

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Paula Blamberg Ribeiro da Silva**

**Análise espaço temporal de áreas contaminadas por compostos aromáticos  
em municípios do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**

**TAUBATÉ-SP**

**2022**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Paula Blamberg Ribeiro da Silva**

**Análise espaço temporal de áreas contaminadas por compostos aromáticos  
em municípios do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**

Dissertação apresentada para a obtenção do  
título de Mestra no Programa de Pós-  
graduação em Ciências Ambientais da  
Universidade de Taubaté.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Aparecida da  
Silva Almeida

**TAUBATÉ-SP**

**2022**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI  
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi  
Universidade de Taubaté - UNITAU**

S586a Silva, Paula Blamberg Ribeiro da  
Análise espaço temporal de áreas contaminadas por  
compostos aromáticos em municípios do Vale do Paraíba e  
Litoral Norte do Estado de São Paulo / Paula Blamberg  
Ribeiro da Silva. -- 2022.  
73 f. : il.

Monografia (mestrado) - Universidade de Taubaté,  
Departamento de Ciências Agrárias, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Ana Aparecida da Silva Almeida.  
Departamento de Ciências Agrárias.

1. BTEX. 2. Águas subterrâneas. 3. Remediação. 4. Poluição  
do solo. I. Universidade de Taubaté. Departamento de  
Ciências Agrárias. Mestrado em Ciências Ambientais. II.  
Título.

CDD – 628.168 36

**Paula Blamberg Ribeiro da Silva**

**Análise espaço temporal de áreas contaminadas por compostos aromáticos  
em municípios do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**

Dissertação apresentada para obtenção  
do título de Mestra em Ciências  
Ambientais pelo Programa de Pós-  
graduação em Ciências Ambientais da  
Universidade de Taubaté.

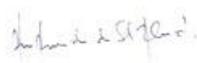
Data: Aprovada

Resultado: 22/01/2022

**BANCA EXAMINADORA**

Profa. Dra. Ana Aparecida da Silva Almeida. - Universidade de Taubaté

Assinatura:



Prof.Dr. Marcelo dos Santos Targa - Universidade de Taubaté

Assinatura:



Prof. Dr. Ângelo Ricardo Balduino – Instituto Federal do Tocantins

Assinatura:



**TAUBATÉ-SP**

**2022**

## Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus avós paternos e maternos: Rita e Aprígio, Theodora e Hugo, “In Memoriam”, pela existência de meus pais, Paulo José e Generosa Walkíria, pois sem eles este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

Dedico-o também aos meus irmãos Arthur e Isadora, e a minha tia Tânia, a minha cunhada Maria Clara, pelo incentivo e força para finalizá-lo.

## Agradecimentos

A Profa. Dra. Ana Aparecida da Silva Almeida, pela orientação, e seu grande desprendimento em ajudar.

Ao Prof. Dr. Marcelo Targa e ao Prof. Dr. Paulo Fortes Neto por me auxiliar com o texto.

Ao Mestre em Ciências Ambientais Lucas Guimarães da Silva pela ajuda no desenvolvimento dos mapas de incidência e interpretação de dados.

Aos colegas de mestrado Caio, Luiz, Pâmela e Peterson pelo incentivo e companheirismo nesta jornada.

“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade.”

Marie Curie

## Resumo

O surgimento de áreas contaminadas resulta de processos socioeconômicos muitas vezes sem a percepção da relevância das questões ambientais a eles associadas. Em São Paulo as áreas contaminadas são identificadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, que publica em relatórios anuais a lista de áreas contaminadas no estado, em que se observa destaque para os contaminantes do grupo Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos, também conhecidos como BTEX. Esses contaminantes constituem uma classe de compostos aromáticos presente em combustíveis, como a gasolina, sendo potencialmente poluidor, principalmente o benzeno que é tóxico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição das áreas contaminadas por BTEX em 4 municípios do Vale do Paraíba e em 4 municípios do litoral norte paulista ao longo dos anos 2008 a 2018. A partir das informações extraídas dos relatórios da CETESB foi realizada uma análise temporal por meio de mapas coropléticos, usando o método de quebras naturais. Nesse período também se avaliou a frequência de técnicas utilizadas para remediação e etapas de gerenciamento, assim como os meios mais impactados pelos BTEX. Dentre os resultados obtidos para incidência de áreas contaminadas, nos municípios do Vale do Paraíba, São José dos Campos e Taubaté apresentaram persistência na incidência de casos, alcançando e permanecendo até o fim deste estudo na quarta classe, onde estão concentrados os maiores valores de incidência. O município de São José dos Campos apresenta valores de incidência altos em todo o período, em 2012 alcançou a faixa de incidência de 9,1-13,0 áreas, enquanto Taubaté apresenta maiores valores entre 2008 e 2013, sendo o mais alto em 2012, onde alcançou o índice 9,1-23,0. Similar a Jacareí, neste mesmo ano, ambos alcançaram o maior índice de incidência no período deste estudo. Quanto aos municípios do litoral norte, Ubatuba apresentou índices mais altos entre 2008 e 2010, variando entre 7,1-13,0 nos anos de 2008 e 2010, cabe ressaltar que nos anos finais de estudo o índice cai para 1,1-3,0, onde o valor máximo foi praticamente quatro vezes menor. Assim, Ubatuba apresentou o maior cenário de incidência, enquanto Ilhabela o menor cenário, mantendo-se sem casos durante o período de 2013 a 2018. Os municípios Jacareí, São José dos Campos e Taubaté apresentaram maior incidência em relação a Ubatuba, São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Guaratinguetá. A técnica mais utilizada para remediação foi bombeamento e tratamento, apesar de muitos relatórios não

fornecerem dados de remediação. O meio mais impactado foi águas subterrâneas, isto se deve ao poder de percolação dos BTEX no solo.

Palavras- chave: BTEX, águas subterrâneas, remediação, poluição do solo.

## Abstract

The emergence of contaminated areas results from socioeconomic processes, often without the perception of the relevance of the environmental issues associated with them. In the State of São Paulo, contaminated areas are identified by the Environmental Company of the State of São Paulo – CETESB, which publishes annual reports, in which the contaminants of the Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes group, also known as BTEX. These contaminants constitute a class of aromatic compounds present in fuels, such as gasoline, being potentially polluting, especially benzene, which is toxic. The objective of this study was to evaluate the distribution of areas contaminated by BTEX in 4 cities in Vale do Paraíba and in 4 cities in the north coast of São Paulo from 2008 to 2018. Based on the information extracted from the CETESB reports, a temporal analysis was carried out by means of choropleth maps, using the method of natural breaks. During this period, the frequency of techniques used for remediation and management steps was also evaluated, as well as the means most impacted by BTEX. Among the results obtained for the incidence of contaminated areas, in the municipalities of Vale do Paraíba, São José dos Campos and Taubaté presented persistence in the incidence of cases, achieved and remaining until the end of this study in the fourth class, where the highest incidence values are concentrated. São José dos Campos has high incidence values throughout the period, in 2012 it reached the incidence range of 9.1-13.0. Taubaté has higher values between 2008 and 2013, being the highest in 2012, where it reached the index 9.1-23.0. Similar to Jacareí, in the same year, both achieved the highest incidence rate in the period of this study. As for the municipalities of the North Coast, Ubatuba presented its highest rates between 2008 and 2010, ranging from 7.1 to 13.0 in the years 2008 and 2010, it is worth mentioning that in the final years of study the index drops to 1.1-3.0, where the maximum value is practically four times lower. Thus, we can see that in the North Coast, Ubatuba represents the largest scenario of incidence, while Ilhabela the smallest scenario, remaining without cases during the period from 2013 to 2018. The municipalities Jacareí, São José dos Campos and Taubaté had the highest incidence in relation to Ubatuba, São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba and Guaratinguetá. The most commonly used technique for remediation was pumping and treatment,

although many reports do not provide remediation data. The most impacted medium was groundwater, this is due to the percolation power of BTEX in the soil.

Keywords: BTEX, groundwater, remediation, soil pollution.

## Lista de Ilustrações

FIGURA 1- ESTRUTURA DOS COMPOSTOS DO GRUPO BTEX - BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO E XILENO. ...	19
FIGURA 2- SISTEMAS DE REMEDIAÇÃO IMPLANTADOS NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	26
FIGURA 3- PRODUÇÃO E EMPREGOS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO BRASIL.....	30
FIGURA 4- ESTIMATIVA DA FROTA DE AUTO VEÍCULOS NO BRASIL ENTRE OS ANOS DE 2008 A 2018. ....	30
<b>FIGURA 5-</b> CONSUMO DE GASOLINA AUTOMOTIVA EM MILHÕES DE LITROS, POR MUNICÍPIOS NO PERÍODO DE 2008 A 2018.....	31
<b>FIGURA 6-</b> REPRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO- RMVPLN (SP). ....	32
<b>FIGURA 7 –</b> REPRESENTAÇÃO DOS MUNICÍPIOS OBJETOS DESSE ESTUDO – REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE. EM DESTAQUE.....	33
FIGURA 8- EXEMPLO DAS INFORMAÇÕES DISPONIBILIZADAS NOS RELATÓRIOS ANUAIS PUBLICADOS PELA COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) SOBRE ÁREA CADASTRADA COMO CONTAMINADA.....	34
<b>FIGURA 9 -</b> COLETÂNEA DOS MAPAS DE INCIDÊNCIA DE ÁREAS CONTAMINADAS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS EM 8 MUNICÍPIOS DA RMVPLN DE 2008 A 2018. ....	37
FIGURA 10- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2008. ....	40
FIGURA 11- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2009. ....	40
FIGURA 12- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2010. ....	41
FIGURA 13 -MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2012. ....	41
FIGURA 14- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2013. ....	42
FIGURA 15- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2014. ....	42
FIGURA 16- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2015. ....	43
FIGURA 17- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2016. ....	43
FIGURA 18- MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2017. ....	44
FIGURA 19 - MAPEAMENTO ESPAÇO TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE POSTOS CONTAMINADOS POR COMPOSTOS AROMÁTICOS NO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE NO ANO DE 2018. ....	44
FIGURA 20- MEIOS IMPACTADOS PELOS COMPOSTOS AROMÁTICOS BTEX'S SEGUNDO DADOS CETESB. (2021) .....	45
FIGURA 21- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE UBATUBA. ....	46
FIGURA 22- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE ÍLHABELA. ....	47
FIGURA 23- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE CARAGUATUBA. ....	48
FIGURA 24- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO. ....	49
FIGURA 25- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE JACAREÍ.....	50
FIGURA 26- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.....	51
FIGURA 27- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ.....	52

FIGURA 28- ETAPAS DE GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS DO MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ.....	53
FIGURA 29- TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE UBATUBA, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011. ....	54
FIGURA 30 - TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ILHABELA, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011. ....	55
FIGURA 31- TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011.....	56
FIGURA 32- TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011.....	57
FIGURA 33- TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE JACAREÍ, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011. ....	58
FIGURA 34- TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011.....	59
FIGURA 35- TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011. ....	60
FIGURA 36- TÉCNICAS MAIS UTILIZADA PARA REMEDIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ, NO PERÍODO DE 2008 A 2018, EXCETO 2011.....	61

## Lista de Tabelas

TABELA 1- NÚMERO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEL CASSADOS A PARTIR DE 2005 NAS PRINCIPAIS CIDADES DA RMVPLN.....	18
TABELA 2 -RECOMENDAÇÃO SEGURA A EXPOSIÇÃO DE BENZENO EM VÁRIOS PAÍSES.....	21
TABELA 3- CONCENTRAÇÕES DE HIDROCARBONETOS MONOAROMÁTICOS (BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO E XILENOS) E HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS EM FASE LIVRE, NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO AUTO POSTO BAÍA DO SOL LTDA. E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005. ....	23
TABELA 4- VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO, RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420/2009.....	24
TABELA 7 – INTERVALOS DE INCIDÊNCIA DE CASOS NOS MUNICÍPIOS DURANTE OS ANOS DE 2008 A 2018. ....	36

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	OBJETIVO .....	18
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
	3.1- BTEX e sua toxicidade .....	19
	3.2- Histórico de instrumentos legais do gerenciamento ambiental de áreas contaminadas .....	23
	3.3- Processos de instalação de um posto de revenda de combustíveis.....	24
	3.4- Tratamentos de solos contaminados por derivados de petróleo .....	26
	3.5 - Armazenamento através de tanques subterrâneos e Análise de riscos .....	28
	3.6 - Rodovia BR-116 e o consumo de automóveis na região de estudo .....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	32
	4.1 Área de estudo.....	32
	4.2 Procedimentos metodológicos .....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
6	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento dos centros urbanos brasileiros observa-se um aumento no número de automóveis que tem acarretado numa necessidade maior de postos de vendas de combustíveis (SILVA, 2010).

Combustíveis automobilísticos, em especial a gasolina, apresentam compostos denominados BTEX, que são compostos aromáticos derivados do benzeno, que possuem uma cadeia fechada com seis carbonos e seis hidrogênios com ligações simples e duplas intercaladas e envolvidas no fenômeno de ressonância.

Tais compostos, Benzeno, Etilbenzeno, Tolueno, e os isômeros orto, meta e para do Xileno, ou seja, BTEX ganha espaço em discussões ambientais devido ao seu poder contaminante e toxicidade, pois além de emitirem poluentes para a atmosfera ainda podem contaminar solo e águas subterrâneas. Destes, o benzeno é o mais tóxico.

Conforme o Ministério da Saúde a exposição ao benzeno causa danos à saúde, entre os inúmeros danos, pode causar a leucemia, causando a morte. O Índice de Industrialização Relativo à Leucemia (IIRL) varia de 5 a 27 (FILHO E LEAL, 2002), em algumas cidades da Região Metropolitana do Vale do Paraíba, como São José dos Campos e Taubaté, temos IIRL de 24 e 18, respectivamente. Além disso, os BTEXs presentes na gasolina apresentam alta mobilidade no solo e água, se tornando um potente contaminante.

O potencial de contaminação destes compostos também está relacionado ao poder de permeação no solo. Bortoluzzi (2004) refere que um episódio de contaminação por gasolina, com vazamento semelhante a uma colher de sopa, diariamente, pode liberar anualmente 29,2 g de benzeno, ultrapassando o limite de tolerância proposto pela OMS, que é de 10 µg/L, uma vez que essa quantidade de benzeno é capaz de contaminar 3 milhões de litros de águas subterrâneas.

A problematização deste estudo é baseada na elevada presença de áreas de venda de combustíveis contaminadas no estado de São Paulo, as quais são cadastradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

Os postos de venda de combustíveis são frequentemente fiscalizados, onde são conferidos os dados cadastrais da empresa e coleta de amostras, a fiscalização

também pode ser feita através de denúncia junto à ouvidoria da Secretaria da Fazenda e Planejamento do Estado. Caso conste alguma irregularidade, o posto fica com a inscrição estadual cassada e as bombas lacradas, a fim de evitar reincidência, os sócios da empresa ficam impedidos de atuar no ramo durante 5 anos.

Neste estudo as áreas contaminadas por BTEX estão localizadas entre eixos estratégicos Rio de Janeiro e São Paulo, a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e litoral Norte (RMVPLN), por onde ocorrem rotas de mercadorias e pessoas, além de ser um considerável pólo industrial.

Com urbanização contínua em todos os municípios dessa região a RMVPLN possui mais de 2 milhões e 500 mil habitantes (IBGE, 2018) e PIB conjunto de 98,1 bilhões de reais. O foco deste estudo é avaliar a exposição dessas cidades a compostos aromáticos uma vez que esta é uma região banhada por vários rios afluentes do rio Paraíba do Sul.

Na RMVPLN, segundo dados da Secretaria da Fazenda, a partir de 2005 o número de postos de combustíveis que tiveram as licenças estaduais cassadas nas cidades de estudo soma 34, dentre eles 4 conseguiram liminar judicial para continuar suas atividades (Tabela 1).

No ano de 2010, a Secretaria da Fazenda realizou uma força tarefa para fiscalização de vendas de combustíveis no Vale do Paraíba sendo que em Taubaté e São José dos Campos com 4 estabelecimentos em cada município alvos da operação (SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO, 2020).

O aumento da demanda e consumo de combustíveis nessa região do estado de São Paulo, gera questionamentos sobre potenciais impactos ambientais decorrentes da contaminação sobretudo pela gasolina automotiva que apresenta hidrocarbonetos e compostos aromáticos.

O presente estudo pretende avaliar nos municípios do Vale do Paraíba - Jacareí, São José dos Campos, Taubaté e Guaratinguetá, bem como no Litoral Norte - Ubatuba, Ilhabela, São Sebastião e Caraguatatuba, a evolução das áreas contaminadas por compostos aromáticos no período de 2008 a 2018, a partir das informações publicadas pela CETESB.

**Tabela 1-** Número de postos de combustível cassados a partir de 2005 nas principais cidades da RMVPLN.

<b>Município</b>	<b>Número de postos cassados</b>	<b>Número de postos com liminar judicial</b>
<b>Taubaté</b>	4	1
<b>São José dos Campos</b>	17	2
<b>Jacareí</b>	3	1
<b>Guaratinguetá</b>	1	0
<b>Ubatuba</b>	3	0
<b>Caraguatatuba</b>	4	0
<b>São Sebastião</b>	1	0
<b>Ilhabela</b>	1	0
<b>Total</b>	34	4

Fonte: Dados Secretaria da Fazenda – Elaborada pela autora

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar por meio de mapas temporais, no período de 2008 a 2018, as áreas contaminadas por BTEX pertencentes ao Vale do Paraíba e Litoral Norte localizadas nos municípios de Jacareí, São José dos Campos, Taubaté, Guaratinguetá, Ubatuba, Ilhabela, São Sebastião e Caraguatatuba.

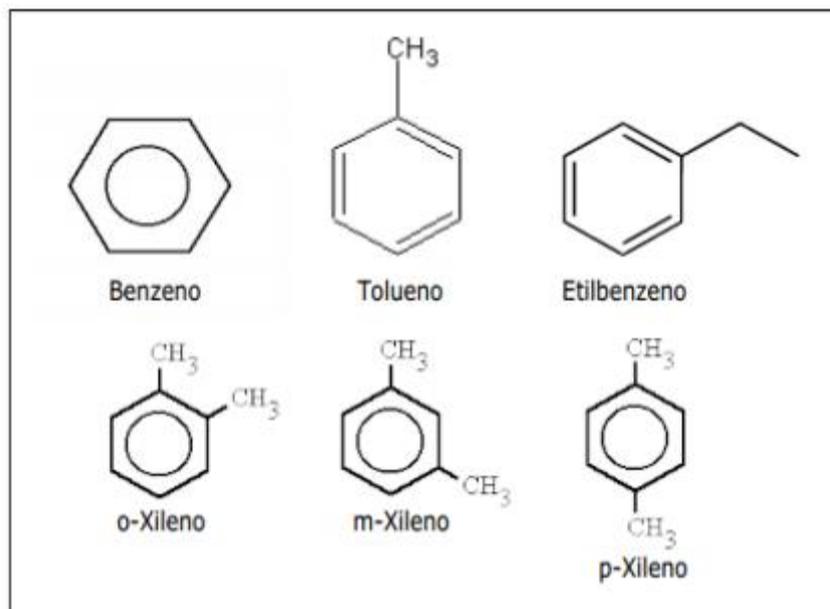
Também se avaliou os principais meios impactados e a aplicação de medidas de remediação.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1- BTEX e sua toxicidade

Compostos aromáticos são conhecidos desde a Antiguidade como compostos relacionados a odor, Compostos aromáticos denominados BTEX, constituem um grupo de substâncias formado por benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos. No grupo BTEX (Figura 1) os compostos difíceis de serem degradados, possuem alta mobilidade e são tóxicos (SILVA, 2010; NARDI, 2002).

**Figura 1-** Estrutura dos compostos do grupo BTEX - benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno.



Fonte: Porto (2014).

BTEX são miscíveis nos álcoois primários (metanol e etanol); que são altamente solúveis em água. Ao misturar o sistema gasolina-etanol com a água, o etanol passa para a fase aquosa devido a sua afinidade hidrofílica e como consequência a solubilidade dos BTEX é grande nesta fase. O fenômeno conhecido por cossolvência, é a capacidade de um certo solvente potencializar a solubilidade de

um soluto em outro solvente (Silva et al., 2002). A gasolina pode permear o solo, atingindo o lençol freático, sob ação da gravidade (FERON, 2013).

Segundo Finotti et al. (2009), a cossolvência pode ocasionar aumento da solubilidade dos hidrocarbonetos aromáticos em águas subterrâneas, levando a um aumento da concentração de compostos orgânicos na água e gerando uma maior contaminação.

De acordo com Fernando et al. (2017) além do aumento da concentração de compostos orgânicos na água, quando o etanol é misturado a gasolina, este é degradado preferencialmente ao BTEX, o que propicia condições anaeróbicas de degradação e dificulta a biodegradação do grupo.

Segundo Chiaranda (2006), no Brasil a adição de etanol à gasolina comercializada faz com que a gasolina se torne ainda mais volátil, uma vez que o etanol aumenta a pressão de vapor da gasolina comercializada.

Segundo Loureiro e Oliveira (1998), a gasolina e o diesel são misturas com grande número de hidrocarbonetos, obtidos a partir do petróleo. A gasolina em especial, é feita de hidrocarbonetos mais leves, com até 12 átomos de carbono por cadeia, se comparado ao diesel que pode ter até 22 átomos de carbono. Em consequência de uma cadeia mais leve, ela apresenta maior solubilidade, é mais volátil e menos viscosa, apresentando um maior potencial de impacto ambiental. Os hidrocarbonetos de estudo associados ao impacto são benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, também conhecidos como BTEXs, por serem mais solúveis e tóxicos.

Dentre os compostos pertencentes ao BTEXs, o benzeno será o principal neste estudo, devido a sua toxicidade e estudos relacionados a leucemia.

Segundo Corrêa (2014):

*“Desde 1982, o benzeno é reconhecido como cancerígeno pela International Agency for Research on Cancer (IARC), órgão da World Health Organization (WHO), especialmente para tumores do sistema hematopoiético (IARC, 1987a, b, 2002; WHO, 2002, 2010).”*

Os limites de exposição ocupacional ao benzeno variam de internacionalmente (Tabela 2) há variações entre os valores seguros e em alguns países à associação da exposição a leucemia.

**Tabela 2** -Recomendação segura a exposição de benzeno em vários países.

País	Limite exposição ocupacional/ recomendação
Brasil	1 ppm (VRT 8h) Petroquímicas
Estados Unidos (EPA)	Risco para leucemia a 1 ppm de exposição de $7,1 \times 10^3$ a $2,5 \times 10^{-2}$
Japão	0,1 ppm para risco de câncer de $1 \times 10^{-4}$ 1 ppm para risco de câncer de $1 \times 10^{-3}$
União Europeia (TWA e WHO)	1 ppm (TWA) 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5,27 ppb) para risco de leucemia de 1/10.000 (WHO) 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,527 ppb) para risco de leucemia de 1/100.000 (WHO) 0,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,053 ppb) para risco de leucemia de 1/1.000.000 (WHO)

---

Fonte: Mendes et al. (2017)

Segundo Amaral et al. (2017), os BTEX's são tóxicos mesmo em baixas concentrações, não havendo limite de exposição seguro para substâncias carcinogênicas, como o benzeno. Além disso, no Brasil ainda é escasso estudos sobre avaliação toxicológica de trabalhadores expostos a estes compostos.

BTEX tem mais facilidade de terem seus vapores dispersados em áreas com baixa concentração de prédios, pois se dissipam pelo ar, desta forma áreas mais abertas apresentam baixas concentrações desses compostos em relação a áreas verticalizadas. A população também é exposta durante o abastecimento e emissões veiculares. Segundo Souza (2011) o volume de gasolina vendida durante um expediente trabalhado pode influenciar na contaminação do ar próximo à zona de respiração dos frentistas e na própria atmosfera do posto. Cabe ressaltar que no estudo de Amaral et al. (2017) em relação a toxicidade desses compostos ressalta que seres humanos metabolizam o benzeno de forma mais eficaz quando em baixas

concentrações, isso se deve ao processo de saturação das enzimas de metabolização, e também a produção de metabólitos hematotóxicos que levam a um maior dano ao DNA quando em exposição recente.

Segundo Junqueira et al. (2005) apesar da toxicidade apontada em estudos, os compostos orgânicos voláteis ainda não são alvo de monitoramento atmosférico contínuo, se comparado a outros poluentes atmosféricos. São precursores de reações fotoquímicas que conduzem a formação de ozônio e também outros oxidantes.

Segundo Kaefer et al. (2011), as atividades ligadas ao petróleo desde exploração a produção são invasivas ao meio ambiente, levando danos a saúde, a ecossistemas e a cultura local, chegando a ser maior que os danos causados por um grande derrame de óleo, além dos danos que podem surgir a longo prazo.

Em um estudo realizado em Portugal, estabelece que a relação de contaminação do BTEX está atrelada ao tipo de solo de cada região, sendo os solos de fração arenosa os mais permeáveis para estes compostos (ALMEIDA, 2015).

A permeabilidade do solo coloca águas subterrâneas à exposição de possíveis contaminações (MARQUES; GUERRA, 2008).

A água subterrânea é fundamental para o ciclo hidrológico, sua importância está relacionada ao longo tempo de residência, pouca variabilidade, propriedades físicas e químicas pouco variáveis. É parte da manutenção dos ecossistemas aquáticos e dos organismos vivos (SILVA, NASCIMENTO, LÖBLER, 2014).

Estudos sobre mapeamento e vulnerabilidade de áreas com tais exposição são crescentes, como Ferreira et al. (2000), que já realizou um estudo parecido na região de Campinas – SP. A região do estudo anterior concentra um grande pólo industrial.

Freire et al. (2014) realizaram um estudo sobre contaminação da área ocupada por um posto de revenda de combustíveis na cidade de São Sebastião. A área contaminada está localizada no litoral norte de São Paulo acima do Aquífero Sedimentar Litorâneo, e foram utilizadas técnicas de bombeamento e tratamento da fase livre, a fim de minimizar a pluma gerada por vazamentos. Na tabela 3 pode-se verificar a concentração de BTEX encontrado na área do posto de combustível ao longo de três anos de acompanhamento.

**Tabela 3-** Concentrações de hidrocarbonetos monoaromáticos (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos) e hidrocarbonetos policíclicos em fase livre, na água subterrânea do Auto Posto Baía do Sol Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005.

Parâmetros	Poços de monitoramento										Valores de intervenção da Cetesb/2005		
	01		02		03		04		05			06	
	Jul/06	Jun/08	Jul/06	Jun/08	Jul/06	Jun/08	Jul/06	Jun/08	Out/08	Out/08		Out/08	Out/08
Benzeno	<LD	20,24	<LD	<LD	61,80	1535,7	<LD	94,06	771,87	4763,24	5		
Tolueno	<LD	<LD	<LD	<LD	3888,3	6916,3	148,9	2,96	6,95	169,35	700		
m-, p-Xileno	-	4,65	-	<LD	-	3355,5	-	86,34	75,93	1019,35	-		
BTEX(mg.kg <sup>-1</sup> ) o-Xileno	-	1,59	-	<LD	-	1394,2	-	8,86	7,97	77,06	-		
Xileno total	<LD	6,23	<LD	<LD	2733,5	4749,8	963,4	95,20	83,90	1096,41	500		
Etilbenzeno	<LD	1,06	<LD	<LD	1038,6	865,9	836,4	105,97	75,83	738,20	300		
BTEX total	-	27,53	-	-	7722,2	14067,6	1948,7	298,19	938,55	6767,22	-		

Fonte: Freire et al. (2014).

O estudo mostra que as concentrações de BTEX, sobretudo de Benzeno, comparadas aos valores recomendados pela CETESB em 2005. A contaminação gerada percola o solo e atinge os aquíferos, neste estudo houve êxito no tratamento, apesar do alto investimento no processo de recuperação (FREIRE et al., 2014).

Quando comparada a valores internacionais, como os da United States Environmental Protection Agency (EPA-USA) a quantidade limite permitida de benzeno na gasolina é 0,62 do percentual em volume, de acordo com a regra sobre controle de poluentes perigosos (MSAT2) de 26 de fevereiro de 2007. A regra estabelece que esta quantidade seja obedecida pelas refinarias a partir de 2011 (EPA-USA, 2017). Enquanto no Brasil, a ANP regulamenta que a gasolina comum deve ter no máximo 1 do percentual em volume (MENDES et al., 2017).

### 3.2- Histórico de instrumentos legais do gerenciamento ambiental de áreas contaminadas

O histórico dos instrumentos legais do gerenciamento ambiental de áreas contaminadas teve início em 1986 com a criação da Resolução CONAMA n°1/1986, que determina sobre procedimentos relativos a estudos de impactos ambientais.

Em 1997 foi criada a resolução CONAMA n° 237 estabeleceu procedimentos e critérios usados no licenciamento ambiental e em seu exercício, assim como em atividades e empreendimentos sujeitos a licenciamento ambiental, e esta foi atualizada no ano de 2000. Já a resolução CONAMA n°237/2000 estabeleceu diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e

dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Em 2009 a resolução CONAMA nº 420/2009 estabeleceu os critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (Tabela 4).

**Tabela 4-** Valores orientadores para solo e água subterrânea no Estado de São Paulo, Resolução CONAMA nº 420/2009

Compostos aromáticos	CONAMA 420/2009			
	Solos mg/kg			Águas subterrâneas µg/L
	Agrícola	Residencial	Industrial	Intervenção
Benzeno	0,06	0,08	0,15	5
Etilbenzeno	35	40	95	300
Tolueno	30	30	75	700
Xileno	25	30	70	500

Fonte: CETESB (2014).

### 3.3- Processos de instalação de um posto de revenda de combustíveis

Em São Paulo para que haja a instalação de um posto de revenda de combustíveis são necessárias algumas licenças junto ao órgão ambiental (CETESB), que dispõe a respeito do regramento e construção dos postos.

Primeiramente é feita uma consulta prévia, como trata-se de uma atividade potencialmente poluidora é necessário que o licenciamento seja realizado. A primeira etapa do processo é a licença prévia (LP), ela que norteia se um determinado local pode ou não receber este tipo de empreendimento. A segunda etapa do licenciamento ambiental é a licença de instalação (LI), que dispõe sobre a possibilidade de se instalar fisicamente o posto de revenda de combustíveis em um determinado lugar, que também possui condicionantes para a construção como o tipo de tanque que será

instalado, sistema de separação água e óleo, dentre outros. Segundo a resolução CONAMA 273/00 (CARVALHEIRO, 2009) é possível requerer as duas licenças, a LP e LI, simultaneamente.

A terceira etapa do processo é a licença de operação, esta licença é para que o posto revendedor de combustíveis comece a operar, só é permitido a operação quando todas os pré-requisitos forem cumpridos. Essas etapas dizem respeito somente ao licenciamento ambiental, outros alvarás como o de construção devem ser realizados frente ao órgão municipal. Assim que o posto conseguiu cumprir todas as exigências e está em funcionamento, as licenças são válidas por um período de até 10 anos. Para que a licença tenha validade ela deve ser apresentada a sociedade através de uma publicação em jornal de grande circulação ou imprensa oficial do município. A não publicação faz a licença tornar-se nula, pois não é validado o ato administrativo (CARVALHEIRO, 2009; TCU,2007).

No caso de reforma nos tanques, é necessário o pedido de uma licença de operação e reforma, diferente da primeira licença de operação. No caso de renovação, esta só se renova quando todos as condicionantes forem cumpridas, é necessária a verificação se não há passivos ambientais em decorrência de algum descumprimento de condicionantes, uma vez que este tipo de atividade é potencialmente poluidora, devido a presença de hidrocarbonetos, em especial os BTEX'S (CETESB, 2021;LIMA et al., 2017).

Quando um posto de revenda de combustíveis decide encerrar suas atividades, é necessário a notificação ao órgão ambiental (CETESB) sobre a interrupção de suas atividades, assim como a apresentação de um plano de remoção dos equipamentos e desinstalação para evitar que todo o material exposto aos combustíveis, potencialmente poluidores, tenham o descarte residual incorreto, uma vez que os resíduos oriundos desta atividade são classificados. Ao finalizar a retirada dos materiais, o órgão ambiental novamente é notificado, o que torna o procedimento custoso (CETESB, 2007; DA ROSA et al., 2012).

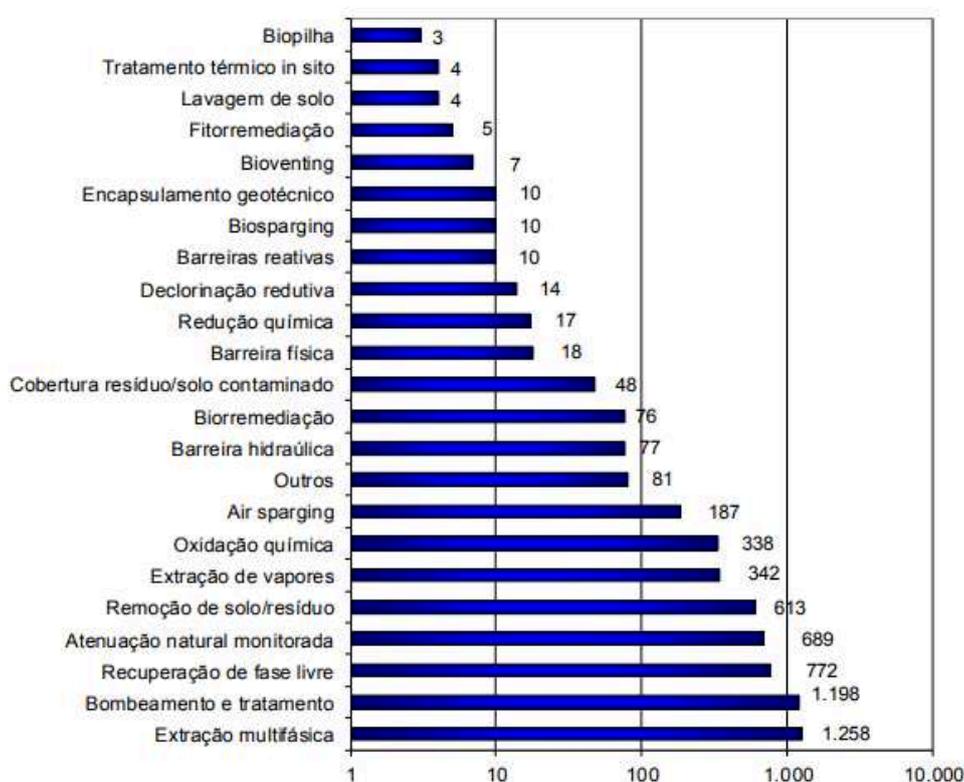
Neste processo de desinstalação podem ocorrer vazamentos, sendo necessário um relatório de investigação de passivo ambiental – RIPA. Sendo confirmada a contaminação, é verificado o risco à saúde humana, assim qual o método de remediação adequado para descontaminar a área(DOS SANTOS CAMPO & DE OLIVEIRA, 2019). O processo de remediação é um processo longo e de alto custo, uma vez que os hidrocarbonetos são persistentes no solo (ANDRADE et al., 2010).

### 3.4- Tratamentos de solos contaminados por derivados de petróleo

Existem várias técnicas para tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos, entre elas se destacam a biorremediação; escavação, remoção e destinação do solo; bombeamento e tratamento de águas subterrânea; recuperação de fase livre; extração multifásica; extração de vapores do solo; injeção de ar; atenuação natural monitorada; barreira hidráulica; barreiras reativas permeáveis; estabilização; biopilha; tecnologias térmicas; oxidação química, entre outras (SANTOS; UNGARI; SANTOS, 2008).

A escolha da técnica a ser aplicada está relacionada às características do local contaminado, além dos fatores socioeconômicos, como risco à saúde humana e custos. Os tipos de tratamento para solos contaminados por derivados de petróleo mais utilizados no Estado de São Paulo, segundo a CETESB (2018) são extração multifásica, seguida de bombeamento e tratamento (Figura 2).

**Figura 2-** Sistemas de remediação implantados no Estado de São Paulo.



Fonte: CETESB, dezembro 2018.

A técnica de extração multifásica consiste em um sistema de ventilação a vácuo em pontos de extração espalhados na área a ser remediada. É aplicado vácuo nesses poços e por consequência surge um gradiente de pressão diretamente proporcional ao vácuo aplicado, nos quais são extraídos a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011). É uma técnica utilizada *in situ*, muito utilizada em solos com permeabilidade moderada (BORTONI, 2018).

A técnica de bombeamento e tratamento consiste no bombeamento de águas subterrâneas à superfície, com diferença de densidade, e posterior separação dos resíduos água/contaminantes através de uma caixa separadora, a água extraída desta fase passa por um filtro de carvão ativado para ser reinserida na caixa separadora ou para reinjeção (TRANIN et al., 2014).

Segundo Cardoso et al. (2017) a escolha da técnica de remediação depende do tipo de contaminante, da área e dos recursos técnicos disponíveis. A remediação pode ser realizada no local, *in situ*, ou com a retirada do material e tratamento fora da área inicialmente contaminada, *ex situ*. Esta costuma ser mais onerosa que a anterior. O tempo de remediação também pode variar, podendo chegar a 10 anos quando há contaminação de águas subterrâneas e grande volume de contaminantes.

Vale ressaltar que técnicas *in situ* costumam ter um período maior de recuperação, pois não há escavação do solo e nem transporte (PÉREZ; AGUIAR, 2008).

A técnica de bombeamento e tratamento é muito utilizada para tratamento de aquíferos, e consiste em trazer à superfície a água superficial contaminada, que em seguida é tratada. A técnica pode ser pouco eficiente em solos de baixa permeabilidade contaminados por líquido leve menos denso que a água, pois o deslocamento dos contaminantes é muito lento (FREIRE, 2011).

A extração multifásica consiste no bombeamento para remover os contaminantes presentes na água subterrânea e vapores do solo. A profundidade afeta a técnica, sendo em locais com profundidade acima de 10 metros necessário a combinação de extração de vapores por vácuo com bombeamento tradicional. Em comparação ao bombeamento, a técnica é mais vantajosa, pois pode ser utilizada mesmo se a superfície das águas subterrâneas estiver abaixo do ponto de sucção e se houver entrada de ar no tubo (TROVÃO, 2006).

Já a técnica de remediação por recuperação de fase livre induz a recuperação da fase pura do LNAPL através da utilização de vácuo. Estimula a biorremediação

local, ou seja, *in situ*. Além de não extrair águas subterrâneas (PÉREZ; AGUIAR, 2008).

A atenuação natural monitorada é uma técnica passiva, onde os compostos são atenuados ao longo do tempo, sem intervenção antrópica. É pouco custosa em relação às demais técnicas, mas não é aconselhável seu uso em locais onde há possibilidade de migração a locais críticos como, por exemplo, rios e poços de abastecimento de água (NUNES; CORSEUIL, 2007).

A técnica de remediação adotada dependerá da área contaminada, das condições físico-químicas, do local, concentração do contaminante, entre outros aspectos (LEITE; MESQUITA, 2017).

Segundo Andrade et al. (2010) a biorremediação é feita através da utilização de microrganismos para degradar ou atenuar contaminantes presentes em águas subterrâneas e solos. Estes microrganismos são utilizados para degradação dos contaminantes em produtos sem toxicidade, como CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. A técnica de biorremediação, geralmente, é utilizada *in-situ*.

A biorremediação pode ser aeróbica ou anaeróbica. A biorremediação aeróbica utiliza um meio oxidante, onde o oxigênio funciona como receptor de elétrons e os BTEX como doadores de elétrons. Quando o oxigênio acaba, outros receptores de elétrons presentes no solo passam a ser utilizado como ferro, nitrato, dióxido de carbono, manganês e sulfato (ANDRADE et al., 2010).

### **3.5 - Armazenamento através de tanques subterrâneos e Análise de riscos**

Segundo Silva et al. (2002) em decorrência um número expressivo de vazamento de tanques de armazenamentos subterrâneos (TAS) a contaminação de águas subterrâneas tem ganhado espaço nas últimas décadas. A Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA) estima que aproximadamente 30% dos TAS nos Estados Unidos estão com problemas de vazamento, este problema está relacionado ao tempo de vida útil, que é de aproximadamente 25 anos.

De acordo com Corseil e Marins(1997) nos Estados Unidos, foi criada pela American Society for Testing Materials (ASTM) a ASTM ES 38-94 “Guia de Ação Corretiva Baseada no Risco para Locais com Derramamentos de Petróleo”-RBCA,

que define regras para a avaliação dos locais contaminados com derramamentos de petróleo. Na Holanda a classificação é realizada de acordo com os tipos de solo e níveis de contaminação, de ocupação da área e dos riscos eminentes.

### **3.6 - Rodovia BR-116 e o consumo de automóveis na região de estudo**

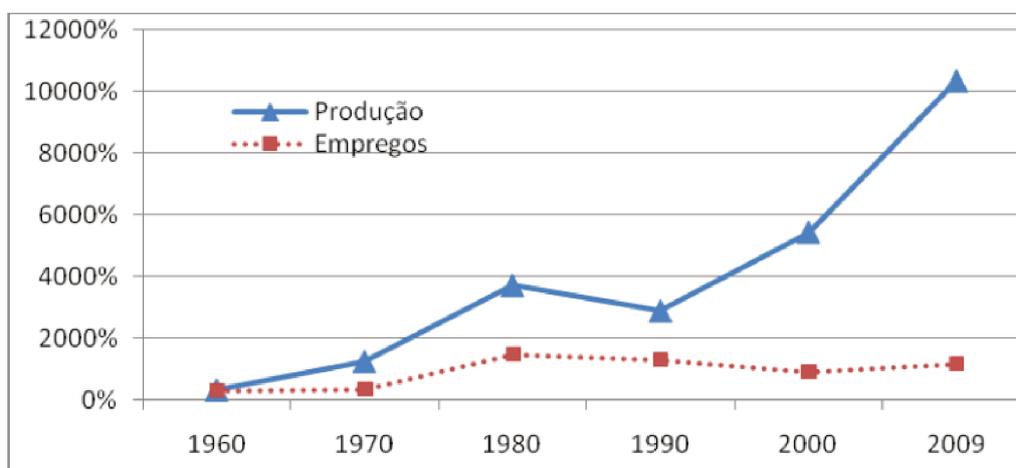
A Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, RMVPLN, é constituída por municípios paulistas localizados em um trecho do conhecido eixo Rio de Janeiro-São Paulo, as duas maiores metrópoles do país. Abrigando 39 municípios, a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte foi criada em 2012 pela lei complementar 1.166/2012 (EMPLASA,2012)

Ao longo dessa região está a rodovia Presidente Dutra, a BR-116, que é a principal rota rodoviária para as atividades comerciais e abastecimento industrial da região e do Brasil.

Segundo Pizzato e Santos (2018) a rodovia BR- 116 é a rodovia mais extensa e totalmente pavimentada do Brasil, sendo iniciada em Fortaleza- CE, a rodovia corta 10 Estados, chegando até Jaguarão no Rio Grande do Sul, totalizando cerca de 4513 km de extensão. A rodovia BR-116 é a principal ligação entre o Nordeste e o Sul do Brasil.

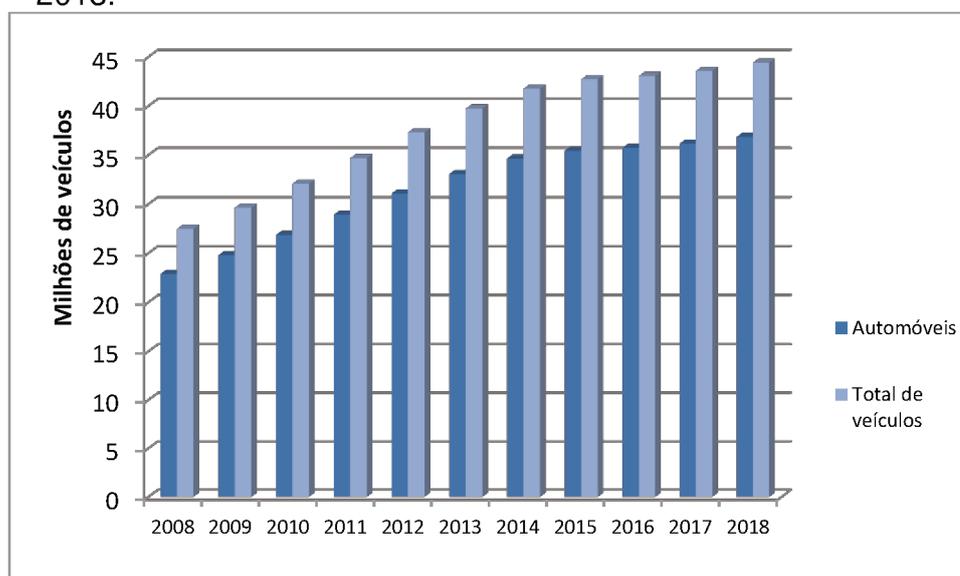
Segundo Nascimento (2016) uma rodovia tem papel fundamental na integração econômica entre regiões, que foi realizada por meio de políticas governamentais e pela indústria automobilística que se instalou, principalmente, no sul e sudeste do Brasil. Vale ressaltar que juntamente com este cenário surgiram problemas como poluição ambiental.

Nos anos 80, houve mudanças no processo de montagem dos veículos nas montadoras, foram fabricados veículos e peças desenhados de maneira similar em vários países, os chamados carros mundiais. Apesar disso houve uma forte diminuição na produção devido à crise econômica. Nos anos 90, houve recuperação do setor, com a adoção do *Toyotismo*, com a reabertura do mercado para importação, instalação de novas fábricas, o Plano Real e a queda da inflação de 1994 (Figura 3).

**Figura 3-** Produção e Empregos na Indústria automobilística no Brasil

Fonte: Nascimento (2019).

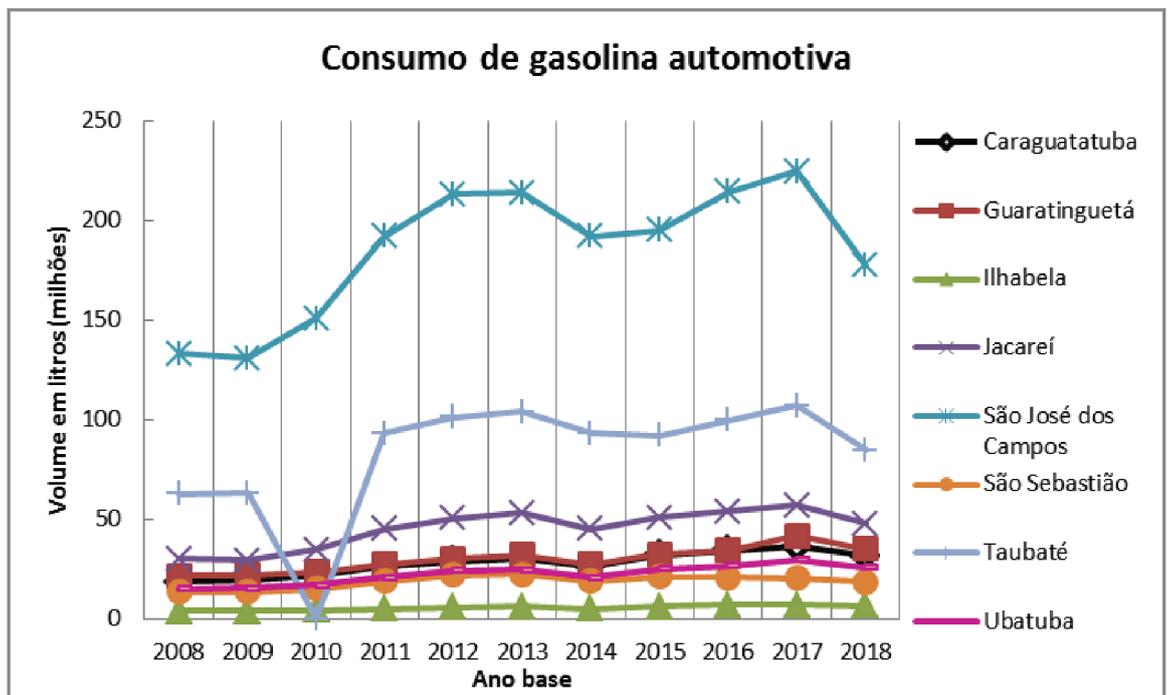
Devido a sua importância, o processo de urbanização das cidades dessa região metropolitana se deu ao longo da rodovia. Uma das preocupações ambientais a respeito desse processo de urbanização ao longo dos anos é com os contaminantes provenientes da indústria e dos automóveis, a rodovia é um corredor de emissões de gases do efeito estufa, poluentes e material particulado (PIZZATO E SANTOS, 2018), sendo as atividades relacionadas (urbanização) seu uso como deslocamento de veículos, potencialmente poluidoras. Segundo a CRR Nova Dutra (2021), passam cerca de 772 mil veículos diariamente pela região. A frota veicular no Brasil vem aumentando anualmente, segundo a estimativa da ANFAVEA (Figura 4).

**Figura 4-** Estimativa da frota de auto veículos no Brasil entre os anos de 2008 a 2018.

Fonte: ANFAVEA (Anuário 2019)

Junto com o aumento do número de veículos na região, há a necessidade de consumo de combustível para abastecê-los. Segundo dados de anuários de energético o volume consumido de gasolina por automóveis nos anos de 2008 a 2018 foram bastante variados (Figura 5):

**Figura 5-** Consumo de gasolina automotiva em milhões de litros, por municípios no período de 2008 a 2018.



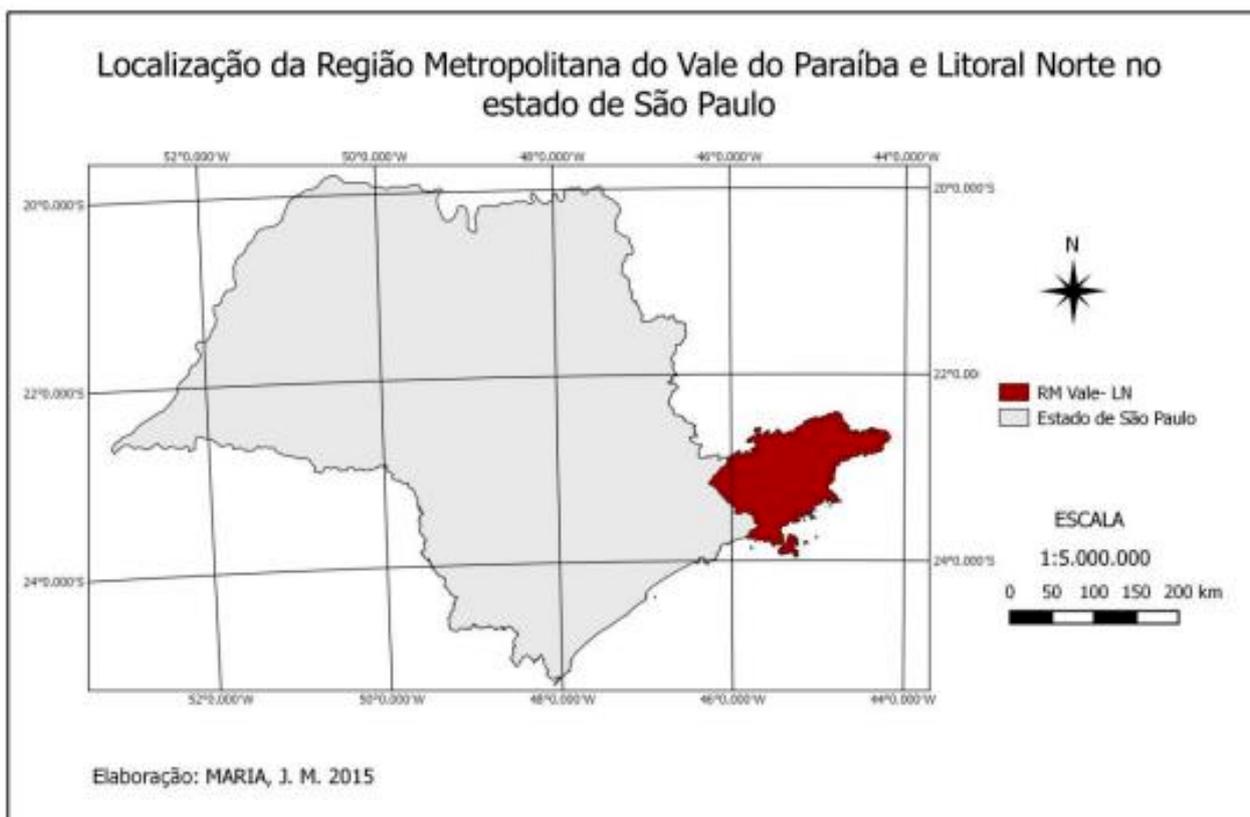
Fonte: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2022) – Elaborado pela autora

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

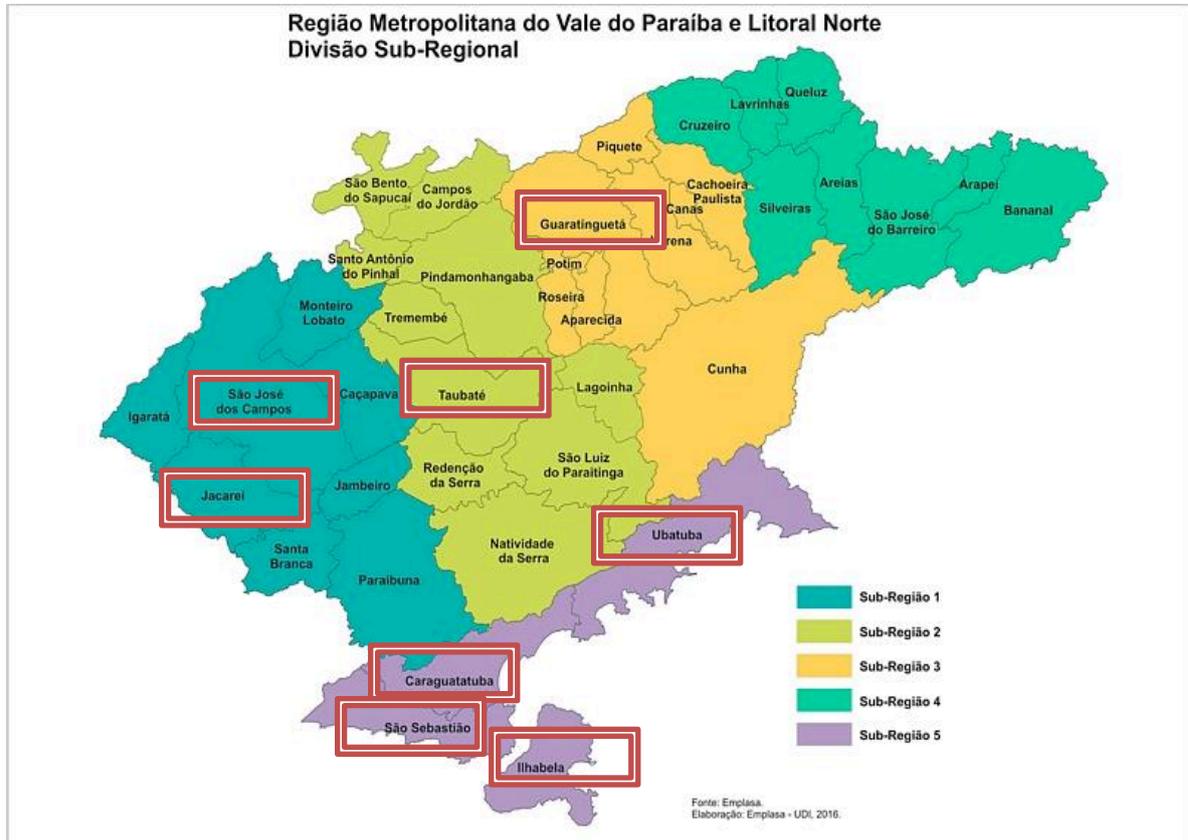
O presente estudo foi realizado em 8 municípios da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (Figuras 6 e 7). A RMVPLN é formada por trinta e nove municípios tendo sido criada pela Lei complementar nº 1.166, de 9 de Janeiro de 2012, pelo Governo do Estado de São Paulo. Esta região tem atividade econômica intensa e alto desenvolvimento, isto se dá devido ao processo de urbanização ao longo da rodovia Presidente Dutra.

**Figura 6-** Representação da área de estudo- RMVPLN (SP).



Fonte: Maria (2016)

**Figura 7** – Representação dos municípios objetos desse estudo – Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. Em destaque   os 8 municípios empregados no presente estudo



Fonte: Emplasa (2016) – Adaptado pela autora

## 4.2 Procedimentos metodológicos

Trata-se de um estudo exploratório a partir dos dados secundários sobre as áreas contaminadas por BTEX's, registradas pela Cetesb entre os anos de 2008 a 2018. Foram analisados dados das cidades Jacareí, São José dos Campos, Taubaté, Guaratinguetá e 4 municípios do litoral norte - Ubatuba, Caraguatatuba, São Sebastião e Ilhabela do estado de São Paulo.

Os dados considerados foram aqueles referentes as áreas contaminadas por postos de combustíveis, que se caracterizam pela contaminação por esses compostos aromáticos, obtidos do portal da CETESB.

Dos relatórios foram extraídos, por município e por ano, as coordenadas geográficas (ou endereço), as etapas de gerenciamento, os tipos de intervenção realizadas e o meio impactado (Figura 8)

**Figura 8-** Exemplo das informações disponibilizadas nos relatórios anuais publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) sobre área cadastrada como contaminada.

**Áreas Cadastradas no Estado de São Paulo**

**A. B. O. DISTRIBUIDORA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO LTDA.**  
R. DR. LÚCIO MALTA 647 - CENTRO - JACAREÍ

Atividade  indústria  comércio  posto de combustível  resíduo  acidentes  agricultura  desconhecida

Coordenadas (m): fuso 23 DATUM WGS84 UTM\_E 401.120,00 UTM\_N 7.422.497,00

Classificação em processo de remediação (ACRe)  reutilização

**Etapas do gerenciamento**

<input type="checkbox"/> avaliação da ocorrência	<input type="checkbox"/> avaliação preliminar
<input type="checkbox"/> medidas para eliminação de vazamento	<input type="checkbox"/> investigação confirmatória
<input checked="" type="checkbox"/> investigação confirmatória	<input type="checkbox"/> investigação detalhada
<input checked="" type="checkbox"/> investigação detalhada e plano de intervenção	<input type="checkbox"/> avaliação de risco
<input checked="" type="checkbox"/> remediação com monitoramento da eficiência e eficácia	<input type="checkbox"/> plano de intervenção
<input type="checkbox"/> monitoramento para encerramento	<input type="checkbox"/> projeto de remediação
	<input type="checkbox"/> remediação com monitoramento da eficiência e eficácia
	<input type="checkbox"/> monitoramento para encerramento

**Fonte de contaminação**

armazenagem  produção  manutenção  emissões atmosféricas  tratamento de efluentes  
 descarte disposição  infiltração  acidentes  desconhecida

**Meios impactados**

Meio impactado	Propriedade	
	Dentro	Fora
solo superficial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
subsolo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
águas superficiais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
águas subterrâneas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sedimentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
biota	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

existência de fase livre  
 existência de POPs

**Contaminantes**

metais  fenóis  
 outros inorgânicos  biocidas  
 solventes halogenados  ftalatos  
 solventes aromáticos  dioxinas e furanos  
 solventes aromáticos halogenados  anilinas  
 PAHs  radionuclídeos  
 PCBs  microbiológicos  
 metano  TPH  
 combustíveis automotivos  outros  
 outros vapores/gases

**Medidas emergenciais**

isolamento da área (proibição de acesso à área)  
 ventilação/exaustão de espaços confinados  
 monitoramento do índice de explosividade  
 monitoramento ambiental  
 remoção de materiais (produtos, resíduos, etc.)  
 fechamento/interdição de poços de abastecimento  
 interdição edificações  
 proibição de escavações  
 proibição de consumo de alimento

**Medidas de controle institucional**

restrição	proposta na avaliação de risco ou no plano de intervenção	comunicada ao órgão responsável	implantada
uso de solo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
uso água subterrânea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
uso água superficial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
consumo alimentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
uso de edificações	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
trabalhadores de obras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Medidas de remediação**

bombeamento e tratamento  oxidação química  barreira física  
 extração de vapores do solo (SVE)  redução química  barreira hidráulica  
 air sparging  barreiras reativas  biorremediação  
 biosparging  lavagem de solo  fitorremediação  
 bioventing  remoção de solo/resíduo  biopilha  
 extração multifásica  recuperação fase livre  atenuação natural monitorada  
 descloração redutiva  encapsulamento geotécnico  outras  
 tratamento térmico in situ  cobertura de resíduo/solo contaminado  sem medida de remediação

**Medidas de controle de engenharia**

adequação de projeto  impermeabilização  pavimentação  outras

 Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental

CETESB dezembro/2020 Página 14 de 6434

Os dados extraídos dos relatórios CETESB foram organizados em mapas coropléticos de escala 1:1.000.000 através do QGIS, software livre de código-fonte aberto. O limite territorial da área de estudo foi extraído do banco de dados geográficos do IBGE, no formato *shapefile*.

Para importação de dados vetoriais no QGIS, foram utilizadas as informações de nomenclatura de cada posto de combustível com classificação contaminada e suas coordenadas de localização constantes nos relatórios e, em seguida, lançadas em uma planilha eletrônica. Foi realizada a conferência do posicionamento geográfico dos postos contaminados através das imagens de satélite do *Google Earth*.

Foi analisada a incidência de contaminação por compostos aromáticos em postos de combustíveis nos anos 2008 a 2018, exceto 2011 cujos relatórios não apresentavam informação suficiente para avaliação. Considerando o registro dos relatórios, foi necessária a padronização do datum horizontal, utilizando-se o SIRGAS 2000, padrão oficial do IBGE.

A análise espacial dos dados vetoriais de incidência de postos georeferenciados foi realizada a partir do algoritmo do software QGIS por meio do processamento de cada camada vetorial de postos contaminados na área de estudo em determinado ano. Dessa forma, foi realizada a graduação da simbologia das camadas de postos contaminados resultando na obtenção da frequência espacial e temporal dos dados analisados, os quais foram distribuídos em 04 classes de valores com gradiente de cor azul, utilizando o método de classificação de Jenks (quebras naturais) para determinar os intervalos de distribuição de valores mais adequados. O método de Jenks utiliza uma análise quantitativa para promover a heterogeneidade entre os intervalos de classe baseado no melhor ajuste de variância.

Assim, foi realizada uma análise estatística, dos dados vetoriais de incidência de postos georeferenciados, através da distribuição de dados pelo método Jenks (Quebras naturais), utilizando a fórmula:  $1+3,3.\log n$ , onde  $n$  é o número de municípios analisados.

Para as etapas de gerenciamento, os meios impactados e as principais técnicas de remediação foram realizadas a distribuição de frequência.

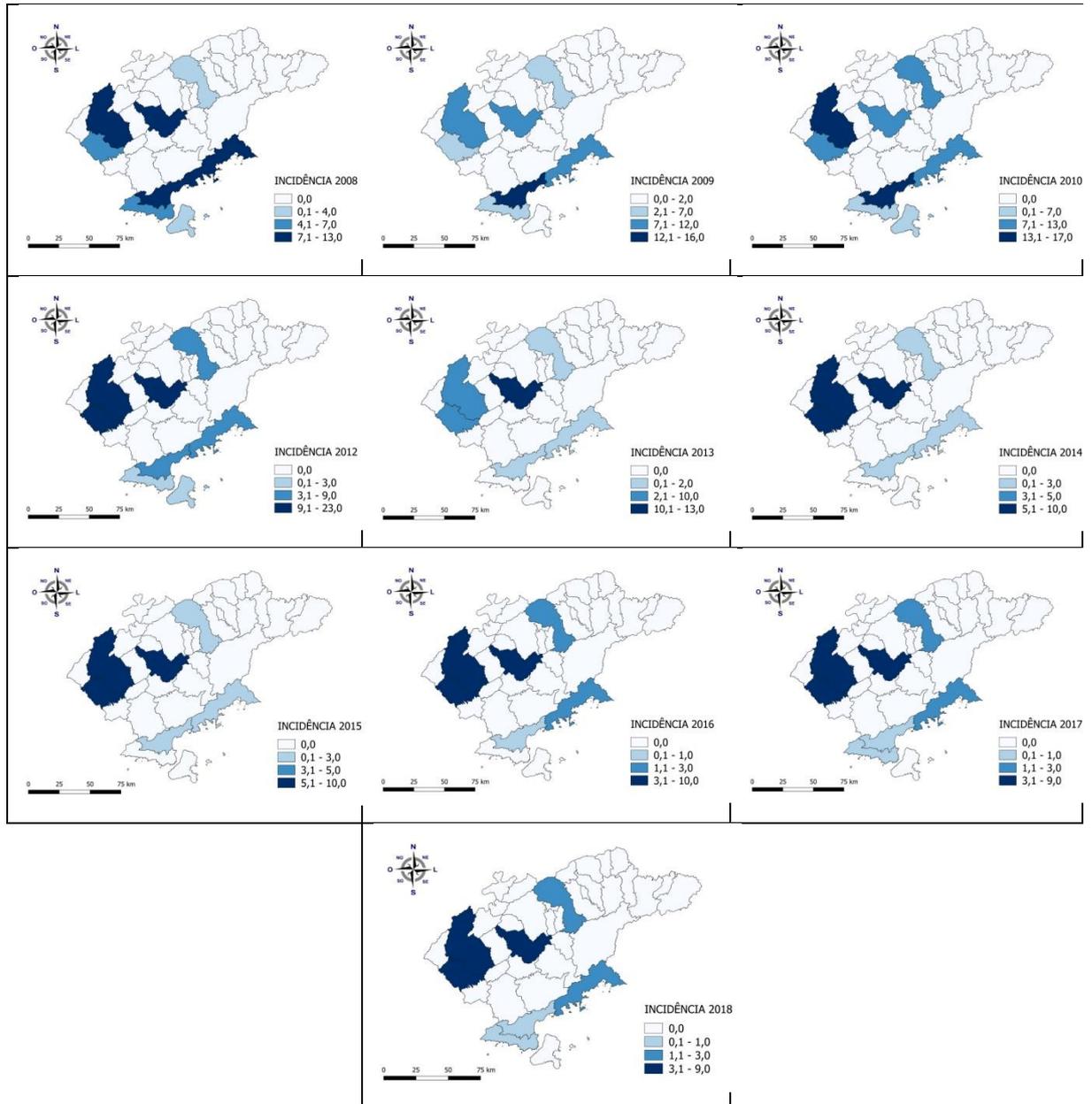
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo foram analisados 2193 relatórios publicados no site da CETESB, emitidos entre 2008 e 2018 para triagem de dados. A partir das informações de áreas contaminadas para os 8 municípios, foram calculadas as incidências (Tabela 7) e então criados os mapas de incidência de contaminação por BTEX que com 4 classes de cor azul (Figuras 9, 10 a 19)..

**Tabela 5** – Intervalos de incidência de casos nos municípios durante os anos de 2008 a 2018.

Município	2008	2009	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Guaratininguetá	0,1- 4,0	2,1- 7,0	7,1- 13,0	3,1- 9,0	0,1- 2,0	0,1- 3,0	0,1 3,0	1,1- 3,0	1,1- 3,0	1,1- 3,0
Jacareí	4,1- 7,0	2,1- 7,0	7,1- 13,0	9,1- 23,0	2,1- 10,0	5,1- 10,0	5,1- 10,0	3,1- 10,0	3,1- 9,0	3,1- 9,0
São José dos Campos	7,1- 13,0	7,1- 12,0	13,1- 17,0	9,1- 13,0	2,1- 10,0	5,1- 10,0	5,1- 10,0	3,1- 10,0	3,1- 9,0	3,1- 9,0
Taubaté	7,1- 13,0	7,1- 12,0	7,1- 13,0	9,1- 23,0	10,1- 13,0	5,1- 10,0	5,1- 10,0	3,1- 10,0	3,1- 9,0	3,1- 9,0
Caraguatatuba	7,1- 13,0	12,1- 16,0	13,1- 17,0	3,1- 9,0	0,1- 2,0	0,1- 3,0	0,1- 3,0	0,1- 1,0	0,1- 1,0	0,1- 1,0
Ilhabela	0,1- 4,0	0,0- 2,0	0,1- 7,0	0,1- 3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
São Sebastião	4,1- 7,0	2,1- 7,0	0,1- 7,0	0,1- 3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1- 1,0	0,1- 1,0
Ubatuba	7,1- 13,0	7,1- 12,0	7,1- 13,0	3,1- 9,0	0,1- 2,0	0,1- 3,0	0,1- 3,0	1,1- 3,0	1,1- 3,0	1,1- 3,0

**Figura 9 - Coletânea dos mapas de incidência de áreas contaminadas por compostos aromáticos em 8 municípios da RMVPLN de 2008 a 2018.**



São José dos Campos, por sua vez, apresenta a maior de classe de incidência de contaminação em quase todo o período, exceto nos anos de 2009 e 2013, onde apresentam valores de incidência de 7,1 a 12 e 2,1 a 10,0, respectivamente.

Em Taubaté, há uma melhora nos casos de incidência de 2008 a 2010, abandonando a maior classe (azul escura), porém a partir deste período, volta para a classe de maior incidência, permanecendo até 2018.

Guaratinguetá inicia na segunda classe de incidência (azul claro), no período de 2008 a 2012, alcança a terceira faixa (azul médio) evidenciando aumento da incidência neste período. Em 2013, regride, permanecendo na segunda classe (azul claro) até 2015. No período de 2016 a 2018, volta a crescer e alcança a terceira classe de incidência (azul médio).

Já no Litoral Norte, Ubatuba inicia na quarta classe de incidência (azul escura) e regride até 2013, onde alcança a segunda classe (azul claro). Permanece até 2015, em 2016 volta subir e se mantém até 2018 na terceira classe de incidência (azul médio).

Para São Sebastião, em 2008 apresenta seu valor de incidência dentro da terceira classe (azul médio), regredindo até o ano de 2014, onde se mantém sem incidência até o ano de 2016. Em 2017 e 2018 se mantém na segunda classe de incidência (azul claro).

Em Ilhabela, por sua vez, há oscilação entre os anos de 2008 e 2011 entre a segunda classe e a primeira, de não incidência. A partir de 2012, há regressão das incidências até 2018, onde permanecem na primeira classe.

Caraguatatuba, inicia o período na quarta classe de incidência (azul escura), onde se mantém até 2010. Em 2012, há regressão, se estabilizando na segunda faixa (azul clara) até 2018.

Guaratinguetá apresentou aumento de incidência até 2010, onde alcançou os índices de 7,1 a 13, a partir de 2012 há uma atenuação nos índices finalizando no intervalo de 1,1 a 3,0.

Jacareí assim como São José dos Campos apresentou seus maiores índices entre os anos de 2010 e 2012, sendo os valores mais altos em 2012 para Jacareí e em 2010 para São José dos Campos;

Jacareí em 2012 alcançou a faixa 9,1-23,0, a mais alta dentro do período de estudo, nos anos posteriores o valor máximo do intervalo diminui para aproximadamente a metade.

São José dos Campos apresenta valores de incidência altos em todo o período, sendo alcançado 9,1-13,0 em 2012. Se comparado aos valores dos anos finais do estudo, apresenta como ponto mínimo do intervalo o valor máximo dos anos de 2017 e 2018, onde alcança 3,1 - 9,0 de índice.

Taubaté apresenta maiores valores entre 2008 e 2013, sendo o mais alto em 2012, onde alcançou o índice 9,1-23,0. Similar a Jacareí, neste mesmo ano, ambos alcançaram o maior índice de incidência no período deste estudo.

Quanto aos municípios do Litoral Norte, Caraguatatuba apresenta maiores valores entre 2008 e 2012, sendo o mais alto em 2010, onde alcançou 13,1-17,0, em contrapartida nos anos finais seu índice se estabilizou em 0,1-1,0, se comparado os valores máximos temos uma incidência 17 vezes menor nos anos de 2017 e 2018.

Ilhabela apresenta o maior índice em 2010, onde alcançou 0,1-7,0, porém a partir de 2012 não houve incidência;

São Sebastião apresentou seus maiores índices entre 2008 e 2010, sendo 2008 o maior, de valores 4,1-7,0, entre 2013 e 2016 não houve incidência;

Ubatuba apresentou seus índices mais altos entre 2008 e 2010, variando entre 7,1-13,0 nos anos de 2008 e 2010, cabe ressaltar que nos anos finais de estudo o índice cai para 1,1-3,0, onde o valor máximo é praticamente quatro vezes menor.

Desta forma, podemos ver que no Litoral Norte, Ubatuba representa o maior cenário de incidência, enquanto Ilhabela o menor cenário, mantendo-se sem casos durante o período de 2013 a 2018.

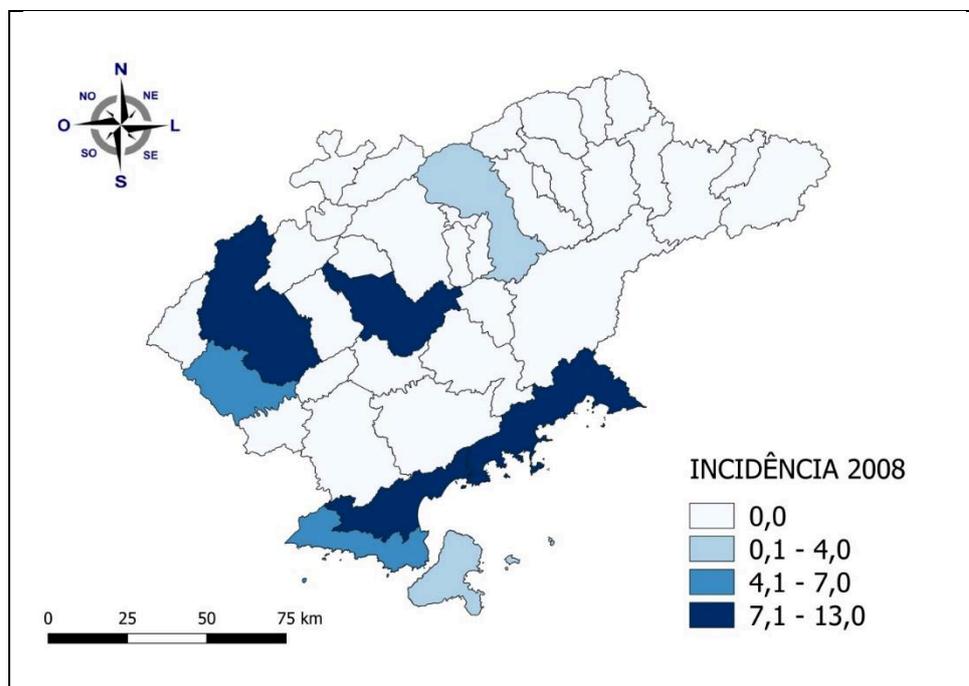
Nos municípios do Vale do Paraíba, São José dos Campos e Taubaté apresentaram persistência na incidência de casos, alcançado e permanecendo até o fim deste estudo na quarta classe, onde estão concentrados os maiores valores de incidência.

Tais municípios pertencem a mancha urbana situada ao redor da rodovia Presidente Dutra, onde, segundo a CCR Nova Dutra (2021), passam diariamente cerca de 772 mil veículos diariamente. Os postos de revenda de combustíveis subsidiam as ações comerciais da região. Vale salientar que os postos estão localizados em áreas urbanas e o diagnóstico de passivos ambientais é necessário para a expansão e ocupação do solo.

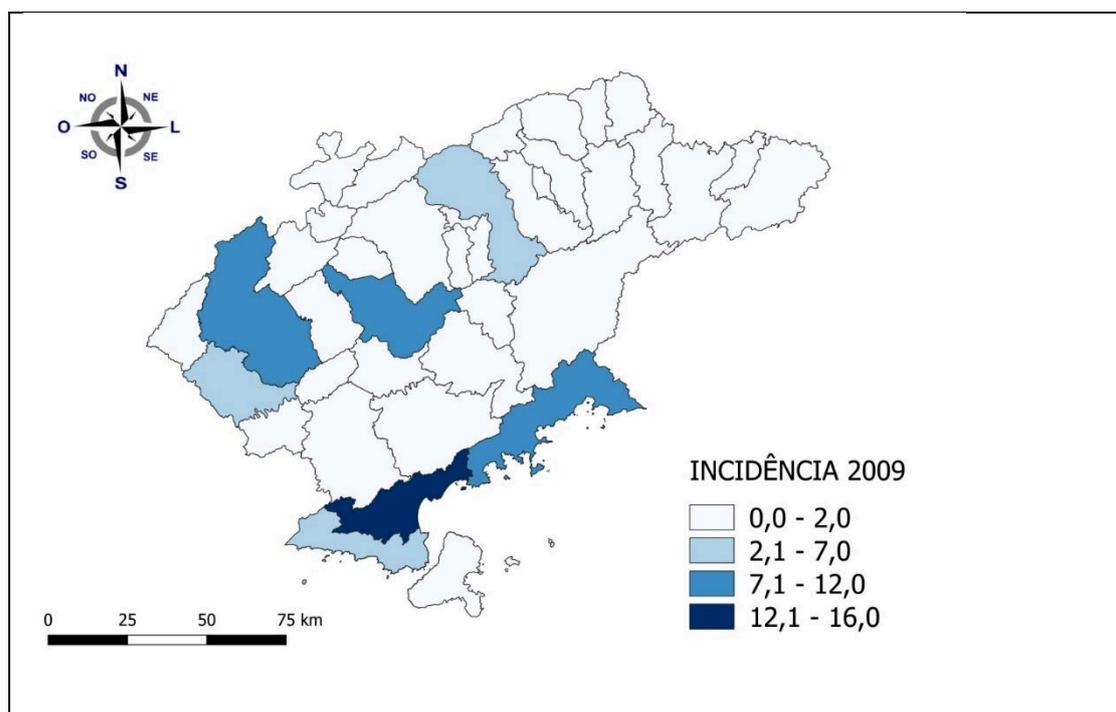
As áreas localizadas no Litoral Norte apresentam menor incidência de contaminação em relação aos municípios da calha do Vale, isto se deve ao tamanho e atividade econômica do município. O município de São José dos Campos, segundo o IBGE (2018), ocupa o sexto lugar no aglomerado urbano mais populoso do Brasil.

No Litoral Norte pode haver um agravamento da contaminação pelo tipo de solo que a região apresenta, o arenoso. Solos arenosos são mais permeáveis que os argilosos, embora a exposição de ambos ao BTEX é extremamente danosa.

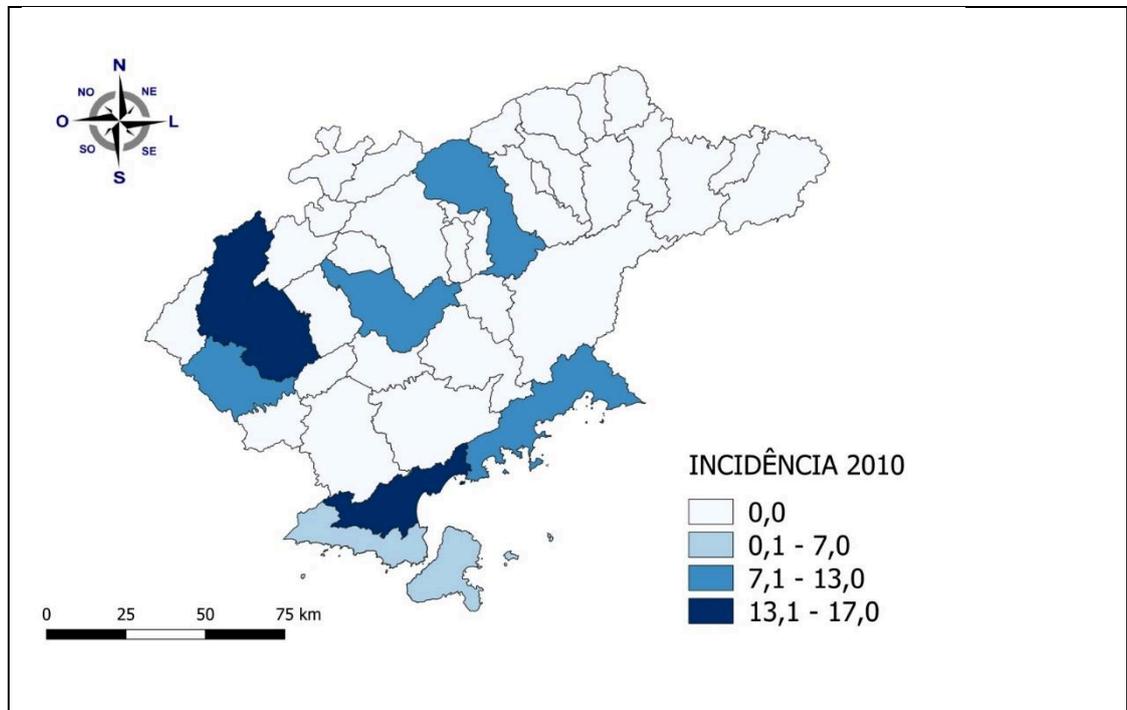
**Figura 10-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2008.



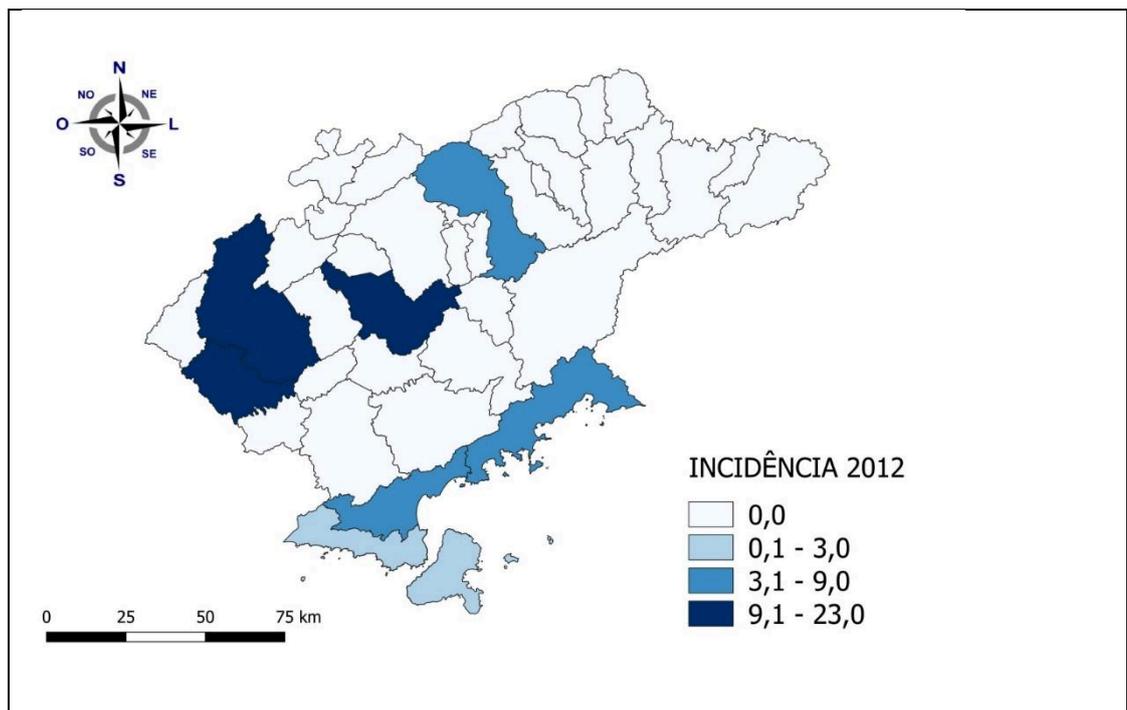
**Figura 11-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2009.



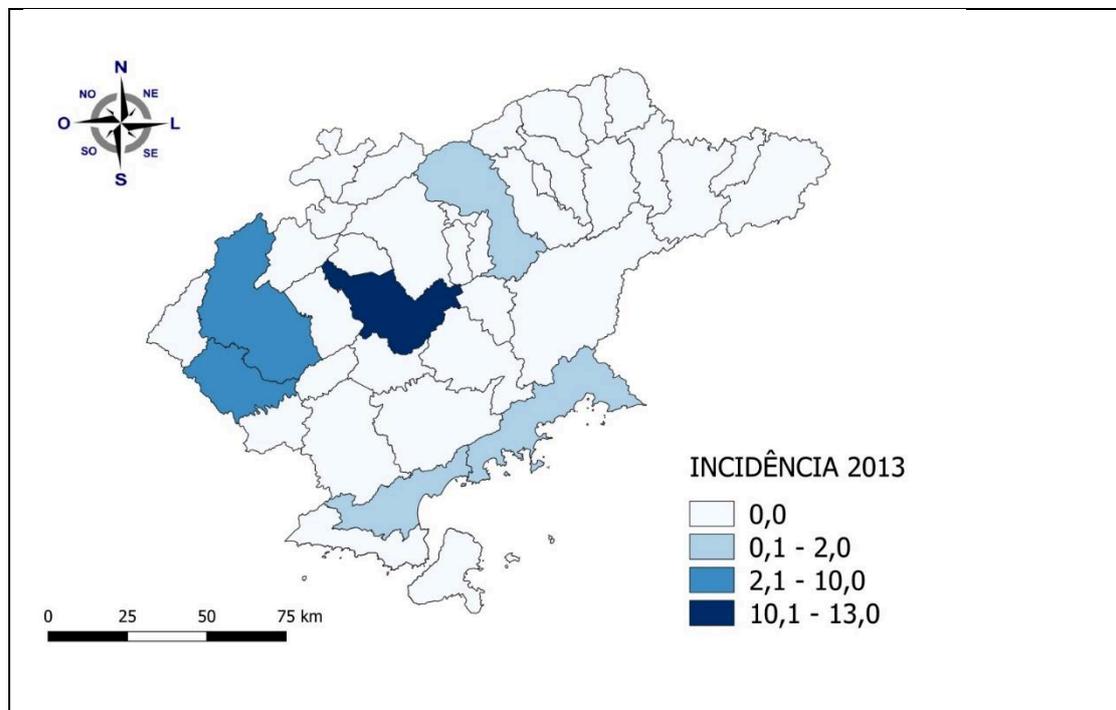
**Figura 12-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2010.



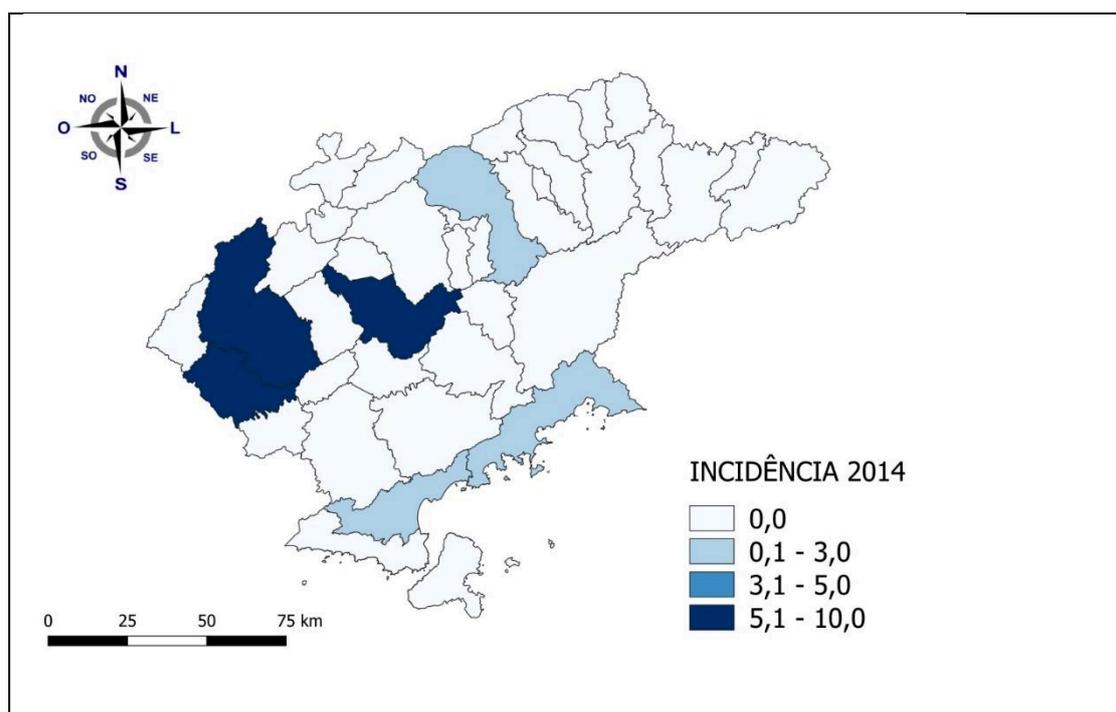
**Figura 13** -Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2012.



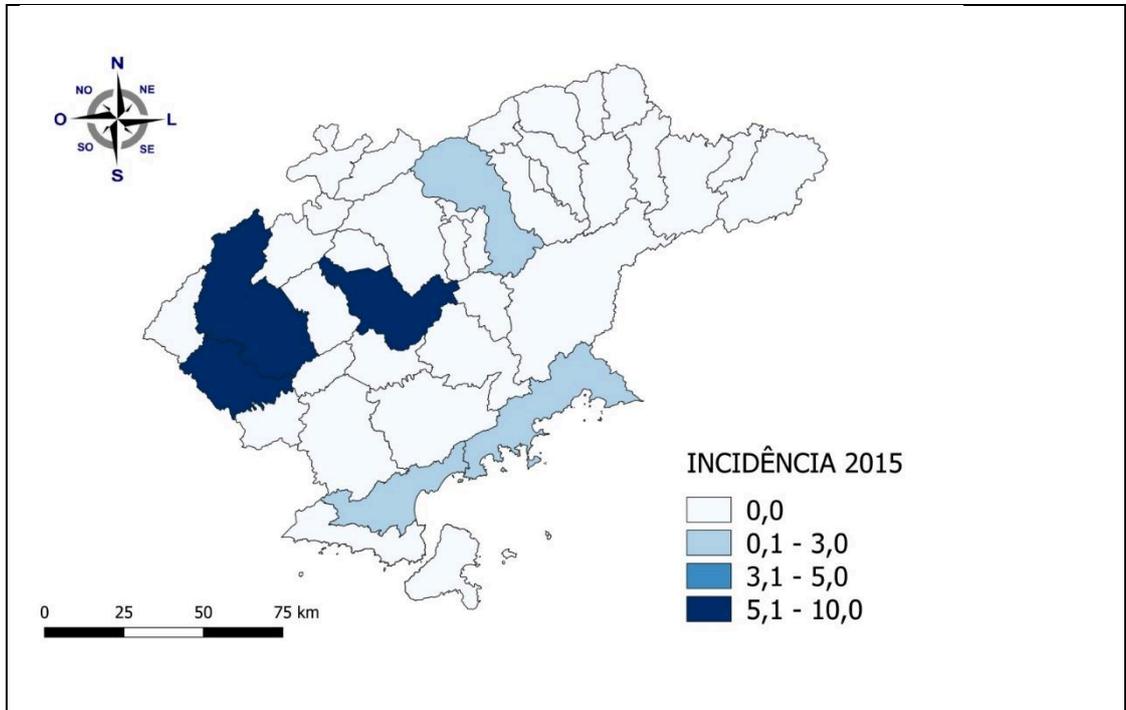
**Figura 14-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2013.



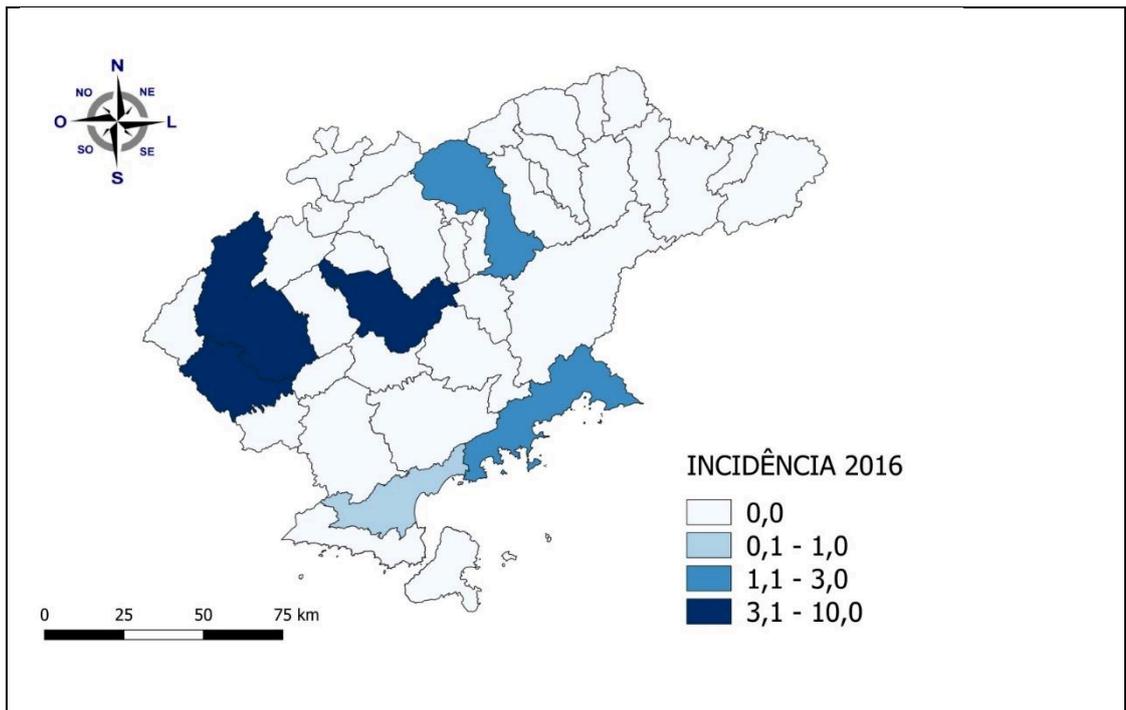
**Figura 15-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2014.



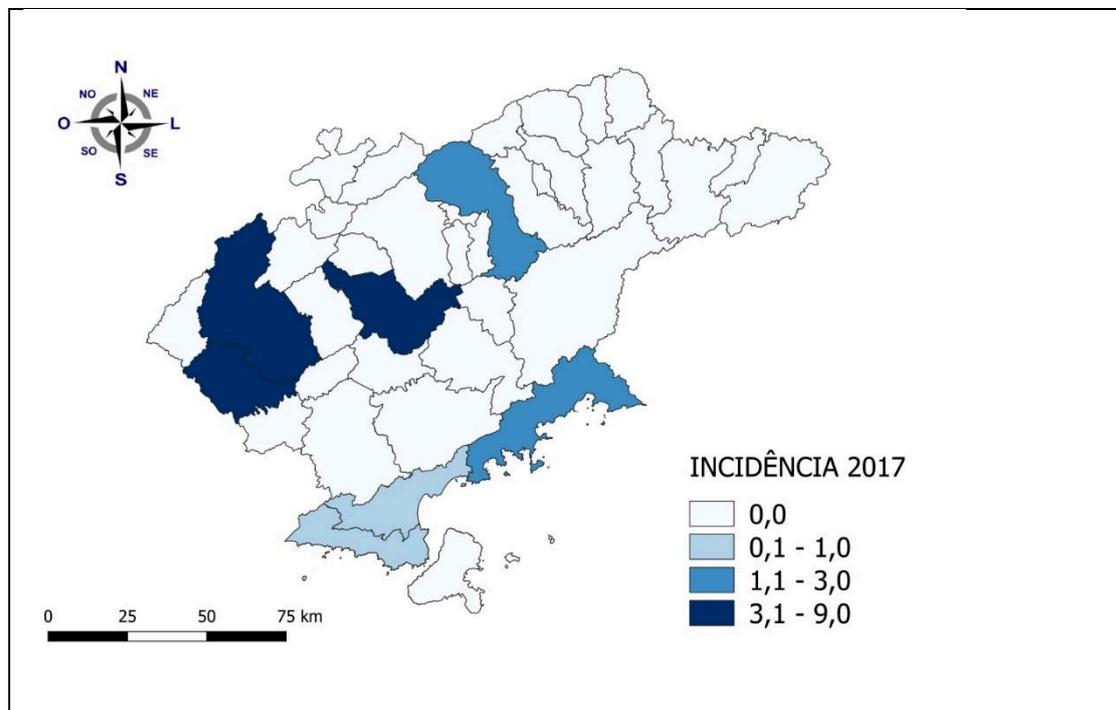
**Figura 16-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2015.



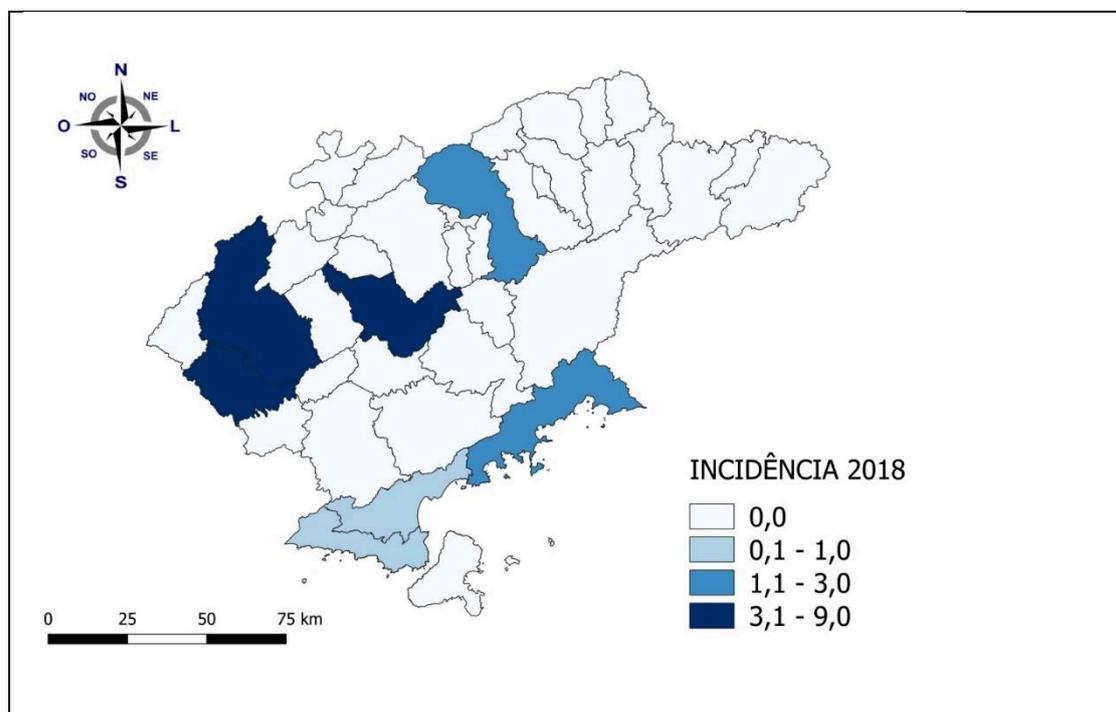
**Figura 17-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2016.



**Figura 18-** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2017.

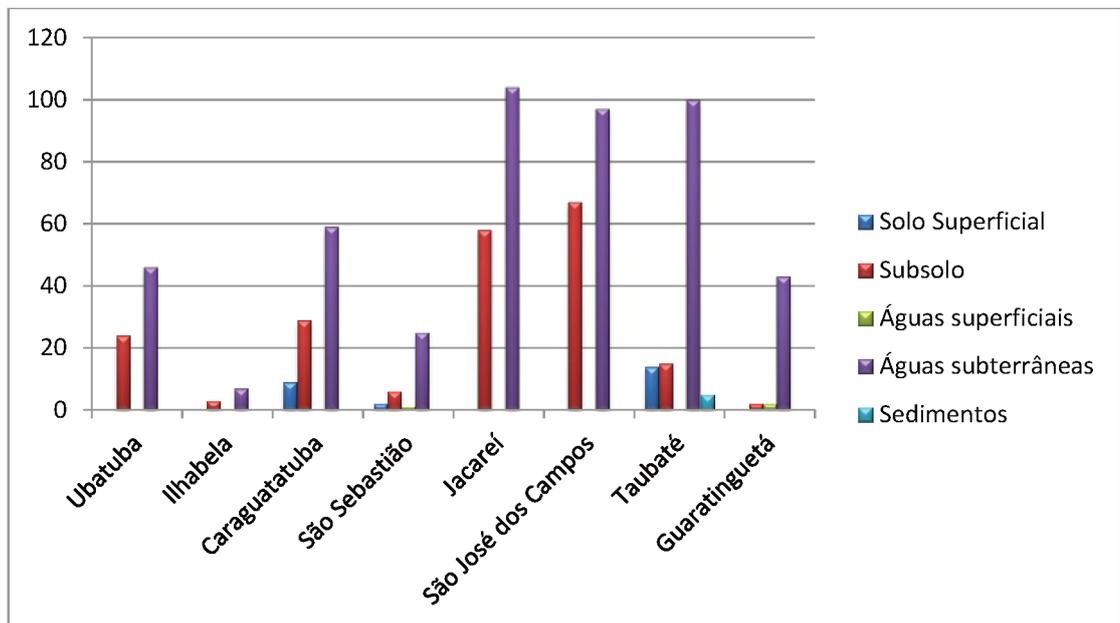


**Figura 19 -** Mapeamento espaço temporal da incidência de postos contaminados por compostos aromáticos no Vale do Paraíba e Litoral Norte no ano de 2018.



Considerando o meio impactado pela contaminação com compostos aromáticos ao longo do período de estudo se verifica as águas subterrâneas se constituíram no principal destino de acúmulo destes compostos no período deste estudo em todos os municípios (Figura 20)

**Figura 20-** Meios impactados pelos compostos aromáticos BTEX's segundo dados Cetesb. (2021)



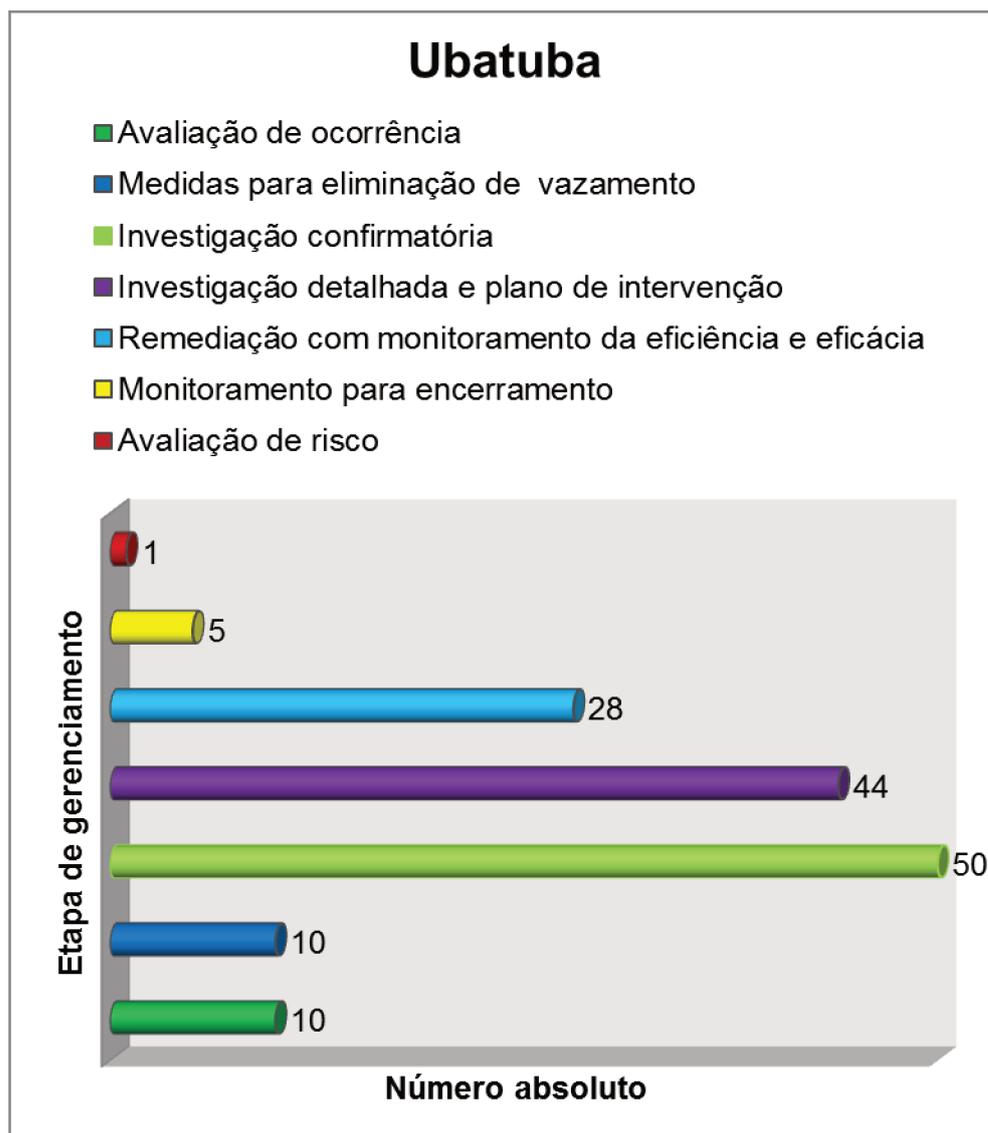
Os BTEX's apresentam grande mobilidade no solo e conseguem penetrar em camadas mais baixas do solo, atingindo o lençol freático.

Segundo Junior e Pasqualetto (2008), a contaminação de águas subterrâneas por estes contaminantes tem sido alvo de discussões constantes nos meios científicos. Os BTEX's são extremamente tóxicos à saúde humana. Seria coerente dizer que os vazamentos de combustível representam a inviabilidade da exploração dos aquíferos, por eles contaminados.

Quanto as etapas de monitoramento, assim como de remediações realizadas, estas são importantes para entender o gerenciamento dessas áreas. Nas etapas de monitoramento, foram contabilizadas as etapas em números de vezes em que apareceram nos relatórios para cada região durante o período de 2008 a 2018. A sequência utilizada segue a descritiva apresentada no formulário padrão Cetesb. As áreas que não apresentaram numeração foram retiradas da análise de dados,

obedecendo a sequência. Alguns relatórios apresentaram repetições nas fases que são atribuídas durante o processo de monitoramento, estas foram contabilizadas com valor total absoluto, apresentados nas figuras 21 a 28,

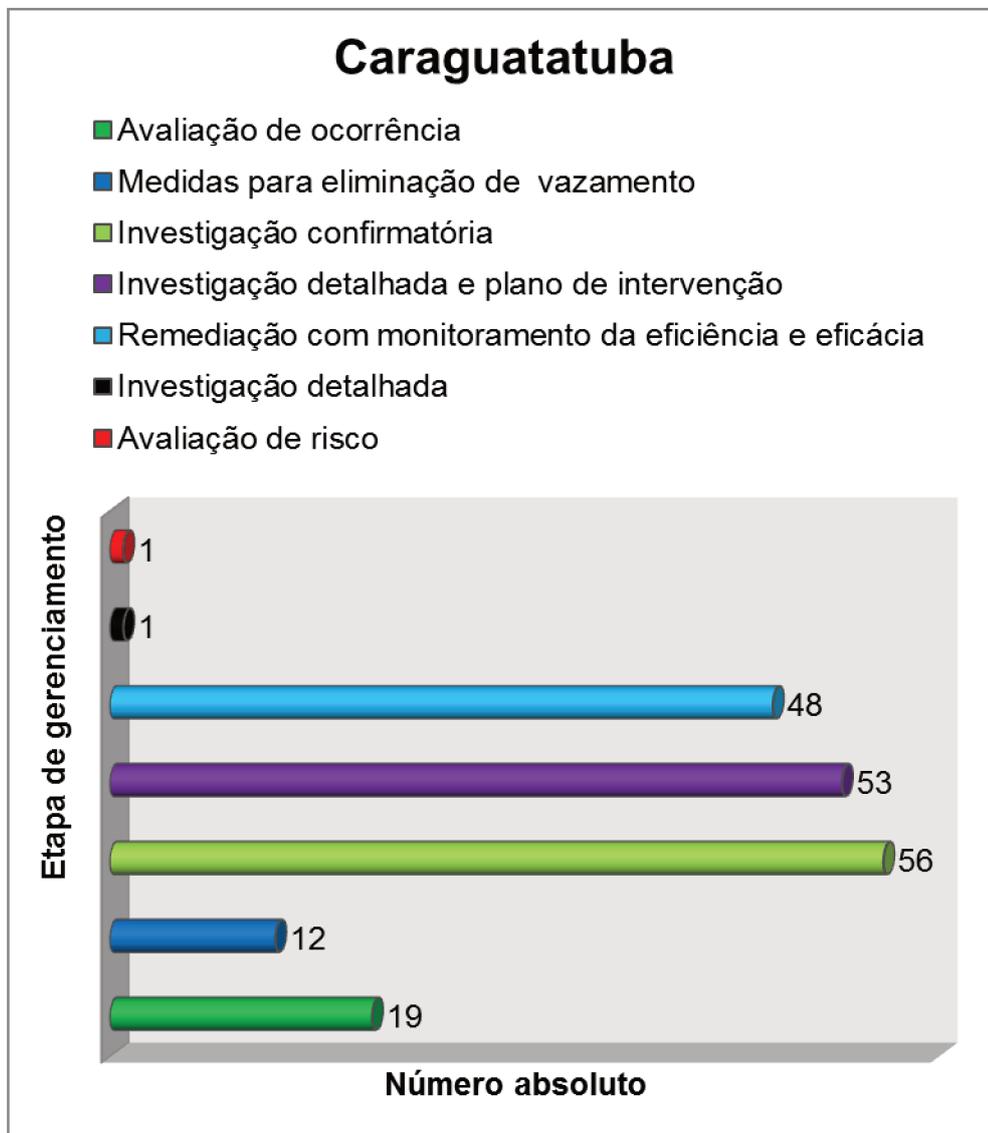
**Figura 21-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de Ubatuba.



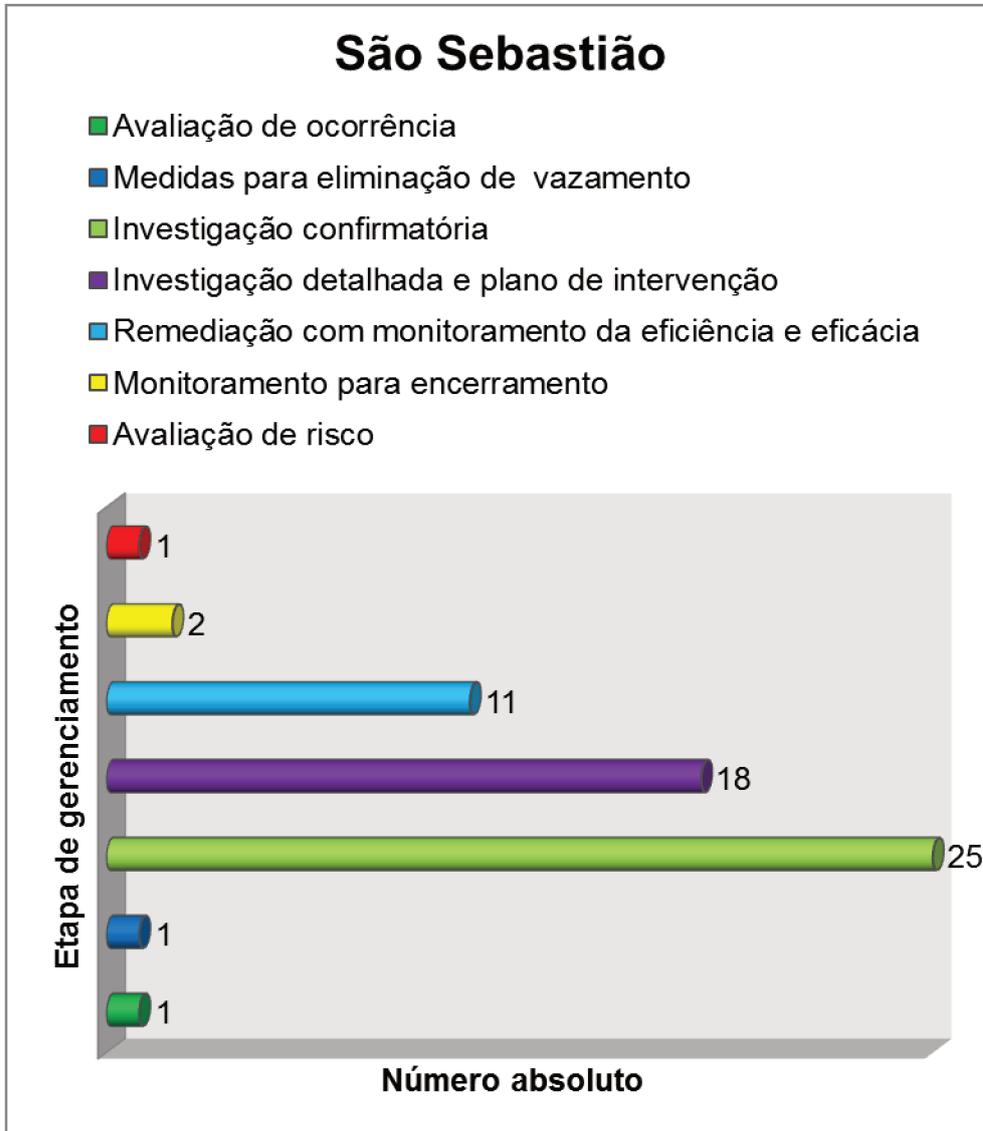
**Figura 22-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de Ilhabela.



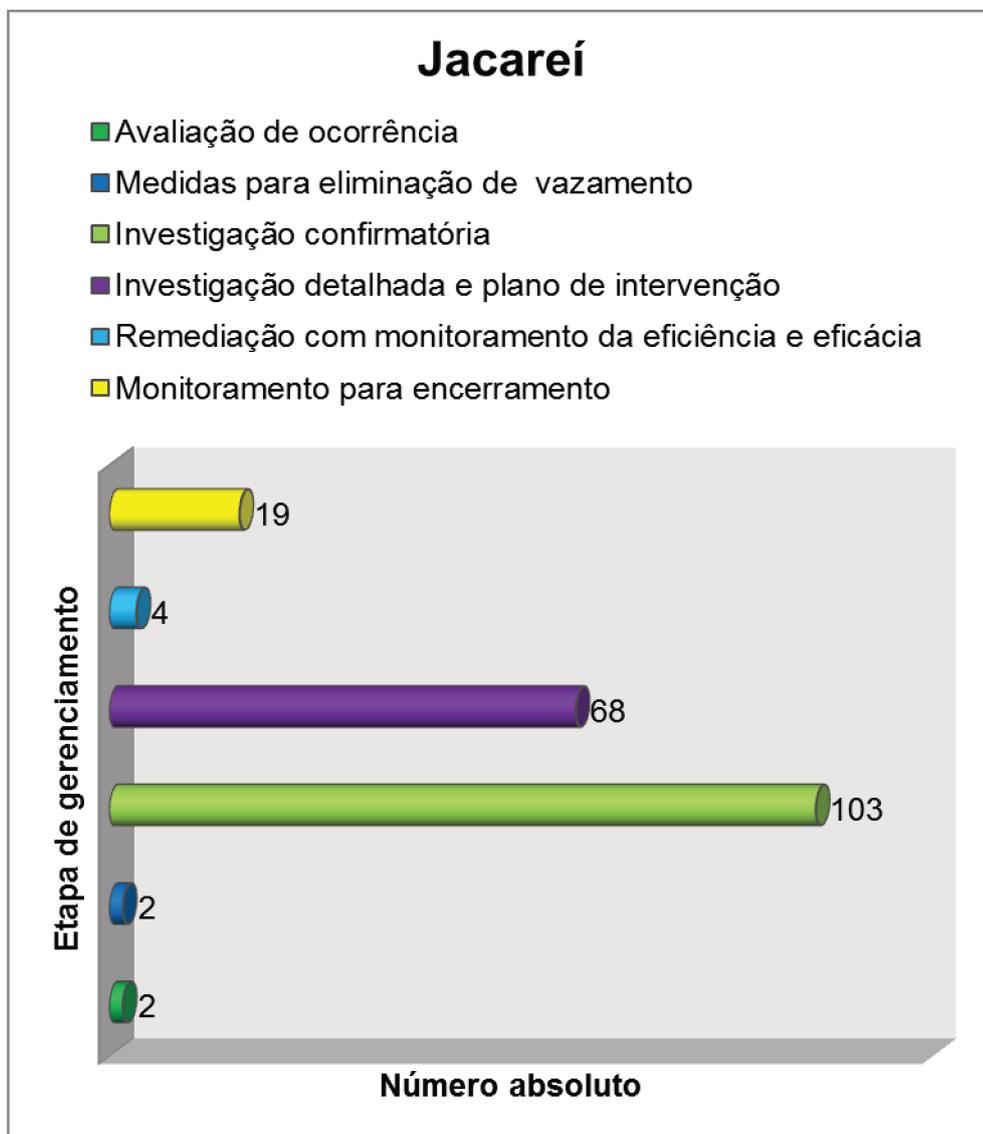
**Figura 23-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de Caraguatatuba.



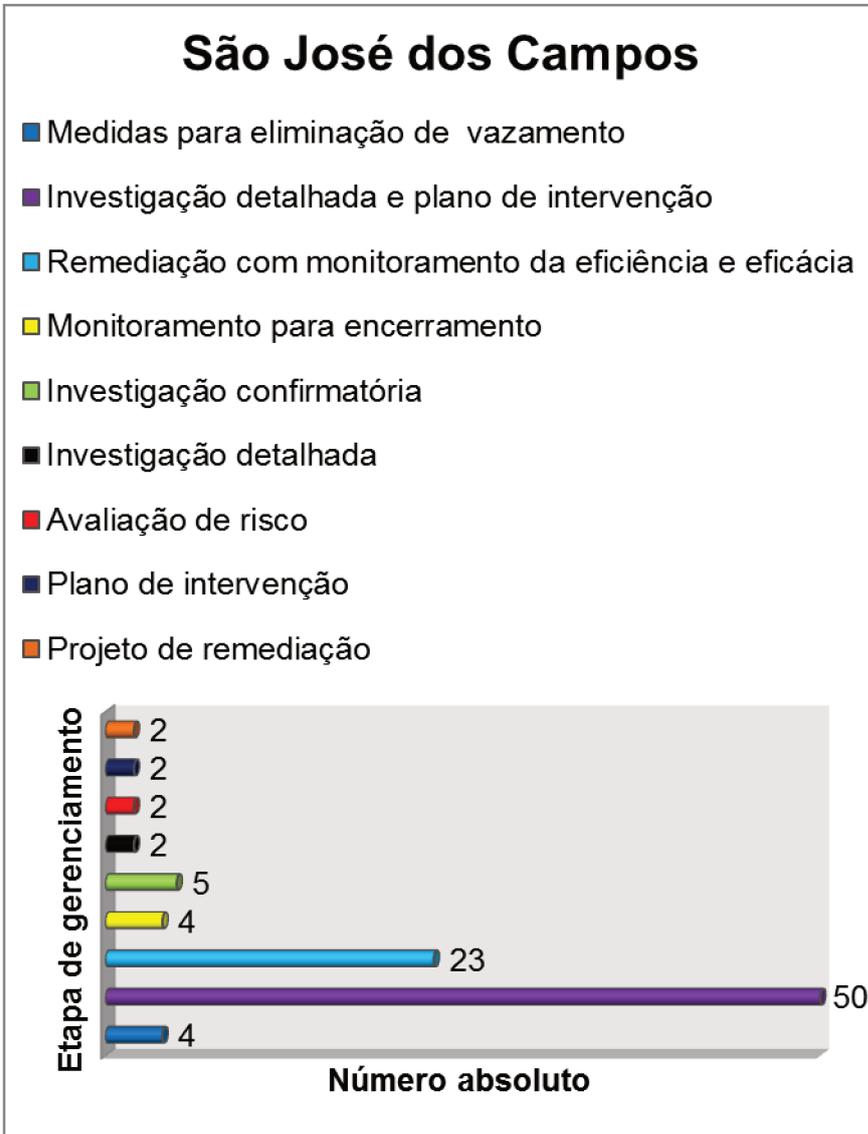
**Figura 24-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de São Sebastião.



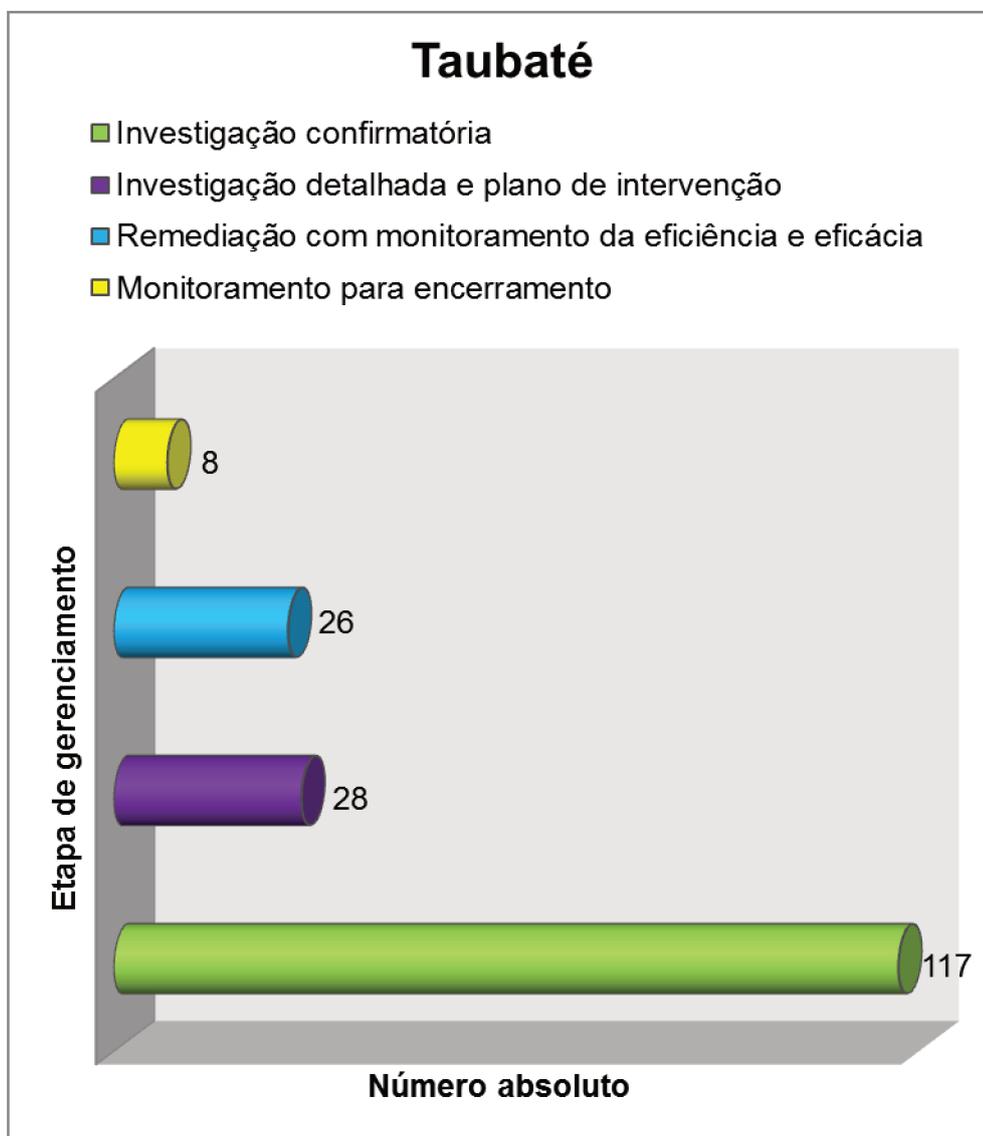
**Figura 25-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de Jacareí.



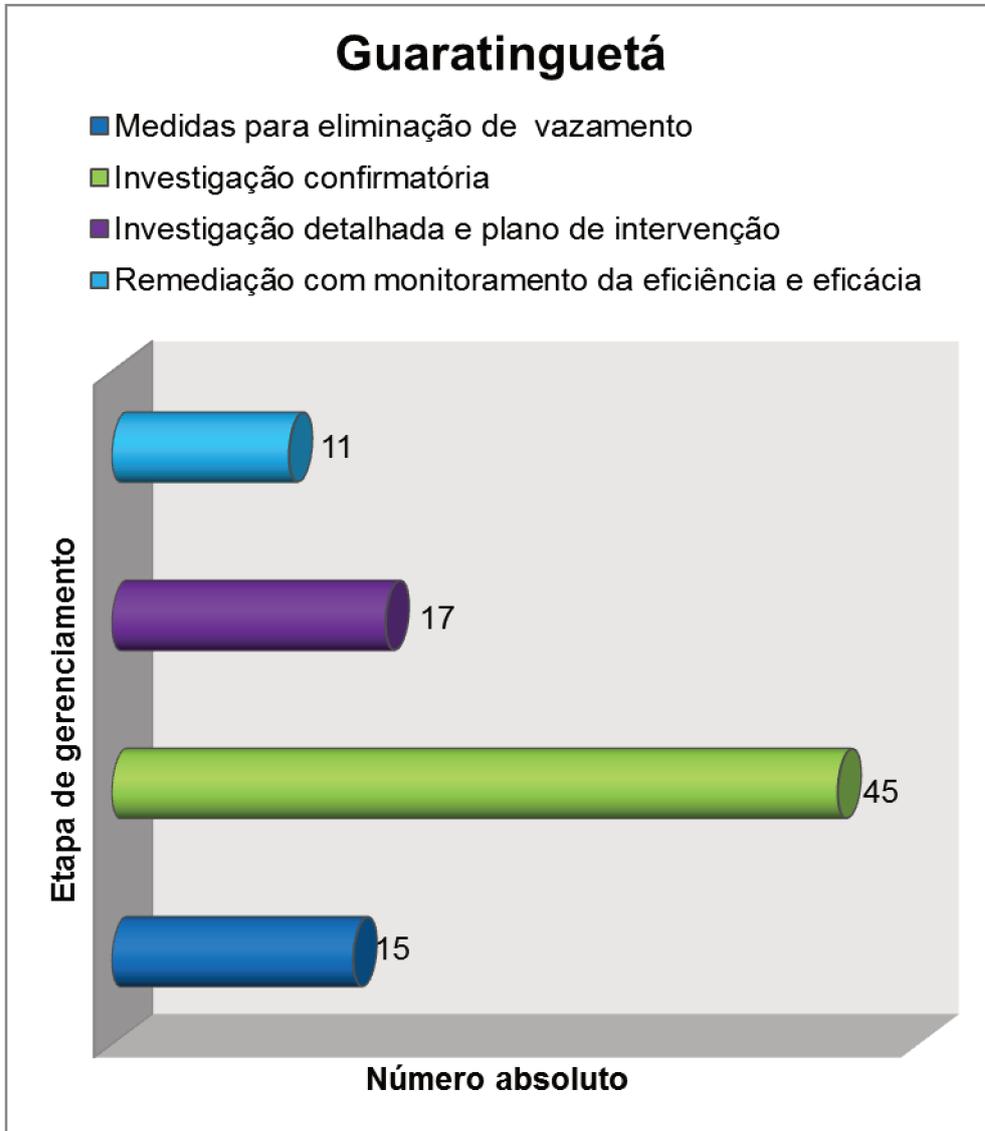
**Figura 26-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de São José dos Campos.



**Figura 27-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de Taubaté.



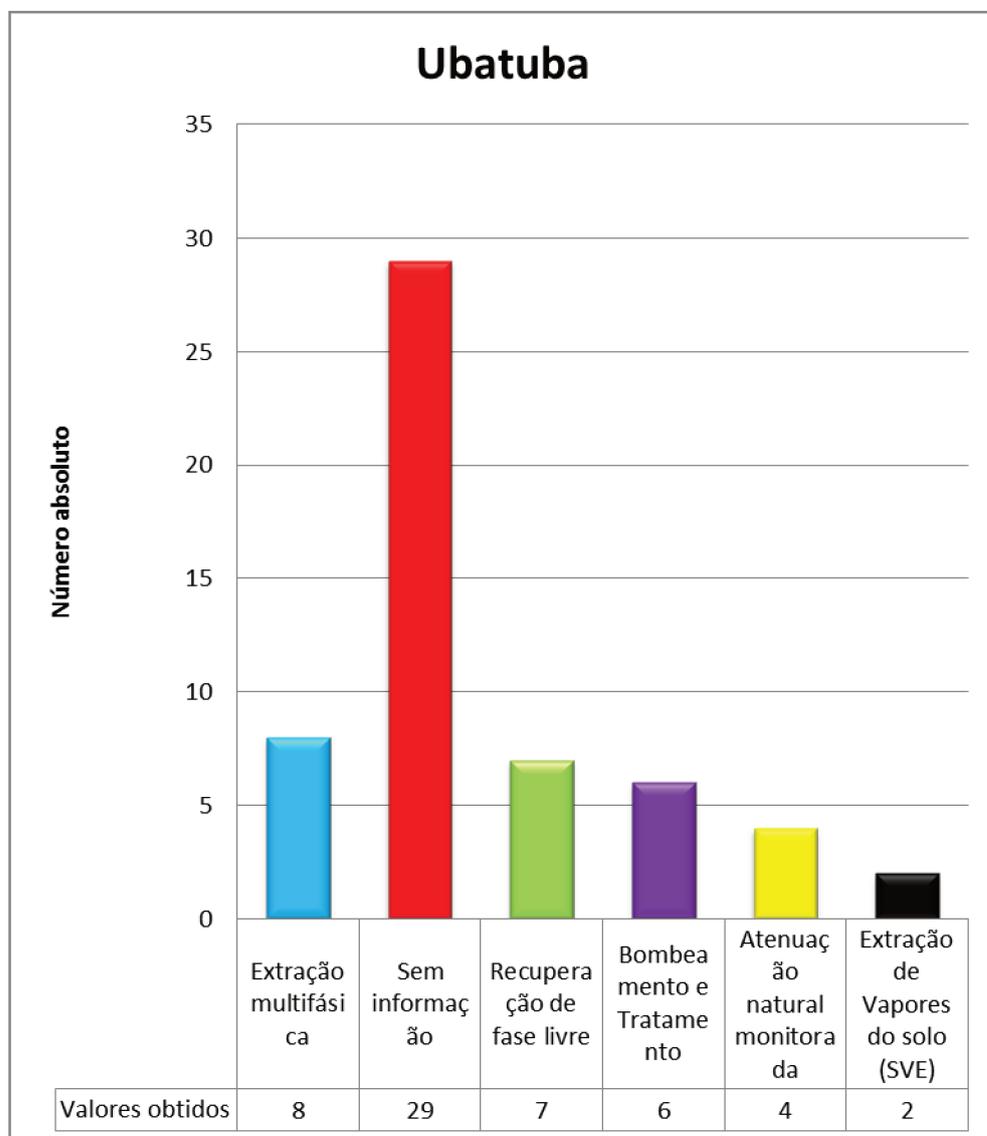
**Figura 28-** Etapas de gerenciamento das áreas contaminadas do município de Guaratinguetá



As etapas mais requeridas nos relatórios foram investigação confirmatória e investigação detalhada e plano de intervenção.

Quanto às técnicas de remediação mais utilizadas em cada município (Figuras 29 a 36):

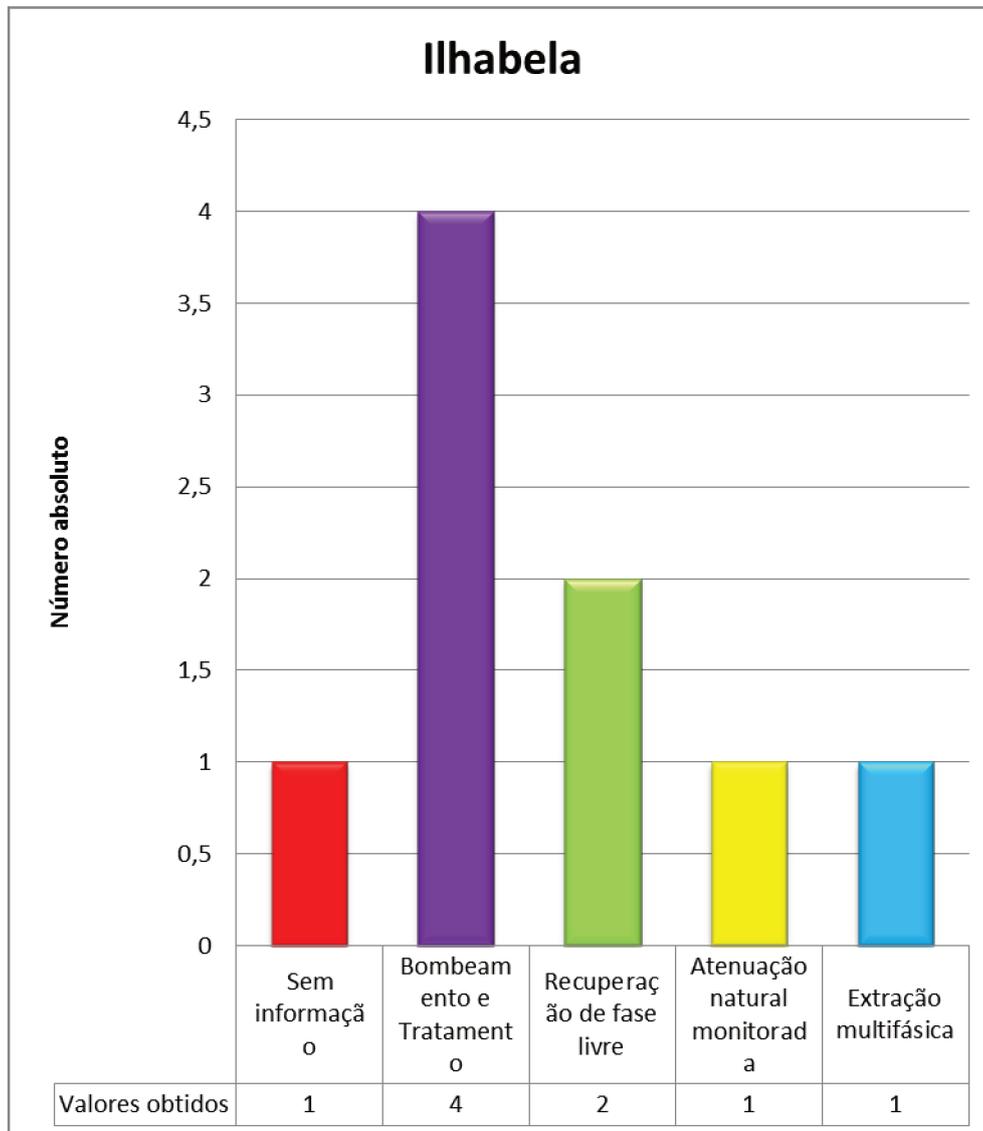
**Figura 29-** Técnicas mais utilizada para remediação no município de Ubatuba, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



. Fonte: CETESB (2020)

Dentre os valores absolutos de áreas contaminadas obtidos, cerca de 52% não apresentaram informações sobre técnicas de remediação utilizadas, a técnica de remediação mais utilizada, registrada em 14% dos relatórios de áreas contaminadas por BTEX, foi a extração multifásica.

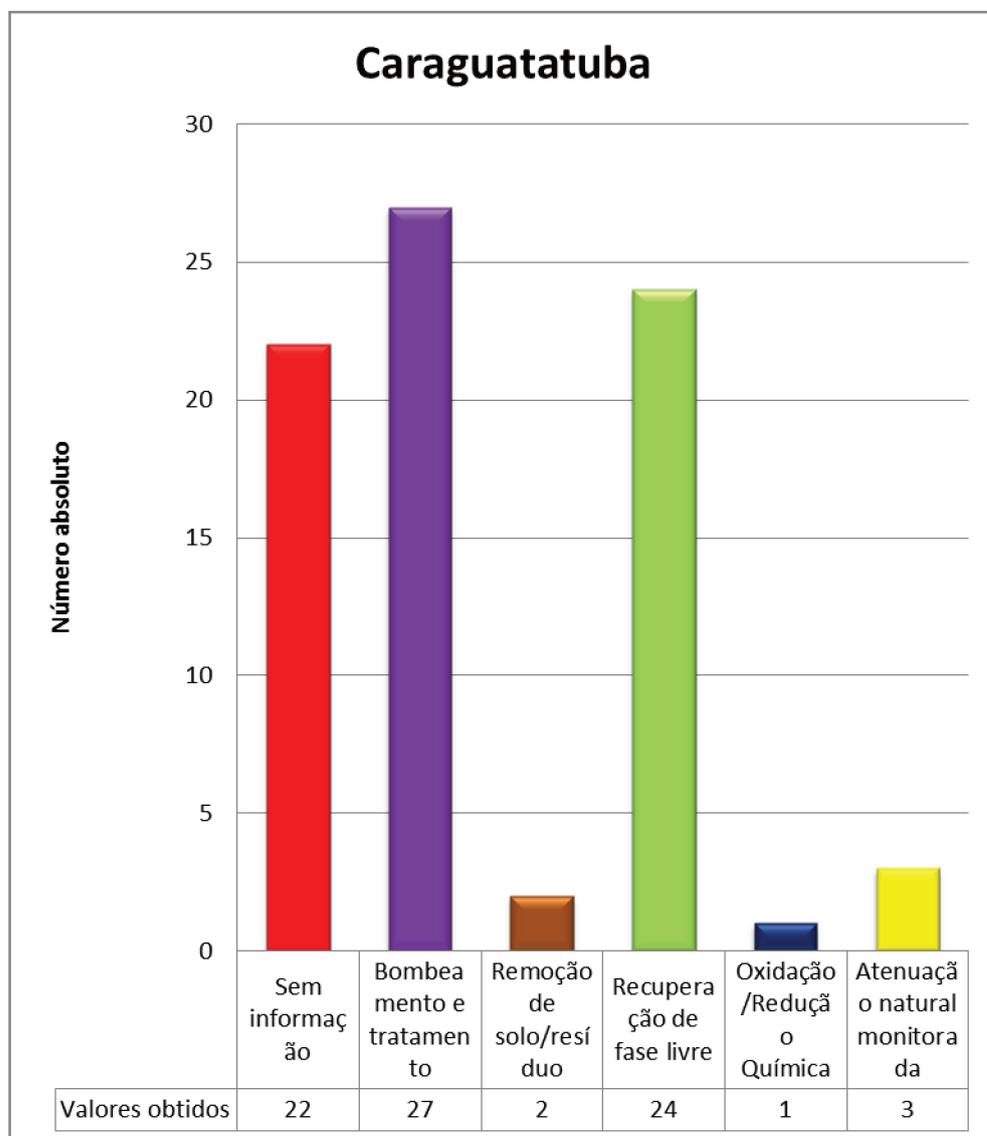
**Figura 30** - Técnicas mais utilizada para remediação no município de Ilhabela, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



Fonte: CETESB (2020)

Em Ilhabela, a técnica mais utilizada de remediação foi bombeamento e tratamento, utilizada em 45% das áreas contaminadas, seguida de recuperação de fase livre, utilizada em 22% das áreas.

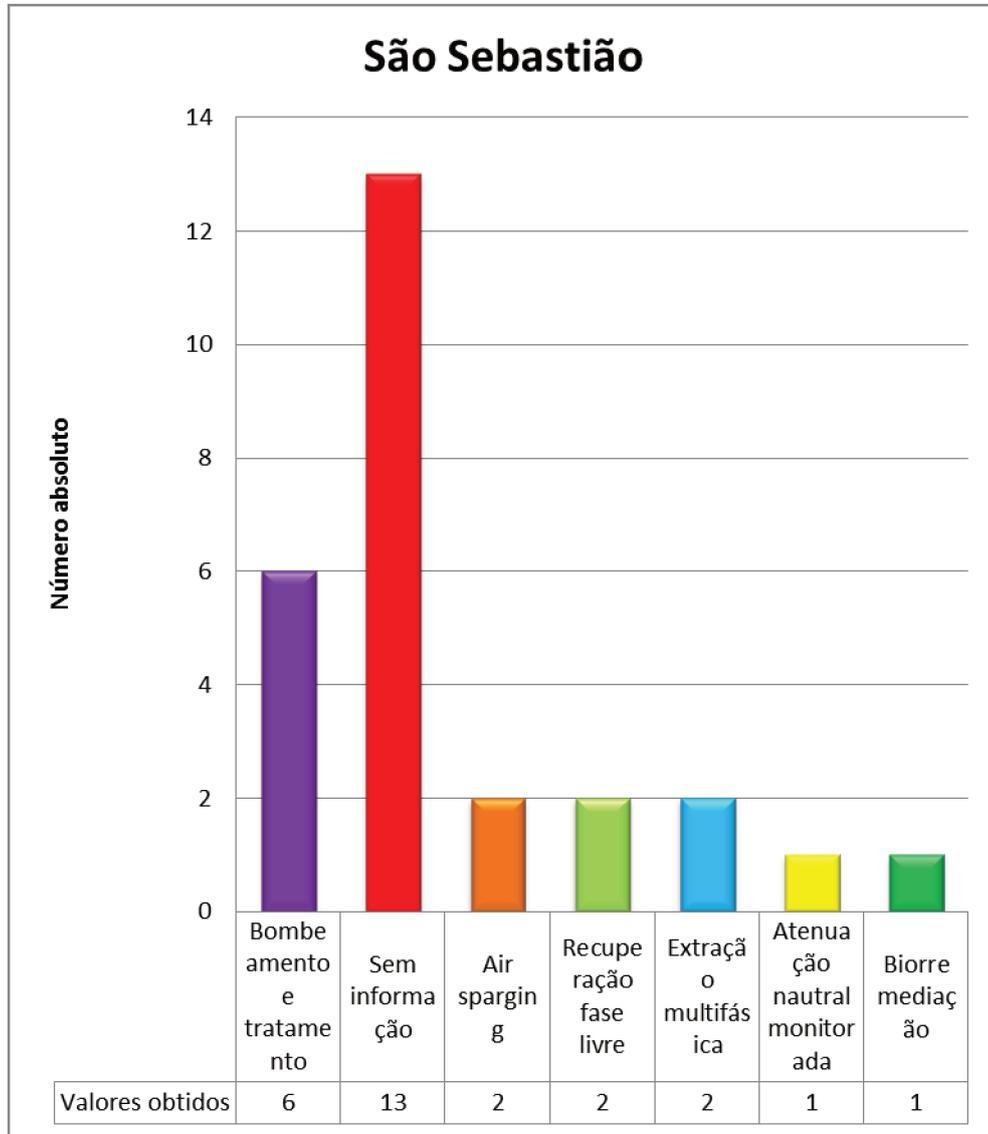
**Figura 31-** Técnicas mais utilizada para remediação no município de Caraguatatuba, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



Fonte: CETESB (2020)

Em Caraguatatuba, as técnicas mais utilizadas foram Bombeamento e Tratamento, 34%, seguida de Recuperação de fase livre, com 30% das técnicas utilizadas.

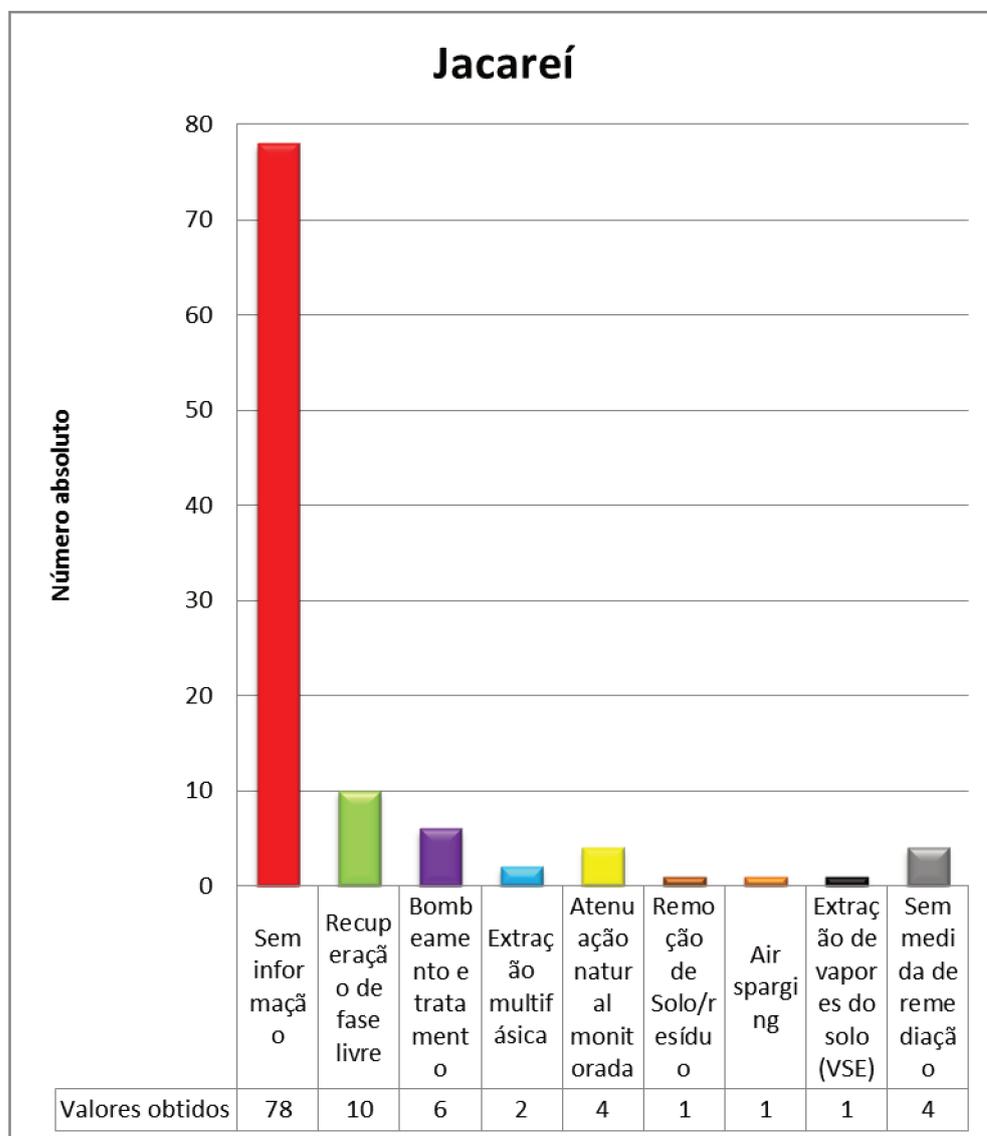
**Figura 32-** Técnicas mais utilizada para remediação no município de São Sebastião, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



Fonte: CETESB (2020)

São Sebastião apresentou 48% dos relatórios de áreas contaminadas por compostos aromáticos sem informações de técnicas de remediação utilizadas. Dentre as técnicas registradas, Bombeamento e Tratamento foi a mais utilizada, aparecendo em 22% dos relatórios.

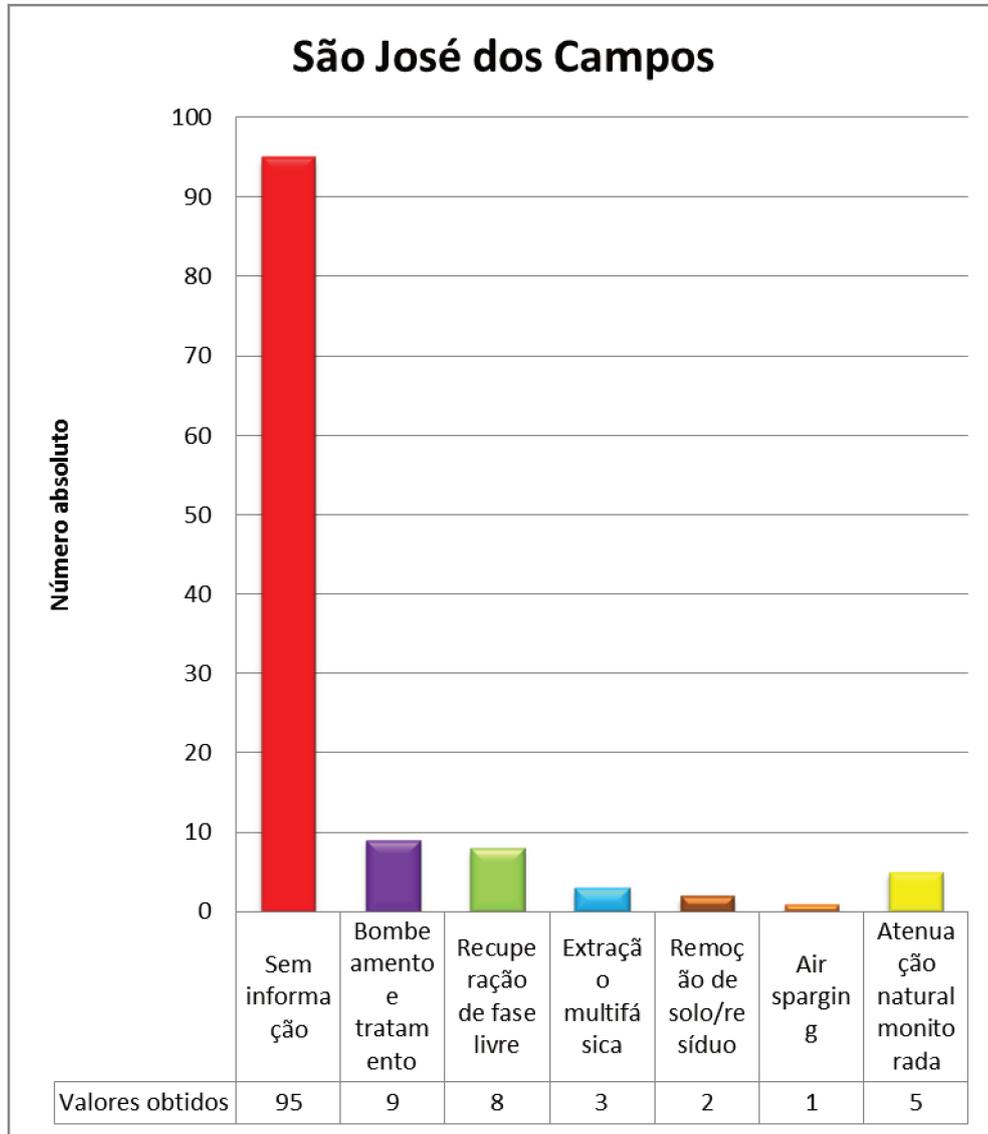
**Figura 33-** Técnicas mais utilizada para remediação no município de Jacareí, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



Fonte: CETESB (2020)

Em Jacareí, 73% das áreas contaminadas não apresentou informação sobre técnicas de remediações utilizadas, A técnica registrada e mais utilizada foi Recuperação de fase livre, com 9% dos relatórios.

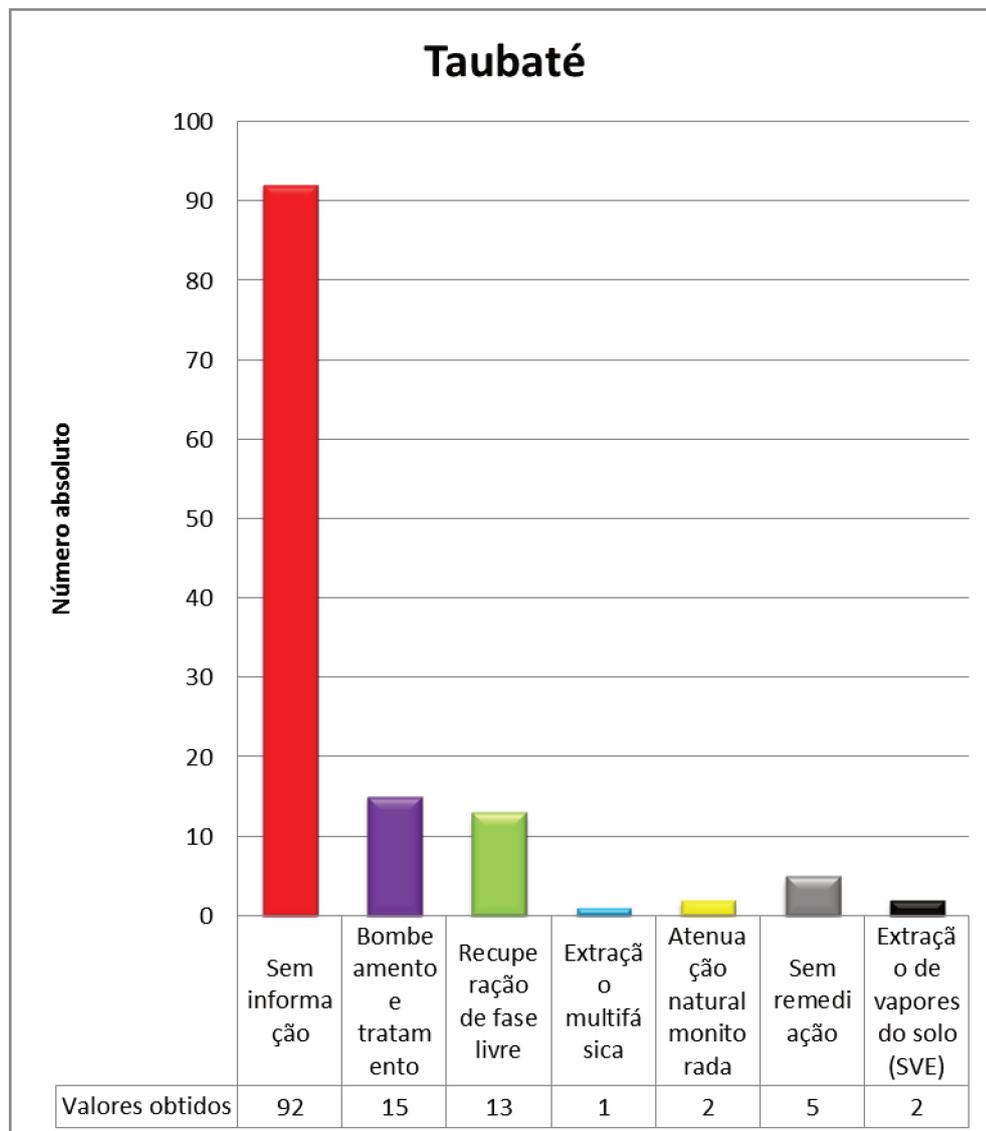
**Figura 34-** Técnicas mais utilizada para remediação no município de São José dos Campos, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



Fonte: CETESB (2020)

São José dos Campos teve cerca de 77% dos relatórios sem qualquer informação sobre técnicas de remediação. Dentre as técnicas registradas, estão Bombeamento e Tratamento, Recuperação de fase livre, ambas com 7% de utilização nas áreas contaminadas por compostos aromáticos.

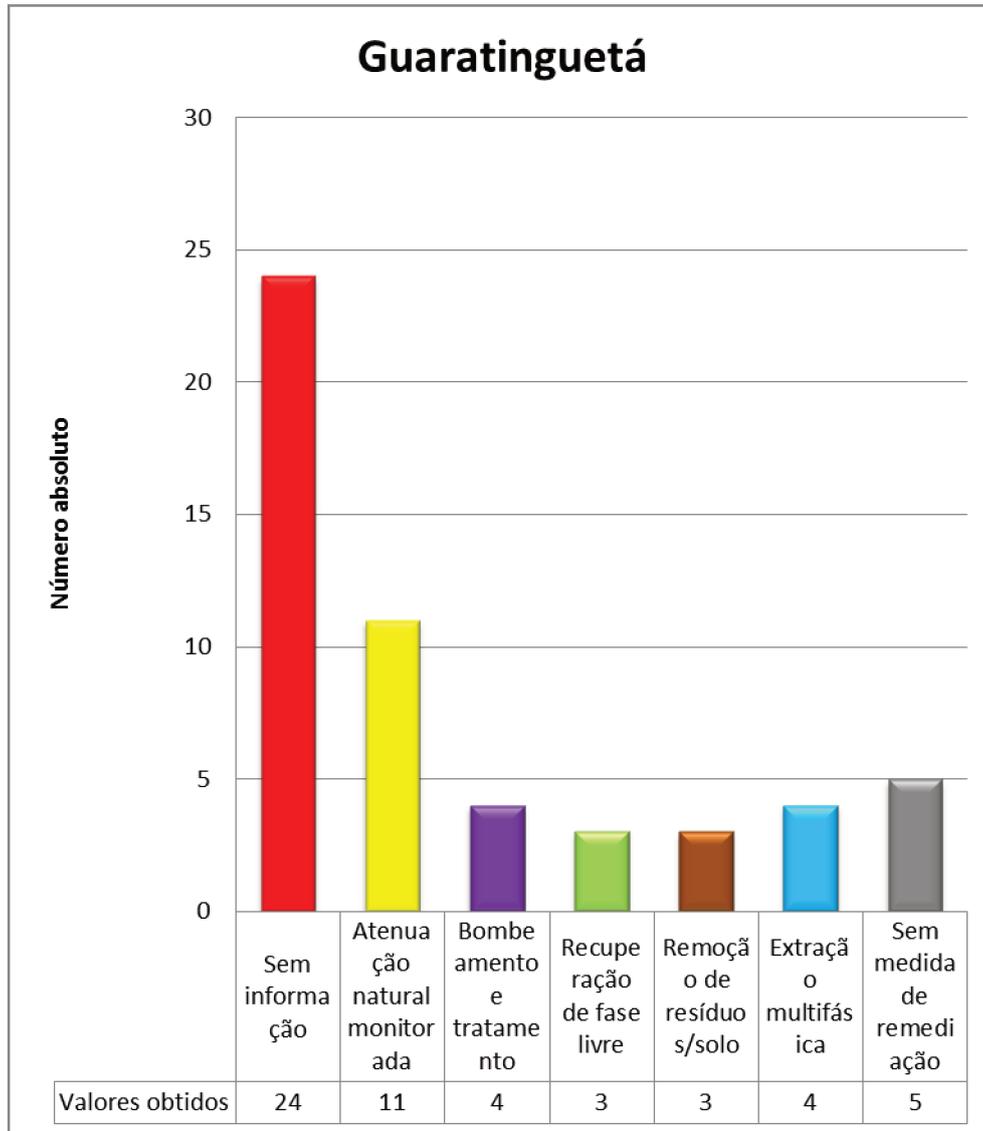
**Figura 35-** Técnicas mais utilizada para remediação no município de Taubaté, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



Fonte: CETESB (2020)

Taubaté apresentou 72% dos relatórios sem informações, dentre as técnicas registradas mais utilizadas em áreas contaminadas por compostos aromáticos estão Bombeamento e Tratamento, 11%, seguida de Recuperação de fase livre com 10% dos relatórios.

**Figura 36-** Técnicas mais utilizada para remediação no município de Guaratinguetá, no período de 2008 a 2018, exceto 2011.



Fonte: CETESB (2020)

Em Guaratinguetá, 45% dos relatórios não continham informações sobre técnicas utilizadas, dentre as técnicas registradas, a mais utilizada foi Atenuação Natural Monitorada, presente em 20% dos relatórios.

Durante o período de estudo verifica-se que nos municípios do Litoral Norte, foi utilizada preferencialmente a técnica de bombeamento e tratamento para os municípios de Ilhabela, Caraguatatuba e São Sebastião. Em Ubatuba a técnica mais utilizada foi a extração multifásica. Nos municípios do Vale, São José dos Campos e Jacareí aderiram preferencialmente a técnica de bombeamento e tratamento, Jacareí

utilizou mais recuperação de fase livre e Guaratinguetá, atenuação natural monitorada.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem concluir que:

- Os municípios de Jacareí, São José dos Campos e Taubaté apresentaram maior incidência de áreas contaminadas por BTEX em relação a Ubatuba, São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Guaratinguetá.
- A técnica mais utilizada para remediação foi bombeamento e tratamento.
- O meio mais impactado foi águas subterrâneas
- A análise realizada indica que estas áreas estão expostas a riscos ambientais importantes levando em consideração a toxicidade do BTEX durante o período deste estudo. É importante e necessário salientar que o gerenciamento efetivo de áreas contaminadas depende do engajamento de todos, das empresas que operam em atividades potencialmente poluidoras, poder público e sociedade.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, I. C. C. et al. Avaliação ambiental de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) e biomarcadores de genotoxicidade em trabalhadores de postos de combustíveis. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* [online]. 2017, v. 42, suppl 1 [Acessado 25 Maio 2021] , e8s. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2317-6369000124515>>. Epub 03 Ago 2017. ISSN 2317-6369. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000124515>.

ABORTONI, S. F. **Análise de Sensibilidade do Sistema de Extração Multifásica Utilizando o Simulador STOMP**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2018.

ALMEIDA, J. M. C. **Distribuição de Contaminantes Orgânicos em Solos Calcários–Influência dos minerais de Argila**. 2015. Tese de Doutorado.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética química*, v. 35, p. 17-43, 2010.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo: Anfavea, 2019.

ANTT. Agência Nacional de Transporte Terrestre. Concessões Rodoviárias. Nova Dutra. Disponível em <[http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes\\_Rodoviaras/Nova\\_Dutra/](http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes_Rodoviaras/Nova_Dutra/)>. Acesso em 20 abr. 2019.

BENTO, A. Como fazer uma revisão da literatura: Considerações teóricas e práticas. *Revista JA (Associação Acadêmica da Universidade da Madeira)*, v. 7, n. 65, p. 42-44, 2012.

BORTOLUZZI, A. C. Gerenciamento ambiental dos postos de revenda de combustíveis líquidos: um estudo de caso. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004

CARDOSO, J. E.T.; LODI, P.C.; BARROS, A. M. T. C. Técnicas Associadas de Remediação de Contaminação da Água e do Solo por Hidrocarbonetos: Estudo de Caso em Posto de Combustível. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S.l.], v. 5, n. 36, dez. 2017. ISSN 2318-8472. Disponível em: <[https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento de cidades/](https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/)>

[article/view/1631/1618](https://doi.org/10.17271/2318847253620171631)>. Acesso em: 17 Mai. 2021.  
doi:<http://dx.doi.org/10.17271/2318847253620171631>.

CARVALHEIRO, C. **Licenciamento ambiental e urbanístico dos postos de gasolina localizados no município de São Paulo**: aspectos teóricos e práticos. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental**. Disponível em< <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/S695.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2020

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental**. Disponível em< <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/arquivos/S694.pdf>>. Acesso em 18 dez. 2020

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental**. Disponível em<<https://cetesb.sp.gov.br/solo/wp-content/uploads/sites/18/2014/12/valores-orientadores-nov-2014.pdf>>. Acesso em 18 dez. 2020

CHIARANDA, H.S. *Volatilização dos compostos BTEX em ambientes subsuperficiais contaminados com gasolina e etanol*: comparação entre concentrações medidas e simuladas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Procedimento para Licenciamento Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis - ROTEIRO ÚNICO**. São Paulo: CETESB, 2017. 7 P. Disponível em: <<https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/documentos/S707.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2020

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CETESB. **Relação das áreas contaminadas**. 2008-2018. Disponível em:< <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>> Acesso em: 12 Mai. 2019

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 1, de 23 de janeiro de 1986.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 237, de 17 de dezembro de 1997.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 237, de 29 de novembro de 2000.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 420, de 28 de dezembro de 2009.

CORRÊA, M.J.M., SANTANA, V.S. Exposição ocupacional ao benzeno no Brasil: estimativas baseadas em uma matriz de exposição ocupacional. *Cad. Saúde Pública*, 2016; 32(12): 1-11.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamento de gasolina: o problema é grave? **Revista Engenharia sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.50-54, 1997.

CCR- NOVA DUTRA. **Perguntas frequentes**. Disponível em: <http://www.novadutra.com.br/perguntas-frequentes>. Acesso em 10 jan. 2021.

DA ROSA, F.S.; DA ROSA, A. A.; PFITSCHER, E. D. Passivo ambiental: Estudo sobre autos de infração aplicados a postos de combustíveis em Santa Catarina. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2012.

DE NARDI, I. R. Degradação de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF). 2002. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002

SANTOS CAMPO, V. C.L.; DE OLIVEIRA, P. C. Contaminação de corpos d' água em Brasília por inflamáveis: Lago Paranoá. **TECNOLOGIAS EM PROJEÇÃO**, v. 10, n. 2, p. 135-144, 2019.

EMBRAPA. Pesquisa. Espécies arbóreas brasileiras. **Clima**. Disponível em <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 25 Abr.2019.

EMPLASA, **Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, SP**, imprensa oficial, Governo do Estado de São Paulo, 2012.

EPA. United States Environment Protection Agency. **Final rule for control of hazardous air pollutants from mobile sources**. 2008. Disponível em: <https://www.epa.gov/mobile-source-pollution/final-rule-control-hazardous-air-pollutants-mobile-sources>. Acesso em: 20 jul. 2020.

EPA. United States Environment Protection Agency. Office of Inspector General. **Air Quality. Improved data and EPA oversight are needed to assure compliance with standards for Benzene content in gasoline**. 2017. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-06/documents/\\_epaig\\_20170608-17-p-0249.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-06/documents/_epaig_20170608-17-p-0249.pdf). Acesso em: 23 jul. 2020.

FERNANDO, A.F. B. et al. FE (III) como aceptor de elétrons na biodegradação de gasolina-etanol em solo residual tropical. **Águas Subterrâneas**, 2011.

FERON, G. L. Avaliação da vulnerabilidade e do risco de contaminação de aquíferos por postos de combustível localizados na região central de Canoas-RS. 2013.

FERREIRA, L. M.R. et al. Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas na Região Metropolitana de Campinas, SP. **Águas Subterrâneas**, 2000.

FREIRE, P. A. C.; TRANNIN, I. C. B.; SIMOES, S. J. C. Bombeamento e tratamento da fase livre em Aquífero Litorâneo. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 19, n. 4, p. 461-470, Dez. 2014 .

FREIRE, P. A. C. Bombeamento e tratamento de plumas de hidrocarbonetos em diferentes aquíferos contaminados por postos de combustíveis. 2011. 121 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/98300>>.

FINOTTI, A. R. et al . Avaliação da influência do etanol sobre o grau de volatilização BTEX em solos impactados por derrames de gasolina/etanol. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 14, n. 4, p. 443-448, dez. 2009 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522009000400003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000400003&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 11 abr. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000400003>.

GREGORCZYK, G.; PICCIONI, W. J. **Análise de eficiência da remediação por sistema extração multifásica em postos de combustíveis**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIRGAS -Centro de Análise**. Disponível em< <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16257-centro-de-analise-ibge.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 14 nov. 2020,

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. São José dos Campos- São Paulo. **População estimada**. Ranking 2018. Disponível em:< <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-dos-campos/pesquisa/33/29168?tipo=ranking&ano=2018&indicador=29171>>. Acesso em 11 mar. 2019.

JÚNIOR, J.J.; PASQUALETTO, A. Contaminação ambiental movida por postos retalhistas de combustíveis. **Universidade Católica de Goiás. Goiás**, 2008.

JUNQUEIRA, T. L.; ALBUQUERQUE, E. L.; TOMAZ, E. Estudo sobre compostos orgânicos voláteis em Campinas-SP. In: **VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. 2005. p. 1-6.

KAEFER, E.M.C. et al. Desastres ambientais e conflitos. Simulação das Nações Unidas para Secundaristas - 10ª Edição, Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.sinus.org.br/2011/press/downloads/pnuma.pdf>. Acesso: 15 mar. 2020.

LIMA, S. D. et al . **Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.** Rev. Ambient. Água, Taubaté , v. 12, n. 2, p. 299-315, Abr. 2017 .

LÖBLER, C. A.; NASCIMENTO, L. M.; SILVA, J. L. S.. **Mapeamento das águas subterrâneas do município de Boa Vista do Cadeado/RS.** Revista Monografias Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, \_v. 13, n. 2, p. 3061 – 3074.Mar. 2014.

LUEDEMANN, M. S. **Transformações na indústria automobilística mundial: o caso complexo automotivo no Brasil – 1990-2002.** 2003. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MARIA, Jéssica Marson. **Região e regionalização: estudo da região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.** 2016.

MARQUES, E. M; GUERRA, A. J. T. **Solos contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo.** In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SINAGEO, 2008.

MENDES, M. et al . **Normas ocupacionais do benzeno: uma abordagem sobre o risco e exposição nos postos de revenda de combustíveis.** Rev. bras. saúde ocup., São Paulo , v. 42, supl. 1, e3s, 2017 .

MESQUITA, M. V.; DA SILVA LEITE, M. Processos de remediação para hidrocarbonetos e etanol resultantes da contaminação dos postos de combustíveis. **Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada-UNG-Ser**, v. 1, n. 1, p. 90-104, 2017.

Ministério da Saúde. Vigilância Ambiental. Contaminantes Químicos. **Benzeno.** Benzeno no Brasil. Disponível em <<http://portalms.saude.gov.br/vigilancia-em-saude/vigilancia-ambiental/vigipeq/contaminantes-quimicos/benzeno/benzeno-no-brasil>>. Acesso em:20 abr. 2019.

**Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil.** Cadernos de Saúde Pública [online]. 2002, v. 18, n. 6 [Acessado 1 Novembro 2021] , pp. 1599-1607. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-311X2002000600014>>. Epub 13 Dez 2002. ISSN 1678-4464. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2002000600014>.

NASCIMENTO, M. S. **Implantação E Evolução Da Indústria Automobilística No Brasil.** Revista Tocantinense de Geografia, Ano 05, n.07, 2016.

NUNES, C. C.; CORSEUIL, H. X. Importância do etanol na atenuação natural de águas subterrâneas impactadas por gasolina. **Eng. Sanit. Ambiente.** , Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, pág. 259-265, setembro de 2007. Disponível em

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522007000300005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000300005&lng=en&nrm=iso)>. acesso em 17 de maio de 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000300005> .

OLIVEIRA, L. I. de; LOUREIRO, C. de O. Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em belo horizonte: avaliação preliminar. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 1998. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22287>. Acesso em: 12 jan. 2021.

PELLEGRINI, C. H. **Terra e Oceanos - Fonte da vida**. Revista Análise, Centro Universitário Padre Anchieta, v.3, n. 05, p. 25 – 30. 2002.

PÉREZ, D. V.; DE AGUIAR, M.R.M.P. Remediação do solo e da água: aspectos gerais. In: **Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: SBCS: Embrapa Solos: Embrapa Agrobiologia, 2008.(Embrapa Solos. Documentos, 101)., 2008.

PIZZATO, E.; DOS SANTOS, D. N. Aspectos Geológicos e Emergências Químicas em Grandes Rodovias: O Caso da BR-116, Trecho da Cidade de Guarulhos (SP) Brazil.

PORTO, D. C.. Investigação da contaminação do solo e das águas subterrâneas por óleo combustível: estudo de caso em Ribeirão Preto (SP): Empresa Viação Garcia. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SANTOS, E.; UNGARI H. C. N.; SANTOS M. B. Principais técnicas de remediação e gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos no estado de São Paulo. Monografia - Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas/SP, 2008.

SECRETARIA DA FAZENDA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Postos de combustíveis cassados. Disponível em : <<http://www.fazenda.sp.gov.br/PostoCombustivel/Sistema/Publico/Pesquisa2.aspx>>. Acesso em: 15 jun. 2019

SECRETARIA DA FAZENDA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Megaoperação de Olho na Bomba fiscaliza 171 postos de combustíveis em todo o Estado. Disponível em:<<https://portal.fazenda.sp.gov.br/Noticias/Paginas/Megaopera%C3%A7%C3%A3o-De-Olho-na-Bomba-fiscaliza-171-postos-de-combust%C3%ADveis-em-todo-o-Estado.aspx>> Acesso em: 01 fev. 2022

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. **Dados energéticos.**

Disponível

em:<<https://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/intranet/PetroGas/index.html>>. Acesso em 01 fev.2022

SILVA, C. S. G. **Licenciamento ambiental em postos de revenda de combustíveis à luz dos princípios constitucionais de defesa do meio ambiente: o caso do município de Natal-RN.** 2010. 198 fls. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA, R. L. B. et al. Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis conseqüências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, p. 1599-1607, 2002.

SOUSA, F. W. Estimativa da exposição e risco de câncer a compostos carbonílicos e BTEX em postos de gasolina na cidade de Fortaleza-CE. 2011. 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil. Saneamento Ambiental)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

TCU. Tribunal de Contas da União. **Cartilha de licenciamento ambiental.** 2ª ed. Brasília: Tribunal de Contas da União e colaboração do IBAMA, 2007.

TROVÃO, R. S. Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos - SP. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/D.3.2006.tde-09082007-183630. Acesso em: 2021-05-17.