



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE FONTES DE EMISSÃO DE POLUENTES
ATMOSFÉRICOS SOBRE A QUALIDADE DO AR: ESTUDO DE CASO NO PORTO DE
SUAPE-PE**

Lidiane Silva do Espírito Santo Nunes

Orientadores: Dr. César Augusto Moraes de Abreu – UFPE/Brasil
Dr^a Sandra Maria Sarmiento – UFPE/Brasil
Ph.D Zhongchao Tan - University of Waterloo/Canadá

Recife, 28 maio de 2019.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Poluição do ar e sua inter-relação com os principais problemas ambientais da atualidade



Figura 1.1 – Problemas ambientais da atualidade e sua origem
Fonte: Elaborada pelo autor a partir de figuras disponíveis do google.com.br



Figura 1.2 – Smog fotoquímico, Pequim (China) - 09 de maio de 2012.

Fonte: <http://alunosonline.uol.com.br/quimica/smog-fotoquimico.html>

1. INTRODUÇÃO

1.1 Poluição do ar e sua inter-relação com os principais problemas ambientais da atualidade

Tabela 1 – Poluentes atmosféricos, efeitos sobre a saúde e/ou ecossistemas e mudanças climáticas

Poluentes atmosféricos	Efeitos sobre a saúde e/ou ecossistema	Efeito sobre o clima
O ₃	Danos à saúde humana (irritação nos olhos) e a vegetação (necrose)	Mudança do estado do clima (aquecimento)
SO ₂	Danos à saúde humana (obstrução das vias respiratórias) e acidificação de ecossistemas (deposição ácida de H ₂ SO ₄)	Precursor de PM contendo sulfato, resfriamento do clima.
NO _x	Danos à saúde humana (irrita os pulmões), acidificação de ecossistemas (deposição ácida de HNO ₃)	Precursor de PM contendo nitrato, resfriamento do clima.
CO	Danos à saúde humana (dor de cabeça, tortura), pode ser letal.	Precursor de ozônio troposférico

Fonte: Adaptado de Maione *et al* (2016).

De acordo com Tibbett, (2015):

- Reduzir as emissões de dióxido de enxofre e melhorar a qualidade do ar nas áreas urbanas da China;
- Diminuir o SO₂ na atmosfera pode contribuir para aumentar o aquecimento global .

1. INTRODUÇÃO

1.2 Fontes de emissão de poluentes atmosféricos em portos

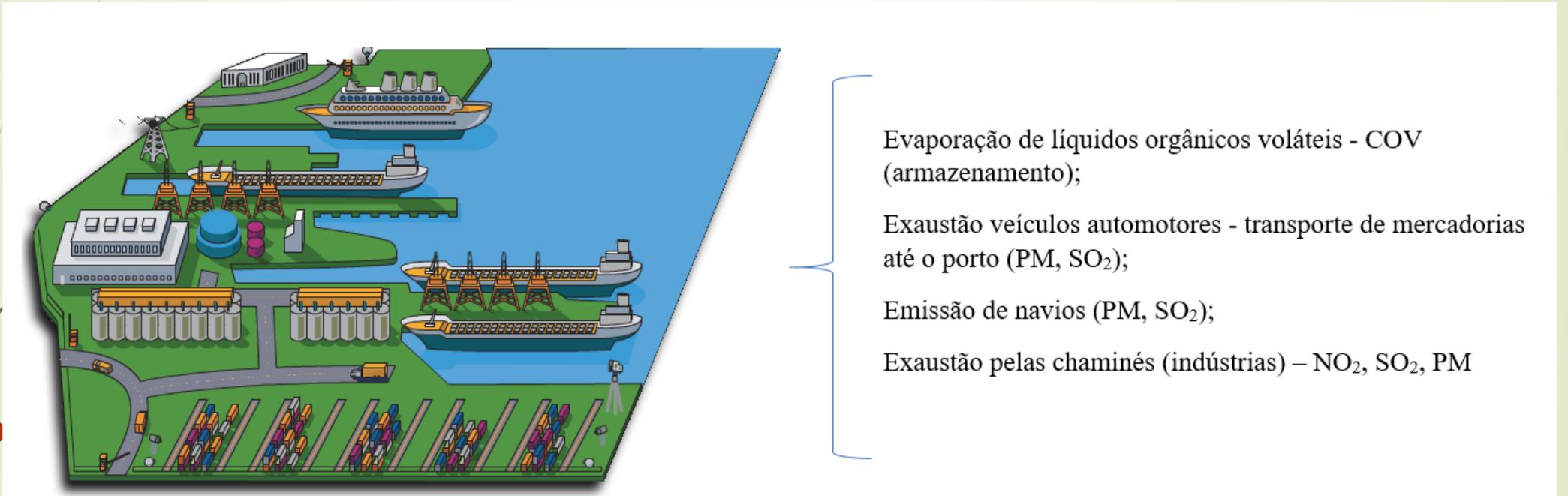


Figura 1.3 – Fontes de poluição em portos
Fonte - Adaptada de Mueller *et al*, 2011.

1. INTRODUÇÃO

1.3 Monitoramento da qualidade do ar

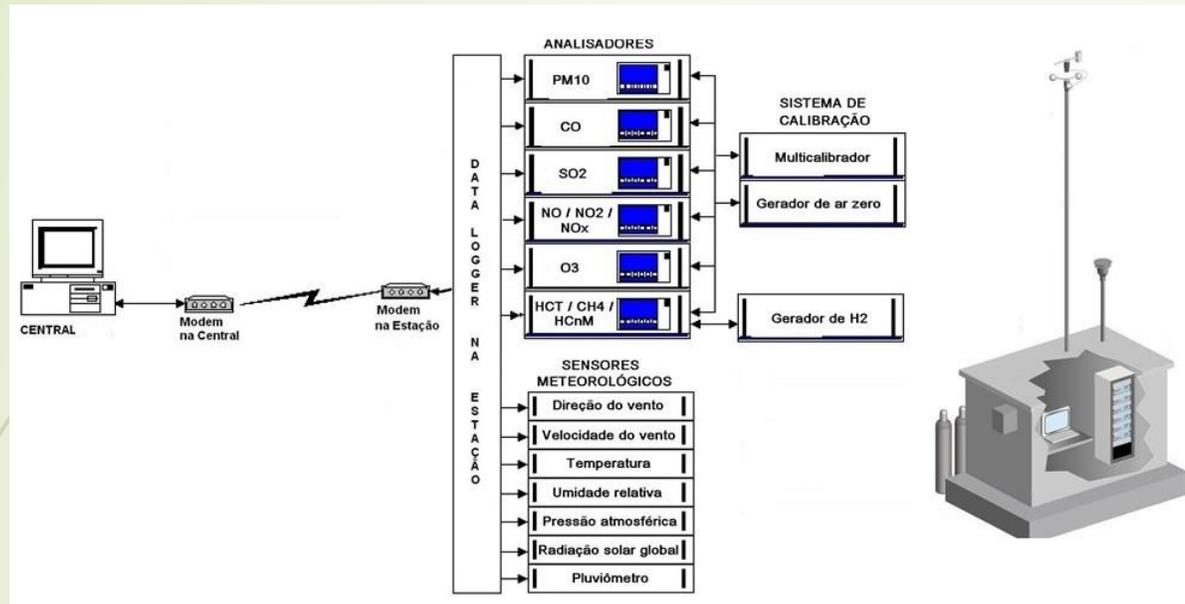


Figura 1.8 – Amostragem automática
Fonte - Elaborada pelo autor



Figura 1.9– Amostragem manual
Fonte – CPRH, 1998.



Figura 1.10 - Amostradores passivos
Fonte – Passam Ag, 2014.

1. INTRODUÇÃO

1.4 Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos

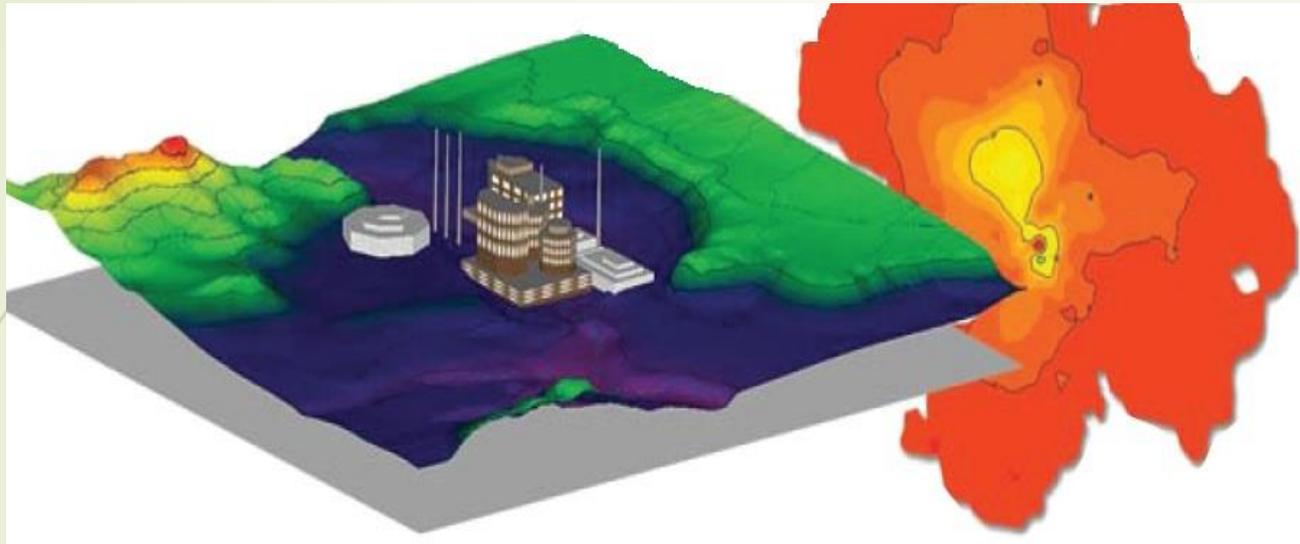


Figura 1.11 – Sistema modelagem AERMOD

Fonte: Adaptado da Lakes Environmental Ltda, 2016.

AERMOD (AERMIC MODEL)

Regulatory Model Improvement Committee – AERMIC

Desenvolvido pela Sociedade de Meteorologia dos Estados Unidos e Agência de Proteção Ambiental Americana.

- Estimar a concentração de poluentes atmosféricos;
- Avaliar o impacto de um ou mais fontes de emissão sobre a qualidade do ar etc.

1. INTRODUÇÃO

1.5 Programa TANKS versão 4.0.9 d

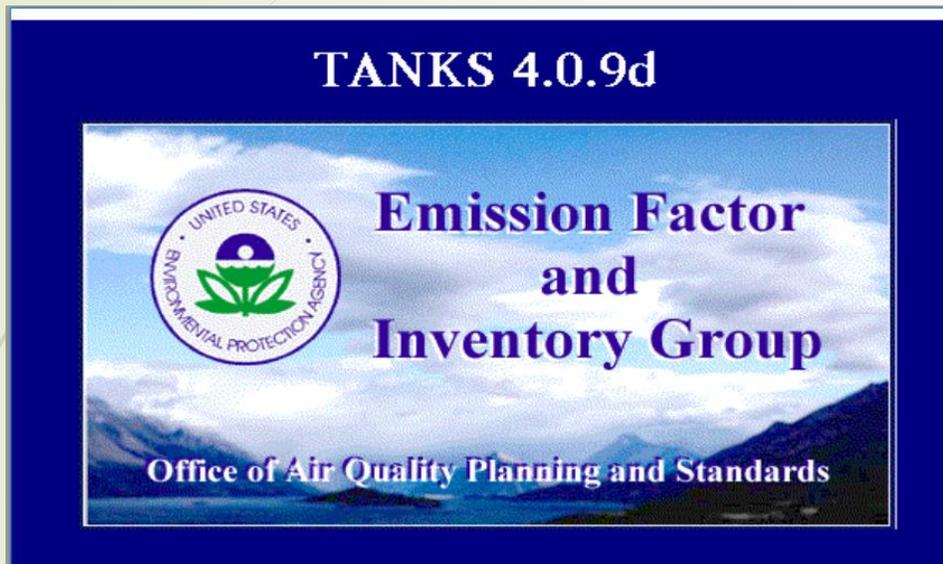


Figura 1.12– Interface do Programa TANKS 4.0.9d

Fonte: EPA, 1999.

Desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana.

- Estimar a concentração de compostos orgânicos voláteis;
- Incorpora as equações formuladas pelo Instituto Americano de Petróleo.

1 INTRODUÇÃO

1.6 Padrões da Qualidade do Ar

Resolução CONAMA N° 491/2018 de 19 de novembro de 2018.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

¹ - média aritmética anual
² - média horária
³ - máxima média móvel obtida no dia
⁴ - média geométrica anual
⁵ - medido nas partículas totais em suspensão

Padrões Intermediários:

Valores temporários a serem cumpridos por etapa.

Padrões Finais:

Organização Mundial de Saúde

Migração para o padrão subsequente:

- Plano de controle das emissões atmosféricas

1º trimestre do 5º da Publicação da Resolução CONAMA N° 491/2018;

- Relatório da qualidade do ar (anual).

1. INTRODUÇÃO

1.7 Complexo Industrial Governador Eraldo Gueiros

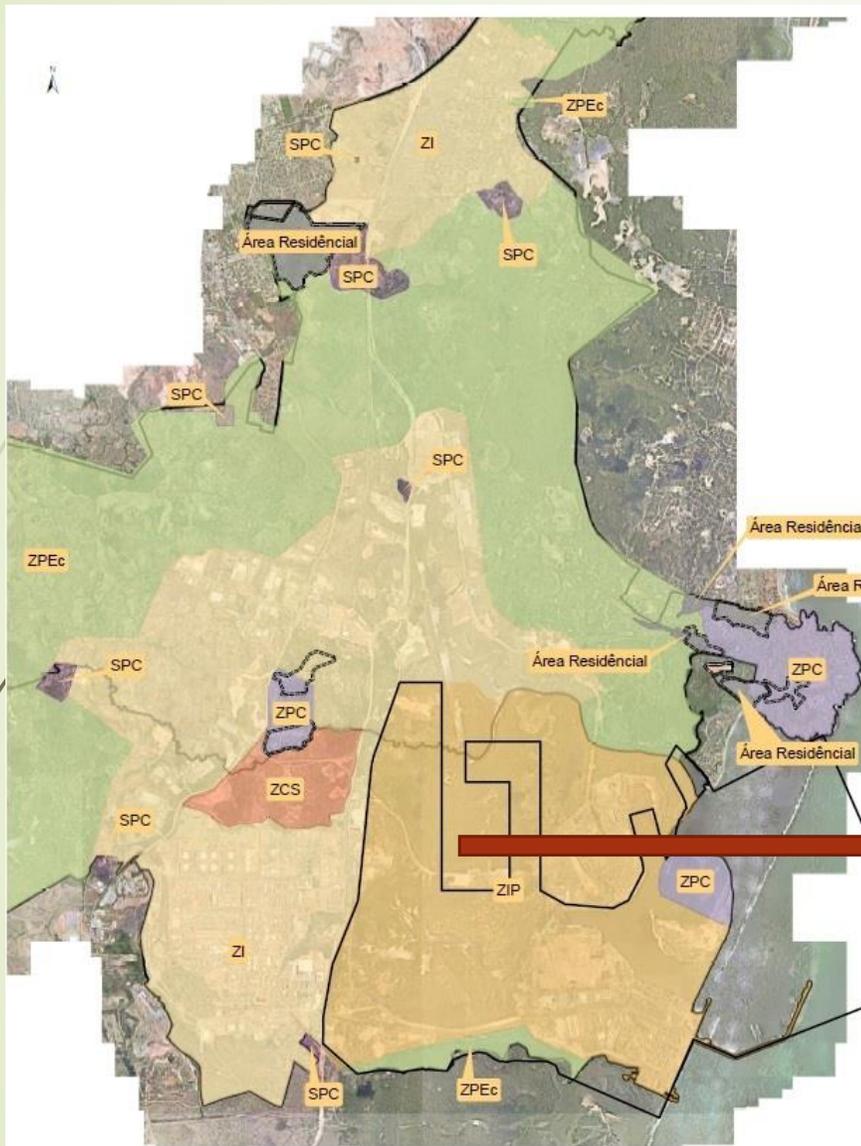


Figura 1.5 - Zoneamento Porto Suape
Fonte: CIPS, 2017.



Figura 1.6 - Zona Industria Portuária
Fonte – Suape Global, 2010.

1. INTRODUÇÃO

Objetivo geral

Avaliar o impacto de fontes de emissão de NO_2 , SO_2 , MP_{10} , e COV, originadas da Zona Industrial Portuária, sobre a qualidade do Porto de Suape, utilizando o sistema de modelagem AERMOD.

Objetivos específicos

- Avaliar as emissões dos poluentes NO_2 , SO_2 , MP_{10} , a partir do tipo de combustíveis utilizados no processo de combustão;
- Estimar as emissões totais de COV, provenientes dos tanques de armazenamento de líquidos orgânicos voláteis, utilizando o programa TANKS 4.09 D;
- Avaliar as emissões totais de COV por tipo de tanque;
- Utilizar o sistema de modelagem AERMOD para estimar as concentrações médias NO_2 , SO_2 , MP_{10} , e COV a partir dos dados de emissões das fontes;

1 INTRODUÇÃO

Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade do Porto de Suape do ar comparando os resultados das concentrações de NO_2 , SO_2 , MP_{10} , calculadas pelo modelo AERMOD com os Padrões da Qualidade do Ar estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente N° 03/90;
- Avaliar as concentrações médias COV calculadas pelo modelo AERMOD tendo base a literatura internacional;.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Descrição geral do sistema de modelagem AERMOD

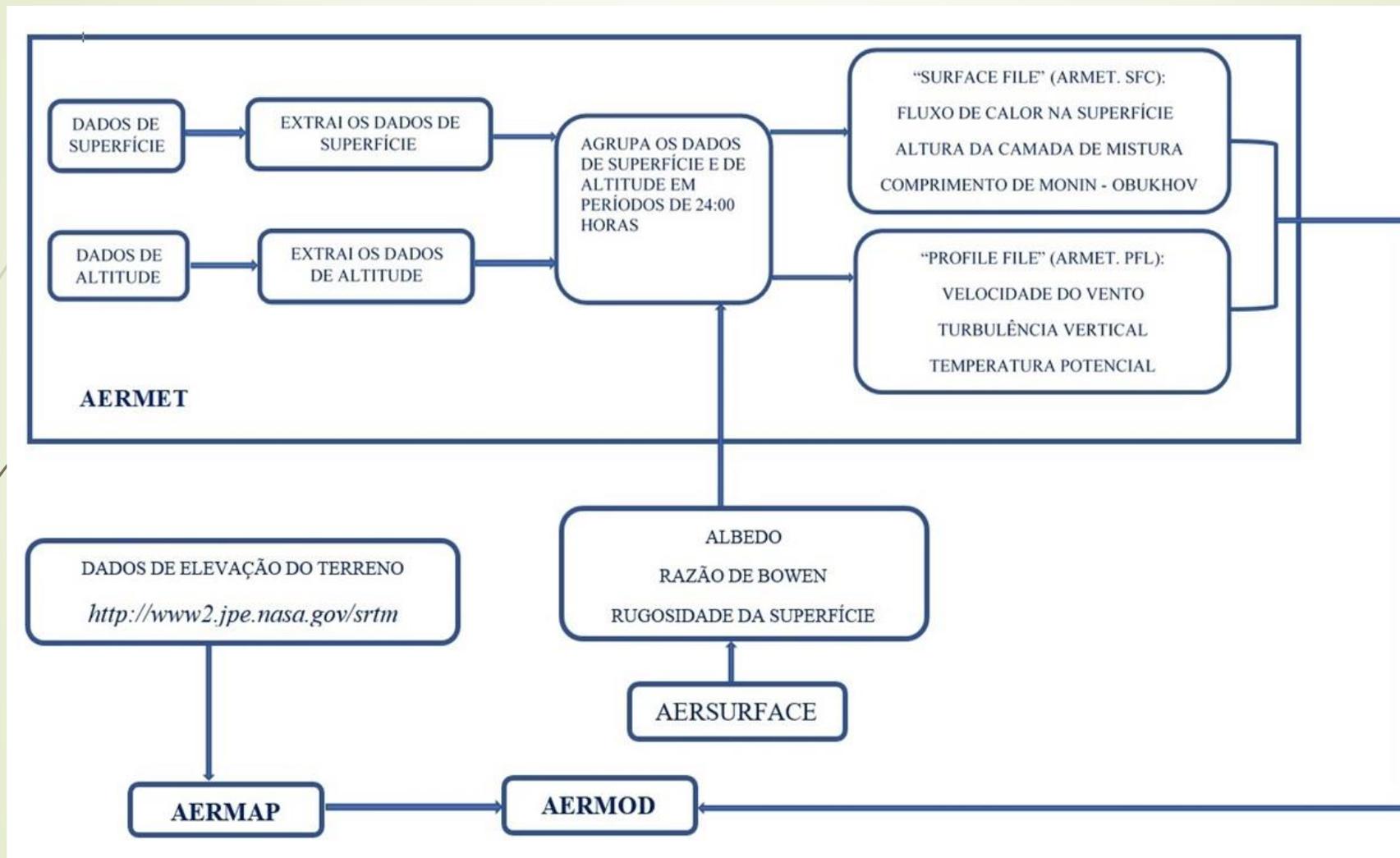


Figura 2.1 – Sequência geral de processamento do sistema de modelagem AERMOD

Fonte: Adaptado de Cimorelli *et al.*, 2004.

3 MATERIAS E MÉTODOS

Principais ferramentas utilizadas:

- Guia de Modelagem de Dispersão de Poluentes Atmosféricos da Província de Ontário, Canadá (2009);
- Software AERMOD *view* versão 9.1.0, comercializado pela empresa canadense *Lakes Environmental Software*;
- Programa TANKS versão 4.09D;
- Planilha em *excel* contendo dados de emissões pontuais de poluentes atmosféricos - Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros – Agência Estadual de Meio Ambiente – Estado de Pernambuco, ano base de 2013.
- Planilha em *excel*, contendo dados gerais das empresas localizadas na Zona Industrial Portuária (2017) – Coordenação de Meio Ambiente – Porto de Suape.
- Resolução CONAMA N° 03 de 28 de junho de 1990;

3 MATERIAS E MÉTODOS

Metodologia para a coleta e o processamento de dados:

- 3.1 - Identificação, quantificação e caracterização das fontes de emissão pontuais e evaporativas de poluentes atmosféricos;
- 3.2 - Definição da grade de domínio de estudo e pontos receptores;
- 3.3 - Levantamento de dados de entrada para o sistema de modelagem AERMOD.

3.1 IDENTIFICAÇÕES, QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO

3.1.1 Fontes pontuais

Tabela 3.1 - Tipologia e número de fontes pontuais de empresas localizada na Zona Industrial Portuária

Código da empresa	Tipologia das empresas	Número de fontes pontuais (chaminés) por empresa
A	1. Geração de energia elétrica 1.1. Termoelétrica	2
B	2. Indústria química 2.1 Produção de polímeros termoplástico de polietileno	5
C	3. Indústria de produtos alimentares 3.1 Fabricação de margarina	1
D	3.2 Refino de óleo vegetal	2
Total		10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Documentos de referência:

Coordenação de Meio Ambiente do Porto de Suape – Planilha em *Excel* (2017): razão social e atividades desenvolvidas pelas empresas, além de cópias impressas das licenças ambientais;

3.1 IDENTIFICAÇÕES, QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES EMISSORAS

3.1.1 Fontes Pontuais

Tabela 3.2 – Características das principais fontes pontuais de poluentes atmosféricos localizadas na Zona Industrial Portuária.

Identificação Empresa/Número de fontes de emissão	Parâmetros das chaminés				Taxa de emissão dos poluentes (g.s ⁻¹)			
	Físicos		Exaustão		MP	NO _x	SO _x	CO
	Altura (m)	Diâmetro (m)	Velocidade de descarga à atmosfera (m.s ⁻¹)	Temperatura (°C)				
Empresa A								
Fonte 1	43,20	5,60	36,80	87,50		5,88	2,29	
Fonte 2	43,20	5,60	36,80	87,50		7,75	0,99	
Empresa B								
Fonte 1	6,00	0,60	5,13	190,00	2,80x10 ⁻³	5,55x10 ⁻³	2,80x10 ⁻³	
Fonte 2	6,00	0,60	5,13	190,00	5,55x10 ⁻³	5,55x10 ⁻³	5,55x10 ⁻³	
Fonte 3	42,50	0,91	14,41	193,00	1,66x10 ⁻²	7,22x10 ⁻²	1,1x10 ⁻²	
Fonte 4	42,50	0,91	14,41	193,00		2,50x10 ⁻²	2,50x10 ⁻²	
Fonte 5	42,50	0,91	15,80	193,00	1,94x10 ⁻²	3,05x10 ⁻²	4,44x10 ⁻²	
Empresa C								
Fonte 1	18,50	0,50	3,27	150,00	3,20x10 ⁻²	0,11	5,28x10 ⁻³	
Empresa D								
Fonte 1	24,50	0,60	0,16	368,00	9,40x10 ⁻²	3,61x10 ⁻¹	1,16x10 ⁻²	
Fonte 2	18,50	0,50	0,07	150,00	6,40x10 ⁻²			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Documento de referência:

Planilha em *excel* contendo dados de emissões pontuais de poluentes atmosféricos, provenientes do Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros – Agência Estadual de Meio Ambiente – Estado de Pernambuco, ano base de 2013.

3.1 IDENTIFICAÇÕES, QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES EMISSORAS

3.1.1 Fontes Pontuais

Tabela 3.3 – Tipo de combustíveis por fonte pontual

Identificação Empresa/Número de fontes pontuais	Tipo de combustível utilizado no processo de combustão
<u>Empresa A</u>	
Fonte 1	<u>Gás natural</u>
Fonte 2	<u>Gás natural</u>
<u>Empresa B</u>	
Fonte 1	<u>Gás natural</u>
Fonte 2	<u>Gás natural</u>
Fonte 3	<u>Gás natural</u>
Fonte 4	<u>Gás natural</u>
Fonte 5	<u>Gás natural</u>
<u>Empresa C</u>	
Fonte 1	<u>Gás liquefeito de petróleo</u>
<u>Empresa D</u>	
Fonte 1	<u>Gás liquefeito de petróleo</u>
Fonte 2	<u>Gás liquefeito de petróleo</u>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Documento de referência:

Planilha em excel contendo dados de emissões pontuais de poluentes atmosféricos, provenientes do Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros – Agência Estadual de Meio Ambiente – Estado de Pernambuco, ano base de 2013.

3.1 IDENTIFICAÇÕES, QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES EMISSORAS

3.1.2 Fontes evaporativas

Tabela 3.4 – Principais tipologias de empresas que armazenam produtos orgânicos voláteis

1. Armazenamento de líquidos orgânicos voláteis	Número de empresas
1.1 Base de combustíveis	1
1.2 Terminais marítimos	5
Total de empresas	6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tanques de armazenamento de produtos orgânicos voláteis

Tanques de teto fixo



Tipo de construção e parâmetros físicos

- Altura do tanque (m);
 - Diâmetro do tanque (m);
 - Altura máxima do líquido contido no tanque (m);
 - Altura média do líquido contido no tanque (m);
 - Movimentação do produto armazenado no tanque por ano (m^3/ano)
 - Quantidade de tanques
 - Cor costado do tanque
 - Condições de pintura do tanque;
 - Cor do teto do tanque;
 - Tipo de teto;
 - Condição da pintura do teto do tanque;
- Pressão de regulação da válvula de alívio de pressão e de vácuo;
 - Conteúdo do tanque;
 - Temperatura do tanque se aquecido ($^{\circ}\text{C}$);

Tanques de armazenamento de produtos orgânicos voláteis

Tanque de teto flutuante interno

Tipo de construção e parâmetros físicos

- Diâmetro do tanque (m);
- Volume do tanque (m³);
- Movimentação do produto armazenado no tanque por ano (m³/ano)
- Quantidade de tanques
- Condições do revestimento interno do tanque (quanto a ferrugem);
- Cor costado do tanque
- Condições de pintura do tanque (boa ou ruim);
- Cor do teto do tanque;
- Categorias de acessórios do teto;
- Construção do tanque (aparafusado ou soldado);
- Tipos de selos (selo primário e secundário);
- Conteúdo do tanque.



Coleta de dados:

Coordenação de Meio Ambiente do Porto de Suape – Reunião com Empresas da ZIP

Visitas aos parques de tancagem;

Coleta de dados – preenchimento de formulários.

Fontes dos dados: Empresas gestoras de parque de tancagem

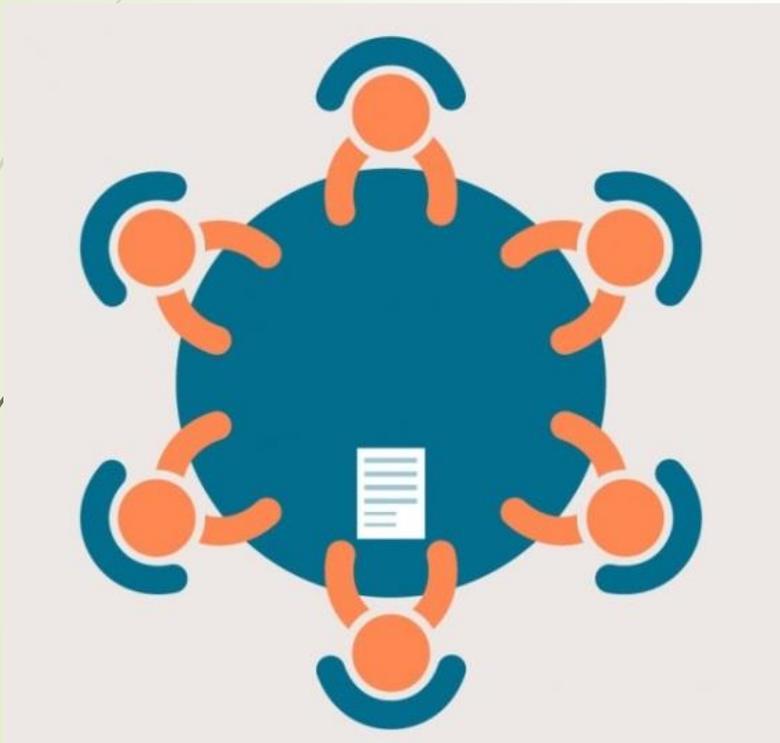


Figura 3.1 – Simulação reunião

Fonte: google.com.br



Figura 3.2 – Visita a Empresa Transpetro S.A

Fonte: Aragão, 2016.

3.1.2.2 Dados meteorológicos para o programa TANKS versão 4.09D



Tabela 3.5 - Dados meteorológicos médios mensais medidos na estação Recife (Curado)

Mês	Temperatura (°C)			Radiação Solar (W.m ⁻²)	Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	Pressão atmosférica (hPa)
	Máxima	Mínima	Média			
Janeiro	30,20	22,40	26,50	337,70	2,98	1010,90
Fevereiro	30,20	22,60	26,50	371,50	2,75	1010,60
Março	30,00	22,70	26,40	266,40	2,29	1010,40
Abril	29,70	22,60	25,60	241,80	2,25	1010,70
Maio	28,90	21,90	25,20	193,80	2,57	1011,90
Junho	27,90	21,60	24,50	192,60	2,57	1014,00
Julho	27,30	21,10	23,90	204,70	2,87	1014,70
Agosto	27,50	20,60	23,90	229,90	3,10	1014,70
Setembro	28,10	20,70	24,60	249,30	3,26	1014,20
Outubro	29,00	21,40	25,50	276,50	3,16	1012,60
Novembro	30,10	21,90	26,10	249,10	3,29	1011,50
Dezembro	30,20	22,20	26,40	317,40	3,12	1010,10
Médias	29,10	21,80	25,50	259,60	2,82	1012,20

Fonte: INMET – disponível na internet em www.inmet.gov.br, acesso em janeiro 21 de 2017.

Os dados da estação meteorológica da Agência de Águas e Clima (Ipojuca) não foram utilizados, pois a estação começou a operar em maio de 2013.



3.1.2.3 Dados das propriedades dos produtos orgânicos voláteis

Tabela 3.8 – Propriedades físicas do álcool etílico e n-hexano.

Nome	Massa molar (kg. kmol ⁻¹)	Massa específica do líquido em kg.m ⁻³ a 15,55 °C	Pressão de vapor (kPa)						
			4,44 °C	10,00 °C	15,55 °C	21,11°C	26,67°C	32,22°C	37,78°C
Álcool etílico	46,07	792,05	1,33	2,82	4,20	4,83	8,40	11,60	15,99
n-hexano	86,17	662,28	7,60	9,99	12,93	16,79	21,06	26,93	33,73

Fonte: Biblioteca do Programa TANKS versão 4.09D

Tabela 3.9 – Propriedades físicas do p-xileno e constantes da Equação de Antoine

Nome	Massa molar (kg. kmol ⁻¹)	Massa específica do líquido em kg.m ⁻³ a 15,55 °C	Constante da equação de Antoine		
			A (adimensional)	B (°C)	C (°C)
p-xileno	106,17	860,35	7,02	1474,40	217,77

Fonte: Biblioteca do Programa TANKS versão 4.09D

3.1.2.3 Dados das propriedades dos produtos orgânicos voláteis



Tabela 3.10 – Propriedades físicas de líquidos de petróleo

Nome	Massa molar do vapor em kg. kmol^{-1} a $15,55^\circ\text{C}$	Massa específica do líquido em kg.m^{-3} a $15,55^\circ\text{C}$	Pressão de vapor verdadeira, P_{VA} (kPa)						
			$4,44^\circ\text{C}$	$10,00^\circ\text{C}$	$15,55^\circ\text{C}$	$21,11^\circ\text{C}$	$26,67^\circ\text{C}$	$32,22^\circ\text{C}$	$37,78^\circ\text{C}$
Óleo diesel	130	850,77	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,15
Gasolina PVR 11	65	671,03	26,68	32,75	39,78	47,98	57,50	68,39	80,94
Querosene para jato	130	850,77	$28,26 \times 10^{-3}$	$41,36 \times 10^{-3}$	$58,60 \times 10^{-3}$	$75,84 \times 10^{-3}$	0,10	0,14	0,19

Fonte: Biblioteca do Programa TANKS versão 4.09D

3.2 DEFINIÇÃO DA GRADE DE DOMÍNIO DA MODELAGEM

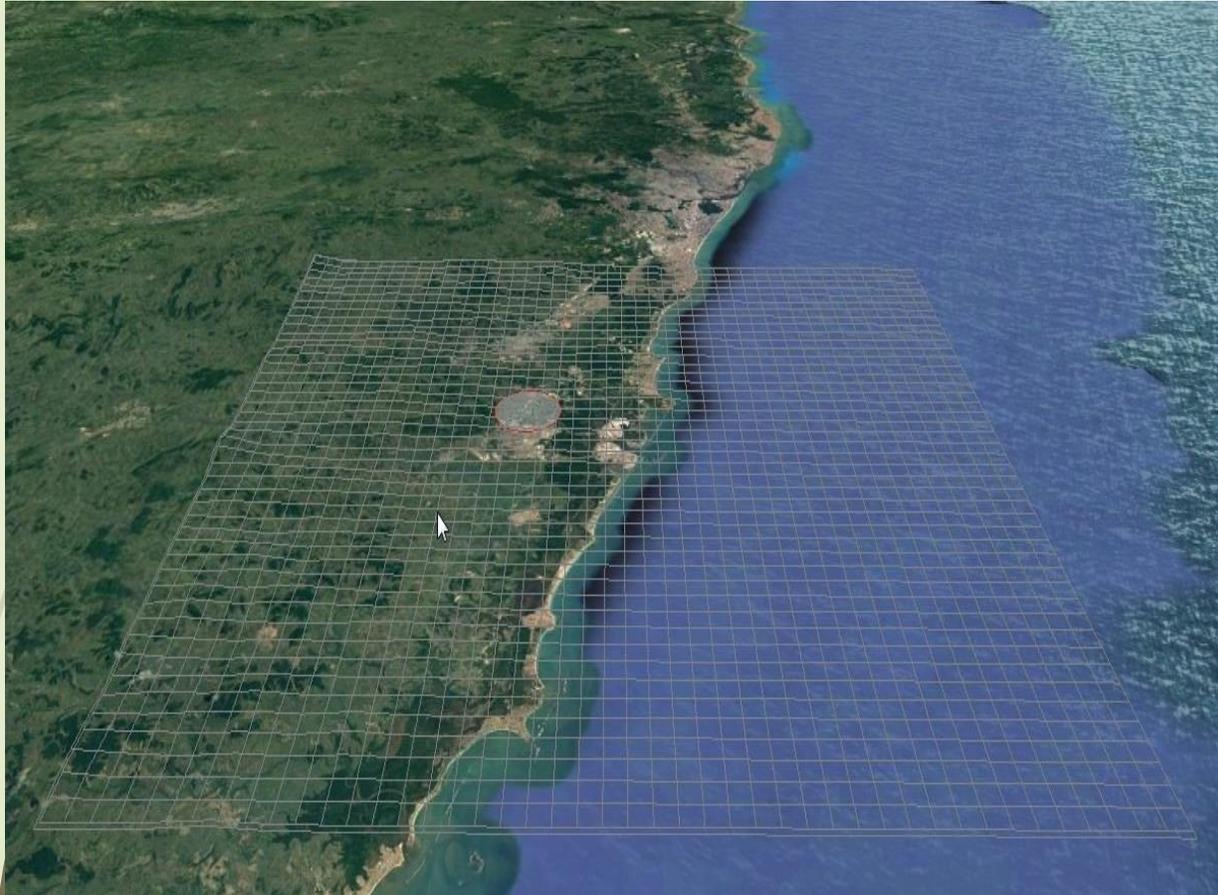


Figura 3.3 – Grade de domínio da modelagem

Grade de domínio:

Área: 2025 km²

Dimensão do quadrado: 45 km x 45 km.

Grade receptora:

Quadrículas:

1000m x 1000m gerando um total de 2158 receptores.

Receptores específicos:

- Zona de Comércio e Serviço;
- Pontos receptores localizados em Massagana I;
- Pontos receptores localizados em Massagana II– Vilas dois irmãos;
- Pontos receptores – Estações de monitoramento da qualidade do ar da Refinaria Abreu e Lima.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS DE ENTRADA PARA O MODELO AERMOD



Fonte pontual

Identificação da fonte:

- Nome;
- Coordenadas geográficas UTM;

Parâmetros físicos da fonte:

- Altura da chaminé (m);
- Diâmetro da chaminé (m).

Parâmetros de exaustão da chaminé:

- Velocidade de saída dos gases de exaustão (m/s);
- Temperatura dos gases de saída (K)
- Taxa de emissão dos poluentes (g/s)

Fonte de dados:

- Banco de dados de emissões de poluentes atmosféricos (2013) da Agência Estadual de Meio Ambiente:

Fontes evaporativas

As fontes evaporativas de armazenamento de produtos orgânicos voláteis são tratadas como pequenas fontes pontuais, conforme descrito no **Guia de Dispersão de Modelagem da Província de Ontário – Canadá (2009)**.

Tanques de teto fixo

1. As perdas evaporativas do líquido ocorre pela **válvula para alívio de pressão** (*vents*);
2. Considerar os *vents* como uma pequena fonte pontual;
3. **Velocidade de saída dos volatéis e diâmetro da pequena chaminé**, próximos a zero: 0,001m/s e 0,001m, respectivamente.

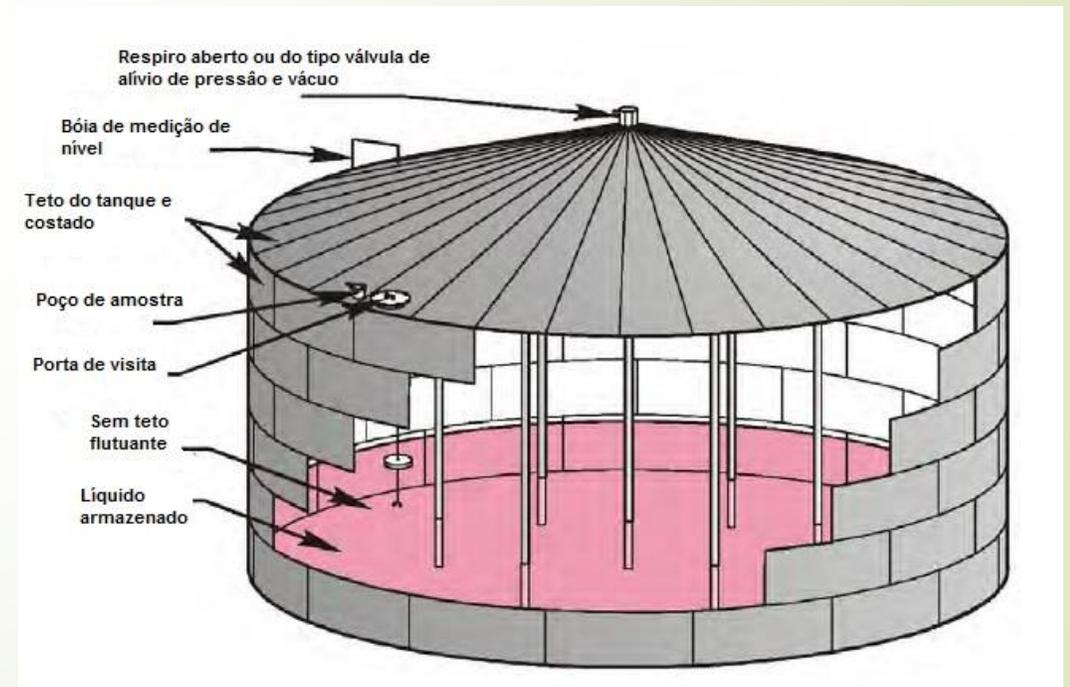


Figura 3.4 – Tanque teto fixo
Fonte – Adaptado da EPA, 1995.

Tanques de teto flutuante

1. As perdas evaporativas ocorre pelo selo de vedação;
2. Considerar oito pontos (fontes pontuais) sobre o selo;

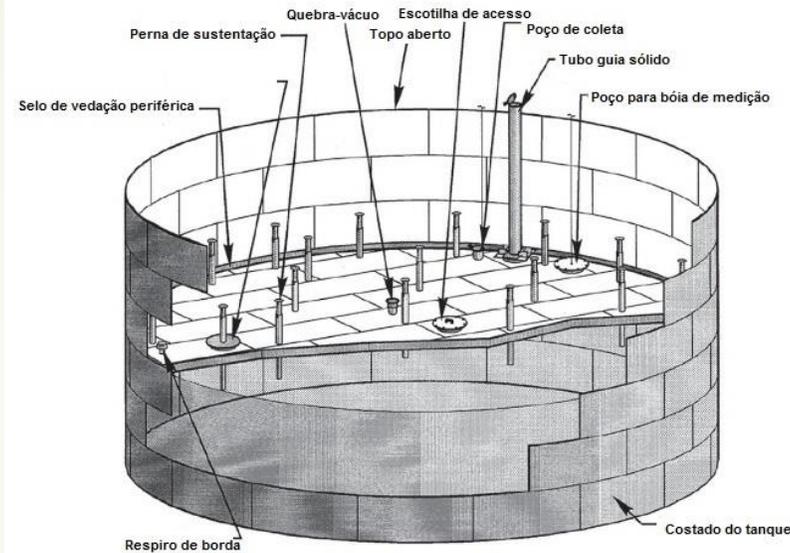
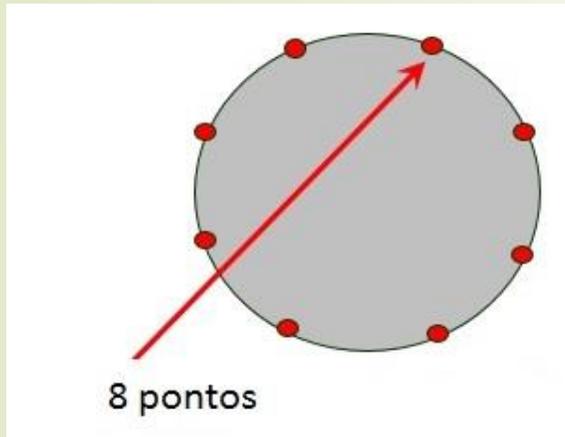


Figura 3.5 – Tanque teto flutuante externo
Fonte: Adaptado da EPA, 1995.

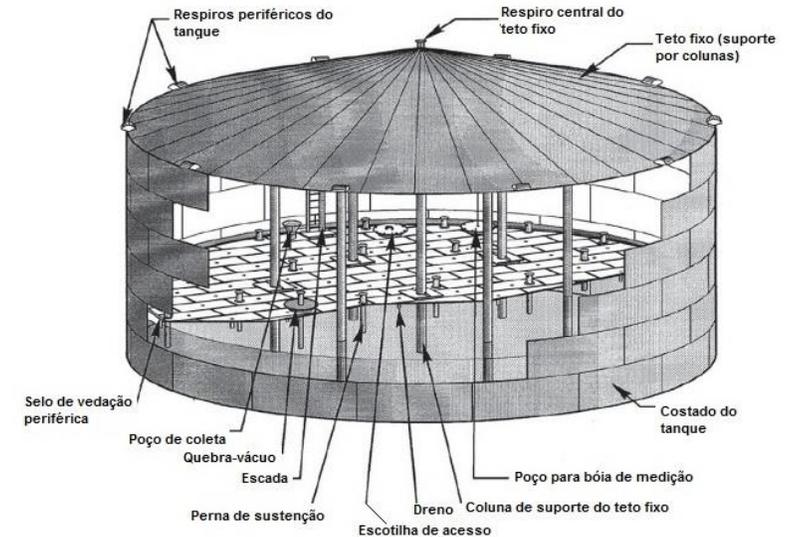


Figura 3.6 – Tanque teto flutuante interno
Fonte: Adaptado da EPA, 1995.

3. Velocidade de saída dos volatéis e diâmetro das pequenas chaminés, próximos a zero: 0,001m/s e 0,001m, respectivamente.



Tanques de armazenamento de produtos orgânicos voláteis

Identificação da fonte:

- Nome;
- Coordenadas geográficas UTM;

Parâmetros físicos da fonte:

- Altura do tanque (m);
- Diâmetro da chaminé (vents) = 0,001 (m).

Parâmetros de exaustão da chaminé (vents)

- Velocidade de saída dos voláteis = 0,001 m/s;
- Taxa de emissão dos poluentes (g/s)

3.4.3 Dados topográficos da região do estudo

- O mapa digital da topografia do terreno da região do Complexo Industrial Portuário de Suape foi obtida da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) no endereço: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.
- O AERMOD *view* 9.1.0 utiliza um algoritmo computacional que faz um *link* com o satélite SRTM3/SRTM1 da NASA.

3.4.4 Dados meteorológicos para modelo AERMOD

Dados meteorológicos de superfície

- Período de 2013 a 2015;
- Estações meteorológicas de superfície:
 - a) Estação meteorológica do Porto do SUAPE;
 - b) Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET;
 - c) Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional do Recife.
- Nas Estações do Porto do SUAPE e do INMET - Sem dados horários de nebulosidade, portanto não foram utilizados;
- A Estação do Aeroporto Internacional do Recife - Atendia aos requisitos mínimos necessários para gerar os arquivos requisitados pelos AERMET.



3.4.5 Dados de uso e ocupação do solo

- Quantificadas pelos parâmetros albedo, a rugosidade e a razão de Bowen.
- Para regiões do Brasil a empresa canadense *Lakes Environmental Software* desenvolveu um algoritmo computacional denominado de *Lakes Use Creator*.

3.4.6 Dados de altitude (*Upper Air*)

- Medidos no Aeroporto Internacional do Recife - Estação de radiosonda do Aeroporto estava inoperante;
- Foi utilizado o recurso do AERMET, chamado de *Upper Estimator*, trata-se de um algoritmo que gera os dados de altitudes (perfil vertical) a partir dos dados horários da estação de superfície.

4 RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

4.1.1 Fontes Pontuais

Tabela 4.1 – Quantidade de chaminés, tipo de combustível e taxas de emissão dos poluentes

Quantidade de chaminés por empresa	Tipo de combustível	Taxa de emissão dos poluentes (g.s ⁻¹)			
		PM	NO _x	SO _x	CO
Empresa A					
Chaminé 1	Gás natural		5,88		2,29
Chaminé 2	Gás natural		7,75		0,99
Empresa B					
Chaminé 1	Gás natural	2,80x10 ⁻³	5,55x10 ⁻³	2,80x10 ⁻³	
Chaminé 2	Gás natural	5,55x10 ⁻³	5,55x10 ⁻³	5,55x10 ⁻³	
Chaminé 3	Gás natural	1,66x10 ⁻²	7,22x10 ⁻²	1,1x10 ⁻²	
Chaminé 4	Gás natural		2,50x10 ⁻²	2,50x10 ⁻²	
Chaminé 5	Gás natural	1,94x10 ⁻²	3,05x10 ⁻²	4,44x10 ⁻²	
Empresa C					
Chaminé 1	Gás liquefeito de petróleo	3,20x10 ⁻²	0,11	5,28x10 ⁻³	
Empresa D					
Chaminé 1	Gás liquefeito de petróleo	9,40x10 ⁻²	3,61x10 ⁻¹	1,16x10 ⁻²	
Chaminé 2	Gás liquefeito de petróleo	6,40x10 ⁻²			

Total de chaminés = 10

Total de chaminés que descarregam na atmosfera poluentes originados da queima de gás natural = 7 ou em termos de percentagem 70%

Total de chaminés que descarregam na atmosfera poluentes originados da queima de gás liquefeito de petróleo = 3 ou em termos de percentagem 30%

Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo Fard *et al*, 2016,

- Verificaram às taxas de emissão de NO_x , SO_2 , CO e PM_{10} provenientes de uma planta termoelétrica, a gás natural com capacidade de 714 MW;
- Constataram que as taxas de emissão de SO_2 , CO e PM_{10} foram muito baixas, a saber: 1,66 g/s; **$8,59 \cdot 10^{-4}$** e 5,18 g/s, respectivamente, exceto para o NO_x que foi de **262,81** g/s.
- Os autores atribuíram a baixa taxa de emissão de SO_2 a uma menor quantidade de enxofre no gás natural e a baixa taxa de emissão de CO a uma combustão eficiente do gás natural.

4.1.2 Fontes evaporativas

- Zona Industrial Portuária: 06 empresas que possuem parque de tancagem (119 tanques);
- Tanques considerados nesta pesquisa: 76 tanques (gasolina, óleo Diesel, querosene de aviação, álcool, p-xileno e n-hexano);
- Exclusão de formulários com dados de entrada insuficientes para executar o programa *TANKS* 4.0.9d.

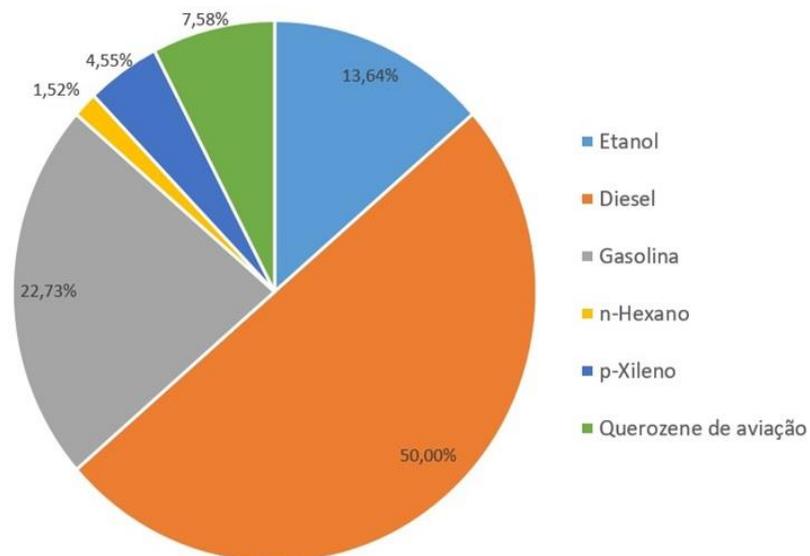
4.1.2 Fontes evaporativas

Tabela 4.2 – Tipo e quantidades de tanques de armazenamento.

<u>Tipo de tanque</u>	<u>Quantidade de tanques de armazenamento</u>
Tanque vertical de teto fixo	55
Tanque de teto flutuante interno	21
Total de tanques	76

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.1 – Frequência de ocorrência de produtos armazenados nos tanques da Zona Industrial Portuária e considerados para o cálculo das emissões de COV – ano base de 2013.



Fonte: Elaborado pelo

4.1.2 Fontes evaporativas

Tabela 4.3 – Emissões totais de COV (t.ano⁻¹), obtida pelo Programa TANKS 4.0.9 D

Tanques de teto fixo (t.ano ⁻¹)	Tanques de teto flutuante interno (t.ano ⁻¹)
564,39	16,15
Total de tanques = 55	Total de tanques = 21

Fonte: Elaborado pelo autor

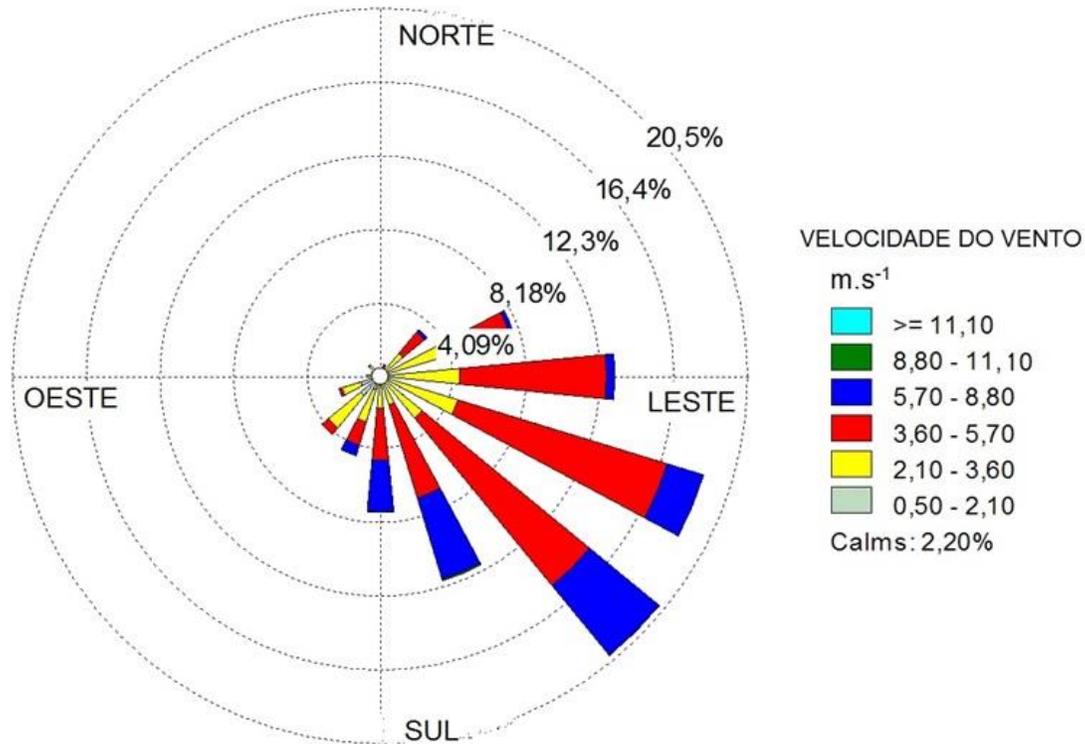
4.1.2 Fontes evaporativas

Javanovic *et al* (2010),

- As emissões de tanques de teto fixo são bem superiores aos de tanques de teto flutuante interno;
- Estimaram as emissões totais de COV de 27 tanques (gasolina, nafta, benzeno, toluene) - Refinaria de petróleo - Pancevo-Sérvia;
- Os cálculos de emissões de COV foram realizados antes e depois de um projeto de modernização dos tanques implantado pela refinaria;
- As emissões totais de COV provenientes de tanques de flutuante externo foi de 143,3 t/ano;
- Após a instalação, no topo do tanque, de um teto fixo, as emissões de COV passaram a ser 13,09 t/ano. Eficiência de redução de 91% das emissões anuais totais de COV.
- Um total de 13 tanques de teto fixo, que não sofreram tipo de mudança, produziram 203,24 t/ano de COV.

4.3 RESULTADOS DO PROCESAMENTO METEOROLÓGICO

Figura 4.2 – Rosa dos ventos, período de 01/01/2013 a 31/12/2013, obtida a partir dos dados da estação meteorológica do Aeroporto Internacional do Recife.



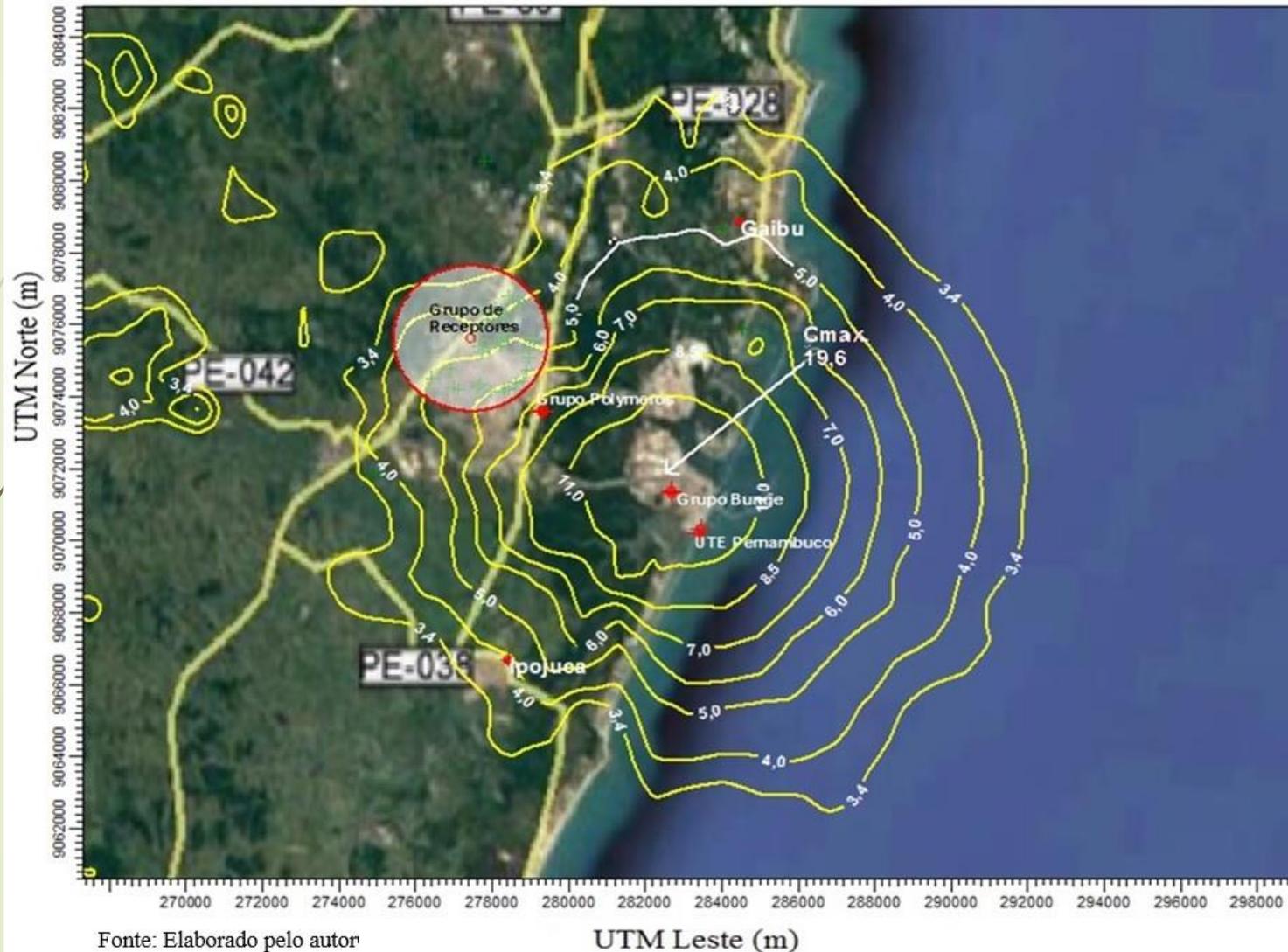
Predominâncias de direção de vento:

- SUDESTE com 20,1% soprando na faixa de velocidades médias entre 3,6 a 5,7 m/s;
- ESTESUDESTE com 18,8% soprando na faixa de velocidades entre 2,1 a 3,6 m/s;
- LESTE 13,1% soprando na faixa de velocidades entre 3,6 a 5,7 m/s.
- A calmaria média anual do período sobre a região é de 2,2%.

Benlefki, Douaiba e Abbles (2015), estudaram a dinâmica da brisa marinha sobre a atmosfera de Oran (Algeria), mostrando que a atuação desse fenômeno foi responsável em produzir ventos mais intensos, até 6 m.s⁻¹.

4.4 RESULTADOS DA MODELAGEM DA QUALIDADE DO AR

Figura 4.3 – Mapa das isoconcentrações de NO₂, média de 1 hora, concentração máxima obtida de 19,60 µg.m⁻³
Padrão primário da qualidade do ar para N₂, média de 1 hora, igual a 320 µg.m⁻³ - Resolução CONAMA N°03/1990.

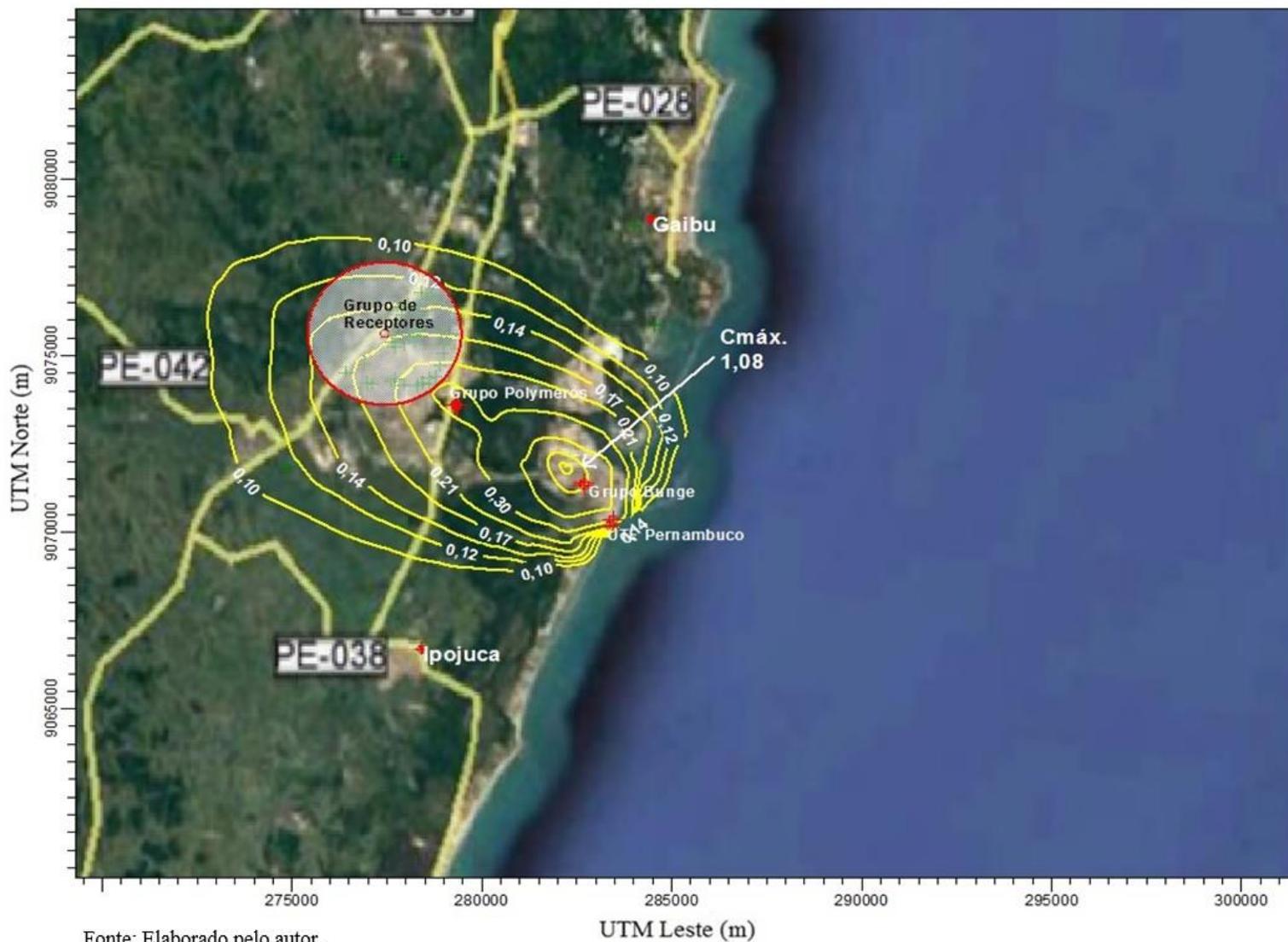


Resolução CONAMA N°
491/2018

PF: Média de 1h = 200µg/m³

4.4 RESULTADOS DA MODELAGEM DA QUALIDADE DO AR

Figura 4.4 – Mapa das isoconcentrações de NO_2 , média de anual, concentração máxima obtida de $1,08 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Padrão primário da qualidade do ar para NO_2 , média anual, igual a $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ - Resolução CONAMA N°03/1990.



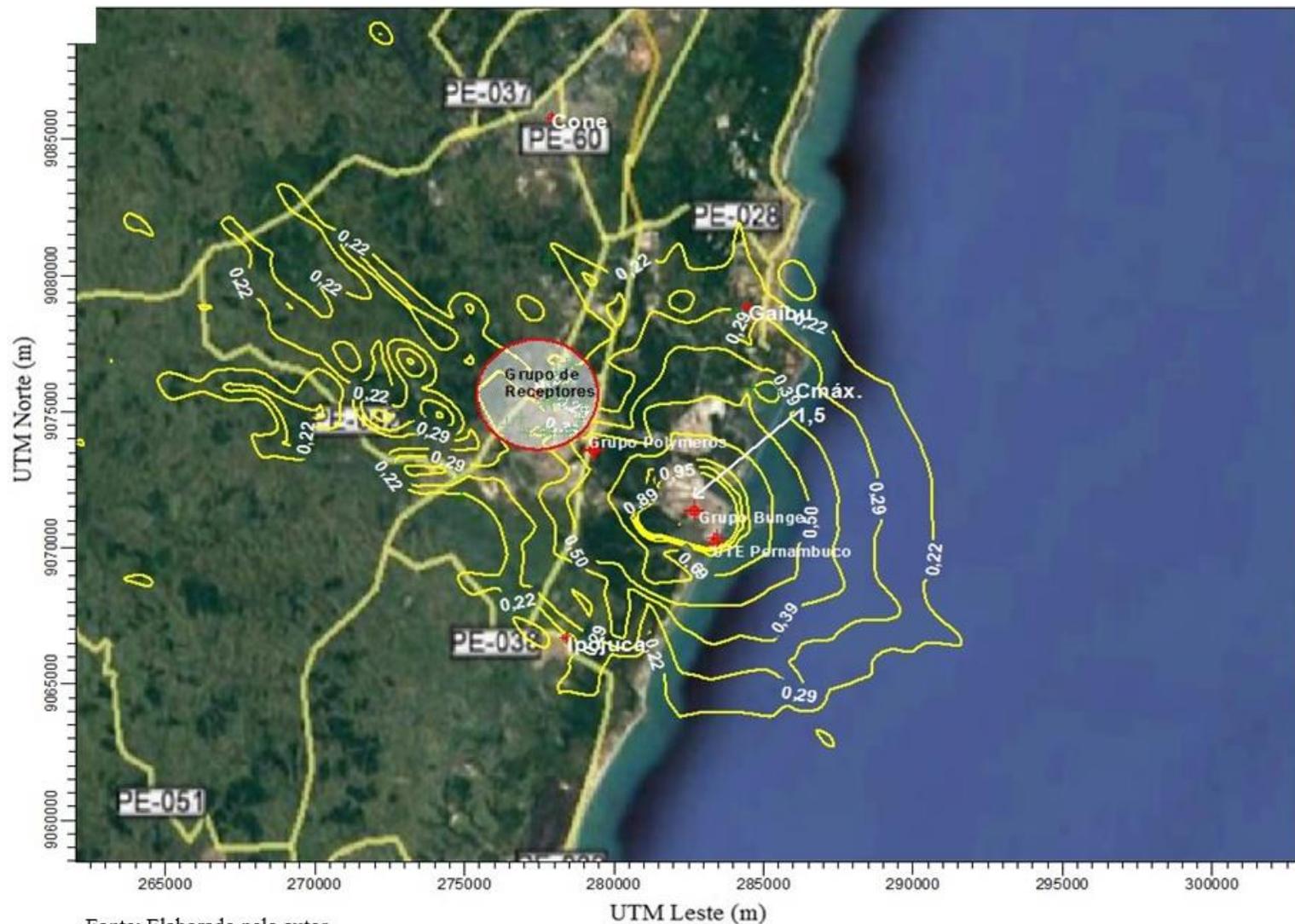
Fonte: Elaborado pelo autor.

Resolução CONAMA N°
491/2018

PF: Média anual = $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

4.5 RESULTADOS DA MODELAGEM DA QUALIDADE DO AR

Figura 4.5 – Mapa das isoconcentrações de SO₂, média de 24 horas, concentração máxima obtida de 1,50 µg.m⁻³
Padrão primário da qualidade do ar para SO₂, média de 24 horas igual a 365 µg.m⁻³ - Resolução CONAMA N°03/1990.



Resolução CONAMA N°
491/2018

PF: Média 24h = 20 µg/m³

4.5 RESULTADOS DA MODELAGEM DA QUALIDADE DO AR

Figura 4.6 - Mapa das isoconcentrações de SO₂, média anual, concentração máxima obtida de 0,10 µg.m⁻³
Padrão primário da qualidade do ar para SO₂, média anual, igual a 80 µg.m⁻³ - Resolução CONAMA N°03/1990.



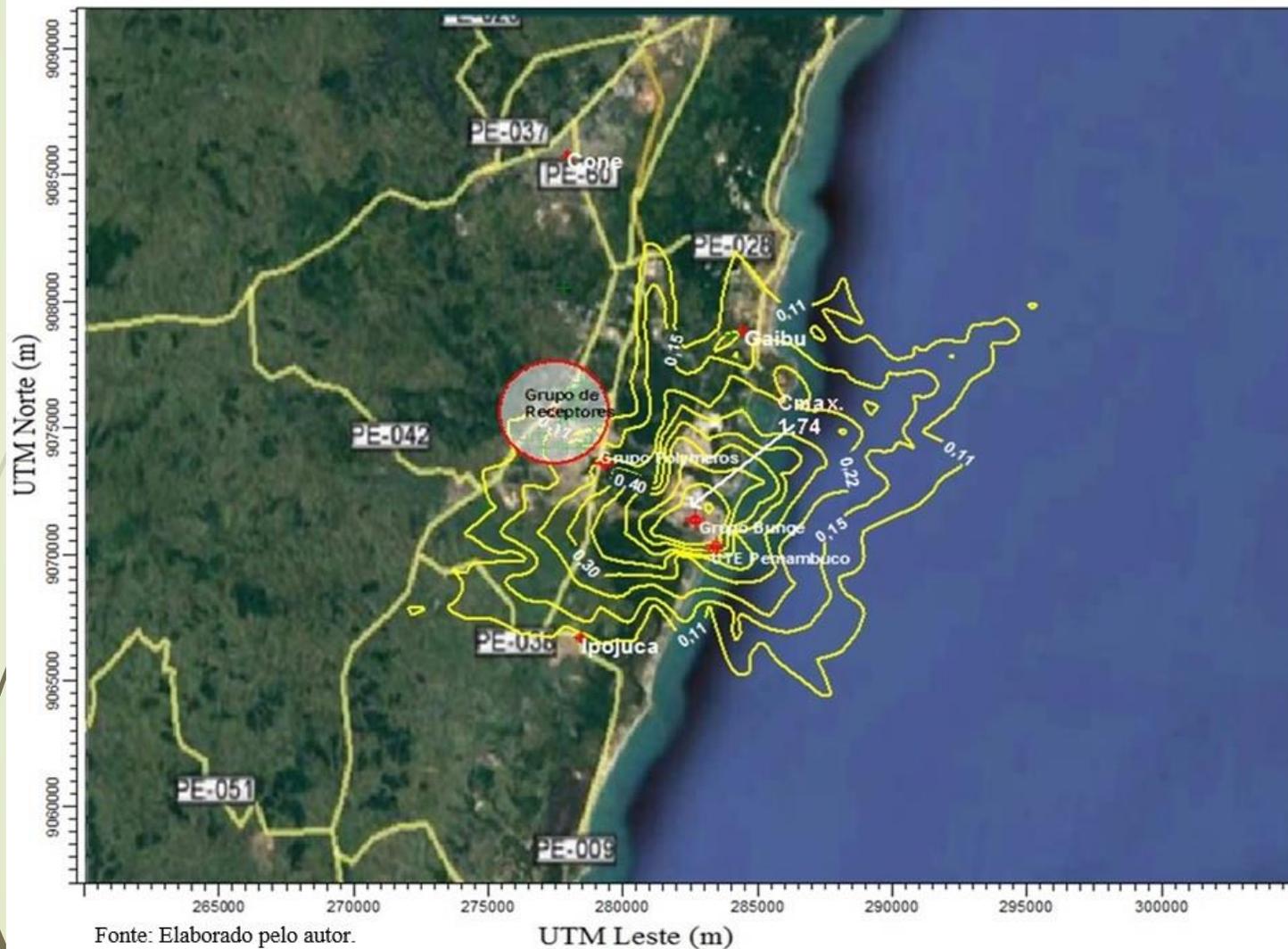
Resolução CONAMA N°
491/2018

PF: Média anual

PI - 3 = 20 µg/m³

4.5 RESULTADOS DA MODELAGEM DA QUALIDADE DO AR

Figura 4.7 – Mapa das isoconcentrações de MP₁₀, média de 24 horas, concentração máxima obtida de 1,74 µg.m⁻³
Padrão primário da qualidade do ar para MP₁₀, média de 24 horas, igual a 80 µg.m⁻³ - Resolução CONAMA N°03/1990.



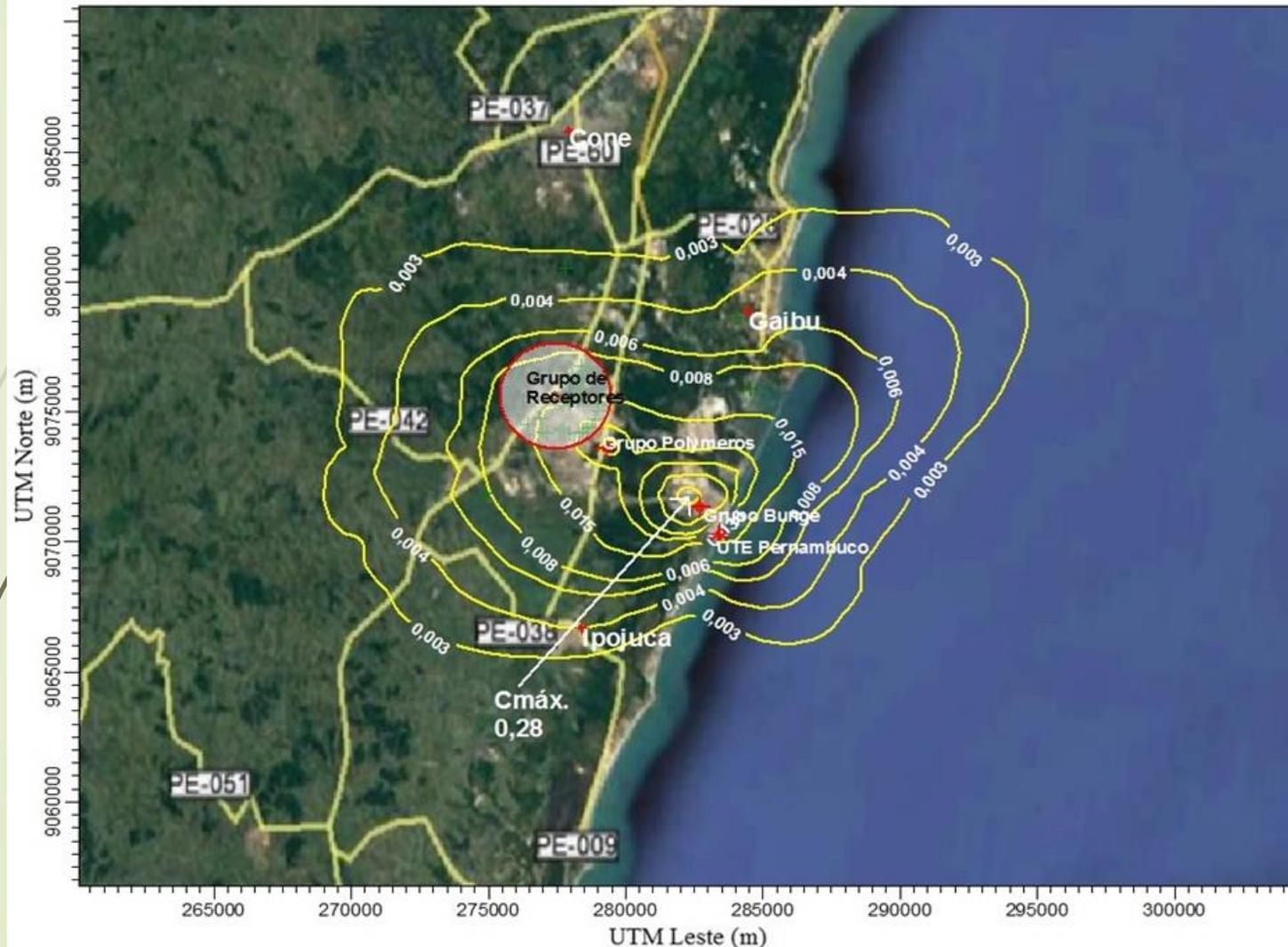
Resolução CONAMA N° 491/2018

PF: Média 24h = 50 µg/m³

PF: Média anual = 20 µg/m³

4.5 RESULTADOS DA MODELAGEM DA QUALIDADE DO AR

Figura 4.8 – Mapa das isoconcentrações de MP₁₀, média anual, concentração máxima obtida de 0,28 µg.m⁻³
Padrão primário da qualidade do ar para MP₁₀, média anual, igual a 150 µg.m⁻³ - Resolução CONAMA N° 03/1990



Fonte: Elaborado pelo autor

Resolução CONAMA N° 491/2018

PF: Média anual = 20 µg/m³

Tabela 4.6 – Concentração máxima de NO₂, média de 1 hora, localizadas nos pontos receptores

Áreas localizadas no Porto de Suape	Código do ponto receptor	Coordenadas geográficas UTM		Concentração de NO ₂ (média de 1h)
		X (m)	Y(m)	
Zona de comércio e serviço	8	276900,73	9074765,73	4,79
	9	276423,65	9074519,50	5,11
	10	276988,20	9074234,75	6,22
	11	277118,98	9074190,21	6,38
	12	277617,87	9074254,46	6,23
Massagana I	1	278665,04	9076640,90	3,76
	2	278678,28	9076694,87	3,48
	3	278409,41	9076784,26	3,72
	4	278069,41	9076474,17	3,47
	5	277771,89	9076392,69	3,32
Massangna II – Vila dois irmãos	9	278375,87	9075672,20	4,70
	10	278306,64	9075757,62	4,50
	11	227707,75	9075595,37	5,08
	12	277635,54	9075383,62	4,01
	13	277721,28	9072249,38	3,76

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.7 – Concentração máxima de SO₂, média de 24 horas, localizadas nos pontos receptores

Áreas localizadas no Porto de Suape	Código do ponto receptor	Coordenadas geográficas UTM		Concentração de SO ₂ (média de 24 horas)
		X (m)	Y(m)	
Zona de comércio e serviço	8	276900,73	9074765,73	0,05
	9	276423,65	9074519,50	0,04
	10	276988,20	9074234,75	0,06
	11	277118,98	9074190,21	0,09
	12	277617,87	9074254,46	0,08
Massagana I	1	278665,04	9076640,90	0,04
	2	278678,28	9076694,87	0,04
	3	278409,41	9076784,26	0,04
	4	278069,41	9076474,17	0,03
	5	277771,89	9076392,69	0,03
Massangna II – Vila dois irmãos	9	278375,87	9075672,20	0,05
	10	278306,64	9075757,62	0,04
	11	227707,75	9075595,37	0,05
	12	277635,54	9075383,62	0,05
	13	277721,28	9072249,38	0,05

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.8 – Concentração máxima de MP₁₀, média de 24 horas, localizadas nos pontos receptores

Áreas localizadas no Porto de Suape	Código do ponto receptor	Coordenadas geográficas UTM		Concentração de PM (média de 24 horas)
		X (m)	Y(m)	
Zona de comércio e serviço	8	276900,73	9074765,73	0,50x10 ⁻²
	9	276423,65	9074519,50	0,40x10 ⁻²
	10	276988,20	9074234,75	0,50x10 ⁻²
	11	277118,98	9074190,21	0,50x10 ⁻²
	12	277617,87	9074254,46	0,70x10 ⁻²
Massagana I	1	278665,04	9076640,90	0,60x10 ⁻²
	2	278678,28	9076694,87	0,60x10 ⁻²
	3	278409,41	9076784,26	0,40x10 ⁻²
	4	278069,41	9076474,17	0,20x10 ⁻²
	5	277771,89	9076392,69	0,20x10 ⁻²
Massangna II – Vila dois irmãos	9	278375,87	9075672,20	0,30x10 ⁻²
	10	278306,64	9075757,62	0,30x10 ⁻²
	11	227707,75	9075595,37	0,40x10 ⁻²
	12	277635,54	9075383,62	0,30x10 ⁻²
	13	277721,28	9072249,38	0,30x10 ⁻²

Fonte: Elaborado pelo autor.



Ma *et al.* (2013) utilizaram o modelo AERMOD para simular a qualidade do ar em uma área industrial na China. As concentrações mais altas de SO₂ e NO_x também ocorreram na área central da área de domínio da modelagem, por ser localizado próximo a um grupo de quatro empresas que emitiam esses poluentes.

Boadl *et al.* (2015), os quais utilizaram o modelo AERMOD para estimar as concentrações de NO_x, originadas das chaminés de indústrias localizadas na zona costeira de Visakhapatnam (Índia). Concluíram que velocidades de ventos mais altas proporcionaram a diluição das concentrações de NO_x a partir das fontes emissoras. Eles registram valores de velocidade vento variando na faixa de 5 a 9 m.s⁻¹.



Kurmar *et al.* (2016), que utilizaram modelo AERMOD para prever as concentrações de poluentes NO_x e MP, considerando as emissões, provenientes de múltiplas fontes (chaminés): quatro indústrias, situadas em uma área industrial de Chembur (Mumbai). Consideraram vários cenários de emissão para queimas de diferentes tipos de combustíveis.

- O uso de gás natural produziu as mais baixas concentrações de NO_x e MP, alcançando valores de 6,37 µg.m⁻³ e 2,99 µg.m⁻³, respectivamente, para média de 1 hora;
- As concentrações máximas de NO_x e MP foram de 21,38 µg.m⁻³ e 13,19 µg.m⁻³, respectivamente, para médias de 24 horas;
- A estimativa das concentrações de SO₂ não foi realizada por que os dados das taxas de emissão desse poluente não estavam disponíveis.
- Ressaltam que provavelmente, obteriam baixas concentrações de SO₂ devido ao uso de gás natural como fonte de combustão.

4.3.2 Fontes evaporativas

Figura 4.11 – Mapa das isoconcentrações de COV, média de 1 hora, concentração máxima obtida de $83.774 \mu\text{m}^{-3}$.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.12 - Mapa de isoconcentrações de COV, média 24 horas, conc. máx de $167 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$





A pesquisa realizada por Howari (2015), utilizou o programa TANKS versão 4.09 D para o cálculo das emissões de COV e o modelo AERMOD para simular a dispersão desse poluente em Sharjah, um dos sete territórios que integram os Emirados Árabes Unidos.

- O pesquisador estimou as emissões de COV, provenientes de quatro tanques de armazenamento: um de teto flutuante externo e três de teto flutuante interno.
- Os resultados mostraram que as concentrações de COV eram atenuadas com o tempo e a distância a partir da fonte e que a direção predominante do vento, na região de estudo, era de sudeste com velocidade alcançando 9 m.s^{-1} .
- Os valores estimados das concentrações de COV, pelo modelo AERMOD, atendiam aos limites legislação federal desse território, que é de 20 mg.m^{-3} ($20.000 \text{ }\mu\text{g.m}^{-3}$) de COV no ar.

5. CONCLUSÕES

- Baixas taxas de emissão de $\text{NO}_2 < 7,8 \text{ g.s}^{-1}$ (NO_x , expresso como NO_2), $\text{SO}_2 < 0,04 \text{ g.s}^{-1}$ (SO_x expresso como SO_2), $\text{MP}_{10} < 0,09 \text{ g.s}^{-1}$ (MP, expresso como MP_{10}) e $\text{CO} < 2,30$, foram verificadas para o grupo de fontes compostas por dez chaminés, e, podem estar associadas ao uso de gás natural e gás liquefeito de petróleo no processo de combustão;
- As emissões totais de COV foram de $580,54 \text{ t.ano}^{-1}$, dos quais $544,39 \text{ t.ano}^{-1}$ foram originados de tanque de teto fixo e $16,15 \text{ t.ano}^{-1}$, dos tanques de teto flutuante interno.
- Os resultados obtidos do processamento meteorológico para o Porto de Suape, indicam que a região está propensa a condições de ventilação favorável a dispersão de poluentes. A predominância dos ventos foram de sudeste ($3,6$ a $5,7 \text{ m.s}^{-1}$);

5. CONCLUSÕES

- As concentrações máximas estimadas pelo sistema de modelagem AERMOD de NO_2 , SO_2 , MP_{10} e CO , a partir das fontes pontuais de emissão, não ultrapassaram os padrões primários da qualidade do ar, estabelecidos pela Resolução CONAMA N°03/1990. Portanto, os resultados evidenciam que esses grupos de emissão de poluentes atmosféricos não impactaram negativamente a qualidade do ar sobre a área do Porto de Suape.
- A concentração máxima de compostos orgânicos voláteis, estimada pelo modelo AERMOD foi de $83.775 \mu\text{g.m}^{-3}$, média de 1 hora e de $164 \mu\text{g.m}^{-3}$, média de 24 h, considerando as emissões conjuntas de setenta e seis tanques de armazenamento. Nos pontos receptores (Massangana I, Massangana II e Zona de Comércio e Serviço, a concentração máxima de COV, média de 1 hora, foi de $450 \mu\text{g.m}^{-3}$;
- ✓ Devido à escassez de publicações relativa a inclusão de COV como um padrão para a qualidade do ar não foi possível avaliar o impacto das fontes de emissão de COV sobre a qualidade do ar no Porto de Suape, tendo como base a literatura internacional.