; LUCARELLI, F.; PREUNKERT, S.; SEVERI, M.; TRAVERSI, R.. Sea spray aerosol in central Antarctica. Present atmospheric behaviour and implications for paleoclimatic reconstructions. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 52, p.109-120, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.10.018>.

VILASBOAS, J. M. L. **Estudo dos mecanismos de transporte de cloretos no concreto, suas inter-relações e influência na durabilidade de edificações na cidade do Salvador-BA**. 2013. 323 pg. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2013.

VITALI, M. R. V. **Efeito do distanciamento ao mar da contaminação do concreto por cloretos**. 2013. 208 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2013.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V.. **Atmospheric Science: an introductory survey**. 2. ed. San Diego: Copyright, 2006. 505 p.

WINDARTO, David et al. **Wind Speed and Direction - WRPLOT View**. 2016. Disponível em: <<https://belajarlinuxamajava.blogspot.com/2016/12/wind-speed-and-direction-wrplot-view.html>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

ZANELLA, Maria Elisa; SALES, Marta Celina Linhares; ABREU, Nair Julia Andrade. ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS INTENSAS E IMPACTOS GERADOS EM FORTALEZA, CE. *Geosp: Espaço e Tempo (Online)*, [s.l.], n. 25, p.53-68, 30 ago. 2009. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2009.74112>. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/geosp/article/view/74112>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

ZANELLA, Maria Elisa. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CLIMA E OS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente*, v. , n. 36, p.126-142, 2014. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3176/2680>>. Acesso em: 14 dez. 2019.

### ANEXO A - TABELA DE DADOS DESTE ESTUDO

Tabela de Dados de concentração de sais na atmosfera

Local	Sais detectados	Somatório da Concentração de sal	Partição ambiental	Unidade de medida
Ponto 1 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	23218,08	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 2 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	5161,17	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 3 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	3572,65	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 4 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	8756,31	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 5 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	45,35	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 1 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	1908,53	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 2 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	1572,31	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 3 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	1843,31	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 4 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	2086,86	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 5 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	1344,67	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 1 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	0,00*	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 2 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	128,22	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 3 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	135,36	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 4 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	132,84	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 5 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	177,01	P	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ponto 1 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	2058,67	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 2 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	2360,00	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 3 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	2084,00	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 4 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto;	955,33	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )

	Brometo; Nitrato.			
Ponto 5 (1ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	319,40	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 1 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	1721,67	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 2 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	288,25	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 3 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	8,95	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 4 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	31,42	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 5 (2ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	45,25	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 1 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	70,33	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 2 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	0,00*	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 3 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	0,00*	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 4 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	68,00	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )
Ponto 5 (3ª Campanha)	Fluoreto; Cloreto; Brometo; Nitrato.	0,00*	G	( $\mu\text{g}/\text{dia}$ )

Fonte: Elaborada pela autora

Legenda: \* Não detectado pelo equipamento de análise ; P Partição Particulada dos sais atmosféricos; G Partição Gasosa dos sais atmosféricos